

焦士兴,崔思静,王安周,等. 河南省耕地生态安全预警研究[J]. 江苏农业科学,2022,50(1):182-188.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.01.033

河南省耕地生态安全预警研究

焦士兴¹, 崔思静¹, 王安周², 李中轩³, 尹义星⁴, 王雅思¹, 赵荣钦⁵

(1. 安阳师范学院资源环境与旅游学院,河南安阳 455002; 2. 洛阳市第十九中学,河南洛阳 471000;

3. 许昌学院城乡规划与园林学院,河南许昌 461000; 4. 南京信息工程大学水文气象学院,江苏南京 210044;

5. 华北水利水电大学测绘与地理信息学院,河南郑州 450046)

摘要:为保障粮食安全和耕地生态系统持续健康发展,系统反映河南省耕地生态系统的健康程度及发展状况,依托驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型构建了耕地生态安全预警评价指标体系,采用综合评价法和障碍度模型评价了河南省 2008—2018 年耕地生态安全预警 DPSIR 模型状况,并采用 GM(1,1)模型对其发展趋势进行预测。结果表明,河南省耕地生态安全预警呈增长态势,警情由中警转变为轻警,耕地生态安全整体向好发展;河南省耕地生态安全预警子系统障碍因子大小排序为压力(26.34%)>影响(20.15%)>响应(19.95%)>状态(17.68%)>驱动力(15.64%),且障碍因子存在时间差异;2019—2023 年河南省耕地生态安全预警模拟预测值呈现增长趋势,警情逐渐由轻警向无警转变。河南省应制定合理的耕地生态安全保护中短期规划,完善耕地、水资源安全储备与人口适配的预警机制。

关键词:耕地生态安全;预警;DPSIR 模型;障碍度;GM(1,1)模型;河南

中图分类号: X826;F323.22;S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)01-0182-06

不合理的耕地利用造成土地退化、地力下降、土壤污染等环境问题,间接影响农业发展并引发社会问题。在国外,耕地生态安全在影响因素^[1]、调节机制^[2]、调控管理^[3]等方面开展了研究。Salvati 等通过多因素评估,认为人口增长和土地利用变化是导致意大利土地退化的决定因素^[1]。Bender 等认为,操控土壤生物可促使耕地生态系统持续健康发展^[2]。Grimay 等认为土地资源管理对粮食安全和农业可持续发展具有重要意义^[3]。在我国,耕地生态安全研究主要集中在时空格局^[4]、阻力分析^[5]、综合评价^[6]等方面。李丹等分析了西藏“一江两河”耕地生态安全时空格局,认为 2010 年以来耕地生态安全有所改善^[4]。王燕辉等分析了河北省耕地生态安全阻力状况,认为应加强农药和化肥使用管理^[5]。张秋霞等利用状态空间模型对江西省鄱阳县耕地生态安全进行定量评价,认为其生态

安全及生态-经济-社会(EES)系统逐渐改善^[6]。

河南省作为国家粮食主产区,开展耕地生态安全预警评价对监测耕地利用状况和保障粮食安全尤为重要,但针对河南省开展耕地生态安全预警研究相对薄弱。基于此,依据驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型,构建了河南省耕地生态安全预警评价指标体系,采用熵权法对其预警进行定量评价,利用障碍度模型分析其主要障碍因子,运用 GM(1,1)模型预测 2019—2023 年的警情发展趋势,并提出了针对性的政策建议,以期促进河南省耕地生态系统健康持续发展。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

河南省是全国人口大省和农业大省,人均耕地面积为 $8.12 \times 10^5 \text{ hm}^2$,以旱地和水浇地为主,集中于南阳盆地、黄淮海平原。2008—2018 年河南省耕地面积呈现波动减少趋势,尤其是 2009—2015 年耕地面积由 $8.19 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 减少到 $8.11 \times 10^5 \text{ hm}^2$,造成耕地生态安全存在数量隐患;河南省化肥和农膜地均使用量分别由 2008 年的 759.08、16.49 kg/hm² 增加到 2018 年的 849.19、18.73 kg/hm²,引起耕地生态安全质量隐患。因此建立河南省耕

收稿日期:2021-05-14

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(编号:21A170001);河南省大学生创新创业训练计划(编号:202110479039);安阳市 2020 年科技发展计划(编号:编号:101);安阳师范学院大学生创新基金(202110479039)。

