

城郊耕地多功能权衡/协同关系变化及其驱动因素^①

罗心舟^{1,2}, 赵小敏^{1,2}, 匡丽花^{1,2*}, 叶英聪^{1,2}

(1 江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045; 2 农业农村部鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 南昌 330045)

摘要: 耕地具有生产、生态及文化功能。科学评价耕地多功能并揭示功能间权衡/协同关系变化特征与驱动机制, 对提升耕地综合效益、促进多功能协同发展具有重要意义。本研究以南昌市城郊为研究区域, 基于 2012 年与 2022 年耕地土壤、地形、气象、遥感、社会经济等多源数据, 综合运用耦合协调度模型、空间自相关及空间杜宾模型, 系统分析了耕地多功能权衡/协同关系的时空变化特征及其驱动机制。结果表明: 南昌市城郊耕地多功能综合水平小幅提升, 空间上呈现“中心强化–边缘弱化”的分异特征; 耕地各功能间整体维持协同状态, 但耦合协调度轻微下降, 空间格局呈“西升东降”的阶梯状分异; 海拔、农业人口、人均 GDP、第二产业占比、农业机械动力等因素对耕地多功能协调度具有直接作用, 农业劳动力、人均 GDP、城镇可支配收入、城市化率、第二产业占比、农业机械动力等因素对邻近区域存在显著空间溢出效应, 影响邻近区域协调发展。本研究结果可为制定城郊耕地差异化与多元化利用策略提供依据, 促进耕地多功能协同与全域统筹。

关键词: 土地利用; 耕地多功能; 耦合协调度; 空间溢出效应; 南昌市城郊

中图分类号: F301.21 **文献标志码:** A

Evolution of Trade-offs/Synergies in Multifunctional Cultivated Land Use in Peri-urban Areas and Their Driving Factors

LUO Xinzhou^{1,2}, ZHAO Xiaomin^{1,2}, KUANG Lihua^{1,2*}, YE Yingcong^{1,2}

(1 College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2 Key Laboratory of Agricultural Resources and Ecology in Poyang Lake Watershed, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanchang 330045, China)

Abstract: Cultivated land serves production, ecological and cultural functions. It is of great significance to scientifically evaluate the multifunctionality of cultivated land and reveal the evolution of its trade-off/synergy relationships and driving mechanisms, which is conducive to enhancing the comprehensive benefits of cultivated land and promoting the coordinated development of multiple functions. This study took the suburban area of Nanchang City as the research area. Based on multi-source data such as soil, topography, meteorology, remote sensing, and social economy from 2012 and 2022, it comprehensively used the coupling coordination degree model, spatial autocorrelation, and spatial Durbin model to systematically analyze the driving mechanism of the spatiotemporal evolution of trade-offs/synergies among multiple functions of cultivated land. The results showed that: The comprehensive level of multiple functions of cultivated land in the suburban area of Nanchang City was slightly improved, presenting a spatial differentiation characteristic of “strengthening in the center-weakening at the periphery”. The region generally maintained a synergistic state, but the coupling coordination degree was slightly decreased, and the spatial pattern showed a stepped differentiation of “rising in the west and falling in the east”. Factors such as altitude, agricultural population, per-capita GDP, the proportion of the secondary industry, and agricultural machinery power had a direct impact on the local coordination degree. Factors such as agricultural labor force, per-capita GDP, urban disposable income, urbanization rate, the proportion of the secondary industry, and agricultural machinery power had significant spatial spillover effects on neighboring regions, affecting the coordinated development of neighboring regions. The research results provide a basis for formulating differentiated and

①基金项目: 江西省高校人文社科规划项目(GL23108)、国家重点研发计划项目(2023YFD190030102)和江西省研究生创新专项资金项目(YC2024-S314)资助。

* 通信作者(kuanglh89@163.com)

作者简介: 罗心舟(2001—), 女, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要研究方向为耕地利用与保护。E-mail: boat77@foxmail.com

diversified utilization strategies for suburban cultivated land, and promote the synergy of multiple functions of cultivated land and overall regional coordination.

Key words: Land use; Multifunctional cultivated land; Coupling coordination degree; Spatial spillover effect; Peri-urban area of Nanchang

耕地是人类赖以生存与发展的重要物质基础,不仅承载着粮食生产的基本功能,还具有维护社会稳定、保障生态安全、承载乡土文化等衍生功能^[1-2]。随着城镇化的快速推进与发展需求的日益多元化^[3],城郊作为人地互动最频繁的区域,其耕地资源承受着土地利用转型与耕地保护的双重压力,内部结构与功能的冲突问题愈发突出^[4-6]。当前传统单一的耕地生产功能管理模式已难以适配城郊耕地多元化利用需求^[7],推动耕地多功能协同转型已成为必然趋势^[8]。

耕地多功能系统中普遍存在功能间“此消彼长”的权衡关系与“同增共减”的协同关系,二者共同构成复杂的交互网络,深刻影响着耕地资源的可持续利用。探究耕地权衡/协同关系的内在规律已经成为一个关键的研究领域^[9-10]。当前相关研究多采用图像比较法、地理学分析法与相关性分析法等进行。其中,耦合协调度模型因其能够系统量化若干子系统之间的相互关系^[11],被广泛应用于不同尺度、不同区域的生态^[12]、城市化^[13]、农业^[14]等诸多系统间耦合发展水平的实证研究。

