

滇中地区耕地多功能权衡协同关系与分区管制

陈文哲,董燕

(昆明理工大学 国土资源工程学院,昆明 650093)

摘要: [目的] 揭示滇中地区耕地多功能的时空演变规律及其权衡协同关系,为区域耕地资源的协同优化与可持续管理提供支撑。[方法] 以滇中地区42个县(市)区为评价单元,构建耕地多功能评价体系,并应用Spearman秩相关分析法、双变量空间自相关模型和K-means聚类分析法,分析了2010—2020年耕地多功能的时空特征及权衡协同关系,并将滇中划分为四大耕地利用功能区。[结果] (1) 2010—2020年滇中地区耕地农业生产功能呈增长趋势,生态环境功能先增后减,社会保障功能呈明显增长趋势,景观格局功能基本保持稳定。(2) 研究期内,生态环境—社会保障功能为权衡关系,其余均为协同关系。农业生产—生态环境协同减弱,农业生产—社会保障协同增强,社会保障—景观格局协同增强,景观格局—农业生产和生态环境均呈协同减弱。(3) 滇中地区以县(市)区为单位划分为4个多功能类型区:农业生产主导区(33.33%)、生态农业区(19.05%)、景观农业区(14.29%)、农业—社会保障区(33.33%),并提出优化路径。[结论] 滇中地区2010—2020年耕地多功能呈现差异化演变及由权衡与协同共同驱动的功能关系,并据此形成四类功能分区及优化路径,研究结果有助于区域农业高质量发展和耕地资源可持续利用。

关键词: 耕地多功能; 权衡/协同关系; 双变量空间自相关; 滇中地区

中图分类号:F301.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2026)03-0364-10

Trade-off and synergy relationships and regional regulation of multifunctional cultivated land in Central Yunnan

Chen Wenzhe, Dong Yan

(Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: [Objective] This study aims to reveal the spatiotemporal evolution patterns and trade-off and synergy relationships of multifunctional cultivated land in Central Yunnan, providing support for the coordinated optimization and sustainable management of regional cultivated land resources. [Methods] Taking 42 counties (cities) in Central Yunnan as evaluation units, a multifunctional cultivated land evaluation system was constructed. The Spearman's rank correlation analysis method, bivariate spatial autocorrelation model and K-means cluster analysis method were used to analyze the spatiotemporal characteristics and trade-off and synergy relationships of cultivated land multifunctionality from 2010 to 2020. Central Yunnan was divided into four major cultivated land utilization functional zones. [Results] (1) From 2010 to 2020, the agricultural production function of cultivated land in Central Yunnan showed an upward trend, the ecological environment function first increased and then decreased, the social security function showed a clear growth trend, and the landscape pattern function remained basically stable. (2) During the study period, the ecological environment-social security function was in a trade-off relationship, and the rest were in a synergistic relationship. The synergy between agricultural production and the ecological environment weakened, the synergy between agricultural production and social security

收稿日期:2025-06-04

修回日期:2025-07-04

接受日期:2025-07-25

资助项目:国家自然科学基金“高海拔高寒矿区边坡失稳与地表面变行为模式研究”(52364020)

第一作者:陈文哲(2001—),女,河南新乡人,硕士研究生,主要从事耕地资源利用与保护。(E-mail):chenwenzhe0693@163.com

通信作者:董燕(1974—),女,云南红河州人,副教授,硕士研究生导师,主要从事遥感数据分析应用。(E-mail):kmdy@kust.edu.cn

<https://stbcyj.publish.founderss.cn>

strengthened, the synergy between social security and landscape pattern strengthened, and the synergies between the landscape pattern and both agricultural production and the ecological environment weakened. (3) The Central Yunnan region was divided into four multifunctional types of areas based on counties (cities): agricultural production-dominated area (33.33%), ecological agriculture area (19.05%), landscape agriculture area (14.29%), and agriculture-social security area (33.33%), and optimization pathways were proposed. [Conclusion] From 2010 to 2020, the evolution of cultivated land multifunctionality in Central Yunnan exhibited differentiated trajectories and functional relationships driven by both trade-offs and synergies. Based on this analysis, four functional zones and optimization pathways are established, providing a scientific basis for high-quality regional agricultural development and sustainable utilization of cultivated land resources.

Keywords: multifunctional cultivated land; trade-off and synergy relationships; bivariate spatial autocorrelation; Central Yunnan

耕地是人类生存和社会发展的基础资源之一,既能保障粮食供应,又在推动乡村振兴和改善生态环境中发挥着关键作用^[1]。近年来,我国推出了一系列旨在强化粮食安全保障的政策,突出强调耕地数量维护、地力提升与生态保护之间的协调统一^[2-3]。党的十九大报告提出了“藏粮于地、藏粮于技”的战略部署,为实现国家粮食长治久安奠定了基础。此外,中央一号文件也持续聚焦农业的绿色转型与可持续发展,致力于推动耕地资源实现高效利用。这些政策充分体现了对耕地资源的综合价值和长远发展目标的高度关注,明确了耕地多功能权衡与协同的研究重点,强调在保障粮食安全的基础上,还需兼顾生态保护和社会经济稳定。因此,如何在保障粮食安全的前提下,协调耕地的农业生产、生态保护与社会功能,成为高效合理利用耕地的核心问题。

长期以来,学术界主要关注耕地的农业生产功能^[4]。然而,随着社会经济发展、生态文明建设的推进及人们价值观念的变化,耕地利用逐渐从单一向多元化转变,呈现出更加复杂的功能需求^[5-6]。除了传统的农业生产功能以外,耕地的社会保障、生态环境和景观美化等功能日益受到重视^[7]。这些功能在类型、空间分布和人类选择性利用方面的差异,使得各功能之间存在复杂的相互作用^[8]。因此,推动耕地多功能的协调发展,已成为实现可持续发展的关键。自联合国1992年提出“农业多功能性”概念以来^[9],耕地多功能利用中的权衡与协同问题逐渐成为研究热点。当前相关研究主要借鉴生态系统服务的分析方法,重点关注耕地生态系统服务类型之间的相互作用,尤其是其权衡与协同关系的定量识别。随着研究的深入,分析手段由早期的定性描述逐步向定量建模转变,重点聚焦于服务功能间的线性与非线性关系^[10-11]。常用的定量方法包括相关性分析、主成

