

河南省耕地多功能权衡-协同关系与分区管制研究

赵素霞¹ 李珍珍¹ 王兵²

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000; 2. 河南省国土空间调查规划院, 郑州 450016)

摘要: 研究耕地多功能权衡协同关系对于保护耕地资源、确保粮食安全、维护生态安全及推动乡村振兴等具有重要意义。本文以河南省 105 个县(市)为研究对象,采用 Spearman 秩相关分析法、K-means 聚类分析法等方法,对河南省 2000—2020 年耕地多功能水平及其权衡协同关系进行研究。研究表明,2000—2020 年,河南省耕地多功能指数整体呈上升趋势,呈现“东高西低”的空间格局,且各功能之间呈现出不同的时空分异特征,东部地区粮食生产功能强而西部生态服务功能优,经济贡献功能整体呈下降趋势,社会保障功能虽弱却逐年提升;耕地多功能权衡与协同关系时空差异变化显著,多功能间的相互作用表现出协同减弱与权衡加剧的特点,尤其是粮食生产与经济贡献功能、生态服务功能之间的权衡关系显著;结合耕地主导功能类型和多功能耦合协调特征,将河南省划分为现代农业示范区、城市农业休闲区、生态农业建设区、现代农业建设区 4 个多功能类型区,并提出了差别化的管制措施。研究结果对于指导粮食主产区耕地的合理配置以及提高耕地多元化利用效率具有理论和实践意义。

关键词: 耕地多功能; 权衡-协同关系; 分区管制; 河南省

中图分类号: F323.211

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)11-0363-12

OSID:



Trade-off and Synergy Relationships and Regional Regulation of Multifunctional Cultivated Land in Henan Province

ZHAO Suxia¹ LI Zhenzhen¹ WANG Bing²

(1. College of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

2. Henan Institute of Land and Resources Surveying and Planning, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: The research on the trade-off synergy relationship of multifunctional cultivated land is of great significance for protecting cultivated land resources, ensuring food security, maintaining ecological security, and promoting rural revitalization. Taking 105 counties in Henan Province as the research object, and methods such as Spearman rank correlation analysis and K-means clustering analysis were used to study the multifunctional level of cultivated land in Henan Province from 2000 to 2020 and its trade-off and synergy relationship. The results showed that from 2000 to 2020, the multifunctional index of cultivated land in Henan Province showed an overall upward trend, showing a spatial pattern of “high in the east and low in the west”, and different spatiotemporal differentiation characteristics were observed among various functions. The grain production function in the eastern region was strong, while the ecological service function in the western region was excellent. The overall economic contribution function was declining, and although the social security function was weak, it was gradually improving. The spatiotemporal differences in the trade-off synergy relationship of multifunctional cultivated land were significant, and the interactions between multiple functions showed a characteristic of weakened synergy and intensified trade-offs, especially the significant trade-off between food production and economic contribution functions, as well as ecological service functions. Based on the dominant functional types of cultivated land and the characteristics of multifunctional coupling coordination, Henan Province was divided into four types of functional zones: modern agricultural demonstration zone, urban agricultural

收稿日期: 2024-06-26 修回日期: 2024-07-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(42271283)、河南省软科学研究计划项目(242400410499)和省财政土地类科研项目(豫国土资发[2018]125号-1)

作者简介: 赵素霞(1980—),女,副教授,博士,主要从事耕地资源利用与保护研究,E-mail: zhaosuxia@163.com

通信作者: 王兵(1979—),男,正高级工程师,主要从事国土空间规划和土地资源利用研究,E-mail: 49175635@qq.com

leisure zone, ecological agricultural construction zone, and modern agricultural construction zone, and differentiated control measures were proposed. The research result had certain theoretical and practical significance for guiding the rational allocation of cultivated land in major grain producing areas and improving the efficiency of diversified utilization of cultivated land.

Key words: multifunction of cultivated land; trade-off and synergy relationship; regional regulation; Henan Province

0 引言

耕地作为高度耦合的社会-经济-生态复合系统,为人类生存和发展提供基础的物质保障,还承载着生态保持、景观美化、文化传承、经济产出和社会福祉等多种功能,是区域高质量发展的基础性资源和战略性条件^[1]。然而,随着居民膳食水平提高和生态文明建设的不断深入,耕地传统的生产功能已经难以满足人们日益增长的需求,耕地功能已逐渐朝着多元化发展目标转变^[2]。随着耕地多功能的显化,推动耕地多功能协调发展成为耕地保护的新途径^[3],对于指导耕地管护、促进区域耕地高质量发展具有重要理论及现实意义。

从国外研究来看,学者们对于耕地多功能的研究大部分集中在生态与环境保护、景观功能和政策设计等方面^[4-7],多以农场和村庄为研究尺度,探索如何在维持农业生产的同时,保护和提升耕地的生态服务价值。随着中国城镇化进程的加速,国内学术界对耕地多功能的研究重心已逐渐从耕地多功能的内涵^[8]、分类与保护^[9-10]、功能评价^[11-17]等,转向耕地多功能指标体系的构建^[18]、驱动因素分析^[19-24]、权衡与协同分析^[19,25-30]、空间格局及演变^[27,31]、功能分区^[2,14,25-26,29]等。从研究尺度上来看,已有研究主要聚焦于全国、省、市级尺度^[32-33],揭示了耕地多功能的宏观演变规律,但以县域尺度为研究单元的相对匮乏,尤其是对于权衡与协同关系随时间变化的动态分析尚不充分。而县域尺度作为连接宏观政策与微观实践的关键层级,不仅能确保政策落地的适配性和管理的精准性,而且在数据获取与分析上更具可行性,因此,立足县域尺度开展研究,对耕地多功能的演变进行精细化评价及分区显得至关重要。此外,在耕地多功能类型分区及管制措施方面,已有研究多以耕地多功能综合评价指数高低为依据来划分耕地功能分区,但将耕地多功能耦合协调关系与耕地功能分区及管理相结合的分区方法尚需进一步探索。

鉴于此,本文以河南省 105 个县(市)为研究对象,综合运用 Spearman 秩相关分析法和空间自相关等方法对河南省 2000—2020 年耕地多功能进行评价,揭示其在空间格局的差异性和权衡协同关系特

征,并提出针对性的分区管制策略,旨在为耕地多功能管理提供新的视角,同时为耕地多功能协调发展和空间合理布局提供实施路径和理论指导,以促进耕地资源的可持续利用和农业的绿色发展。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

河南省位于黄河中下游,地势西高东低,总面积 $1.67 \times 10^5 \text{ km}^2$,大部分地处暖温带,适合多种农作物种植。河南作为中国农业大省,被定位为“大国粮仓”,其农业对国家粮食安全至关重要。2021 年,河南省耕地面积为 $7.488\ 15 \times 10^6 \text{ hm}^2$,总播种面积达 $1.474\ 1 \times 10^7 \text{ hm}^2$,粮食产量仅次于黑龙江省,居全国第 2 位。然而,目前耕地单一的农产品生产功能已不适应河南省实际发展需要,必须重新审视耕地功能,正视耕地生产、经济、生态和社会保障等复合价值,按照新的价值体系诊断耕地利用存在的问题,重构耕地有效利用与合理保护的规则,倡导耕地多功能价值观,为河南省建设农业强省提供强有力的支撑。

1.2 数据来源与处理

本研究数据主要来源于 2001—2021 年《河南省统计年鉴》以及各地市统计年鉴。河南省县级行政区划以 2020 年为准,由于市辖区的耕地面积较小,本研究将各市的市辖区剔除,只保留县级市与县域,最终确定 105 个县(市)为评价单元,部分缺失数据通过线性插值法补齐,地理数据来自 CTAmap (<https://www.shengshixian.com/>)。

