

长株潭地区耕地生态安全评价研究

郭荣中^{1,2} 杨敏华¹ 申海建³

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083; 2. 长沙环境保护职业技术学院, 长沙 410004;
3. 湖南省测绘科技研究所, 长沙 410007)

摘要: 耕地生态安全关系到可持续发展和粮食安全。以长株潭地区耕地为研究对象, 基于改进的 PSR 模型构建耕地生态安全评价指标体系, 运用组合赋权法确定指标权重, 并对长株潭地区耕地生态安全进行定量分析和评价。结果表明, 在 2000—2012 年, 研究区域耕地生态安全综合指数从 37.59 增加到 55.82, 生态安全整体水平呈波动上升趋势。其中, 压力指数由 23.37 下降到 4.14, 年均减少率为 6.86%; 状态指数从 10.00 增加到 33.55, 年均增长率为 19.63%; 响应指数从 4.22 增加到 18.12, 年均增长率为 27.45%。影响耕地生态安全的主要因素是耕地环境质量指数、第一产业产值占 GDP 比重、单位耕地农业机械化水平、单位耕地粮食产量、环保投资额占 GDP 比重和当年造林面积。

关键词: 长株潭地区; 耕地生态安全; 组合赋权法; PSR 模型

中图分类号: F323.211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)10-0193-09

Evaluation for Ecological Security of Cultivated Land in Chang - Zhu - Tan Region

Guo Rongzhong^{1,2} Yang Minhua¹ Shen Haijian³

(1. School of Info-Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China
2. Changsha Environmental Protection Occupation Technical College, Changsha 410004, China
3. Institute of Mapping of Hunan Province, Changsha 410007, China)

Abstract: The ecological security of cultivated land is related to sustainable development and food security. Evaluation on cultivated land ecological security is a significant foundation for improving the security of farmland ecosystems and sustainable use of cultivated land. The Changsha - Zhuzhou - Xiangtan (Chang - Zhu - Tan) region was chosen as study area. Fully considering the economical and social environment development of Chang - Zhu - Tan region, the original PSR model was improved according to characteristics of the study area. In the rule hierarchy of pressure, state and response, totally 17 evaluation indexes were selected in light of resource environment and social economy, and then the evaluation index system of ecological security assessment was fabricated. The index weight was determined by combination weighting approach which combined the subjective (analytic hierarchy process) with objective weighting method (entropy method). The ecological security of cultivated land in Chang - Zhu - Tan region from 2000 to 2012 was quantitatively evaluated and analyzed by the modified PSR model. The results showed that during 2000 to 2012, the comprehensive index of ecological security for cultivated land in Chang - Zhu - Tan region was gradually increased from 37.59 to 55.82, and the level of ecological security was fluctuantly increased. The pressure index showed a decreased trend with annual average of 6.86%, which was decreased from 23.37 to 4.14; fluctuate increase in state index was observed with annual average of 19.63%; the response index was increased from 4.22 to 18.12 with

收稿日期: 2016-07-11 修回日期: 2016-07-28

基金项目: 湖南省科技厅科技项目(2011SK3203)和湖南省教育厅科研项目(15C0014)

作者简介: 郭荣中(1979—), 女, 博士生, 长沙环境保护职业技术学院副教授, 主要从事土地信息与土地利用研究, E-mail: gyun91@163.com

annual average of 27.45%. In view of security level of cultivated land ecological security, the ecological security of cultivated land in the area during 2000—2004 belonged to risk level, and that during 2005—2011 was sensitivity level, but it was risen to good level in 2012. The main factors that affecting the cultivated land ecological security in Chang - Zhu - Tan region were environmental quality index of cultivated land, the first industrial output in proportion to GDP, agricultural mechanical power of unit cultivated land, grain yield per unit of cultivated land, environmental protection investment in proportion to GDP and afforestation area of current year. Temporal and spatial variabilities of cultivated land ecological security were analyzed for every county in Chang - Zhu - Tan region. The associated suggestions to intensify protection of cultivated land, consolidate rural land, improve agricultural comprehensive production capacity, increase scientific and technological input in environmental protection and improve the quality of cultivated land, strengthen ecological construction, were proposed to increase the level of ecological security of cultivated land in Chang - Zhu - Tan region. Likewise, the local government was appealed to pay extensive attention to the cultivated land ecological security, and should take effective measures, such as working on comprehensive plan for land ecology and land use, economizing the intensively-utilized cultivated land, realizing dynamical equilibrium of total cultivated land, strengthening protection of cultivated land in quantity and quality, improving environment around them and the level of ecological security of cultivated land. As so, the Chang - Zhu - Tan region was possible to become a comprehensive reform pilot area, as well as a national resource-saving and environment-friendly society.