在耕地多功能权衡/协同驱动因素的研究中,众多学者围绕自然环境、资源禀赋、社会经济发展等方面开展了广泛的探讨^[15-16]。李怡等^[17]定量剖析了耕地多功能权衡与协同演化的城镇化驱动机制,指出城乡收入差距、人口城镇化率及居民消费能力是关键驱动因素。陶洁怡等^[18]进一步指出,耕地自然资源禀赋对权衡强度的贡献率下降,社会经济因素对服务间权衡强度的贡献率显著提升。总体而言,自然因素是城郊耕地多功能权衡/协同的基础性约束,而社会经济发展产生的效应则更为复杂、长期且具阶段性。为深入剖析其驱动机制,既有研究采用了相关性分析^[19]、梯度提升决策树^[18]、调节效应模型^[17]等多种分析方法。上述方法虽能揭示变量间的数量、空间关系,但普遍忽视了耕地系统固有的空间外部性。由于耕地空间位置相邻,其利用行为存在显著的外部效应,某一区域的利用决策或功能变化往往会对邻近地域产生辐射影响。空间计量方法已被证实能够有效揭示各项驱动因素对耕地多功能演变的溢出效应和互馈作用^[20],为揭示耕地多功能权衡/协同驱动机制提供了更适切的分析框架。

南昌市城郊作为城市化水平发展较好、耕地资源禀赋优越的城乡过渡带,耕地受剧烈社会经济变迁的外溢效应尤为显著,具备开展耕地多功能权衡/协同关系研究的典型性。基于此,本研究以南昌市城郊耕地为研究对象,通过构建耕地生产-生态-文化多功能评价体系,定量分析研究区耕地多功能时空分异特征;利用耦合协调度模型与莫兰指数,揭示多功能间权衡/协同关系的动态变化特征及空间聚类模式;通过空间计量模型分析自然区位、人口结构、社会经济条件及技术投入要素的直接效应和空间溢出效应,为城郊耕地多功能协同优化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江西省南昌市城郊(28°29'N~28°55'N, 115°36'E~116°20'E),是南昌市主城区与邻近郊区的空间范围集合,在行政区划上涵盖 8 个区级单元,总面积约 1 086.44 km²。该区地理位置优越,地处赣江、抚河下游,鄱阳湖西南岸。全境为亚热带季风湿润气候,地形以平原为主,具有良好的水热调节能力,适宜农作物生长。主要土地利用类型为林地与耕地,2022 年耕地总面积为 20 874.00 hm²,约占总面积的 19.21%。作为典型的城乡过渡带,耕地受剧烈社会经济变迁的外溢效应尤为显著,内部功能的相互作用与结构演变复杂。

1.2 数据来源与处理

本研究所用数据包括研究区 2012 年与 2022 年土壤理化性状、农业基础、遥感、气象、地形及社会经济数据。其中,耕地图斑来源于 Landsat 土地覆盖数据集(30 m)。耕地生产功能评价使用的土壤数据与农业基础数据源自对应年份耕地质量评价数据库;归一化植被指数源自 Landsat 系列遥感卫星图谱(30 m)。耕地生态功能评价中固碳释氧、土壤保持指标使用的气象数据(1 000 m)源自中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>);水源涵养、农业多样性、农业污染指标使用的农作物经济产量、播种面积及农药化肥施用量来自相关年份统计年鉴。耕地文化功能评价中文化休闲指标使用的农业旅游兴趣点(POI)通过高德 API 平台提取(<https://lbs.amap.com>)。

