

丘陵山区耕地田块细碎化测度及分类治理策略

陈国庆¹, 刘光盛^{1,2,3*}, 乔子源¹, 赵乐松¹, 王红梅^{1,2,3}, 蓝倩¹, 蓝定杰¹

(1. 华南农业大学公共管理学院, 广州 510642; 2. 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室, 广州 510700; 3. 广东省农业资源利用重点实验室, 广州 510642)

摘要: 耕地细碎化是阻碍农业高质量发展的关键因素之一, 如何构建基于田块尺度的耕地细碎化测度体系并采取差异化治理策略对推进耕地细碎化治理具有重要意义。该研究以丘陵山区广东省郁南县河口镇为例, 结合问卷调查及高标准农田建设相关政策构建了基于“自然禀赋度-权属分散度-耕作便捷度”的田块尺度细碎化测度指标体系, 通过 TOPSIS 模型测算田块细碎化三维综合指数, 引入局部空间自相关探究空间聚集关系, 最后通过三维魔方模型并结合管控约束性形成分类整治引导方案。结果表明: 1) 在自然禀赋度维度, 研究区田块综合评价水平在 0.219~0.716 之间, 其中综合评价水平低的田块数量占比为 9.24%, 水平较低的田块数量占比为 23.01%, 水平较高的田块数量占比为 46.85%, 水平高的田块数量占比为 20.90%; 在权属分散度维度, 田块的综合评价水平在 0~0.902 之间, 其中综合评价水平低的田块数量占比为 56.57%, 水平较低的田块数量占比为 33.55%, 水平较高的田块数量占比为 7.21%, 水平高的田块数量占比为 2.67%; 在耕作便捷度维度, 田块的综合评价水平在 0.026~0.974 之间, 其中综合评价水平低的田块数量占比为 24.60%, 水平较低的田块数量占比为 43.61%, 水平较高的田块数量占比为 25.49%, 水平高的田块数量占比为 6.30%。2) 在空间关联特征上, 自然禀赋度以高-高聚集及低-低聚集为主, 权属分散度以低-低聚集为主, 耕作便捷度以高-高聚集和低-低聚集为主。3) 通过三维魔方空间组合并结合管控约束性将田块分为优质保育类、禀赋提升类、权属调整类、设施完善类、综合整治类、禁止整治类, 并提出差异化治理策略。研究成果可为丘陵山区高标准农田建设的田块整治提供参考。

关键词: 高标准农田建设; 田块尺度; 耕地细碎化; 三维魔方模型; 治理策略; 丘陵山区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202506050

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2025)-20-0281-11

陈国庆, 刘光盛, 乔子源, 等. 丘陵山区耕地田块细碎化测度及分类治理策略[J]. 农业工程学报, 2025, 41(20): 281-291. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202506050 <http://www.tcsae.org>

CHEN Guoqing, LIU Guangsheng, QIAO Ziyuan, et al. Measurement and classified governance strategies of farmland parcel fragmentation in hilly and mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2025, 41(20): 281-291. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202506050 <http://www.tcsae.org>

0 引言

“粮食安全”是“国之大者”。耕地是保障国家粮食安全、促进农业高质量发展的物质基础^[1], 其数量和质量变化对粮食有效供给及粮食安全水平产生影响^[2]。家庭联产承包责任制调动了农民生产的积极性, 极大地提高了农业生产效率, 对于保障粮食安全、维护社会稳定发挥了显著的积极作用^[3]。由于当时农村人口基数大、机械化水平低等的客观原因^[3]以及“耕者有其田”的平均分配理念占据主导地位^[4], 在实际分配过程中采取“好坏搭配、远近结合”^[5]的分配策略, 使得相对连片完整的耕地被均分得较为分散、零碎, 进而加剧了耕地细碎化现象。一般而言, 耕地细碎化是与耕地规模经营相对应的耕地利用格局^[6], 由于地形等自然因素和人地关系、分配制度等人因因素的综合作用^[7], 耕地被分割为零碎、分散、大小不一的多个田块, 而呈现出插花、分散与无

序的状态^[8-9]。一方面, 适度的细碎化可以促进农民多元化种植、维持生物多样性、降低农业生产风险, 一定程度上使劳动力得到合理配置和充分利用^[10-11]。另一方面, 更多的研究表明耕地细碎化存在多维度的负向效应^[12-14]。随着社会经济的发展、农村劳动人口的转移, 耕地细碎化的负向效应日益凸显。在农业强国建设背景下, 如何有效治理耕地细碎化问题受到中央政府高度关注, 并采取一系列措施推动耕地资源可持续利用^[15]。2021年中央1号文件要求“实施新一轮高标准农田建设规划”, 将全国分成七个区域, 集中力量建设高标准农田; 2023年农业农村部发布《关于稳妥开展解决承包地细碎化试点工作的指导意见》; 2025年3月, 中共中央办公厅、国务院办公厅印发《逐步把永久基本农田建成高标准农田实施方案》, 要求到2030年, 力争累计建成高标准农田13.5亿亩(0.9亿 hm^2), 到2035年, 力争将具备条件的永久基本农田全部建成高标准农田, 同时指出东南区应重点在尊重农民意愿前提下逐步改善田块细碎化问题。

耕地细碎化的研究较为丰富, 学者们主要围绕耕地细碎化的测度评价^[16-18]、整治分区^[19-21]、形成机理^[22-23]、影响效应^[24-26]、治理路径^[1,22]展开研究。耕地细碎化问题具有很强的尺度依赖性, 目前的研究有关宏观和中观图斑尺度的研究较为丰富, 但相对模糊了斑块和田块的

收稿日期: 2025-06-08 修订日期: 2025-09-10

基金项目: 国家社会科学基金项目(23CGL064)

作者简介: 陈国庆, 研究方向为耕地整治与利用。

Email: cgq10001@163.com

*通信作者: 刘光盛, 博士, 副教授, 研究方向为耕地保护与利用。

Email: gsliu@scau.edu.cn

差异性^[27],在田块尺度的研究较少,尤其纳入空间信息和权属信息的研究较为缺乏。在田块尺度的研究中,早期学者们通过构建 S 指数、I 指数、J 指数等指标体系衡量耕地细碎化程度^[28-30],葛玉娟等^[27]通过网络分析技术改进了测度模型;针对细碎化测度不精确的问题^[31],彭思卿等^[32]通过多属性价值函数进一步优化了细碎化测度方法;李春梅等^[19]从自然和权属维度选取测度指标,但受限于数据获取的原因忽略了耕作网络距离、通达水平等关键指标;周春芳等^[31]通过完善细碎化测度指标体系并揭示了 S 指数和 J 指数的不足,但相对缺乏测度后的差异化治理策略。综上,当前研究仍存在进一步完善的空间:1) 基于高标准农田建设要求下,耕地细碎化测度有进一步优化的必要性,且需要一套针对丘陵山区田块尺度的精细化测度指标体系以构建田块分类整治引导方案。2) 现有田块尺度的研究多以细碎化综合指数单一维度测度,难以凸显田块细碎化的多维特征及主导优劣势间的相互作用。3) 现有田块尺度的研究多以测度为主,但在高标准农田建设要求下,更需兼顾管控约束性形成测度后的差异化分类治理策略。

中国东南部区域因自然条件限制,是耕地细碎化问题最为突出的区域之一,也是全国高标准农田建设的攻坚区。基于此,本研究以东南典型丘陵山区广东省郁南

县河口镇为例,纳入田块自然、权属和耕作特征,通过调研并结合东南区高标准农田建设要求构建了“自然禀赋度-权属分散度-耕作便捷度”三维田块尺度的细碎化精细化测度指标体系,以 TOPSIS 模型测算田块的三维综合指数,最后通过三维魔方模型兼顾管控约束性形成田块尺度整治分类引导方案,以期为丘陵山区高标准农田建设中田块整治及细碎化测度提供经验借鉴。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

河口镇位于广东省郁南县南部(图 1),总面积 76.18 km²,辖 11 个村委会和 1 个社区居委会,2022 年全镇户籍人口数为 3.38 万人。河口镇地形以丘陵、山地为主,地势总体呈现西北高、东南低的特点;气候属亚热带季风气候,年平均气温 23.2 °C,年无霜期长,光照充足,雨量充沛;土壤以酸性红壤为主。农村土地承包经营权确权登记数据显示,河口镇承包农户数量为 6 109 户,共有田块数量 37 539 块,户均田块数量为 6.14 块,平均田块面积为 0.023 3 hm²(约 0.35 亩),户均田块规模 0.143 0 hm²(约 2.15 亩)。其中农户承包田块数量最高可达 36 块,单个田块面积最小低至 3 m²,田块细碎化程度较为严重,具有较强的典型性和代表性。