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建

耕地作为农业最基本的生产资料,经济、社会、生态是耕地的基本属性,但是伴随人类需求转变与认知程度的提高,传统的三功能分类方式已经不能完全适应目前的社会问题研究。从耕地利用主体需求视角,以国家粮食安全战略为目标,结合粮食主产区耕地利用特点,遵循科学性、可获得性、针对性与前瞻性,且能够动态反映耕地多功能性的综合价值及演变趋势的原则,从县域尺度构建“粮食生产-经济贡献-社会保障-生态服务”四位一体的耕地多功能评价指标体系(表 1)。

表 1 河南省耕地多功能评价指标及其权重

Tab.1 Multifunctional evaluation indicators and weights for cultivated land in Henan Province

功能类别	评价指标	属性	指标释义	权重
粮食生产功能	粮食单产水平(kg/hm ²)	+	粮食总产量与粮食作物播种面积比	0.068 9
	粮食自给率(%)	+	粮食产量与常住人口比乘以 400 kg/人(联合国设置的国际粮食安全标准线为 人均 400kg/人)	0.070 5
	土地垦殖率(%)	+	年末地区耕地总面积与地区土地总面积百分比	0.128 7
	复种指数(%)	+	农作物播种面积与耕地总面积比	0.056 9
经济贡献功能	耕地地均农业产值(万元/hm ²)	+	农业总产值与耕地总面积比	0.098 2
	耕地国民经济贡献指数(%)	+	农业总产值与 GDP 百分比	0.067 5
	经济作物占农作物播种面积比例(%)	+	经济作物播种面积与农作物播种总面积百分比	0.051 8
	耕地家庭经济贡献能力(%)	+	人均农业产值与农民人均可支配收入比	0.037 5
生态服务功能	单位耕地面积农药施用强度(kg/hm ²)	-	农药施用量与耕地面积比	0.035 4
	单位耕地面积化肥施用强度(kg/hm ²)	-	化肥施用量与耕地面积比	0.053 4
	单位耕地面积地膜使用强度(kg/hm ²)	-	地膜使用量与耕地面积比	0.031 1
	耕地生态优势度(%)	+	水田面积与耕地面积比	0.030 2
社会保障功能	农业机械化水平(kW/hm ²)	-	农业机械总动力与耕地总面积百分比	0.045 6
	人均耕地面积(m ² /人)	+	地区耕地总面积与常住人口比	0.077 2
	城乡居民收入比(%)	-	城镇居民人均可支配收入与农村居民人均可支配收入百分比	0.072 0
	农村居民人均纯收入(元)	+	按农村人口平均的“农民纯收入”,反映一个地区农村居民收入的平均水平	0.075 1

粮食主产区是保障国家粮食安全的核心区域,粮食生产功能应作为粮食主产区耕地利用的首要功能。选用粮食单产水平反映单位耕地的产出能力;粮食自给率反映区域粮食自给保障能力;土地垦殖率反映耕地开发程度;复种指数则从侧面反映耕地生产能力的高低。

经济贡献功能主要指耕地提供农产品的能力和蕴含的经济价值^[22],选用耕地地均农业产值反映单位耕地经济产出水平;耕地国民经济贡献指数反映耕地产出对国民经济体系的贡献水平;经济作物占农作物播种面积比例可以用来反映地区的农业经济发展竞争力;耕地家庭经济贡献能力则通过农民人均农业产值表征农民人均纯收入占比。

耕地生态服务功能不仅与耕地资源系统的生态本底属性有关,还受施用化肥等典型人类农业活动的影响^[34]。水田具有重要的生态服务功能,选择水田与耕地面积的比值反映耕地生态优势度^[23];化肥、农药和地膜施用量是农业面源污染的主要来源,其值越大越不利于耕地生态功能的维护,选择单位耕地面积农药、化肥施用强度和地膜使用强度表征耕地的生态质量状况。

社会保障功能是耕地的间接功能,是指耕地提供给农民生活保障和就业保障等方面的功能^[15]。选用人均耕地面积反映区域耕地对于农业从业人员的保障水平;农业机械化水平反映农业劳动力的替代水平,农业机械化程度越高表明地区耕地容纳劳动力的能力下降;城乡居民收入比表示耕地利用对

农民经济收入的保障,用以衡量社会保障功能;农村居民人均纯收入是耕地对于农村居民的社会保障作用的直观体现。

2.2 耕地多功能评价指数计算

为了确保耕地多功能评价指标间的可比性,首先,采用极值标准化法对 2000 年、2010 年和 2020 年 3 个年份评价指标进行无量纲化处理,然后,使用熵权法对 3 个年份的数据集进行综合计算,得到反映整体趋势的综合权重,最后,采用综合指数法计算河南省耕地多功能综合指数,计算公式为

$$R = \sum_{i=1}^n x'_{ij}w_{ij}$$

(1)

式中 R——耕地多功能综合指数
x'ij——指标标准化值
wij——指标权重

2.3 基于 Spearman 秩的功能相关性分析

采用 Spearman 秩相关方法分析耕地各功能之间的权衡协同关系,计算公式为

$$r_s(X_i,Y_i) = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n(n^2 - 1)}$$

(2)

式中 rs()——秩相关系数
(Xi,Yi)——n 对独立分布的数据对
Pi——Xi的秩次
Qi——Yi的秩次^[35]

相关系数为正表示协同关系,为负表示权衡关系。

2.4 耦合协调度分析

研究采用耦合协调度模型来度量耕地各功能之

间的耦合协调程度^[36],揭示四者之间的协同演化状态,计算公式为

$$D = \sqrt{CF}$$
 (3)

其中 $C = \sqrt[4]{\frac{F_1 F_2 F_3 F_4}{\left(\frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}{4}\right)^4}}$ (4)

$$F = aF_1 + bF_2 + cF_3 + dF_4$$
 (5)

式中 C ——耦合度
 $F_1、F_2、F_3、F_4$ ——耕地各功能评价指数
 F ——耕地综合功能指数
 $a、b、c、d$ ——各功能权重
 D ——耦合协调度

参考文献[37 - 38],将耦合协调度划分为 10 个等级(图 1)。

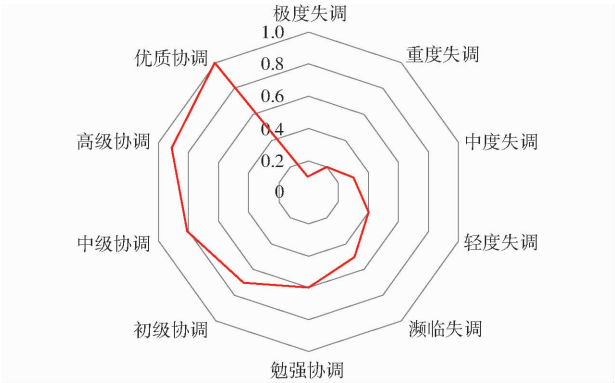


图 1 耦合协调度评价标准

Fig. 1 Evaluation criteria for coupling coordination degree

2.5 分区划定及合理性检验

研究采用 K - means 聚类方法对 2020 年耕地粮食生产、经济贡献、生态服务、社会保障四大功能进行聚类分析,识别各类分区的耕地主导功能。利用 Dagum 基尼系数对耕地多功能类型分区方案进行分区方案的合理性检验^[39 - 42]。

3 结果与分析

3.1 耕地多功能时空格局

2000—2020 年,河南省大部分县(市)耕地综合功能指数呈上升趋势,其中,信阳市和三门峡市部分地区提升明显,中牟县、登封市、鲁山县、郏县、宝丰县等地耕地多功能指数变化不大,虞城县、永城市、宁陵县、沈丘县等地耕地多功能指数下降明显。从空间格局上看,河南省耕地综合功能呈“东高西低”的空间格局(图 2)。高值区主要分布在信阳市、开封市、驻马店市、安阳市等地区,低值区则主要集中在济源市、三门峡市、洛阳市、平顶山市等地区。

