引文格式：杨振,彭壮壮,张蓓蓓,等. 耕地秋季作物种植结构特征与影响机制探究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(5): 56-58. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.05.011

耕地秋季作物种植结构特征与影响机制探究

杨　振[1,2,3]，彭壮壮[4]，张蓓蓓[1,2,3*]，周俊利[1,2,3]

（1. 河南省遥感院，河南 郑州 450000；2. 河南省自然资源科技创新中心（卫星遥感），河南 郑州 450000；
3. 河南省遥感大数据工程技术研究中心，河南 郑州 450000；4. 河南省地质局矿产资源勘查中心，河南 郑州 450000）

摘　要：为分析耕地种植结构在小范围地理尺度下的空间分布性和驱动机制，以河南省典型产粮大市为研究区，以2 km×2 km空间格网为研究单元，采用分区统计法研究了单元内秋季作物种植类型和种植面积，并结合地理探测器探究了研究区主要作物在微观地理尺度下的种植结构空间分布及其影响机理。结果表明，地形条件、土壤质地是玉米、花生种植结构空间分布的重要影响因素，自然条件是耕地种植结构空间分布的关键影响因素。因子交互分析发现，市场区位、交通区位和排涝能力对其他因子具有明显的交互增强作用，说明耕地种植结构空间分布是人文因素与自然因素协同作用的结果。

关键词：地理探测器；地理加权回归；因子交互；种植结构；空间分布

中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）05-0056-03

Research on the Characteristics and Influence Mechanism of Crop Planting Structure in Autumn on Cultivated Land

YANG Zhen[1,2,3], PENG Zhuangzhuang[4], ZHANG Beibei[1,2,3], ZHOU Junli[1,2,3]

(1. Henan Remote Sensing Institute, Zhengzhou 450000, China;
2. Henan Provincial Natural Resources Science and Technology Innovation Center (Satellite Remote Sensing), Zhengzhou 450000, China;
3. Henan Remote Sensing Big Data Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450000, China;
4. Mineral Resources Exploration Center of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to analyze the spatial distribution and driving mechanism of cultivated land planting structure at a small geographical scale, taking a typical crop planting city in Henan Province as the research area, taking 2 km×2 km spatial grid as the research unit, we used zoning statistical method to study the crop planting types and areas in autumn within the unit, and combining with GeoDetector, explored the spatial distribution and influence mechanism of planting structure of main crops in the study area under micro geographical scale conditions. The results indicate that terrain conditions and soil texture are important influence factors on the spatial distribution of maize and peanut planting structures, while natural condition is key influence factor on the spatial distribution of cultivated land planting structure. The factor interaction analysis shows that market location, transportation location and drainage capacity have a significant interactive enhancement effect on other factors, indicating that the spatial distribution of cultivated land planting structure is the result of synergistic effect of human and natural factors.

Key words: GeoDetector, geographical weighted regression, factor interaction, planting structure, spatial distribution

随着我国农业发展政策变化，耕地和农作物种植结构空间分布发生了一系列变化，粮食安全、耕地种植结构发展演变受到学者们的广泛关注[1-2]。目前相关研究多从地块分布、农户视角出发，采用多种统计模型，从微观层次分析农户种植作物意向、农作物价值、耕地流转、农用地整合程度等因素对种植结构的影响[3-6]；或以行政区划为研究单元，基于遥感或农业统计数据，采用空间统计模型，探究地形、土壤、基础设施建设、政策环境等影响因素对秋季作物种植空间分布特征的影响，分析作物种植分布形成机理，进而推动作物种植结构优化调整，确保耕地资源有效开发利用，进而提升粮食产量。耕地种植结构是各影响因素共同作用的结果，作物生长对范围内地形、土壤等自然因素具有较强的依赖性，因此自然环境是区域耕地种植结构形成的先决条件[7-8]。随着生产技术条件、管理能力以及人类对自然环境改造能力的增强，

项目来源：河南理工大学博士基金资助项目（760507/031）；2021 年河南省自然资源科研资助项目（2021-178-11）；2023年度部省合作试点资助项目（2023ZRBSHZ027）；2023年度河南省自然资源科研项目《自然资源要素遥感智能识别关键技术研究及业务化应用》（2023-382-2）。
第一作者简介：杨振（1992—），硕士，研究方向为区域地理要素分析、遥感技术及应用、摄影测量，E-mail：yz906711872@163.com。
通信作者：张蓓蓓（1985—），硕士，高级工程师，研究方向为遥感技术及应用，E-mail：862562137@qq.com。

