

物质—功能视角下黄淮海平原农业空间质量评价及关联特征

洪秋辰¹, 冯晓文², 史云扬³, 张宗函¹, 郝晋珉¹, 艾东^{1*}

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 天津市蓟州区孙各庄满族乡人民政府, 天津 301900;
3. 陕西省委办公厅, 西安 710000)

摘要: 黄淮海平原作为全国重要的粮食主产区, 城镇化进程中农业发展问题凸显。农业空间研究作为解决新时代“三农”问题的重要切入点, 对于精细化农业发展政策制定、促进地区农业高质量发展具有重要理论和实践意义。该研究以黄淮海平原曲周县 342 个行政村作为研究单元, 以“物质—功能”两维度界定农业空间概念, 基于两类空间属性构建农业空间质量评价指标体系, 运用 Spearman 法、协调发展度等测度 2011—2021 年农业空间质量水平, 并分析农业空间其内部各要素之间相互关联性。结果表明: 1) 2011—2021 年曲周县农业物质空间和功能空间质量均提升, 空间上向均衡发展。农业空间综合质量呈明显上升趋势, 由“县城中心高、其他乡镇不均匀分布”的空间格局向更为均衡的空间格局转变。2) Spearman 秩相关系数计算结果显示曲周县两类农业空间各要素均呈现权衡协同发展关系。农田质量、生产、生态功能之间两两协同; 生活功能与村庄质量之间两两协同, 而两方面任一要素与另一方面要素之间均呈现权衡关系。农田质量、生产、生态功能之间转为更加协同, 村庄质量与农田质量、生产功能权衡发展关系加深。3) 2011—2021 年曲周县农业空间质量协调性整体上升, 但城乡不平衡的区域协调性特征加剧显现。农业物质空间和功能空间协调发展度小幅度提升, 高度协调区域明显扩张, 低度协调区域大多出现在乡镇中心位置。农业空间整体协调发展程度明显提高, 冷热点区域分布明显且稳定, 但中心城区物质空间与功能空间发展失调的情况加剧。该研究可为黄淮海平原农区及其他地区农业空间质量研究和针对性政策建议提供参考。

关键词: 农业空间; 物质—功能视角; 黄淮海平原; 曲周县; 质量评价

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202501010

中图分类号: F323.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2025)-12-0278-11

洪秋辰, 冯晓文, 史云扬, 等. 物质—功能视角下黄淮海平原农业空间质量评价及关联特征[J]. 农业工程学报, 2025, 41(12): 278-288. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202501010 <http://www.tcsae.org>
HONG Qiuchen, FENG Xiaowen, SHI Yunyang, et al. Evaluation and correlation characteristics of agricultural spatial quality in the Huang-Huai-Hai Plain from the perspective of material function[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2025, 41(12): 278-288. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202501010 <http://www.tcsae.org>

0 引言

2024 年中央一号文件提出, “坚持产业兴农、质量兴农、绿色兴农”, 即要求农业农村高质量发展。加快形成新质生产力, 推动农业高质量发展, 成为保障粮食安全促进农业供给侧结构性改革、协调生态保护的重要途径^[1-2]。党的二十大报告强调, 要“构建优势互补、高质量发展的区域经济布局和国土空间体系”。国土空间规划体系日趋成熟, 农业空间因其综合性优势成为分析和解决新时代“三农”问题和推动农业高质量发展的重要切入点。农业空间是国土空间规划中“三区三线”体系的关键一环, 被定义为“以农业生产、农村生活为主的功能空间”, 它与城镇空间及生态空间共同构筑了地

区国土空间保护与开发利用的基础结构, 对于推动地区经济社会的发展起着至关重要的作用^[3]。特别是在黄淮海平原粮食主产区, 农业空间作为占比最高的空间类型, 奠定了该区域国土空间利用的基本格局, 其为黄淮海平原传统农业区高质量发展路径研究提供了重要视角。

农业空间研究作为国土空间规划的重要部分, 一直受到学界的广泛关注。目前学界对农业空间概念的理解主要有多种角度: 一是从土地管理需求出发, 部分学者将农业空间视作具有农业功能的地类集合^[4], 如耕地、园地、草地等, 并开展基于农用地的时空演变^[5]、内部转化^[6]和驱动机制^[7]研究; 二是从国土空间功能性角度出发, 将农业空间定义为以农业生产和农村生活为主体的地域性功能空间^[8]。针对研究尺度的选取, 已有农业空间研究主要围绕国家尺度^[9]、地区尺度^[10]农业空间演变特征及影响因素开展研究, 尚少涉足县域以下尺度农业空间细化研究。从农业空间研究对象来看, 国内外研究主要聚焦于农业土地利用上, 重点主要集中在制度^[11]、经营组织形式^[12]以及生产效率^[13]等方面, 研究对象包括耕地^[14]、农村宅基地^[15]等。近年来, 对农业多功能和土地多功能的研究进一步提高了其研究维度^[16-17], 国土

收稿日期: 2025-01-02 修订日期: 2025-05-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2015BAD06B01); 云南省科技人才与平台计划 (院士专家工作站) 项目 (202305AF150126)

作者简介: 洪秋辰, 博士生, 研究方向为国土空间与农业发展研究。

Email: simonhong@cau.edu.cn

*通信作者: 艾东, 博士, 副教授, 博士生导师, 研究方向为国土空间规划与优化。Email: aidong@cau.edu.cn

空间规划和“三区”体系建立后，从农业空间的系统性视角分析农业土地利用问题成为国内研究主流，尤其是农业空间的经济和生态功能的优化研究，如生态方面，王林艳等^[18]以耦合生态服务供需角度开展农业空间生态保护修复分区研究；经济方面，杨雪春等^[19]分析了泰安市农业空间生产的资本化特征；综合管理方面，许多学者开始探索农业空间高质量发展路径研究，岳文泽等^[20]针对东部沿海经济发达地区提出了以安全为底线，以效益为中心，以品质为突破的农业空间优化策略。近年来空间质量研究主要是以“三生空间”作为主要评价研究对象，围绕三生空间质量的整体格局^[21]、脆弱性^[22]、主要驱动因素^[23]等方面开展，缺乏对农业空间的针对性质量评价和优化研究。综合来看，中国现有农业空间研究在农业政策、农业多功能等方面取得较大突破，但多基于农业农村发展所暴露的某种问题提出相应解决方案，不同研究对农业空间概念尚有模糊，农业空间作为综合性治理主题，目前鲜有面向农业空间的系统性空间利用和功能调控等方面研究。

曲周县作为典型黄淮海平原传统农业县，在农业发展中面临诸多挑战：日益增长的粮食生产需求显著影响耕地和水土资源质量；县域内各地区农业资源本底迥异导致农业空间区域间发展不均衡；建设用地的扩张挤压农业空间，导致农用地利用效率低下、生态问题日益凸显等，在很大程度上制约着曲周县农业空间的发展^[24]。因此，对曲周县农业空间质量开展评价，全面分析其农业空间利用情况，对于合理优化农业空间布局，推进高质量城乡融合发展具有重要意义。基于此，本研究以黄淮海平原典型农业县曲周县作为研究对象，其 342 个行政村为基础研究单元，构建农业空间质量评价体系，从物质实体和农业功能角度出发，定量评价 2011 年和 2021 年曲周县农业空间质量及其时空变化规律，对曲周县农业空间各要素层进行相关性分析，测算农业空间的协调发展水平，进一步明晰曲周县农业空间利用现状与发展中存在的问题和区域发展差异，弥补农业空间在县域以下微观尺度的研究不足，以期为黄淮海平原农业空间格局优化和农业高质量发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究理论框架及思路

由于对农业空间概念认知角度不同，对其内涵概念界定也存在明显差异，其原因在于空间的概念具有多维性^[25-26]。列斐伏尔在《空间的生产》一书中将空间分为物质空间、抽象空间等多种形态^[27]。哲学上“空间”并不依赖于有限的实体存在，然而在人类的生产活动、社会活动、文化活动中，“空间”却是一种实体性的存在。现在国土空间规划的语境下，空间应该主要指土地、水、空气、生物等自然要素以及各种设施、经济及文化基础等人文要素构成的地域空间，包括过去、现在以及未来各种人类活动的总和。基于农业空间内涵的多维性，农业空间的内涵不仅包含实体的农业土地物质空间维度还

