

中国粮食产业产学研合作网络的结构特征 与动态演化

刘窈君,杨艳萍*

(河南工业大学 管理学院/河南省重点人文社科基地物流研究中心,
河南 郑州 450001)



摘要 利用中国1985—2019年粮食产业合作专利数据,结合产学研合作发展实际,将粮食产业产学研合作网络划分为五个演化阶段,采用社会网络分析技术,剖析合作网络整体结构和主体特征的动态演化。结果表明:中国粮食产业产学研合作网络的规模、范围明显扩大;无标度特征、小世界性及核心—边缘结构越来越显著;在粮食产业产学研合作网络中,企业、科研单位及其他创新主体分别担任引领者与主导者、参与者与桥接者以及支持者与服务者。由此提出:中国粮食产业产学研合作应坚持创新的核心地位,促使合作向广度和深度进军;企业应从纵向延伸、横向扩张和侧向拓展三个维度拓宽创新尺度;高校应积极与企业等创新主体开展人才交流、学科交叉和技术跨界等形式的产学研合作,推进粮食科技创新协同发展;政府应继续完善粮食产业产学研合作政策体系。

关键词 粮食产业; 产学研合作网络; 结构特征; 动态演化

中图分类号:C939;G306 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2022)04-0062-14

DOI编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2022.04.006

新冠肺炎疫情全球蔓延对粮食安全造成巨大冲击,加快粮食科技创新以保障粮食安全的迫切性进一步凸显^[1],产学研合作因具有分散风险、整合资源、联合开发、优化配置、共享利益等优势,成为科技创新的不竭动力。粮食产业是指从原粮生产到成品粮消费过程中所有与粮食相关的细分产业集合体,包括粮食种收、粮食加工、粮食储运、粮食购销等环节,涉及粮食产前、产中、产后全过程。粮食产业产学研合作的健康发展是夯实粮食科技支撑、扛稳粮食安全重任并引领粮食产业高质量发展的根本保障。在落实与推动创新驱动发展战略的进程中,中国粮食产业产学研合作水平得到明显提升,合作成果显著。在粮食质量监管领域,中国攻克了快速检测与无害化处理粮食中的主要重金属、真菌毒素、农药残留、环境持久性污染物和掺伪等技术难关,开发出基于区块链、二维码的质量追溯技术和平台^[2-3]。在粮食绿色物流领域,中国积极优化粮食流通资源配置,着力节省粮食流通成本,大力改善粮食物流作业环境,升级基于全球定位系统、地理信息系统及遥感技术的3S技术,搭建涵盖传感技术、计算技术及网络通信技术的物联网系统,推广应用智能化、动态化、绿色化的粮食储藏信息技术,提高了粮食散装、散卸、散运、散存效率,实现了人工智能预测预警储粮安全,推进了粮食智慧物流与供应链创新^[4-5]。在粮食产业经济领域,中国紧密围绕“粮头食尾、农头工尾”,推动粮食产业链、价值链、供应链“三链协同”,积极增加专用食品和功能食品供给,发展粮食深层次与精细化加工,优化粮食产后服务体系,提升粮食品牌价值,完善粮食质检体系,适应了居民膳食结构由以往数量温饱到质量营养的转型,顺应了居民粮食消费在消费群体、消费观念和消费方式上发生的变化^[6-7]。

但同时,中国粮食产业产学研合作面临诸多挑战。一是科技在引领粮食产业创新发展与供给侧

收稿日期:2021-06-02

基金项目:河南省科技厅软科学研究项目“河南省粮食产业产学研合作网络演化及其政策取向研究”(202400410064)。

*为通讯作者。

结构性改革方面的作用不突出,全产业链的组织融合方式有待形成^[8];二是粮食科技创新体系与科技社会化服务体系不健全,多方优势互补的粮食科技创新平台有待建立^[9-10];三是产学研合作创新以及开放共享的体制机制不完备,产学研深度融合的粮食产业创新联盟有待发展^[11];四是创新人才队伍不完全适应形势发展所需,多部门联合培养的人才培育体系有待开发^[12]。