(1)豫东平原地区粮食生产功能优势突出。河南省耕地粮食生产功能呈先增后减的趋势,空间上

呈“东高西低”的空间格局。高值区主要集中在周口市、新乡市、驻马店市、商丘市等豫东平原地区,这些地区是河南省耕地最集中、土壤质量较好的地区,能够充分发挥耕地的粮食生产功能。然而,豫西山区由于复杂的地形限制,耕地粮食生产功能相对较弱。

(2)河南省耕地经济贡献功能整体上呈减弱趋势,高值区主要集中在安阳市、濮阳市、开封市、南阳市、信阳市等地区,这些地区地势平坦,农业经营规模较大,机械化水平较高,耕地的规模效益显著。低值区主要分布在郑州市等城市化水平较高地区,二三产业发达,农业对国民经济的贡献度占比较小。

(3)河南省耕地生态服务功能总体较强,整体呈现“西高东低”的空间格局。信阳市、洛阳市、平顶山市等地区生态服务功能指数较高,而商丘市、新乡市、周口市等产粮区生态服务功能相对较低。农田生物多样性的下降是影响生态服务功能的关键因素之一。但是,随着河南省绿色生态农业政策的推行,减少了化学肥料和农药的使用,一定程度上缓解了生态压力。

(4)河南省的耕地社会保障功能整体较弱,但呈上升趋势,在空间上显示出巨大的差异性。高值区主要集中在安阳市、郑州市、许昌市、信阳市、南阳市等地区,低值区主要集中在豫西、豫东地区。随着城镇化进程加快和非农产业的发展,传统农业依赖性减弱,河南省耕地社会保障功能高值区范围不断缩小,耕地的社会保障功能也会随之降低。

3.2 耕地多功能权衡和协同时空格局与其关系

3.2.1 耕地两两功能相关性判定

本研究采用 Spearman 秩相关分析法对河南省 2000—2020 年耕地两两功能之间的相关性进行测度^[27](表 2)。2000—2020 年,河南省耕地粮食生产-经济贡献功能之间始终为协同关系,但呈协同减弱的趋势,只有 2000 年的结果通过显著性检验,表明随着时间的推移,两者之间不再存在明显的协同关系。需要适度扩大农业土地经营规模和加大农业补贴力度,确保耕地粮食生产与经济功能协同发展。

耕地粮食生产-生态服务功能在 2000—2020 年始终是权衡关系,且均通过了显著性检验,呈权衡减弱的趋势,表明随着居民对食物品质要求不断提升,农作物化肥和农药施用量明显减少,两者之间的权衡关系有所减弱。

耕地粮食生产-社会保障功能在 2000—2020 年之间的关系由协同转为权衡,但均未通过显著性检验,表明二者不存在明显的协同或权衡关系。主要

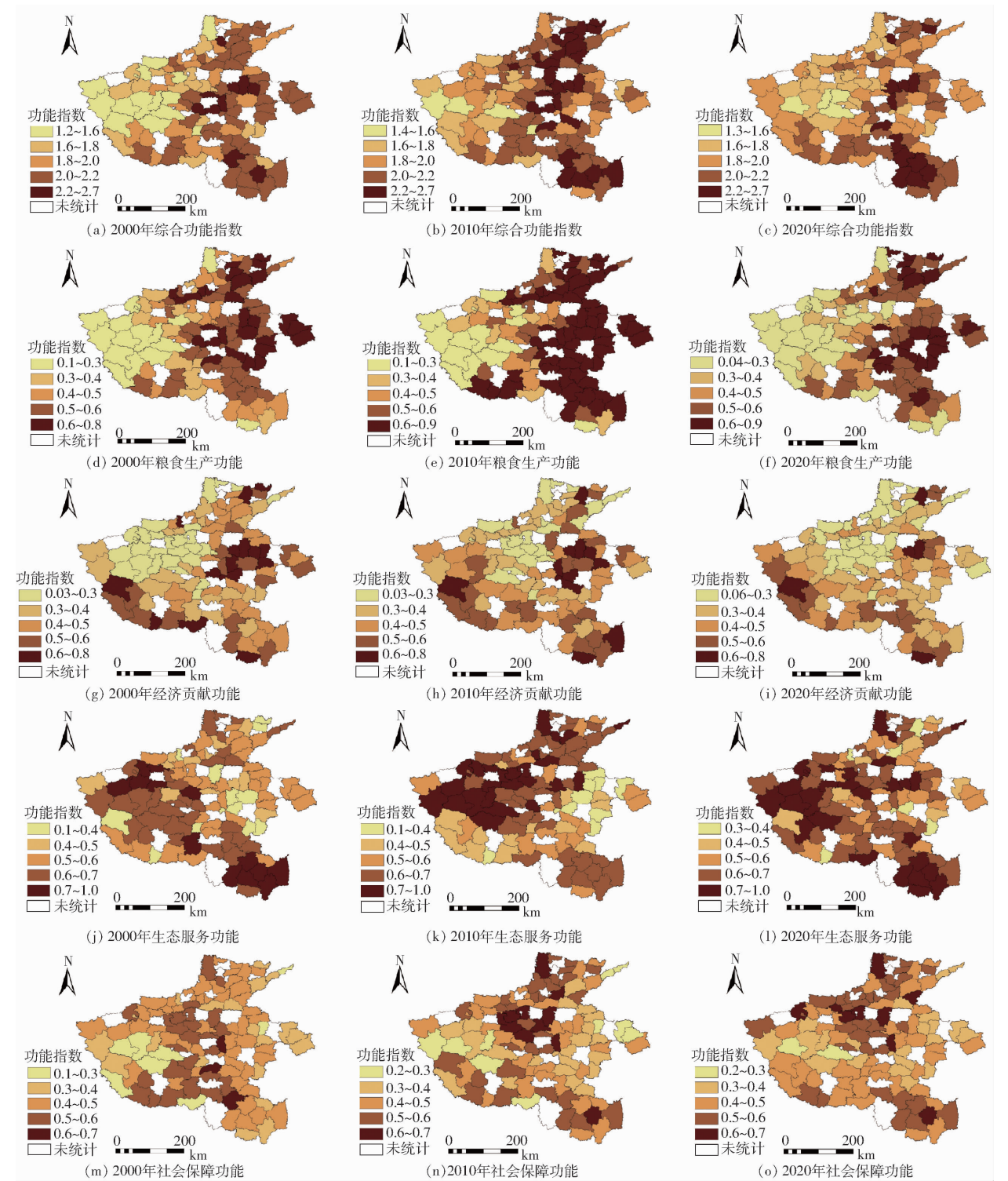


图 2 2000—2020 年河南省耕地多功能指数时空分布

Fig. 2 Spatiotemporal distributions of multifunctional index of cultivated land in Henan Province from 2000 to 2020

表 2 2000—2020 年河南省耕地两两功能之间相关系数

Tab. 2 Correlation between pairwise functions of cultivated land in Henan Province from 2000 to 2020

年份	粮食生产—经济贡献	粮食生产—生态服务	粮食生产—社会保障	经济贡献—生态服务	经济贡献—社会保障	生态服务—社会保障
2000 年	0.358 **	− 0.453 **	0.147	− 0.357 **	− 0.161	− 0.07
2010 年	0.188	− 0.345 **	− 0.072	− 0.531 **	− 0.281 **	0.253 **
2020 年	0.093	− 0.441 **	− 0.093	− 0.249 *	− 0.048	0.138

注：**、* 表示 5%、10% 的显著水平。

因为随着城镇化的发展,更多的农业人员从事非农业生产,经济来源不再是单一的依靠耕地,因此,需要通过耕地流转措施来改变二者之间的关系。

耕地经济贡献-生态服务功能在 2000—2020 年始终是权衡关系,但呈权衡减弱的趋势,所有时段均通过了显著性检验。表明两者的权衡关系有所改善,但需实施相关措施持续改善权衡状态。

耕地经济贡献-社会保障功能在 2000—2020 年始终是权衡关系。呈权衡减弱的趋势,但只有 2010 年通过了显著性检验。表明两者之间关系不太稳定,需要通过耕地规模化种植和提高耕地产能来改善二者之间的关系。

