

环境科学
Environmental Science
ISSN 0250-3301,CN 11-1895/X

《环境科学》网络首发论文

题目：农业新质生产力与农业绿色全要素生产率协调网络的演化特征及驱动因素
作者：韩海彬，吴凡，罗倩
DOI：10.13227/j.hjkx.202507366
收稿日期：2025-07-28
网络首发日期：2025-10-13
引用格式：韩海彬，吴凡，罗倩．农业新质生产力与农业绿色全要素生产率协调网络的演化特征及驱动因素[J/OL]．环境科学.
https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202507366



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

网络首发时间：2025-10-13 17:16:52　网络首发地址：https://link.cnki.net/urlid/11.1895.X.20251013.1339.031

农业新质生产力与农业绿色全要素生产率协调网络的演化特征及驱动因素

韩海彬，吴凡，罗倩
（天津商业大学公共管理学院，天津 300134）

摘要：农业新质生产力与农业绿色全要素生产率（GTFP）协调发展是实现从“农业大国”向“农业强国”迈进的迫切需要，同时也是推动实现中国式农业现代化的必然要求。在解构农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络内在机制的基础上，基于修正的引力模型构建二者协调网络的空间关联矩阵，并利用社会网络分析法剖析中国农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的演化特征及驱动因素。结果表明：①中国各省域农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络逐渐形成，不仅邻近省域通过要素交互产生空间关联关系，而且非邻近省域通过跳跃式联动呈现出空间传递效应。②协调网络呈现“核心-边缘”结构特征，山东、湖北和河南等农业大省处于网络核心枢纽地位，而新疆、宁夏和青海等西部偏远省域位于网络边缘区域。③协调网络可划分为“双向溢出”板块、“净溢出”板块、“孤立者”板块和“净受益”板块，且多数板块内部具有显著关联性，呈现明显的俱乐部效应。④不同要素对协调网络的形成产生分化，其中空间邻近性、农业产业结构差异、财政支农力度差异、干燥度差异与环境规制力度差异对协调网络具有显著影响，但城镇化水平差异和科技创新水平差异对协调网络的影响效应尚未凸显。

关键词：农业新质生产力；农业绿色全要素生产率；社会网络分析；协调网络；驱动因素
DOI:10.13227/j.hjkx.202507366

Evolution Characteristics and Driving Factors of the Coordinated Network of Agricultural New Quality Productivity and Agriculture Green Total Factor Productivity

HAN Hai-bin, WU Fan, LUO Qian
(School of Public Administration, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: The coordinated development of agricultural new quality productivity and agricultural green total factor productivity (GTFP) is an urgent need to realize the progress from a “large agricultural country” to a “powerful agricultural country”, and it is also an inevitable requirement to promote the realization of Chinese-style agricultural modernization. On the basis of deconstructing the coordinated network mechanism of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP, this paper constructs the spatial correlation matrix of their coordinated network based on the modified gravity model, and uses the social network analysis method to analyze the evolution characteristics and driving factors of the coordinated network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP in China. The results show that: ① The coordination network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP is gradually formed in all provinces of China, and not only the neighboring provinces generate spatial correlation through factor interaction, but also the non-neighboring provinces show spatial transmission effect through jumping linkage. ② The coordination network is characterized by a “core-edge” structure, with large agricultural provinces such as Shandong, Hubei and Henan at the core of the network, and remote western provinces such as Xinjiang, Ningxia and Qinghai at the edge of the network. ③ The

收稿日期： 2025-07-28；**修订日期：**2025-09-24
基金项目：国家社会科学基金项目（14BTJ014）
作者简介：韩海彬（1978~），男，博士，教授，主要研究方向为农业全要素生产率增长与农业绿色发展，E-mail: hshore@126.com

coordination network can be divided into “two-way spillover”, “net spillover”, “isolate” and “net benefit” segments. Most of the sectors have significant correlation, showing obvious club effect. ④ Different factors have differentiated the formation of the coordination network, among which spatial proximity, differences in agricultural industry structure, differences in financial support for agriculture, differences in dryness and differences in environmental regulation have a significant impact on the coordination network, but differences in the level of urbanization and differences in the level of scientific and technological innovation have not yet been highlighted in terms of their impact on the coordination network.

Key words: agricultural new quality productivity; agricultural green total factor productivity; social network analysis; coordination network; driving factors

发展农业新质生产力是推动农业高质量发展的内在要求和核心着力点。推动农业高质量发展，实现中国式农业现代化，迫切需要加快发展以农业强国建设为导向，以农业科技创新为引擎，以催生新产业、新模式和新服务为典型形式，以农业全要素生产率大幅提升为核心标志的农业新质生产力[1,2]。农业新质生产力本质是一种由科技创新主导的新质态生产力[3]，主要通过引入机械化装备和智能化技术，激发农业生产潜能，推动农业向自动化、智能化、和绿色化方向发展，有别于过去依赖高投入、和高消耗获得高产出的传统生产方式，更加符合高质量发展的目标要求[4]。农业绿色全要素生产率（green total factor productivity, GTFP）作为表征农业高质量发展的核心指标，既包括农业技术进步带来的农业边际产出，又包括农业资源优化配置产生的农业效率改善，同时还能考虑资源环境因素对农业发展的影响，因此通常被视为农业可持续发展的源泉[5]。习近平总书记强调，新质生产力“以全要素生产率大幅提升为核心标志”。党的二十届三中全会提出“促进各类先进生产要素向发展新质生产力集聚，大幅提升全要素生产率。”可见，发展农业新质生产力是实现农业高质量发展的重要着力点，而提高农业GTFP是实现农业高质量发展的重要方向，农业新质生产力和农业GTFP在本质上具有高度契合性。然而，当前中国农业粗放型的发展方式仍未发生根本性改变，依然存在大而不强、多而不优等突出问题。为实现传统农业向现代农业嬗变，必须坚持以发展农业新质生产力为引擎，以提高农业GTFP为目标，并基于农业新质生产力与农业GTFP的高度同根同源性，促进农业新质生产力与农业GTFP的协调发展，这不仅是农业现代化发展的方向所在，更是建设农业强国的必然要求。因此，在理论上厘清农业新质生产力与农业GTFP协调网络的内在机制，在实践上揭示农业新质生产力与农业GTFP协调网络的演化特征及驱动因素，并构建农业新质生产力与农业GTFP协调发展路径对于加快建设农业强国，实现中国式农业现代化具有重要理论意义和实践价值。

目前学界对新质生产力的研究已从初步探索阶段向多维度、多视角方向纵深发展。相关研究主要集中于以下几方面：第一，关于新质生产力的内涵阐释。部分学者从马克思主义政治经济学的视角切入，强调新质生产力是通过发挥科技创新的引领作用，推动科技革命和产业变革进而实现对传统生产力的跃迁[6,7]；也有学者基于新制度经济学，主张利用专用目的技术与通用目的技术解释旧质与新质在技术基础上的差异，并认为新质生产力可通过科技创新和差异化创新实现市场效益[8]；此外，还有学者从系统论角度出发，指出新质生产力是由生产力要素、生产力结构、生产力功能构成的有机整体，在不同历史阶段，生产力要素组合结构及其内涵将会发生变化[9]。第二，关于新质生产力的战略价值。学者们从理论和实践两个层面对新质生产力的战略价值进行考察。在理论层面，现有研究认为新质生产力的提出创造性继承、创新性发展了马克思主义生产力理论，开启了习近平经济思想的新篇章[10,11]；在实践层面，现有研究认为新质生产力的兴起将重塑产业结构，加快推进现代化经济体系建设，进而为高质量发展提供强劲驱动力[12,13]。第三，关于新质生产力的实施路径。经济学者基于技术-经济范式，从市场压力机制、利益驱动机制和自由开放机制这3个方面明晰了新质生产

力的发展方向[14]。还有经济学者对此进行了补充和完善，基于技术-“经济+社会”范式，从科技、数据和产业这3个维度梳理了新质生产力的实现模式[15]。管理学者们则主张培育新质生产力需从创新人才培养体系[16]、增强自主创新能力[17]和变革管理方式[18]等方面入手。另外，随着新质生产力相关研究向农业领域渗透，有关农业新质生产力的研究进入起步和快速发展阶段。相关研究大多沿着“基本特征-内涵阐释-提升路径”的研究脉络展开分析，在理论构建与实践探索方面取得了一定进展[19,20]。

农业GTFP将资源环境因素纳入到传统的农业全要素生产率分析框架，不仅追求农业生产活动的经济效益，还考虑资源环境约束，因此更符合农业高质量发展的内在要求。目前关于农业GTFP的研究已成为学界关注的热点问题。既有研究从农业GTFP的测度方法[21]、时空特征[22]和影响因素[23]等方面进行了广泛探讨。随着新质生产力研究的不断深入，学者开始尝试将新质生产力与全要素生产率纳入统一框架进行研究。例如，已有研究基于新质生产力与全要素生产率的高度契合性特征，直接将全要素生产率作为新质生产力的替代指标进行实证研究[24,25]。还有已有研究从理论和实践两个视角探讨了新质生产力对全要素生产率的影响。例如，在理论上，刘静[26]阐述了农业新质生产力提升农业GTFP的理论基础与制约要素；邹小华等[27]揭示了新质生产力促进全要素生产率增长的三重内在逻辑。在实践上，蔡湘杰等[28]在对新质生产力进行评价的基础上，探讨了新质生产力对全要素生产率的影响效应，研究发现新质生产力与全要素生产率之间存在正“U型”关系；郭海红等[29]综合考察了农业新质生产力对农业GTFP的影响效应，结果表明农业新质生产力以非线性方式对农业GTFP产生积极影响。另外，还有少数学者提出通过提高全要素生产率促进新质生产力发展的观点[30,31]，但鲜见研究从耦合协调视角探讨新质生产力与全要素生产率之间的互动关系。