作者简介:焦士兴(1970—),男,河南周口人,博士,教授,主要从事水资源和水环境研究。E-mail:jiaoshixing@163.com。

地生态安全预警机制显得尤为重要。

1.2 数据来源

本研究所用数据包括人口自然增长率、化肥使用强度、人均粮食占有量、粮食单产、水土流失治理面积等 20 个指标(表 1)。其中人口自然增长率、化肥使用强度、人均粮食占有量、粮食单产、第一产业从业人员比重等社会经济数据来自《河南统计年鉴》(2009—2019 年);水土流失治理面积等数据来自国家统计局国家数据官网,或依据有关资料整理获得。

表 1 河南省耕地生态安全预警评价体系

目标层	标准层	指标代码	指标层	权重	属性
耕地生态安全预警	驱动力	D ₁	人口自然增长率(‰)	0.037	—
		D ₂	人口密度(人/km ²)	0.062	—
		D ₃	GDP 增长率(%)	0.027	—
		D ₄	城镇化率(%)	0.043	+
	压力	P ₁	化肥使用强度(kg/hm ²)	0.073	—
		P ₂	农药使用强度(kg/hm ²)	0.085	—
		P ₃	地膜使用强度(kg/hm ²)	0.054	—
		P ₄	土地垦殖率(%)	0.018	+
	状态	S ₁	人均粮食占有量(kg/人)	0.047	+
		S ₂	灌溉保证率(%)	0.038	+
		S ₃	耕地复种指数(%)	0.053	+
		S ₄	水土协调度(%)	0.056	+
	影响	I ₁	粮食单产(kg/hm ²)	0.057	+
		I ₂	农电集约度(kW·h/hm ²)	0.036	+
		I ₃	单位耕地农业机械动力(kW/hm ²)	0.066	+
		I ₄	人均 GDP(元)	0.049	+
	响应	R ₁	水土流失治理面积(hm ²)	0.043	+
		R ₂	第一产业从业人员比重(%)	0.043	+
		R ₃	第三产业占 GDP 比重(%)	0.054	+
		R ₄	水利、环境和公共设施管理业投资比重(%)	0.059	+

1.3 预警指标体系构建

耕地生态安全预警是耕地生态状况的有效反馈,通过构建生态安全预警体系,能够量化和界定生态安全预警值和警情阈值,从而实现生态安全警情的监督、预测,达到降低风险、减少损失的目标。DPSIR 模型能够准确分析耕地生态系统的结构变动,量化社会经济与自然环境系统之间的制约和影响,系统反映耕地生态系统的健康程度及发展状况。DPSIR 模型包括驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)和响应(R)5 个子系统。其中,驱动力是间接引起生态系统变化的社会经济因素,包括人口自然增长率等;压力是生产生活对生态系统直接改造的显性呈现,包括化肥使用强度等;状态是在驱动力和压力系统共同作用下生态系统的状态变化,包括人均粮食占有量等;影响是社会经济因素在生态系统状态变化下的相应改变,包括粮食单产等;响应是促进耕地可持续发展的措施,包括水土流失面积等指标。

因此,在参考相关研究成果^[7-9]基础上,结合 DPSIR 模型并综合考虑耕地数量、质量等因素,基于数据科学性、可获得性和代表性原则,结合河南省耕地资源利用现状,构建了包括驱动力等 5 个准则层、人口自然增长率等 20 个具体指标的耕地生态安全预警指标体系(表 1)。

1.4 预警值计算与判别标准

首先采用极差法得到标准化处理后的预警数据(y_{ij}),然后采用熵权法得到预警指标客观赋权值(w_j)^[10],再通过综合指数法测算耕地生态安全预警值(F_i),其后依据标准进行警情划分。警情等级标准如下:巨警 $0 \leq F < 0.2$,重警 $0.2 \leq F < 0.4$,中警 $0.4 \leq F < 0.6$,轻警 $0.6 \leq F < 0.8$,无警 $0.8 \leq F < 1.0$ ^[9,11]。其计算公式如下:

$$F_i = \sum_{j=1}^n w_j \times y_{ij} \quad (1)$$

式中: F_i 表示耕地生态安全预警值; w_j 为第 j 个指标权重; y_{ij} 是标准化后地指标值。

1.5 障碍度模型

障碍度模型能够对影响耕地生态安全的因素进行诊断,从而测算各预警指标对耕地生态安全的影响情况^[12]。依据指标因子贡献度、指标偏离度进行计算,公式如下:

$$O_{ij} = (W_i \times I_i) / \left(\sum_{i=1}^n W_i \times I_i \right) \times 100\%, I_i = 1 - y_{ij} \quad (2)$$