综上所述,中国粮食产业产学研合作在取得成就的同时也存在着科技创新体制机制不完备和人才支撑保障不利的难题,创新能力不完全适应粮食产业高质量发展的要求。2018年,原国家粮食局发布《关于粮食产业科技创新联盟建设的指导意见》,目的在于建立粮食产业产学研深度融合的合作创新体系,为粮食产业的可持续发展提供动能,提升产业科技创新能力,加快建设创新型国家的步伐。随着中国创新环境不断优化、创新步伐不断加快、“五优联动 三链协同”打造优质粮食工程,粮食产业内的企业、高校、科研机构借力政府、中介及金融机构等主体积极开展深层次、多学科、跨领域的产学研合作,促使粮食产业产学研合作由以往的线性模式逐步转变为多主体参与的网络化模式,合作各方也从一对一、一对多的简单联系逐渐发展为多对多的复杂兼多样性创新模式。因此,需更多关注粮食产业产学研合作网络模式和资源配置,依靠合作创新强化粮食安全根基,满足现阶段中国深入实施“藏粮于技”战略、加快推进粮食科技创新进程的需求,助力粮食产业产学研深度融合,服务粮食产业强国建设。

一、文献回顾

产学研合作网络作为创新网络的分支,是指在一定的制度环境下,合作各方出于自身利益考量和目标实现,在交互异质性资源进而带来创新产出(如专利)的过程中,与其他相关方进行沟通与互动所形成的合作网络^[13]。当前,基于专利数据的产学研合作网络研究已有丰厚积累。①网络类别方面,根据参与产学研合作网络的组织性质将网络分为广义和狭义两类,当网络中的组织为企业、高校和科研机构(简称科研单位)时,此网络为狭义的产学研合作网络;当网络中的组织不仅有企业、高校、科研机构外,还包括其他性质组织(政府、中介机构等),则此时的网络为广义的产学研合作网络^[14]。②网络关系方面,根据产学研合作关系将网络分为双向和单向两种,其中双向关系(即无向关系)网络体现产学研合作不同创新主体之间的知识互动/协同情况^[15],而单向关系(即有向关系)网络则反映产学研合作不同创新主体之间的知识吸收/扩散情况^[16]。③网络结构方面,主要围绕合作网络规模、密度、集聚系数、平均路径长度等指标探讨合作网络整体结构^[17-18],例如Guan等^[19]利用纳米生物制药领域的专利合作构建了产学研合作网络,将网络结构定义为行动者之间直接和间接联系的模式,使用网络聚类程度的标准计算方法——集聚系数和平均距离加权的测量方法——平均路径长度衡量产学研合作网络结构特征,指出合作网络的小世界性促使不同范围的信息能够快速交换和整合,带来更大的知识创造和创新产出。④网络主体方面,主要围绕创新主体在网络中的位置特征分析不同主体重要程度^[20],例如韩增林等^[21]使用联合申请专利数据分析了中国东北地区装备制造业的创新主体演变,从主体的度数中心度和中间中心度判断出位于网络核心和中间位置的关键主体,发掘出高校在产学研合作网络中的主力作用,企业次之但有望超过高校,政府的主体地位最低。

然而,在Web of Science的主题栏输入“grain university—industry collaboration”,未检索出相应文献;在中国知网以“粮食校企合作”“粮食产学研”为主题进行检索,共搜索到46条期刊文献,但这些文献普遍关注粮食专业人才联合培育、粮食科技工程统筹推进等粮食产业产学研主体之间的单点/线性合作。通过国内外产学研相关文献分析可看出,目前产学研合作网络研究主要集中在生物医药、制造业、ICT、卫星等技术要求高、技术力量雄厚的产业领域^[22-23],且研究发现这些产业的产学研合作网络具有规模逐渐增大、结构越发松散的共性(整体结构)和不同产业围绕不同性质核心成员的个性(主体特征),然而对于基础产业—粮食产业的产学研研究多理论少实证、重点/线弱网络、偏静态轻