综上，虽然已有研究基于宏观经济视角开始尝试将新质生产力与全要素生产率纳入统一框架进行研究，但专门聚焦农业领域，深入探讨农业新质生产力与农业GTFP互动关系的文献较少。相关极少数研究主要从理论层面揭示农业新质生产力促进农业GTFP增长的作用机制，但缺乏对农业新质生产力与农业GTFP互动关系的实证研究，尤其在农业新质生产力与农业GTFP协调发展的测度评价、空间关联网络分析及驱动因素探讨等方面鲜见研究涉及。鉴于此，本文在对农业新质生产力与农业GTFP协调发展进行测度评价的基础上，利用修正的引力模型构建农业新质生产力与农业GTFP协调网络的空间关联强度矩阵，进一步基于社会网络分析方法对协调网络的演化特征及驱动因素进行分析，以期为农业新质生产力与农业GTFP跨区域协同发展提供理论支撑和实践证据。

本文对现有研究的边际贡献为：①基于协调发展理论，将农业新质生产力与农业GTFP纳入统一框架并探讨二者耦合协调关系，弥补现有研究对两者孤立分散研究的不足，为农业新质生产力理论体系构建和实证研究的推进提供新思路。②利用社会网络分析方法刻画农业新质生产力与农业GTFP协调网络的演化特征，从空间网络视角揭示省域间农业新质生产力与农业GTFP的空间关联网络结构，进而突破传统空间计量模型主要从地理临近关系角度刻画空间效应的局限性。③利用基于“关系数据”的二次指派程序（quadratic assignment procedure, QAP）方法探究农业新质生产力与农业GTFP协调网络的驱动因素，弥补了基于“属性数据”的传统计量模型难以准确揭示协调网络结构形态的局限性。

1 理论机制

农业新质生产力与农业GTFP协调发展本质上是以数字技术解锁绿色生产力，以数农融合释放协同效应，以结构优化激活农业发展新动能，最终形成“绿色-高效-优质”三位一体的现代农业发展新范式。农业新质生产力与农业GTFP之间具有高度契合性与价值归一性，二者均以实现农业高质量发展为目标而融合互动、耦合共生，并在协调网络中呈现多维效应（图

1）。

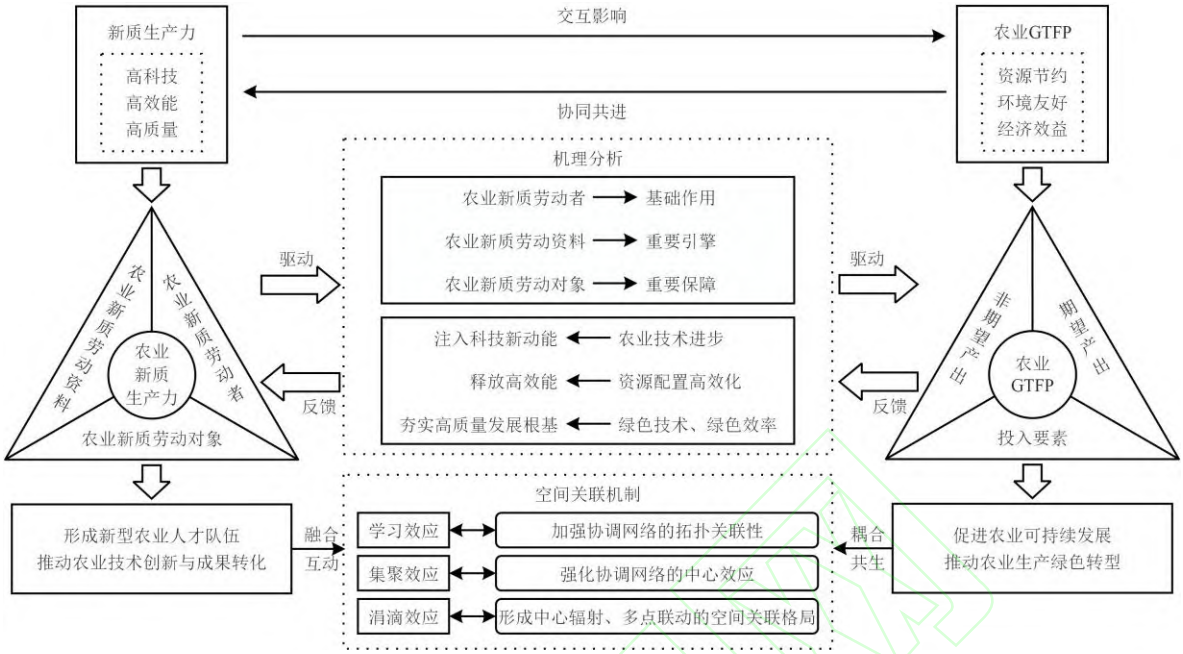

图1 农业新质生产力与农业GTFP协调机制

Fig.1 Coordination mechanism of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP

1.1 农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的内在机制

1.1.1 农业新质生产力是引领农业 GTFP 发展的核心着力点

首先，农业新质劳动者作为农业新质生产力的核心要素，在提高农业GTFP过程中发挥着基础作用。相比传统农业劳动者，农业新质劳动者掌握农业前沿技术和先进管理方式，其知识禀赋、数字化技能与生态意识的跃升，为实现农业生产的精细化管理与自动化作业提供优势条件。并且随着知识型、技能型、创新型农业劳动者比重的上升，逐渐形成适应农业现代化发展的新型农业人才队伍，从而为农业GTFP发展提供坚实的人才支撑。

其次，农业新质劳动资料作为农业新质生产力的技术载体，是提高农业GTFP的重要引擎。随着新技术和新装备等科技创新成果在农业领域的应用，农业生产方式逐渐从传统粗放型向集约化和智能化嬗变[32]。例如，随着无人机和智能农机等新型农业装备的应用与普及逐渐实现了农业生产的绿色化、高效化与精准化，最终促进农业GTFP发展。

最后，农业新质劳动对象作为农业新质生产力的物质基础，是促进农业GTFP发展的重要保障。农业新质生产力通过物质形态创新将农业传统劳动对象扩展为以数据、信息等新型非物质资源作为主要形态的农业新质劳动对象[33]，并通过数字孪生技术与农业产业的深度融合推动农业绿色转型，不断重塑农业生产力系统的底层逻辑，进而为提高农业GTFP提供内生动力。

1.1.2 提高农业GTFP是发展农业新质生产力的题中应有之义

农业GTFP的提升本质上是技术创新扩散、要素结构优化与质量价值重构的动态耦合过程，深度契合了农业新质生产力的三大特征，即高科技、高效能和高质量。

首先，提高农业GTFP符合农业新质生产力“高科技”特征。以农业数字技术、信息技术为表征的农业技术进步是农业GTFP增长的核心驱动力，在农业GTFP发展过程中通常伴随数据、技术等生产要素与农业生产的深度融合，从而不断助力农业产业提质增效。当前，部分发达地区面向科技前沿，采用区块链和物联网等数字技术实时监测和精准管理农田环境并进行精细化作业，为发展农业新质生产力注入科技新动能。

其次，提高农业GTFP符合农业新质生产力“高效能”特征。农业GTFP增长意味着在减

少环境污染、资源消耗的前提下实现农业产出最大化[34]，促进农业资源配置效率可持续提升。在农业数字化转型过程中，提高农业GTFP需通过数字化、智能化对农业生产要素进行创新性配置，推动要素组合的绿色跃升，逐渐实现农业生产的规模化、集约化与高效化，进而释放农业新质生产力高效能。

最后，提高农业GTFP符合农业新质生产力“高质量”特征。农业GTFP增长不仅注重农业经济效益，而且强调与资源节约、环境友好的协调统一[26]，契合了农业高质量发展的本质要求。一方面，内生于农业GTFP的绿色技术通过知识驱动和科技赋能不仅可以显著提升农产品质量，而且能够有效降低农药和化肥等农用化学品的投入，从而实现农业绿色高质量发展；另一方面，内生于农业GTFP的绿色效率通过优化农业生产资源配置，可以有效降低农业生产成本，实现农业资源循环利用，促进农业生产绿色转型，从而夯实农业新质生产力发展基础。

1.2 农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的空间关联机制

农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的本质是以农业高质量发展为目标指引，以各省省域为节点，以各省域间农业新质生产力与农业 GTFP 协调发展的空间关联关系为连接链路[35]，伴随资金、信息等流体要素通过空间传导路径实现自由流动，进而演化出由多个节点和众多连线组成的多域面、多流向的空间关联网络。农业新质生产力与农业 GTFP 协调发展过程存在非线性空间交互关系，并呈现出耦合共生的多维效应。一是学习效应。基于均衡发展理论，欠发达地区倾向于学习发达地区的农业前沿技术和管理经验，从而缩小区域间的知识鸿沟，促进农业生产要素跨区域互流互通，最终加强协调网络的拓扑关联性。二是集聚效应。基于区域增长极理论，劳动、资本等生产要素倾向于流向农业发展水平较高的地区，致使流入地省域的农业生产规模不断扩大，农业生产资源禀赋优势持续增强，逐渐形成农业产业集聚区，从而强化协调网络的中心效应。三是涓滴效应。协调网络中的核心节点通常具备丰沛的农业生产资源和明显的技术优势，可通过知识和技术溢出驱动欠发达地区农业技术迭代升级与农业管理模式结构性优化，最终形成“中心辐射、多点联动”的空间关联格局。