包括抽象的农业信息空间、农业政策空间维度等。而且作为国土空间的重要类别，农业空间还具有明显的地域性和权利边界特征。本研究基于黑箱理论，考虑对农业用地更多聚焦于物质层面，农业空间具有物质实体特性和农业功能发挥的双重属性，即从农业空间的物质空间和功能空间两个维度进行综合研究（图 1）。

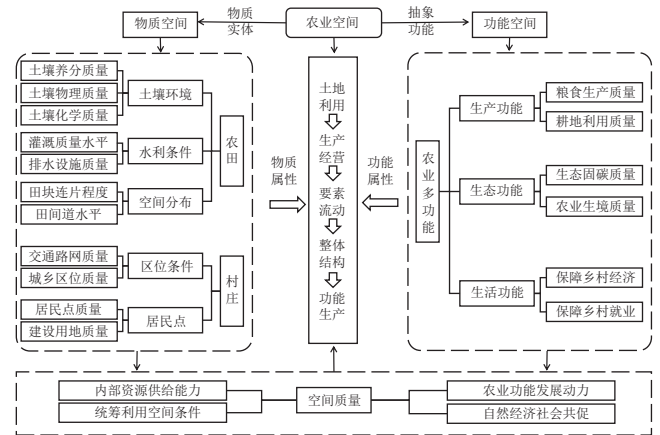


图 1 农业空间理论研究框架

Fig. 1 Research framework of agricultural spatial theory

对于农业物质空间，农田和村庄是农业生产空间和生活空间中最为重要的物质实体。农田是农业空间中发展的资源本底要素，承载着保障粮食安全重任，为农业生产和生活提供了物质基础；村庄作为农村居民生活居住的空间载体，不仅是农业空间的经营主体，更是激发农业空间发展活力的关键要素，承载着农村居民生活、乡村产业发展。对于农业功能空间，结合国土空间规划“三生空间”理论，农业空间的功能属性指其内部构成要素和外部环境互相作用形成的对人类生产生活等活动产生一定影响力的能力^[28]，因此本研究主要围绕生产功能、生态功能、生活功能三类农业功能空间进行分析^[29]。传统的农业空间主要承载着农产品生产的功能，然而，随着社会的进步和生产力的提升，农业空间逐渐承担起调节生态环境、保障乡村经济和就业的社会经济功能。

本研究从物质和功能两个维度建立农业空间质量评价指标体系开展评价，运用 Spearman 秩相关系数及协调发展度方法测度曲周县农业空间质量水平，以探究农业空间内部土地利用变化、生产经营状况、要素基础、整体性物质功能结构质量水平及内部关联特征。农业空间质量提升主要体现在物质空间内部统筹利用空间条件和资源供给能力的方面，而功能空间质量提升主要体现在自然经济社会多功能协同提升，增加农业功能内驱发展动力。未来高质量的农业功能空间要具备以下三种特征：农产品绿色高效生产、农村生态环境和谐、农村居民生活质量提升，进而促进农业空间内部多要素协调化、均衡化发展，推动农业空间迈向高质量发展。

1.2 研究区概况

“邑在河曲，水旋而周”。曲周县，介于 114°50'22.3"E~115°13'27.4"E，36°35'43"N~36°57'57"N 之间，位于河北省南部、邯郸市东北部。属华北暖温带半湿润大陆性

季风气候区,境内的河流有支漳河、滏阳河、老沙河三条河流,全县土壤分为潮土、盐土、褐土 3 个土类。曲周县下辖 8 个镇、2 个乡,342 个行政村,曲周镇为县政府所在地,截至 2021 年底,曲周县常住人口为 53.67 万人。曲周县属黄淮海平原典型农业县,其乡村人口占比(>80%)、农用地比例(82.99%)及耕地占农用地比例(>93%),体现了黄淮海平原“高耕地占比一大农村人口一主粮生产导向”的农业空间本底特征,其所在黑龙江流域自古是黄淮海平原旱涝灾害和盐渍化危害最严重地区,近 50 年积极开展治理和农业转型实践,其农业空间演化和转型特征鲜明,之于黄淮海平原农业空间现代化发展研究具有典型性。

1.3 数据来源

本研究使用的数据包括空间数据、统计数据。其中,空间数据包括:2011 年、2021 年土地利用变更调查数据和道路交通数据,来源于曲周县自然资源和规划局;土壤属性数据,来源于曲周县 576 个土壤采样点实测数据,通过 ArcGIS 平台进行空间插值处理并进行重采样;DEM 数据,来源于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/search>)。统计数据来源于《曲周县统计年鉴》,包括

2011 年、2021 年细化到村级尺度的社会经济统计数据。

1.4 研究方法

1.4.1 曲周县农业空间质量评价指标体系构建

本研究以曲周县 342 个行政村作为最小研究单元,从农业物质空间和农业功能空间两个维度构建指标体系,对曲周县农业空间质量进行评价,以此来反映曲周县农业物质空间和功能空间质量,并将指标评价结果进行综合加权加和处理。通过 ArcGIS 软件自然断点法对评价结果进行可视化表达。

1) 农业物质空间质量评价指标

基于以上分析,研究将曲周县农业物质空间从农田质量和村庄质量两个物质层面开展评价,指标选取主要以空间数据为主。高质量的农田要有良好的立地条件,即土壤环境要有充足的肥力供应能力和优越的水利条件,在空间上要有一定的连片性和规整度,有利于机械化和集约化生产活动的顺利进行,因此农田评价综合考虑土壤环境、水利条件以及空间分布三个方面,共包含 10 个指标。村庄作为乡村人口的集聚地,研究评价主要考虑村庄的区位条件和村庄承载能力,主要包含道路可达性、农村居民点离散度等 6 个指标(表 1)。

表 1 曲周县农业空间质量评价指标体系
Table 1 Evaluation index system for agricultural spatial quality in Quzhou

空间类型 Spatial type	目标层 Goal level	要素层 Element level	指标层 Index level	计算方法 Calculation method	属性 Attribute
物质空间 Material space (0.612)	农田质量 (0.406)	土壤环境 (0.247)	有机质含量 (0.169)	通过土壤调查实测点位数数据进行评价和插值分析,运用 ArcGIS 分区统计工具将评价数据均值赋值至各个村庄 ^[30]	+
			土壤 pH (0.231)		+
			土壤容重 (0.216)		+
			有效磷含量 (0.198)		+
			速效钾含量 (0.186)		+
	水利条件 (0.208)	灌溉能力 (0.702)	测算年度灌溉设计保证率,赋值至各个村庄 ^[31]	+	
		排水条件 (0.298)	测算排水条件,并赋值至各个村庄 ^[31]	+	
	空间分布 (0.545)	田块规整度 (0.086)	耕作连片度 (0.662)	田块规整度测算 ^[32]	+
			田间路网密度 (0.252)	各村庄耕地地块面积	+
				田间道路长度/耕地面积	-
村庄质量 (0.594)	区位条件 (0.296)	道路可达性 (0.110)	在 ArcGIS 平台运用栅格可达性方法计算 ^[33]	-	
		村镇邻近度 (0.376)	平均最近邻指数 (ANN) 测算 ^[34]	-	
	城市邻近度 (0.514)	平均最近邻指数 (ANN) 测算 ^[34]	-		
	承载能力 (0.704)	居民点离散度 (0.204)	运用 ArcGIS 近邻分析工具对曲周县村庄宅基地离散度进行计算 ^[35]	-	
		建设用地集聚度 (0.536)	运用 ArcGIS 核密度分析工具进行计算 ^[36]	+	
功能空间 Functional space (0.388)	生产功能 (0.298)	单位面积粮食产量 (0.239)	农作物实际产量/耕地面积	+	
		人均耕地面积 (0.425)	耕地面积/村庄总人口	+	
		人均粮食产量 (0.336)	农作物实际产量/村庄总人口	+	
	生态功能 (0.276)	固碳能力 (0.703)	植被净第一生产力 (NPP) 测算	+	
		生境质量 (0.297)	InVEST 模型生境质量模块测算 ^[37]	+	
	生活功能 (0.426)	经济保障能力 (0.347)	农林牧渔业总产值/耕地面积	+	
		农村用电量 (0.207)	农村用电量/村庄总人口	+	
	乡村就业保障 (0.446)	一产从业人员/村庄总人口数	+		

注:括号内数字为权重。
Note: Figures in brackets are weights.