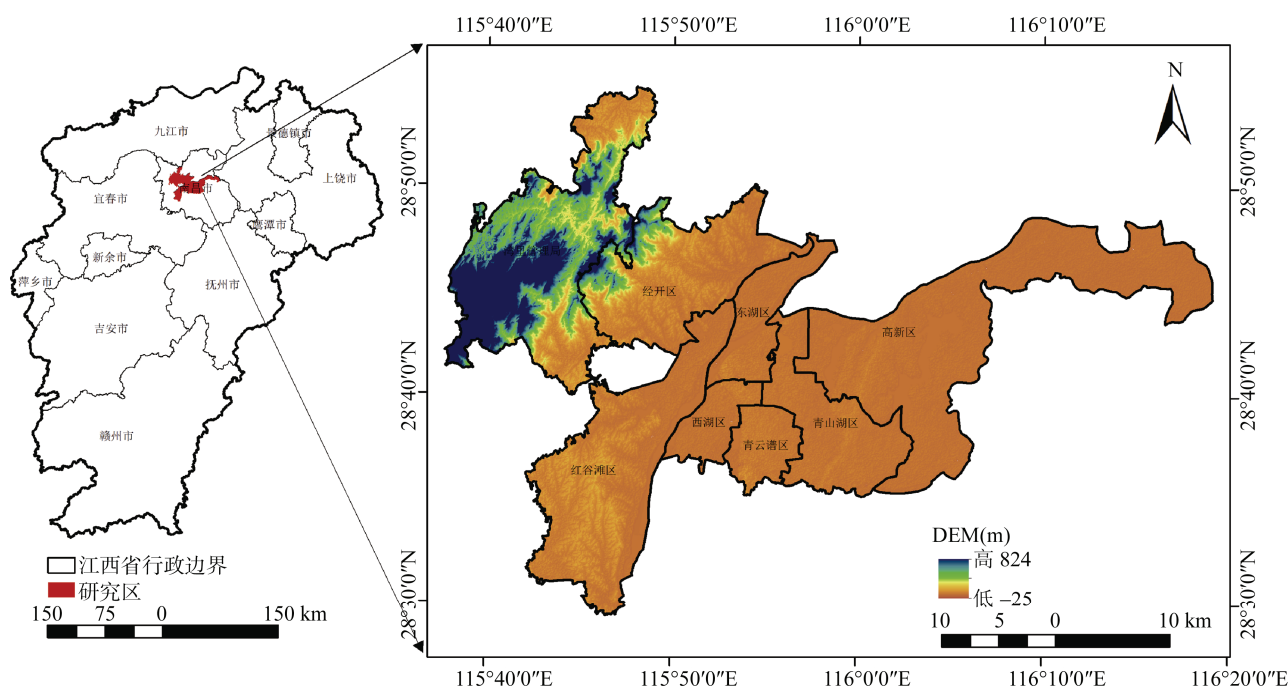


图1 研究区概况

Fig. 1 Study area overview

影响因素分析所需的地形、社会经济数据分别来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)与相关年份地区国民经济和社会发展统计公报。最后,借助 ArcGIS 10.8 软件进行校正、掩膜裁剪、格式转换等处理,将以上数据集统一投影至 CGCS2000 3°GK Zone 39 坐标系,并采用近邻分析、重采样将基础数据赋值至 300 m×300 m 的评价单元中,在此基础上进行耕地多功能评价。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地多功能分类与指标体系构建 现有研究对耕地多功能的内涵分类主要聚焦于生产、生活、生态及文化功能^[21]。然而,伴随农业生产的规模化及城郊居民食物供给渠道的多元化,城镇居民不直接参与耕地经营,城郊耕地生活功能(如保障粮食安全与农民就业)的重要性逐渐趋于弱化^[22]。因此,本研究构建了“生产-生态-文化”评价体系对 2012—2022 年研究区耕地多功能进行评估(表 1)。

1) 耕地生产功能评价指标。生产功能是指耕地在人类耕作管理下持续产出粮食作物与经济作物的能力。本研究中,土壤条件、耕作利用条件指标依据相关研究成果及《自然资源分等定级通则》^[22],对基础数据进行分级赋值;农业产出由主要作物产量指标来衡量,其通过最高产量比法计算产量比系数^[23],将各县区主要作物产量(水稻、油料作物及蔬菜)按比例分配至格网,并采用自然断点法分级

赋值。

2) 耕地生态功能评价指标。耕地生态功能是指耕地生态系统在维持生态平衡、调节环境过程中发挥的非生产性服务功能。本研究中,各指标计算方法参考相关研究^[24-28]并结合实际情况进行设置,最后采用自然断点法分级赋值。

3) 耕地文化功能评价指标。耕地文化功能反映了耕地在提供休闲游憩与景观美学等独特文化服务方面的能力。本研究中,文化休闲指数采用核密度方法量化休闲农业景点 POI 数据的集聚程度;中心城市影响度以耕地距中心城市的空间距离为表征;集中连片度采用聚合面分析工具,识别提取集中连片的耕地斑块;景观形状指数通过耕地图斑的形状指数来量化其边界的规则性与复杂性。各指标数据采用自然断点法分级赋值。

1.3.2 耕地多功能评价分值计算 对耕地功能评价指标完成标准化后,采用改进的 CRITIC-熵权法确定指标权重。该方法综合考虑了指标之间的对比强度与离散程度,克服了单一赋权法的局限性。最后,利用多因素综合评价法计算耕地各功能的评价分值。计算公式为:

$$U_i = \sum_{k=1}^n M_{ik} \times W_{ik} \quad (1)$$

式中: U_i 为各项功能评价分值; M_{ik} 、 W_{ik} 分别为第 i 项功能中指标 k 的标准化值和权重。

表 1 耕地多功能评价指标体系
Table 1 Evaluation indicators for cultivated land multifunctionality

准则层	评价指标	评价分值							
		100	80	70	60	50	40	30	20
土壤条件	pH	6.0~7.5	5.5~6.0 或 7.5~8.0	5.0~5.5			4.5~5.0		>8.0 或<4.5
	质地	壤土	黏壤土		黏土		砂土		
	有机质含量(g/kg)	>40	30~40	20~30			10~20		≤10
	有效土层厚度(cm)	≥100		60~100			30~60		<30
耕作利用 条件	灌溉条件	充分满足	满足		基本满足				不满足
	排水条件	充分满足	满足		基本满足				不满足
农业产出	主要作物产量(t)	≥23.40	15.16~23.40		10.32~15.16		5.71~10.32		<5.71
固碳释氧	固碳释氧量(t/hm ²)	≥18.43	13.43~18.43		9.36~13.43		6.92~9.36		<6.92
水源涵养	单位耕地蓄水量(mm)	≥87.57	76.82~87.57		64.96~76.82		51.75~64.96		<51.75
土壤保持	土壤侵蚀量(t/hm ²)	<0.50	0.50~2.00		2.00~4.00		4.00~7.00		≥7.00
农业污染	单位耕地农药、化肥负荷 (t/hm ²)	<0.29	0.29~0.62		0.62~1.14		1.14~2.55		≥3.72
区位条件	文化休闲指数	≥0.043	0.028~0.043		0.016~0.028		0.005~0.016		<0.005
	距中心城市距离	<4 441.50	4 441.50~ 8 686.06		8 686.06~ 13 312.60		13 312.60~ 20 725.49		≥20 725.49
景观条件	集中连片度(hm ²)	≥66.67	33.33~66.67		20.00~33.33		<20.00		
	景观形状指数	≥0.90	0.80~0.90		0.60~0.80	0.30~0.60		<0.30	