Key words: Chang - Zhu - Tan region; cultivated land ecological security; combination weighting method; PSR model

引言

耕地是土地资源的精华,是农业生产的基础,关乎国家粮食安全和社会稳定^[1]。耕地资源安全是指耕地资源在动态上满足当代人和未来人类发展的需要,是指在一定的时空尺度内,耕地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,包括耕地资源环境安全、耕地生态系统安全和耕地社会经济安全^[2-3]。1997—2012年,我国耕地面积大量减少,现有耕地总体质量偏低。具体表现为“占优补劣”现象严重、中低产田所占比重偏高、耕地有机质含量偏低、土壤养分不均衡、肥效下降、环境恶化、土壤酸化加剧、退化严重等问题。所以加强对耕地生态安全的研究已迫在眉睫。国外学者已对生态安全做了大量的理论研究和实证分析^[4-11],生态安全已经成为当前环境科学、安全科学等研究领域的重要内容,成为可持续发展研究的热点问题。国内研究者也分别从国家^[12-14]、区域^[15-17]、省域^[18-20]、城市^[21-22]等不同尺度进行了探讨,研究表明,通过对耕地生态安全的内涵界定、耕地生态安全评价指标和方法的确定、耕地生态安全影响因素和时空差异的分析,有利于保持耕地总量动态平衡,保障粮食安全,对于实现区域生态环境保护,促进社会可持续发展具有现实意义。

湖南省长株潭地区正处于新型工业化和新型城镇化全面推进和提速发展时期,但一系列交通、水利、能源等基础设施项目的实施,使得水土流失、土壤污染、人地矛盾突出等问题日趋明显,对生态安全维护也产生了威胁,因此加强探究其生态系统变化机理,预测其生态安全未来发展态势,并采取及时有效的措施加以实时防控,已成为维护长株潭地区生态系统正常运转的重要举措。长株潭地区作为我国中部崛起地区的典型代表,其所面临的各种发展问题具有显著的普遍性。本文以长株潭地区为研究对象,基于“压力-状态-响应”(Pressure - state - response, PSR)模型框架,根据研究区域的特点,分别从压力、状态、响应3方面选取指标开展长株潭地区耕地生态安全评价研究,在研究方法上进行探索,以丰富中国生态安全评价与预测的研究成果,通过深入研究和分析长株潭地区的耕地生态安全现状,为研究区域的生态环境保护与建设提供科学依据和技术支持。本文拟在“压力-状态-响应”的理论框架下,加强对研究区域评价模型的改进,运用组合赋权法确定指标权重,从而在评价精度、评价稳定性等方面达到较优水平。

1 研究区概况

长株潭地区位于湖南省中东部丘陵区(图1),

下辖 3 个地级市,共 11 个市辖区,4 个县,8 个县。地理位置为东经 $111^{\circ}53' \sim 114^{\circ}15'$,北纬 $26^{\circ}03' \sim 28^{\circ}41'$ 。截至 2012 年末,土地总面积 $2\,806\,933.39\text{ hm}^2$,其中耕地面积 $641\,459.11\text{ hm}^2$,人均耕地面积 0.0464 hm^2 。总人口 1 383.40 万人,其中城镇人口 876.95 万人,农村人口 506.45 万人,城市化水平达 63.39%。地区生产总值 9 501.00 亿元;自然条件优越,社会经济发达,区内属大陆性亚热带季风湿润气候。

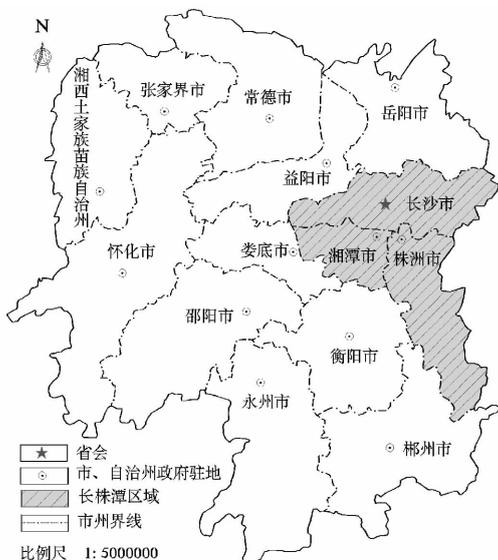


图 1 研究区域范围和地理位置示意图

Fig. 1 Sketch map of location in study area

2 资料来源与数据处理

2.1 数据来源

本研究土地面积、坡耕地面积等基础数据来源于湖南省国土资源部门提供的 2001—2013 年土地变更调查和第 2 次土地调查成果。为了让研究区域土地利用结构变化数据保持稳定的时间序列,具有连续性和一致性,对于 2001—2008 年数据,本文以 2009 年第 2 次土地调查公布的土地面积为基数,利用土地变更调查地类增减资料通过逐年反算得到;2010—2013 年则直接采用第 2 次调查成果及其年度变更数据。社会经济、农业、水土流失等基础数据来源于同期湖南统计年鉴^[23]和湖南农村统计年鉴^[24]。

2.2 数据处理

对初始数据进行无量纲化(或标准化)处理,计算式为:

$$\text{正向指标} \quad Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \quad (1)$$

$$\text{负向指标} \quad Z_{ij} = \frac{\max x_j - x_{ij}}{\max x_j - \min x_j} \quad (2)$$

式中 x_{ij} 、 Z_{ij} ——第 i 年第 j 个指标的原值及标准化后的数值

x_j ——第 j 个指标原值

正向指标的指数值越大越安全,负向指标的指数值越小越安全。

3 研究方法

3.1 PSR 模型的修正和改进

PSR 模型最初由经济合作与发展组织(OECD)提出,主要用于评价生态环境承受的压力及这种压力给生态环境带来的影响,和社会对这些影响所做出的响应。但对各个部分之间的具体影响因素和如何相互作用缺乏进一步的分析,因此在实际应用过程中需要加以修正和改进^[25-30]。自模型提出以来许多学者对这一模型进行了推广应用,建立了针对不同具体问题的 PSR 模型。本研究结合研究区域的特点及实际情况,对 PSR 模型进行改进,分别从资源环境和社会经济 2 个方面选取指标,建立长株潭地区生态安全评价指标体系。在改进的 PSR 模型中,P(压力)指人类活动引起的资源环境及社会经济的压力因素;S(状态)指资源环境及社会经济当前所处的状态或趋势;R(响应)指人类发挥主观能动性的反映、资源的可恢复性以及环境本身的吸收能力。改进的模型能清晰地表达出资源环境与经济社会的相关关系以及在压力、状态和响应 3 个方面的表征。