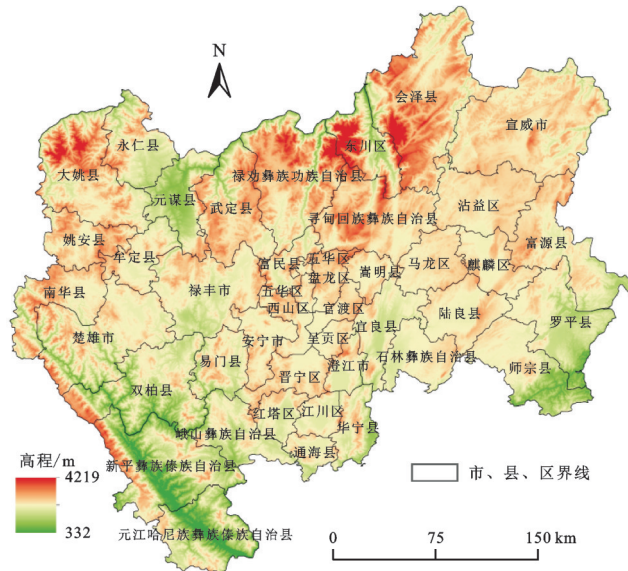
分分析和灰色关联分析等^[12-13],这些方法能够有效揭示不同功能之间的内在联系。另外,空间分区逐渐受到重视^[14],在开展耕地多功能研究时,合理的分区方法已成为揭示区域异质性和优化耕地管理的重要工具,通过科学划分能够为耕地的宏观管理与精细化调控提供支持,从而有效提升土地的利用效率和可持续性^[15]。现常用的分区方法有主导功能分区、空间自相关和聚类分析等^[16-17]。其中空间聚类分析常用于解析地理要素复杂的空间分异性,可整合自然与社会经济等多重驱动因子,对农田系统进行精细划分^[18-19]。同时,耕地多功能评价的研究在评价尺度上较为丰富,尤其是在国家、省、市等大尺度的研究较为普遍^[20],而以县域尺度作为研究单元的研究较少,县域是政策落实与地方实践的关键纽带,其数据优势使耕地多功能演变研究更具可行性。在研究区域上,关于经济较好的省、市以及重点经济区的研究成果较多^[21-22]。然而,针对中国西南地区,特别是云南滇中地区的相关研究仍然较为匮乏。

滇中地区作为云南省经济发展的核心引擎,自然资源丰富,但在经济快速发展的同时,城乡发展不均衡、耕地资源紧张以及土地利用破碎等问题日益突出^[23],造成耕地荒废和人地关系紧张的局面。同时,粮食保障、生态保护和农业可持续发展面临巨大挑战。因此,深入开展耕地多功能的权衡与协同研究对于促进滇中地区资源可持续利用与区域农业高质量发展具有重要意义。本文以滇中地区42个县(市)区为研究对象,基于耕地多功能特征及其相关数据,采用Spearman秩相关分析法、双变量空间自相关模型和K-means聚类分析法,研究滇中地区2010—2020年耕地多功能水平及其权衡与协同关系。通过揭示滇中地区耕地多功能的时空演变规律及其权衡协同关系,为区域耕地资源的协同优化与可持续管理提供支撑。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

滇中地区位于云南省中部(23°18′—27°03′N, 100°43′—104°48′E),资源丰富,是滇中城市群的核心,在中国“两横三纵”城市化发展战略中占据重要地位。由昆明市、曲靖市、玉溪市和楚雄州组成,共计42个县级行政单元(图1),国土总面积约9.34万km²,约占全省土地面积的24%,耕地面积约占全省的32%。截至2023年末,区域常住人口1 893.4万人,占全省约41%,城镇化率达57.46%;区域GDP 16 305.51亿元,占全省约54%。随着经济的迅速发展和城镇化进程的推进,大量坝区被开发利用,使耕地保护面临严峻考验。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2024)0650号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图1 滇中地区地理位置

Fig. 1 Geographical location of Central Yunnan

1.2 数据来源

本文涉及的土地利用、气象、地形及土壤数据分别源于:资源环境科学与数据中心(土地利用类型);国家地球系统科学数据中心(降水与潜在蒸散发);地理空间数据云(Digital Elevation Model, DEM);世界土壤数据库(土壤类型)。社会经济统计数据来源于《云南省统计年鉴》和各州市统计年鉴,部分缺失数据通过线性插值法补齐。

2 研究方法

2.1 耕地多功能评价指标体系构建

2.1.1 耕地多功能评价指标的选取 参考前人研究成果^[4,17],结合研究区耕地情况,本文从农业生产、生态环境、社会保障和景观格局4个方面选取17个指

标构建耕地多功能评价指标体系(表1)。

作为耕地的核心功能,农业生产功能集中体现其为社会提供粮食与农产品的基础性作用。选用粮食单产和耕地地均农业产值衡量耕地产出能力和潜力;耕地垦殖率反映区域耕地开发利用的程度;粮食自给率反映区域粮食自给保障能力。

生态环境功能是耕地维持内部生态平衡的能力。农药、化肥和塑料薄膜等化学品是耕地的主要污染源,其用量越多,污染越严重。耕地类型的生态优势度反映耕地资源的基础条件,其数值越大,表明生态维持功能越强。单位耕地面积的水源涵养量通过InVEST模型计算的产水量,并结合流速系数、地形指数和土壤饱和导水率修正得出,数值越大表明生态调节功能越强。

社会保障功能旨在提高生活保障能力,为农民的生活和就业提供支撑与保障。选取农业GDP占比反映耕地产出在国民经济发展中的作用程度;人均耕地面积和劳动力承载量分别从耕地资源和劳动力两个角度反映耕地对农民生活和就业保障的程度。农村居民年人均纯收入能够直观反映耕地在农民社会保障中的作用。

