

# 基于 PSR 模型的河南省耕地生态安全诊断

邓图南<sup>1</sup>,鲁春阳<sup>2,3</sup>

(1.澳门城市大学 创新设计学院,澳门 999078;2.河南城建学院 测绘与城市空间信息学院,  
河南 平顶山 467036;3.东华理工大学 测绘工程学院,南昌 330013)

**摘要:**耕地安全是关系国家粮食安全、经济发展及社会稳定的重大问题,采用层次分析法和 PSR(压力-状态-响应)模型,通过构建耕地生态安全评价指标体系,对 2008—2018 年河南省耕地安全及区域差异进行综合分析,结果表明,研究期内河南省耕地生态安全状况整体不佳,有 10 个地级市耕地资源仍处于临界安全状态.同时,指标权重值反映出人口自然增长率、城镇化率和耕地垦殖率等是影响耕地综合安全指数的主要因素.未来,需实施差异化的耕地保护政策,结合耕地轮作耕地试点,探索建立科学有效的耕地生态保护补偿机制.

**关键词:**耕地;生态安全;PSR 模型;诊断;河南省

**中图分类号:**F301.24

**文献标志码:**A

耕地是社会生产和发展的基础,耕地生态安全则是国家粮食安全和生态文明建设的重要组成部分<sup>[1]</sup>.近年来,随着我国新型城镇化及工业化道路的不断迈进,人地关系的不协调问题日益显现,致使耕地资源的数量和质量双双下降,区域生态环境也受到一定破坏<sup>[2]</sup>.为此,国家高度重视,在 2017 年 1 月发布的《关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》中强调“要像保护大熊猫一样保护耕地,着力加强耕地数量、质量、生态‘三位一体’保护”,将耕地的生态安全保护进一步上升到国家战略高度.

目前,学者们基于人地关系及可持续发展理论对耕地生态安全的评价模型、指标体系以及时空分异特征等方面开展了大量定量分析,研究成果颇丰.杨俊等<sup>[3]</sup>基于粮食安全背景,采用 PSR 模型对长江中下游粮食主产区耕地质量与生态安全展开分析;彭文君等<sup>[4]</sup>基于景观生态学理论,构建了景观生态指标体系,对喀斯特山区的耕地生态安全问题进行了细致分析;袁零等<sup>[5]</sup>基于县域尺度,采用 PSR 模型实证研究了干旱地区环县的耕地生态安全情况,并建议推行耕地休耕制度,使耕地尽快恢复生态机能;朱红波等<sup>[6]</sup>基于全国尺度对 1981—2004 年间的耕地生态安全时空变化特征及障碍因素展开深入分析;李强等<sup>[7]</sup>立足生态脆弱区实际,构建了由耕地健康模糊评价体系与耕地能值指数修正体系构成的耕地健康诊断体系进行耕地健康评价实践.

河南省是我国重要的粮食主产区和人口大省,近年来随着社会经济建设的持续推进,耕地保护与生态安全问题正日益突显.2018 年,全省耕地资源面积达到 8.16 万  $\text{hm}^2$ ,位居全国第二,但人均耕地占有量仅 733  $\text{m}^2$ ,不及全国平均水平,并且其中近 70% 的耕地仍属于中低产田.同时,水土流失、土壤有机质含量下降及粗放低效利用现象较为严重.鉴于此,本研究以河南省为研究对象,基于 PSR 框架模型构建耕地生态安全评价指标体系,测算 2008—2018 年河南省及其下辖 18 个地级市的耕地生态安全状况和变化趋势,并针对性地提出耕地生态安全保障措施,以有效反映地区耕地资源的综合水平,为地区控制耕地数量、把控质量、实现农业和社会可持续性发展提供一定参考.

收稿日期:2021-09-06;修回日期:2021-12-03.

基金项目:河南省科技攻关项目(192102310266);河南省住建厅项目(R-2107).

作者简介:邓图南(1995—),男,河南平顶山人,澳门城市大学博士研究生,研究方向为城市形态与空间规划,E-mail:dengtunan@foxmail.com.

通信作者:鲁春阳(1979—),女,河南平顶山人,河南城建学院教授,博士,研究方向为国土开发与空间规划,E-mail:luchunyang@hncj.edu.cn.