耕地生态服务-社会保障功能在 2000—2020 年的关系由权衡转为协同。但只有 2010 年通过显著性检验,表明两者关系不太稳定,可实施措施稳定两者的协同关系。

3.2.2 耕地两两功能的空间关联分析

(1)河南省 2000—2020 年耕地粮食生产-经济贡献功能整体上呈协同减弱趋势(表 3 和图 3)。H-H 协同区数量逐渐减少,主要集中在兰考县、通许县、太康县等地;L-L 协同区数量逐渐减少,主要分布在郑州市、洛阳市等地;L-H 权衡区数量逐渐增加,但始终保持较低值;H-L 权衡区数量比较稳定,主要分布在郑州市、新乡市附近。

表 3 2000—2020 年河南省耕地多功能权衡与协同区数量

Tab.3 Number of multifunctional trade-offs and collaborative areas of cultivated land in Henan Province from 2000 to 2020									
区域	粮食生产-经济贡献			粮食生产-生态服务			粮食生产-社会保障		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年
H-H 协同区	10	8	4	3	0	5	3	2	2
L-L 协同区	12	9	8	0	0	0	4	2	7
L-H 权衡区	0	1	2	9	4	4	3	7	3
H-L 权衡区	3	3	4	5	10	4	0	7	2
总计	25	21	18	17	14	13	10	18	14

区域	经济贡献-生态服务			经济贡献-社会保障			生态服务-社会保障		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年
H-H 协同区	8	2	6	2	2	1	2	9	4
L-L 协同区	1	0	3	3	3	5	1	7	3
L-H 权衡区	4	2	3	4	7	4	4	0	1
H-L 权衡区	4	10	1	1	6	4	3	2	6
总计	17	14	13	10	18	14	10	18	14

(2)河南省 2000—2020 年耕地粮食生产-生态服务功能总体上表现为权衡作用(表 3 和图 3)。H-H 协同区数量呈增长趋势,主要分布在信阳市附近,L-L 协同区数量始终为零。L-H 权衡区数量逐渐减少,主要分布在信阳市南部地区、郑州市、洛阳市以及开封市等地区。H-L 权衡区数量呈先增后减的趋势,分布区域主要在周口市、安阳市、濮阳市等地。

(3)河南省 2000—2020 年耕地粮食生产-社会保障功能呈现由协同转为权衡,且权衡逐渐增加的空间格局(表 3 和图 3)。H-H 协同区主要分布在尉氏县、长葛市和禹州市等地,且范围逐渐缩小。随着城镇化进程的加快,农民收入来源逐渐多样化,耕地的社会保障功能降低,耕地粮食生产-社会保障功能之间出现权衡加强的格局。L-L 协同区数量先减少后剧增,主要集中在平顶山市、南阳市、洛阳市等地区。L-H 权衡区数量先增加然后减少到与 2000 年数量相同,主要分布在郑州市附近地区。H-L 权衡区数量先增加后减少,主要分布在商丘

市附近地区。

(4)河南省 2000—2020 年耕地经济贡献-生态服务功能总体上呈现权衡的空间格局(表 3 和图 3)。H-H 协同区数量呈先减少后增加的趋势,主要分布在南阳市地区。L-L 协同区数量呈增加的趋势,主要分布在安阳市南部、鹤壁市南部以及周口市东部等地区。L-H 权衡区数量趋于稳定,主要集中在浉池县、宜阳县、息县等地区。H-L 权衡区数量呈先增加后减少的趋势,主要集中在河南省豫东一带。

(5)河南省 2000—2020 年经济贡献-社会保障功能在总体上呈权衡的空间格局(表 3 和图 3)。H-H 协同区数量变化不大,始终保持较低水平,呈零星分布状态。L-L 协同区数量呈增加趋势,集中区域逐渐从三门峡市、洛阳市等地向东偏移。L-H 权衡区数量先增加后又减少到与 2000 年数量相同,主要集中在郑州市附近。H-L 权衡区数量呈上升趋势,主要分布在南阳市、商丘市等地区附近。

(6)河南省 2000—2020 年耕地生态服务-社会

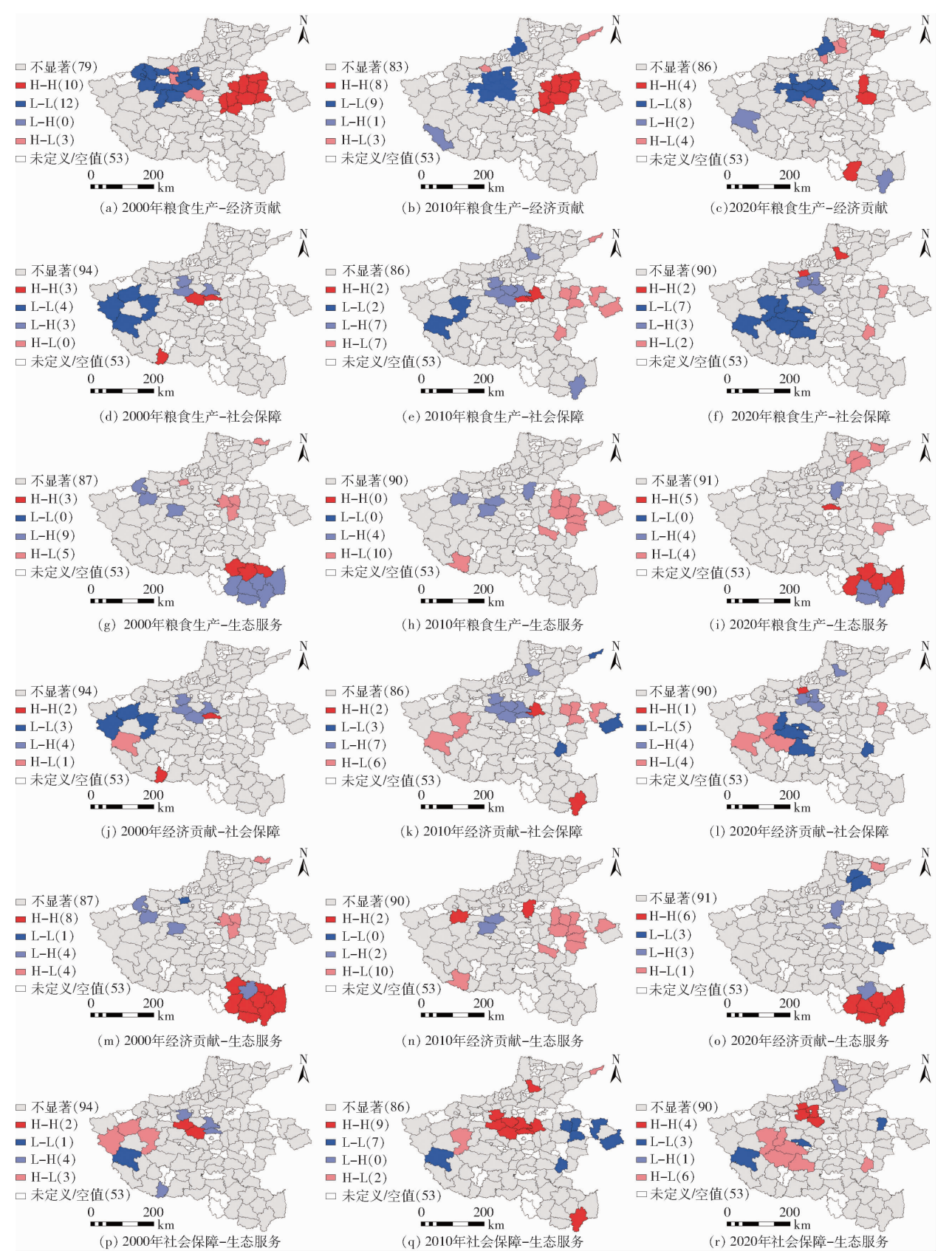


图 3 2000—2020 年河南省耕地各功能 LISA 聚类图

Fig. 3 LISA cluster maps of various functions of cultivated land in Henan Province from 2000 to 2020