景观格局功能主要反映耕地在视觉和文化层面的综合价值。选取最大斑块指数来表示田块均匀度,值越小表示耕地斑块大小越均匀;田块规整度值越高,说明耕地斑块的形态越规则^[24];耕地景观聚集度反映耕地斑块的连片聚集程度,数值越大说明景观连通性越强^[25];香农多样性指数反映耕地景观类型的多样性程度。该4项指标,均采用景观软件Fragstats计算得到。

2.1.2 耕地功能值的计算

(1) 指标权重计算。由于各指标数据的单位、属性都有所不同,为保证数据的可比性,对3个年份的评价指标进行极差标准化处理^[4],然后采用熵权法对数据进行综合计算,从而得到反映整体趋势的权重,计算过程参见^[26]。

(2) 功能值计算。采用综合指数法计算滇中地区耕地多功能评价分值 $F^{[17]}$,计算式如下:

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

式中: y_{ij} 为第*i*个县第*j*个指标的标准化值; n 为指标数; W_j 为各项指标的权重。

2.2 耕地多功能相关关系的测度

2.2.1 Spearman秩相关 Spearman秩相关分析是一种用来衡量变量间权衡/协同关系的方法^[27], r 为秩相关系数,当 $r > 0$ 时,两种功能之间存在协同关

系;而当 $r < 0$ 时,则表明这两种功能之间存在权衡关系。如果 $|r| < 0.1$,表明两种功能之间几乎不相关; $0.1 \leq |r| < 0.3$,表明存在弱相关; $0.3 \leq |r| < 0.5$,表明存在较强相关; $|r| \geq 0.5$,表明存在强烈的相关性^[10],计算式如下:

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

式中: (X_i, Y_i) 为一对变量; E_i 为 X_i 的秩次; F_i 为 Y_i 的秩次; n 为变量数量。

表1 滇中地区耕地多功能评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for multifunctional cultivated land in Central Yunnan

功能类别	评价指标	属性	指标释义	权重
农业生产功能	粮食单产水平	+	粮食总产量/粮食作物播种面积	0.0456
	耕地垦殖率	+	耕地面积/土地总面积	0.0739
	粮食自给率	+	粮食产量/[常住人口数×400(kg/人)]	0.0912
	耕地地均农业产值	+	农业总产值/耕地面积	0.1398
生态环境功能	单位耕地面积农药施用强度	-	农药施用量/耕地面积	0.0118
	单位耕地面积化肥施用强度	-	化肥施用量/耕地面积	0.0202
	单位耕地面积塑料薄膜施用强度	-	塑料薄膜施用量/耕地面积	0.0093
	耕地类型生态优势度	+	水田面积/耕地总面积	0.0805
	单位耕地面积水源涵养量	+	耕地水源涵养能力	0.0587
社会保障功能	农业GDP占比	+	农业总产值/地区生产总值	0.0928
	劳动力承载量	+	农林牧渔业从业人员数量/乡村从业人员数量	0.0231
	人均耕地面积	+	耕地面积/常住人口	0.0798
	农村居民年均纯收入	+	统计年鉴获取	0.0969
景观格局功能	最大斑块指数	-	最大斑块面积/景观面积	0.0241
	田块规整度	+	周长/面积	0.0588
	耕地景观聚集度	+	耕地斑块的连片聚集程度	0.0566
	香农多样性指数	+	耕地景观类型的多样性程度	0.0369

2.2.2 空间相关分析 局部空间自相关可以对研究区域内不同地区的聚集特征进行分析,识别出聚集性显著的区域,并将相关性评估结果进行可视化展示。采用Anselin等^[28]提出双变量局部空间自相关方法,分析耕地多功能之间的权衡与协同聚集区域,计算式如下:

$$I_p^{AB} = \frac{X_p^A - \bar{X}^A}{\delta^A} \sum_{q=1}^n \left(W_{pq} \frac{X_q^B - \bar{X}^B}{\delta^B} \right) \quad (3)$$

式中: I 为双变量局部空间自相关指数; X_p^A 为区域 p 耕地的 A 功能值; X_q^B 为区域 q 耕地的 B 功能值; \bar{X}^A 、 \bar{X}^B 分别表示耕地 A 功能和 B 功能的平均值; n 为区域总个数; δ^A 、 δ^B 分别表示耕地 A 功能值和 B 功能值的方差; W_{pq} 为第 p 和第 q 个区域之间的空间权重。

2.3 基于K-means聚类的分区划定

运用基于迭代求解原理的K-means聚类算法,对滇中地区耕地多功能评价所揭示的4个功能维度进行综合分析,进而科学识别该区域耕地的主导功能类型。

3 结果与分析

3.1 耕地多功能时空演变

将滇中地区各县(市)区的耕地功能评价结果予以空间化表达,生成耕地功能等级图,直观展示并分析其空间分异特征(图2)。

(1) 2010—2020年滇中地区耕地农业生产功能整体呈现增长趋势,其中,玉溪市和楚雄州部分地区提升较为明显。2015年以来,云南省加强耕地保护与质量建设,严格遏制耕地“非农化”和“非粮化”,确保粮食播种面积和粮食安全。高值水平区域主要分布在罗平县、陆良县、通海县和华宁县等地,这些地区降水充足,具有较好的自然条件,耕地资源丰富,农业土地得到有效的管理和利用。相对而言,低值水平区域主要分布在北部多山丘陵的地区,耕地资源有限,农业生产功能较弱。同时,低值县级单元数量逐渐减少,表明研究区的农业生产功能逐步从中低值水平向中高值水平发展。

(2) 2010—2020年滇中地区生态环境功能整体

呈现先增后减的趋势,并呈现出“东高西低”的空间分布格局。主要可能是因为2015年耕地水源涵养能力较强,耕地生态调节功能较高。中值水平区域分布在安宁市、禄丰市和红花区等社会经济发展较快、人为活动干预较多的地区。师宗县、嵩明县、陆良县和姚安县等地区生态环境功能指数较高,而宣威市、东川区、峨山彝族自治县等地区生态环境功能相对较低。耕地类型生态优势度和水源涵养功能的下降导致生态环境功能的减弱。然而,随着云南省绿色生态农业政策的实施,有机肥替代化肥和病虫害智能监测预警等措施有效减少化肥和农药的使用,从而在一定程度上缓解了生态压力。