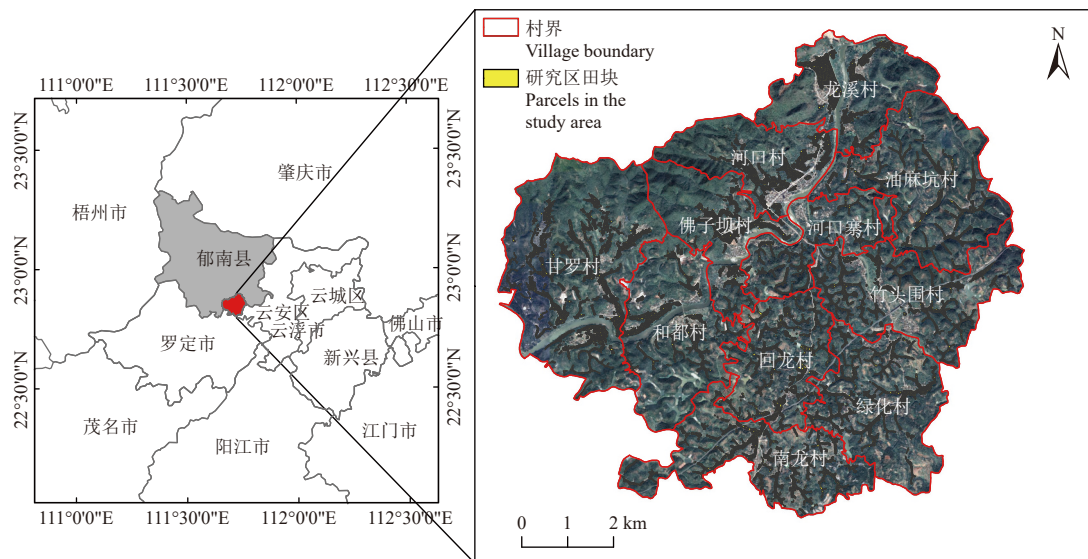


图 1 研究区地理位置及田块分布

Fig.1 Location and parcel distribution of the study area

1.2 数据来源

本研究所使用的数据主要包括空间数据、调研数据和文本数据,空间数据为:1) 农村土地承包经营权确权登记数据库,包含了研究区田块的空间位置、权属、面积、地力等级等信息;2) 第三次全国国土调查数据,包含了农村道路、沟渠、农村宅基地等图层数据;3) 耕地资源质量分类数据库,包含了耕地坡度级别信息;4) “三区三线”划定成果数据,其中生态保护红线用于确定管控约束类田块;5) 行政区划矢量数据。以上数据来自于郁南县自然资源部门和农业农村部门。调研数据来自于课题组于 2025 年 2 月通过调研获取的有关农户的细碎化测度指标意见及指标权重的经验打分问卷。文本数据主要来自于《高标准农田

建设通则 2022》《广东省高标准农田建设规划(2021—2030 年)》《丘陵山区农田宜机化改造工作指引(试行)》。

2 研究思路与方法

2.1 研究思路

结合对耕地细碎化概念的理论梳理及本研究对于耕地细碎化内涵的定义,本文的研究框架如图 2 所示,主要包含三个部分:1) 结合问卷调查及高标准农田建设相关政策,纳入田块自然、权属和耕作特征,从自然禀赋度、权属分散度、耕作便捷度三个维度选取田块尺度细碎化测度指标体系,通过 TOPSIS 模型测算田块细碎化三维综合指数。2) 通过均值和变异系数揭示各行政村评

价结果的分布特征及差异水平，同时引入局部空间自相关探究田块在三个维度上的空间聚集关系。3) 最后通过

三维魔方模型并结合管控约束性形成田块尺度的整治分类引导方案并形成差异化的治理策略。

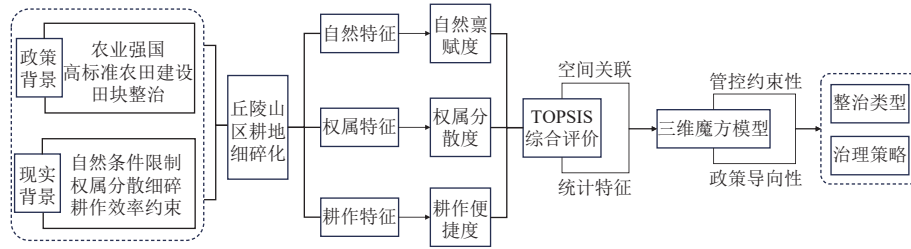


图 2 研究框架

Fig.2 Research frame

2.2 耕地细碎化的内涵与田块尺度细碎化测度指标体系

2.2.1 耕地细碎化的内涵

目前耕地细碎化的概念尚未得到统一界定，对其内涵的定义仍处于探索阶段。BINNS^[33]首次对耕地细碎化的概念作出界定，认为耕地细碎化是在自然条件与人类活动的共同作用下，耕地被分割为多个空间上互不相连、形状不规则的地块。一般认为，耕地细碎化是与耕地规模经营相对应的耕地利用格局^[6]，由于自然和人为因素的综合作用^[7]，耕地被分割为零碎、分散、大小不一的多个田块^[8-9]。臧良震等^[34]从自然细碎化、产权细碎化、农业经营活动细碎化等方面较为全面地对耕地细碎化进行了诠释，剖析了耕地细碎化的自然、权属和耕作特征。因此，借鉴已有研究对于耕地细碎化的界定^[8-9,31,34]，本文综合自然、权属和耕作特征将耕地细碎化定义为在自然、经济和社会因素的综合作用下，耕地田块在形态上呈现细碎、不规整及空间离散的特征，且耕地产权分配趋于分散，同一生产经营主体持有多个分散田块而形成

的与耕地规模经营相对应的耕地利用格局。

2.2.2 田块尺度细碎化测度指标体系

为克服图斑尺度研究短板，建立丘陵山区全面客观的耕地细碎化测度指标体系，参考以往研究^[19,27,32,35]，同时依据《高标准农田建设通则 2022》（以下简称《通则》）并结合《丘陵山区农田宜机化改造工作指引（试行）》（以下简称《指引》），本研究从自然禀赋度、权属分散度、耕作便捷度三个维度选取测度指标。

农户在实际生产经营活动中的经验判断对于指标赋权至关重要。基于田块微观尺度与农户经营主体性双重约束下，为充分体现人地关系，减少因研究者主观因素及数据客观特征的影响，通过调研以发放问卷形式收集农户对于三个维度指标权重的经验打分问卷，共回收有效问卷 33 份，通过农户打分归一化处理得到主观权重，结合熵权法得到客观权重，通过主客观权重加权求和（主观权重占比 50%、客观权重占比 50%）确定指标综合权重。具体指标体系及指标权重如表 1 所示。

表 1 田块细碎化测度指标体系构建及指标权重

Table 1 Parcel fragmentation measurement indicator system and indicator weights

准则层 Criterion layer	指标层 Indicator layer	实现方法/公式 Implementation methodology/formulas	效应 Effect	农户经验打分权重 Farmers' experience scoring weight	熵权法权重 Entropy weight method weight	综合权重 Comprehensive weight
自然禀赋度 Natural endowment degree	田块规模 (hm ²)	ArcGIS10.8 中的计算几何 $R_i = 0.5 \cdot \frac{A_i}{A_i} + 0.25 \cdot C_i + 0.25 \cdot P_i$	+	0.259	0.756	0.507
	田块规整指数 R_i	式中 A_i 表示 i 田块的面积 (m ²)； A_{r_i} 表示 i 田块的最小外接矩形的面积 (m ²)； C_i 表示 i 田块的最小外接矩形的长宽比分级赋分值； P_i 表示 i 田块的折点数的分级赋分值	+	0.253	0.056	0.155
	田块坡度	分级赋值	-	0.230	0.063	0.146
	田块地力等级	提取自确权数据库	+	0.259	0.125	0.192
权属分散度 Tenure dispersion degree	权属田块数量 (个)	ArcGIS10.8 中的汇总统计	+	0.337	0.404	0.370
	权属平均田块面积 (hm ²)	ArcGIS10.8 中的字段计算器	-	0.312	0.002	0.157
	权属田块空间分散指数 (km)	ArcGIS10.8 中最小边界几何工具	+	0.351	0.595	0.473
耕作便捷度 Cultivation accessibility degree	田块邻接指数 F_i	$F_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_j}{C_i}$ 式中 E_j 表示 i 田块与第 j 个相邻田块的共享边界长度 (m)； C_i 表示 i 田块的周长 (m)； n 表示与 i 田块相邻的田块数量 (个)	+	0.262	0.199	0.230
	田块耕作网络距离 (km)	ArcGIS10.8 中的网络分析工具	-	0.341	0.066	0.204
	田块通达水平 L_i	$L_i = \sum_{k=1}^n G_k \cdot W_k$ 式中 G_k 、 W_k 分别表示 i 田块 300 m 缓冲区内及相邻的第 k 个要素的等级和宽度 (m)	+	0.397	0.735	0.566