3.2 评价指标体系的构建

目前,国内外关于耕地生态安全评价指标体系的构建未达成共识。本研究尝试依据长株潭生态环境和土地利用结构特点,综合国内外相关研究成果^[31-32],基于改进的 PSR 模型,在压力、状态、响应 3 个准则层,分别从资源环境和社会经济 2 个方面选取 17 个评价指标,构建研究区域耕地生态安全评价指标体系(表 1)。

3.3 评价指标权重的确定

为了提高评价模型的评价精度,在指标权重的确定上采用组合赋权法,即将主观赋权法与客观赋权法结合起来,在主观赋权上采用层次分析法,可以将决策者的主观判断与政策经验导入模型,并加以量化处理;在客观赋权上采用熵值法,以避免人为因素带来的偏差。将这 2 种方法所得到的权重系数按照组合赋权法结合起来,该方法突破单一方法确定权重的局限,能使评价结果更符合实际情况。

层次分析法确定主观权重向量

$$W_1 = (W_1, W_2, \dots, W_{17}) \quad (3)$$

熵值法确定客观权重向量

$$W_2 = (W_1^*, W_2^*, \dots, W_{17}^*) \quad (4)$$

由此确定组合权重向量。

设最优组合权系数为

$$W_c = (W_{c1}, W_{c2}, \dots, W_{c17}) \quad (5)$$

其中

$$W_c = \theta_1 W_1 + \theta_2 W_2$$

式中 θ_1, θ_2 ——组合权系数向量的线性表出系数，均取 0.5

按式(1)、(2)对长株潭地区耕地安全评价指标值进行标准化,同时按式(3)、(4)分别计算出层次分析法权重和熵值法权重,最终由式(5)确定指标组合权重,分别列于表2。

表1 长株潭地区耕地生态安全评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of cultivated land ecological security in Chang - Zhu - Tan region

目标层	准则层	因素层	指标层	计算方法及单位	安全趋向
耕地资源 生态安全	压力	资源环境压力	$\geq 25^\circ$ 坡耕地面积比例(C_1)	$\geq 25^\circ$ 坡耕地面积/耕地面积,%	负
			耕地环境质量指数(C_2)	(化肥总施用量 + 农药总施用量)/2,t	负
			土地垦殖率(C_3)	耕地面积/土地面积,%	正
		社会经济压力	人均耕地面积(C_4)	耕地面积/总人口, hm^2 /人	正
			人口密度(C_5)	总人口/土地面积, 人/ km^2	负
			第一产业产值占 GDP 比重(C_6)	第一产业产值/GDP,%	正
	状态	资源环境状态	中低产田面积比例(C_7)	中低产田面积/耕地面积,%	负
			自然灾害受灾面积比重(C_8)	自然灾害成灾面积/农作物播种面积,%	负
			水土流失比率(C_9)	水土流失面积/土地面积,%	负
		社会经济状态	单位耕地粮食产量(C_{10})	粮食总产量/耕地面积, kg/hm^2	正
			单位耕地农业机械化水平(C_{11})	农业机械总动力/耕地面积, kW/hm^2	正
			农民人均纯收入(C_{12})	农民纯收入/农村人口, 元/人	正
	响应	资源环境响应	中低产田改良情况(C_{13})	研究期中低产田改良面积/期初中低产田面积,%	正
			当年造林面积(C_{14})	当年造林面积, hm^2	正
			水土流失治理情况(C_{15})	研究期内水土流失治理面积/期初水土流失面积,%	正
		社会经济响应	农业科技人员投入(C_{16})	科技人员数量/耕地面积, 人/ hm^2	正
			环保投资额占 GDP 比重(C_{17})	环保投资额/GDP,%	正

注： C_2 是对化肥总施用量和农药总施用量先进行标准化处理后的平均值。

表2 长株潭地区耕地安全评价指标权重及综合评价参数

Tab.2 Weight for evaluation index and index for comprehensive evaluation of cultivated land ecological security in Chang - Zhu - Tan region