1.3.3 耕地多功能耦合协调度 耦合协调度模型作为评估耕地多功能均衡发展程度的有效评价工具，能够量化系统内各功能相互作用的方向和程度。计算公式为：

$$CCD = \sqrt{C \times T} \tag{2}$$

$$C = 3 \times \left[\frac{U_1 \times U_2 \times U_3}{(U_1 + U_2 + U_3)^3} \right]^{\frac{1}{3}} \tag{3}$$

$$T = \alpha \times U_1 + \beta \times U_2 + \gamma \times U_3 \tag{4}$$

式中：CCD 代表耕地各功能之间的耦合协调度，在区间[0, 1]内取值，CCD<0.5 表示耕地功能间存在权衡关系，CCD>0.5 表示耕地功能间呈协同关系，

值越大协调程度越高；C、T 分别为耕地功能间的耦合度和综合协调发展指数；U₁、U₂ 与 U₃ 分别为耕地生产、生态与文化功能的评价值；α、β 和 γ 分别为耕地生产、生态和文化功能的权重系数，均设定为 1/3。

1.3.4 影响因素选取 本研究结合现有研究成果，从自然、人口、社会经济和耕地投入水平 4 个维度选取指标进行驱动因素分析。为保障模型稳健性，对选定指标进行多重共线性检验。结果显示，所有变量的方差膨胀因子(VIF)值均小于 10，表明变量之间不存在多重共线性问题。所选变量的描述性统计结果如表 2 所示。

表 2 变量描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of variables

变量类型		变量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量		耦合协调度变化值	-0.02	0.12	-0.36	0.52
解释变量	自然维度	海拔(m)	52.04	107.55	4.59	706.15
		坡度(°)	3.61	3.54	0.00	29.37
		降水量变化(mm)	-519.52	24.21	-590.18	-473.22
		农业人口变化(人)	-4 831.75	2 809.18	-98 110.00	81 773.00
	社会经济维度	人均 GDP 变化(万元/人)	6.62	2.86	1.97	9.17
		城镇可支配收入增量(万元)	2.72	0.27	2.31	3.11
		城市化率变化量	0.58	0.10	0.38	0.84
	农业投入维度	第二产业占比变化	-5.28	25.39	-47.30	17.70
		农业机械动力变化(10 ⁴ kW)	3.95	1.92	0.72	8.12

1.3.5 空间计量模型 1) 空间相关性检验。空间计量模型的有效性取决于研究对象是否具有空间相关性。全局莫兰指数(I)分析显示,南昌市城郊耕地多功能耦合协调度变化的 I 为0.89,在1%的置信水平下 Z 值为74.66,证实研究区耕地多功能耦合协调程度变化具有显著的空间依赖性与聚集效应,满足后续构建空间计量模型的前提条件。全局莫兰指数计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{r=1}^n \sum_{u=1}^n \omega_{xu} (x_r - \bar{X})(x_u - \bar{X})}{\sum_{r=1}^n \sum_{u=1}^n \omega_{xu} \sum_{r=1}^n (x_r - \bar{X})^2} \quad (5)$$

式中: n 为格网单元总数; x_r 、 x_u 为格网单元 r 、 u 的耕地多功能耦合协调度变化的测度值; $(x_r - \bar{X})$ 、 $(x_u - \bar{X})$ 为第 r 、 u 个格网单元上测度值与平均值的偏差; ω_{xu} 为标准化的空间权重矩阵。对于空间自相关关系的显著性,通常采用标准化的 Z 统计量来检验。当 $|Z| > 1.96$ ($P < 0.05$)时,拒绝“无空间自相关”的原假设,证实空间效应存在,满足空间计量模型的应用前提。

2) 空间计量模型设定。为检验耕地多功能权衡/协同影响因素的空间依赖效应,需要从空间计量模型中选择合适的模型进行验证。通过对各因子进行拉格朗日乘数(LM)检验发现,传统LM检验和稳健LM检验的结果均在1%水平显著,拒绝了不存在空间被解释变量和不存在空间自相关误差项的原假设,表明空间滞后模型和空间误差模型同时成立,可以接受空间杜宾模型(SDM)设定。进一步通过模型适用性检验,SDM的拟合优度 R^2 为0.3598,且沃尔德检验量(Wald) $>$ 似然比统计量(LR) $>$ 拉格朗日乘数(LM)统计量的决策准则,支撑了该模型的有效性。因此,本研究采用SDM展开驱动因素分析。其表达式为:

$$y = \rho WY + X\eta + \theta WX + \varepsilon \quad (6)$$

式中: y 为耕地多功能权衡/协同度向量($n \times 1$); ρ 为待估计空间自回归系数; W 为 $n \times n$ 阶空间权重矩阵; WY 为被解释变量的空间滞后项; X 为影响耕地多功能权衡/协同的驱动因素矩阵($n \times k$); η 为待估计的自变量回归系数向量($k \times 1$); θ 为待估计的自变量空间滞后系数向量($k \times 1$); WX 为解释变量的空间滞后项; ε 为随机误差项($n \times 1$)。