2) 农业功能空间质量评价指标

本研究设置生产功能、生态功能和生活功能三个层级评价农业功能空间质量水平。农业空间是自然生态系统重要的组成部分,在生态空间之外承担保障生态系统服务价值的功能,生产功能是农业空间最重要功能,选取单位面积粮食产量、人均耕地面积、人均粮食产量表征农业空间的生产功能;绿色低碳发展是实现农业空间

高质量发展的底色,本研究选取固碳能力以及生境质量作为衡量其生态功能的评价指标;提升农村居民的生活质量,对于带动居民就业和促进农村农民共同富裕具有重要意义,选取经济保障能力、农村用电量和乡村就业保障作为生活功能的评价指标(表 1)。其中,少数指标缺少细化到行政村的数据,采用乡镇级别数据测算并平均分配至最小研究单元,如农村用电量。

1.4.2 评价指标权重确定

对县域农业空间质量进行评价，涉及指标种类较多，参考相关研究^[16,38]，为尽量规避主客观赋权法各自缺陷，本研究综合主客观赋权方法，结合熵权法和层次分析法来确定权重，主观权重借助 Yaahp 软件确定，整体评价基于 SPSS PRO 平台。

1) 数据标准化处理

由于农业空间质量评价中各个指标因素的重要程度不同，且各个指标之间的量纲无法进行比较，需要对不同量纲指标因素的原始数据进行标准化处理，标准化公式如下：

$$\text{正向指标: } Y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } Y_{ij} = \frac{x_{j\max} - x_{ij}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (2)$$

式中 x_{ij} 、 $x_{j\max}$ 、 $x_{j\min}$ 、 Y_{ij} 分别为第 i 个评价单元第 j 个参评指标因子的原始值、最大值、最小值和与之所对应的因子进行数据标准化处理后的数值。

2) 评价指标权重的确定

根据第 i 个评价单元的第 j 个评价指标数据的标准化数值，利用公式 (3) 计算出信息熵 E_{ij} ，然后根据公式

(4) 计算出指标权重 W_{ij} ，具体公式如下：

$$E_{ij} = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n (Y_{ij} \cdot \ln Y_{ij}) \quad (3)$$

$$W_{ij} = \frac{1 - E_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1 - E_{ij})} \quad (4)$$

$$W_j = \frac{W_{ij} + W_{kj}}{2} \quad (5)$$

其中 n 为研究区域内村庄个数， m 为指标个数， E_{ij} 为第 i 个评价单元第 j 项评价指标数据的信息熵， W_{ij} 为第 i 个评价单元第 j 项评价指标数据的客观权重， W_{kj} 为第 j 项评价指标数据的主观权重； W_j 为综合权重。

1.4.3 曲周县农业空间相关性及协调发展度分析

1) Spearman 秩相关系数法

本研究采用 Spearman 秩相关系数法分析曲周县农业空间质量的相关性关系，以揭示多个不同要素之间的权衡协同发展关系，秩相关系数大于 0，且通过显著性检验时，则认为两个要素层之间存在协同关系，反之表现为权衡关系。相关性分析计算在 SPSS 23 软件中进行，其数学原理表达式如下：

$$r(X_i, Y_i) = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)}{n^3 - n} \quad (6)$$

式中 r 表示 Spearman 秩相关系数， (X_i, Y_i) 表示相对应的两组变量数值，将 X_i 和 Y_i 由小到大进行排序， P_i 和 Q_i 分别表示的是 X 和 Y 的次序。

2) 系统协调发展度模型

借鉴效益理论与平衡理论，构建系统协调发展度

模型是在评价结果的基础上，进一步深入探究其内部要素之间的协调发展程度的有效方法。本研究参考刘承良等^[39]的研究，对曲周县农业空间协调发展度进行综合测算。

① 子系统 $n=2$

$$D = \sqrt{\left\{ \frac{U_1 \cdot U_2}{[(U_1 + U_2)/2]^2} \right\}^k \times (\alpha \cdot U_1 + \beta \cdot U_2)/2} \quad (7)$$

② 子系统 $n=3$

$$D = \sqrt{\left\{ \frac{U_1 \cdot U_2 \cdot U_3}{[(U_1 + U_2 + U_3)/3]^3} \right\}^k \times (\alpha \cdot U_1 + \beta \cdot U_2 + \gamma \cdot U_3)/3} \quad (8)$$

式中 D 为协调发展度； U_1 、 U_2 、 U_3 分别表示各子系统需要计算协调发展度指标的评价结果； k 为调整系数，且应满足 $k \geq 2$ ，为取得较好的协调度对比结果，本研究取 $k=3$ ； α 、 β 、 γ 为待定系数。

3) 热点分析工具

在分析曲周县农业空间的协调发展度的基础之上，通过空间冷热点进一步分析其空间集聚程度。热点分析 (Getis-Ord G_i^*) 作为衡量局部空间自相关的空间分析工具，通过 Z 得分和 P 值识别各要素不稳定性局部高值 (热点) 或低值 (冷点) 在空间上的聚类分布情况，本研究采用 ArcGIS 软件中的热点分析工具对农业空间协调发展度的冷热点进行分析，计算式如下：

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (9)$$

式中 x_j 是样本 j 的属性值， $w_{i,j}$ 是样本 i 和 j 之间的空间权重， \bar{X} 为所有要素属性值的平均值，且： G_i^* 统计为 Z 得分， Z 得分高且为正数，表示该区域为热点区， Z 得分低且为负数，表示为冷点区。

2 结果与分析

2.1 曲周县农业空间质量评价结果

2.1.1 曲周县农业物质空间质量综合评价结果

曲周县农业物质空间质量综合评价结果，经自然断点法划分为 4 个级别 (图 2)。2011 年曲周县农业物质空间质量呈现出在各乡镇驻地中心位置高值聚集的现象，2021 年评价结果在第四疃镇、白寨镇和大河道乡等乡镇呈现均衡分布的态势，而侯村镇、依庄乡大部分村庄等物质空间质量仍有较大提升空间。

除安寨镇外其他乡镇的评价结果均呈上升趋势，其中依庄乡涨幅最大，变化值为 0.08；2011—2021 年空间格局由“曲周镇为中心，向外辐射减弱”转变为均衡化发展的高值集聚连片分布的空间格局。而在 2021 年在河南疃镇东北部、第四疃镇东部等低值聚集的情况也得到好转，十年之间曲周县整体农业物质空间质量得到了有效提升。其中 2011—2021 年曲周县农田质量呈现出小幅