2.3 田块尺度细碎化测度指标量化方法

2.3.1 自然禀赋度

1) 田块规模。田块规模 (A_i) 是衡量耕地细碎化最

直观的指标之一，对农业生产效率的影响极大^[32]。田块规模用田块的实际面积量化，为正向指标，通常田块规模越大，自然禀赋度越好。

2) 田块规整指数。田块规整指数 (R_i) 反映田块的规整程度, 此项指标由田块面积与最小外接矩形面积的比值、田块长宽比得分、田块折点数三个指标通过加权求和的方式量化。矩形条田被认为是理想形状的田块^[36], 可减少农机转向次数, 提高作业效率; 田块面积与最小外接矩形面积的比值反映了田块形状与矩形的相似程度, 取值范围为 (0~1), 比值越大, 说明田块形状越接近于矩形; 田块长宽比得分量化田块长宽比与研究区最优田块长宽比的接近程度, 过大或过小的长宽比都会对农业生产效率产生影响。依据《通则》和《指引》并通过实地调研确定最优田块长宽比, 由于实际田块形状复杂程度差距较大, 因此用实际田块的最小外接面积矩形量化田块的长宽比得分。田块折点数反映了田块的边界复杂程度, 田块折点数量越多, 田块形状越不规则。一般而言, 最理想的田块折点数为 4 个^[37]。田块长宽比得分、折点数指标采用分级赋值的方式量化, 具体结果如表 2 和表 3 所示。结合农户半结构化访谈并参考专家打分意见, 将田块面积与最小外接矩形面积的比值、田块长宽比得分和田块折点数 3 个指标的权重分别确定为 0.5、0.25、0.25。

表 2 长宽比指标赋值

指标赋值 Indicator assignment	0.8	0.9	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0
长宽比区间 Aspect ratio range	[1,2]	(2,3]	(3,4]	(4,5]	(5,6]	(6,8]	(8,12]	>12

表 3 折点数指标赋值

指标赋值 Indicator assignment	0.5	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0
折点数区间 Folding point range	3	[4,6]	[7,9]	[10,12]	[13,16]	[17,20]	>20

3) 田块坡度。田块坡度 (S_i) 一般与耕地细碎化呈正相关关系, 是导致细碎化的主要自然原因^[19], 在坡度 $\geq 25^\circ$ 的田块实施整治活动极易引发水土流失, 对此类田块应采取限制整治策略。为凸显不同田块坡度级别对整治策略的差异化影响, 故采用分级赋值的方法量化, 具体结果如表 4 所示。

表 4 田块坡度指标赋值

指标赋值 Indicator assignment	1.0	0.75	0.5	0.25	0
坡度区间 Slope range	$\leq 2^\circ$	$2^\circ \sim 6^\circ$	$6^\circ \sim 15^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$>25^\circ$
坡度级别 Slope level	1	2	3	4	5

4) 田块地力等级。田块地力等级 (Q_i) 即耕地地力等级, 耕地地力水平和耕地产量水平有所差异^[38], 耕地地力等级综合反映了田块的剖面性状、土壤管理、立地条件、理化性状和土壤养分等方面的优劣程度^[39], 田块地力等级越高, 自然禀赋度越好。

2.3.2 权属分散度

权属分散度维度的量化指标均以同一承包农户的全部田块为整体分析单元, 避免将同一农户的田块割裂看待。基于农户在育秧、施肥、收割等生产经营环节存在时间节点的相对一致性, 所以同一农户整体田块特征量化得到的权属分散度指标应合理赋值给同一承包农户的每一块田块上。这种处理方式既体现了田块的权属从属

关系, 又确保了田块尺度上的指标完整性。

1) 权属田块数量。权属田块数量 (N_i) 指单个农户承包的耕作田块总数, 反映耕地权属分割的绝对数量特征。农户承包的田块数量越多, 权属细碎化程度越高。

2) 权属平均田块面积。权属平均田块面积 (M_i) 是指农户所承包耕地总面积与田块数量的比值, 农户平均田块面积的大小可反映农户的耕地权属分散程度^[19]。

3) 权属田块空间分散指数。权属田块空间分散指数 (D_i) 用每个农户承包田块质心点所围成的最小凸多边形的周长来量化, 田块空间分散差异影响农户的利用行为和农业生产成本^[40], 周长越大, 同一权属农户的田块空间分布越分散。

2.3.3 耕作便捷度

1) 田块邻接指数。田块邻接指数 (F_i) 反映单个田块与相邻田块的边界共享程度, 用单个田块与相邻田块的边界共享长度与田块周长的比值量化, 取值范围为 [0~1]。高度邻接的田块可形成连片耕作单元, 减少因田块孤立导致作业路径中断。此外, 高度邻接的田块因农机规模化作业而降低单位面积机械租赁成本。此指标为正向指标, 即田块邻接指数越大, 耕作便捷度越高。

2) 田块耕作网络距离。田块耕作网络距离 (V_i) 量化田块到其村庄宅基地面要素以面积为权重的加权平均中心点的实际耕作网络距离。相较于直线距离, 耕作网络距离更能反映农户的实际耕作距离^[27]。基于数据可得性, 本研究以每个村宅基地面要素图斑的“面积加权平均中心点”代替其确权宅基地质心点, 一方面可简化运算, 另一方面加权平均中心点考虑了宅基地面积权重, 可以准确地反映每个村实际人口分布和活动中心。

3) 田块通达水平。在田块通达水平 (L_i) 指标中, 本研究综合沟渠、道路等级和宽度信息构建了以田块 300 m 缓冲区内及相邻沟渠、道路等级乘以宽度加和的量化方式。田块通达水平是影响农户农业生产经营及机械化作业的重要因素, 为正向指标。

2.4 指标标准化及 TOPSIS 综合评价

1) 指标标准化

为消除不同指标的量纲对评价结果的影响, 本研究采用极差标准化方法对原始数据进行无量纲化处理。计算式如下:

正向指标:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (1)$$

负向指标:

$$Z_{ij} = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (2)$$

式中 Z_{ij} 表示第 i 个田块的 j 项指标标准化后的值, X_{ij} 表示第 i 个田块的 j 项指标的实际值, $\max(X_j)$ 、 $\min(X_j)$ 分别表示 j 项指标的最大值和最小值。

2) TOPSIS 综合评价法

TOPSIS 法是一种多属性决策分析方法, 通过计算各评价对象与正理想解和负理想解的距离, 来评估各评价对象的相对优劣度, 其中正理想解是假设的最优方案, 负理想解则是最劣方案, 因此又被称为“逼近理想解排

序方法”。本研究在完成指标标准化及权重确定之后引入 TOPSIS 方法分别计算田块在自然禀赋度、权属分散度、耕作便捷度三个维度的评价结果。具体计算步骤如下：

①构建标准化加权矩阵

将标准化后的数据 Z_{ij} 与各维度内指标的权重结合，得到标准化加权决策矩阵：

$$V_{ij} = w_j \cdot Z_{ij} \quad (3)$$

式中 V_{ij} 为标准化加权决策矩阵， w_j 为 j 指标的权重。

②确定正理想解 (V_j^+) 和负理想解 (V_j^-)

$$V_j^+ = \{\max(V_{ij}) | j = 1, 2, \dots, m\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_m^+\} \quad (4)$$

$$V_j^- = \{\min(V_{ij}) | j = 1, 2, \dots, m\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_m^-\} \quad (5)$$

③计算评价对象到正理想解的距离 (D_i^+) 和负理想解的距离 (D_i^-)

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}, (j = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, (j = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

④计算贴近度 T_i 得到综合评价指数

$$T_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (8)$$

T_i 的取值范围为 [0,1]，值越大，综合评价指数越高。

2.5 田块三维评价的空间特征

空间自相关通常用于探究地理空间中变量值的相互依赖关系，局部莫兰指数是识别局部空间自相关的工具，可量化研究单元与其邻域单元在特定属性上的空间依赖关系。本研究通过引入局部莫兰指数，以探究田块在自然禀赋度、权属分散度以及耕作便捷度三个维度上的空间依赖关系，系统揭示河口镇耕地细碎化多维属性的空间异质性规律。局部莫兰指数 (Local Moran's I) 的计算式为

$$\text{Local Moran's } I = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (9)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

式中 n 是研究单元的数量， x_i 和 x_j 分别是目标单元与邻域单元的空间单位的属性值， \bar{x} 是研究区域内所有研究单元属性值的平均值， W_{ij} 为空间权重矩阵， S^2 为属性值的方差。