评价指标	层次分析法权重	熵值法权重	组合权重	标准化值						
				2000年	2002年	2004年	2006年	2008年	2010年	2012年
C_1	2.21	6.18	4.19	0	0.1735	0.1737	0.2291	0.3611	0.4376	1
C_2	7.33	7.29	7.31	0.6760	0.8841	0.7966	0.4094	0.3299	0.1465	0
C_3	3.60	4.29	3.95	0.7942	0.7394	0.5011	0.3313	0.2939	0	0.9816
C_4	3.60	3.56	3.58	1	0.8709	0.6838	0.4448	0.3221	0	0.3012
C_5	4.22	5.13	4.67	1	0.8693	0.7442	0.5110	0.3609	0.0390	0
C_6	8.79	5.28	7.04	1	0.7981	0.7866	0.4941	0.3841	0.0986	0
C_7	4.88	4.76	4.82	0.0002	0.2495	0.5010	0.7952	0.7929	0.7305	0.9991
C_8	4.67	5.54	5.10	0.9033	0.7872	0.8326	0.5327	0	0.3731	0.5190
C_9	7.51	8.51	8.01	0.0001	0	0.0001	0.0001	1	0.0001	0.7988
C_{10}	9.72	8.71	9.21	0.5850	0	0.7118	1	0.6184	0.8307	0.4422
C_{11}	10.95	7.65	9.30	0	0.1129	0.2566	0.4662	0.6074	0.9386	1
C_{12}	5.56	7.07	6.32	0	0.0334	0.1020	0.2039	0.3774	0.6119	1
C_{13}	3.73	5.74	4.73	0	0.1173	0.8700	0.6808	1	0.3315	0.5409
C_{14}	7.56	4.37	5.97	0	0.1885	0.3921	0.4435	0.9669	0.4705	0.8776
C_{15}	4.62	4.20	4.41	0.3000	0.0239	0.5596	0.9524	0.9595	0.4472	0.3429
C_{16}	2.62	2.96	2.79	1	0.8041	0.7772	0.5043	0.4377	0.3391	0
C_{17}	8.45	8.93	8.69	0	0.0630	0.1393	0.1816	0.4329	0.6766	1

由表 2 可知,在长株潭地区耕地生态安全评价的指标中,压力系统中权重较大的指标是耕地环境质量指数、第一产业产值占 GDP 比重;状态系统中权重较大的指标是单位耕地农业机械化水平、单位耕地粮食产量;响应系统中权重较大的指标是环保投资额占 GDP 比重、当年造林面积。这在一定程度上说明了上述权重较大的指标对长株潭地区耕地生态安全影响较大,可为今后长株潭地区耕地生态环境建设提供重要的参考。

3.4 综合评价值的确定

采用多因素综合评价指数对长株潭地区耕地生态安全进行综合评价,其计算式为

$$E = \sum_{j=1}^n Z_{ij}N_j \quad (6)$$

式中 E ——综合指数

N_j ——第 j 个指标组合权重

n ——指标个数,取 17

研究区域各年份耕地生态安全的高低程度与综合指数呈正相关,指数越大,安全性越高;反之,安全性越低。

3.5 评价标准的确定

为科学合理地反映耕地资源生态系统的总体安全状况,通过征询专家意见将研究区域耕地生态安全综合指数 E 的取值划分为 5 个区间,依次对应

5 个等级,并对系统特征进行详细描述,具体评价标准如表 3 所示。

表 3 耕地资源生态安全评价标准
Tab.3 Evaluation criterion of cultivated land ecological security

综合指数	安全级别	特征
(75,100)	安全级别(I)	耕地生态环境基本处于未受破坏,不受威胁的健康状态
(55,75)	良好级别(II)	耕地生态环境受到干扰较小,所受威胁较小,生态系统功能尚好的状态
(45,55)	敏感级别(III)	耕地生态环境受到较少破坏,生态系统结构尚能维持基本功能,但受干扰后易恶化
(25,45)	风险级别(IV)	耕地生态环境受到较大破坏,受外界干扰后恢复存在一定困难的状态
(0,25)	危险级别(V)	耕地生态环境受到很大破坏,受外界干扰后恢复与重建很困难的状态

4 结果与分析

4.1 耕地生态安全指数分析

4.1.1 综合指数变化分析

由式(6)计算出 2000—2012 年长株潭地区耕地生态安全的综合指数(表 4)。

表 4 2000—2012 年长株潭耕地生态安全动态评价结果

Tab.4 Evaluation results of cultivated land ecological security in Chang - Zhu - Tan region during 2000—2012

指标	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
资源环境压力指数	8.08	9.08	10.11	9.36	8.53	6.26	5.26	5.19	5.09	2.80	2.91	5.29	3.06
社会经济压力指数	15.29	14.31	12.80	11.38	9.46	8.92	7.46	6.86	5.54	3.26	0.88	1.77	1.08
压力指数	23.37	23.38	22.91	20.74	17.99	15.18	12.72	12.05	10.63	6.06	3.78	7.06	4.14
资源环境状态指数	4.61	4.10	5.22	3.59	6.66	6.25	6.55	8.91	10.43	12.22	9.43	10.64	13.86
社会经济状态指数	5.39	4.73	1.26	2.19	7.59	12.11	14.84	16.50	13.73	18.10	20.24	17.14	19.69
状态指数	10.00	8.83	6.48	5.78	14.25	18.36	21.39	25.40	24.16	30.32	29.67	27.77	33.55
资源环境响应指数	1.44	1.95	1.79	4.16	9.14	10.96	10.43	13.75	15.10	12.78	9.52	9.89	9.44
社会经济响应指数	2.79	2.64	2.79	2.91	3.38	2.56	2.98	3.61	4.98	3.51	6.82	8.30	8.69
响应指数	4.22	4.60	4.58	7.07	12.51	13.52	13.41	17.36	20.08	16.29	16.34	18.20	18.12
综合指数	37.59	36.81	33.97	33.59	44.76	47.07	47.52	54.82	54.86	52.67	49.79	53.03	55.82
安全级别	IV	IV	IV	IV	IV	III	II						