式中: O_{ij} 为障碍度; W_i 为因子贡献度,即指标权重; I_i 为指标偏离度。

1.6 警情演变趋势预测方法

GM(1,1) 预测模型是通过少量样本建模,剔除样本数据中的无律变化,可以较为准确地预测目标的发展趋势^[13]。因此,运用灰色 GM(1,1) 模型对 2019—2023 年河南省耕地生态安全预警值进行模拟预测^[9,13-15]。

2 结果与分析

2.1 河南省耕地生态安全警情评价

2.1.1 河南省耕地生态安全预警分析 根据公式(1),计算得到 2008—2018 年河南省耕地生态安全的总预警值。如图 1 所示,河南省耕地生态安全呈现良好的发展态势。耕地生态安全预警值呈现波动上升趋势,由 2008 年的 0.466 增至 2018 年的 0.682,表明警情由中警转为轻警;2013 年为最低值 0.332,表明耕地生态安全警情较严重;2018 年为最高值 0.682,表明耕地生态安全警情有所缓解。2013 年河南省水资源量为 2008—2018 年内低值 ($2.15 \times 10^{11} \text{ m}^3$),使得灌溉保障率和水土保持率达到研究期间低值,分别为 61.04% 和 26.44%,2008—2013 年平均下降率为 3.02% 和 43.57%,对耕地生态安全造成威胁;至 2013—2018 年,河南省响应“十二五”规划“促进生态保护和修复”的重要要求,以绿色生态导向加大耕地污染治理资金投入,使得耕地生态安全警情不断缓解。

2.1.2 河南省耕地生态安全子系统预警分析 根据公式(1),计算得到 2008—2018 年河南省耕地生态安全驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)、响应(R)5 个分量的预警值(图 1)。

河南省耕地生态安全驱动力缓慢发展。2008—2018 年驱动力预警值呈现波动增长趋势,表明驱动

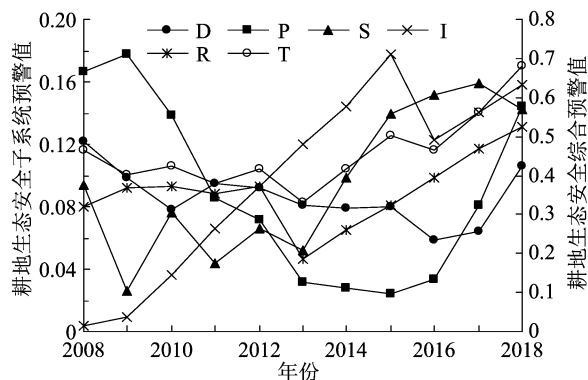


图1 河南省耕地生态安全预警值

力促进了耕地生态安全;2010 和 2016 年为 2008—2018 年内较低值,表明驱动力对耕地生态安全带动作用不明显。由于河南省 2010 年人口密度和 2016 年人口自然增长率为高值,分别达到 625 人/ km^2 和 6.15‰,人口增长对耕地生态造成压力,导致驱动力预警值有所降低。因此,河南省应加强人地适配、科学发展,加快推进新型城镇化建设,促进耕地集约化管理,以发挥社会经济良性发展对耕地生态的带动作用^[16]。

河南省耕地生态安全压力不断缓解。2008—2018 年压力预警值呈“U”形变化,其变化可分为 2 个阶段,其中 2008—2015 年呈下降趋势,表明耕地生态压力增加;2016—2018 年呈上升趋势,表明河南省耕地生态压力逐渐缓解。2008—2015 年,由于化肥使用强度和农药使用强度呈持续增加趋势,对耕地生态安全产生较大的压力。随着农业部颁布《农业资源与生态环境保护工程规划(2016—2020 年)》办法,河南省积极响应国家农业发展规划,推进保护性耕作、增施有机肥,耕地生态安全压力得以有效缓解。