## 1 研究区概况

河南省位于黄河中下游地区,介于 $31^{\circ}23'N\sim 36^{\circ}22'N, 110^{\circ}21'E\sim 116^{\circ}39'E$ 之间,下辖18个地级市,土地总面积 $16.7\text{万 km}^2$ ,其中耕地面积占比达到 $48.85\%$ ,是我国的农业大省和人口大省.2018年,全省GDP为48 055.86亿元,居全国第5位,城镇化率达 $51.74\%$ ,仍低于全国水平 $8.11$ 个百分点.全省粮食总产量 $6\,649\text{万 t}$ ,居全国第2位,占全国粮食总产量的 $10.1\%$ ,对于国家粮食安全与稳定发展具有重要的战略作用.但在城镇化及工业化进程下,河南省人口外流造成的空心村现象正进一步加剧,加之农药、化肥及地膜的滥用,给全省的耕地生态承载力造成严重影响.

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本文数据涉及2008—2018年间河南省整体以及2018年下辖18个地级市的社会经济发展状况、自然环境和产业发展规模等方面,其原始数据均来源于《河南统计年鉴》(2009—2019年)和河南省国民经济和社会发展统计公报(2008—2018年),部分数据可根据原始数据进行简单运算得出.

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 基于PSR模型的评价指标体系构建

PSR模型是联合国经济合作与发展组织和联合国环境规划署在1990年联合提出的生态安全评价模型<sup>[8]</sup>,因其系统性、灵活性和权威性的特点,一经问世便受到学术界的广泛应用,也是我国目前在生态安全领域评价常用的模型<sup>[9-12]</sup>.该模型主要包括人类社会生产给生态系统造成的压力、生态系统被这一压力影响后的状态以及人类为缓解受影响的生态系统而制定的响应措施.结合这3方面内容构建的指标体系能够较好地衡量出人类活动与生态系统的相互作用关系<sup>[13]</sup>.本文基于PSR模型及指标的连续性和可比性,从耕地生态系统压力、状态、响应3个方面构建评价指标体系以综合诊断耕地生态系统健康状况(表1).

表1 河南省耕地资源生态安全评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of cultivated land ecological security in Henan Province

目标层	准则层	指标层及单位	指标说明	指标属性	权重
河南省耕地资源生态安全评价	耕地生态安全压力(P)	C1 人口密度/(人· $\text{km}^{-2}$ )	总人口与土地面积的比值	-	0.014 4
		C2 人口自然增长率/%	年内人口增长量与平均总人口之比	-	0.110 0
		C3 城镇化率/%	城镇人口与总人口之比	-	0.210 2
		C4 人均耕地面积/( $\text{km}^2$ )	耕地面积与总人口之比	+	0.026 6
		C5 单位耕地面积化肥负荷/( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	化肥总施量与耕地面积之比	-	0.206 7
	耕地生态安全状态(S)	C6 森林覆盖率/%	森林面积与土地总面积之比	+	0.019 2
		C7 耕地垦殖率/%	耕地面积与土地面积之比	+	0.343 2
		C8 第一产业占GDP比重/%	第一产业产值与GDP之比	+	0.033 8
	耕地生态安全响应(R)	C9 人均粮食占有量/kg	粮食总产量与总人口之比	+	0.022 0
		C10 有效灌溉面积比重/%	耕地有效灌溉面积与耕地面积之比	+	0.013 7

耕地生态安全压力指数表示研究区人类社会经济活动对耕地生态系统的作用程度,主要为人口、社会、经济和环境压力等,本文选用人口密度、人口自然增长率、城镇化率、人均耕地面积和单位耕地面积化肥负荷5项指标来测算.

耕地生态安全状态指数表示研究区耕地资源在人口、社会、经济和环境等压力作用下的状态,本文选取了资源状态和经济状态两类指标,资源状态为研究区耕地资源规模和生态资源保护状况,此处用耕地垦殖率和森林覆盖率表征;经济状态为耕地资源的经济产出状况,此处用第一产业占GDP比重表征.