区位管理条件、市场和政策引导等因素的影响越来越重要[9-12]。现有研究多集中于地块分布、农户个体或省、市、县等宏观层面，而微观地理尺度能更详实地统计分析耕地种植特征。基于周口市实际种植结构特征、农户个体实际分布情况和前人研究成果，以2 km×2 km格网为周口市作物和耕种结构分析的适宜表达尺度，能更详实地阐述作物种植结构分布特征形成机理，助力优化农业生产行为。鉴于此，本文基于周口市秋季作物空间数据，在研究区范围内构建规则格网，综合考虑研究区面积、目的等因素，以2 km×2 km格网为研究单元，探析微观地理尺度下周口市2022年秋季主要种植作物玉米、花生的种植分布特征，并引入地理探测器分析自然因子、农业区位管理因子对作物种植结构的驱动机理。为提升耕地资源配给合理性，优化农作物种植结构，指导农业生产提供参考。

1　研究区与数据来源

周口市位于河南省东部，雨热同期，四季分明，以平原为主，适宜进行农业生产活动。相关数据统计，2022年周口市粮食总产量为186.48亿斤，稳居全省第一，其中秋粮产量为75.18亿斤。秋季主要种植作物玉米的种植面积为791.2万亩，花生的种植面积为87.7万亩。本文选取地形、土壤、农业区位管理等因子，从微观地理尺度探析其对周口市秋季玉米、花生种植空间分布的影响。高程、坡度等地形数据来源于地理空间数据云；管理条件、区位条件等级等农业区位数据来源于河南省三调路网等数据。基于ArcGIS数据处理平台，构建耕地灌溉潜力、耕作便利度、市场区位等影响因子。

2　研究方法

2.1　地理探测器法

地理探测器是探测和利用空间分布性的工具，包括因子探测、交互探测、生态探测和风险探测[7]。为探究微观地理尺度下秋季作物种植空间分布特征形成机理，引入因子探测器、交互探测器分析地形、土壤、管理和区位条件对作物种植空间分布特征的解释力。q 的取值范围为[0,1][4-6]，值越大表示自变量 X 对因变量 Y 的解释力越强，反之则越弱，计算公式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \delta_h^2}{N \times \delta_h^2} = 1 - \frac{W}{T}$$

$$W = \sum_{h=1}^{L} N_h \delta_h^2,\quad T = N \times \delta^2$$

式中，h 为研究区作物种植面积或驱动因子 x_i 的分层，取值范围为1~L；N_h、N 分别为 h 层和研究区的单元数量；δ_h^2、δ^2 分别为 h 层和研究区作物种植面积的方差和；W、T 分别为层内方差和以及全区总方差[5-6]，各因子交互作用判定条件见参考文献[7]。

2.2　数据处理

地理探测器可分析两个变量空间分布的耦合性，并揭示因子间的驱动机制，主要针对分析类型数据[13-17]。根据模型统计的特点，对地形、土壤、区位条件、管理条件等因子进行离散化处理。根据参考文献[1]中的因子离散化方案，并结合研究区自然因子和农业区位管理数据分布特征，采用自然断点法实现各因子的离散化，结果见表1。

表1　影响因素的变量选取与分类

类型	变量	指标说明与计算方法	分级
地形	高程 X_1	各研究单元高程均值	自然断点法分为5级
	坡度 X_2	各研究单元坡度均值	自然断点法分为5级
土壤	土壤质地 X_3	各研究单元中心点土壤质地类型	黏土、壤土、砂土
区位条件	市场区位 X_4	各研究单元城镇欧氏距离均值	自然断点法分为5级
	交通区位 X_5	各研究单元距公路欧氏距离均值	自然断点法分为5级
管理条件	灌溉潜力 X_6	各研究单元距河流欧氏距离均值	自然断点法分为5级
	排涝能力 X_7	各研究单元距沟渠欧氏距离均值	自然断点法分为5级
	耕作便利度 X_8	各研究单元距居民点欧氏距离均值	自然断点法分为5级

3　研究结果与分析

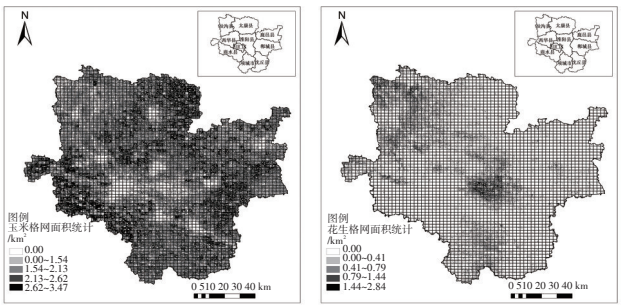
3.1　作物种植结构空间分布状态分析

基于ArcGIS数据空间分析处理平台构建研究区地理格网，并利用空间统计模块中的面积制表工具计算各研究单元内各类型作物的种植面积。统计结果见图1，玉米种植地块数量较多，种植密度高值区主要集中在淮阳、商水、太康和郸城等县区，占主要作物种植面积的91.3%；花生种植地块数量较少，种植密度高值区主要集中在淮阳、扶沟、西华和项城等县区，并零星分布于郸城、沈丘县中部区域。