2 结果与分析

2.1 耕地多功能时空变化特征

2012—2022年,南昌市城郊耕地多功能整体呈现上升趋势(图2),综合功能值由63.95增至63.99。

空间上,东湖区、红谷滩区、经开区北部等中心城区及其毗邻地带耕地多功能值呈现显著增长;而湾里管理局西部、高新区东部等城郊边缘农村区域耕地多功能值不断衰减。

从耕地多功能结构上看,2012—2022年,研究区耕地生产功能值由67.16上升至68.74。但在空间上,60.25%的耕地呈现出不同程度衰减,表现出“功能值总体上升与局部大面积衰减并存”的矛盾特征。耕地生态功能值由57.64上升至62.20,至2022年,全域耕地生态功能整体呈现良好态势。耕地文化功能值由63.37增长至65.03,高水平区域在十年间逐渐增多。

2.2 耕地多功能权衡/协同的时空变化特征

基于2012—2022年南昌市城郊存量耕地斑块,采用耦合协调度模型分析耕地多功能权衡/协同关系的时空变化特征,结果如图3所示。可见,研究期内城郊耕地多功能始终维持协同状态($CCD > 0.5$),但耦合协调度 CCD 均值由0.69降至0.67,呈现轻微下降趋势,表明当前耕地多功能利用存在协同效率衰减与结构性失衡风险。空间上,耦合协调度变化存在显著的东西分异特征。其中,南昌市中心城区在内及其以西地区耦合协调度普遍上升,形成“西部提升区”;东部区域耦合协调度有所下降,构成“东部衰减区”;而湾里管理局南部作为城郊边缘高海拔农村地区,由耕地多功能协同转变为权衡关系($CCD < 0.5$)。

2.3 耕地多功能权衡/协同变化的驱动因素

为深入剖析各驱动因素对耕地多功能耦合协调度变化的空间交互效应,本研究将总空间效应分解为直接效应与间接效应,以各项解释变量的系数和显著性代表各自的贡献程度,结果如表3所示。可见,海拔(-)、农业人口变化、人均GDP变化、城镇可支配收入增量、第二产业占比变化(-)、农业机械动力变化对研究区耕地多功能耦合协调度变化具有直接效应(“-”代表负向效应,下同),是直接影响耕地多功能耦合协调度变化的因子。坡度、降水量变化和城市化率变化量未通过显著性检验,无显著直接影响。

在间接效应方面,本研究考虑自变量的空间流动性及滞后项的理论可解释性,剔除了自然层面指标的滞后项。结果表明,农业人口变化、人均GDP变化、城镇可支配收入增量、城市化率变化量、第二产业占比变化、农业机械动力变化对研究区邻近区域耕地多功能耦合协调度变化具有显著的空间溢出效应。