(3) 2010—2020年滇中地区耕地社会保障功能发生了显著变化,呈现出“西高东低”的空间分布格局,整体呈上升趋势。2010—2015年有21个县级区域功能值的水平有所提高;2015—2020年该区域社会保障功能迈向更高水平,达到中值及以上的区域增至40个。自乡村振兴战略实施以来,其通过推动

城乡基础设施互联互通、促进生产要素双向流动等一系列举措,有效加速城乡一体化进程。在这一宏观背景下,农民的收入来源趋于多元化,生活条件与公共服务水平获得显著改善,从而进一步增强耕地的社会保障功能。

(4) 2010—2020年滇中地区耕地景观格局功能趋于稳定。低值与较低值水平区域主要分布在西山区、官渡区、澄江市和宣威市等地区,受经济发展与城市扩张驱动,这些区域的耕地资源面临被建设占用的压力,其碎片化态势可能因此进一步加剧。高值与较高值水平区域主要分布在峨山彝族自治县、罗平县、陆良县和宜良县等地区,这些地区耕地资源丰富且集中连片,农田景观生态体系呈现出规模化发展趋势。研究区出现景观格局功能高值区与生态环境功能低值区并存的现象,可能是由于这些地区虽然耕地景观格局集中、均匀、规划较好,但同时也是人类农业活动较为密集的区域,农药、化肥等使用强度较高,从而削弱生态环境功能。

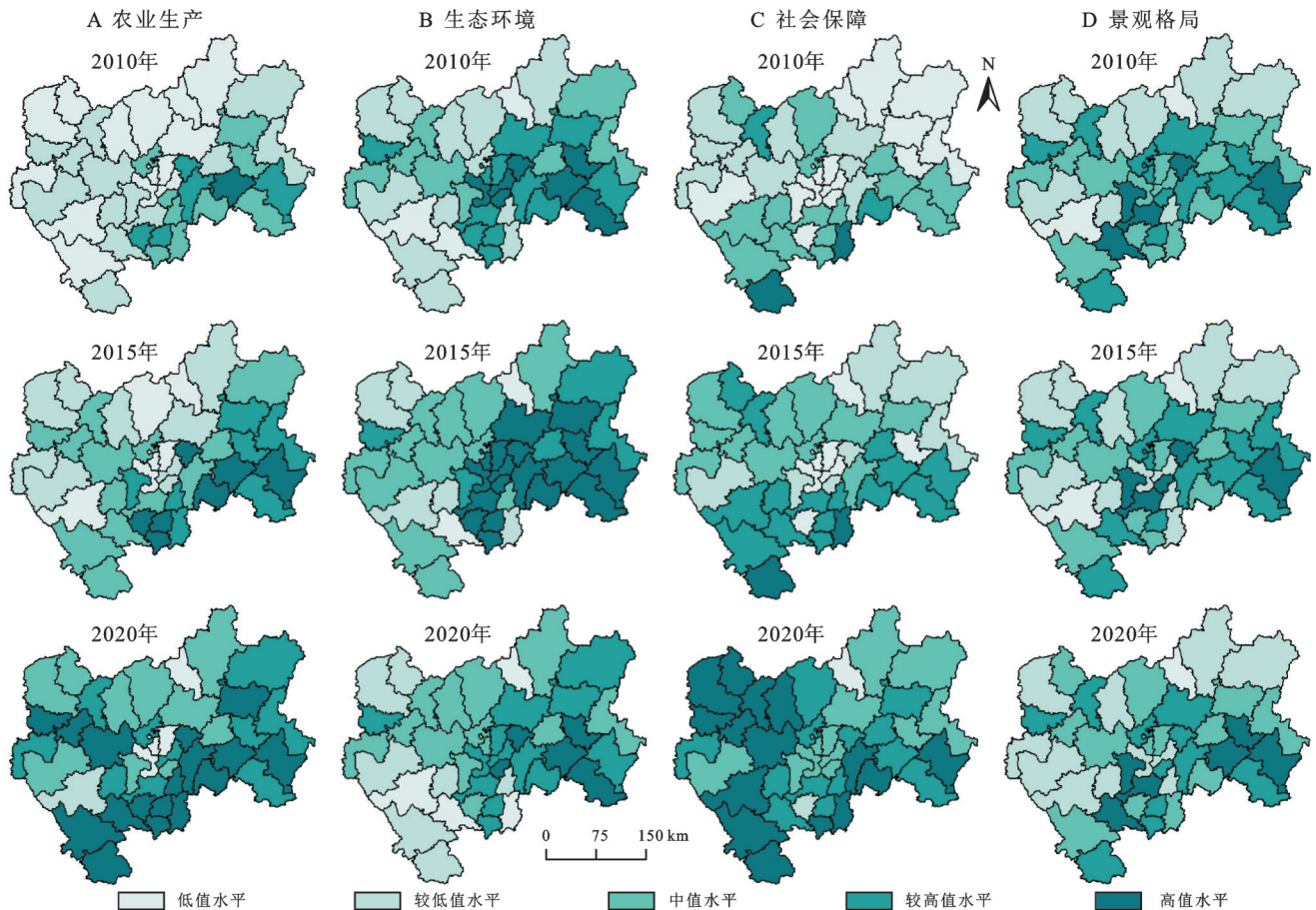


图2 2010—2020年滇中地区耕地多功能空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of multifunctional cultivated land in Central Yunnan (2010—2020)