耕地生态安全响应指数为研究区受影响的耕地生态系统内部自我调节措施和外部人为管理措施,本文关注于外部响应措施,主要是为推动区域农业现代化发展,加强农业基础设施建设,以缓解农业发展对耕地

资源的依存和压力,此处选取人均粮食占有量和有效灌溉面积比重表征。

### 2.2.2 指标标准化处理

为消除各评价指标数量级间的差异,本文通过极差标准化对原始数据进行标准化处理,标准化处理后指标数值范围为[0,1].其计算公式如下,正向指标:  $C_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$ ; 负向指标:  $C_{ij} = \frac{X_{j\max} - X_{ij}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$ . 式中,  $C_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  项指标的标准化值;  $X_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  项指标的原始值;  $X_{j\max}$  是所有年份第  $j$  项指标中的最大值;  $X_{j\min}$  是所有年份第  $j$  项指标中的最小值。

### 2.2.3 指标权重确定

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种解决多目标复杂问题的权重分析方法<sup>[14]</sup>. 其一经问世, 就因较强的系统性和简便性而在统计决策领域得到诸多应用. 该方法的基本原理是将定性分析与定量分析相融合, 根据决策主体对研究领域的丰富经验来判定各层次目标之间的相对重要程度, 然后基于一定的分值标度为各层次要素打分, 根据打分结果测算出各个指标的权重. 本文基于目前已应用较为成熟的分值标度准则(表 2)对同一层级下不同指标因子因重要程度不同而两两比较打分, 并构建该层级的判断矩阵, 进而借助 yaahp 软件在可通过一致性检验 ( $CR = 0.011 < 0.1$ ) 的基础上, 计算其特征向量并归一化处理, 最终将处理结果作为各个指标因子的权重(表 1).

表 2 层次分析法分值标度

Tab. 2 Score scaling of AHP

分值标度	含义	分值标度	含义
1	两因素相比,二者同等重要	9	两因素相比,前者比后者极其重要
3	两因素相比,前者比后者稍重要	2,4,6,8	两因素相比,其重要程度关系介于相邻判断矩阵中间
5	两因素相比,前者比后者较重要	倒数	两因素相比,其重要程度关系与上述相反
7	两因素相比,前者比后者更重要		

### 2.2.4 耕地生态安全综合指数测算

本文选择实用性较强的综合评价法,对各评价指标进行加权求和,得到河南省耕地生态安全压力、状态和响应 3 个子系统的指数以及耕地生态安全综合指数,以整体反映出研究区耕地资源生态安全特征.其计算公式为:  $E = \sum_{i=1}^3 Y_i \sum_{j=1}^m W_{ij} C_{ij}$ , 式中,  $E$  表示耕地生态安全综合指数;  $Y_i$  为第  $i$  准则层权重;  $W_{ij}$  为第  $i$  准则层第  $j$  项指标的权重值;  $m$  为指标个数;  $C_{ij}$  为第  $i$  准则层第  $j$  项指标数据的标准化值。

### 2.2.5 耕地生态安全等级划分

为进一步探究河南省的耕地生态安全状况,在有关学者研究的基础上<sup>[15]</sup>,本文将综合评价指数按其取值范围划分为 5 个等级区间(表 3),以差异性反映耕地资源生态安全现状。

表 3 河南省耕地生态安全等级

Tab. 3 Grade of cultivated land ecological security in Henan Province

综合指数( $E$ )	安全级别	系统特征	综合指数( $E$ )	安全级别	系统特征
$0.8 < E \leq 1.0$	安全	耕地生态环境基本未受破坏	$0.2 < E \leq 0.4$	较不安全	耕地生态环境遭受较大破坏
$0.6 < E \leq 0.8$	较安全	耕地生态环境受到较小干扰	$0.0 \leq E \leq 0.2$	不安全	耕地生态环境遭受很大破坏
$0.4 < E \leq 0.6$	临界安全	耕地生态环境受到较少破坏			