度下降趋势, 村庄质量则表现出显著的提升态势, 说明村庄内部建设用地的扩张对耕地造成一定程度的挤压,

曲周县农田质量与村庄质量呈现出明显互补的权衡发展态势。

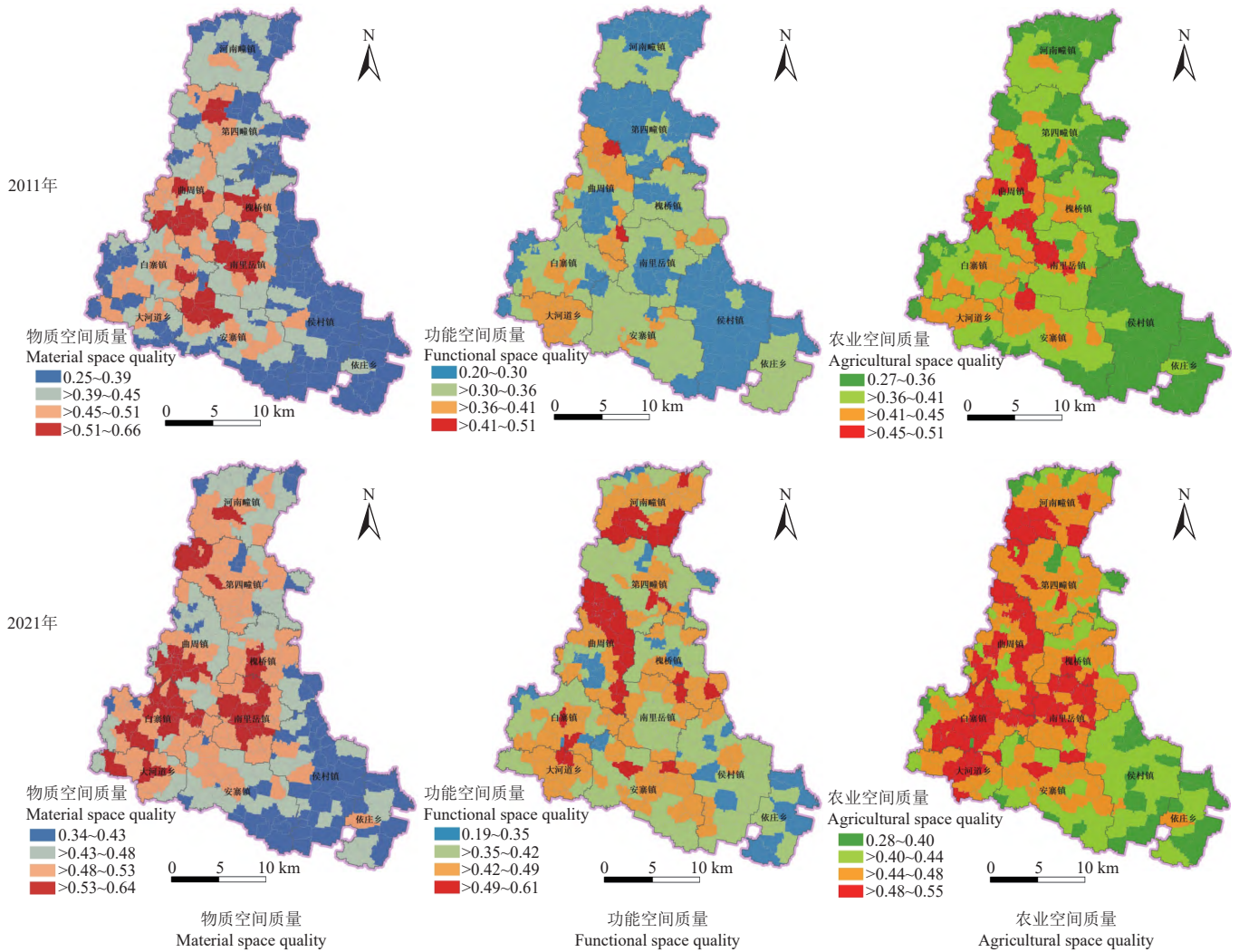


图2 2011—2021年农业空间质量评价空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of agricultural spatial quality assessment from 2011 to 2021

2.1.2 曲周县农业功能空间质量综合评价结果

曲周县农业功能空间质量综合评价结果如图2, 2011—2021年曲周县农业功能空间质量整体呈上升趋势, 农业功能空间质量增长极出现在曲周镇北部以及东部村庄和河南疃镇南部。2011年曲周县农业功能空间质量评价结果在0.20~0.51之间, 其空间分布不均, 在安寨镇中部和槐桥镇南部的套里村、苦水堡村等村庄以及大河道乡和白寨镇西部村庄出现高值聚集的情况, 而农业功能空间质量低值聚集情况则出现在曲周镇中心城区、河南疃镇北部、侯村镇北部和南部; 2021年除依庄乡之外, 各个乡镇的评价结果均得到了明显提升, 呈现出“西北高、东南低”的空间分布特点, 评价结果在0.19~0.61之间, 评价结果高值有向曲周县中部和北部聚拢的趋势, 其中曲周镇和河南疃镇的评价结果提升最为显著, 而依庄乡、侯村镇北部的村庄相对较低, 且出现低值聚集情况。

2.1.3 曲周县农业空间质量综合评价结果分析

由图2可知, 2011—2021年曲周县各乡镇的农业空

间质量呈明显上升趋势, 其中, 河南疃镇农业空间质量评价结果均值增幅(0.07)最大; 各村镇农业空间质量均得到不同程度的提升, 2011年核心区曲周镇的农业空间质量均值最高, 其次是南里岳镇和大河道乡。从空间分布来看, 曲周县农业空间质量的高值区域主要以局部集中的形式出现在南里岳镇、曲周镇以及安寨镇的西北部, 然而, 依庄乡和侯村镇, 以及第四疃镇的东部和西部, 河南疃镇的北部村庄等区域, 农业空间质量的低值区连片出现。2021年曲周县农业空间质量评价结果整体呈明显上升趋势, 各村农业空间质量评价结果在稳步提升同时差距缩小, 其中河南疃镇农业空间质量提升显著, 高值区域主要在河南疃镇西南部, 曲周镇北部和中部等地, 低值区域出现在河南疃镇北部边缘村庄, 侯村镇和依庄乡的大部分村庄。曲周县农业空间质量逐渐由“县城中心高、其他乡镇不均匀分布”的空间格局演变成为“以曲周镇为核心发展枢纽、其他乡镇中心为发展次节点”的更为均衡和协同发展的空间格局, 以曲周镇为中

心带动全县域农业空间均衡化发展，整体逐步发展成为以曲周镇为中心的农业空间质量增长极的县域农业空间发展模式，曲周县农业空间整体迈向更加均衡化发展的格局。

2.2 曲周县农业空间质量相关性结果分析

根据曲周县农业空间质量评价结果，Spearman 秩相关系数分析结果如表 2、表 3 所示。曲周县农业物质空间和功能空间质量各要素之间均呈现显著相关性关系，有 4 组呈现相互促进的协同发展关系，6 组呈现此消彼长的权衡发展关系。2011—2021 年农田质量与生产功能和生态功能之间均呈现协同发展关系，协同关系主要产生于两个方面：农田质量、生产、生态功能之间；生活功能与村庄质量之间，而两方面任一要素与另一方面任一要素之间均呈现权衡关系。其中，2011—2021 年农田质量与生产功能、生态功能的相关系数由 0.214、0.174 增长到 0.432、0.192，均呈现明显增长态势，协同发展关系明显增强；村庄质量与农田质量、生产功能的相关系数分别由-0.324、-0.199 降低至-0.405、-0.477，权衡发展关系进一步加深；生态功能与生活功能是权衡发展关系，且相关性系数由-0.312 降低至-0.373，呈现小幅度下降趋势。

表 2 2011 年农业物质/功能空间质量 Spearman 秩相关系数

Table 2 Spearman rank correlation coefficient of agricultural material/functional spatial quality in 2011

	物质空间		功能空间		
	Material space		Functional space		
	农田质量 Farmland quality	村庄质量 Village quality	生产功能 Production function	生态功能 Ecological function	生活功能 Living function
物质空间	1	-	-	-	-
村庄质量	-0.324**	1	-	-	-
生产功能	0.214**	-0.199**	1	-	-
功能空间	0.174**	-0.196**	0.270**	1	-
生态功能	-0.122*	0.381**	-0.246**	-0.312**	1
生活功能	-0.122*	0.381**	-0.246**	-0.312**	1

注：**在 0.01 级别（双尾），相关性显著，*在 0.05 级别（双尾），相关性显著。下同。

Note: ** indicate significant correlation at the level of 0.01 (double tails). * indicate significant correlation at the level of 0.05 (double tails). Same as below.

表 3 2021 年农业物质/功能空间质量 Spearman 秩相关系数

Table 3 Spearman rank correlation coefficient of agricultural material/functional spatial quality in 2021

	物质空间		功能空间		
	Material space		Functional space		
	农田质量 Farmland quality	村庄质量 Village quality	生产功能 Production function	生态功能 Ecological function	生活功能 Living function
物质空间	1	-	-	-	-
村庄质量	-0.405**	1	-	-	-
生产功能	0.423**	-0.477**	1	-	-
功能空间	0.192**	-0.149**	0.360**	1	-
生态功能	-0.192*	0.327**	-0.390**	-0.373**	1
生活功能	-0.192*	0.327**	-0.390**	-0.373**	1

2.3 曲周县农业空间协调发展度分析

2.3.1 农业物质空间协调发展度时空变化特征分析

农业物质空间协调发展度时空变化结果如图 3 和表 4 所示。2011—2021 年农业物质空间协调发展度均值分别为 0.64 和 0.67，整体得到了小幅度提升，但各乡镇农业物质空间差别不大，其中依庄乡增幅最大，其均值增幅

为 0.14，曲周镇出现小幅度下降，这与中心城区的城镇空间扩张挤压农田有关，导致农业物质空间内部农田与村庄之间的协调发展度出现下滑。

从空间分布上看，2011 年，曲周县农业物质空间的协调发展度呈现出空间不均匀分布状态，且呈现出明显的“西高东低”的空间分布特征，协调发展度的最低值主要集中在曲周镇中心城区，而到了 2021 年，由于中心城区建设用地扩张导致农田面积减少，协调发展度最低值仍旧在中心城区位置，且较低协调区域呈现出显著的扩张趋势，这一现象凸显出曲周县中心城区农业物质空间内部发展的不均衡性；河南疃镇、第四疃镇、白寨镇、槐桥镇、大河道乡农业物质空间的协调发展度明显提升，高度协调区域明显扩张，安寨镇、侯村镇、依庄乡部分村庄也一定程度提升。从冷热点空间分布图来看，2011 年曲周县农业物质空间协调发展度热点区域呈现“以县城为中心向外延伸”的空间分布格局，冷点区主要集中在侯村镇北部、河南疃镇的东北部、依庄乡以及曲周镇中心城区的中西部，而到了 2021 年，曲周镇中心城区冷点区呈扩张趋势，农业物质空间内部协调程度进一步下滑，县域东南部冷点区域明显减少，而热点区域主要集中在第四疃镇中部、南里岳镇北部和白寨镇中西部。