动态,缺乏针对中国粮食产业产学研合作网络结构特征的研究,动态地揭示中国粮食产业产学研合作网络的研究更为鲜见。

产业发展是个动态过程,受制于创新环境、资源配置、核心成员等要素,粮食产业作为稳定国计民生的支柱性产业,具有粮食生产、流通及消费的特殊性,相较于高附加值产业而言,粮食产业产学研合作门槛较低、合作程度不高、合作机制不完善。鉴于此,本文基于社会网络视角,遵循广义的产学研合作网络观点,运用中国粮食产业内不同创新主体间的合作发明专利,重点研究:粮食产业产学研合作网络的演化路径是否与其他产业存在差异?粮食产业产学研合作的现状及创新态势如何?本文尝试构建粮食产业产学研合作双向网络,弥补以往研究普遍把重点放在创新密集型产业而较为缺乏分析粮食产业产学研合作情况的不足;试图探索国内粮食产业产学研合作机制,丰富粮食产业产学研合作理论,力求为粮食科技成果的产学研合作研制提供理论参考,为政府深化科技体制改革和制定相关政策提供决策支持。

二、研究设计

1. 研究数据

本文的数据检索工作截至2020年3月10日,主要以智慧芽专利数据库(Patsnap)为数据来源,综合使用国家粮食和物资储备局于2019年10月14日发布的《粮油名词术语粮食、油料及其加工产品》文本、粮食行业专家和专利审查专家给出的粮食全产业链领域关键词对专利标题和摘要进行检索,同时结合专利的IPC分类号加以限制,从中提取来自中国知产局且申请人数量大于等于2的谷类、豆类、薯类联合申请发明专利。中国专利法规定专利申请人包含个人和组织两种类型,由于个人不是本文的研究对象,因此首先剔除个人申请人只保留组织申请人,其次设置专利去重规则为每件申请显示一个最新的公开文本,最后采取人工逐条筛选进行数据清理与数据标引,实现了获取目标专利集合(查全)与获取最接近现有技术(查准)的检索目的,最终检索得到6534条专利数据,形成由企业、高校、科研机构和其他性质创新主体(表1)参与的产学研合作网络。

2. 分析框架

本文采用文献研究、统计分析和社会网络分析方法(SNA),以中国1985—2019年粮食产业合作专利数据为基础,结合产学研合作发展实际,构建了粮食产业产学研合作的五阶段双向网络,同时借助Excel、Ucinet与Gephi软件,从宏观—整体结构和微观—主体特征两个视角具体分析粮食产业产学研合作网络动态演化,分析框架如图1。

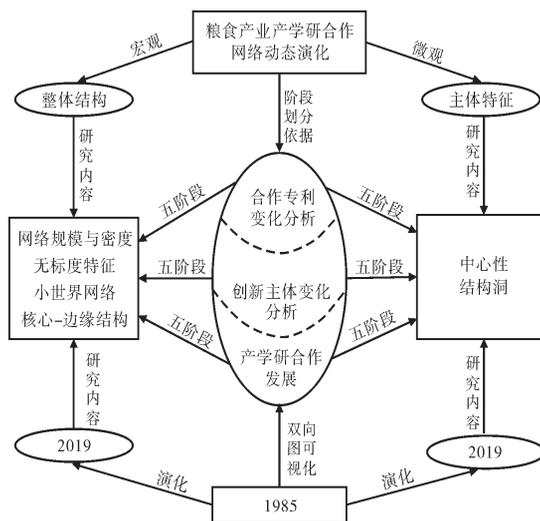


图1 粮食产业产学研合作网络动态演化分析框架

表1 申请人性质划分方法

申请人性质	单一字段	混合字段
企业	企业 / 公司 / 集团 / 厂	企业单一字段 & 高校单一字段
创新主体	高校	企业单一字段 & 科研机构单一字段
	大学 / 学院 / 学校	高校单一字段 & 科研机构单一字段
	科研机构	—
	研究院 / 研究所 / 研究中心 / 研发 / 科研 / 科学院 / 实验室	—
	其他	—
	技术协会 / 监测站 / 合作社 / 推广中心 / 服务中心 / 医院等	—