保障功能呈协同的空间格局(表 3 和图 3)。H-H 协同区主要分布在洛阳市、郑州市等地区。主要是由于大城市周边乡村旅游的快速发展,不仅吸引了农民返乡就业,同时绿色有机农产品的种植和乡村风貌的改造也提升了乡村生态环境。L-L 协同区主要分布在西峡县和永城市、虞城县、宁陵县等地区。

L-H 权衡区数量逐渐减少,零星分布在豫中、豫西等地。H-L 权衡区数量逐渐增加,主要分布在栾川县、南召县、鲁山县、方城县、卢氏县、洛宁县等地。

3.3 耕地多功能的耦合协调结果分析

由耦合协调度模型测算结果可以看出(图4),河南省耕地多功能耦合协调程度在2000—2020年间区域差异显著,整体上呈现高水平的耦合协调状态。呈协调状态的县(市)分布范围较广,主要分布在河南省东部地区,呈现数量多、分布广、集聚趋势明显的特征。而呈失调状态的县(市)则相对较少,零星分布在栾川县、宝丰县、光山县、林州市等地,其

中,栾川县和林州市因粮食生产功能薄弱与生态安全功能突出的矛盾,宝丰县和光山县因耕地经济贡献不足与其它功能失衡,导致耦合协调度偏低。从时序上看,2000—2020年,耦合协调度呈现先上升后下降的趋势,这与居民膳食需求多元化、经济作物种植扩张以及农村劳动力转移等社会经济变迁紧密相关,现代化农业的推进和“两山”理念的倡导,促使河南省耕地各功能向着更为协调的方向发展,尽管过程中伴随着耕地生态服务功能的挑战,但整体趋势向好,彰显了耕地多功能耦合协调度的动态适应性和政策导向的重要性。

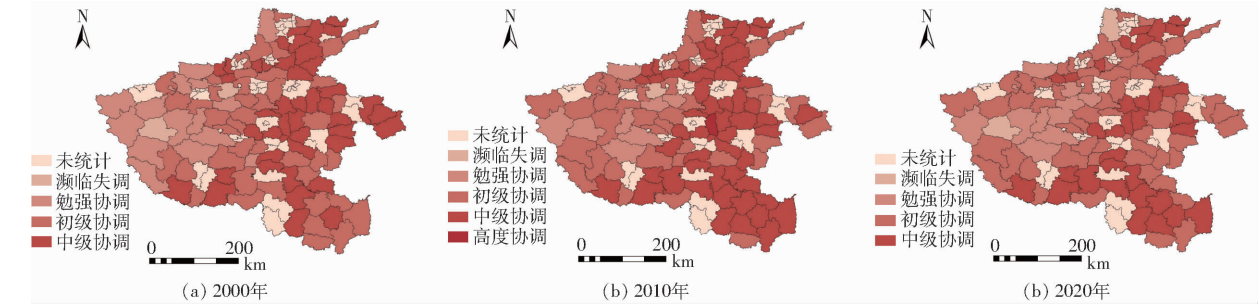


图4 2000—2020年河南省耕地多功能耦合协调度

Fig.4 Degree of multifunctional coupling and coordination of cultivated land in Henan Province from 2000 to 2020

3.4 耕地多功能类型分区及分管制

3.4.1 K-means 聚类分析结果

根据K-means聚类分析结果(表4),将本研究区划分为4类,各功能在不同类别间存在显著差异

表4 K-means 聚类分析结果

Tab.4 Results of K-means clustering analysis

耕地功能	聚类Ⅰ	聚类Ⅱ	聚类Ⅲ	聚类Ⅳ
粮食生产	0.625	0.356	0.228	0.586
经济贡献	0.528	0.224	0.491	0.384
生态服务	0.490	0.663	0.646	0.627
社会保障	0.416	0.504	0.371	0.498

表5 耕地多功能类型分区的基尼系数及贡献率

Tab.5 Gini coefficient and contribution rate of multifunctional zoning of cultivated land

耕地 功能	基尼系数				贡献率/%		
	区域内基尼系数	区域间基尼系数	超变密度基尼系数	总体	区域内贡献率	区域间贡献率	超变密度贡献率
粮食生产	0.024 1	0.141 9	0.010 0	0.176 0	13.71	80.61	5.68
经济贡献	0.032 7	0.143 7	0.013 3	0.189 7	17.23	75.74	7.03
生态服务	0.021 1	0.054 9	0.019 4	0.095 4	22.09	57.56	20.35
社会保障	0.025 6	0.054 6	0.029 8	0.110 0	23.26	49.65	27.09

3.4.3 耕地多功能类型分区与管制

根据K-means聚类分区以及基尼系数检验结果,将河南省耕地划分为4个类型区,聚类Ⅰ为现代农业示范区,聚类Ⅱ为城市农业休闲区,聚类Ⅲ为生态农业建设区,聚类Ⅳ为现代农业建设区(图5)。

现代农业示范区包含27个县(市),主要分布

(Sig. 值小于0.01),分类结果可靠。

3.4.2 基尼系数检验结果

根据耕地多功能类型分区的基尼系数及其分解结果(表5),检验聚类分区方案的合理性。从耕地功能指数地区总体差距地来源及其贡献率来看,4项功能对地区总体差距贡献最大的均为区域间差距,其贡献率均大于45%,粮食生产功能和经济贡献功能区域间贡献率分别达80.61%和75.74%。由此可得,K-means聚类分区方案的耕地各功能区域内差距较小,区域间差距是耕地各功能产生地区总体差异的主要原因。

在周口市大部分地区、南阳市的唐河县和新野县、驻马店市的新蔡县、商丘市的夏邑县和虞城县、濮阳市的南乐县和清丰县、安阳市的滑县等地。该区域多为平原,耕地质量等级较高,耕地的粮食生产和经济贡献功能较为突出。区域内耕地集中连片,农业现代化程度高,但面临建设占用及耕地“非粮化”挑

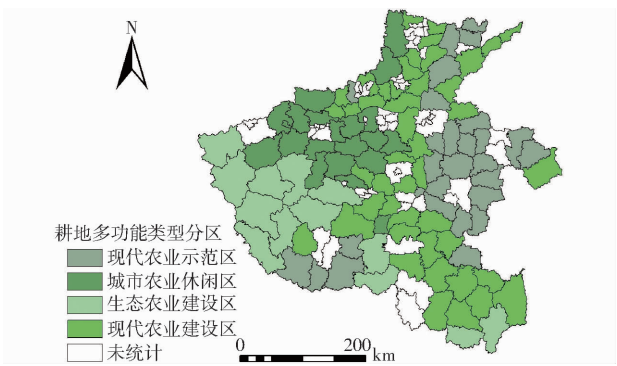


图 5 河南省耕地多功能类型分区

Fig. 5 Multifunctional zoning of cultivated land in Henan Province

战,应塑造“大食物观”导向下刚弹结合的用途管制体系,永久基本农田范围内的实行刚性约束,严格限制种植类型,全部用于粮食及重要农产品生产,一般耕地可在“大食物观”指导下,充分发挥市场对资源的配置作用,但应确保在必要时能够迅速恢复粮食生产。此外,基于耕地的多功能评价,构建补贴与激励政策,平衡耕地的生产、生态、经济与社会保障功能,推动耕地功能多元化均衡发展。