表 4 曲周县农业空间协调发展度变化情况

Table 4 Changes in the coordinated development degree of agricultural space in Quzhou

乡镇 Township	农业空间			物质空间			功能空间		
	Agricultural space			Material space			Functional space		
	2011 年	2021 年	变化值 Changes	2011 年	2021 年	变化值 Changes	2011 年	2021 年	变化值 Changes
曲周镇	0.63	0.66	0.03	0.66	0.63	-0.03	0.58	0.61	0.03
安寨镇	0.64	0.66	0.02	0.66	0.66	0.00	0.60	0.63	0.03
侯村镇	0.57	0.63	0.06	0.61	0.63	0.02	0.53	0.61	0.08
河南疃镇	0.59	0.67	0.08	0.62	0.67	0.05	0.54	0.64	0.10
第四疃镇	0.59	0.65	0.06	0.65	0.68	0.03	0.53	0.61	0.08
白寨镇	0.63	0.66	0.03	0.66	0.69	0.03	0.59	0.61	0.02
槐桥镇	0.63	0.66	0.03	0.65	0.68	0.03	0.59	0.63	0.04
南里岳镇	0.62	0.67	0.05	0.68	0.71	0.03	0.57	0.62	0.05
大河道乡	0.66	0.68	0.02	0.65	0.69	0.04	0.63	0.64	0.01
依庄乡	0.60	0.60	0.00	0.51	0.65	0.14	0.59	0.56	-0.03
总体	0.61	0.65	0.04	0.64	0.67	0.03	0.58	0.62	0.04

2.3.2 农业功能空间协调发展度时空演变特征分析

2011—2021 年曲周县农业功能空间协调发展度整体呈小幅上升趋势（图 4、表 4），2011 年协调发展度均值为 0.58，2021 年均值为 0.62，整体呈中度协调发展状态。2011 年协调发展度最好的乡镇是大河道乡，2021 年，大河道乡和河南疃镇并列成为农业功能空间协调发展度最好的乡镇，协调发展度均值为 0.64；十年之间，依庄乡农业功能空间的协调发展度出现了小幅下跌，其他均呈现稳中有进的协调发展态势。

结合空间分布格局和冷热点分析来看，2011 年曲周县农业功能空间整体呈现“西南高，北部和东部低”的空间分异格局，高度协调区域主要分布在曲周镇北部、南部和大河道乡，河南疃镇、第四疃镇和侯村镇的农业功能空间协调发展情况相对较差，均出现了低集聚的空间分布状况，呈低度协调发展；而 2021 年，协调发展度有所提高，但中心城区村庄农业功能空间协调发展情况

较差；曲周县整体呈现中度协调区域和高度协调区域间隔发展的鲜明特点，区域内部的协调发展度提升显著；其中河南疃镇协调发展度提升明显，大河道乡继续保持农业功能的协调发展，安寨镇的高度协调区域有明显扩张趋势，曲周镇北部协调发展优势提升明显，而第四疃镇和侯村镇的农业功能协调发展情况也由过去的低度协调发展为较低协调和较高协调区域；低度协调区主要出

现在曲周镇中心城区，河南疃镇北部村庄，第四疃镇东部的南王楼村等地，低度协调区域大多出现在乡镇中心位置，这意味着曲周县农业功能空间与城镇建设之间不平衡的发展情况日益突出。

2.3.3 农业空间综合协调发展度分析

农业空间综合协调发展度时空变化和冷热点空间分布结果如图5和表4所示。

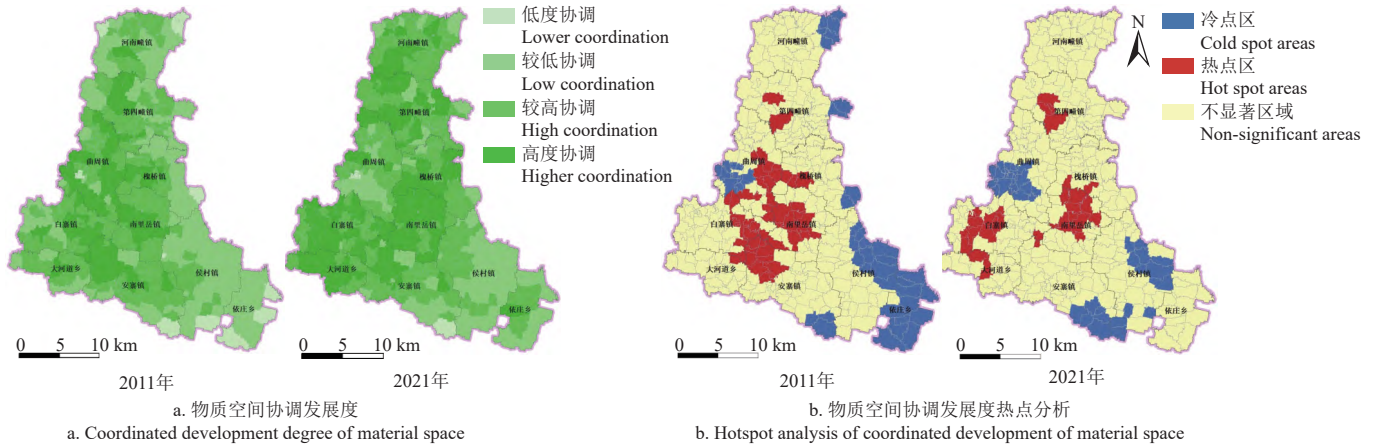


图3 农业物质空间协调发展度和热点分析图

Fig.3 Analysis of the coordinated development degree and hot spot analysis of agricultural material space

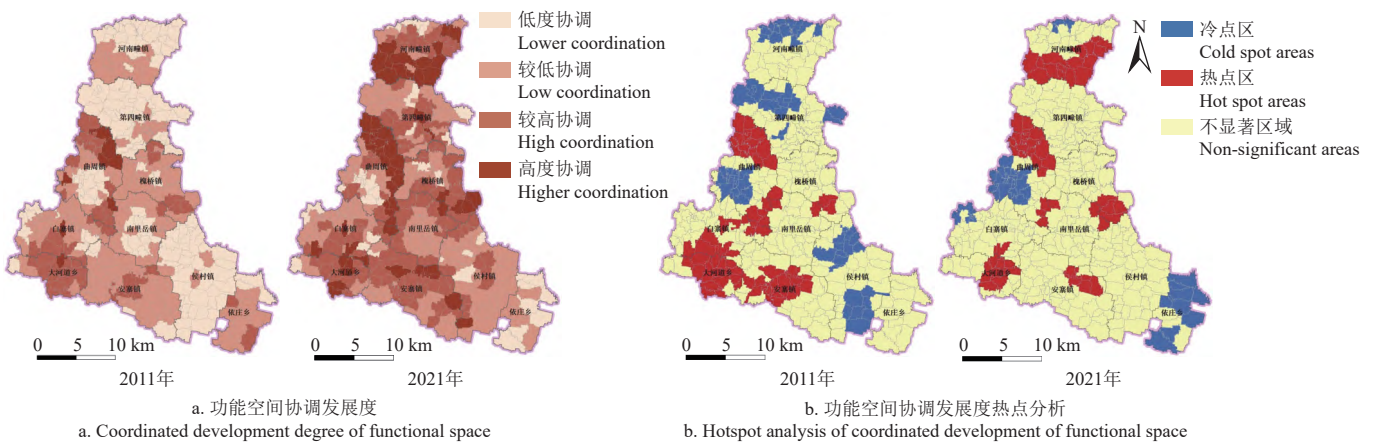


图4 农业功能空间协调发展度和热点分析图

Fig.4 Analysis of the coordinated development degree and hot spot analysis of agricultural functional space