河南省耕地生态安全状态不断好转。状态预警值由 2008 年的 0.094 增加到 2018 年的 0.142,呈现波动增长趋势,反映了耕地生态安全呈现向好状态;其中 2013—2016 年增幅最大,并且灌溉保证率和耕地复种指数较快增长,保障了耕地生态系统安全。

河南省耕地生态安全影响和响应不断改善。影响预警值呈“N”形增长趋势,2015 年为峰值 0.177,表明耕地生态安全呈现较好影响。由于 2015 年单位耕地农业机械动力为 2008—2018 年内最大值 14.45 kW/hm^2 ,且 2015 年较 2014 粮食单产增长率较大,为 5.75%,使得耕地生态安全状态相应较好。图 1 表明,响应预警值呈现波动上升趋势,

大致分为 2 个阶段:2008—2013 年波动下降,2013—2018 年持续上升,表明耕地生态安全响应由被动向主动转变。2008—2013 年,水土流失治理面积年均减少率为 25.56%,引起耕地生态安全预警有所下降,不利于耕地生态安全发展;2013 年以来,由于第三产业占国内生产总值(GDP)比重与水利、环境和公共设施管理业投资比重等持续增加,促使耕地生态安全趋向可持续发展。

2.2 河南省耕地生态安全障碍因子分析

2.2.1 河南省耕地生态安全子系统障碍因子分析

根据公式(2),计算得到 2008—2018 年河南省耕地生态安全的驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)、响应(R)5 个子系统障碍度(图 2)。

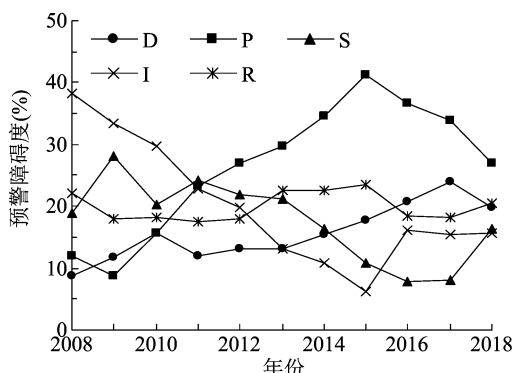


图2 河南省耕地生态安全子系统预警障碍度

河南省耕地生态安全警情受压力和影响子系统的影响较大,但单个因子的制约作用逐渐减小。整体来看,2008—2011 年影响系统的障碍度最大,表明影响系统对于耕地生态安全的影响较大,2011—2018 年压力系统障碍度最大,则表明压力系统影响较大。从障碍度年均值来看,压力(26.34%) > 影响(20.15%) > 响应(19.95%) > 状态(17.68%) > 驱动力(15.64%)。因此,控制压力因素对于促进耕地生态系统健康运行具有重要作用。

河南省耕地生态安全警情受到压力子系统的影响呈现逐渐降低趋势。压力子系统障碍度随年份的变化大致可分 2 个阶段:2008—2015 年呈现上升趋势,由 2008 年的 11.96% 增至 2015 年的 41.32%;2015—2018 年逐年下降,最终减至 2018 年的 26.85%,表明压力子系统对耕地生态安全的影响由支配向被动发展。由于 2015 年以来,一方面农药使用强度因子的障碍度持续下降,另一方面城镇化提速产生了农业生态质量效益,间接减少了农业化学投入^[17],使得河南省压力子系统的障碍度降低。

河南省耕地生态安全警情受到驱动力和响应子系统的影响呈缓慢增加趋势。驱动力子系统障碍度呈不断上升趋势,由 2008 年的 8.77% 增长到 2018 年的 19.76%,表明耕地生态安全警情受驱动力子系统的影响加深。这主要由于 2008—2018 年河南省人口的不断发展,表现为人口自然增长率和人口密度因子的障碍度不断增加。图 2 表明,2008—2018 年响应子系统障碍度较为平缓上升,2013—2015 年较为稳定增长,说明耕地生态安全警情的变化受响应子系统的影响持续增大。由于 2013—2015 年水土流失因子和第一产业从业人员的障碍度分别由 2013 年的 6.49% 和 3.93% 增长到 2015 年的 6.51% 和 5.94%;并且“十二五”规划以来,河南省促进水土匹配、加强生态示范,以政策导向切实保护耕地资源,使河南省响应子系统障碍度持续增长。