3. 度量指标

合作网络度量指标可以较好地分别从宏观及微观两个视角量化粮食产业产学研合作网络结构特征,具体度量指标及内涵如表2,其中 n 代表合作网络所处阶段。

表2 粮食产业产学研合作网络度量指标及内涵

视角	研究内容	代表研究	度量指标	公式	内涵
网络规模与密度		[24-25]	网络规模	$S_{(n)} = g_{(n)}$	$g_{(n)}$ 为第 n 阶段合作网络内创新主体数量,网络规模越大说明参与合作网络的创新主体越多。
			网络范围	$R_{(n)} = 2l_{(n)}$	$l_{(n)}$ 表示第 n 阶段合作网络中二方关系系数之和,网络范围越大代表网络内合作关系数量越多。
			网络密度	$D_{(n)} = \frac{l_{(n)}}{g_{(n)}(g_{(n)} - 1)/2}$	$g_{(n)}, l_{(n)}$ 同上, $D_{(n)}$ 即第 n 阶段合作网络密度等于该阶段网络内现有连接数量比可能连接数量,网络密度越大一方面反映创新主体间联系紧密,但另一方面限制了创新主体的自身发展与知识创造。
无标度特征	[26-27]	幂律分布	$p(k_{(n)}) = ak_{(n)}^{-b}$	$k_{(n)}$ 代表第 n 阶段合作网络中创新主体的相对度数, a 为常数, b 为幂指数($a > 0 \wedge b > 0$), $p(k_{(n)})$ 即第 n 阶段相对度数为 k 的主体在网络中出现的概率,幂律分布反映了粮食产业产学研合作网络的优先连接(Preferential Attachment)机制及“马太效应”。	
		聚类系数	$CC_{(n)} = \frac{1}{g_{(n)}} \sum_{i=1}^{g_{(n)}} \frac{e_{i(n)}}{k_{i(n)}(k_{i(n)} - 1)/2}$ $CC_{ratio(n)} = \frac{CC_{(n)}}{CC_{random(n)}}$	$k_{i(n)}$ 为第 n 阶段合作网络中创新主体 i 的绝对度数, $e_{i(n)}$ 为第 n 阶段合作网络中主体 i 的 k_i 个邻接主体间实际存在的连接数, $g_{(n)}$ 同上, $CC_{(n)}$ 代表第 n 阶段网络的聚类系数, $CC_{ratio(n)}$ 即第 n 阶段实际网络的聚类系数比同等规模随机网络的聚类系数,越超过1说明合作网络关系越紧密,创新主体间传递性增强。	
整体结构 宏观	小世界网络	[28-30]	特征路径长度	$CPL_{(n)} = \frac{1}{g_{(n)}(g_{(n)} - 1)/2} \sum_{i \neq j \in G} d_{ij(n)}$ $CPL_{ratio(n)} = \frac{CPL_{(n)}}{CPL_{random(n)}}$	$CPL_{(n)}$ 表示第 n 阶段合作网络的特征路径长度, $g_{(n)}$ 同上, $d_{ij(n)}$ 为第 n 阶段合作网络中主体 i, j 之间的最短距离, $CPL_{(n)}$ 代表第 n 阶段网络的特征路径长度, $CPL_{ratio(n)}$ 即第 n 阶段实际网络的特征路径长度比同等规模随机网络的特征路径长度,越接近1则整个合作网络的聚簇程度越高。
			小世界商数	$Q_{(n)} = \frac{CC_{ratio(n)}}{CPL_{ratio(n)}}$	第 n 阶段聚类系数比值除以同阶段特征路径长度比值则得到该阶段小世界商数,值越大说明合作网络的小世界性质越显著。
核心-边缘结构	[31-32]	核心度	$\rho_{(n)} = \sum_{i(n), j(n)} \alpha_{ij(n)} \theta_{ij(n)}$ $\theta_{ij(n)} = Cor_{i(n)} Cor_{j(n)}$	$\alpha_{ij(n)}$ 代表第 n 阶段实际网络中 i 和 j 两创新主体间的关系情况,若 i, j 间存在关系则 $\alpha_{ij(n)}$ 为1,否则为0, $Cor_{(n)}$ 为非负向量代表第 n 阶段网络中每个主体的核心度, $\theta_{ij(n)}$ 表征第 n 阶段模式网络(理想化)的关系情况, $\rho_{(n)}$ 即第 n 阶段皮尔森相关系数,测度模式网络 and 实际网络的接近程度,当两个矩阵的相关系数越大时,则网络为核心-边缘结构,核心度较高的创新主体合群性好、相互之间联系紧密。	