2 材料与方法

2.1 指标体系构建及测度

2.1.1 农业新质生产力指标体系构建及测度

农业新质生产力是以科技创新起主导作用，符合农业高质量发展内在要求的新质态生产力。根据生产力理论，农业新质生产力的构成要素主要包括农业新质劳动者、农业新质劳动资料和农业新质劳动对象。

农业新质劳动者作为具有高素质、高效率、高创新和高收入的新型农业经营主体，是农业新质生产力的第一要素，为推动乡村振兴、实现农业现代化提供人才保障。本文将从劳动者素质、劳动生产率和劳动者意识这 3 个维度衡量农业新质劳动者。①劳动者素质。劳动者素质是农业新质劳动者所具有的人力资本，综合表现为健康素质、文化素质和科技素质，其中，健康素质是农业新质劳动者从事农业生产活动的物质基础，该指标可由农村居民人均医疗保健支出表示；文化素质反映了农业新质劳动者对科学文化知识的认知和掌握程度，将有助于新质劳动者突破内外部条件的限制，提高认识自然和改造自然的能力，该指标可由农村人口平均受教育年限衡量；科技素质则综合刻画了农业新质劳动者应用和推广农业新技术和新成果的能力，该指标具体由“R&D 人员×第一产业从业人员占总就业人数比重”测算。②劳动者效率。劳动者效率是对农业生产过程中投入产出关系的综合刻画，反映了农业新质劳动者的能力和水平。考虑数据的可获得性，本文从人均产值和人均收入两个角度刻画劳动者效率，其中人均产值用“农林牧渔业总产值/第一产业从业人员”衡量，人均收入则用农村居民人均可支配收入表示。③劳动者意识。劳动者意识反映了农业新质劳动者的主观能动性，

综合表现为农业新质劳动者的就业意识和创新意识。本文用农村劳动力转移率和农业植物新品种权申请数分别作为就业意识和创新意识的测度指标。

农业新质劳动资料是指经过改造升级的具有数字化、智能化功能的农业基础设施、农业机械设备和农业生产工具等。本文将从新基础设施和新生产工具这 2 个维度衡量农业新质劳动资料。①新基础设施。以宽带网络和计算机设备为代表的信息化、数字化基础设施是促进农业新质生产力形成与发展的重要保障，综合表现为农村网络建设水平、农村计算机普及率、农村智能手机普及率和农业气象观测业务等方面。在指标衡量方式上，本文分别利用农村宽带接入户数、农村居民家庭平均每百户年末计算机拥有量、农村居民家庭平均每百户年末移动电话拥有量和农业气象观测站衡量上述新基础设施的各具体指标。②新生产工具。高精尖、数智化的农业新生产工具可降低农业产业链中各环节的资源消耗，从而提高农业产业效率。考虑数据的可获得性因素并结合农业生产实际，本文主要从农业机械、农业电力和农业水利这 3 个维度衡量新生产工具。

农业新质劳动对象作为农业新质生产力的基础，是与农业新技术、新产业和新业态相适应的劳动对象[2]，本文主要从新质产业与绿色发展两方面衡量农业新质劳动对象。①新质产业。新质生产力通过将新技术、新要素和新设备引入农业，有利于优化农业产业结构，完善农业产业体系，培育和发展有机农业、绿色农业和数字农业等面向未来的新质产业。在具体指标衡量方式上，本文分别利用有机农产品认证产品数、绿色食品认证产品数和数字普惠金融指数表征有机农业、绿色农业和数字农业。②绿色发展。农业新质生产力是一种符合新发展理念，面向未来的先进生产力，必然以绿色、低碳和可持续发展为底色。考虑数据的可获得性，本文从农业面源污染和农业碳排放两方面衡量农业环境污染对农业绿色发展的影响。具体来说，本文采用单元调查评估方法对通过地表径流和农田排水等途径汇入水体的化学需氧量、总氮和总磷进行核算，并进一步将其转化为农业面源污染等标污染负荷。此外，本文通过将各类农业碳源与其碳排放系数的乘积进行加总的方式核算农业碳排放，并根据韩海彬[36]的研究确定各类碳源因子以及相应的农业碳排放系数。

综上，本文构建包含 3 个一级指标、7 个二级指标和 19 个三级指标的农业新质生产力评价指标体系，具体见表 1。

表 1　农业新质生产力评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of agricultural new quality productivity

一级指标	二级指标	三级指标	衡量方式	属性
农业新质劳动者	劳动者素质	健康素质	农村居民人均医疗保健支出	正向
		文化素质	农村人口平均受教育年限	正向
		科技素质	R&D 人员×第一产业从业人员占总就业人数比重	正向
	劳动生产率	人均产值	农林牧渔业总产值/第一产业从业人员	正向
		人均收入	农村居民人均可支配收入	正向
	劳动者意识	就业意识	农村劳动力转移率	正向
		创新意识	农业植物新品种权申请数	正向
农业新质劳动资料	新基础设施	农村网络建设水平	农村宽带接入户数	正向
		农村计算机普及率	农村居民家庭平均每百户年末计算机拥有量	正向
		农村智能手机普及率	农村居民家庭平均每百户年末移动电话拥有量	正向
		农业气象观测业务	农业气象观测站	正向
	新生产工具	农业机械化水平	农业机械总动力/农作物播种面积	正向
		农业电力化水平	农村用电量/农作物播种面积	正向
		农业水利化水平	有效灌溉面积/农作物播种面积	正向
农业新质劳动对象	新质产业	有机农业	有机农产品认证产品数	正向
		绿色农业	绿色食品认证产品数	正向
		数字农业	数字普惠金融指数	正向
	绿色发展	农业面源污染	采用单元调查评估方法进行核算	负向
		农业碳排放	将各类农业碳源与其碳排放系数的乘积进行加总	负向

在构建农业新质生产力评价指标体系的基础上，本文利用“纵横向”拉开档次法对中国各省域农业新质生产力进行综合评价。此外，为进一步刻画时间因素对农业新质生产力的影响，并反映农业新质生产力评价指标体系中各指标数据的发展趋势，本文按照唐孝文等[37]的思路，对基于“纵横向”拉开档次法测度所得的农业新质生产力进行二次加权。

2.1.2 农业 GTFP 指标体系构建及测度

为从农业资源利用、农业经济增长和农业环境保护等维度全面解析农业 GTFP 的本源特征，本文将从农业资源投入、农业期望产出和农业非期望产出这 3 个维度构建农业 GTFP 投入产出指标体系。在投入指标选取上，将农作物总播种面积表示土地投入指标；将第一产业从业人员表示劳动力投入指标；将农业机械总动力表示农业机械投入指标；将按照折纯法计算的实际用于农业生产的化肥数量表示化肥投入指标。在期望产出指标选取上，用不变价格的农林牧渔业总产值表示期望产出指标。在非期望产出指标选取上，主要考虑在农业生产过程中产生的农业面源污染和农业碳排放两类农业污染排放物。各指标的详细解释及核算过程

见韩海彬[36]的研究。此外，鉴于 Global Malmquist-Luenberger 指数模型的优良特性[38]，本文在构建农业 GTFP 投入产出指标体系的基础上，利用该模型对农业 GTFP 进行测度。

2.2 研究方法

2.2.1 修正的引力模型

本文基于耦合协调度模型对农业新质生产力与农业GTFP协调发展水平进行测度[39]，在此基础上利用修正的引力模型测度农业新质生产力与农业GTFP协调网络的空间关联强度，计算公式如下[40]：

$$R_{ij}=k_{ij}\frac{\sqrt[3]{P_iG_iM_i}\sqrt[3]{P_jG_jM_j}}{D_{ij}^2},\ k_{ij}=\frac{M_i}{M_i+M_j} \tag{1}$$

式中，R_{ij}表示省域i在农业新质生产力与农业GTFP协调发展方面对省域j的影响力，以刻画不同省域农业新质生产力与农业GTFP协调网络的空间关联强度；P_i和P_j分别表示省域i和j的第一产业就业人员；G_i和G_j分别表示省域i和j的农林牧渔业总产值；M_i和M_j分别表示省域i和j的农业新质生产力与农业GTFP协调发展水平；K_{ij}表示调节系数，由不同省域的农业新质生产力与农业GTFP协调发展水平计算所得；D_{ij}表示不同省域的省会城市间距离。

为排除省域间弱关联关系的干扰，本文基于林金萍等[41]的研究，以各省域空间关联矩阵的空间关联强度均值作为阈值，将R_{ij}转化为有向二值空间关联矩阵B_{ij}，具体公式如下：

$$b_{ij}=\begin{cases}1, & r_{ij}>u^*\\ 0, & r_{ij}\le u^*\end{cases} \tag{2}$$

式中，b_{ij}和r_{ij}分别表示矩阵B_{ij}和R_{ij}的元素；$u^*=\frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}r_{ij}$ 为各省域空间关联矩阵的空间关联强度均值。当$r_{ij}>u^*$时，b_{ij}=1，表明省域i和j之间存在明显的空间关联关系；否则，省域i和j之间不存在明显的空间关联关系。