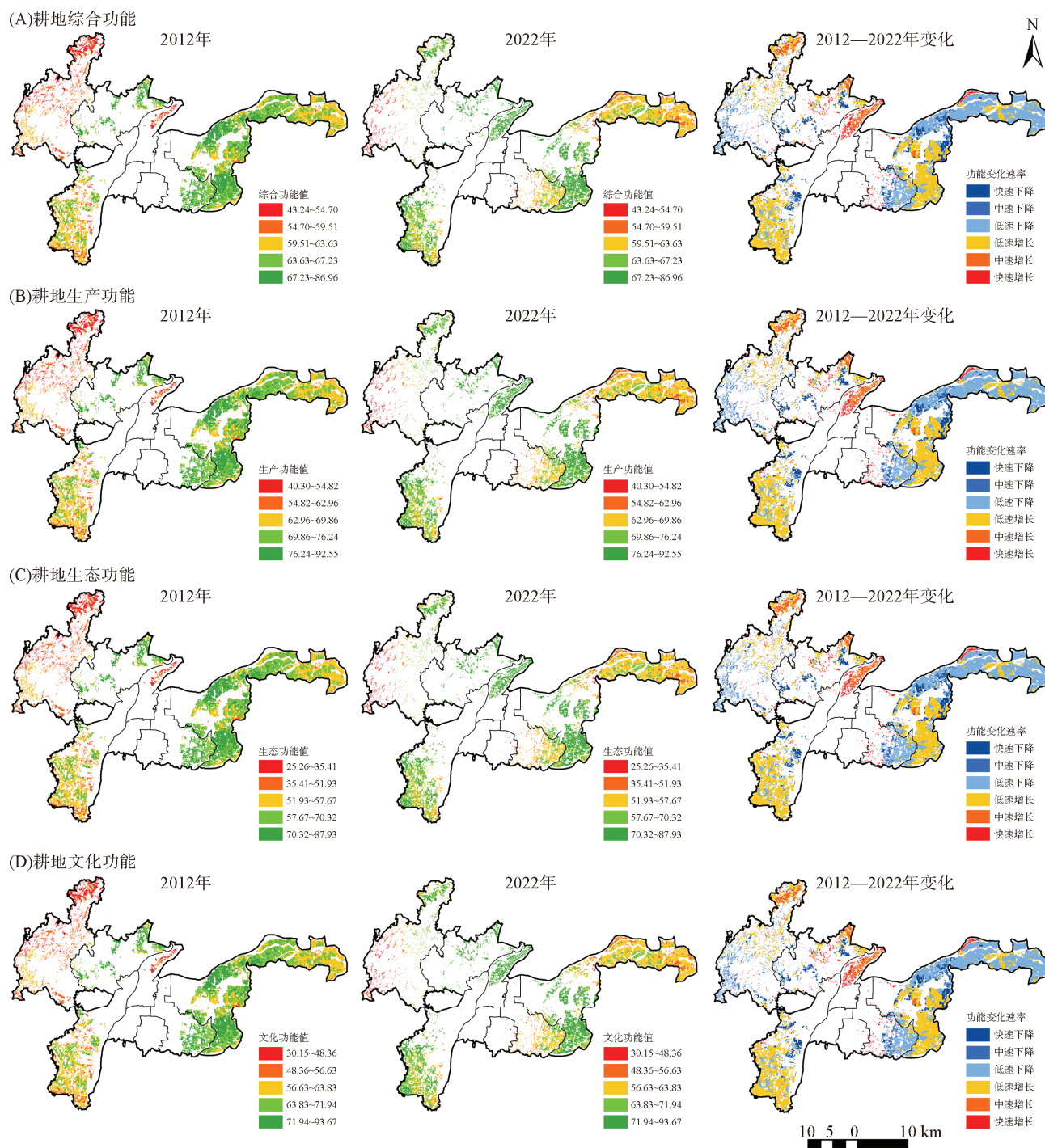


图 2 2012—2022 年研究区耕地多功能变化空间分布

Fig. 2 Changes of spatial distributions of cultivated land multifunctionality in study area during 2012–2022

3 讨论

3.1 城郊耕地多功能与权衡/协同变化的区位效应

2012—2022 年, 南昌市城郊耕地各项功能整体呈现小幅度上升趋势, 但伴随而来的人口增加、社会经济发展及技术投入, 对城郊耕地多功能内部结构造成了冲击, 多功能水平发生了显著的空间分异, 并逐

渐形成“中心强化—边缘弱化”的梯度格局, 与高星等^[29]关于城乡梯度下耕地多功能分异特征的研究结果相似。

本研究发现, 南昌市城郊耕地生产—生态—文化功能间始终保持着积极的协同关系, 但耦合协调度总体呈现下降趋势。Wang 等^[30]关于广东耕地多功能的研究同样指出, 历经快速城市化进程的区域耕

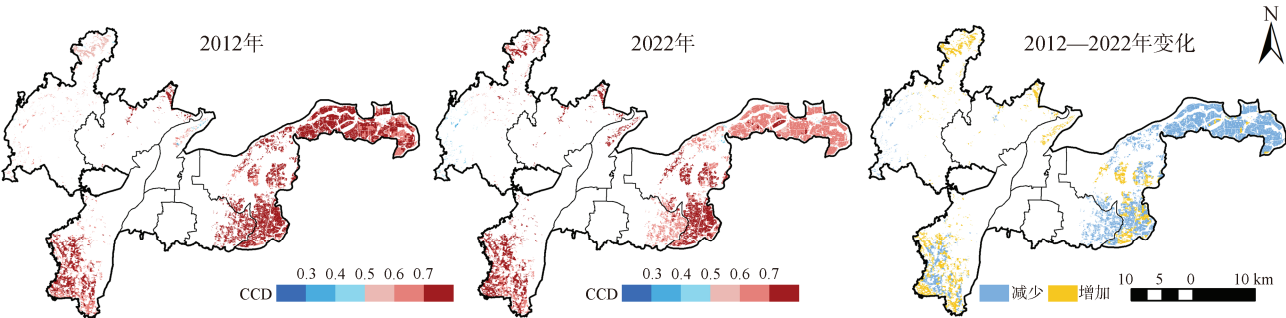


图 3 2012—2022 年研究区耕地多功能耦合协调度空间分布及变化

Fig. 3 Spatial distribution and change of cultivated land multifunctionality coupling coordination degree in study area during 2012–2022

表 3 SDM 回归结果

Table 3 Regression results of SDM

解释变量	系数	Z 值
海拔(X_1)	-0.003***	-7.51
坡度(X_2)	-0.000	-0.55
降水量变化(X_3)	-0.001	-10.62
农业人口变化(X_4)	0.001***	3.98
人均 GDP 变化(X_5)	0.011***	3.52
城镇可支配收入增量(X_6)	0.006*	1.82
城市化率变化量(X_7)	-0.062	-0.99
第二产业占比变化(X_8)	-0.003***	-6.54
农业机械动力变化(X_9)	0.069*	5.32
农业人口变化空间滞后因子($W \times X_4$)	-0.002***	4.89
人均 GDP 变化空间滞后因子($W \times X_5$)	0.065***	6.66
城镇可支配收入增量空间滞后因子($W \times X_6$)	0.000***	8.12
城市化率变化量空间滞后因子($W \times X_7$)	0.123*	1.84
第二产业占比变化空间滞后因子($W \times X_8$)	-0.004***	-6.01
农业机械动力变化空间滞后因子($W \times X_9$)	0.205***	6.61

注：*、**、***分别表示在 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 水平上显著。

地多功能逐渐转向失衡风险,说明不同区域耕地多功能关系存在一定程度共性的演化规律。研究区耕地多功能协同变化在空间上形成“西升东降,边缘降低”的分异格局。城郊以西区域社会经济发展条件较好,经济、农业和资源的交互流通使得该区域的耕地多功能发展相对协调,这与刘豫等^[31]和 Li 等^[32]的研究结果较为一致,其均发现高水平的耦合协调主要集中在省会城市或区域中心。东部区域主要为粮食主产区,经济发展尚不充分,面临着青壮年劳动力流失、耕地粗放化利用及生态管护不足等问题,造成该区域耦合协调度的下降。而位于城郊边缘的高海拔农村地区(如湾里管理局南部),受劳动力持续流失与生态本底脆弱的双重压力影响,耦合协调度进一步降低,形成“边缘低谷区”。据 Chen 等^[33]的研究,这可能是由于农村劳动力不断向高产