续表

视角	研究内容	代表研究	度量指标	公式	内涵
主体特征 微观	中心性	[33-34]	Bonacich中心性	$C'_{i(n)}(\alpha, \beta) = \frac{\sum_{j(n)} (\alpha + \beta C_{j(n)}) R_{ij(n)}}{\text{Max} \{C_{1(n)}, C_{2(n)}, C_{3(n)}, \dots, C_{g(n)}\}}$	α 为标准化常数, β 为权重参数, $R_{ij(n)}$ 为主体合作关系矩阵,表示第 n 阶段主体 i 和 j 合作次数, $C'_{i(n)}(\alpha, \beta)$ 即第 n 阶段主体 i 的标准化Bonacich中心性,衡量第 n 阶段合作网络内创新主体的地位,将更大的权力与处于网络C位的创新主体联系起来。
	结构洞	[35-36]	点的中间中心度	$C'_{B(n)} = \frac{2 \sum_{j < k(n)} g_{jk(n)}(q_i) / g_{jk(n)}}{(g(n) - 1)(g(n) - 2)}$	$g_{jk(n)}$ 是第 n 阶段合作网络中创新主体 j 到达主体 k 的捷径数, $g_{jk(n)}(q_i)$ 是主体 j 到达主体 k 的快捷方式上有主体 i 的捷径数, $g(n)$ 同上, $C'_{B(n)}$ 即第 n 阶段合作网络中主体 i 的标准化中间中心度,衡量第 n 阶段合作网络内创新主体的控制力,反映所关心的创新主体在多大程度上处于两个创新主体的最短路径上并扮演着“守门人”/“中间人”角色。

三、实证分析

1. 中国粮食产业产学研合作网络演化阶段及双向图变化

(1)演化阶段。为便于对中国粮食产业产学研合作网络动态演化进行分析,本文根据已搜集到的1985—2019年专利数据及国内粮食产业产学研合作发展变化情况,从中国粮食产业产学研合作专利及主体数量变化趋势将中国粮食产业产学研合作网络演化划分为萌芽、低速发展、中速发展、高速发展和成熟5个阶段(图2)。