3.2　作物种植结构空间分布的影响因素分析

3.2.1　单一因子驱动分析

自然因子、农业区位、管理条件对玉米、花生种植结构特性的解释力存在差异。各因子对玉米种植空间分布的解释力大小依次为：X_1>X_5>X_3>X_4>X_7>X_2>X_6>



a 玉米 b 花生

图1 研究区主要粮食作物种植结构空间分布

审图号：GS(2024)0650

X_8。影响玉米种植结构空间分布的主导因子为X_1、X_3、X_4和X_5，其他因子影响力较小，表明除地形条件外玉米的种植空间同时受管理、区位条件和土壤环境等多重因子影响。各因子对花生种植空间分布的解释力大小依次为：X_1>X_2>X_3>X_8>X_4>X_5>X_6>X_7。影响花生种植结构空间分布的主导因子为X_1、X_2和X_3，X_4、X_8也有一定影响，其他因子的解释力较小。总体而言，地形、土壤是影响玉米、花生种植结构空间分布的主要因素。地形在一定区域范围内会影响土壤含水量、肥力，进而影响玉米、花生产量，间接改变玉米、花生种植分布。

3.2.2 因子交互驱动分析

因子交互分析可分析双因子间协同机制与因变量间的耦合关系，进而改变对因变量的解释能力。研究结果（图2、3）表明，因子间交互协同对周口市秋季玉米、花生种植结构解释力较单因子呈线性增强或非线性增强，表明作物种植结构在一定程度上受多因子协同作用影响。

1）因子交互对玉米种植结构驱动分析。由图2可知，X_1与其他自然因子或农业区位因子交互协同作用对玉米种植结构的解释力以增强为主，其中X_1与X_5、X_7、X_4的交互作用解释力q值增幅较大；X_3对因子交互解释力的增强能力仅次于X_1，且均呈非线性交互增强；区位条件（X_4、X_5）、管理条件（X_6、X_7、X_8）与其他因子交互作用表现为交互增强。地形条件、土壤

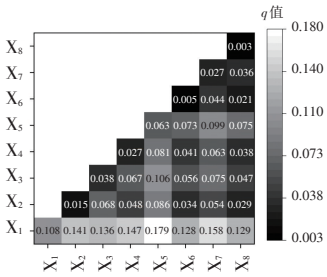


图2 玉米种植结构空间分布的因子交互作用探测结果

质地等因子交互协同对周口市玉米种植空间分布特征形成的解释力较单因子有明显提升，而单因子解释力分析中地形、X_3是影响玉米种植结构的决定性因素。

2）因子交互对花生种植结构分析。由图3可知，X_7、区位条件与其他因子交互对花生种植空间分布特征形成的解释力呈非线性增强作用；而X_3、X_5与其他因子交互作用的影响多呈双因子增强，影响能力仅次于X_3。单因子分析中X_1、X_2对花生种植结构的解释力最高，但二者与其他因子交互协同作用对花生种植结构解释力表现为交互增强；而X_3、区位管理条件与X_7交互作用较弱。

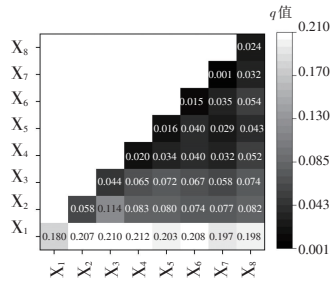


图3 花生种植结构空间分布的因子交互作用探测结果

4 结 论

本文以周口市为研究区，构建2 km×2 km格网作为研究的地理空间尺度，揭示自然、人文等因素对耕地种植空间分布特征的影响机理，为耕地种植结构优化提供一定依据。

1）地理探测器结果显示，单因子对玉米、花生两种秋季作物种植结构特征解释力具有差异性。X_1、X_3等自然因子和X_5是玉米种植结构特征形成的主导因子；X_1、X_2是花生种植结构特征形成的主导因子，因此自然条件是两种作物种植结构空间分布的关键影响因素，而管理、区位条件的影响较小。

2）因子交互结果表明，不同因子交互作用对研究区内玉米、花生种植分布特征形成的解释力均呈双因子增强，说明因子间协同作用对玉米、花生种植结构形成机理的解释力明显高于单因子。不同因子间协同对作物种植结构的解释力也存在差异，如区位条件、X_7等与其他自然因子的交互协同作用对花生种植结构空间形成的解释力增强最大，而地形因子与其他因子协同作用对玉米种植结构空间分布形成的解释力增幅较大，可见不同作物的种植结构空间分布主导因子不同，但均为多因子协同作用的结果。

3）在微观地理尺度下，区域范围内主导因子会因作物种植需求发生改变，但地形、X_3仍在很大程度上决定了玉米、花生种植空间分布，（下转第62页）