由表 4 和图 2 可知,在 2000—2012 年期间,长株潭地区耕地生态安全呈现波动上升状态,期间可以分为 4 个阶段:第 1 阶段是 2000—2003 年,研究区域耕地生态安全水平处于下降趋势,主要是因为社会经济状态指数的下降,研究区域单位耕地粮食产量由 2000 年的 9 249.96 kg/hm² 下降到 2003 年的 8 281.70 kg/hm²,这说明提高单位粮食产量对耕地生态状况具有重要影响。第 2 阶段是 2004—2008

年,研究区域耕地生态安全水平处于上升趋势,主要体现在资源环境响应指数和社会经济状态指数的提高。2004 年国家《土地管理法》进行了第 3 次修订,加强了土地利用的监督管理,大力开展了水土流失治理和中低产田的改造,加大了土地整理力度,提高了单位耕地粮食产量,并且加强了封山育林和人工造林,提高了抵御自然灾害的能力。第 3 阶段是 2008—2010 年,研究区域耕地生态安全水平又出现

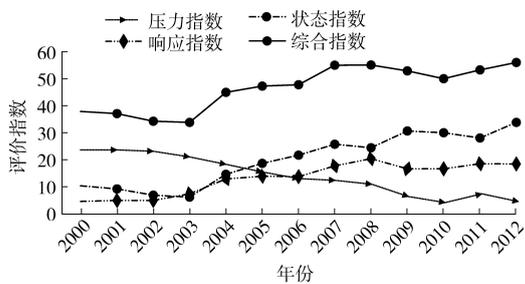


图2 长株潭地区耕地生态安全压力指数、状态指数、响应指数和综合指数的变化

Fig. 2 Variations of pressure, state, response and comprehensive indexes of cultivated land ecological security in Chang-Zhu-Tan region

下降趋势,而且在2010年出现了最低值49.79,体现在生态安全压力指数的大幅下降,表明长株潭地区耕地面临的资源环境压力和社会经济压力不断加大。这主要是由于在2007年长株潭城市群经国家发改委正式批准为全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区后,经济社会快速发展,城市化水平不断提高,建设用地大量占用耕地,并带来了一系列生态环境问题。第4阶段是2011—2012年,长株潭地区加大了环境污染治理,同时加大农村土地整治力度,加强农田基础设施建设,加大中低产田改造力度,从而促进了耕地生态安全水平的提高。

4.1.2 压力、状态、响应指数变化分析

同理,由式(6)计算出研究区域耕地生态安全的压力指数、状态指数、响应指数如表4所示。

耕地生态安全压力指数在2000—2012年期间总体上呈下降趋势,由2000年的23.37下降到2012年的4.14,年均减少率为6.86%。其中,在2000—2010年,压力指数逐步下降,在2010年只有3.78,年均减少率为8.38%;2010—2011年,压力指数出现上升现象,由3.78上升到7.06;2011—2012年,压力指数呈下降趋势,由7.06回落到4.14。这表明土地利用系统压力状况有所恶化,人类对土地利用系统的干扰有所强化。其中,2000—2012年间,资源环境压力指数由8.08下降到3.06,年均减少率为5.18%,社会经济压力指数由15.29下降到1.08,年均减少率为7.74%,说明耕地面积的减少、人口的增加以及社会经济的发展是研究区域耕地压力加大的主要原因。

耕地生态安全状态指数在2000—2012年期间总体上呈波动上升趋势,2012年的状态指数是33.55,相对于2000年的状态指数10.00,年均增长率为19.63%。其中,资源环境状态指数由4.61上升为13.86,年均增长率为16.72%,社会经济状态

指数由5.39增加为19.69,年均增长率为22.11%。这表明在此期间,当地政府加大土地综合整治力度,改善农业生产条件,积极推广生态农业实用技术,改良土壤,加大农业环境污染治理,从而使得耕地的资源环境状况和社会经济状态不断改善。

耕地生态安全响应指数在2000—2012年期间总体上呈上升趋势,由2000年的4.22上升到2012年的18.12,年均增长率为27.45%,其中,资源环境响应指数由1.44上升为9.44,年均增长率为46.30%,社会经济响应指数由2.79增加为8.69,年均增长率为17.62%。这说明当地政府对耕地环境的改善措施比较明显,加强了水土流失和土地污染的治理,加大了对生态环境保护的经济投入和农业科技投入,加强了对耕地生态安全的维护,从而促进了耕地生态环境状况的改善。

4.2 各区县耕地生态安全时空演变结果与分析

4.2.1 各区县耕地生态安全时间变化

以长株潭地区各区县为单位,运用上述评价方法按式(1)、(2)对各区县耕地生态安全评价指标值进行标准化,在标准化时采用长株潭地区的全区极值,同时按照表2确定的指标组合权重分别计算出各区县的耕地生态安全综合指数,结果如表5和图3a所示。根据研究区域的地域特点,通过征询专家意见,按照耕地生态安全在2000—2012年的变化率(S)进行分类,将长株潭地区各区县分为3大类,即快速上升区($S > 30\%$)、慢速上升区($15\% < S \leq 30\%$)、基本稳定区($0 \leq S \leq 15\%$)。

研究结果表明宁乡县、醴陵市、湘潭市区、韶山市4个区县属于耕地生态安全综合指数快速上升区,望城县和炎陵县在研究期间耕地生态安全综合指数变化不大,属于基本稳定区,而长沙市区、株洲市区等9个区县则属于慢速上升区。