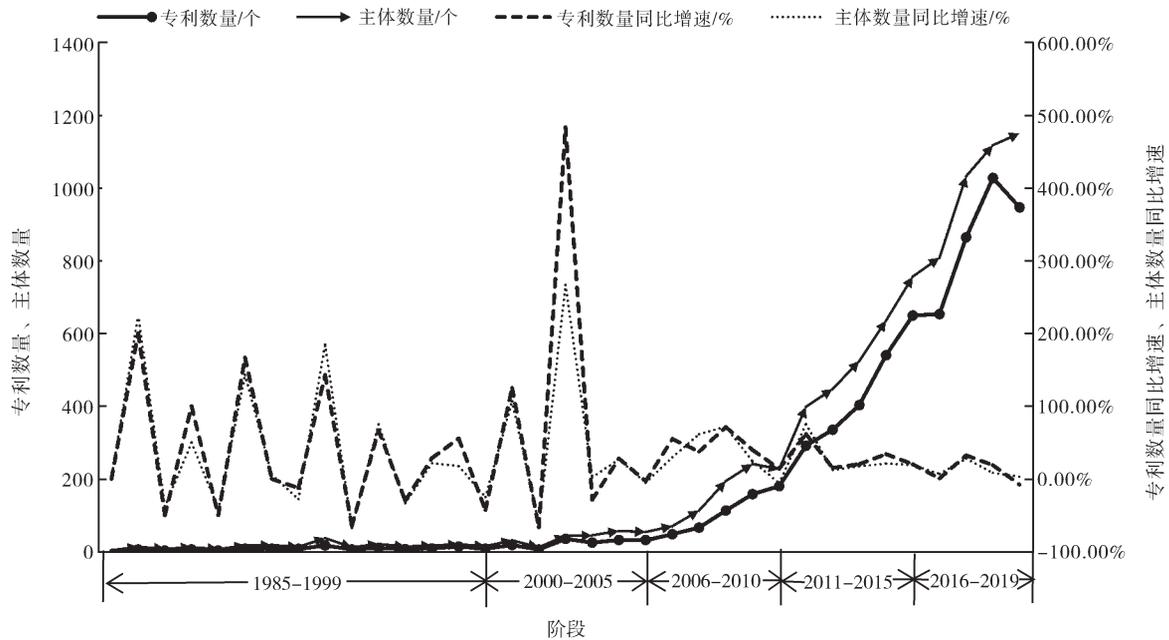


图2 1985—2019年中国粮食产业产学研合作专利及主体数量变化情况

a. 萌芽阶段(1985—1999年)。1985年中国正式实施专利法,开始加强对专利申请人的权益保护,同时强调对发明创造的推广应用,开启了国内专利申请及授权的热潮。同年,粮食科技体制也开始实施由政府主导,面向市场的全面改革。1991年,科技兴粮战略要求加大对粮食的科技研究。可

以发现在1985—1999年期间,粮食科技在改革开放的大背景下有了萌芽式发展,但该阶段粮食产业产学研合作的积极性不高,各年份专利数量、主体数量的均值仅在10附近,虽然两者在1993年出现了峰值但之后又呈下降趋势;同时,两者的同比增速呈现上下波动,产学研的合作松散且不稳定。

b. 低速发展阶段(2000—2005年)。在经济全球化日益加深、知识产权尤其是专利制度成为各国参与国际竞争之重要武器的形势下,中国于2000年进行专利法的第二次修订,此次修订不仅强调了科技创新对于国家发展的战略意义,也确立和强化了企业的技术创新主体地位。2001年国务院印发了《农业科技发展纲要(2001—2010年)》,鼓励调动政府、大中专院校、科研机构、企业等各方的参与性与创造性,提高科技对粮食安全的贡献率,为中国粮食产业产学研合作提供了契机。可以发现在2000—2005年期间,粮食产业产学研合作专利及主体数量均有小幅增长,特别是2002年,两者的增速达到顶峰,产学研的合作开始有了初步发展。

c. 中速发展阶段(2006—2010年)。2006年国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》提出建立以企业为主体、产学研合作的技术创新体系,以期推进中国特色国家创新体系建设。在此基础上,原国家粮食局提出《关于“十一五”粮食科技发展的指导意见》,再次强调完善粮食科技创新机制,逐步形成以企业为主体,共享科技资源、互补技术优势的粮食产业产学研合作体系。2008年国家发展改革委公布了《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020年)》,旨在建立粮食科技创新激励机制,鼓励更多创新主体参与粮食科技研发与推广。可以发现在2006—2010年期间,粮食产业产学研合作专利及主体数量基本呈增长趋势,且两者的同比增速波动幅度均较小,产学研的合作得到进一步发展。