2.2.2 社会网络分析方法

采用社会网络分析法从整体网络特征、个体网络特征及网络内部结构 3 个维度对中国农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络进行深入分析。整体网络特征指各个节点及其交互关系所构成的整个关联网络的结构特征，选取网络密度、网络关联度、网络等级度等指标来衡量。个体网络特征刻画了各节点在协调网络中的地位，通常采用中心性理论进行分析，具体可选取度数中心度、接近中心度和中介中心度等指标衡量。网络内部结构分析通常采用基于块模型进行空间聚类的方式，揭示协调网络内部结构状态及各板块间的传递机制。借鉴相关研究[42]，将中国农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的板块类型划分为“净受益”、“净溢出”、“双向溢出”和“孤立者”这 4 个板块。各指标具体表达式及详细含义见文献[43,44]，限于篇幅本文不再赘述。

2.3 数据来源

考虑到数据可获得性和口径一致性等因素，本文实证研究不考虑西藏和港澳台地区，具体以2013~2022年中国30个省域的面板数据为研究样本，并依据国家统计局的相关标准，将全国划分为东、中、西部三大地区。本文所用数据主要来源于《中国农村统计年鉴》《中国农业统计资料》《中国统计年鉴》《绿色食品统计年报》《有机食品统计数据》和EPS数据平台、各省域统计年鉴以及国家青藏高原科学数据中心(http://data.tpdc.ac.cn)等。

3 结果与分析

3.1 农业新质生产力与农业GTFP协调网络构建

基于修正的引力模型构建中国省域农业新质生产力与农业GTFP协调网络。本文选择期末年作为代表年份，利用Gephi软件对其协调网络进行可视化处理（图2）。其中，节点间的连线表示省域间农业新质生产力与农业GTFP协调发展的空间关联关系，连线的宽度和箭头方向分别反映了省域间农业新质生产力与农业GTFP协调发展的关联强度与关联方向。

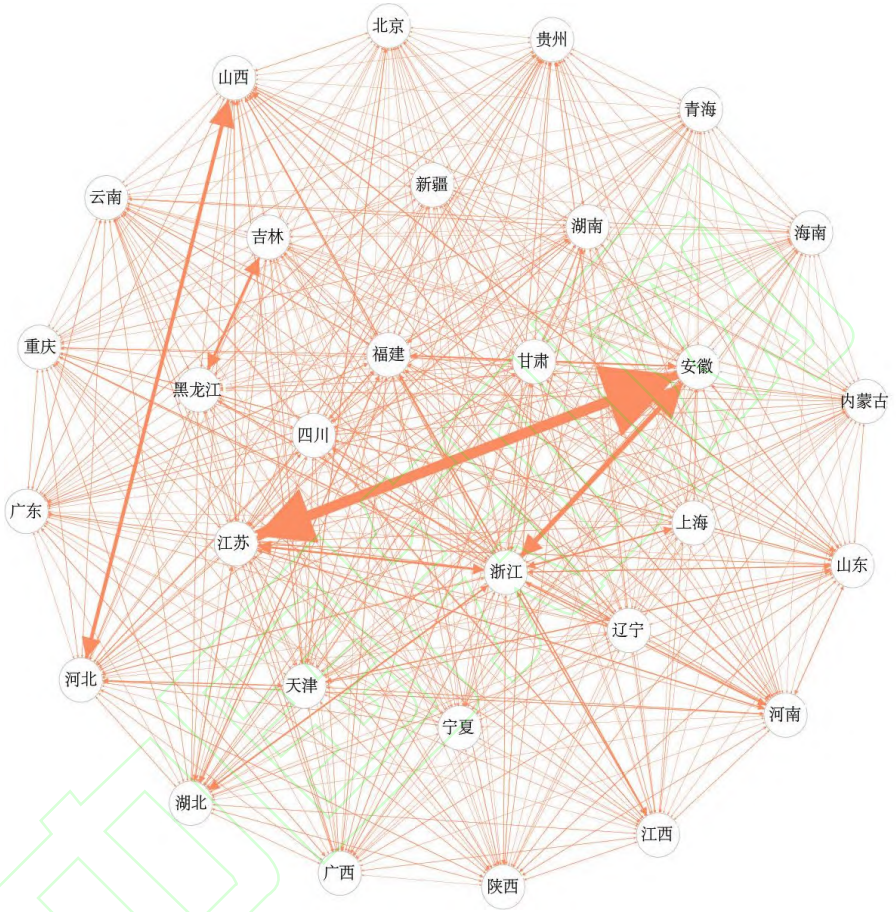

图 2 2022 年中国各省域农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的空间关联强度

Fig.2 Strength of spatial correlation of coordinated network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP across provinces in China in 2022

由图 2 可知，中国各省域农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的空间关联关系整体呈现多线程、多流向和多域面特征，不仅邻近省域通过要素交互产生空间关联关系，而且非邻近省域也通过跳跃式联动产生空间传递效应。首先，强联系普遍存在于地理位置邻近地区，如河北与山西、黑龙江与吉林、江苏与浙江、浙江与安徽等相邻省域之间的关联效应尤为显著。其次，诸如福建与浙江，山西与山东等非邻近省域间的协同互动，进一步表明劳动力、资本和技术等农业生产要素逐渐克服空间固着性，突破时空掣肘，实现了跨区域流动，在协调网络中形成“多点开花”局面。

3.2 农业新质生产力与农业GTFP协调网络演化特征分析

3.2.1 整体网络结构特征

利用Ucinet软件测度考察期内农业新质生产力与农业GTFP协调网络的整体特征指标值（表2），并从网络密度、空间网络关联性等维度揭示中国农业新质生产力与农业GTFP协调网络的整体特征及演变趋势。

表 2　农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络整体特征

Table 2 Overall characteristics of the coordination network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP

年份	网络密度	关联关系数	网络关联度	网络等级度	网络效率	互惠性
2013	0.206	179	0.869	0.000	0.812	0.925
2014	0.206	179	0.869	0.000	0.812	0.925
2015	0.207	180	0.869	0.000	0.812	0.957
2016	0.209	182	0.869	0.000	0.812	0.957
2017	0.209	182	0.869	0.000	0.809	0.936
2018	0.208	181	0.869	0.000	0.812	0.946
2019	0.210	183	0.869	0.000	0.806	0.926
2020	0.211	184	0.933	0.069	0.820	0.917
2021	0.213	185	0.933	0.069	0.818	0.907
2022	0.215	187	0.933	0.069	0.815	0.908

（1）网络密度　由表2可知，考察期内农业新质生产力与农业GTFP协调网络的空间关联关系逐渐增强，具体表现为网络密度由2013年的0.206波动上升至2022年的0.215，年均增长0.476%；网络关系数由2013年的179条攀升至2022年的187条，年均增长0.487%。需要注意的是，虽然协调网络的网络关系数与网络密度均呈上升趋势，但与协调网络中最大可能的网络关系数和网络密度仍存在较大差距。这表明随着资本、劳动、技术等农业生产要素空间流动的不断加强，省域间空间关联关系逐渐趋于紧密，但就数值而言各省域间空间合作潜力仍存在较大提升空间。因此，需进一步加强省域间的资源流通与共享，从而逐渐突破网络联通藩篱，提高协调网络的关联程度。

（2）空间网络关联性　由表2可知，考察期内网络关联度一直维持在较高水平且呈现稳定上升趋势，表明协调网络中各节点间的可达性持续向好。同时，互惠性均维持在0.9以上，说明大部分省域在协调网络中存在直接或间接的联系。需要注意的是，考察期内网络关联度始终小于1，说明个别孤悬于网络之外的节点从未参与协调网络互动。就网络等级度而言，考察期内协调网络中省域间的非对称可达程度较低，说明中国农业新质生产力与农业GTFP协调网络的等级分化不明显，各省域间存在较强的空间互动效应。此外，考察期内网络效率总体较高，始终处于0.806~0.820区间，可见农业新质生产力与农业GTFP协调网络的冗余路径较少，部分中心省域作为核心节点在协调网络中发挥着关键作用。然而，这也导致协调网络的溢出路径相对单一，整体网络稳定性较差。

3.2.2 个体网络结构特征

整体网络结构只能从宏观层面刻画农业新质生产力与农业GTFP协调网络的发展特征，无法深入揭示各省域在协调网络中的地位和角色。鉴于此，选取初始年和期末年这2个时间节点对中国省域农业新质生产力与农业GTFP协调网络的中心性特征进行对比分析，以明晰各省域在协调网络中的地位和作用，结果见表3。

表 3　2013 和 2022 年农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络中心性分析 1)

Table 3 Centrality analysis of the coordination network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP in 2013 and 2022