4.2.2 各区县耕地生态安全空间分异

选取2000、2006、2012年作为典型年份,根据计算的各区县耕地生态安全综合指数参照表3耕地资源生态安全评价标准进行分析,结果如表5和图3b~3d所示。2000年,长株潭地区只有长沙县、望城县、株洲市区、攸县、湘潭县、韶山市6个区县属于敏感级别,其他长沙市区、宁乡县、浏阳市等9个区县的耕地生态安全级别都是风险级别;2006年,除茶陵县、炎陵县、湘乡市这3个区县仍属于风险级别外,韶山市已经上升为良好级别,株洲市区、湘潭市区等其他11个区县属于敏感级别;到2012年,只有炎陵县仍属于风险级别,长沙市区、长沙县、株洲市区、株洲县、醴陵市、湘潭市区、韶山市7个区县已属于良好级别,而其他的望城县、宁乡县等7个区县已经

表 5 2000—2012 年长株潭地区各区县耕地生态安全时空分异

Tab.5 Temporal and spatial diversities of cultivated land ecological security level in Chang - Zhu - Tan region from 2000 to 2012

行政区名称	耕地生态安全综合指数						变化率/ %	综合指数 时间维	综合指数空间维				
	2000 年	2002 年	2004 年	2006 年	2008 年	2010 年			2012 年	2000 年	2006 年	2012 年	
长沙市	长沙市区	44.28	43.90	45.87	45.91	48.39	53.56	56.08	26.65	慢速上升区	IV	III	II
	长沙县	47.08	44.02	47.32	46.19	46.08	49.59	55.85	18.62	慢速上升区	III	III	II
	望城县	47.81	43.64	48.76	48.93	51.88	53.37	53.20	11.26	基本稳定区	III	III	III
	宁乡县	39.18	42.89	46.48	48.66	50.94	50.73	53.03	35.35	快速上升区	IV	III	III
	浏阳市	44.68	43.19	51.42	52.35	51.32	52.04	54.03	20.92	慢速上升区	IV	III	III
株洲市	株洲市区	51.15	48.43	48.91	49.74	51.13	54.94	60.95	19.15	慢速上升区	III	III	II
	株洲县	44.36	45.05	46.45	49.32	51.50	48.86	55.35	24.77	慢速上升区	IV	III	II
	攸县	46.02	45.02	46.56	46.74	49.23	51.54	54.38	18.18	慢速上升区	III	III	III
	茶陵县	42.46	42.29	40.62	42.25	52.61	46.13	50.29	18.43	慢速上升区	IV	IV	III
	炎陵县	39.13	38.30	44.93	39.94	42.61	41.47	44.52	13.78	基本稳定区	IV	IV	IV
	醴陵市	43.72	47.56	47.41	49.24	48.19	53.09	57.34	31.17	快速上升区	IV	III	II
湘潭市	湘潭市区	42.77	48.65	46.40	47.69	50.41	54.38	58.53	36.85	快速上升区	IV	III	II
	湘潭县	45.91	47.94	49.52	49.71	47.78	50.55	54.54	18.78	慢速上升区	III	III	III
	湘乡市	42.51	44.49	46.15	44.97	47.78	48.06	53.17	25.09	慢速上升区	IV	IV	III
	韶山市	50.15	57.97	57.66	61.73	62.78	69.99	72.38	44.33	快速上升区	III	II	II