河南省耕地生态安全警情受到影响、状态子系统的作用呈现增加趋势。2008—2018 年影响子系统障碍度呈现由直线下降向缓慢上升转变,分 2 个阶段:2008—2015 年持续下降,表明耕地生态安全警情受影响子系统影响减少;2015—2018 年波动上升,表明影响子系统对耕地生态安全警情影响加深。由于 2008—2015 年粮食单产、农电集约度、单位耕地农业机械动力和人均 GDP 因子障碍度呈直线下降趋势,使得影响子系统障碍度下降,但 2015—2018 年单位耕地农业机械动力因子的障碍度由零值增长为 15.73%,使得影响子系统的障碍度有所增加。图 2 表明,2008—2018 年状态子系统障碍度呈现先下降后上升的波动增长趋势,在 2008—2016 年波动下降,2016—2018 年不断上升,表明状态子系统对耕地生态安全的影响由减小向增加转变。由于 2016 年后河南省水土协调度和耕地复种指数因子的障碍度持续增加,至 2018 年分别增加了 5.05% 和 4.35%,使得状态子系统的障碍度增加。

2.2.2 指标层障碍因子分析 根据公式(2),计算河南省耕地生态安全预警指标体系中的指标障碍度(O)。依据耕地预警指标进行障碍因子排序,其中排名前 6 因子障碍度之和超过 50%,因此选取前 6 位作为主要障碍因子进行分析(表 2)。

依据表 2,统计河南省 2008—2018 年偶数年份的前 6 个障碍因子频数,得到耕地生态安全的主要障碍因子,结合指标频数和障碍度之和排序为农药

表 2 河南省耕地生态安全指标层预警障碍因子

排序	2008 年		2010 年		2012 年		2014 年		2016 年		2018 年	
	因子	O(%)	因子	O(%)	因子	O(%)	因子	O(%)	因子	O(%)	因子	O(%)
1	I ₃	12.33	P ₂	9.65	P ₂	12.77	P ₂	16.20	P ₂	13.47	D ₂	19.52
2	R ₄	10.98	I ₁	9.16	I ₄	8.21	P ₁	14.63	P ₁	13.40	P ₁	16.61
3	R ₃	10.15	R ₃	8.61	S ₄	8.14	D ₂	10.14	I ₃	11.04	I ₃	15.73
4	I ₁	9.96	S ₃	8.85	P ₁	8.03	P ₃	9.12	D ₂	10.21	R ₂	12.72
5	I ₄	9.26	I ₃	8.84	S ₃	7.43	S ₄	8.70	P ₃	8.78	S ₄	10.76
6	S ₁	8.80	I ₄	7.25	D ₂	6.67	R ₄	8.26	D ₁	6.87	P ₃	9.16
7	其他	38.52	其他	47.64	其他	48.75	其他	32.95	其他	36.23	其他	15.50

使用强度(P₂)4 次、化肥使用强度(P₁)4 次、人口密度(D₂)4 次、单位耕地农业机械动力(I₃)4 次、人均 GDP(I₄)3 次、地膜使用强度(P₃)3 次。

河南省压力子系统对耕地生态安全预警影响较大。农药使用强度在 2014 年达到高值 16.20%，表明农药使用强度使得耕地生态安全预警值降低；化肥使用强度在 2018 年达到高值 16.61%，表明化肥使用强度促使耕地生态安全预警值降低；地膜使用强度在 2018 年达到高值(9.16%)，表明地膜使用强度一定程度上导致了耕地生态安全的预警值下降。因此，河南省应当提高农药、化肥利用效率，防治农膜污染，以减轻耕地系统的污染负荷，促使耕地生态生态系统良性发展。

河南省驱动力子系统对耕地生态安全预警存在引导作用。人口密度在 2018 年达到 2008—2018 年内较高值(19.52%)，表明人口密度导致耕地生态安全的预警值降低。河南省人口密度的持续增加不利于耕地生态安全稳定发展，一方面导致区域内建设用地增加^[18]；另一方面粮食单产需求增加，使得化肥、农药的使用更加依赖，从而影响了耕地资源的数量和质量安全。

河南省影响子系统对耕地生态安全预警作用较大。单位耕地农业机械动力在 2018 年达到 2008—2018 年内较高值(15.73%)，表明单位耕地农业机械动力使得耕地生态安全的预警值增加；人均 GDP 在 2008 年达到高值(9.26%)，表明人均 GDP 使得耕地生态安全的预警值增加。