省域	2013 年						2022 年					
	D_O	D_I	C_{RD}	D_{CO}	D_{CI}	C_{RB}	D_O	D_I	C_{RD}	D_{CO}	D_{CI}	C_{RB}
北京	3	3	10.345	0.367	0.363	0.000	3	3	10.345	0.377	0.377	0.000
天津	3	3	10.345	0.367	0.363	0.000	3	3	10.345	0.377	0.377	0.000
河北	12	11	39.655	0.509	0.475	12.028	11	11	37.931	0.492	0.509	10.073
山西	5	5	17.241	0.403	0.397	0.175	5	5	17.241	0.403	0.420	0.153
内蒙古	4	4	13.79	0.382	0.382	0.000	4	4	13.793	0.397	0.392	0.000
辽宁	4	4	13.793	0.382	0.377	12.315	4	4	13.793	0.392	0.392	12.562
吉林	2	2	6.897	0.287	0.284	0.000	2	2	6.897	0.293	0.290	0.000
黑龙江	2	2	6.897	0.287	0.284	0.000	2	2	6.897	0.293	0.290	0.000
上海	3	2	8.621	0.333	0.326	0.000	2	2	6.897	0.337	0.333	0.000
江苏	10	10	34.483	0.46	0.453	3.797	10	10	34.483	0.475	0.475	4.674
浙江	9	8	29.310	0.453	0.426	2.139	9	8	29.310	0.468	0.439	2.694
安徽	9	10	32.759	0.453	0.453	1.757	9	9	31.034	0.468	0.468	0.782
福建	7	7	24.138	0.403	0.397	0.536	7	7	24.138	0.403	0.414	0.543
江西	9	9	31.034	0.46	0.453	1.780	9	9	31.034	0.475	0.475	1.884
山东	14	14	48.276	0.527	0.518	19.962	15	14	50.000	0.547	0.558	22.716
河南	12	12	41.379	0.500	0.500	6.672	14	12	44.828	0.527	0.527	8.899
湖北	12	12	41.379	0.509	0.509	7.238	14	12	44.828	0.527	0.537	8.209
湖南	13	14	46.552	0.518	0.527	16.809	13	14	46.552	0.518	0.558	12.584
广东	7	6	22.414	0.403	0.397	4.761	7	6	22.414	0.403	0.408	4.283
广西	5	6	18.966	0.382	0.408	3.543	6	6	20.690	0.397	0.420	3.379
海南	2	2	6.897	0.302	0.312	0.000	2	2	6.897	0.312	0.319	0.000
重庆	3	4	12.069	0.377	0.397	0.301	5	6	18.966	0.397	0.433	0.709
四川	9	8	29.310	0.446	0.433	11.129	9	10	32.759	0.446	0.527	10.754
贵州	4	6	17.241	0.337	0.408	1.090	5	7	20.690	0.392	0.433	0.901
云南	3	3	10.345	0.333	0.333	0.151	3	4	12.069	0.333	0.377	0.055
陕西	9	8	29.310	0.475	0.468	9.827	9	9	31.034	0.475	0.509	9.173
甘肃	3	3	10.345	0.363	0.354	6.404	3	5	13.793	0.363	0.426	9.729
青海	1	1	3.448	0.274	0.269	0.000	1	1	3.448	0.274	0.305	0.000
宁夏	0	0	0.000	0.167	0.167	0.000	1	0	1.724	0.284	0.167	0.000
新疆	0	0	0.000	0.167	0.167	0.000	0	0	0.000	0.167	0.167	0.000
均值	5.967	5.967	20.575	0.388	0.387	4.080	6.233	6.233	21.494	0.400	0.410	4.159

1）D_O、D_I、C_{RD}、D_{CO}、D_{CI}与C_{RB}分别表示点出度、点入度、度数中心度、出接近中心度、入接近中心度与中介中心度

（1）度数中心度　由表3可知，考察期内度数中心度总体呈现上升趋势，其均值由2013年的20.575上升至2022年的21.494，表明中国农业新质生产力与农业GTFP协调网络逐渐趋于绵密化。具体来看，考察期内山东、湖南、湖北、河南和河北等省域的度数中心度均值位居前五，且其点入度和点出度均排名前列，说明上述省域与其他地区关联数量最多，在协调网络中占据主导地位。究其原因，以上省域作为全国重要的粮食生产基地，具备良好的农业生产条件和政策环境，不仅能够有效吸引邻近省域的先进技术和优质资源，而且可以积极促进生产要素自由流动，实现跨区域互动与协作。相比之下，新疆、宁夏和青海等省域的度数中心度较

低，主要由于这些省域地理位置偏远且经济发展相对滞后，在协调网络中处于边缘位置，因此与其他省域的空间关联程度较弱。

（2）接近中心度　由表3可知，在代表年份中，山东、湖南、湖北、河南和河北等省域的入接近中心度和出接近中心度均排名前列，表明以上省域能够较迅速的与其他地区产生空间关联，在协调网络中处于“中心行动者”地位。究其原因，上述省域作为粮食主产区可与粮食主销区、产销平衡区建立跨区域农产品产销合作机制，能够更容易与其他省域产生关联关系。此外，不难发现协调网络中接近中心度与度数中心度排名前列的省域基本一致，进一步证实了以上省域在协调网络中处于核心节点位置的研究结论。此外，新疆、宁夏和青海等欠发达地区受地理位置偏远、农业基础设施落后以及财政支持力度不足等多重因素的制约，难以实现资源要素跨区域流动，导致接近中心度较低，在协调网络中扮演“边缘行动者”角色。

（3）中介中心度　由表3可知，在时序特征上，考察期内中介中心度总体呈现微弱上升趋势，其均值由2013年的4.080上升至2022年的4.159，可见农业新质生产力与农业GTFP协调网络中核心节点的主导作用逐渐增强。在空间分布上，中介中心度极大值与极小值并存，总体呈现非均衡分布特征。其中，山东、湖南、辽宁、河北和四川等省域的中介中心度排名前列，表明上述省域在促进农业生产要素流动方面具有较强控制力，能够有效推动区域间建立空间交互关系，在协调网络中发挥着重要的“桥梁”和“纽带”作用。尤其山东省凭借独特的区位优势，在协调网络中起到“承东启西、连南贯北”的关键作用，其中介中心度远超同期其他省域。此外，考察期内中介中心度为0的省域有10个，这些省域在协调网络中存在被边缘化的风险，因此应加强与其他地区间的关联互动。

3.3 块模型分析

3.3.1 块模型中板块类型划分

以期末年为例，基于块模型进行空间聚类以揭示协调网络的内部结构特征。参考马越越等[45]的思路，并基于Ucinet软件中的CONCOR算法，设置最大切分深度为2，集中标准为0.2，将协调网络中的省域划分为4个板块，并计算得到各板块的溢出效应，结果见表4。

表 4　农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络各板块溢出效应分析 1)

Table 4 Analysis of spillover effects of each block of the coordination network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP

板块	接收关系矩阵/个				成员数目	接收板块外关系数	溢出板块外关系数	期望内部关系比例/%	实际内部关系比列/%	板块类型
	I	II	III	IV						
I	18	16	2	3	7	21	21	20.690	46.154	“双向溢出”板块
II	16	71	0	15	10	26	31	31.034	69.608	“净溢出”板块
III	2	0	2	2	5	3	4	13.793	33.333	“孤立者”板块
IV	3	10	1	26	8	20	14	24.138	65.000	“净受益”板块

1）期望内部关系比例＝（板块内省域个数-1）/（网络中所有省域个数-1）；实际内部关系比例＝内部板块数/（溢出板块数+内部板块数）

板块类型划分结果显示，考察期内板块I包括北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁和陕西这7个省域；板块II由江西、上海、江苏、山东、安徽、福建、湖北、湖南、河南和浙江这10个省域组成；板块III包括吉林、黑龙江、新疆、青海和宁夏这5个省域；板块IV包括广西、贵州、云南、广东、甘肃、海南、重庆和四川这8个省域。

由表4可知，农业新质生产力与农业GTFP协调网络关系共有187个，其中板块内关系数为117个，板块间关系数为70个，占比分别为62.57%和37.43%，可见协调网络空间溢出效应以板块内溢出为主，板块间联系相对稀疏。具体来看，在板块I中，内部关系数为18个，接收其

他板块的溢出关系数及向其他板块溢出关系数均为21个，且实际内部关系比例大于期望内部关系比例，因此板块I属于“双向溢出”板块。板块II接收板块外的关系数为26个，向板块外溢出的关系数为31个，在空间关联网络中承担着动力源的角色，因此板块II属于“净溢出”板块。板块III接收和溢出关系数均较少，未与其他板块建立紧密的空间关联，倾向于孤立，因此属于“孤立者”板块。板块IV接收板块外关系数为20个，向其他板块溢出的关系数为14个，接收关系数明显大于溢出关系数且实际内部关系比例大于期望内部关系比例，因此属于“净受益”板块。

3.3.2 板块间传递路径分析

为分析各板块间的传递机制与空间交互关系，借助Ucinet软件计算出各板块的网络密度矩阵。进一步以期末年整体网络密度0.215为临界值，若各板块的网络密度大于0.215，则赋值为1，反之则赋值为0，由此得到像矩阵，结果见表5。

表 5　农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络各板块密度矩阵与像矩阵

Table 5 Density matrix and image matrix of each block of the coordination network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP

板块	密度矩阵				像矩阵			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
I	0.429	0.229	0.057	0.054	1	1	0	0
II	0.229	0.789	0.000	0.188	1	1	0	0
III	0.057	0.000	0.100	0.050	0	0	0	0
IV	0.054	0.125	0.025	0.464	0	0	0	1

由表 5 可知，像矩阵中对角线元素大多为 1，表明多数板块内部具有显著关联性，呈现明显的俱乐部效应。具体来看，板块I、板块II内部互动均较为频繁且二者之间存在双向传导关系。其中，板块I、板块II以东、中部地区为主，依托其区位优势及政策支持，不仅可以在各自板块内部实现良好互动，并且能对邻近地区产生明显的溢出效应。由此可见，东、中部地区各省域间农业生产要素自由流动的格局正逐步形成。从板块间的关联来看，尽管处于板块II的山东、湖北等地区可凭借其农业资源禀赋和农业产业集聚优势向其他板块产生溢出效应，但由于缺少“经纪人”板块，板块间的空间关联关系并未构建起一个完整的传递路径。因此，加剧了板块III在协调网络中被边缘化的风险，导致其内部成员互动缺乏外部环境支撑，而且难以形成对其他板块的显著溢出效应。板块IV以西部地区为主，属于净受益板块，该板块内部各省域间保持良好的互动关系，但由于自身发展路径桎梏、空间传导机制僵化等多重不利因素叠加，导致其未对东、中部地区的涓滴效应产生正向反馈机制，在协调网络中难以建立板块间关联关系。因此，应加大对西部地区的支持力度，助推“全国一盘棋”联动效应形成，促进区域协同有序发展。