3.2 耕地多功能的权衡协同分析

3.2.1 耕地两两功能相关性判定 基于耕地多功能评价结果,计算2010年、2015年、2020年滇中地区耕

地多功能之间的 Spearman 秩相关系数(表2),分析滇中地区耕地多功能之间的权衡/协同关系及其变化趋势。

2010—2020年耕地的农业生产与生态环境功能始终保持协同关系,且在2010年和2015年通过显著性检验,整体呈现协同减弱的趋势。农业生产与社会保障功能持续协同,通过显著性检验,并且相关系数逐年增长,表明农业生产的提升对社会保障功能的促进作用日益增强。农业生产与景观格局功能形成显著的协同关系,且在三年内保持稳定,但呈小幅减弱趋势。

耕地生态环境与社会保障功能在2010—2020年

始终呈现权衡关系,表明社会保障功能的提升伴随着耕地干扰加剧,可能引发生态失衡,从而造成两者的制约关系。同时,生态环境与景观格局功能保持协同关系,尽管三年均通过显著性检验,但呈现协同减弱的趋势。社会保障与景观格局功能表现出协同增强趋势,然而未通过显著性检验。各功能之间存在复杂的权衡/协同关系,需制定合理的管理措施,以确保各项功能的平衡与稳定发展。

表2 滇中地区耕地多功能相关关系

Table 2 Correlation analysis of multifunctional cultivated land in Central Yunnan

年份	农业生产— 生态环境	农业生产— 社会保障	农业生产— 景观格局	生态环境— 社会保障	生态环境— 景观格局	社会保障— 景观格局
2010	0.407**	0.306*	0.507**	-0.316*	0.561**	0.078
2015	0.347*	0.423**	0.504**	-0.244	0.511**	0.162
2020	0.074	0.437**	0.501**	-0.347*	0.389*	0.200

注:*,**分别表示在0.05,0.01级别(双尾)的水平上显著相关。

3.2.2 耕地两两功能的空间相关分析 通过使用GeoDa软件进行双变量局部Moran's I 空间自相关分析,以Queen邻接构建空间权重,生成滇中地区耕地多功能的LISA聚类地图($p \leq 0.05$)。研究2010—2020年各县(市)区耕地功能间的权衡与协同关系,通过不同时间尺度的聚类图分析其空间分布及演变规律(图3)。

(1) 滇中地区2010—2020年耕地农业生产—生态环境功能整体上呈现出协同关系。H-H协同区的数量在研究期间基本保持稳定,主要集中在罗平县、陆良县和师宗县等地,这些区域农产品产量较高,生态环境状况良好,体现出双重优势;L-L协同区的数量在研究期间先增加后减少,主要分布在禄丰市和双柏县等地,农业生产与生态环境均处于较低水平;H-L权衡区和L-H权衡区的数量始终保持较低值。

(2) 滇中地区2010—2020年耕地农业生产—社会保障功能整体上呈现协同强化趋势。H-H协同区的数量先减后增,恢复至2010年水平,空间上分布在元谋县和新平彝族傣族自治县,此区域通过推进乡村振兴战略,为农民提供更稳定的生活保障;L-L协同区的数量保持稳定,主要集中在盘龙区、西山区和会泽县等地;H-L权衡区数量先减少后增加,分布在晋宁区、官渡区和沾益区;L-H权衡区的数量先减少后增加,空间上分布在永仁县和大姚县。

(3) 滇中地区2010—2020年耕地农业生产—景观格局功能整体上呈现出协同关系,主要为两种聚集模式:H-H型、L-H型,而L-L型和H-L型聚集未在研究区有所体现。2020年H-H协同区空间分布在

罗平县、陆良县和红塔区等地,这些区域通过提升农业生产效率和优化景观格局,实现了景观美学与生产的双赢局面;L-H权衡区始终保持较低值。

(4) 滇中地区2010—2020年耕地生态环境—社会保障功能整体上呈现权衡的空间分布格局。研究区以H-L型和L-H型为主,呈现出不同类型的权衡关系。H-L权衡区数量呈增加趋势,主要集中在晋宁区、西山区和寻甸回族彝族自治县等地;L-H权衡区数量呈增加趋势,空间上分布在永仁县、大姚县和新平彝族傣族自治县。

(5) 2010—2020年滇中地区耕地生态环境—景观格局功能以及社会保障—景观格局功能的协同区和权衡区数量较少,主要为H-H型和L-H型聚集模式,L-L型和H-L型聚集并未出现,反映出大部分区域景观格局功能相对独立。

3.3 耕地多功能类型分区及分区分管制

3.3.1 K-means聚类分析结果 基于2020年耕地功能数据的z-score标准化值,并参考前人的研究^[29],根据“肘部法则”,当聚类数设置为4时,组内距离平方和曲线拐点效应明显。表3为K-means聚类分析的结果,各功能在不同类别之间存在显著差异($p < 0.01$),表明分类结果较科学。

3.3.2 耕地多功能类型分区与管制 根据K-means聚类分析结果,并结合《云南省国土空间规划(2021—2035年)》,将研究区耕地划分为4种,聚类I为农业生产主导区,聚类II为生态农业区,聚类III为景观农业区,聚类IV为农业—社会保障区(图4)。

农业生产主导区包括14个县域,其数量占研究区县域的33.33%。大部分位于研究区东部,主要分

布在昆明市和曲靖市部分区域。这些地区的农业生产功能较高,但是社会保障功能较低。因此,在确保粮食供给安全的基础上,应进一步推动农业科技体系的创新建设,加速智慧农业的示范推广,以