2.6 田块整治分类治理策略

在田块尺度下仅从细碎化综合指数单一维度难以反映细碎化的多维特征，为凸显田块的实际三维优劣程度以采取分类整治行动，通过三维魔方模型 (图 3)，以田块为划分单元，将三个维度评价结果通过自然断点法划分为 4 个等级 (低、较低、较高、高)，并依据得分等级依次赋值为 1~4，以自然断点法的分级结果作为坐标轴节点，共生成 64 种组合方案。将每个田块的多维评价特征以三维空间中的具体位置进行可视化表达，结合管控约束性、政策导向性和研究区实际情况归并整治引导类型。

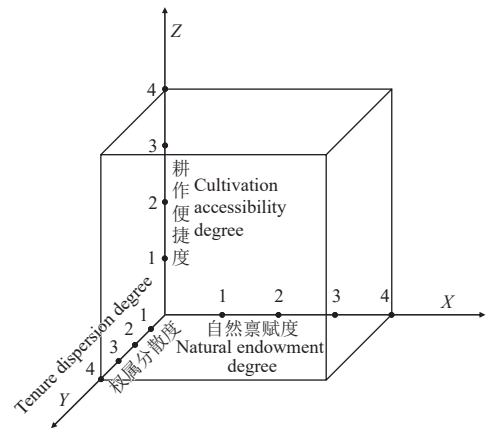


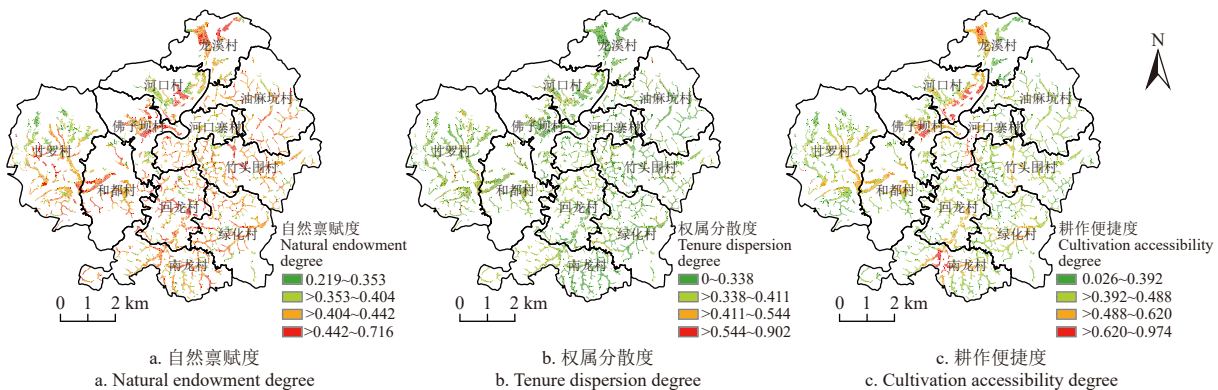
图 3 三维魔方空间分类示意图

Fig.3 Schematic diagram of three-dimensional rubik's cube space classification

3 结果与分析

3.1 田块细碎化评价结果

综合研究区田块的自然禀赋度、权属分散度、耕作便捷度三个维度 TOPSIS 的评价结果 (图 4、图 5)，通过自然断点法分为低 (IV)、较低 (III)、较高 (II)、高 (I) 4 个等级，并通过均值和变异系数 (表 5) 揭示各个行政村评价结果的均衡及差异水平，综合分析研究区田块在三个维度上的空间分异特征。



注：空白区为非耕地。
Note: The blank area represents non-arable land.

图 4 田块三维 TOPSIS 评价结果

Fig.4 Results of three-dimensional TOPSIS evaluation of parcels

在自然禀赋度维度, 研究区田块综合评价水平在 0.219~0.716 之间, 均值为 0.413, 其中自然禀赋度综合评价水平低 (0.219~0.353) 的田块数量占比为 9.24%, 综合评价水平较低 (>0.353~0.404) 的田块数量占比为 23.01%, 综合评价水平较高 (>0.404~0.442) 的田块数量占比为 46.85%, 综合评价水平高 (>0.442~0.716) 的田块数量占比为 20.90%。在空间分异特征上, 各个行政村田块自然禀赋度综合评价的均值水平和变异系数较为均衡, 均值水平在 0.395~0.425 之间, 变异系数在 0.068~0.117 之间。河口村的内部分布差异性最大, 变异系数为 0.117; 河口寨村的内部分布最为均质, 变异系数为 0.068。自然禀赋度综合评价处于较高和高等级水平的田块主要分布在龙溪村、佛子坝村、甘罗村、和都村、回龙村, 因其较为优越的自然禀赋条件在空间上形成集聚状态, 其余田块集聚规模较小或自然禀赋度较差而形成较低和低水平集聚状态。

在权属分散度维度, 研究区田块的综合评价水平在 0~0.902 之间, 均值为 0.348, 大多数田块处在较低或低等级水平, 其中权属分散度综合评价水平低 (0~0.338) 的田块数量占比 56.57%, 水平较低 (>0.338~0.411) 的田块数量占比为 33.55%, 水平高 (>0.411~0.544) 的田块数量占比为 7.21%, 水平高 (>0.544~0.902) 的田块数量占比为 2.67%。在空间分异特征上, 各个行政村田块权属分散度综合评价的均值水平和变异系数的差异程度较低, 均值水平在 0.319~0.366 之间, 变异系数在 0.134~0.220 之间。各综合评价等级的田块在各个行政村的分布较为均质, 这是因为受到家庭联产承包责任制实施之初秉持平均分配理念所采取的更加注重公平多于效率的分配策略的一定影响。

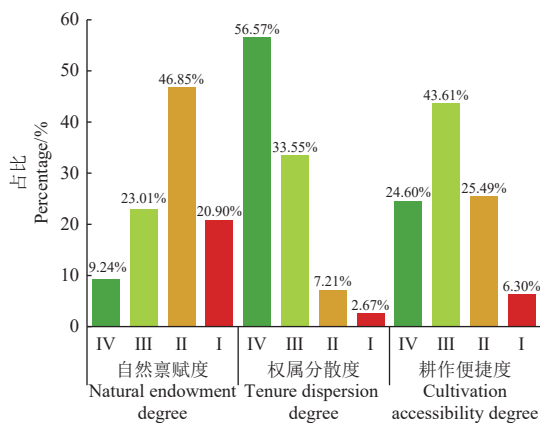


图5 田块三维评价分级占比

Fig.5 Three-dimensional evaluation grading percentage of parcels

在耕作便捷度维度, 研究区田块的综合评价水平在 0.026~0.974 之间, 均值为 0.458, 其中耕作便捷度综合评价水平低 (0.026~0.392) 的田块数量占比 24.60%, 综合评价水平较低 (>0.392~0.488) 的田块数量占比为 43.61%, 综合评价水平较高 (>0.488~0.620) 的田块数量占比为 25.49%, 综合评价水平高 (>0.620~0.974) 的田块数量占比为 6.30%。在空间分异特征上, 各个行政村田块耕作便捷度综合评价的均值水平和变异系数存在一定差异性, 均值水平在 0.409~0.533 之间, 变异系

数在 0.112~0.291 之间。从变异系数来看, 龙溪村、南龙村的内部分布差异性最大, 油麻坑村、回龙村、绿化村的内部分布最为均质; 从均值水平来看, 河口村和佛子坝村居于前列, 油麻坑村和竹头围村均值水平相对较低。耕作便捷度综合评价等级在空间上的分布差异较为明显, 处于较高和高等级水平的田块主要分布在龙溪村西北部、河口村东南部、佛子坝村、甘罗村东南部、和都村中部、南龙村中部, 这些田块因较为密集且等级较高的路网以及较高的田块邻接状态在空间上形成了聚集状态, 反映了较为优越的耕作便捷条件; 其余田块多受自然条件的限制, 难以形成较高的田块邻接指数且路网较为稀疏, 即使部分田块耕作网络距离存在一定优势也难以凸显整体的耕作便捷度水平。

表5 田块三维测度统计特征

Table 5 Statistical characterization of three-dimensional measurements of parcels

行政村 Administrative village	自然禀赋度 Natural endowment degree		权属分散度 Tenure dispersion degree		耕作便捷度 Cultivation accessibility degree	
	均值 Mean	变异系数 Coefficient of variation	均值 Mean	变异系数 Coefficient of variation	均值 Mean	变异系数 Coefficient of variation
	龙溪村	0.424	0.099	0.319	0.154	0.438
河口村	0.395	0.117	0.354	0.179	0.533	0.225
油麻坑村	0.417	0.075	0.341	0.217	0.409	0.112
佛子坝村	0.425	0.093	0.339	0.181	0.502	0.209
河口寨村	0.412	0.068	0.336	0.134	0.466	0.238
竹头围村	0.417	0.090	0.348	0.220	0.419	0.164
甘罗村	0.400	0.107	0.363	0.200	0.439	0.190
和都村	0.424	0.087	0.366	0.217	0.463	0.166
回龙村	0.423	0.093	0.346	0.157	0.448	0.150
绿化村	0.411	0.104	0.340	0.175	0.434	0.155
南龙村	0.416	0.085	0.346	0.164	0.485	0.283