3.4 农业新质生产力与农业GTFP协调网络的驱动因素分析

3.4.1 驱动因子选择与模型构建

农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的形成是农业生产要素跨区域交互、多重因素综合作用的结果，既包括外在经济社会因素，又包括内在资源禀赋条件。参考已有研究[46,47]，本文从空间区位、经济社会、科技创新和自然资源等维度选取空间邻接关系、城镇化水平、农业产业结构、财政支农力度、科技创新水平、干燥度和环境规制力度等因素作为农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的驱动因子，并建立如下 QAP 回归模型：

$$R = f(\mathrm{dis,urb,str,fun,inn,dry,env}) \tag{3}$$

式中，各变量均为“关系数据”，其中被解释变量 *R* 为农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的空间关联矩阵；解释变量 dis、urb、str、fun、inn、dry 和 env 均为各变量在不同省域间的绝对差值构造的差异矩阵。具体来说，① dis 为空间邻接矩阵，当省域相邻时矩阵元素设为 1，否则设为 0；② urb 为城镇化水平差异矩阵，以城镇常住人口占总人口的比重表征；③ str 为农业产业结构差异矩阵，以农林牧渔业总产值占地区生产总值的比重表征；④ fun 为财政支农力度差异矩阵，以农林水事务支出占一般公共预算支出的比重表征；⑤ inn 为科技创新水平差异矩阵，以每万人发明专利申请授权量表征；⑥ dry 为干燥度差异矩阵，根据中国 1km 逐月潜在蒸发和降水量计算得到；⑦ env 为环境规制力度差异矩阵，根据政府工作报告中与环境相关词汇出现的频次占报告总字数的比重计算得到。

3.4.2 QAP 相关分析

利用 Ucinet 软件对农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的空间关联矩阵与驱动因素矩阵进行 QAP 相关分析（表 6）。由表 6 可知，除环境规制力度差异和科技创新水平差异外，空间邻近性、城镇化水平差异、财政支农力度差异、产业结构差异和干燥度差异均通过了显著性检验，表明绝大部分驱动因素均与协调网络的形成密切相关。

表 6　QAP 相关分析结果

Table 6　QAP correlation analysis results

驱动因素	实际相关系数	显著性水平	相关系数均值	标准差	最小值	最大值	$P \geqslant 0$	$P \leqslant 0$
dis	0.627	0.000	0.000	0.048	–0.151	0.206	0.000	1.000
urb	–0.149	0.014	0.001	0.067	–0.230	0.244	0.986	0.014
str	–0.291	0.000	–0.001	0.057	–0.211	0.170	1.000	0.000
fun	–0.234	0.000	0.000	0.060	–0.234	0.192	1.000	0.000
inn	–0.072	0.191	0.000	0.079	–0.240	0.269	0.810	0.191
dry	–0.201	0.006	0.000	0.087	–0.253	0.279	0.994	0.006
env	–0.070	0.138	0.000	0.064	–0.281	0.210	0.865	0.138

3.4.3 QAP 回归分析

考虑到空间关联矩阵的稳定性，本文将考察期内各变量进行均值化处理，并通过设置 5000 次随机置换次数对中国农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的驱动因素进行 QAP 回归分析（表 7）。结果显示调整后的 R^2 为 0.459，且通过了 1%的显著性检验，拟合效果良好。

表 7　农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络驱动因素的 QAP 回归分析结果

Table 7 Results of QAP regression analysis of driving factors of the coordination network of agricultural new quality productivity and agricultural GTFP

影响因素	非标准化回归系数	标准化回归系数	显著性水平	概率 1	概率 2
dis	0.654	0.574	0.000	0.000	1.000
urb	–0.060	–0.072	0.141	0.931	0.069
str	–0.107	–0.131	0.002	0.999	0.001
fun	–0.080	–0.098	0.027	0.986	0.014
inn	0.040	0.045	0.449	0.219	0.781
dry	–0.135	–0.144	0.026	0.993	0.007
env	–0.064	–0.078	0.085	0.957	0.043
Intercept	0.268	0.000			
R^2		0.463			
Adj-R^2		0.459			

由表 7 可知，空间邻接矩阵对农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的形成具有最显著的正向促进作用；而农业产业结构差异矩阵对农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的负向作用最为显著，可见空间邻近性与农业产业结构是影响协调网络的关键因素。此外，除城镇化水平差异和科技创新水平差异外，其他控制变量均通过了显著性检验。具体来说：①空间邻接矩阵的回归系数在 1%的水平上显著为正，表明空间邻近性可以强化省域间农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的空间关联效应。究其原因，相邻省域间具有交通运输成本优势，农业生产要素更容易实现跨区流动，进而有利于农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的形成。②城镇化水平差异矩阵的回归系数为负但未通过显著性检验，原因可能在于随着城乡一体化进程加快，城乡发展差异逐渐缩小，导致城镇化水平对农业生产要素的跨区域溢出未产生显著影响。③农业产业结构差异矩阵的回归系数在 1%的水平上显著为负，表明农业产业结构差异越小，越有利于驱动农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的形成。究其原因，相似的农业产业结构使得省域间能够更有效的共享和利用劳动力、技术和信息等资源，进而有利于降低生产成本，增强农业生产过程中的规模经济效应和技术经济效益，最终扩大农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的范围。④财政支农力度差异矩阵的回归系数在 5%的水平上显著为负，表明财政支农力度差异越大，省域间农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的空间关联性越弱。究其原因，财政支农力度较大的地区具有持续更新农业生产技术、完善农业基础设施的资金条件，可能会减少对其他地区农业生产要素的依赖，从而降低协调网络的空间关联性。⑤科技创新水平差异矩阵的回归系数为正但未通过显著性检验，究其原因，在农业科技创新过程中仍存在农业科研成果转化低效、农业技术推广受限以及农业科技人才供给不足等问题，进而导致农业科技创新水平对农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的影响效应尚未凸显。⑥干燥度差异矩阵的回归系数在 5%的水平上显著为负，表明干燥度差异对农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的形成具有显著的负向影响。究其原因，农业属于弱质性产业，受气候条件、自然环境等因素影响较大，而干燥度作为表征气候条件的重要指标可能会影响农业生产的规模化和集约化水平，从而制约农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络形成。⑦环境规制力度差异矩阵的回归系数在 10%的水平上为显著为负，即环境规制差异越小，越有利于农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的形成。究其原因，环境规制作为政府合理介入农业环境治理的重要举措，通常伴随资本、技术和信息等资源的外溢[48]，省域间环境规制力度趋同能够有效促进要素流动、减少制度摩擦，进而驱动协调网络的形成与演进。

4 建议

（1）树立系统思维，打破网络联通藩篱。中国农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络虽已初步形成，但各网络节点间仍存在较大合作潜力，因此需突破网络联通壁垒，优化整体空间关联格局。一方面，要坚持以提高空间关联互动强度、拓宽资源溢出渠道为导向，打破农业生产要素跨区域流动壁垒。另一方面，应坚持产学研深度融合，加强农业科技研发与推广，培育农业经济新动能，为农业新质生产力与农业 GTFP 协调发展创造有利条件，构建“全域联动、协同高效、动态适配”的农业高质量发展新格局。

（2）因地制宜实施差异化发展路径，加强区域空间协同效应。各省域在协调网络中的地位和功能具有显著差异，需锚定地域特色，发挥各地区比较优势，并加强区域空间协同性。具体而言，东、中部地区应充分利用其区位优势和农业资源禀赋优势，发挥示范引领作用，逐步扩大溢出范围，实现板块间空间溢出效应最大化。例如，山东、湖南和湖北等东、中部地区属于“净溢出”板块，且处于协调网络核心位置，对农业生产要素的支配作用较强，在农业现代化管理方面具有相对丰富的技术和经验积累，可凭借其自身优势将智慧农业系统、生物育种技术和农产品精深加工等先进农业技术及管理经验定向输送至西部地区，进一步提高其辐射带动能力，并形成头雁效应。西部地区可依托“东数西算”工程，加速弥合与东部地区之间的数字鸿沟。此外，西部地区还需聚焦于内生动力培育，通过开展农业数字技术培训、设立农业绿色转型专项补贴等方式，逐步破解自身发展桎梏，逐渐形成“东部引领—西部追赶”的梯度协同发展格局。

（3）多要素协同共进，助推协调网络结构优化与演进。统筹考虑协调网络形成与演化的多元驱动因素，以实现多要素协同增益。首先，强化邻近省域间空间关联效应。通过搭建资源共享平台、制定并实施战略合作机制等途径，进一步降低农业生产要素跨区域流动成本，以强化邻近省域间空间关联效应。其次，打破农业科技创新桎梏。可利用数字孪生技术搭建虚拟空间交互平台，将先进地区的农业前沿技术远程输送到欠发达地区，从而打破制约农业科技创新的桎梏，形成“远程操控+数字链接”双轮驱动要素流动新格局。最后，发挥要素协同效应。缩小产业结构、财政支农力度、环境规制力度等方面的区域差异，发挥多要素协同促进作用，助推协调网络结构优化与演进。