城市农业休闲区包含 21 个县(市),主要分布在河南省的郑州市、济源市和洛阳市的部分地区。该分区中大多数区域人口密度大、经济发达,城市的发展导致建设用地不断占用周围耕地,粮食生产功能和经济贡献功能较弱。该区域应严格限制非农建设,确保耕地面积和质量稳定,同时融入城市规划,促进耕地与城市景观和谐共生。重点发展瓜果、蔬菜等特色农业,充当“城市菜篮子”,满足城市居民对新鲜农产品的需求,通过打造农耕文化体验区,提供农事体验、农业教育、乡村旅游等活动,城市农业休闲区将成为市民休闲娱乐的新选择。同时,推行生态农业,保护耕地生态环境,建设绿色廊道和生态缓冲带,维持生物多样性。

生态农业建设区包含 13 个县(市),主要分布在三门峡市的灵宝市和卢氏县,南阳市的西峡县、淅川县、内乡县和南召县,洛阳市的栾川县和嵩县,平顶山市的鲁山县和宝丰县等地。该区域中大部分县(市)位于《河南省国土空间规划(2021—2035 年)》中的山地丘陵特色农业区,具有丰富的自然资源和生态价值,生态功能突出,但经济发展水平相对较低,农业是农民的主要生计来源。该区域应遵循“两山”理论,发展绿色生态农业,减少对环境的负面影响,将生态资源优势转化为经济优势,实现生态与经济的双赢。考虑到农民对耕地的高度依赖,政策应侧重于提升农业的集约化水平,同时强化耕地的社会保障功能,确保农民就业与乡村发展,实现生

态、经济与社会的全面协调。

现代农业建设区包含 44 个县(市),主要分布在信阳市、驻马店市、鹤壁市、新乡市、濮阳市、安阳市、焦作市的部分地区。该区域中经济贡献功能较弱,其余 3 类功能相对较强。该区域应聚焦规模化经营和乡村振兴两大核心目标,通过鼓励土地流转,支持农业合作社与家庭农场,实现农业规模化和集约化生产,推动农业产业链现代化,发展农产品深加工,提高产品附加值。同时,以现代农业为支点,带动农村经济全面发展,改善基础设施,增加农民收入,实现农业现代化与乡村振兴的双重目标。

4 结论

(1)河南省 2000—2020 年耕地各功能呈复杂的时空分异性。耕地综合功能指数整体呈上升趋势,呈“东部高,西部低”的空间格局;粮食生产功能在豫东平原优势明显,生态服务功能整体较强,但存在“西高东低”的空间格局,经济贡献功能呈减弱趋势,社会保障功能虽弱却呈上升趋势。

(2)耕地多功能权衡与协同关系时空差异变化显著。其中,耕地粮食生产功能与经济贡献功能呈协同减弱趋势,与生态服务功能始终呈权衡关系,与社会保障功能之间的关系呈协同转为权衡且权衡增加的趋势;经济贡献功能与生态服务功能始终是权衡关系,与社会保障功能呈权衡减弱趋势;生态服务功能与社会保障功能由权衡转为协同。

(3)从耦合协调程度来看,在 2000—2020 年期间,河南省耕地多功能耦合协调度整体较高,但存在显著的区域差异。处于协调状态的县(市)主要分布在河南省东部地区,数量多且分布广泛,显示出明显的集聚趋势。相比之下,失调状态的县(市)较少,零星分布在栾川县、宝丰县、光山县、林州市等地。

(4)结合耕地主导功能类型和多功能耦合协调特征,将河南省耕地功能区划分为现代农业示范区、城市农业休闲区、生态农业建设区、现代农业建设区 4 类功能区,现代农业示范区主要增强耕地的多功能性,促进耕地多功能协同发展;城市农业休闲区重点打造生态休闲观光农业建设以提升耕地产能和经济贡献功能;生态农业建设区重点控制农用化学品的使用,重点维护耕地生态功能;现代农业建设区主要目标为发展高效农业以增强耕地的经济贡献功能。此外,在追求经济增长和粮食安全的过程中,应更加注重生态服务功能与社会保障功能的协同发展,以实现农业可持续性和社会福祉的双重提升。

参 考 文 献

- [1] 谷国政,宋戈. 辽宁省耕地多功能演变及其价值响应研究[J]. 中国土地科学, 2022, 36(12): 103–116.
GU Guozheng, SONG Ge. Study on the evolution of cultivated land multifunction and its value response in Liaoning Province [J]. China Land Science, 2022, 36(12): 103–116. (in Chinese)
- [2] 李莹雪,刘兆顺,孙玲,等. 长春市九台区耕地多功能评价及整治分区研究[J]. 东北师范大学学报(自然科学版), 2023, 55(3): 132–144.
LI Yingxue, LIU Zhaoshun, SUN Ling, et al. Study on multi-fuction evaluation and consolidation zoning of cultivated land in Jiutai District[J]. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition), 2023, 55(3): 132–144. (in Chinese)
- [3] 吕立刚,撤旭,龙花楼,等. 耕地多功能供需匹配研究进展与展望[J]. 资源科学, 2023, 45(7): 1351–1365.
LÜ Ligang, HAN Xu, LONG Hualou, et al. Research progress and prospects on supply and demand matching of farmland multifunctions[J]. Resources Science, 2023, 45(7): 1351–1365. (in Chinese)
- [4] TARJUELO R, CONCEPCION E D, GUERRERO I, et al. Agri-environment scheme prescriptions and landscape features affect taxonomic and functional diversity of farmland birds[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2021, 315: 107444.
- [5] TRAN D X, PEARSON D, PALMER A, et al. Integrating ecosystem services with geodesign to create multifunctional agricultural landscapes: a case study of a New Zealand hill country farm[J]. Ecological Indicators, 2023, 146: 109762.
- [6] MORENO P, ORTIZ M. Understanding structural adjustment in Spanish arable crop farms: policies, technology and multifunctionality[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2008, 6(2): 153–165.
- [7] HISANO S, AKITSU M, MC GREEVY S. Revitalising rurality under the neoliberal transformation of agriculture: experiences of re-agrarianisation in Japan[J]. Journal of Rural Studies, 2018, 61: 290–301.
- [8] 宋小青,欧阳竹. 耕地多功能内涵及其对耕地保护的启示[J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 859–868.
SONG Xiaoqing, OUYANG Zhu. Connotation of multifunctional cultivated land and its implications for cultivated land protection [J]. Progress in Geography, 2012, 31(7): 859–868. (in Chinese)
- [9] 王慧,龙开胜. 基于耕地多功能的江苏省耕地保护补偿标准研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(11): 101–111.
WANG Hui, LONG Kaisheng. Research on compensation standard for cultivated land protection in Jiangsu Province based on cultivated land multi-function[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(11): 101–111. (in Chinese)
- [10] 冯丹玥,刘晶,单薇,等. 面向多功能复合的耕地保护内涵拓展与管理模式初探[J]. 土地经济研究, 2019(1): 149–164.
FENG Danyue, LIU Jing, SHAN Wei, et al. Preliminary study on connotation extension and management mode of multi-functional and compound cultivated land protection[J]. Journal of Land Economics, 2019(1): 149–164. (in Chinese)
- [11] 何青泽,谢德体,王三,等. 重庆市北碚区耕地多功能评价及时空演变分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(1): 79–87.
HE Qingze, XIE Deti, WANG San, et al. Spatio-temporal evolution of cultivated land multi-function based on a fuzzy optimization model in Beibei District, Chongqing[J]. Journal of Southwest University(Natural Science), 2020, 42(1): 79–87. (in Chinese)
- [12] 周丁扬,李抒函,文雯,等. 基于供需视角的河南省耕地多功能评价与优化[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 272–281.
ZHOU Dingyang, LI Shuhan, WEN Wen, et al. Multi-function evaluation and optimization of cultivated land in Henan Province based on perspective of demand and supply[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 272–281. (in Chinese)
- [13] 唐春云,臧俊梅. 新时代广州市耕地多功能评价及时空演变分析[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2): 332–343.
TANG Chunyun, ZANG Junmei. Multi-functional evaluation of cultivated land and an analysis of the temporal and spatial evolution of Guangzhou in the new era[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(2): 332–343. (in Chinese)
- [14] 熊昌盛,张永蕾,王雅娟,等. 中国耕地多功能评价及分区分管控[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 104–114.
XIONG Changsheng, ZHANG Yonglei, WANG Yajuan, et al. Multi-function evaluation and zoning control of cultivated land in China[J]. China Land Science, 2021, 35(10): 104–114. (in Chinese)
- [15] 王惠琳,刘新平. 和田河流域耕地多功能评价及时空演变分析[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(7): 197–204.
WANG Huilin, LIU Xinping. Multifunctional evaluation and temporal spatial evolution analysis of cultivated land in the Hotan River Basin[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(7): 197–204. (in Chinese)
- [16] 元少华. 基于生产、生态和社会保障的耕地多功能综合评价——以濮阳市为例[J]. 国土资源情报, 2021(2): 30–38.
YUAN Shaohua. Study on multifunctional evaluation of cultivated land in Puyang, China[J]. Land and Resources Information, 2021(2): 30–38. (in Chinese)
- [17] 靳文娟,边振兴,魏忠义,等. 沈阳城市周边耕地多功能评价[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(5): 166–173.
JIN Wenjuan, BIAN Zhenxing, WEI Zhongyi, et al. Multifunctional evaluation of cultivated land in peri-urban areas of Shenyang City[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(5): 166–173. (in Chinese)
- [18] 辛芸娜,孔祥斌,郇文聚. 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.
XIN Yunna, KONG Xiangbin, YUN Wenju. Design and application of multi-functional evaluation index system for cultivated land in metropolitan fringe of Beijing: a case study in Daxing District[J]. China Land Science, 2017, 31(8): 77–87. (in Chinese)
- [19] 李怡,方斌,李裕瑞,等. 城镇化进程中耕地多功能权衡/协同关系演变及其驱动机制[J]. 农业工程学报, 2022, 38(8): 244–254.
LI Yi, FANG Bin, LI Yurui, et al. Trade-off and synergy evolution of farmland functions and its dynamic mechanism in the process of urbanization[J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38(8): 244–254. (in Chinese)
- [20] 张宇佳,蔡海生,张学玲,等. 鄱阳湖平原耕地多功能时空演变及其驱动机制[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 245–253.
ZHANG Yujia, CAI Haisheng, ZHANG Xueling, et al. Multi-functional spatiotemporal evolution of cultivated land and its driving mechanisms in Poyang Lake Plain[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 245–253. (in Chinese)
- [21] 张文斌,张志斌,董建红,等. 多尺度视角下耕地利用功能转型及驱动力分析——以甘肃省为例[J]. 地理科学, 2021, 41(5): 900–910.
ZHANG Wenbin, ZHANG Zhibin, DONG Jianhong, et al. Transformation and driving forces of cultivated land utilization function from a multi-scale perspective in Gansu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(5): 900–910. (in Chinese)