此巩固农业可持续发展的基础。同时,要积极引导和发展农民专业合作社等组织形式,提升农户的组织化与规模化经营水平,从而构建多元共赢的现代农业经营体系。

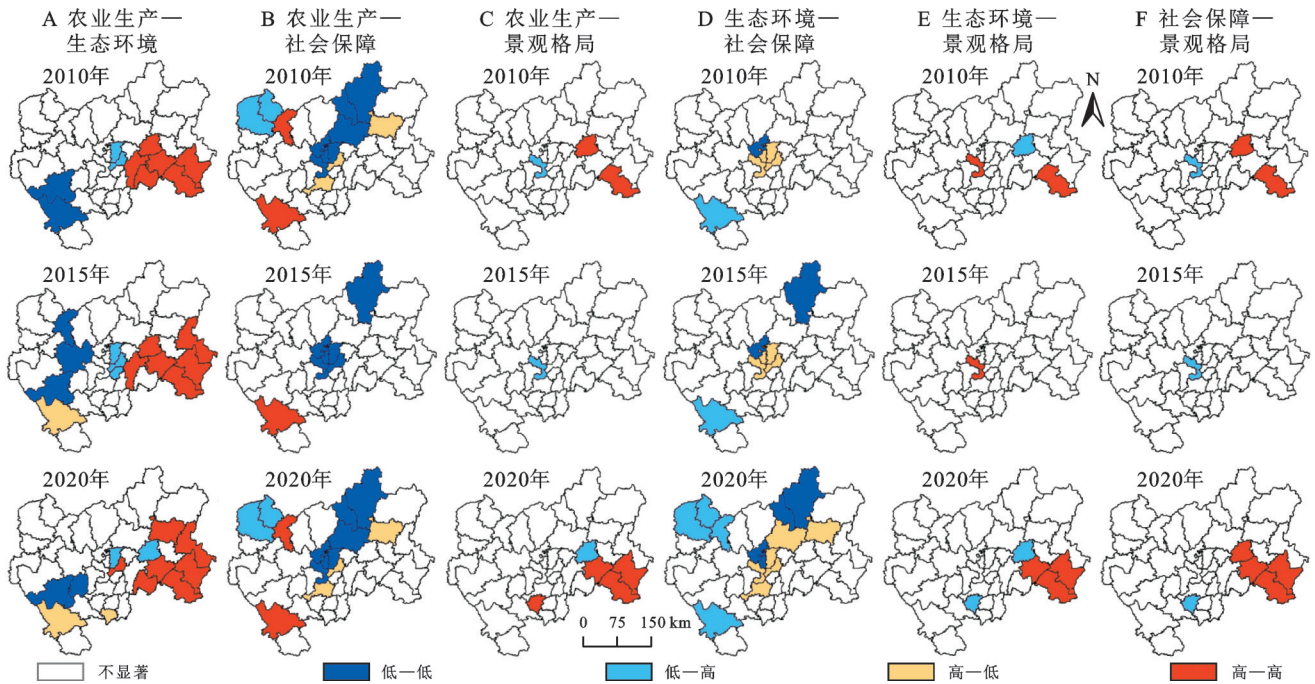


图 3 2010—2020年滇中地区耕地多功能LISA聚类

Fig. 3 LISA clustering of multifunctional cultivated land in Central Yunnan (2010—2020)

表 3 K-means 聚类分析结果

Table 3 Results of K-means clustering analysis

耕地功能	聚类 I	聚类 II	聚类 III	聚类 IV
农业生产功能	0.92130	-1.15344	-0.04960	-0.24093
生态环境功能	0.95025	0.06829	-0.46024	-0.79203
社会保障功能	0.04817	-1.26475	-0.00809	0.67801
景观格局功能	0.67008	-0.93726	1.03207	-0.57682

生态农业区包括 8 个县域,其数量占研究区县域的 19.05%。主要分布在研究区中部以及东北部,即昆明市和曲靖市部分区域。这些地区的生态环境功能较高,但社会保障功能较低。未来,这些区域应继续维持其生态优势,在耕地利用过程中,逐步形成绿色、环保和可持续发展的理念。发挥山地资源的独特优势,推动建设山地生态康养区,充分发掘耕地在农业生产和生态环境功能中的潜在价值。

景观农业区包括 6 个县域,其数量占研究区县域的 14.29%。主要分布在富源县、峨山彝族自治县、富民县和元谋县等地。这些县域内的耕地分布较为集中,呈现连片状,具有显著的景观美学价值。在耕地利用规划中,应充分重视耕地的美学价值,结合景观设计理念进行科学规划,对绿色自然景观进行保护,发展田园综合体与生态旅游项目,提升耕地的休闲与文化价值,实现景观保护与乡村产业振兴的良性互动。

农业—社会保障区包括 14 个县域,其数量占研究区县域的 33.33%。大部分位于研究区西部,即楚雄州和玉溪市部分地区。这些区域的耕地功能主要以社会保障为主,不仅具有较强的农业生产能力,还在提供就业、保障农民基本生活需求、改善社会福利等方面发挥重要作用。因此,建议加强地方特色支

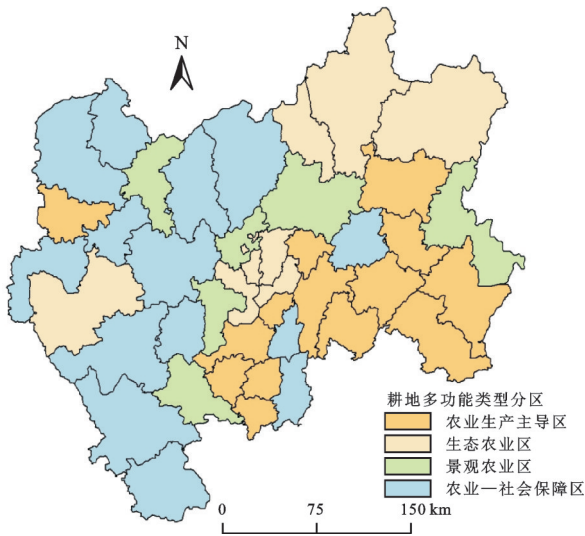


图 4 滇中地区耕地多功能类型分区

Fig. 4 Zoning of multifunctional cultivated land in Central Yunnan

柱产业与耕地资源的深度融合,不断延长农业产业链,逐步推动一二三产业融合发展,助力乡村振兴。

4 讨论

在耕地多功能的研究中,耕地不仅承担着农业生产的基本任务,还发挥着生态保护、社会保障等多重功能。然而,不同功能之间可能存在相互促进的协同关系,也可能由于资源和空间的有限性而产生权衡和冲突。云南滇中地区由于其特定的地形和经济背景,耕地的多功能性表现出不同的协同与权衡现象。本研究通过分析该地区2010—2020年的耕地多功能关系,揭示了生态环境功能与社会保障功能之间的权衡关系,而其他功能则普遍呈现出协同发展的趋势。杨凤妍子等^[30]认为山区耕地的生产功能与景观功能、生产功能与社会功能协同度更高。本文研究结果与其基本一致,而耕地生态环境功能与社会保障功能之间的权衡关系,可能与该地区的地形地貌和经济发展状况密切相关。滇中地区以山地丘陵为主,这种地形有利于生态环境功能的发展,但也限制了大规模农业生产,大部分为坡耕地,土地碎片化严重,田间道路不完善,这使得机械化作业受限,许多地区仍依赖人力和畜力,生产效率低下。此外,坡耕地的开发容易引发水土流失和生态退化,进而加剧生产功能与生态功能之间的矛盾。因此,滇中地区的地形破碎化特征对耕地功能的权衡产生了独特影响。