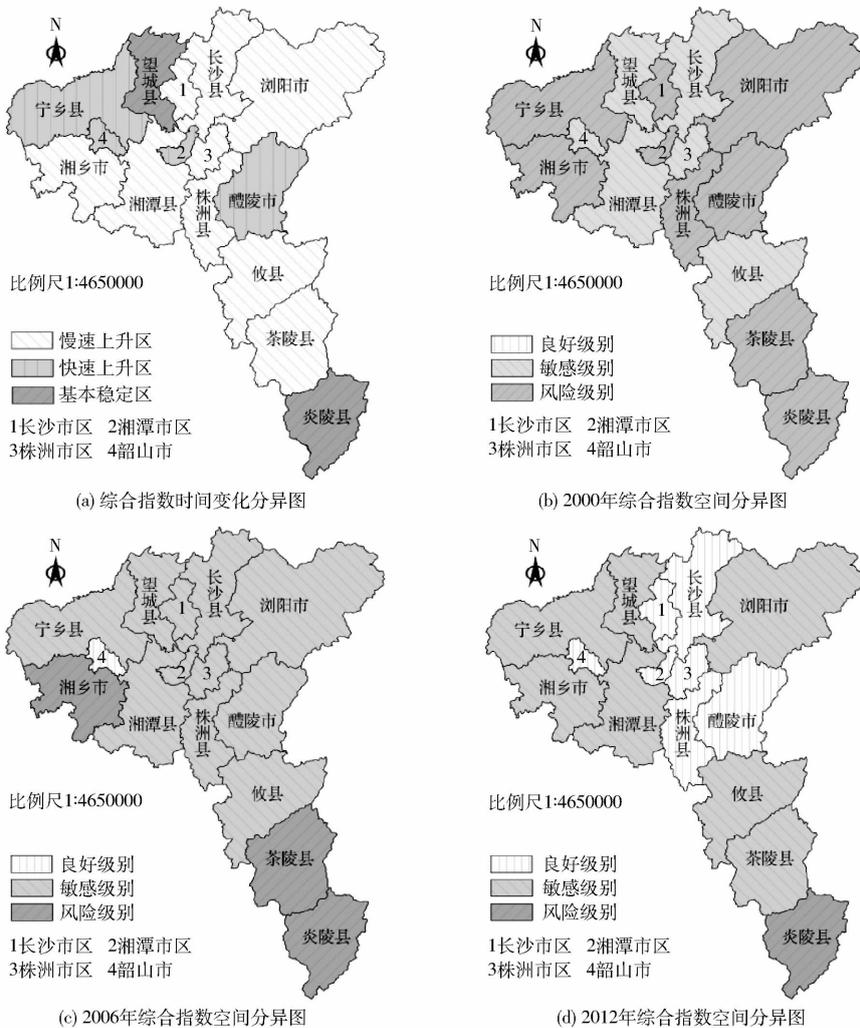


图 3 2000—2012 年长株潭地区耕地生态安全时空变化格局

Fig.3 Temporal and spatial pattern of cultivated land ecological security level in Chang - Zhu - Tan region from 2000 to 2012

全部上升为敏感级别,炎陵县耕地生态安全综合指数一直偏低,主要是由于当地中低产田改良面积比例和环保投入偏低的原因。总体而言,研究期间长株潭地区各区县的耕地生态安全水平都得到了不同程度的提高。

5 结论

(1)基于PSR模型的理论框架,在充分考虑长株潭地区耕地生态环境现状和经济社会发展状态的基础上,根据研究区域的特点对PSR模型进行改进,分别从资源环境和社会经济2个方面选取评价指标,构建评价指标体系,同时采用主观赋权法和客观赋权法相结合的方法确定指标权重,能更准确地实现对研究区域耕地生态安全的综合评价。

(2)运用改进的PSR模型从时间尺度上(2000—2012年)对长株潭地区耕地生态安全进行定量评估和分析。结果表明,在所构建的耕地生态安全评价指标体系中,压力系统中权重较大的指标

是耕地环境质量指数、第一产业产值占GDP比重;状态系统中权重较大的指标是单位耕地农业机械化水平、单位耕地粮食产量;响应系统中权重较大的指标是环保投资额占GDP比重、当年造林面积。研究期间,研究区域耕地生态安全综合指数从37.59增加至55.82,耕地生态安全整体水平呈波动上升趋势。表明研究区域耕地生态环境有所改善,生态效益有了较大的提高。

(3)长株潭地区各区县的耕地生态安全综合指数在时间维上具有动态变化规律,在2000—2012年期间各区县基本上呈上升趋势,具体可分为快速上升区、慢速上升区和基本稳定区。在空间维上,2000年有长沙市区等9个区县的耕地生态安全值都属于风险级别区,但到2012年除了炎陵县仍是风险级别外,长沙市区等7个区县已属于良好级别,而望城县等其他7个区县已经全部上升为敏感级别,反映了研究区域各区县耕地生态安全水平在逐步提高。

参 考 文 献

- 1 杨永侠,施彦如,孙婷,等. 基于空间聚类的西藏耕地后备资源开发组合模型研究[J]. 农业机械学报,2016,47(4):239-247.
YANG Yongxia, SHI Yanru, SUN Ting, et al. Study on the model of exploitation combination of reserved cultivated land resources based on spatial clustering in the Tibet[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(4):239-247. (in Chinese)
- 2 彭少麟,郝艳茹,陆宏芳,等. 生态安全的涵义与尺度[J]. 中山大学学报:自然科学版,2004,43(6):27-31.
PENG Shaolin, HAO Yanru, LU Hongfang, et al. The meaning and scales of ecological security[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(6): 27-31. (in Chinese)
- 3 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.
ZHU Hongbo. Characters and influencing factors of cultivated land resource ecological security in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2008, 29(2): 194-197. (in Chinese)
- 4 LONERGAN S. IHDP report No. 11/GECHS science plan[R]. Bonn, Germany: IHDP,1999.
- 5 MYERS N. Environment and security[J]. Foreign Policy, 1989, 74(1): 23-41.
- 6 HERRMANN S, DABBERT S, RAUMER H G S V. Threshold values for nature protection areas as indicators for bio-diversity: a regional evaluation of economic and ecological consequences[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98(1-3): 493-506.
- 7 SMITH W, MEREDITH T C, JOHNS T. Exploring methods for rapid assessment of woody vegetation in the Batemi Valley, North-central Tanzania[J]. Biodiversity and Conservation, 1999,8(4): 447-470.
- 8 ESPEJEL I, FISCHER D W, HINOJOSA A, et al. Land-use planning for the Guadalupe Valley, Baja California, Mexico[J]. Landscape and Urban Planning, 1999, 45(4): 219-232.
- 9 LEE J T. The role of GIS in landscape assessment: using land use-based criteria for an area of the Chiltern Hills area of outstanding natural beauty[J]. Land Use Policy, 1999, 16(1):23-32.
- 10 RASUL G, THAPA G B. Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh[J]. World Development, 2003, 31(10): 1721-1741.
- 11 BEESLEY K B, RAMSEY D. Agricultural land preservation[J]. International Encyclopedia of Human Geography, 2009, 25(6): 65-69.
- 12 宋伟,陈百明,史文娇,等. 2007年中国耕地资源安全评价[J]. 地理科学进展,2011,30(11):1449-1455.
SONG Wei, CHEN Baiming, SHI Wenjiao, et al. Evaluation for cultivated land resources security of China in 2007[J]. Progress in Geography, 2011, 30(11): 1449-1455. (in Chinese)
- 13 高珊,黄贤金. 基于PSR框架的1953-2008年中国生态建设成效评价[J]. 自然资源学报,2010,25(2):341-350.
GAO Shan, HUANG Xianjin. Evaluation of eco-construction based on PSR model in China from 1953-2008 [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(2): 341-350. (in Chinese)
- 14 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.
ZHANG Rui, LIU Youzhao. Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and diagnosis of its obstacle indicators in China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(7): 945-951. (in Chinese)