## 3 结果与分析

根据上文构建的评价指标体系,依据公式计算出 2008—2018 年河南省耕地生态安全系统的相关指数(表 4)。

### 3.1 耕地生态安全时序特征分析

由表 4 可知,2008—2018 年河南省耕地生态安全综合指数总体呈波动下降趋势,由 2008 年的 0.771 0 下

降到 2018 年的 0.394 1,降幅为 44.6%。其中在 2008—2012 年耕地安全处于较安全阶段( $>0.6\sim 0.8$ ),耕地生态环境受到较小干扰,生态系统功能处于良好的状态;在 2013—2015 年耕地安全处于临界安全阶段( $>0.4\sim 0.6$ ),此时耕地生态环境受到较少破坏,生态系统尚可维持基本功能;在 2016—2018 年期间耕地安全处于较不安全阶段( $>0.2\sim 0.4$ ),此时耕地生态环境遭受较大破坏。同时,以 2009 年和 2017 年为分界点,研究期内全省耕地生态安全状况呈“缓慢上升—缓慢下降—缓慢上升”阶段性趋势。其中 2008—2009 年这一阶段,耕地生态安全受压力子系统变化影响,综合指数由 0.711 0 上升到 0.772 2,说明 2008 年河南省耕地安全压力较弱,人们对耕地的改造和干扰减少。2009—2017 年耕地的生态安全状况处于“缓慢下降”阶段,耕地安全综合指数由 2009 年的 0.772 2 下降到 2017 年的 0.325 3,主要因为压力系统和状态系统评价指数的持续下降远远大于响应系统评价指数的上升。主要体现在人口密度、城镇化率、人口自然增长率的不断增加,分别从 2009 年的 597 人/ $\text{km}^2$ , 37.7%, 4.99% 增加到 2017 年的 650 人/ $\text{km}^2$ , 50.16%, 5.98%。第一产业占 GDP 比重由 2009 年的 13.64% 下降到 2017 年的 9.28%。2017—2018 年,耕地安全综合评价指数由 2017 年的 0.325 3 增加到 2018 年的 0.394 1。其原因在于国土资源部于 2018 年发布《关于全面实行永久基本农田特殊保护的通知》中强调,“永久基本农田必须坚持农地农用,坚决防止任何单位和个人以任何理由使其非农化”,使耕地资源的保护得到进一步加强。

表 4 2008—2018 年河南省耕地生态安全综合评价结果

Tab. 4 Evaluation result of cultivated land ecological security in Henan Province during 2008 to 2018

年份	压力指数	状态指数	响应指数	综合指数	安全级别	年份	压力指数	状态指数	响应指数	综合指数	安全级别
2008	0.341 2	0.343 2	0.026 6	0.711 0	较安全	2014	0.132 0	0.347 5	0.022 9	0.502 4	临界安全
2009	0.345 6	0.417 6	0.009 1	0.772 2	较安全	2015	0.117 1	0.315 8	0.043 7	0.476 7	临界安全
2010	0.313 5	0.408 3	0.006 2	0.728 0	较安全	2016	0.048 2	0.283 1	0.044 0	0.375 3	较不安全
2011	0.284 6	0.396 6	0.010 9	0.692 0	较安全	2017	0.042 6	0.238 3	0.044 4	0.325 3	较不安全
2012	0.234 6	0.381 0	0.018 6	0.634 2	较安全	2018	0.120 9	0.225 3	0.047 9	0.394 1	较不安全
2013	0.180 2	0.332 9	0.015 1	0.528 2	临界安全						

2008—2018 年,耕地生态安全压力指数总体呈现先下降后上升的趋势,压力指数从 2008 年的 0.341 2 降低到 2018 年的 0.120 9,下降幅度达 64.76%。其中 2009—2017 年耕地安全压力系统评价指数呈现直线下降趋势,以平均 10.96% 的下降率,从 2009 年的 0.345 6 下降到 2017 年的 0.042 6。这说明在这 9 年间耕地安全压力状况没有得到明显的改善,人们对耕地的干扰和破坏逐渐增多,因此需要增强对耕地的保护,减少耕地的生态压力。2017—2018 年耕地安全压力系统评价指数出现上升趋势,增幅高达 183.8%。