3.2 局部空间自相关

通过局部空间自相关分析研究区田块及其邻域田块的空间关联性, 揭示河口镇田块在自然禀赋度、权属分散度、耕作便捷度三个维度的空间异质性特征。分析结果显示: 研究区域田块尺度三维局部空间关联指标 (LISA) 存在空间异质性特征, 形成了高-高、高-低、低-高、低-低 4 种聚集模式 (图 6)。

自然禀赋度维度主要以高-高聚集及低-低聚集两种聚类模式为主, 高-低聚集和低-高聚集的聚类模式分布较少。高-高聚集在龙溪村、佛子坝村、回龙村、和都村、南龙村、绿化村中部和竹头围村形成密集连片聚集, 表明这些区域田块存在较为优越的自然禀赋优势; 而河口寨村北部、河口村中南部及东北部、甘罗村北部区域呈现低-低聚集, 反映其较为薄弱的自然禀赋条件。

权属分散度维度的空间关联格局则明显分散化, 聚集模式主要以低-低聚集为主, 高-低聚集较少, 高-高聚集和低-高聚集呈现镶嵌式分布格局, 这种镶嵌式分布格局主要聚集于河口村、甘罗村、和都村、南龙村西部, 其余区域田块多以低-低聚集模式为主。总之, 在权属分散度维度这种以低-低聚集为主, 高-高聚集和低-高聚集镶嵌式分布格局反映出家庭联产承包责任制实施之初的公平性特征。

耕作便捷度维度的聚集模式主要以高-高聚集和低-低聚集为主, 高-低聚集和低-高聚集分布较为零散, 高-

高聚集主要在龙溪村西部、河口村东部、佛子坝村中东部、甘罗村东部、和都村中部、回龙村东南部、南龙村中部、绿化村中部形成连片聚集区域，反映了其较为密集的路网和较高的田块邻接指数形成了优越的耕作便捷条件；其余区域多因自然条件限制、农业基础设施的相对劣势形成低-低聚集。

通过自然禀赋度、权属分散度、耕作便捷度三个维度空间关联特征的对比分析，自然禀赋度与耕作便捷度均呈现规模性空间集聚特征，而权属分散度因涉及权属属性而呈现相对公平的离散分布特征，这种空间分异规律验证了自然基底与社会经济要素对耕地细碎化的差异化驱动机制。

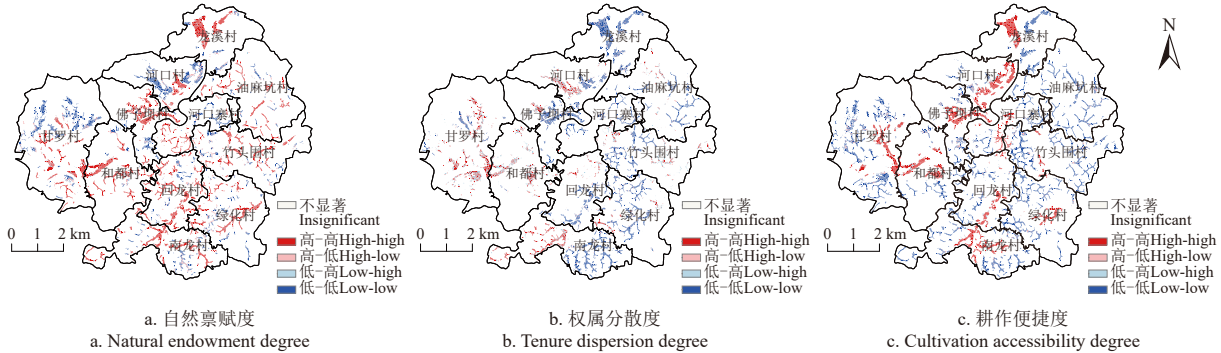


图 6 田块三维空间关联图

Fig.6 Three-dimensional spatial correlation diagram of parcels

3.3 田块整治引导类型及治理策略

通过三维魔方模型形成 64 种属性组合方案（表 6），同时综合考虑三个维度之间主导优劣势间的相互作用，兼顾管控约束性和政策文件导向最终归并形成优质保育类、禀赋提升类、权属调整类、设施完善类、综合整治类、禁止整治类 6 种田块尺度的整治引导类型（图 7）。各整治引导类型特点及差异化整治策略如下：

表 6 三维魔方整治引导类型

Table 6 Three-dimensional rubik's cube consolidation guidance types

整治类型 Consolidation types	三维魔方组合方案 Three-dimensional rubik's cube combination program	引导类型特征 Guidance type characteristics
优质保育类	(4,1,4)(4,1,3)(4,2,4)(4,2,3) (3,1,4)(3,1,3)(3,2,4)(3,2,3)	自然禀赋度、耕作便捷度处于较高和高等级、权属分散度处于较低和低等级。
禀赋提升类	(1,1,3)(1,1,4)(2,1,3)(2,1,4) (1,2,3)(1,2,4)(2,2,3)(2,2,4)	自然禀赋度、权属分散度处于较低和低等级、耕作便捷度处于较高和高等级。
权属调整类	(1,4,1)(1,4,2)(1,4,3)(1,4,4) (2,4,1)(2,4,2)(2,4,3)(2,4,4) (3,4,1)(3,4,2)(3,4,3)(3,4,4) (4,4,1)(4,4,2)(4,4,3)(4,4,4) (3,3,3)(3,3,4)(4,3,3)(4,3,4)	①权属分散度处于高等级； ②权属分散度处于较高等级、自然禀赋度和耕作便捷度处于较高和高等级。
设施完善类	(3,1,1)(3,1,2)(4,1,1)(4,1,2) (3,2,1)(3,2,2)(4,2,1)(4,2,2)	自然禀赋度处于较高和高等级，权属分散度处于较低和低等级，耕作便捷度处于较低和低等级。
综合整治类	(1,1,1)(1,1,2)(2,1,1)(2,1,2) (1,2,1)(1,2,2)(2,2,1)(2,2,2) (1,3,1)(1,3,2)(2,3,1)(2,3,2) (3,3,1)(3,3,2)(4,3,1)(4,3,2) (1,3,3)(1,3,4)(2,3,3)(2,3,4)	三个维度中有两个及以上维度存在劣势。
禁止整治类	/	田块坡度 ≥25°或田块位于生态保护红线范围内。

注：例组合方案 (4,1,4) 表示田块自然禀赋度处于高等级、权属分散度处于低等级、耕作便捷度处于高等级。
Note: Example (4,1,4) indicates that the parcel has a high level of natural endowment degree, a low level of tenure dispersion degree, and a high level of cultivation accessibility degree.

优质保育类田块数量占比为 21.88%，该类田块自然禀赋度和耕作便捷度均处于较高或高等级，且权属分散

度处于较低或低等级，是研究区内细碎化情况最低，质量最优、利用效率最高的核心耕作单元，在空间分布上呈现聚集状态，主要分布在龙溪村西部、河口村东部、佛子坝村中东部、甘罗村中东部、和都村中部、南龙村中部。该类田块集中连片条件好，适宜机械化作业和适度规模化经营。该类田块应以“保护优先、提质增效”为原则，重点发展现代农业，探索社会化生态农业以推进有机农业、生态农业的发展；同时在此类田块连片度高的区域打造高标准农田示范区，重点发挥该区域农业高质量发展的标杆示范作用。

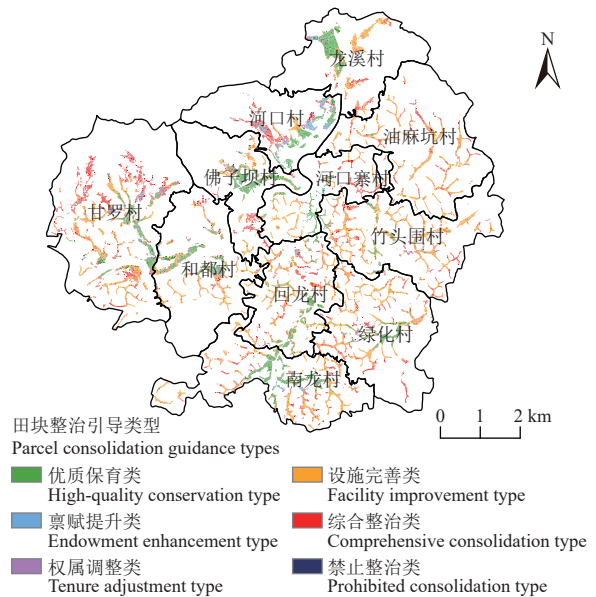


图 7 田块尺度整治引导类型空间分布

Fig.7 Spatial distribution of parcel-scale consolidation guidance types

禀赋提升类田块数量占比为 6.73%，该类田块除了自然禀赋度存在劣势，权属分散度和耕作便捷度条件均较好，主要分布在河口村和甘罗村中部，此类田块应把

建设的重点放在田内,对坡耕地进行宜机化田块整治,重点通过对尖角形、弯月形、多顶点、多锐角形田块进行综合整理以提高田块间的连通水平和田块规整度,实现“小田并大田”;同时应采取持续的土壤改良措施提升农田质量。