5 结论

（1）从整体网络结构看，农业新质生产力与农业GTFP协调网络具有复杂的网络结构形态。其中，网络密度和网络关系数整体呈上升趋势，网络关联度一直维持在较高水平但始终小于1，表明省域间关联关系逐渐增强，但仍存在个别节点未参与协调网络互动。此外，网络效率总体较高，协调网络的溢出路径相对单一，整体网络稳定性有待进一步提升。

（2）从个体网络结构看，各省域在农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络中扮演着不同角色。其中，山东、湖南、湖北和河南等省域与其他省域空间关联关系密切，在协调网络中处于核心主导地位；新疆、宁夏和青海等省域与其他省域空间关联关系稀疏，在协调网络中处于边缘位置；山东、湖南、辽宁、河北和四川等省域作为促进资源要素跨区域流动的关键枢纽，在协调网络中发挥着重要的“桥梁”和“纽带”作用。

（3）块模型分析结果显示，中国农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络可分为“双向溢出”、“净溢出”、“孤立者”和“净受益”这 4 个功能板块，表明协调网络中各板块具有显著的功能分异特征。其中，以北京、天津和河北等省域为代表的“双向溢出”板块和以江西、上海和江苏等省域为代表的“净溢出”板块，不仅可在各板块内部实现良好互动，并且能对邻近地区产生明显溢出效应；以吉林、黑龙江和新疆等省域为代表的“孤立者”板块在协调网络中处于边缘位置，未对其他板块形成显著溢出效应；以广西、贵州和云南等省域为代表的“净受益”板块具有良好的内部互动关系，但在承接其他板块资源溢出时未产生正向反馈机制，难以建立板块间关联关系。

（4）从 QAP 分析结果看，中国农业新质生产力与农业 GTFP 协调网络的形成是农业生产要素跨区域交互、多重因素综合作用的结果，既包括外在经济社会因素，又包括内在资源禀赋条件。具体来说，空间邻近性、农业产业结构差异、财政支农力度差异、干燥度差异与环境规制力度差异均对协调网络具有显著影响，但城镇化水平差异和科技创新水平差异并未对协调网络的形成与演化产生明显驱动作用。

参考文献：

[1] 高静，朱金涛，李裕瑞，等．中国农业新质生产力的时空格局与强农效应[J]．地理学报，2025，**80**(5)：1386-1404．
Gao J, Zhu J T, Li Y R, *et al*. Spatio-temporal pattern of China’s new quality agricultural productive forces and their impact on agriculture[J]. Acta Geographica Sinica, 2025, **80**(5): 1386-1404.

[2] 杨和平，李红波．农业新质生产力对耕地利用生态效率的影响——以长江经济带为例[J]．中国土地科学，2024，**38**(11)：94-104．
Yang H P, Li H B. Impact of agricultural new quality productivity on ecological efficiency of cultivated land use: A case study of the Yangtze River Economic Belt[J]. China Land Science, 2024, **38**(11): 94-104.

[3] 曾鹏，覃意晗，周联超．中国城市新质生产力水平的测算及时空格局[J]．地理科学进展，2024，**43**(6)：1102-1117．
Zeng P, Qin Y H, Zhou L C. Measurement and spatiotemporal pattern of new quality productive forces level in Chinese cities[J]. Progress in Geography, 2024, **43**(6): 1102-1117.

[4] 杨颖．发展农业新质生产力的价值意蕴与基本思路[J]．农业经济问题，2024，(4)：27-35．
Yang Y. The value connotation and basic ideas of developing new quality agricultural productivity[J]. Issues in Agricultural Economy, 2024, (4): 27-35.

[5] 尹朝静，杨坤，田云．中国农业生态全要素生产率增长：经验事实、区域差异与动态演进[J]．中国农村经济，2024，(2)：20-43．
Yin C J, Yang K, Tian Y. China’s agricultural ecological total factor productivity growth in: empirical facts, regional differences, and dynamic evolution[J]. Chinese Rural Economy, 2024, (2): 20-43.

[6] 李旭辉，罗璇，朱启贵．因地制宜激活新质生产力发展的前因组态研究[J]．统计研究，2025，**42**(8)：3-18．
Li X H, Luo X, Zhu Q G. Research on the antecedent configuration of the development of new-quality productive forces: acting according to local conditions[J]. Statistical Research, 2025, **42**(8): 3-18.

[7] 朱学红，梁治朋，曾安琪，等．新质生产力发展背景下战略性金属资源全产业链配置效率研究综述[J]．资源科学，2025，**47**(7)：1420-1435．
Zhu X H, Liang Z P, Zeng A Q, *et al*. Review and prospects of allocation efficiency of strategic metal resources across entire industry chain in the context of new quality productive force development[J]. Resources Science, 2025, **47**(7): 1420-1435.

[8] 姜奇平．新质生产力：核心要素与逻辑结构[J]．探索与争鸣，2024，(1)：132-141．
Jiang Q P. New quality productivity: Core elements and logical structure[J]. Exploration and Free Views, 2024, (1): 132-141.

[9] 黄群慧，盛方富．新质生产力系统：要素特质、结构承载与功能取向[J]．改革，2024，(2)：15-24．
Huang Q H, Sheng F F. New productive forces system: Factor characteristics, structural bearing and functional orientation[J]. Reform, 2024, (2): 15-24.

[10] 胡洪彬．习近平总书记关于新质生产力重要论述的理论逻辑与实践进路[J]．经济学家，2023，(12)：16-25．
Hu H B. Theoretical logic and practical approach of general secretary Xi Jinping’s important discussion on new qualitative productivity[J]. Economist, 2023, (12): 16-25.

[11] 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 X H, Yang X X. The promoting high-quality agricultural development by accelerating the formation of new quality productivity[J]. Issues in Agricultural Economy, 2024, (4): 4-12.

[12] 卢鹏，黄媛媛．人工智能驱动新质生产力形成的生成逻辑、运行机制与实践进路[J]．重庆大学学报(社会科学版)，2024，**30**(4)：144-156．
Lu P, Huang Y Y. Artificial intelligence driving the formation of new qualitative productivity: Generative logic, operational mechanisms and practical approaches[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2024, **30**(4): 144-156.

[13] 李占平，王辉．数字新质生产力与实体经济高质量发展：理论分析与实证检验[J]．统计与决策，2024，**40**(10)：12-16．
Li Z P, Wang H. Digital new quality productivity and high-quality development of real economy: Theoretical analysis and empirical test[J]. Statistics & Decision, 2024, **40**(10): 12-16.

[14] 廖恒，邱志刚．金融助力新质生产力的长效机制研究[J]．理论与改革，2024，(3)：52-61．

Liao H, Qiu Z G. The long-effect mechanisms of new quality productive forces assisted by finance[J]. Theory and Reform, 2024, (3): 52-61.

[15] 刘志慧．新质生产力促进高质量发展：传导机制、关键环节与实践模式[J]．新疆社会科学，2024，(3)：34-42.
Liu Z H. New quality productivity for high-quality development: Transmission mechanisms, key links and practice models[J]. Social Sciences in Xinjiang, 2024, (3): 34-42.

[16] 马奔，仇勇．上市公司员工持股计划的“双刃剑”效应研究：基于公司不当行为的视角[J]．中国软科学，2024，(6)：190-201.
Ma B, Qiu Y. Research on the “Double-edged Sword” effect of employee stock ownership plan in listed companies: From the perspective of corporate misconduct[J]. China Soft Science, 2024, (6): 190-201.

[17] 汪亚楠，林采熠，孙小哲．知识产权保护与企业新质生产力——来自中国 A 股上市公司的经验证据[J]．现代财经(天津财经大学学报)，2025,**45**(3)：47-65.
Wang Y N, Lin C Y, Sun X Z. Intellectual property protection and new quality productive forces of enterprises: empirical evidence from Chinese A-share listed companies[J]. Modern Finance and Economics-Journal of Tianjin University of Finance and Economics, 2025, **45**(3): 47-65.

[18] 徐升艳，许晨晨，宿晓．城市土地资源配置效率对企业新质生产力的影响研究[J]．中国土地科学，2025，**39**(4)：82-92.
Xu S Y, Xu C C, Su X. Impact of allocative efficiency of urban land resources on the new quality productivity of enterprises[J]. China Land Science, 2025, **39**(4): 82-92.

[19] 廉晓梅，王希．农业新质生产力的理论内涵、现实困境与优化路径[J]．理论探讨，2025，(3)：162-168.
Lian X M, Wang X. Theoretical implications, practical challenges, and optimization pathways of new quality productivity in agriculture[J]. Theoretical Investigation, 2025, (3): 162-168.

[20] 张露，罗必良．农业新质生产力发展的技术逻辑：演进线索、现实瓶颈与推进策略[J]．天津社会科学，2025，(2)：95-104.
Zhang L, Luo B L.The technological logic of developing new-quality productivity in agriculture: evolutionary trajectories, current bottlenecks, and advancement strategies[J]. Tianjin Social Sciences, 2025, (2): 95-104.

[21] 刘亦文，欧阳莹，蔡宏宇．中国农业绿色全要素生产率测度及时空演化特征研究[J]．数量经济技术经济研究，2021，**38**(5)：39-56.
Liu Y W, Oyang Y, Cai H Y. Evaluation of China’s agricultural green TFP and its spatiotemporal evolution characteristics[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2021, **38**(5): 39-56.