由于经济发展水平较低、资源有限,生态保护与社会保障功能难以在高水平上得到共同推动。在此背景下,相关政策成为驱动耕地功能优化的重要力量。《云南省土地利用总体规划(2006—2020年)》明确要求加强耕地保护、提升农田质量,高效地利用土地资源。因此,滇中地区的耕地功能优化不仅受制于自然地形条件,还深受经济发展水平和政策干预的影响。政策的推动,如土地保护与质量提升、农业现代化等措施,能够推动耕地多功能的协调发展。未来的研究与政策制定应进一步结合区域特性,推动生态保护与经济社会发展目标的协调,实现耕地多功能性的全面提升。

综上所述,本研究分析了滇中耕地多功能的时空变化特征及其权衡协同关系,但仍存在以下几点不足,一是本研究借鉴前人研究,将云南省滇中地区耕地功能划分为4类,但分类维度较少,未能全面反映耕地的多功能性,未来将优化评价体系并扩展功能类别。二是受限于数据获取条件,本文以滇中42个县(市)区为分析单元,未能深入探讨乡镇及村级

尺度上的功能差异,今后将结合更精细的空间单元,提升研究精度与应用价值。另外关于功能间的协同与权衡关系,当前分析主要聚焦于空间分布特征,缺乏对其成因的系统剖析。未来将深入分析其驱动机制,并提出更加具体可行的耕地保护对策,以促进有效的耕地管理和利用。

5 结论

(1) 滇中地区2010—2020年耕地各功能呈现出复杂的时空分异性。耕地农业生产功能整体呈现增长趋势;生态环境功能呈先增后减的趋势,表现为“东高西低”的空间分布格局;社会保障功能发生显著变化,表现为“西高东低”的空间分布格局,并整体呈上升趋势;景观格局功能在研究期间基本保持稳定。

(2) 2010—2020年滇中地区耕地多功能间的相关关系呈现出不同的变化趋势。农业生产功能与生态环境、景观格局功能的协同性有所弱化,而与社会保障功能的协同关系增强。生态环境与社会保障功能间持续表现为权衡关系,与景观格局功能则保持协同。此外,社会保障功能与景观格局功能间呈现出协同增强的趋势。

(3) 将研究区划分为4种类型:农业生产主导区、生态农业区、景观农业区和农业—社会保障区。农业生产主导区应加强农业科技创新与应用,通过各种组织形式提高农民的市场竞争力;生态农业区应继续维护其生态优势,推动建设山地生态康体区;景观农业区应保护绿色生态自然景观,促进人文景观与自然景观相协调;农业—社会保障区应加强地方特色支柱产业与耕地资源的深度融合,逐步推动一二三产业融合发展,助力乡村振兴。

参考文献(References):

- [1] 朱从谋,李武艳,杜莹莹,等.浙江省耕地多功能价值时空变化与权衡-协同关系[J].农业工程学报,2020,36(14):263-272.
Zhu C M, Li W Y, Du Y Y, et al. Spatial-temporal change, trade-off and synergy relationships of cropland multifunctional value in Zhejiang Province, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020,36(14):263-272.
- [2] 武子豪,郝晋珉,陈航,等.河北省耕地多功能评价与关键权衡协同分析[J].农业工程学报,2024,40(14):199-209.
Wu Z H, Hao J M, Chen H, et al. Multifunctional evaluation and key trade-offs and synergy relationships of cultivated land in Hebei Province of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,