2008—2018 年,耕地生态安全状态指数整体呈不断下降的变化趋势,状态指数从 2008 年的 0.343 2 下降至 2018 年的 0.225 3,年均减少率为 3.44%。其中 2008—2009 年期间耕地安全状态系统评价指数从 0.343 2 增加到 0.417 6,增幅高达 21.68%。在 2009—2017 年期间耕地安全状态系统评价指数总体呈现快速减少阶段,只有在 2012—2013 年期间出现小幅度的上升现象,在 2009—2017 年期间耕地安全状态系统评价指数年降低率 10.96%。说明耕地资源的综合整治及生态修复尚需加强,农业面源污染治理及生态绿色农业发展已迫在眉睫。

2008—2018 年,耕地生态安全响应指数一直处于平稳上升的变化态势,从 0.026 6 提高到 0.0479,增幅达 80.1%。但在 2008—2010 年期间耕地安全响应系统评价指数由 0.026 6 持续下降到 0.006 2,降幅高达 61.65%。而在 2010—2018 年期间耕地生态安全响应指数出现显著上涨,年增加率 84.07%。这说明随着农业资源生态修复和基础设施建设的不断加强,耕地生态系统安全得到改善,粮食产量稳定提高。

### 3.2 耕地生态安全截面特征分析

进一步计算 2018 年河南省下辖 18 个地级市的耕地生态安全评价指数,以探究河南省各地级市的耕地生态安全状况,结果见表 5。

从表 5 可以看出,耕地生态安全综合评价指数排名前六的城市主要是信阳市(0.791 3)、驻马店市

(0.769 6)、南阳市(0.668 2)、商丘市(0.649 3)、开封市(0.633 8)和周口市(0.610 0),这 6 个城市的耕地安全评价指数均处于较安全( $>0.6\sim 0.8$ )阶段,此时耕地生态环境受到较小干扰,生态系统功能处于良好的状态。三门峡市、濮阳市、洛阳市、平顶山市、安阳市、鹤壁市、新乡市、焦作市、许昌市、漯河市、济源市等 11 个城市都处于临界安全( $>0.4\sim 0.6$ )阶段,此时耕地生态环境受到较少破坏。郑州市(0.244 0)的综合评价指数处于较不安全( $>0.2\sim 0.4$ )阶段,此时耕地生态环境遭受较大破坏。总体来看,河南省 2018 年各市的耕地安全状态不容乐观,大部分的城市都处于临界安全状态,郑州市更是处于较不安全阶段。其原因在于郑州市的城镇化及工业化进程加快,耕地资源受影响程度较高,需注意进一步加强耕地资源安全保障力度。

表 5 2018 年河南省各地市耕地生态安全评价结果

Tab. 5 Evaluation result of cultivated land ecological security in for Henan Province cities in 2018

城市名称	压力指数	状态指数	响应指数	综合指数	安全级别	城市名称	压力指数	状态指数	响应指数	综合指数	安全级别
郑州市	0.071 3	0.139 6	0.033 1	0.244 0	较不安全	许昌市	0.118 5	0.191 1	0.108 7	0.418 3	临界安全
开封市	0.148 8	0.372 2	0.112 8	0.633 8	较安全	漯河市	0.074 8	0.235 3	0.119 3	0.429 3	临界安全
洛阳市	0.206 3	0.209 6	0.025 5	0.441 4	临界安全	三门峡市	0.262 5	0.247 2	0.030 1	0.539 8	临界安全
平顶山市	0.072 0	0.256 3	0.071 0	0.399 3	较不安全	南阳市	0.221 7	0.371 3	0.075 2	0.668 2	较安全
安阳市	0.065 1	0.279 4	0.114 3	0.458 8	临界安全	商丘市	0.086 6	0.414 0	0.148 8	0.649 3	较安全
鹤壁市	0.167 0	0.248 2	0.127 9	0.543 1	临界安全	信阳市	0.239 7	0.450 8	0.100 8	0.791 3	较安全
新乡市	0.111 2	0.255 6	0.136 4	0.503 3	临界安全	周口市	0.095 2	0.386 8	0.128 0	0.610 0	较安全
焦作市	0.074 7	0.225 3	0.117 5	0.417 5	临界安全	驻马店市	0.198 2	0.434 4	0.137 0	0.769 6	较安全
濮阳市	0.079 4	0.317 7	0.135 0	0.532 1	临界安全	济源市	0.210 5	0.163 9	0.039 9	0.414 3	临界安全