[22] 方芳，张立杰，赵军．制度组态视角下提升农业绿色全要素生产率的多元路径探析——基于动态 QCA 的面板数据分析[J]．中国农村经济，2024，(2)：44-66.
Fang F, Zhang L J, Zhao J. Multiple paths of agricultural green total factor productivity improvement from the perspective of institutional grouping: A panel data analysis based on dynamic QCA[J]. Chinese Rural Economy, 2024, (2): 44-66.

[23] 杜建军，章友德，刘博敏，等．数字乡村对农业绿色全要素生产率的影响及其作用机制[J]．中国人口·资源与环境，2023，**33**(2)：165-175.
Du J J, Zhang Y D, Liu B M, *et al*. Impact of digital village construction on agricultural green total factor productivity and its mechanisms[J]. China Population, Resources and Environment, 2023, **33**(2): 165-175.

[24] 郭慧婷，倪志惠，秋瑞．数字化转型速率对企业全要素生产率的影响研究：基于新质生产力的视角[J]．科研管理，2024，**45**(12)：49-58.
Guo H T, Ni Z H, Qiu R. Research on the impact of digital transformation rate on the total factor productivity of enterprises: A study based on the perspective of new quality productivity[J]. Science Research Management, 2024, **45**(12): 49-58.

[25] 史丹，孙光林．数据要素与新质生产力：基于企业全要素生产率视角[J]．经济理论与经济管理，2024，**44**(4)：12-30.
Shi D, Sun G L. Data elements and new quality productive forces: A perspective from total factor productivity of enterprises[J]. Economic Theory and Business Management, 2024, **44**(4): 12-30.

[26] 刘静．以农业新质生产力提升农业绿色全要素生产率[J]．中州学刊，2024，(12)：23-29.
Liu J. Enhancing agricultural green total factor productivity with new agricultural quality productivity[J]. Academic Journal of Zhongzhou, 2024, (12): 23-29.

[27] 邹小华，高洋洋．以新质生产力发展提升全要素生产率探析[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版)，2025，**58**(1)：15-24.
Zou X H, Gao Y Y. Analysis on improving total factor productivity with the development of new quality productivity[J]. Journal of Jiangxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2025, **58**(1): 15-24.

[28] 蔡湘杰，贺正楚．新质生产力何以影响全要素生产率：科技创新效应的机理与检验[J]．当代经济管理，2024，**46**(10)：1-14.
Cai X J, He Z C. How new quality productive forces affect the total factor productivity: the mechanism and the test of the effect of scientific and technological innovation[J]. Contemporary Economic Management, 2024, **46**(10): 1-14.

[29] 郭海红，韩文燕．农业新质生产力何以促进农业绿色全要素生产率跃迁[J]．西南大学学报(社会科学版)，2024，**50**(6)：182-196.
Guo H H, Han W Y. Can agricultural new quality productivity promote the increase of agricultural green total factor productivity[J]. Journal of Southwest University(Social Sciences Edition), 2024, **50**(6): 182-196.

[30] 安宁．提升全要素生产率 促进新质生产力发展[N]．中国改革报，2024-09-27(002).

[31] 杨德龙．新质生产力以全要素生产率提升为核心[J]．经济，2024，(1)：34-35.
Yang D L.New quality productivity centers on enhancing total factor productivity.[J]. Economy, 2024, (1): 34-35.

[32] 戴小文，漆莹，蓝红星．“生产力—生产方式—生产关系”视域下新质生产力推动农业绿色转型的理论逻辑与实践路径[J]．四川师范大学学报(社会科学版)，2025，**52**(1)：87-95.
Dai X W, Qi Y, Lan H X. Theoretical logic and practical path of green transformation of agriculture promoted by new quality productivity forces from the perspective of “productivity-mode of production-relationships of production” [J]. Journal of Sichuan Normal University (Social Sciences Edition), 2025, **52**(1): 87-95.

[33] 高鸣，黄增．加快发展农业领域新质生产力的推进策略[J]．经济纵横，2024，(11)：46-54.
Gao M, Huang Z. Strategies for accelerating the development of new quality productive forces in agriculture[J]. Economic Review Journal, 2024, (11): 46-54.

[34] 周月书，尹梓鉴．农业保险是否促进了中国农业绿色发展？[J]．华中农业大学学报(社会科学版)，2024，(1)：49-61.
Zhou Y S, Yin Z J. Does agricultural insurance promote the green development of agriculture in China? [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2024, (1): 49-61.

[35] 王凯，刘美伦．中国省际共同富裕空间关联网络结构及驱动机制[J]．经济地理，2024，**44**(7)：1-12.
Wang K, Liu M L. Spatial correlation network and driving mechanism of provincial common prosperity in China[J]. Economic Geography, 2024, **44**(7): 1-12.

[36] 韩海彬．“两型农业”全要素生产率增长研究[M]．北京：中国社会科学出版社，2020.
Han H B. Research on total factor productivity growth of “two types of agriculture” [M]. Beijing: China Social Science Press, 2020.

[37] 唐孝文，曹雪瑞，陈鑫．基于“VHSD-EM”模型的专精特新“小巨人”企业数字化成熟度评价[J]．科技进步与对策，2025，**42**(3)：141-151.
Tang X W, Cao X R, Chen X. Digital maturity evaluation of SRDI “Little Giant” enterprises based on “VHSD-EM” Model[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2025, **42**(3): 141-151.

[38] Oh D H. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. Journal of Productivity Analysis, 2010, **34**(3): 183-197.

[39] 张爱婷，周俊艳，张璐，等．黄河流域城乡融合协调发展：水平测度、制约因素及发展路径[J]．统计与信息论坛，2022，**37**(3)：34-43.
Zhang A T, Zhou J Y, Zhang L, *et al*. Measurement, restrictive factors and development path of urban-rural integration coordinated development in Yellow River Basin[J]. Journal of Statistics and Information, 2022, **37**(3): 34-43.

[40] 代亚强，张玥，柯新利，等．乡村地域多功能的空间关联网络结构特征及其对城乡融合发展的影响——以河南省为例[J]．自然资源学报，2023，**38**(8)：2059-2075.
Dai Y Q, Zhang Y, Ke X L, *et al*. Coupling interaction and driving factors of cultivated land use transition and county urbanization: A case study in Henan province[J]. Journal of Natural Resources, 2023, **38**(8): 2059-2075.

[41] 林金萍，吴康敏，杨山．长三角城市群城市经济效能的空间联系网络及模式[J]．地理学报，2024，**79**(6)：1391-1411.

Lin J P, Wu K M, Yang S. Spatial linkage networks and patterns of urban economic efficiency in the perspective of scaling law: A case study of Yangtze River Delta Urban Agglomeration[J]. Acta Geographica Sinica, 2024, **79**(6): 1391-1411.

[42] 阚瑶川，徐磊，郭宇，等．土地利用多功能远程耦合特征及空间聚类分析——基于京津冀地区县域的 SNA 模型实证[J]．世界地理研究，2024，**33**(9)：133-146．

Kan Y C, Xu L, Guo Y, *et al*. Telecoupling characteristics and spatial clustering analysis of land use functions: An empirical study of counties in Beijing-Tianjin-Hebei Region by SNA model[J]. World Regional Studies, 2024, **33**(9): 133-146.

[43] 程中海，屠颜颖，孙红雪．中国与“一带一路”沿线国家制造业产业内贸易网络时空特征及影响因素研究[J]．世界地理研究，2022，**31**(3)：478-489．

Cheng Z H, Tu Y Y, Song H X. Spatio-temporal characteristics and influencing factors of intra-industry trade network of manufacturing industries in China and countries along the “Belt and Road”[J]. World Regional Studies, 2022, **31**(3): 478-489.

[44] 雷婷，王奕淇，王超．中国省际旅游交通碳排放空间关联网络及影响因素[J]．环境科学，2025，**46**(1)：53-65．

Lei T, Wang Y Q, Wang C. Spatial correlation network and influencing factors of carbon emissions from interprovincial tourism transportation in China[J]. Environmental Science, 2025, **46**(1): 53-65.

[45] 马越越，李银平，马琳茜．中国物流绿色低碳发展空间关联效应及影响因素[J]．环境科学，2025，**46**(3)：1462-1472．

Ma Y Y, Li Y P, Ma L X. Spatial correlation network effect and influencing factors of green and low-carbon development in logistics industry[J]. Environmental Science, 2025, **46**(3): 1462-1472.

[46] 冯颖，侯孟阳，姚顺波．中国粮食生产空间关联网络的结构特征及其形成机制[J]．地理学报，2020，**75**(11)：2380-2395．

Feng Y, Hou M Y, Yao S B. Structural characteristics and formation mechanism of spatial correlation network of grain production in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, **75**(11): 2380-2395.

[47] 唐菁，张娜，易露，等．农业碳补偿率的空间格局及其驱动因素——来自长江经济带 108 个地级及以上城市的经验证据[J]．中国人口·资源与环境，2024，**34**(9)： 76-92．

Tang J, Zhang N, Yi L, *et al*. Analysis of spatial patterns and driving factors of agricultural carbon offset rate: Empirical evidence from 108 prefectural-level and above cities in the Yangtze River Economic Belt[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, **34**(9): 76-92.

[48] 李志远，冯学钢，何静，等．中国旅游生态韧性空间关联网络结构及其驱动因素[J]．地理研究，2024，**43**(5)：1146-1165．

Li Z Y, Feng X G, He J, *et al*. Spatial correlation network structure and driving factors of tourism ecological resilience in China[J]. Geographical Research, 2024, **43**(5): 1146-1165.