2.3 河南省耕地生态安全警情趋势演变

由于相邻信息建模适用于短期预测，在 GM(1,1) 模型达到建模数据光滑性和较高预测精度要求的基础上，根据河南省耕地生态安全预警较平稳的发展状态^[19]，选用与预测年份接近的 2010—2018 年作为初始值，对 2019—2023 年耕地

生态安全预警值进行 5 年短期预测，得到预测值的平均相对误差为 0.095 9，小于 0.1，说明模型预测结果适用^[15]。

河南省耕地生态呈现良性发展趋势。河南省耕地生态安全预警值在 2019—2023 年分别为 0.687 0、0.752 1、0.823 4、0.901 4、0.986 9，即耕地生态安全预警值呈现增长趋势，耕地生态安全警情逐渐由轻警向无警转变，这表明耕地生态安全态势向好。因此，河南省一方面应当继续推进城镇化建设，加快耕地集约化发展和农产品质量效益提升，从而促进耕地可持续利用；另一方面，河南省作为粮食生产大省，应当继续响应“十九大”生态文明建设的号召，积极落实“十四五”规划中“生态文明建设实现新进步”目标部署，切实保障耕地生态安全 和国家粮食安全。

3 研究结论

河南省耕地生态安全呈现良好的发展态势，预警值呈现增长趋势，警情由“中警”转变为“轻警”；耕地生态安全预警子系统发展存在差异，其中耕地生态安全驱动力缓慢发展，驱动力子系统呈波动增长趋势；耕地生态压力不断缓解，压力子系统呈“U”形变化；耕地生态状态不断好转，状态子系统呈现波动增长趋势；耕地生态安全影响和响应不断改善，影响子系统呈“N”形增长、响应子系统呈波动上升趋势。

河南省耕地生态安全警情受压力和影响子系统的影响较大，且单个耕地生态安全子系统的制约作用有限；从耕地生态安全预警子系统来看，压力(26.34%)>影响(20.15%)>响应(19.95%)>状态(17.68%)>驱动力(15.64%)，压力障碍度逐渐降低，由 2015 年峰值(41.32%)持续下降到 2018 年的 26.85%，驱动力和响应障碍度趋于增加，分别由

2009 年的 11.84% 和 17.90% 增加到 2018 年的 19.76% 和 20.57%, 影响和状态障碍度呈先下降后增长变化; 从耕地生态安全预警指标来看, 前 6 个主要障碍因子结合指标频数和障碍度之和排序为农药使用强度 (P_2)、化肥使用强度 (P_1)、人口密度 (D_2)、单位耕地农业机械动力 (I_3)、人均 GDP (I_4)、地膜使用强度 (P_3)。

运用 GM(1,1) 模型对 2019—2023 年耕地生态安全预警值进行预测, 得到预测值的平均相对误差为 0.095 9, 小于 0.1, 说明模型预测结果适用^[15]; 河南省耕地生态呈现出良性发展趋势, 2019—2023 年预警值分别为 0.687 0、0.752 1、0.823 4、0.901 4、0.986 9, 即耕地生态安全预警值呈现增长趋势, 耕地生态安全警情逐渐由轻警向无警转变。

4 政策建议

河南省应保持耕地生态安全良好发展态势, 建立耕地保护奖励机制, 积极响应以绿色生态为导向, 以农业政策措施倒逼耕地生态保护。针对耕地生态安全预警的 5 个子系统: 在驱动力方面, 河南省应积极配置人地协调科学发展, 加快城镇化发展, 促进耕地集约化发展, 以质量效应减少化学投入。在压力方面, 河南省应加强化肥使用效率提升的技术转化, 同时宣传推广有机肥的科学施用, 缓解耕地生态压力。在状态方面, 河南省应落实耕地资源和水资源储备, 减少耕地生态安全隐患。在影响方面, 河南省应当继续发挥机种机收的优势, 促进农业集约化发展和农民增产增收。在响应方面, 河南省应加快实施保护性耕作措施, 加强耕地污染治理和环境管理的资金投入, 推进耕地生态安全趋向可持续发展。