d. 高速发展阶段(2011—2015年)。为了全面加强国家粮食安全、着力构建国家粮食安全保障体系,2011年国家发展改革委、原国家粮食局制定了《粮食行业“十二五”发展规划纲要》,提倡坚持以企业为主体、以市场为导向的产学研合作,充分发挥科研机构、高校、企业各方的技术特长和优势。紧接着,2012年科技部颁布了《粮食丰产科技发展“十二五”重点专项规划》,鼓励多措并举创新产学研合作机制,努力提升粮食科技水平与支撑能力。可以发现在2011—2015年期间,粮食科技在保障粮食安全的迫切需求下有了跨越式发展,该阶段粮食产业产学研合作的积极性高涨,专利及主体数量均呈突破式增长,且两者的同比增速曲线基本重合,产学研的合作得到质的提升。

e. 成熟阶段(2016—2019年)。2016年国务院印发《国家创新驱动发展战略纲要》要求明确科研机构、高校、社会组织、企业等各类创新主体的功能定位,着力构建产学研合作的协同创新网络。同年10月份,《粮食行业“十三五”发展规划纲要》的出台再次强调产学研合作在完善粮食科技创新体系中的关键作用,支持企业与高校、科研机构等创新主体联合组建粮食产业技术创新联盟,搭建粮食产业产学研深度融合的创新平台及循环体系。2018年5月份,国家发展改革委、国家粮食和物资储备局等五部委联合印发了“科技兴粮”“人才兴粮”两个实施意见,更是把产学研合作作为粮食产业强国建设的主要目标。可以发现在2016—2019年期间,虽然只有短短的4年时间,但粮食产业产学研合作专利及主体数量均呈迅猛增长态势;由于专利审查的滞后性,2019年的专利数量略微降低,但主体数量依然保持最高的水平;此外,两者的同比增速曲线均趋于平缓,产学研的合作越发成熟和稳定。

(2)双向图变化。本文以粮食产业内的企业、高校、科研机构、政府、中介机构等为创新主体,以主体之间的专利合作关系为连边,构建了中国粮食产业产学研合作双向网络,通过可视化技术,展示了产学研合作双向网络图谱,可以直观地看出1985—2019年在五个阶段的粮食产业产学研合作情况及网络图谱演变。其中,节点大小代表创新主体参与的合作专利数量,连线粗细代表产学研合作频次(图3)。

从可视化图谱可以观察到网络中主体数目越来越多、主体间关系越来越复杂、主体体积越来越大,说明粮食产业内的创新主体及合作专利数量均不断增长,产学研合作网络经历了从稀疏到密集的明显变化,网络的局部聚集特征越发明晰。

