

县域耕地地块与地形因子空间关联性测绘分析

冯 宁

浚县自然资源局 河南 鹤壁 456250

摘 要: 基于多源空间数据,选取高程、坡度、地形起伏度、地形位指数、坡向5项地形因子及地块面积、破碎度、连片度、空间密度、集聚度5项耕地格局指标,综合运用GIS空间分析、空间自相关、耦合协调度及地理加权回归,构建“地形因子—耕地格局”分析框架。实证表明:地形显著约束耕地分布,优势区连片度高、破碎度低,复杂区规模小、形态散、集聚弱;各因子影响呈空间异质性,耦合协调度沿地形梯度分异显著。研究揭示多重影响机制,提出基于地形分异的分级管控与空间优化思路,为县域耕地保护提供方法参考。

关键词: 耕地地块;地形因子;空间关联性;空间自相关;地理加权回归

引言

耕地作为粮食生产的基本载体,其空间格局深受地形条件的制约。高程、坡度、地形起伏度等地形因子通过影响水热条件再分配、耕作便利程度及水土流失风险,直接作用于耕地的适宜性、开发成本与利用方式,进而塑造出差异化的耕地空间分布格局。在丘陵沟壑等地貌复杂区域,地形制约尤为突出,耕地碎片化、边缘化问题普遍存在,人地矛盾加剧。因此,开展县域尺度耕地地块与地形因子的空间关联性研究,有助于深入理解地形对耕地格局的约束机制,为耕地整治、永久基本农田划定及差异化管控提供科学依据。本文依托第三次国土调查及数字高程模型等数据,构建涵盖多维度地形因子与耕地格局指标的分析体系,综合运用空间自相关、耦合协调度和地理加权回归等模型方法,系统揭示二者的空间关联特征及地形影响机制,以期为同类区域耕地精细化管理提供方法借鉴。

1 理论基础与数据处理

1.1 理论基础与分析框架

(1) 地形因子对耕地利用的影响机理。地形通过两个主要路径影响耕地空间格局:一是宏观地理梯度路径,高程变化引起水热条件的垂直分异,塑造耕地分布的总体垂直上限与适宜区间;二是局地形态约束路径,坡度与地形起伏度决定地表可耕作性与工程改造难度,影响耕地地块的规模、形态与连通性。两类路径协同作用,形成地形对耕地分布的基础性框架约束^[1]。(2) 耕地格局的多维表征框架。耕地空间格局可从规模、形态、集聚三个维度加以刻画。规模维度以地块面积、空间密度反映耕地资源总量与分布丰度;形态维度以破碎度、连片度表征地块的完整性与空间连续性;集聚维度以分布集聚度(最近邻指数)反映耕地空间分布的聚合

或离散倾向。三者共同构成耕地格局的系统性描述框架。(3) 空间关联性分析框架构建。将地形因子作为解释变量、耕地格局指标作为响应变量,按照“单因子分异描述—全局关联检验—局部关联识别—耦合协调度—异质性回归解析”的技术路径,逐层递进地揭示地形因子与耕地的空间关联程度、结构类型及影响机制,形成完整的方法逻辑链。

1.2 数据来源与指标选取

(1) 核心数据来源。耕地地块矢量数据主要来源于第三次国土调查成果;DEM数据采用高分辨率(≤ 12.5 m)产品,以保障地形因子提取精度;遥感影像辅助用于土地利用现状核对与补充判读;土地利用现状数据参考年度变更调查数据库进行一致性验证。(2) 地形因子指标选取。选取高程、坡度、地形起伏度、地形位指数、坡向5项核心地形因子。高程反映水热条件垂直变化与耕地垂直分布上限;坡度直接决定耕作可行性与机械化条件;地形起伏度表征地表切割破碎程度,影响耕地连片开发潜力;地形位指数综合高程与坡度协同效应,定量表达地形综合优劣;坡向影响光照时数与土壤水分空间分异,可作为辅助解释因子^[2]。(3) 耕地格局指标选取。确定地块面积、破碎度(单位面积内地块数量)、连片度(相邻同质地块聚合程度)、空间密度(核密度估计值)、分布集聚度(最邻近指数)5项指标。地块面积与空间密度表征耕地规模丰度,破碎度与连片度反映形态完整性,集聚度指示空间聚合趋势,各指标从不同侧面定量刻画耕地空间配置特征。

1.3 数据预处理流程

(1) 地形数据预处理。基于DEM数据,利用ArcGIS完成填洼处理以消除伪凹陷,按研究边界裁剪,统一重采样至一致分辨率。提取坡度、坡向、起伏度等地形因

子,采用自然断点法完成因子分级,生成地形梯度分区栅格数据,为后续空间叠置与统计分析提供基础图层。

(2)耕地数据预处理。对耕地地块矢量数据进行几何校正(误差控制在亚像元级)、拓扑检查与重复图斑剔除,按研究边界裁剪,删除面积小于最小上图图斑面积的极小地块及属性信息缺失图斑,补充地块编号、地类名称等关键属性字段,构建标准化的耕地地块数据集。