出区域转移,导致耕地资源利用不足或闲置的结果。

3.2 各因素对耕地多功能耦合协调度变化的影响

现有关于耕地多功能耦合权衡/协同关系驱动因素的研究多聚焦于各要素对耕地多功能的驱动机制,而忽略了要素间的空间溢出效应。陈莎等^[20]的研究已证实,社会经济要素客观存在着空间外溢,对耕地多功能变化造成影响。而本研究进一步发现,自然、人口、经济及技术投入各维度要素对耕地多功能协同水平均具有直接效应和间接效应,各要素不仅直接影响本区域耕地多功能协同关系,还通过要素流动对邻域产生间接影响。

从直接效应来看,在自然维度,海拔对本区域耕地多功能协同具有负向作用,与安悦等^[34]研究结果一致。高海拔区域基础设施薄弱、生态敏感性较高,制约了要素流动与农业开发强度,多功能协同程度较低。在人口维度,农业劳动力投入促进耕地多功能协同发展。钟欣秀^[35]研究表明,青壮年农业劳动力的持续流入,为精细化农业生产与智慧农业技术发展提供了人力支撑。在社会经济维度,人均 GDP 和城市可支配收入提升是耕地多功能协调发展的重要驱动力。经济发展促进资源调配和技术投入,收入增长触发需求侧结构性转型,形成对生态与文化功能的市场推动。在农业技术投入维度,第二产业占比增加具有负向作用,而农业机械动力投入则有利于协同提升。工业化在提升农业技术的同时,加剧劳动力流失与污染,农业机械化则通过提升耕作效率实现生产与生态协同发展。

从间接效应来看,农业人口变化和第三产业占比变化的空间滞后项系数为负,表明邻近区域两类要素的提升对研究区具有负向消减作用,邻域生产要素竞争和城市虹吸效应导致研究区要素集聚不足。而人均 GDP 变化、城镇可支配收入增量、城市化率变化量及农业机械投入变化的空间滞后项系数为正,表明邻域经济辐射带动资源调配,消费升级刺激市场需求多

元化,技术扩散外溢提升投入效率,共同强化了研究区耕地多功能协同发展。

总之,自然因素是耕地多功能协同的基础性约束条件^[32],人口、经济及技术投入要素的流动性与空间配置不均衡是导致耕地多功能协同水平区域分异的内在动因。具体而言,经济发达区域不仅促进当地耕地多功能协同提升,也通过辐射带动能力对邻域产生正向溢出。然而,这种要素集聚效应同样对边缘地区形成虹吸压力,引发劳动力流失与要素配置失衡。因此,推进耕地多功能协同发展需立足区域社会、经济与人口的要素流动,通过差异化的政策调控引导要素优化配置,在充分发挥核心区域辐射功能的同时,强化边缘地区的要素补给与能力建设,从而实现全域耕地多功能协同水平的整体提升。

3.3 展望与不足

制度调整与农户政策感知对耕地多功能协同利用具有重要的宏观调控作用,但囿于数据的可获取性,本研究未能全面量化并分析其影响机制,未来有必要考察政策因素对耕地多功能权衡/协同的影响。此外,本研究仅基于 2012 年和 2022 年两期截面数据进行实证,未能充分捕捉耕地多功能权衡/协同演变的动态过程,在未来研究中应结合多期时间序列数据,构建面板模型,进行更深入的耕地多功能动态分析。

4 结论

1) 2012—2022 年,南昌市城郊耕地多功能综合水平呈现小幅度上升趋势,形成“中心强化—边缘弱化”的空间分异特征。从耕地多功能结构上看,生产功能表现出“功能值总体上升与局部大范围衰减并存”的矛盾特征,生态功能整体改善,文化功能则显著提升。

2) 研究区域城郊耕地多功能整体维持协同状态,但耦合协调度总体呈现轻微下降趋势,空间上呈现“西升东降”的阶梯状分异格局。城郊西部地区存在着协同效率衰减与结构性失衡的潜在风险。

3) 海拔、农业人口变化、人均 GDP 变化、第二产业占比变化、农业机械动力变化对研究区多功能耦合协调度具有直接贡献。而农业人口变化、人均 GDP 变化、城镇可支配收入增量、城市化率变化量、第二产业占比变化及农业机械动力变化等因素则对邻近区域具有空间溢出效应。

参考文献:

[1] 宋小青,吴志峰,欧阳竹. 1949 年以来中国耕地功能变

化[J]. 地理学报, 2014, 69(4): 435–447.