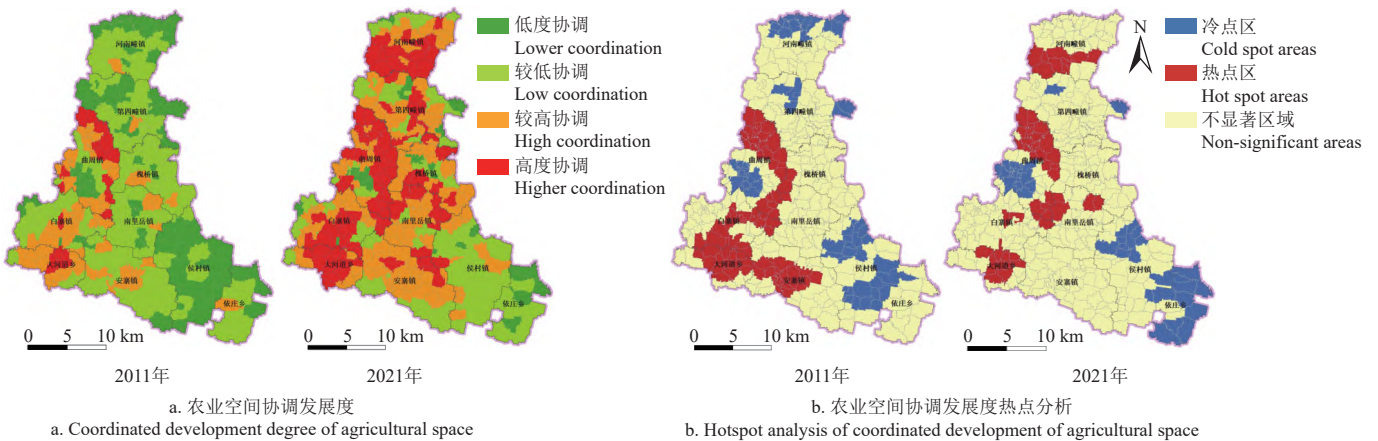


图5 农业空间协调发展度和热点分析图

Fig.5 Analysis of the coordinated development degree and hot spot analysis of agricultural space

从时间变化来看，曲周县各乡镇农业空间协调发展度均值均有提高，总体提高约 0.04，河南疃镇（0.08）涨幅最高，依庄乡均值保持不变。从空间分布格局来看，2011 年曲周县农业空间高度协调发展区域主要集中在曲周镇北部以及大河道乡，而河南疃镇北部、第四疃镇西部以及侯村镇协调发展情况较差，2021 年，协调发展情况在空间分布上出现了明显好转，整体协调发展情况进一步均衡化，整体呈现“西北高，东南低”的空间分异格局，高度协调区域主要分布在曲周镇东部、白寨镇中部、大河道乡以及河南疃镇南部，低协调区域主要分布在曲周镇中心城区、侯村镇和依庄乡等地；曲周县整体呈现较高协调区域和高度协调区域间隔发展的鲜明特点，较高协调区域多出现在农业生产功能较高的区域，区域内部的协调发展度提升显著；协调发展度较低的区域主要出现在曲周镇中心城区，第四疃镇、槐桥镇、白寨镇、南里岳镇等乡镇中心位置。

冷热点空间分布上看，热点区域主要集中于曲周县中部地区与西南部地区，冷点区域主要集中于曲周镇中心及曲周县北部及东南部地区，农业空间的发展与城镇建设之间不平衡发展情况日益突出。

3 讨论

农业空间质量评价与内部关联特征分析是反映农业高质量发展程度，针对性提出政策建议的重要参考。黄淮海平原农业空间是中国保障粮食安全最重要的生产基地，在城镇化进程中农业空间面临非农化、人口空心化等现实转型难题^[40]。目前中国省级及市县空间规划的控制分区缺乏对微观尺度农业空间研究，缺乏针对农业空间质量的相关研究。本研究以黄淮海平原典型农业县曲周县为研究区域，选取行政村作为微观尺度研究单元，目的是为了通过微观数据支撑中观规律探索，既避免了宏观尺度的过度抽象，又克服纯微观尺度的碎片化局限。研究以高质量发展为研究背景，针对性地对农业空间和农业空间质量的概念进行了剖析界定，将农业空间这一复杂的系统概念从物质实体层面和虚拟功能层面进行划分，将农业空间划分为农业物质空间和农业功能空间，在丰富农业空间这一概念内涵的同时，补齐县域以下尺度农业空间研究空缺，为中国黄淮海平原农区农业空间高质量发展提供参考。

农业空间是一个复杂的概念，考虑到本研究对象仅涉及黄淮海平原典型地区，土地利用类型单一，对农业空间概念进行了针对性界定具有一定局限性，不同地区和研究尺度下，农业空间的内涵相对也具有差异性，全国不同区域之间在自然地理条件、社会经济背景、政策扶持导向等方面都存在着一定差异，农业空间与生态、城市空间之间，草地、林地等其他实体用地空间归属问题尚未探讨。针对曲周县农业功能空间，本研究从生产、生活和生态三个功能展开评价，现代农业功能还包含景观功能、文化功能等，指标选取具有一定局限性。农业

空间高质量发展涉及农业科技创新、生态环境保护和产业结构优化等多个方面，由于数据获取的限制，曲周县农业空间质量评价结果可能会无法全面反映农业空间的综合发展特点。因此，在今后的研究中，应拓展研究区域，拉长研究时序，针对不同区域农业空间具体发展利用情况展开评价研究，因地制宜精准施策。

4 结论

本研究以黄淮海平原典型县曲周县 342 个行政村作为研究单元，根据“物质—功能”概念界定—指标评价—关联分析的思路，探究 2011—2021 年曲周县农业空间质量水平及关联特征。主要研究结论如下：

1) 2011—2021 年农业空间综合质量呈明显上升趋势，由“县城中心高、其他乡镇不均匀分布”的空间格局演变成“以曲周镇为核心发展枢纽、其他乡镇中心为发展次节点”的更为均衡的空间发展格局。其中农业物质空间质量得到小幅度提升，空间格局由“曲周镇为中心，向外辐射减弱”向均衡化发展演变的空间格局，其中农田质量小幅度下降，村庄质量显著提升，呈现出明显互补的权衡发展态势。农业功能空间质量整体呈上升趋势，空间格局逐渐呈现出“西北高、东南低”特征，主要增长极出现在曲周镇北部以及东部村庄和河南疃镇南部。

2) Spearman 秩相关系数计算结果显示曲周县两类农业空间各要素均呈现权衡协同发展关系。农田质量、生产、生态功能之间两两协同；生活功能与村庄质量之间两两协同，而两方面任一要素与另一方面要素之间均呈现权衡关系；农田质量、生产、生态功能之间转为更加协同，村庄质量与农田质量、生产功能权衡发展关系加深。

3) 2011—2021 年农业空间整体协调发展程度明显提高，冷热点区域分布明显且稳定，但中心城区物质空间与功能空间发展失调的情况加剧。说明曲周县农业空间质量协调性整体上升，但城乡不平衡的区域协调性特征加剧显现。农业物质空间协调发展度小幅度提升，高度协调区域明显扩张，最低值主要集中在曲周镇中心城区，低值区域扩张明显。曲周县农业功能空间协调发展度整体呈小幅上升趋势，空间格局在 2011 年“西南高，北部和东部低”基础上整体性提高，低度协调区域大多出现在乡镇中心位置。

[参 考 文 献]

- [1] 马晓河, 杨祥雪. 以加快形成新质生产力推动农业高质量发展[J]. 农业经济问题, 2024(4): 4-12.
MA Xiaohu, YANG Xiangxue. Promoting high-quality agricultural development by accelerating the formation of new quality productivity[J]. Issues in Agricultural Economy, 2024(4): 4-12. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张永旺, 周欣欣, 赵敏娟, 等. 黄河流域九省区特色农业高质量发展评价及路径选择[J]. 经济问题探索, 2023(9):