[22] 安悦,谭雪兰,李印齐,等. 洞庭湖地区耕地功能时空演变特征及影响因素研究[J]. 地理科学, 2022, 42(7): 1272 – 1282.
AN Yue, TAN Xuelan, LI Yinqi, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of cultivated land functions in the Dongting Lake Area[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(7): 1272 – 1282. (in Chinese)

[23] 卫新东,林良国,罗平平,等. 耕地多功能耦合协调发展时空格局与驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2022, 38(4): 260 – 269.
WEI Xindong, LIN Liangguo, LUO Pingping, et al. Spatiotemporal pattern and driving force analysis of multi-functional coupling coordinated development of cultivated land[J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38(4): 260 – 269. (in Chinese)

[24] 余庆年,李巧珍. 安徽省耕地多功能耦合协调时空演变及驱动因素研究[J]. 国土资源科技管理, 2023, 40(6): 39 – 51.
YU Qingnian, LI Qiaozhen. Study on spatial-temporal evolution and driving factors of cultivated land multifunctional coupling coordination development in Anhui Province[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2023, 40(6): 39 – 51. (in Chinese)

[25] 罗莎莎,赖庆标,王旭东,等. 基于多功能评价与权衡-协同关系的福建省耕地区划管控[J]. 农业工程学报, 2023, 39(13): 271 – 280.
LUO Shasha, LAI Qingbiao, WANG Xudong, et al. Control and management of cropland regionalization in Fujian Province of China using multi-functional evaluation and trade-off/synergy relationships[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(13): 271 – 280. (in Chinese)

[26] 高佳,赵荣荣,王盼盼. 耕地多功能对粮食生产能力变化的敏感度研究[J]. 自然资源学报, 2024, 39(6): 1434 – 1449.
GAO Jia, ZHAO Rongrong, WANG Panpan. Study on the sensitivity of cultivated land multifunction to the changes of grain productivity capacity[J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(6): 1434 – 1449. (in Chinese)

[27] 陈秋澹,张炜康,杨国永. 广东省耕地多功能空间分异及权衡与协同关系[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(13): 212 – 218.
CHEN Qiuying, ZHANG Weikang, YANG Guoyong. Multifunctional spatial differentiation, trade-offs, and collaborative relationships of cultivated land in Guangdong Province[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(13): 212 – 218. (in Chinese)

[28] 付永虎,耿灿,刘俊青,等. 县域尺度下苏北耕地多功能权衡与协同关系及分区调控研究[J]. 西安理工大学学报, 2023, 39(2): 162 – 172.
FU Yonghu, GENG Can, LIU Junqing, et al. Trade-off and synergy relationships and regional regulation of cropland multifunctions at county scale in Northern Jiangsu Province[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2023, 39(2): 162 – 172. (in Chinese)

[29] 王成,彭清,唐宁,等. 2005—2015 年耕地多功能时空演变及其协同与权衡研究——以重庆市沙坪坝区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(4): 590 – 599.
WANG Cheng, PENG Qing, TANG Ning, et al. Spatio-temporal evolution and the synergy and trade-off relationship of cultivated land multi-function in 2005—2015: a case of Shapingba District, Chongqing City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(4): 590 – 599. (in Chinese)

[30] 钱凤魁,迟艳茹,徐欢,等. 2006—2020 年沈阳市耕地多功能权衡协同关系演变分析[J]. 中国土地科学, 2022, 36(10): 31 – 41.
QIAN Fengkui, CHI Yanru, XU Huan, et al. Study on evolution of trade-off and synergy relationship of multifunctional cultivated land from 2006 to 2020: a case of Shenyang City[J]. China Land Science, 2022, 36(10): 31 – 41. (in Chinese)

[31] 盖兆雪,詹义羲,王洪彦,等. 耕地利用转型碳排放时空分异特征与形成机理研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(7): 187 – 196.
GAI Zhaoxue, ZHAN Wenxi, WANG Hongyan, et al. Spatio-temporal differentiation and formation mechanism of carbon emission from cultivated land use transformation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(7): 187 – 196. (in Chinese)

[32] 徐国良,赵娟娟,刘钰,等. 新旅游资源观下的乡村旅游地耕地多功能权衡/协同关系研究——以江西省中源乡为例[J]. 自然资源学报, 2024, 39(4): 804 – 822.
XU Guoliang, ZHAO Chuanjuan, LIU Yu, et al. Research on the trade-offs/synergies of multifunctional cultivated land in rural tourism destinations from a new perspective on tourism resources: a case study of Zhongyuan Township, Jiangxi Province[J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(4): 804 – 822. (in Chinese)

[33] 路昌,耿昊,刘蕊,等. 山东省耕地多功能耦合协调度时空格局分析[J]. 农业机械学报, 2021, 52(3): 265 – 274.
LU Chang, GENG Hao, LIU Rui, et al. Spatial-temporal pattern analysis of cultivated land multi-functional coupling coordination degree in Shandong Province[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(3): 265 – 274. (in Chinese)