综合河南省耕地生态安全预警子系统和指标障碍度情况, 应从 5 个子系统方面采取针对性对策。河南省要减小压力子系统的障碍度, 控制耕地系统的污染负荷, 缓解耕地生态压力, 促进耕地生态系统健康运行; 要提高影响子系统障碍度, 应优化耕地资源配置, 积极寻求粮食安全和耕地可持续发展的平衡; 应促进响应子系统障碍度, 加大耕地生态资金和绿色技术投入; 应保持并提升状态子系统障碍度, 完善水利设施, 保持粮食产量稳定; 应降低驱动力子系统中耕地生态安全的不利因素, 科学合理调控人口密度, 并促进城镇化发展, 以发挥有利于耕地生态安全的优势。

依据河南省耕地生态安全预警值预测情况, 应从发展规划、安全预警、农业发展和区域协调方面采取措施。在发展规划方面, 河南省应加强耕地生态安全的中短期发展规划, 并建设耕地生态安全长期发展目标, 完善耕地生态环境的规划管理, 为耕地生态安全持续健康发展保驾护航; 在安全预警方面, 应加强耕地安全储备, 促进耕地后备资源管理, 完善人口和耕地适配的预警机制; 在农业发展方面, 应加强粮食品牌建设, 促进粮食转化加工, 促进农民提收和农业可持续发展; 在区域协调方面, 应全面新型城镇化发展, 建立农业耕地生态安全示范区, “以点带面” 促进区域经济和耕地生态协调发展。

参考文献:

- [1] Salvati L, Zitti M. Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis [J]. *Ecological Indicators*, 2009, 9(2): 357–363.
- [2] Bender S F, Wagg C, van der Heijden M G A. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2016, 31(6): 440–452.
- [3] Girmay G, Singh B R, Mitiku H, et al. Carbon stocks in Ethiopian soils in relation to land use and soil management [J]. *Land Degradation & Development*, 2008, 19(4): 351–367.
- [4] 李 丹, 田沛佩, 罗红英, 等. 西藏“一江两河”耕地生态安全时空格局与障碍诊断 [J]. *农业机械学报*, 2020, 51(10): 213–222.
- [5] 王燕辉, 陈 卓, 曹 禹, 等. 河北省近 20 年耕地生态安全动态变化及阻力分析 [J]. *水土保持研究*, 2017, 24(1): 194–199, 206.
- [6] 郑媛媛, 余 敦, 孙聪康, 等. 基于状态空间模型的耕地生态安全评价: 以江西省鄱阳县为例 [J]. *水土保持研究*, 2020, 27(3): 218–224, 237.
- [7] 李 政, 何 伟, 潘洪义, 等. 基于熵权 TOPSIS 法与 ARIMA 模型的四川省耕地生态安全动态预测预警 [J]. *水土保持研究*, 2018, 25(3): 217–223, 2.
- [8] 张秋霞, 张合兵, 刘文锴, 等. 新郑市耕地生态安全动态预警研究 [J]. *水土保持研究*, 2017, 24(1): 256–264.
- [9] 麦丽开·艾麦提, 满苏尔·沙比提, 张雪琪. 叶尔羌河平原绿洲耕地生态安全评价及预警分析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(7): 135–144.
- [10] 曲洋洋, 吕儒云, 杨剑锋, 等. 基于 PSR 和 G(1,1) 模型的株洲市水生态安全评价研究 [J]. *水利规划与设计*, 2020(12): 69–72, 113.
- [11] 徐成龙, 程 钰, 任建兰. 黄河三角洲地区生态安全预警测度及时空格局 [J]. *经济地理*, 2014, 34(3): 149–155.
- [12] 朱乾隆. 长江经济带耕地生态安全评价及障碍因子诊断 [D].

邵 蕾,徐 皓,王文飞,等. 秸秆还田对东北地区畜禽养殖发展潜力的影响[J]. 江苏农业科学,2021,50(1):188-194.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.01.034

秸秆还田对东北地区畜禽养殖发展潜力的影响

邵 蕾,徐 皓,王文飞,孙 玮,王圣伟,周永馨,王丽霞

(中国农业大学烟台研究院,山东烟台 264670)