- 15 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例[J].地理学报,1999,54(3):241-246.
FU Bojie, CHEN Liding, MA Keming. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the loess plateau of China [J]. Journal of Geographical Sciences, 1999, 54(3): 241-246. (in Chinese)
- 16 虞孝感.长江流域生态安全问题及建议[J].自然资源学报,2002,17(3):294-298.
YU Xiaogan. The problems of ecological security in the Yangtze Basin and some suggestions [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 294-298. (in Chinese)
- 17 张军以,苏维词,张凤太.基于PSR模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J].中国环境科学,2011,31(6):1039-1044.
- 18 叶亚平,刘鲁君.中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J].环境科学研究,2000,13(3):33-36.
YE Yaping, LIU Lujun. A preliminary study on assessment indicator system of provincial eco-environmental quality in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(3): 33-36. (in Chinese)
- 19 王千,金晓斌,周寅康.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.
WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang. Cultivated land ecological security and spatial aggregation pattern in Hebei Province [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 338-344. (in Chinese)
- 20 赵宏波,马延吉.东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子——以吉林省为例[J].应用生态学报,2014,25(2):515-524.
ZHAO Hongbo, MA Yanji. Spatial-temporal pattern and obstacle factors of cultivated land ecological security in major grain producing areas of northeast China: a case study in Jilin Province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 515-524. (in Chinese)
- 21 张冰洁,宋戈,松嫩高平原黑土区典型地域耕地生态安全评价及驱动力分析——以黑龙江省绥化市为例[J].水土保持研究,2012,19(3):215-220.
ZHANG Bingjie, SONG Ge. Evaluation on cultivated land ecological security and analysis on the driving forces of the typical Mollisols Area in Songnen High Plain—a case study of Suihua City in Heilongjiang Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(3): 215-220. (in Chinese)
- 22 张安,孙福军,贾树海,等. GIS 在县域耕地生态环境安全评价中的应用研究——以凌源市为例[J].土壤通报,2013,44(2):292-295.
- 23 湖南省统计局.湖南统计年鉴(2001—2013)[Z].北京:中国统计出版社,2001-2013.
- 24 湖南省农村经济调查队.湖南农村统计年鉴(2001—2013)[Z].长沙:湖南省农村经济调查队,2001-2013.
- 25 殷克东,赵昕,薛俊波.基于PSR模型的可持续发展研究[J].软科学,2002,16(5):62-66.
YIN Kedong, ZHAO Xin, XUE Junbo. A sustainable development research based on PSR Model [J]. Soft Science, 2002, 16(5): 62-66. (in Chinese)
- 26 白易,张奇,石哲,等.基于改进PSR模型的恩平市土地可持续利用评价[J].水土保持通报,2009,29(4):209-214.
BAI Yi, ZHANG Qi, SHI Zhe, et al. Appraisal of sustainable land utilization based on reusable pressure state response model for Enping City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(4): 209-214. (in Chinese)
- 27 杨倩倩,陈英,金生霞,等.西北干旱区土地资源生态安全评价——以甘肃省古浪县为例[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):195-199.
YANG Qianqian, CHEN Ying, JIN Shengxia, et al. Investigation of rhizobium resources of leguminous plants in partial regions of Qilian Mountains [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(4): 195-199. (in Chinese)
- 28 张文斌.基于改进PSR模型的西北干旱区土地利用系统健康评价——以玉门市为例[J].中国农学通报,2014,30(34):74-80.
ZHANG Wenbin. Health assessment on land use system of the arid area of northwest based on improved PSR model: a case study of Yumen City [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(34): 74-80. (in Chinese)
- 29 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.
HONG Huikun, LIAO Heping, WEI Chaofu, et al. Health assessment of a land use system used in the ecologically sensitive area of the Three Gorges Reservoir area based on the improved TOPSIS method [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(24): 8016-8027. (in Chinese)
- 30 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.
ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao. Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 5090-5100. (in Chinese)
- 31 宋戈,连臣.黑龙江省耕地资源安全预警分析及预警系统的构建[J].农业工程学报,2012,28(6):247-252.
SONG Ge, LIAN Chen. Analysis and system construction of safety early warning for cultivated land resources in Heilongjiang Province [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6): 247-252. (in Chinese)
- 32 徐美,朱翔,刘春腊.基于RBF的湖南省土地生态安全动态预警[J].地理学报,2012,67(10):1411-1422.
XU Mei, ZHU Xiang, LIU Chunla. Early-warning of land ecological security in Hunan Province based on RBF [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(10): 1411-1422. (in Chinese)