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本研究应用 PSR 模型对 2008—2018 年河南省耕地资源生态安全进行综合评价,得出主要结论如下:

(1)2008—2018 年河南省耕地生态安全总体状况不容乐观,生态安全综合指数呈现下降趋势,由 2008 年的 0.771 0 下降到 2018 年的 0.394 1,综合指数平均值为 0.558 1,属于临界安全级别,研究期内经历了“较安全—临界安全—较不安全”的波动状态。

(2)从分子系统来看,耕地生态系统压力和生态系统状态变化在耕地资源生态安全中变化较大,其中从指标层权重发现人口自然增长率、城镇化率、单位耕地面积化肥负荷和耕地垦殖率是影响全省耕地生态安全状况的主要因素。

(3)选取 2018 年这个节点来看,河南省 2018 年各地级市的耕地安全形势同样不佳,仅有信阳、驻马店和南阳等 6 个地级市处于较安全状态,洛阳、安阳和鹤壁等 10 个地级市处于临界安全状态,郑州和平顶山更是处于较不安全状态,其中郑州市耕地生态安全综合指数仅为 0.244 0,为全省末位,需要特别注意城镇化进程中的耕地资源保护与利用问题。

### 4.2 建议

(1)提高农业面源治污水平。积极发展绿色农业,减少农药、化肥使用率,推动秸秆及畜禽粪污等有机肥料还田,鼓励应用测土配方施肥技术,提高地膜回收利用率,改善耕地有机质环境,促进耕地资源长效健康利用。

(2)落实耕地轮作休耕制度。大力实施中低产田改良工程,在不减少或破坏耕地前提下,结合各地区特点实行以免耕少耕、深松浅翻、深施肥料和粮豆轮作套作等为主的保护性耕作制度,促进区域耕地用养结合,保障耕地产能稳步上升。

(3)构建耕地生态保护经济补偿机制。从省级层面统筹设立专项资金,用于奖励支持耕地轮作休耕、减药

控肥以及耕保工作优异的乡镇,以改善农业生产条件及推动农业基础设施建设.