- 53-64.
ZHANG Yongwang, ZHOU Xinxin, ZHAO Minjuan, et al. Evaluation and path selection of high-quality development of characteristic agriculture in nine provinces in the Yellow River Basin[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2023(9): 53-64. (in Chinese with English abstract)
- [3] 王颖, 刘学良, 魏旭红, 等. 区域空间规划的方法和实践初探——从“三生空间”到“三区三线”[J]. *城市规划学刊*, 2018(4): 65-74.
WANG Ying, LIU Xueliang, WEI Xuhong, et al. The method and practice of regional spatial planning from "Three Basic Spaces" to "Three-zones and Three-lines"[J]. *Urban Planning Forum*, 2018(4): 65-74. (in Chinese with English abstract)
- [4] 苏鹤放, 顾朝林, 曹根榕. 国土空间规划中农业空间用地分类体系研究[J]. *自然资源学报*, 2024, 39(11): 2570-2587.
SU Hefang, GU Chaolin, CAO Genrong. Land use classification system of agricultural space interterritorial planning[J]. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(11): 2570-2587. (in Chinese with English abstract)
- [5] LI X, ZHANG X, JIN X. Spatio-temporal characteristics and driving factors of cultivated land change in various agricultural regions of China: A detailed analysis based on county-level data[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 166: 112485.
- [6] 张玉韩, 郭文华, 肖飞. 1990-2021年黄河流域耕地与其他农用地转化空间格局及对耕地适宜性的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2023, 37(11): 37-47.
ZHANG Yuhan, GUO Wenhua, XIAO Fei. Spatial pattern of transformation between cropland and other agricultural lands in the Yellow River Basin from 1990 to 2021 and its impact on cropland suitability[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(11): 37-47. (in Chinese with English abstract)
- [7] 魏伟, 唐林. 三区空间视角下江汉平原农业空间时空演化及驱动机制分析[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(2): 369-377.
WEI Wei, TANG Lin. Spatial and temporal evolution characteristics and driving mechanism of agriculture in Jianghan Plain from the perspective of Three Regions[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(2): 369-377. (in Chinese with English abstract)
- [8] 宁夏. 大农业: 乡村振兴背景下的农业转型[J]. *中国农业大学学报(社会科学版)*, 2019, 36(6): 5-12.
NING Xia. Pan-agriculture: Agricultural transformation in the Rural Vitalization[J]. *Journal of China Agricultural University(Social Sciences)*, 2019, 36(6): 5-12. (in Chinese with English abstract)
- [9] 尹力, 魏伟, 李泓锐, 等. 2000—2020年中国农业空间演变特征、区域差异及其影响因素[J]. *地理研究*, 2024, 43(5): 1225-1246.
YIN Li, WEI Wei, LI Hongrui, et al. Characteristics, regional differences, and influencing factors of agricultural spatial evolution in China from 2000 to 2020[J]. *Geographical Research*, 2024, 43(5): 1225-1246. (in Chinese with English abstract)
- [10] 魏伟, 尹力. 东北地区“三区空间”格局演化特征及驱动机制[J]. *地理科学*, 2023, 43(2): 324-336.
WEI Wei, YIN Li. Evolution characteristics and driving mechanism of spatial pattern of "three-zone space" in Northeast China[J]. *Geographical Science*, 2023, 43(2): 324-336. (in Chinese with English abstract)
- [11] 郭晓鸣. 中国农村土地制度改革: 需求、困境与发展态势[J]. *中国农村经济*, 2011(4): 4-8, 17.
GUO Xiaoming. China's rural land system reform: Demand, dilemma and development trend[J]. *Chinese Rural Economy*, 2011(4): 4-8, 17. (in Chinese with English abstract)
- [12] 关付新. 华北平原种粮家庭农场土地经营规模探究——以粮食大省河南为例[J]. *中国农村经济*, 2018(10): 22-38.
GUAN Fuxin. The land scale of grain production family farms in north China Plain: An example from Henan, a major grain production province[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(10): 22-38. (in Chinese with English abstract)
- [13] 朱喜, 史清华, 盖庆恩. 要素配置扭曲与农业全要素生产率[J]. *经济研究*, 2011, 46(5): 86-98.
ZHU Xi, SHI Qinghua, GAI Qingen. Misallocation and TFP in rural China[J]. *Economic Research Journal*, 2011, 46(5): 86-98. (in Chinese with English abstract)
- [14] 孙瑞, 金晓斌, 赵庆利, 等. 集成“质量-格局-功能”的中国耕地整治潜力综合分区[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(7): 264-275.
SUN Rui, JIN Xiaobin, ZHAO Qingli, et al. Comprehensive zoning of cultivated land consolidation potential integrating "quality-pattern-function" in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2020, 36(7): 264-275. (in Chinese with English abstract)
- [15] TAO Z, GUANGHUI J, WENQIU M, et al. A framework for identifying the distribution of revitalization potential of idle rural residential land under rural revitalization[J]. *Land Use Policy*, 2024, 136: 106977.
- [16] 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 Zihao, HAO Jinmin, CHEN Hang, 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(Transactions of the CSAE)*, 2024, 40(14): 199-209. (in Chinese with English abstract)
- [17] JIANG G, WANG M, QU Y, et al. Towards cultivated land multifunction assessment in China: Applying the "influencing factors-functions-products-demands" integrated framework[J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: 104982.
- [18] 王林艳, 夏敏, 邹伟. 耦合生态服务供需的县域农业空间生态保护修复分区——以宜兴市为例[J]. *自然资源学报*, 2024, 39(4): 858-877.
WANG Linyan, XIA Min, ZOU Wei. Ecological conservation and restoration zoning of county-level agricultural spatial ecology coupled with ecological service supply and demand: A case study of Yixing[J]. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(4): 858-877. (in Chinese with English abstract)
- [19] 杨雪春, 王茂军, 宁志中, 等. 山东省泰安市农业空间生产资本化特征及模式研究[J]. *人文地理*, 2021, 36(6): 117-124.
YANG Xuechun, WANG Maojun, NING Zhizhong, et al. Research on the capitalization characteristics and modes of agricultural space production in Tai'an[J]. *Human Geography*, 2021, 36(6): 117-124. (in Chinese with English abstract)
- [20] 岳文泽, 张晓雯, 甄延临, 等. 东部发达地区农业空间高质量优化的思考[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(22): 236-242.
YUE Wenze, ZHANG Xiaowen, ZHEN Yanlin, et al. Consideration on the high quality optimization of agricultural space in eastern developed region of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(22): 236-242. (in Chinese with English abstract)
- [21] 刘鹏飞, 孙斌栋. 中国城市生产、生活、生态空间质量水平格局与相关因素分析[J]. *地理研究*, 2020, 39(1): 13-24.