权属调整类田块数量占比为4.45%,该类田块包括两种组合方案特征,一种是权属分散度处于高等级,无论自然禀赋度和耕作便捷度如何,应优先进行权属调整;另一种是权属分散度处于较高等级,自然禀赋度和耕作便捷度处于较高或高等级,这种田块组合方案以“优质田块权属碎片化”为突出特征,即除了权属分散度存在短板外,自然禀赋度和耕作便捷度均存在优势。该类田块在空间分布上极为分散,没有明显的聚集特征,该类田块在家庭联产承包责任制实施之初因权属分割导致权属细碎化情况较为严重,主要表现为即使田块本身具备规模化经营潜力,但因权属空间分散度高农户难以实现集中经营而导致生产效率低下,加剧撂荒风险。该类田块应优先在尊重农户意愿的前提下以“权属整合、田块归并”为核心,引导农户进行经营权流转,同时鼓励村集体、农户、种植大户、企业等主体通过集体行动以“小田并大田”等方式整合分散田块。

设施完善类田块数量占比为39.27%,具体以田块通达度和田块邻接度差为主要特征,该类田块除了耕作便捷度条件差,自然禀赋度和权属分散度均具有优势,在空间上呈现相对分散的分布状态,由于地形坡度条件的限制及罗定江穿境而过,一方面优势田块在空间分布上难以聚集,另一方面由于基础设施建设难度大而造成路网稀疏或道路宽度、等级较低,影响农机作业和农资运输。该类田块应重点结合高标准农田建设标准,因地制宜结合自然禀赋条件,遵循绿色发展理念,加大对田间基础设施建设的投入,按照适宜的宽度和承载标准,修建机耕路和生产路,并合理配套农机下田坡道、错车点和末端掉头点等附属设施;对于因自然条件限制导致建设难度过大或整治建设违背生态友好原则的田块应以现状维持为主,重点应维持耕地地力并保证耕地数量稳定。

综合整治类田块数量占比为27.26%,该类田块在自然禀赋度、权属分散度、耕作便捷度三个维度中有两个及以上维度存在劣势,是细碎化情况较为严重且整治难度较大的田块。主要分布在河口村中部、甘罗村、河口寨村东北部,该类田块应采取综合整治策略,推动田块整治融入生态系统一体化保护,统筹推进田、土、水、路、林等方面综合整治,全面提升农田质量和生产能力。针对自然禀赋短板,通过增施有机肥、测土配方施肥、秸秆还田等土壤改良措施提升地力;同时在符合生态保护要求的前提下,进行适度的田块平整和梯田修筑;对于权属分散问题,积极推动经营权流转和权属整合;同时加强田间道路和农田水利设施建设,改善农机通行和灌溉排水条件,因地制宜通过农田防护工程有效控制水土流失。

禁止整治类田块是坡度 $\geq 25^\circ$ 或者位于生态保护红线范围内的田块,从政策文件导向和生态保护角度出发,这类田块禁止开展整治建设活动。在坡度 $\geq 25^\circ$ 的田块实

施整治活动极易引发水土流失,此类耕地应逐步实施退耕还林还草;位于生态保护红线内的田块具有管控约束性,该类田块生态敏感性高,应遵循生态优先的原则,禁止实施土地平整、田块整合、硬质渠系等破坏生态的工程措施。

4 讨论

本研究立足田块这一农户耕作的最小单元尺度,兼顾管控约束性,通过调研并结合东南区高标准农田建设要求构建了“自然禀赋度-权属分散度-耕作便捷度”较为全面精细的三维测度体系,将微观尺度的权属信息与自然属性、耕作条件耦合,揭示了田块尺度细碎化多维特征的交互作用机制,将纳入权属信息的权属分散度指标的值赋值到了每一个田块上,以反映田块的权属特征。同时为避免“一刀切”的整治模式,引入在耕地细碎化研究中实用性较强的三维魔方模型形成6种整治引导类型并制订了差异化的治理策略。相较于图斑尺度或行政单元尺度研究尺度较大且对耕地细碎化权属特征和耕作特征等微观尺度研究的考量不足^[16,20,23,35],本研究通过纳入田块的自然、权属和耕作特征,其基于田块尺度的微观异质性研究更符合丘陵山区耕地细碎化问题的实质要求,弥补了中宏观尺度对微观异质性把握不足的缺陷。相较于以往田块尺度因数据受限而导致指标选取和量化不精确的问题^[19,32],本研究指标体系更加精细全面,在自然禀赋度维度结合高标准农田建设要求细化了田块规整度的量化方法并纳入田块地力等级以综合反映田块的自然禀赋程度;在权属分散度维度中考虑权属田块空间分散指数,更接近农户的实际耕作特征;耕作便捷度维度中通过对田块邻接程度、道路网络距离、通达水平的综合考量可反映丘陵山区田块的耕作难易程度。同时为弥补以往田块尺度的研究中对测度后差异化治理策略研究的不足^[31],本研究兼顾管控约束性并结合三维魔方空间组合方案形成差异化的治理策略,弥补了整治策略与实际需求脱节的短板,研究成果可为丘陵山区高标准农田建设中田块整治及细碎化测度提供参考。本研究也存在需要改进的不足之处,一方面田块细碎化测度指标综合权重确定过程中收集到的农户有效问卷数量有限,可能会影响综合评价结果的准确性,另一方面也要认识到治理耕地细碎化问题的复杂性、地域差异性和多主体参与性,今后研究应进一步扩大调研范围并提高农户参与度和问卷数量,同时考虑区域田块整治成本与生态效益权衡机制、利益相关者协同治理机制,可进一步开展区域差异化的整治路径模拟,为丘陵山区高标准农田建设和耕地细碎化治理提供更精细化、差异化的解决方案。

5 结论

针对丘陵山区高标准农田建设中耕地细碎化的突出问题,本研究构建了“自然禀赋度-权属分散度-耕作便捷度”三维田块尺度的耕地细碎化测度指标体系,通过均值和变异系数揭示研究区各行政村评价结果的空间分布特征及差异水平,同时引入局部空间自相关探究田块在三个维度上的空间关联特征,最后通过三维魔方模型

并结合管控约束性形成研究区田块尺度的整治分类引导方案。主要研究结论如下：

1) 通过“自然禀赋度-权属分散度-耕作便捷度”构建的田块细碎化指标体系纳入了田块自然、权属、耕作特征，指标选取较为全面客观，可为丘陵山区高标准农田建设中田块整治提供差异化的治理策略。

2) 田块自然禀赋度的综合评价水平在 0.219~0.716 之间，其中综合评价水平低的田块数量占比为 9.24%，水平较低的田块数量占比为 23.01%，水平较高的田块数量占比为 46.85%，水平高的田块数量占比为 20.90%。各个行政村综合评价的均值水平和变异系数较为均衡，自然禀赋度优越的田块在空间上形成连片集聚状态，其余田块集聚规模较小或自然禀赋度较差而形成较低和低水平集聚状态；局部空间自相关主要以高-高聚集及低-低聚集两种聚类模式为主。田块权属分散度的综合评价水平在 0~0.902 之间，其中综合评价水平低的田块数量占比为 56.57%，水平较低的田块数量占比为 33.55%，水平较高的田块数量占比为 7.21%，水平高的田块数量占比为 2.67%。各个行政村综合评价的均值水平和变异系数的差异程度较低，各综合评价等级的田块在各个行政村的分布较为均质；局部空间自相关主要以低-低聚集为主，高-低聚集较少，高-高聚集和低-高聚集呈现镶嵌式分布格局。田块耕作便捷度的综合评价水平在 0.026~0.974 之间，其中综合评价水平低的田块数量占比为 24.60%，水平较低的田块数量占比为 43.61%，水平较高的田块数量占比为 25.49%，水平高的田块数量占比为 6.30%。各个行政村综合评价的均值水平和变异系数存在一定差异性，较高和高等级水平的田块因较为密集且等级较高的路网和较高的田块邻接状态而在空间上形成集聚状态，其余田块多受自然条件的限制，难以形成较高的田块集聚状态；局部空间自相关主要以高-高聚集和低-低聚集为主，高-低聚集和低-高聚集在空间上分布较为零散。