摘要:通过测算 2018 年东北地区农作物粪肥氮、磷养分需求量以及粪污和秸秆氮、磷养分供给量,比较秸秆还田与不还田情况下的畜禽粪污土地承载力和畜禽养殖发展潜力,为优化东北地区农牧业生产布局、实现种养平衡提供参考依据。结果表明,2018 年东北地区畜牧业养殖规模折合为 10 392.02 万猪当量。秸秆不还田情况下,东北地区畜禽粪污氮、磷土地承载力分别为 34 027.79 万、42 513.44 万猪当量,畜禽粪污氮、磷土地承载力指数 I_N 、 I_P 分别为 0.31、0.24,可增加养殖量 23 635.76 万(以氮为基准)、32 121.43 万(以磷为基准)猪当量;所有地级市都具备增加养殖规模的潜力。秸秆还田输入土地氮(163.84 万 t)、磷(26.25 万 t)分别降低畜禽粪污氮、磷土地承载力 24 586.11 万、29 836.47 万猪当量, I_N 、 I_P 分别提高为 1.10、0.82;以氮为基准须减少 950.34 万猪当量,21 个地级市须减少养殖规模;以磷为基准可增加 2 284.95 万猪当量,9 个地级市须减少养殖规模。

关键词:土地承载力;畜禽粪污;秸秆还田;猪当量

中图分类号:X712;X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)01-0188-07

近年来国家逐步实施“南畜北移”战略,我国畜牧业养殖布局整体呈现出由南向北移动的趋势^[1]。东北地区(黑龙江省、吉林省、辽宁省)耕地面积为 25.6 万 km²,消纳畜禽粪污的潜力强^[2];同时又是我国重要的粮食主产区,可就地获取饲料,降低养殖成本^[3]。东北地区自 2015 年推行粮改饲政策以来,逐步建立以养带种、农牧结合的循环农业模式;2017 年原农业部下发《关于加快东北粮食主产区现

代畜牧业发展的指导意见》,指出东北地区是我国畜禽养殖的重点潜力增长区,通过构建新型种养关系、推动绿色发展加快东北粮食主产区现代畜牧业发展,于 2025 年基本实现种养结合、农牧循环的现代化畜牧业^[4]。东北地区作物秸秆资源丰富,2016 年主要农作物的秸秆资源量约 13 600 万 t^[5]。东北地区是我国秸秆焚烧的重灾区,2017 年秸秆火点总计 8 714 个,占全国的 79.43%^[6]。2017 年原农业部下发的《东北地区秸秆处理行动方案》明确提出将秸秆还田作为秸秆综合利用的首要途径,2020 年东北地区争取秸秆综合利用率达 80% 以上^[7]。《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》(简称《指南》)旨在优化调整各地畜牧业区域布局,加快推进畜禽粪污资源化利用,促进农牧结合、种养循环农业发展^[8]。《指南》以农作物粪肥养分需求量与畜禽粪

收稿日期:2021-04-07

基金项目:山东省重点研发计划(编号:Z201901);中国农业大学烟台研究院科研项目(编号:YT201909、YT201902);山东省烟台市级地融合发展项目(编号:2019XDRHXMXX25)。

作者简介:邵 蕾(1980—),男,山东文登人,博士,副教授,主要从事农业有机废弃物的资源化利用研究。E-mail:shao1980lei@163.com。

合肥:安徽农业大学,2019:25-26.

[13] 马年圣,支晓娟,宋雨婷. 基于 PSR 和 GM(1,1)模型的西藏耕地生态安全评价与预测[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(11): 81-86.

[14] 韩 磊,潘玉君,高庆彦,等. 基于 PSR 和无偏 GM(1,1)模型的云南省耕地生态安全评价与预测[J]. 生态经济,2019,35(2): 148-154.

[15] 王美娜,杨孝斌. 基于 GM(1,1)的贵州省 GDP 预测及产业结构的灰色关联分析[J]. 数学的实践与认识,2021,51(4):180-188.

[16] 祝 伟,王瑞梅. 城镇化对耕地利用强度的影响及中介效应分析[J]. 中国农业大学学报,2021,26(4):213-224.

[17] 栾 健,韩一军. 城镇化会加剧化肥面源污染吗:基于门槛效应与空间溢出的双重视角[J]. 中国农业大学学报,2020,25(5): 174-186.

[18] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等. 我国耕地变化驱动力研究进展:驱动因子与驱动机理[J]. 中国农业资源与区划,2020,41(7): 21-30.

[19] 侯瑞环,徐翔燕. 基于改进 GM(1,1)模型的中长期人口预测[J]. 统计与决策,2021,37(1):186-188.