- [2] Song W, Zhang H Z, Zhao R, et al. Study on cultivated land quality evaluation from the perspective of farmland ecosystems[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 139: 108959.
- [3] 薛继兵, 闵怡斐, 官炎俊, 等. 粮食主销区的耕地多功能演进特征及其保护长效机制——以浙江省海盐县为例[J]. *中国土地科学*, 2025, 39(3): 58–69.
- [4] Shen S S, Yan D, Liu X J. Achieving coordinated development of multi-functional urban agriculture in Xiamen, China[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2024, 101: 105070.
- [5] 殷金忠, 唐蛟, 潘飞飞, 等. 城市近郊土地利用变化对土壤团聚体及其结合有机碳的影响[J]. *土壤*, 2024, 56(1): 49–55.
- [6] 张佳宝. 新时代耕地土壤产能提升科技发展现状与战略思考[J]. *土壤*, 2025, 57(6): 1201–1210.
- [7] 张玥, 代亚强, 陈媛媛, 等. 中国耕地多功能耦合协调时空演变及其驱动因素[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(7): 244–255.
- [8] 王丽, 周勇, 李晴, 等. 基于随机森林的耕地质量评价智能模型及其应用研究[J]. *土壤学报*, 2022, 59(5): 1279–1292.
- [9] Ma R R, Huang Y H, Zhou W, et al. How to transform cultivated land protection on the Northeast Tibetan Plateau? A multifunctional path exploration[J]. *Ecological Indicators*, 2025, 170: 112988.
- [10] 徐国良, 赵婵娟, 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.
- [11] 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.
- [12] 戴金峰, 乔江波, 朱绪超, 等. 天山北坡经济带生态系统服务评估及权衡协同关系研究[J]. *土壤*, 2025, 57(1): 238–246.
- [13] 袁媛, 张靖雯, 黄先开, 等. 城市群经济—水资源—生态环境耦合协调评价及影响因素研究: 以京津冀为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2025, 39(8): 13–28.
- [14] 宋亮, 赵冰琴, 申远洋, 等. 新银合欢林土壤理化性质—微生物生物量耦合协调关系研究[J]. *土壤*, 2023, 55(5): 1070–1079.
- [15] Zhu C M, Dong B Y, Li S N, et al. Identifying the trade-offs and synergies among land use functions and their influencing factors from a geospatial perspective: A case study in Hangzhou, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 314: 128026.
- [16] Sumbo D K, Anane G K, Inkoom D K B. ‘Peri-urbanisation and loss of arable land’: Indigenes’ farmland access challenges and adaptation strategies in Kumasi and Wa, Ghana[J]. *Land Use Policy*, 2023, 126: 106534.
- [17] 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.
- [18] 陶洁怡, 章锦河, 董平, 等. 耕地生态系统服务权衡/协同关系及驱动因素阈值效应——以长三角地区为例[J]. *生态学报*, 2025, 45(16): 7836–7851.
- [19] 钟骁勇, 郭冬艳, 唐彦东. 资源型城市耕地生态系统服务价值权衡协同关系及其影响因素研究[J]. *中国矿业*, 2024, 33(12): 143–153.

- [20] 陈莎, 杨润佳, 李冠. 浙江省耕地多功能时空格局变化、影响因素及空间溢出效应[J]. 农业工程学报, 2022, 38(16): 21–32.
- [21] 杨晓帆, 刘瑛, 蔡海生, 等. 大南昌都市圈耕地利用的多功能权衡与协同关系演变[J]. 水土保持通报, 2024, 44(3): 241–251, 262.
- [22] 刘婧彤, 文雯, 尹利娜, 等. 基于城乡居民异质性视角的耕地多功能供需平衡认知研究[J]. 中国农机化学报, 2025, 46(1): 242–248, 263.
- [23] 孔祥斌, 林晶, 王健, 等. 产量比系数对农用地分等的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 237–243.
- [24] 周媛, 曹云, 钱悦, 等. 2000—2022 年江西省生态系统调节服务功能演变特征及气象影响[J]. 应用生态学报, 2024, 35(8): 2187–2196.
- [25] 丁也璐, 赵娜娜, 黎明, 等. 陕北农田作物生产碳源/汇及碳足迹空间特征[J]. 生态学报, 2024, 44(11): 4574–4583.
- [26] 马波, 马璠, 李占斌, 等. 模拟降雨条件下作物植株对降雨再分配过程的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 136–146.
- [27] 牛海鹏, 赵晓鸣, 肖东洋, 等. 黄河流域(河南段)耕地多功能时空格局演变及其权衡协同关系[J]. 农业工程学报, 2022, 38(23): 223–236.
- [28] 田慎重, 管西林, 宁堂原, 等. 多样化种植对提升耕地质量的作用: 进展与展望[J]. 土壤学报, 2024, 61(3): 619–634.
- [29] 高星, 宋昭颖, 李晨曦, 等. 城乡梯度下的耕地多功能价值空间分异特征[J]. 农业工程学报, 2021, 37(16): 251–259.
- [30] Wang Z J, Yang H, Hu Y M, et al. Multifunctional trade-off/synergy relationship of cultivated land in Guangdong: A long time series analysis from 2010 to 2030[J]. Ecological Indicators, 2023, 154: 110700.
- [31] 刘豫, 王颖, 耿彩英, 等. 2013—2022 年重庆市耕地多功能性时空演变及耦合协调关系[J]. 水土保持通报, 2025, 45(4): 372–381.
- [32] Li W B, Wang D Y, Li Y F, et al. A multi-faceted, location-specific assessment of land degradation threats to peri-urban agriculture at a traditional grain base in northeastern China[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 271: 111000.
- [33] Chen S, Chen H, Guan Y J, et al. How cultivated land multifunctionality influences the urban–rural income gap? Evidence from China[J]. Economic Analysis and Policy, 2026, 89: 370–383.
- [34] 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.
- [35] 钟欣秀. 湖南省洞庭湖地区耕地多功能演变及影响因素[J]. 经济地理, 2025, 45(7): 209–217.

(责任编辑: 于 飞)