3) 基于三维魔方空间组合方案并兼顾管控约束性和政策文件导向，最终形成优质保育类、禀赋提升类、权属调整类、设施完善类、综合整治类、禁止整治类 6 种田块尺度的整治引导类型，并综合考虑三个维度之间主导优劣势的相互作用提出各个类型差异化的治理策略。

[参 考 文 献]

- [1] 杜国明, 盖兆雪, 王洪彦. 中国耕地细碎化的理论解析与研究框架[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(6): 997-1008. DU Guoming, GAI Zhaoxue, WANG Hongyan. Theoretical explanation and research framework of cultivated-land fragmentation in China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(6): 997-1008. (in Chinese with English abstract)
- [2] 傅泽强, 蔡运龙, 杨友孝, 等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 313-319. FU Zeqiang, CAI Yunlong, YANG Youxiao, et al. Research on the relationship of cultivated land change and food security in China[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(4): 313-319. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李鑫, 欧名豪, 马贤磊. 基于景观指数的细碎化对耕地利用效率影响研究——以扬州市里下河区域为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1758-1767. LI Xin, OU Minghao, MA Xianlei. Analysis on impact of fragmentation based on landscape index to cultivated land use efficiency: A case on Lixiahe District in Yangzhou City[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(10): 1758-1767. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王兆林, 吕秋杭, 吴月, 等. 耕地细碎化对农户家庭兼业化的影响及机制[J]. 中国土地科学, 2024, 38(1): 73-83. WANG Zhaolin, LYU Qiuhan, WU Yue, et al. The impact of cultivated land fragmentation on part-time behavior of farmers in China[J]. China Land Science, 2024, 38(1): 73-83. (in Chinese with English abstract)
- [5] 纪月清, 王许沁, 陆五一, 等. 农业劳动力特征、土地细碎化与农机社会化服务[J]. 农业现代化研究, 2016, 37(5): 910-916. JI Yueqing, WANG Xuqin, LU Wuyi, et al. The characteristics of rural labors, land fragmentation, and agricultural machinery services[J]. Research of Agricultural Modernization, 2016, 37(5): 910-916. (in Chinese with English abstract)
- [6] 文高辉, 刘蒙罢, 胡贤辉. 耕地细碎化对农户劳动生产率影响的空间计量分析[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(2): 167-175. WEN Gaohui, LIU Mengba, HU Xianhui. Spatial econometric analysis of the impact of cultivated land fragmentation on farmers' labor productivity[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(2): 167-175. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张蚌蚌, 孔祥斌. 基于细碎化的中国近 30 年耕地利用系统变化及耦合协调度[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2018, 54(3): 327-333. ZHANG Bangbang, KONG Xiangbin. Changes and coupling coordination degree of cultivated land use system in recent 30 years based on fragmentation perspective in China[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2018, 54(3): 327-333. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李鑫, 欧名豪, 肖长江, 等. 基于景观指数的细碎化对耕地生产效率影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 707-713. LI Xin, OU Minghao, XIAO Changjiang, et al. Study on impacts of landscape fragmentation to cultivated land production efficiency[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(6): 707-713. (in Chinese with English abstract)
- [9] 台晓丽, 肖武, 张建勇, 等. 基于景观指数的巢湖流域各县区耕地细碎化研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 94-98. TAI Xiaoli, XIAO Wu, ZHANG Jianyong, et al. Research of cultivated land fragmentation at the township level of Chaohu Basin based on landscape metrics[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(4): 94-98. (in Chinese with English abstract)
- [10] CIAIAN P, GURI F, RAJCANIOVA M, et al. Land fragmentation and production diversification: A case study from rural Albania[J]. Land Use Policy, 2018, 76: 589-599.
- [11] ZHOU C, ZHAO Y, LONG M, et al. How does land fragmentation affect agricultural technical efficiency? Based on mediation effects analysis[J]. Land, 2024, 13(3): 284.
- [12] 唐宏, 殷子寒. 耕地细碎化、农机社会化服务对耕地“非粮化”的影响研究——基于 7 省 1797 户农户的微观调查[J]. 长江流域资源与环境, 2025, 34(3): 693-704. TANG Hong, YIN Zihan. Impact of farmland fragmentation and agricultural machinery socialization service on "Non-grain" utilization: Based on a micro survey of 1797 rural households in 7 provinces[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2025, 34(3): 693-704. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张毅, 刘同山. 农地细碎化的影响及其治理——基于中国乡村振兴调查(CRRS)数据的分析[J]. 农村经济, 2024(5): 55-65. ZHANG Yi, LIU Tongshan. The impact of agricultural land fragmentation and its governance[J]. Rural Economy, 2024(5): 55-65.

- 55-65. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王兆林, 吕秋杭. 耕地细碎化对农户种植业收入的影响——“非粮化”和耕地流转率的调节效应[J]. *西部论坛*, 2024, 34(3): 111-124.
WANG Zhaolin, LYU Qiuhan. Impact of cultivated land fragmentation on the farmers' income from planting industry: Moderating effects of "Non-grain Production" and transfer rate of farmland[J]. *West Forum*, 2024, 34(3): 111-124. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王兴邦, 黄晶, 张正峰. 县域城镇化是否会加剧耕地景观细碎化——基于中国 1934 个县域的实证研究[J]. *中国土地科学*, 2024, 38(6): 88-98.
WANG Xingbang, HUANG Jing, ZHANG Zhengfeng. Does county urbanization exacerbate landscape fragmentation of cultivated land: Based on an empirical analysis of 1934 counties in China[J]. *China Land Science*, 2024, 38(6): 88-98. (in Chinese with English abstract)
- [16] 奥勇, 张亦恒, 王晓峰, 等. 基于景观指数的关中地区耕地细碎化程度的时空变迁及其驱动因素[J]. *水土保持研究*, 2024, 31(3): 401-411.
AO Yong, ZHANG Yiheng, WANG Xiaofeng, et al. Spatiotemporal changes and driving factors of cultivated land fragmentation in Guanzhong Region based on landscape index[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2024, 31(3): 401-411. (in Chinese with English abstract)
- [17] YE S, REN S, SONG C, et al. Spatial pattern of cultivated land fragmentation in mainland China: Characteristics, dominant factors, and countermeasures[J]. *Land Use Policy*, 2024, 139: 107070.
- [18] DEMETRIOU D, STILLWELL J, SEE L. A new methodology for measuring land fragmentation[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013, 39: 71-80.
- [19] 李春梅, 邵景安, 曹飞. 浅丘低丘地貌背景下耕地细碎化评价及分区研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(11): 114-125.
LI Chunmei, SHAO Jingan, CAO Fei. Evaluation and zoning of cultivated land fragmentation under the geomorphic background of shallow and low hills[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(11): 114-125. (in Chinese with English abstract)
- [20] 魏鹏, 余敦, 胡宜之, 等. 规划管控约束下耕地细碎化评价与整治分区[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(3): 283-293.
WEI Peng, YU Dun, HU Yizhi, et al. Evaluating cultivated land fragmentation and remediation zoning under planning management[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2024, 40(3): 283-293. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李希明, 黄秋昊, 吕剑成, 等. 基于功能分区与多聚类算法集成的耕地细碎化评价及整治[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(6): 274-282.
LI Ximing, HUANG Qiuhaohao, LYU Jiancheng, et al. Evaluation and consolidation of cultivated land fragmentation based on integration of function zoning and multi-cluster algorithms[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2022, 38(6): 274-282. (in Chinese with English abstract)
- [22] 吴诗嫒, 孟圣翔, 卢新海. 不同模式农地整治权属调整对耕地细碎化的影响研究[J]. *农林经济管理学报*, 2023, 22(4): 527-534.
WU Shimian, MENG Shengxiang, LU Xinhai. Effect of different modes of property rights adjustment in rural land consolidation on cultivated land fragmentation[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2023, 22(4): 527-534. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王学, 徐晓凡. 中国耕地景观细碎度时空变化特征及其影响因素[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(16): 11-20.
WANG Xue, XU Xiaofan. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of landscape fragmentation of cultivated land in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2022, 38(16): 11-20. (in Chinese with English abstract)
- [24] 柴焱焱, 吕杰, 薛莹. 耕地细碎化对农户化肥减量施用的影响机制——基于生产环节外包的调节效应[J]. *中国农业大学学报*, 2024, 29(11): 311-328.
CHAI Zhenzhen, LYU Jie, XUE Ying. Mechanisms of the influence of land fragmentation on fertilizer application reduction: Based on the moderating effect of outsourcing agricultural production[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(11): 311-328. (in Chinese with English abstract)
- [25] 申淑虹, 牛文浩, 李贤, 等. 耕地细碎化对粮食生产效率的非线性影响研究——基于农户兼业的中介效应分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(2): 38-48.
SHEN Shuhong, NIU Wenhao, LI Xian, et al. Research on the non-linear effect of cultivated land fragmentation on grain production technical efficiency: Analysis of the mediating effect based on farmers' concurrent business[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(2): 38-48. (in Chinese with English abstract)
- [26] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 耕地细碎化对可持续集约利用的影响机理与治理框架[J]. *地理学报*, 2022, 77(11): 2703-2720.
LIU Jing, JIN Xiaobin, XU Weiyi, et al. Influence mechanism of cultivated land fragmentation on sustainable intensification and its governance framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(11): 2703-2720. (in Chinese with English abstract)
- [27] 葛玉娟, 赵宇鸾. 基于道路网络分析技术的耕地细碎化测度模型改进[J]. *资源科学*, 2019, 41(4): 766-774.
GE Yujuan, ZHAO Yuluan. Improvement of farmland fragmentation measurement model based on road network analysis[J]. *Resources Science*, 2019, 41(4): 766-774. (in Chinese with English abstract)
- [28] SIMONS S. Land fragmentation in developing countries: The optimal choice and policy implications[J]. *Explorations in Economic History*, 1988, 25: 254-262.
- [29] KING R, BURTON S. Land fragmentation: Notes on a fundamental rural spatial problem[J]. *Progress in Human Geography*, 1982, 6(4): 475-494.
- [30] JANUSZEWSKI J. Index of land consolidation as a criterion of the degree of concentration[J]. *Geographia Polonica*, 1968, 14: 291-296.
- [31] 周春芳, 赵宇鸾, 文高辉, 等. 耦合地块空间和权属信息的耕地细碎化测度[J]. *地理科学进展*, 2025, 44(2): 414-428.
ZHOU Chunfang, ZHAO Yuluan, WEN Gaohui, et al. Measurement of cultivated land fragmentation by coupling spatial and tenure information of plots[J]. *Progress in Geography*, 2025, 44(2): 414-428. (in Chinese with English abstract)
- [32] 彭思卿, 陈文波. 基于田块空间和权属信息的耕地细碎化 MAVF 评价研究[J]. *中国土地科学*, 2019, 33(6): 88-95.
PENG Siqing, CHEN Wenbo. Multi-attribute value function evaluation on fragmentation of cultivated land based on plot space and ownership information[J]. *China Land Science*, 2019, 33(6): 88-95. (in Chinese with English abstract)
- [33] BINNS B O. The Consolidation of Fragmented Agricultural Holdings: An FAO Study[M]. Washington DC: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1950.
- [34] 臧良震, 苏毅清. 耕地细碎化问题研究述评及启示[J]. *生态经济*, 2019, 35(1): 79-83.
ZANG Liangzhen, SU Yiqing. A literature review and its enlightenment of farmland fragmentation issue[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(1): 79-83. (in Chinese with English abstract)
- [35] 苏泽琛, 邵战林. 基于资源禀赋-耕作便利-景观差异多维评价的昌吉州耕地细碎化分区整治研究[J]. *农业资源与环境学报*, 2025, 42(5): 1229-1236
SU Zechen, SHAO Zhanlin. A study on the zoning remediation