[34] 秦彦杰,刘欣,唐守普,等. 1996—2016 年河北省耕地功能空间分异及综合分区[J]. 科技导报, 2022, 40(12): 107 – 117.
QIN Yanjie, LIU Xin, TANG Shoupu, et al. Spatial differentiation and comprehensive zoning of cultivated land function in Hebei Province since 1996 to 2016[J]. Science and Technology Review, 2022, 40(12): 107 – 117. (in Chinese)

[35] 张驰庚. Spearman 秩相关系数的 Python 程序设计及应用——图书阅读与隐性知识习得能力相关性实证分析[J]. 现代信息技术, 2023, 7(21): 195 – 198.
ZHANG Chigeng. Python program design and application of Spearman rank correlation coefficient—empirical analysis of the correlation between book reading and tacit knowledge acquisition ability[J]. Modern Information Technology, 2023, 7(21): 195 – 198. (in Chinese)

[36] 姜艳,杨淳棉,聂艳,等. 湖北省县域耕地多功能时空演变及耦合协调分析[J]. 山地学报, 2021, 39(6): 891 – 900.
JIANG Yan, YANG Chunmian, NIE Yan, et al. Spatio-temporal evolution of multi-functions of farmland on a county scale in Hubei Province, China and their coupling coordination analysis[J]. Mountain Research, 2021, 39(6): 891 – 900. (in Chinese)

[37] 邓郴宜,万勇. 长三角产城融合水平测度、时空特征及驱动因素——基于修正后耦合协调度模型的研究[J]. 城市发展研究, 2023, 30(6): 18 – 24.
DENG Binyi, WAN Yong. The level and features of industry-city integration level in the Yangtze River Delta: based on the modified coupled coordination model[J]. Urban Development Studies, 2023, 30(6): 18 – 24. (in Chinese)

[38] 王淑佳,孔伟,任亮,等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793 – 810.
WANG Shujia, KONG Wei, REN Liang, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(3): 793 – 810. (in Chinese)

[39] 章激扬. 长三角城市群创新发展空间差异及收敛性研究——基于 Dagum 基尼系数分解[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(2): 235 – 249.
ZHANG Jiyang. Spatial difference and convergence of innovative development in Yangtze River Delta: based on Dagum Gini

coefficient and decomposition[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(2): 235 – 249. (in Chinese)

[40] 张爱国. 基于分组数据基尼系数的一种估算方法[J]. 统计与决策, 2022, 38(2): 10 – 15.
ZHANG Aiguo. An estimation method for Gini coefficient based on grouped data[J]. Statistics and Decision, 2022, 38(2): 10 – 15. (in Chinese)

[41] 刘精明. 教育扩张与分布型教育不平等——复合教育基尼系数的演化性质及其检验[J]. 社会学研究, 2023, 38(1): 68 – 95.
LIU Jingming. Education expansion and distributive inequality in education—the evolutionary properties and empirical tests of the composite Gini coefficient of education[J]. Sociological Studies, 2023, 38(1): 68 – 95. (in Chinese)

[42] 王金萍, 方波. 世界基尼系数计算方法的理论比较与实证[J]. 统计与决策, 2023, 39(23): 5 – 10.
WANG Jinping, FANG Bo. Theoretical comparison and empirical research of calculation methods of the world Gini coefficient [J]. Statistics and Decision, 2023, 39(23): 5 – 10. (in Chinese)

(上接第 131 页)

参 考 文 献

[1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2022 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.

[2] 赵德安, 曹硕, 孙月平, 等. 基于联动扩展神经网络的水下自由活蟹检测器研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(9): 163 – 174.
ZHAO Dean, CAO Shuo, SUN Yueping, et al. Small-sized efficient detector for underwater freely live crabs based on compound scaling neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(9): 163 – 174. (in Chinese)

[3] ZHANG L, LI B, SUN X, et al. Intelligent fish feeding based on machine vision: a review[J]. Biosystems Engineering, 2023, 231: 133 – 164.

[4] LIU C, WANG Z, LI Y, et al. Research progress of computer vision technology in abnormal fish detection[J]. Aquacultural Engineering, 2023, 103: 102350.

[5] 赵德安, 刘晓洋, 孙月平, 等. 基于机器视觉的水下河蟹识别方法[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 151 – 158.
ZHAO Dean, LIU Xiaoyang, SUN Yueping, et al. Detection of underwater crabs based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(3): 151 – 158. (in Chinese)

[6] CAO S, ZHAO D, LIU X, et al. Real-time robust detector for underwater live crabs based on deep learning[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 172: 105339.

[7] 熊海涛, 林琪, 宣魁, 等. 基于改进 Faster R – CNN 的海参目标检测算法[J]. 农业机械学报, 2022, 53(增刊 2): 204 – 209.
XIONG Haitao, LIN Qi, XUAN Kui, et al. Sea cucumber object detection algorithm based on improved Faster R – CNN[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(Supp. 2): 204 – 209. (in Chinese)

[8] JI W, PENG J, XU B, et al. Real-time detection of underwater river crab based on multi-scale pyramid fusion image enhancement and MobileCenterNet model[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2023, 204: 107522.

[9] REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, et al. You only look once: unified, real-time object detection[C] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016: 779 – 788.

[10] REDMON J, FARHADI A. YOLO v3: an incremental improvement[J]. arXiv Preprint, arXiv:1804.02767, 2018.

[11] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y M. YOLO v4: optimal speed and accuracy of object detection[J]. arXiv Preprint, arXiv:2004.10934, 2020.

[12] LI C, LI L, JIANG H, et al. YOLO v6: a single-stage object detection framework for industrial applications[J]. arXiv Preprint, arXiv:2209.02976, 2022.

[13] WANG C Y, BOCHKOVSKIY A, LIAO H Y M. YOLO v7: trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors[C] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2023: 7464 – 7475.

[14] JAFFE J S. Computer modeling and the design of optimal underwater imaging systems[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1990, 15(2): 101 – 111.

[15] LI C, ANWAR S, HOU J, et al. Underwater image enhancement via medium transmission-guided multi-color space embedding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2021, 30: 4985 – 5000.

[16] 覃学标, 黄冬梅, 宋巍, 等. 模糊水下图像多增强与输出混合的鱼类检测方法[J]. 农业机械学报, 2022, 53(7): 243 – 249.
QIN Xuebiao, HUANG Dongmei, SONG Wei, et al. Fish detection method of multiple enhanced and outputs blend for blurred underwater images[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(7): 243 – 249. (in Chinese)

[17] ZHANG S, WANG T, DONG J, et al. Underwater image enhancement via extended multi-scale Retinex[J]. Neurocomputing, 2017, 245: 1 – 9.

[18] GIANINI G, RIZZI A, DAMIANI E. A retinex model based on absorbing Markov chains[J]. Information Sciences, 2016, 327: 149 – 174.

[19] ATAIE R, EMRANI Z A A, SAFAEI M Y. An efficient inexact full adder cell design in CNFET technology with high-PSNR for image processing[J]. International Journal of Electronics, 2019, 106(6): 928 – 944.

[20] PANETTA K, GAO C, AGAIAN S. Human-visual-system-inspired underwater image quality measures[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2016, 41(3): 541 – 551.

[21] WOO S, PARK J, LEE J Y, et al. CBAM: convolutional block attention module[C] // Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 2018: 3 – 19.

[22] FU J, ZHENG H, MEI T. Look closer to see better: recurrent attention convolutional neural network for fine-grained image recognition[C] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017: 4438 – 4446.

[23] HU J, SHEN L, ALBANIE S, et al. Squeeze-and-excitation networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2020, 42(8): 2011 – 2023.

[24] TANG Y, HAN K, GUO J, et al. GhostNetV2: enhance cheap operation with long-range attention[J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2022, 35: 9969 – 9982.

[25] HAN K, WANG Y, TIAN Q, et al. Ghostnet: more features from cheap operations[C] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020: 1580 – 1589.

[26] WANG C Y, LIAO H Y M, WU Y H, et al. CSPNet: a new backbone that can enhance learning capability of CNN[C] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2020: 390 – 391.