(3)空间数据匹配处理。将所有数据统一投影至同一高斯—克吕格投影坐标系。采用空间叠置分析完成耕地地块与地形因子的逐图斑属性匹配,关联地形属性至每一耕地地块,构建包含地形属性与格局指标的研究数据集,确保后续分析中空间单元的一致性。

2 耕地与地形因子空间分布特征

2.1 地形因子空间分布特征

(1)高程空间分异。依据DEM数据将高程划分为若干梯度区间,统计各区间面积占比与空间分布。总体呈现低海拔河谷区、中海拔缓丘塬面区、高海拔中山区三级阶梯状格局,高程带大致沿主要水系两侧向南北两侧递增,地貌梯度方向明确。(2)坡度与起伏度分布特征。坡度划分为平缓坡、缓坡、中坡、陡坡、急陡坡等级别,统计分析显示以中缓坡与中坡为主,陡坡主要分布于地形深切区域;地形起伏度以中等起伏为主,微起伏区沿主要水系带状展布,大起伏区仅在局部深切山地出现,整体地貌破碎程度中等偏强^[3]。(3)地形位指数空间格局。测算地形位指数,按自然断点划分为低、中低、中、中高、高五级。地形优势区(低、中低级)沿主要水系和塬面呈带状或面状分布,是耕地发育与扩展的优势区位;地形劣势区(高、中高级)集中于深切割山地,构成耕地扩展的强限制区域。

2.2 耕地地块空间分布特征

(1)耕地数量空间分布。按空间单元统计耕地面积占比,呈现“河谷川道高密度集聚、缓丘塬面中密度连片、中山地带低密度散落”的递减格局,耕地分布重心明显偏向地形条件较优的区域,空间不均衡性突出。

(2)耕地地块形态特征。测算地块面积均值、形状规整度及破碎度,不同地形区间差异显著:地形优势区地块规模较大、形态规整、破碎度低;地形劣势区地块细小零散、形状不规则、破碎度高。形态指标的梯度差异直观反映了地形对耕地整形建设的基础制约。(3)耕地空间集聚特征。采用核密度估计刻画耕地分布热点,结果显示:核心高密度集聚区沿主要水系和宽阔塬面呈带状延伸,次高密度连片分布于缓丘地带,低密度冷点区与地形劣势区高度重叠,冷热点空间分界与地形梯度分

区表现出高度一致性。

2.3 耕地地形梯度分异规律

(1)高程梯度分布。各高程区间耕地面积占比呈先增后减的倒U型曲线,耕地集中分布于中间高程区间,过低或过高高程带耕地占比均显著下降,形成“中位优势、两端劣势”的单峰分布模式。(2)坡度梯度分布。随坡度升高,耕地面积占比先增后降,连片度持续下降而破碎度持续上升。缓坡至中坡区间为耕地优势坡度带,集中了大部分耕地面积;陡坡区间仅分布零星耕地,连片度极低、破碎度极高。(3)综合地形梯度分布规律。叠加多地形因子的综合分析表明,耕地面积随地形位指数升高呈对数递减,低地形位区间耕地连片度高、形态规整,中地形位区间以梯田为主、形态中等,高地力区区间耕地零星分布、破碎严重。据此总结出“平缓区集中连片、中起伏区间断分布、陡峭区零星散落”的地形梯度分异规律。

3 耕地与地形因子空间关联性及机制

3.1 空间关联性模型构建

(1)空间自相关模型。引入全局Moran's I指数测度县域尺度耕地格局与地形因子的整体空间关联强度,其值域为 $[-1,1]$,通过Z检验判定显著性;辅以局部Moran's I及LISA聚类图,识别局部空间关联类型(高高集聚、低低集聚、高低异常、低高异常)及其空间分布范围,揭示关联结构的局部变异特征。(2)耦合协调度模型。构建涵盖耕地地块面积、破碎度、连片度等格局指标与高程、坡度、起伏度等地形因子的综合评价体系,采用熵权法客观赋权以避免主观偏差,引入耦合度C与协调度D,计算耦合协调度 $H = \sqrt{(C \times D)}$,量化二者交互作用的协调等级,为分区管控提供量化依据^[4]。(3)空间异质性回归模型。采用地理加权回归(GWR)模型揭示各地形因子对耕地格局影响的非平稳性特征,以AICc准则优选自适应带宽,并与普通最小二乘法(OLS)模型对比,验证GWR在拟合优度与解释力方面的改进效果,识别影响效应的空间分异格局。