### 参 考 文 献

- [1] 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 W, CHEN B M, SHI W J, et al. Evaluation for cultivated land resources security of China in 2007[J]. Progress in Geography, 2011, 30(11): 1449-1455.
- [2] 史娟,张凤荣,赵婷婷.1998年~2006年中国耕地资源的时空变化特征[J].资源科学,2008,30(8):1191-1198.  
SHI J, ZHANG F R, ZHAO T T. Spatiotemporal changes in cultivated land area in China from 1998 to 2006[J]. Resources Science, 2008, 30(8): 1191-1198.
- [3] 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.  
YANG J, SONG Z J, LI Z. Assessment of cultivated land ecological safety based on PSR method—the case study of main grain production area of the Lower Yangtze region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(3): 301-307.
- [4] 彭文君,舒英格.喀斯特山区县域耕地景观生态安全及演变过程[J].生态学报,2018,38(3):852-865.  
PENG W J, SHU Y G. Analysis of landscape ecological security and cultivated land evolution in the Karst Mountain area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 852-865.
- [5] 袁零,杨庆媛.基于PSR框架的甘肃省环县耕地生态安全评价[J].西南师范大学学报(自然科学版),2019,44(6):60-68.  
YUAN L, YANG Q Y. Ecological security assessment of cultivated land in Huan County of Gansu Province based on PSR framework[J]. Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition), 2019, 44(6): 60-68.
- [6] 朱红波,张安录.我国耕地资源生态安全的时空差异分析[J].长江流域资源与环境,2007,16(6):754-758.  
ZHU H B, ZHANG A L. Analysis on spatial-temporal difference in ecological security of cultivated land resources in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(6): 754-758.
- [7] 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.  
LI Q, PENG W Y. Diagnosis system development and assessment on the cultivated land health in ecological fragile region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(7): 67-72.
- [8] 全川.环境指标研究进展与分析[J].环境科学研究,2000,13(4):53-55.  
TONG C. Review on environmental indicator research[J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(4): 53-55.
- [9] 张博胜,杨子生.基于PSR模型的中国人地关系协调发展时空格局及其影响因素[J].农业工程学报,2021,37(13):252-262.  
ZHANG B S, YANG Z S. Spatio-temporal pattern and its influencing factors of coordinated development of man-land relationship in China using PSR model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(13): 252-262.
- [10] 郭荣中,申海建,杨敏华.基于改进PSR模型的长株潭地区土地生态系统健康评价研究[J].环境监测管理与技术,2021,33(3):29-34.  
GUO R Z, SHEN H J, YANG M H. Studies on land ecosystem health evaluation in Chang-Zhu-tan region based on the improved PSR model[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2021, 33(3): 29-34.
- [11] 程兰花,杨德刚,张新焕,等.基于PSR模型的新疆县域耕地集约利用时空演化特征[J].干旱区研究,2018,35(2):493-502.  
CHENG L H, YANG D G, ZHANG X H, et al. Spatiotemporal evolution of intensive cultivated land use in the County-level regions in Xinjiang based on the PSR model[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(2): 493-502.
- [12] 曹银贵,周伟,袁春,等.全国城市土地集约利用评价及结果检验[J].河南师范大学学报(自然科学版),2009,37(6):34-38.  
CAO Y G, ZHOU W, YUAN C, et al. Appraisal of urban land intensive use and results contrasting test in China[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2009, 37(6): 34-38.
- [13] 王洋,董晓光,王海帆,等.基于PSR-TOPSIS模型的郑州市土地生态安全评价及障碍因子诊断[J].河南农业大学学报,2020,54(5):845-852.  
WANG Y, DONG X G, WANG H F, et al. Evaluation and obstacle factor diagnosis of land ecological security in Zhengzhou based on PSR-TOPSIS model[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2020, 54(5): 845-852.
- [14] 曹文平,刘喜坤,赵天晴,等.基于压力-状态-响应(PSR)模型的潘安湖湿地水环境健康评价[J].环境工程,2021,39(5):231-237.  
CAO W P, LIU X K, ZHAO T Q, et al. Evaluation of water environmental health of pan'an lake wetland based on pressure-state-response (psr) model[J]. Environmental Engineering, 2021, 39(5): 231-237.
- [15] 刘贤生,徐珊,张震,等.黑龙江省耕地资源安全研究[J].中国农学通报,2019,35(30):99-105.  
LIU X S, XU S, ZHANG Z, et al. Cultivated land resources in Heilongjiang: security research[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(30): 99-105.

(SCFA)-producing bacteria and methanogenic archaea, but contained a lower content of fish viruses. The results of the study showed that diet with RG could improve intestinal microbes of common carp, thereby promoting the health of common carp. The results of this study lay the foundation for the release of the mechanism of RG improve the immunity of common carp.

**Keywords:** *Rehmannia glutinosa*; common carp; intestinal microorganisms; metagenomic

[责任编辑 刘洋 杨浦]

(上接第 109 页)

## Diagnosis of ecological security of cultivated land in Henan Province based on PSR model

Deng Tunan<sup>1</sup>, Lu Chunyang<sup>2,3</sup>

- (1. Faculty of Innovation and Design, City University of Macau, Macao 999078, China; 2. School of Surveying and Urban Spatial Information, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan 467036, China;  
3. Faculty of Geomatics, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Cultivated land security is a major issue related to regional and national food security, economic development and social stability. This paper uses the analytic hierarchy process and the PSR(pressure-state-response)model to construct a cultivated land ecological security evaluation index system, and comprehensively analyzes the cultivated land security and regional differences in Henan Province from 2008 to 2018. The results showed that during the study period, the ecological security of cultivated land in Henan Province was generally poor, and the cultivated land resources of 10 prefecture-level cities were still in a critically safe state. At the same time, the index weight value reflects that the natural population growth rate, urbanization rate and cultivated land reclamation rate are the main factors of the comprehensive security index of cultivated land. In the future, it is necessary to implement differentiated cultivated land protection policies, combining with cultivated land rotation and cultivated land pilots, and explore the establishment of a scientific and effective cultivated land ecological protection compensation mechanism.

**Keywords:** cultivated land; ecological security; PSR model; diagnosis; Henan Province

[责任编辑 赵晓华 陈留院]