- of fine fragmentation of arable land in Changji Prefecture based on the multi-dimensional evaluation of resource endowment-farming convenience-landscape difference[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2025, 42(5): 1229-1236. (in Chinese with English abstract)
- [36] 李少帅, 郟文聚, 曹文静, 等. 基于田块尺度的高标准农田建设空间形态判别研究[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(7): 112-118.
LI Shaoshuai, YUN Wenju, CAO Wenjing, et al. Spatial morphology identification of well-facilitated farmland construction based on patch scale[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(7): 112-118. (in Chinese with English abstract)
- [37] DEMETRIOU D, SEE L, STILLWELL J. A parcel shape index for use in land consolidation planning[J]. *Transactions in GIS*, 2013, 17(6): 861-882.
- [38] 毛雪, 孟源思, 张东红, 等. 基于 GIS 的皖江流域耕地地力评价研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(7): 110-118, 125.
MAO Xue, MENG Yuansi, ZHANG Donghong, et al. Valuation of cultivated land capacity in the Yangtze River Basin in Anhui Province based on GIS[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(7): 110-118, 125. (in Chinese with English abstract)
- [39] 张佳佳, 苏艳平, 杨培岭, 等. 基于 CRITIC-GRA-TOPSIS 法的黄河上游河套平原耕地地力评价[J]. *中国农业大学学报*, 2025, 30(2): 255-266.
ZHANG Jiajia, SU Yanping, YANG Peiling, et al. Evaluation of cultivated land productivity in Hetao Plain of upper reaches of the Yellow River based on CRITIC-GRA-TOPSIS method[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(2): 255-266. (in Chinese with English abstract)
- [40] 王亚辉, 李秀彬, 辛良杰. 耕地地块细碎程度及其对山区农业生产成本的影响[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(12): 2658-2672.
WANG Yahui, LI Xiubin, XIN Liangjie. Characteristics of cropland fragmentation and its impact on agricultural production costs in mountainous areas[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(12): 2658-2672. (in Chinese with English abstract)

Measurement and classified governance strategies of farmland parcel fragmentation in hilly and mountainous areas

CHEN Guoqing¹, LIU Guangsheng^{1,2,3*}, QIAO Ziyuan¹, ZHAO Lesong¹, WANG Hongmei^{1,2,3}, LAN Qian¹, LAN Dingjie¹

(1. School of Public Administration, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510700, China; 3. Guangdong Province Key Laboratory for Agricultural Resources Utilization, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Cultivated land fragmentation is one of the key factors to hinder the high-quality agriculture. It is of great significance to construct a parcel-scale measurement system of the cultivated land fragmentation. Differentiated governance strategies are often required to promote the cultivated land fragmentation. This study aims to measure and classify the farmland parcel fragmentation in the hilly and mountainous areas. An example was then taken in the Hekou Town, Yunan County, Guangdong Province, China. A theoretical review was presented on the concept and connotation of the cultivated land fragmentation. Natural, tenure and cultivation of the parcels were then incorporated to combine with the questionnaire surveys and the decision-making on the high-standard farmland. A parcel-scale fragmentation measurement index system was constructed using the “natural endowment degree, tenure dispersion degree, and cultivation accessibility degree”. The three-dimensional composite index of parcel fragmentation was then calculated using TOPSIS model. The local spatial autocorrelation was utilized to explore the spatial aggregation relationship. Each administrative village was evaluated for the balance and differences in the variation of the mean and coefficients. Finally, the three-dimensional Rubik's cube model was used to form the guidance program for the classified consolidation. The results showed that: 1) In the dimension of natural endowment degree, the comprehensive evaluation level of the parcels in the study area was ranged from 0.219 to 0.716, where the majority was in the the lower and higher levels. In terms of the spatial differentiation, there was the relatively balance in the variation of the mean level and coefficient after comprehensive evaluation on each administrative village. Parcels with the superior natural endowment degree were formed the contiguous clusters in space. While the rest parcels exhibited the smaller clusters or lower levels of the aggregation, due to the low natural endowment degree. In the dimension of tenure dispersion degree, the comprehensive evaluation level of the parcels was ranged from 0 to 0.902, where the majority was in the lower and low grades. Parcels with the different comprehensive evaluation grades exhibited the relatively homogeneous spatial distribution. In the dimension of cultivation accessibility degree, the comprehensive evaluation level of the parcels was ranged from 0.026 to 0.974, with the majority in the lower and higher grades. Higher and high-grade parcels were tended to cluster spatially, due to the denser, higher-grade road networks and greater parcel adjacency. Other parcels, however, were largely constrained by natural conditions, leading to the high levels of the parcel adjacency. 2) In terms of the spatial correlation, the natural endowment degree was dominated by the high-high and low-low aggregation. The tenure dispersion degree was dominated by the low-low aggregation. And the cultivation accessibility degree was dominated by the high-high and low-low aggregation. 3) Three-dimensional Rubik's cube model was combined with the spatial combination and control constraints. The parcels were classified into the high-quality conservation, endowment enhancement, tenure adjustment, facility improvement, comprehensive consolidation, and prohibited consolidation. Differentiated consolidation strategies were proposed after optimization. The finding can also provide a strong reference to construct the parcel consolidation of the high-standard farmland in the hilly and mountainous areas.

Keywords: high-standard farmland construction; parcel scale; cultivated land fragmentation; three-dimensional rubik's cube model; governance strategies; hilly and mountainous areas