3.2 空间关联性量化分析

(1)全局空间关联特征。全局Moran's I测算显示,耕地规模指标与高程、坡度、地形位呈显著负空间自相关,耕地破碎度与三者呈显著正空间自相关,表明地形趋优区域耕地规模大连片度好,地形复杂区耕地破碎程度高,空间关联方向一致且统计显著性稳定。(2)局部空间关联特征。LISA聚类识别出四种局部关联类型:高高集聚区(地形高值—耕地低值)主要分布于中山地带,反映强地形限制;低低集聚区(地形低值—耕地高

值)沿主要水系连片分布,为优质耕地集中区;高低异常区与低高异常区零星分布于地形过渡带,反映局部地形与土地利用的错配。各类型空间分异与地貌格局高度吻合。(3)耦合协调度分析。耦合协调度H值呈现由地形优势区向劣势区递减的梯度变化规律。划分为优质耦合区、一般耦合区与失调区三级,优质耦合区集中于川道与塬面过渡带,失调区主要分布于深沟壑与中山地带,耦合协调度分布与地形梯度带表现出显著的空间对应关系。

3.3 地形因子对耕地格局的影响机制

(1)基础约束机制。高程通过水热条件垂直分异控制耕地垂直分布上限,坡度通过耕作便利性与水土流失风险决定耕地开发的阈值边界,二者共同构成耕地利用的“上限约束”与“下限筛选”双重基础性约束,塑造了耕地分布的总体空间框架。(2)格局塑造机制。地形起伏度通过切割地表连续性驱动耕地破碎化,起伏度增大显著提升破碎度并降低连片度;地形位指数综合表达多因子协同效应,低地形位区连片度远高于高地力区,形成“趋平连片、趋陡碎裂”的格局分异规律。地形位指数作为综合因子,较单一因子具有更强的格局解释力。(3)差异化影响机制。GWR回归系数空间分布显示,同一地形因子对不同区域的耕地格局影响效应存在显著差异——高程对耕地面积的负向影响在中山区最强、在平缓区较弱,坡度对连片度的负向影响在地形过渡带最强,起伏度对破碎度的影响在中等起伏区最大并在高起伏区趋于饱和。这表明地形因子的影响效应具有明显的地貌分区异质性与梯度阈值特征,分区分级管控具有明确的理论依据^[5]。

3.4 基于地形关联特征的耕地优化思路

(1)差异化分级管控策略。依据耦合协调度分级结果,将研究区域划分为核心保护区(优质耦合区)、综合提升区(一般耦合区)、适度开发或生态退耕区(失调区),分别对应优先保护、提质改造、逐步退耕或开发限制的分级管控方案,形成与地形梯度相匹配的差别

化管理路径。(2)耕地格局优化方向。针对高破碎度区域可实施“小块并大块”归并整治,降低地块数量、扩大单块规模;针对低连片度区域通过权属调整与流转促进集中连片;在地形过渡带开展坡改梯与条田建设,配套坡面水系工程,以工程措施缓解地形制约。(3)高效利用导向建议。在优质耦合区推广适度规模经营与高效灌溉技术,充分发挥地形优势;在一般耦合区发展特色旱作农业与梯田利用模式;在地形劣势区结合生态功能定位,实行种养结合或退耕还林还草。整体实现“以地形定用途、以关联促增效”的因地制宜利用目标,为永久基本农田优化调整与耕地资源高效配置提供方法支撑。

结束语

本研究构建“地形因子—耕地格局”分析框架,揭示地形通过高程坡度基础约束、起伏度与地形位格局塑造及GWR空间异质性三重路径综合作用耕地分布。低地形位区为优质分布区,耦合协调度沿地形梯度显著分异,据此提出分级管控思路,具明确地形学依据。但未充分考虑土壤、水文、区位等与地形的协同效应,后续需纳入多要素综合驱动分析,以全面揭示耕地形成机理,支撑精细化管理。

参考文献

- [1]罗月露.利川市耕地资源地形梯度分布特征及优化策略[J].农业科学,2026,16(6):45-51.
- [2]张运平,林建平,黄艺敏,等.基于地形梯度与耕地质量耦合的丘陵山区“耕-果”用地空间冲突及分区优化[J].农业工程学报,2024,40(6):330-338.
- [3]李娟,王军,张凤荣.县域耕地细碎化与地形因子的空间关联性研究——以山东省宁阳县为例[J].中国土地科学,2023,37(8):89-97.
- [4]刘艳,赵俊三,李阳兵.喀斯特山区耕地细碎化与地貌类型的空间关联性——以贵州修文县为例[J].土壤通报,2024,55(3):521-528.
- [5]王静,李瑞,张军.基于GIS的县域耕地空间分布与地形因子耦合特征分析[J].测绘通报,2023,(12):112-116.