- LIU Pengfei, SUN Bindong. The spatial pattern of urban production-living-ecological space quality and its related factors in China[J]. *Geographical Research*, 2020, 39(1): 13-24. (in Chinese with English abstract)
- [22] 陈晓红, 许晓庆, 刘艳军, 等. 基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性时空演变格局及驱动力研究[J]. *生态学报*, 2022, 42(15): 6395-6405.
- CHEN Xiaohong, XU Xiaoqing, LIU Yanjun, et al. Patterns and driving forces of the temporal-spatial evolution of urban vulnerability in Harbin-Changchun Urban Agglomeration based on the production-living-ecological Spatial Quality[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(15): 6395-6405. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王琪, 朱佩娟, 文宁, 等. 道路交通网络对生态空间质量影响效应研究——以长沙市为例[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2023, 46(2): 84-94.
- WANG Qi, ZHU Peijuan, WEN Ning, et al. Research on the effect of road traffic network on ecological space quality: A case study of Changsha City[J]. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2023, 46(2): 84-94. (in Chinese with English abstract)
- [24] 张英男, 龙花楼, 戈大专, 等. 黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制[J]. *地理学报*, 2018, 73(3): 518-534.
- ZHANG Yingnan, LONG Hualou, GE Dazhuan, et al. Spatio-temporal characteristics and dynamic mechanism of farmland functions evolution in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 518-534. (in Chinese with English abstract)
- [25] 付海英, 常瑞甫, 何苗. 生态文明时代农业空间规划内涵及发展趋势[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(14): 323-330.
- FU Haiying, CHANG Ruifu, HE Miao. Connotation and trends of agricultural spatial planning in the ecological civilization era[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(14): 323-330. (in Chinese with English abstract)
- [26] 郑希平, 陈竹安. 国土空间多功能耦合协调测度及多维功能冲突诊断[J]. *环境科学*, 2024, 45(10): 5868-5879.
- ZHENG Xiping, CHEN Zhu'an. Coupling coordination measurement and multi-dimensional conflict diagnosis among territorial space functions[J]. *Environmental Science*, 2024, 45(10): 5868-5879. (in Chinese with English abstract)
- [27] LEFEBVRE H. *La Production de l'espace* [M]. Paris: Anthropos, 1974.
- [28] 刘彦随, 刘玉, 陈玉福. 中国地域多功能性评价及其决策机制[J]. *地理学报*, 2011, 66(10): 1379-1389.
- LIU Yansui, LIU Yu, CHEN Yufu. Territorial multi-functionality evaluation and decision-making mechanism at county scale in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(10): 1379-1389. (in Chinese with English abstract)
- [29] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J]. *地理研究*, 2018, 37(6): 1100-1114.
- WANG Cheng, TANG Ning. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural production-living-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality[J]. *Geographical Research*, 2018, 37(6): 1100-1114. (in Chinese with English abstract)
- [30] 辜磊, 冯应斌, 李静静. 山区村域耕地边际化风险评价及防控策略——以贵州省舍烹村为例[J]. *中国土地科学*, 2024, 38(10): 70-81.
- GU Lei, FENG Yingbin, LI Jingjing. Risk evaluation, prevention and control strategy of farmland marginalization in mountainous village areas: A case study of Shepeng village, Guizhou Province[J]. *China Land Science*, 2024, 38(10): 70-81. (in Chinese with English abstract)
- [31] 孙晓兵, 蔡为民, 孔祥斌, 等. 基于多元主体协同的县域耕地质量调控模式与整治时序分区[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(21): 232-245.
- SUN Xiaobing, CAI Weimin, KONG Xiangbin, et al. Quality regulation pattern and consolidation time zone of county-level cultivated land based on multi agent collaboration[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(21): 232-245. (in Chinese with English abstract)
- [32] 关瑜, 陈影, 叶静, 等. 耕地质量多维评价与利用分区——以黄骅市为例[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(3): 334-343, 350.
- GUAN Yu, CHEN Ying, YE Jing, et al. Multidimensional evaluation and utilization division of cultivated land quality: case study of Huanghua City[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(3): 334-343, 350. (in Chinese with English abstract)
- [33] 涂叶绿, 曹小曙, 姚玲玲. 基于道路可达性的典型脱贫地区乡村聚落空间分布特征及影响因素[J]. *人文地理*, 2024, 39(1): 122-129.
- TU Yelvy, CAO Xiaoshu, YAO Lingling. An analysis of rural settlement patterns and their effect mechanisms based on road traffic accessibility in poverty alleviation area[J]. *Human Geography*, 2024, 39(1): 122-129. (in Chinese with English abstract)
- [34] 刘庆果, 孙丕苓, 王世清, 等. 三峡库区(重庆段)乡村地名文化景观的空间分布特征及成因[J]. *山地学报*, 2024, 42(1): 108-122.
- LIU Qingguo, SUN Piling, WANG Shiqing, et al. Spatial distribution and genesis of the cultural landscape of village names: in the Chongqing section of the Three Gorges Reservoir area in China[J]. *Mountain Research*, 2024, 42(1): 108-122. (in Chinese with English abstract)
- [35] 李贺颖, 王艳慧. 贫困县村级居民点空间分布离散度与农村居民纯收入关联格局分析[J]. *地理研究*, 2014, 33(9): 1617-1628.
- LI Heying, WANG Yanhui. Discrete degree on village settlement's spatial distribution and its correlation with net income of rural residents in poverty county[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(9): 1617-1628. (in Chinese with English abstract)
- [36] 曾艳, 廖成浩, 刘建生, 等. “三生”功能视角下城市近郊区村庄发展适宜性评价与分类——以江西抚州临川区为例[J]. *农业资源与环境学报*, 2024, 41(5): 1122-1132.
- ZENG Yan, LIAO Chenghao, LIU Jiansheng, et al. Evaluation and classification of village development quality in suburban areas from the perspective of "production-life-ecological" function: A case from Lincuan District, Fuzhou, Jiangxi Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2024, 41(5): 1122-1132. (in Chinese with English abstract)
- [37] 徐云, 高明坤, 张增信. 基于 InVEST 模型的长江中下游地区生境质量变化研究[J]. *水土保持研究*, 2024, 31(5): 355-364.
- XU Yun, GAO Mingkun, ZHANG Zengxin. Land use change and its impact on habitat quality in the middle and lower reaches of the Yangtze River based on InVEST Model[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2024, 31(5): 355-364. (in Chinese with English abstract)
- [38] 卫新东, 林良国, 罗平平, 等. 耕地多功能耦合协调发展时空格局与驱动力分析[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(4): 260-269.

- WEI Xindong, LIN Liangguo, LUO Pingping, et al. Spatiotemporal pattern and driving force analysis of multi-functional coupling coordinated development of cultivated land[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of theCSAE)*, 2022, 38(4): 260-269. (in Chinese with English abstract)
- [39] 刘承良, 熊剑平, 龚晓琴, 等. 武汉城市圈经济—社会—资源—环境协调发展性评价[J]. *经济地理*, 2009, 29(10): 1650-1654, 1695.
LIU Chengliang, XIONG Jianping, GONG Xiaoqin, et al. Coordinated development of conomy-society-resource-environmental system in metropolitan areas: A case study of Wuhan metropolitan area[J]. *Economic Geography*, 2009, 29(10): 1650-1654,1695. (in Chinese with English abstract)
- [40] 刘永强, 龙花楼. 黄淮海平原农区土地利用转型及其动力机制[J]. *地理学报*, 2016, 71(4): 666-679.
LIU Yongqiang, LONG Hualou. Land use transitions and their dynamic mechanism in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 666-679. (in Chinese with English abstract)

Evaluation and correlation characteristics of agricultural spatial quality in the Huang-Huai-Hai Plain from the perspective of material function

HONG Qiuchen¹, FENG Xiaowen², SHI Yunyang³, ZHANG Zonghan¹, HAO Jinmin¹, AI Dong¹*[✉]

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. People's Government of Sungezhuang Manchu Township, Jizhou District, Tianjin 301900, China; 3. Office of Shaanxi Provincial Party Committee, Xi'an 710000, China)

Abstract: Huang-Huai-Hai Plain is one of the most crucial grain-producing regions in China. Agricultural spatial patterns can serve as the prominent decision-making on the "agriculture, rural areas, and farmers" challenges during urbanization. The significant theoretical and practical value can also hold to promote the high-quality regional agriculture in the new era. Furthermore, the agricultural space can be defined as the critical component of the "Three Zones and Three Lines" system in territorial spatial planning, particularly for "a functional space primarily dedicated to agricultural production and rural livelihood". Together with the urban and ecological space, the fundamental structure can be constituted for the territorial protection and utilization at regional scale. Taking 342 administrative villages in Quzhou County of the Huang-Huai-Hai Plain as research units, this study proposed the concept of the agricultural space from the "material-function" perspective. An evaluation index was also established for the agricultural spatial quality using these two spatial attributes. Spearman's rank correlation coefficient and coordinated development degree were employed to measure the agricultural spatial quality from 2011 to 2021. A systematic analysis was made on their interconnections among the internal elements. The results show: (1) Agricultural spatial quality demonstrated a significant upward trend. The spatial pattern was formed as a more balanced structure with "Quzhou Town as the core hub and surrounding township centers as secondary nodes". The quality of the agricultural material space was improved slightly towards the balanced spatial development. Farmland quality showed the minor decline, while the village quality significantly increased, indicating the trade-off complementary. Agricultural functional space quality generally rose with a "high northwest-low southeast" spatial pattern. Main growth poles were emerged in the northern/eastern villages of the Quzhou and southern Henantuan Town. (2) Spearman correlation indicates that there was the trade-off and synergistic relationships among elements. Synergistic relationships existed among the farmland quality, production and ecological function. Living functions were synergized with the village quality. Trade-off relationships also occurred between any elements from material and functional space. There was the strong synergistic relationship among farmland quality, production, and ecological functions. While there were the intensified trade-off relationships between village quality and farmland quality/production functions. (3) Overall coordination of the agricultural spatial quality was improved significantly. Yet there was the more pronounced regional imbalance between urban and rural areas. There was the slight increase in the coordinated development degree between agricultural material and functional spaces. High-coordination areas were expanded significantly, while the low-coordination areas mostly appeared in the centers of the township. The overall coordinated level of the agricultural space was improved markedly, with the stable hot/cold spot distributions. However, there was the intensified imbalance between material and functional spaces in the urban core areas. As such, the targeted analysis was conducted to define the concepts of the agricultural space and its quality in the context of the high-quality development. Among them, the agricultural space was also divided into the agricultural material and functional space from the material-entity and virtual-functional dimension. The conceptual connotation of the agricultural space was enriched for the agricultural spatial studies at sub-county scales. Thereby, the finding can also provide a strong reference to advance the high-quality agricultural space in the Huang-Huai-Hai Plain region of China.

Keywords: agricultural space; material functional perspective; Huang-Huai-Hai Plain; Quzhou County; quality evaluation