- 2024,40(14):199-209.
- [3] 马明,郭海如,李久林,等.耕地多功能与利用效率时空演变及交互响应研究:以广东省为例[J].山东农业工程学院学报,2024,41(11):25-36.
Ma M, Guo H R, Li J L, et al. Spatiotemporal evolution and interaction response of cultivated land multifunction and use efficiency: a case study of Guangdong Province [J]. The Journal of Shandong Agriculture and Engineering University, 2024,41(11):25-36.
- [4] 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 C, Geng H, Liu R, 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.
- [5] 宋小青,李心怡.区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J].地理学报,2019,74(5):992-1010.
Song X Q, Li X Y. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition [J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(5):992-1010.
- [6] Lu X H, Zhang Y W, Zou Y C. Evaluation the effect of cultivated land protection policies based on the cloud model: a case study of Xingning, China [J]. Ecological Indicators, 2021,131:108247.
- [7] Wang X J, Wang D Y, Wu S Z, et al. Cultivated land multifunctionality in undeveloped peri-urban agriculture areas in China: implications for sustainable land management [J]. Journal of Environmental Management, 2023, 325:116500.
- [8] 周小靖,马仁锋,林玲.浙中城镇群耕地多功能时空格局演变[J].上海国土资源,2019,40(2):43-48.
Zhou X J, Ma R F, Lin L. Spatio-temporal evolution of multi-function coordination of cultivated land in town groups in Zhejiang Province [J]. Shanghai Land & Resources, 2019,40(2):43-48.
- [9] 臧俊梅,付晓,刘圣祥,等.广东省耕地多功能评价及时空演变分析[J].广东农业科学,2025,52(1):108-123.
Zang J M, Fu X, Liu S X, et al. Multifunctional evaluation and spatio-temporal evolution analysis of cultivated land in Guangdong Province [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2025,52(1):108-123.
- [10] Jopke C, Kreyling J, Maes J, et al. Interactions among ecosystem services across Europe: bagplots and cumulative correlation coefficients reveal synergies, trade-offs, and regional patterns [J]. Ecological Indicators, 2015, 49:46-52.
- [11] Chan K M A, Shaw M R, Cameron D R, et al. Conservation planning for ecosystem services [J]. Plos Biology, 2006,4(11): e379.
- [12] Swallow B M, Sang J K, Nyabenge M, et al. Trade-offs, synergies and traps among ecosystem services in the Lake Victoria basin of East Africa [J]. Environmental Science & Policy, 2009,12(4):504-519.
- [13] 傅伯杰,于丹丹.生态系统服务权衡与集成方法[J].资源科学,2016,38(1):1-9.
Fu B J, Yu D D. Trade-off analyses and synthetic integrated method of multiple ecosystem services [J]. Resources Science, 2016,38(1):1-9.
- [14] 金贵,邓祥征,张倩,等.武汉城市圈国土空间综合功能分区[J].地理研究,2017,36(3):541-552.
Jin G, Deng X Z, Zhang Q, et al. Comprehensive function zoning of national land space for Wuhan metropolitan region [J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 541-552.
- [15] Xu K P, Wang J N, Wang J J, et al. Environmental function zoning for spatially differentiated environmental policies in China [J]. Journal of Environmental Management, 2020,255:109485.
- [16] 方莹,王静,孔雪松,等.耕地利用多功能权衡关系测度与分区优化:以河南省为例[J].中国土地科学,2018,32(11):57-64.
Fang Y, Wang J, Kong X S, et al. Trade-off relation measurement and zoning optimization of multi-functionality of cultivated land use: a case study of Henan Province [J]. China Land Science, 2018,32(11):57-64.
- [17] 赵素霞,李珍珍,王兵.河南省耕地多功能权衡-协同关系与分区管制研究[J].农业机械学报,2024,55(11):363-374.
Zhao S X, Li Z Z, Wang B. Trade-off and synergy relationships and regional regulation of multifunctional cultivated land in Henan Province [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(11):363-374.
- [18] 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地区划管控[J].农业工程学报,2023,39(13):271-280.
Luo S S, Lai Q B, Wang X D, 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(13): 271-280.
- [19] 张利国,王占岐,柴季,等.湖北省耕地多功能地区差异及综合分区研究[J].地域研究与开发,2019,38(5):125-130.
Zhang L G, Wang Z Q, Chai J, et al. Multifunction spatial differentiation and comprehensive zoning of cultivated land in Hubei Province [J]. Areal Research and Development, 2019,38(5):125-130.
- [20] 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.
- Zhang Y, Dai Y Q, Chen Y Y, et al. Spatial-temporal evolution and driving factors of cultivated land multifunctional coupling coordination development in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(7): 244-255.
- [21] 殷如梦, 李欣, 曹锦秀, 等. 江苏省耕地多功能利用权衡/协同关系研究[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2020, 43(1): 69-75.
- Yin R M, Li X, Cao J X, et al. Study on the trade-off/synergy of multifunctional cultivated land in Jiangsu Province [J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2020, 43(1): 69-75.
- [22] 庞晓菲, 陆汝成, 李思旗, 等. 广西边境地区耕地多功能时空分异格局与集聚特征分析[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(7): 49-59.
- Pang X F, Lu R C, Li S Q, et al. Analysis of multifunctional temporal and spatial differentiation pattern and agglomeration characteristics of cultivated land in Guangxi border areas [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(7): 49-59.
- [23] 杨玉钱, 彭双云, 吕铭皓, 等. 1990—2020年滇中城市群耕地非农化时空变化特征及驱动机制[J]. 水土保持学报, 2024, 38(3): 239-251.
- Yang Y Q, Peng S Y, Lü M H, et al. Spatial and temporal changes and driving mechanism of cultivated land conversion in central Yunnan urban agglomeration from 1990 to 2020 [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(3): 239-251.
- [24] 张燕, 徐建华, 曾刚, 等. 中国区域发展潜力与资源环境承载力的空间关系分析[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1328-1334.
- Zhang Y, Xu J H, Zeng G, et al. The spatial relationship between regional development potential and resource&environment carrying capacity [J]. Resources Science, 2009, 31(8): 1328-1334.
- [25] 王全喜, 宋戈. 下辽河平原典型区耕地格局变化及其空间要素驱动[J]. 农业工程学报, 2021, 37(24): 275-283.
- Wang Q X, Song G. Changes of cultivated land pattern and its spatial driving factors in the typical regions of Lower Liaohe Plain [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(24): 275-283.
- [26] 张研, 钱磊. 陕西省耕地多功能空间分布格局与集聚特征研究[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(10): 122-130.
- Zhang Y, Qian L. Multifunctional spatial distribution pattern and agglomeration characteristics of cultivated land in Shaanxi Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2024, 45(10): 122-130.
- [27] Spearman C. The proof and measurement of association between two things. By C. Spearman, 1904 [J]. The American Journal of Psychology, 1987, 100(3/4): 441-471.
- [28] Anselin L, Syabri I, Kho Y. *GeoDa*: an introduction to spatial data analysis [J]. Geographical Analysis, 2006, 38(1): 5-22.
- [29] 周明, 王占岐. 基于耕地质量和空间聚类的县域基本农田划定: 以湖北省团风县为例 [J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 316-321.
- Zhou M, Wang Z Q. Spatial distribution of primary farmland based on cultivated land quality and spatial clustering at county scale: a case of Tuanfeng County, Hubei Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(5): 316-321.
- [30] 杨凤妍子, 胡伟艳, 刘恬, 等. 耕地多功能权衡与协同关系的尺度效应: 以武汉城市圈为例 [J]. 浙江农业学报, 2022, 34(1): 184-195.
- Yang F Y Z, Hu W Y, Liu T, et al. Scale effects of trade-offs and synergies of multifunction of cultivated land: evidence from Wuhan Metropolitan Area [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2022, 34(1): 184-195.