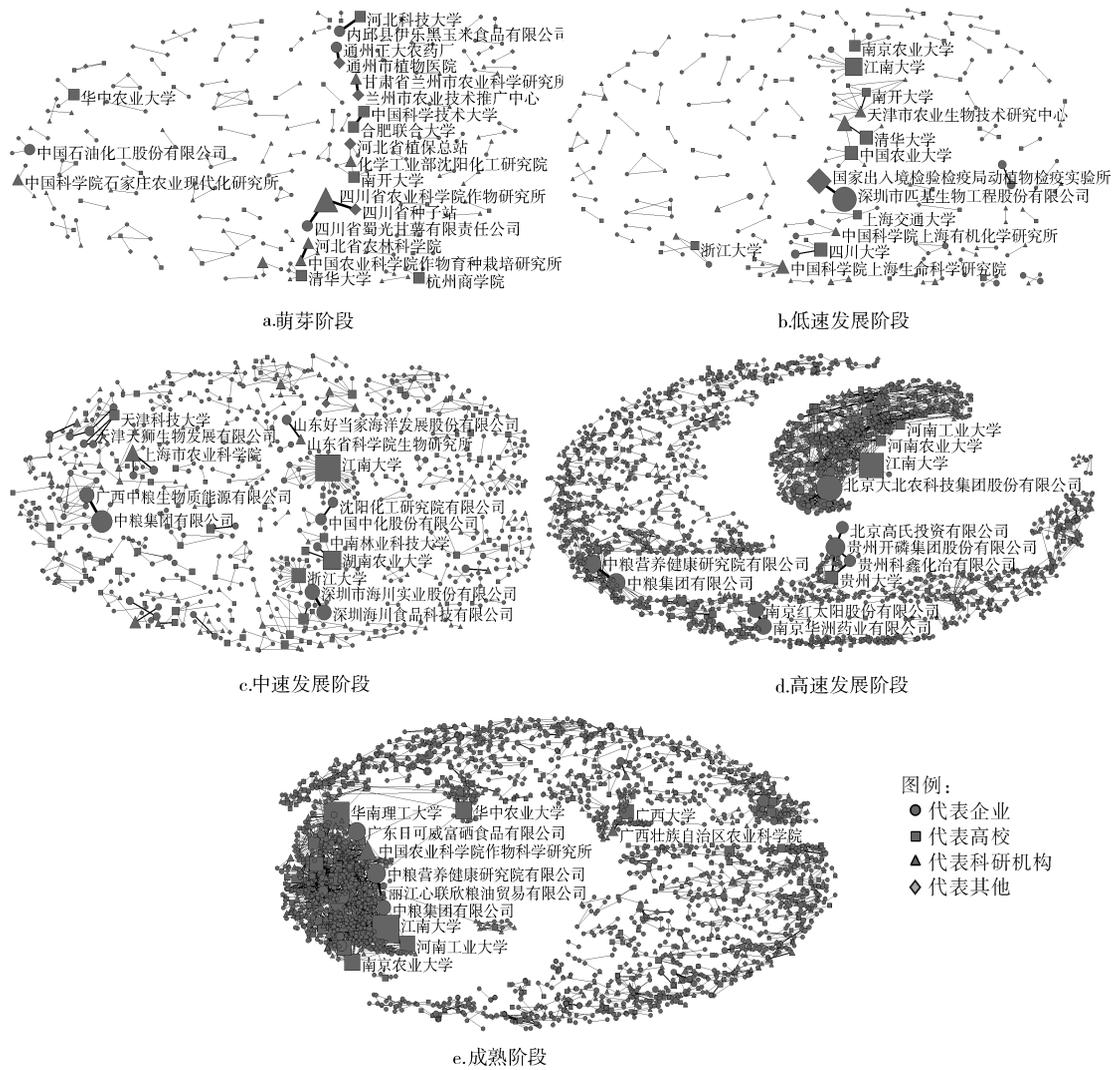


图3 中国粮食产业产学研合作动态网络

2. 中国粮食产业产学研合作网络整体结构演化

(1)网络规模与密度。自1985年以来,中国粮食产业产学研合作网络中的创新主体逐渐增多,五个阶段的创新主体数量依次为220、222、685、2048和3161,带动了合作专利及合作关系数量的增长,体现在合作网络规模、网络范围的阶段式递增,进而实现了粮食科技创新技术研发、成果应用在更大范围内的传播与扩散。但同时由于创新主体对自身发展与知识流动的需求,带来了合作关系紧密性的降低,导致网络密度与网络规模存在着显著的负向关系,说明粮食产业内各类创新主体受到的网络限制在逐渐降低,合作网络为创新主体营造了良好的自主创新氛围(表3)。

图4呈现了粮食产业各演化阶段不同性质的创新主体占比变化,发现企业在每个阶段的比例始终名列前茅,高校参与产学研合作的比例经历了从上升到下降的变化趋势但仍维持在10%以上,科

表3 各阶段粮食产业产学研合作网络规模与密度

研究指标	萌芽阶段	低速发展阶段	中速发展阶段	高速发展阶段	成熟阶段
网络规模	220	222	685	2048	3161
网络范围	267	323	1399	5835	8769
网络密度	0.011	0.013	0.006	0.003	0.002

研机构参与产学研合作的比例经历了从下降到上升的变化趋势,高校和科研机构同样是产学研合作的重要参与方,而政府、医院、中介机构等其他类型创新主体的活跃度较低。

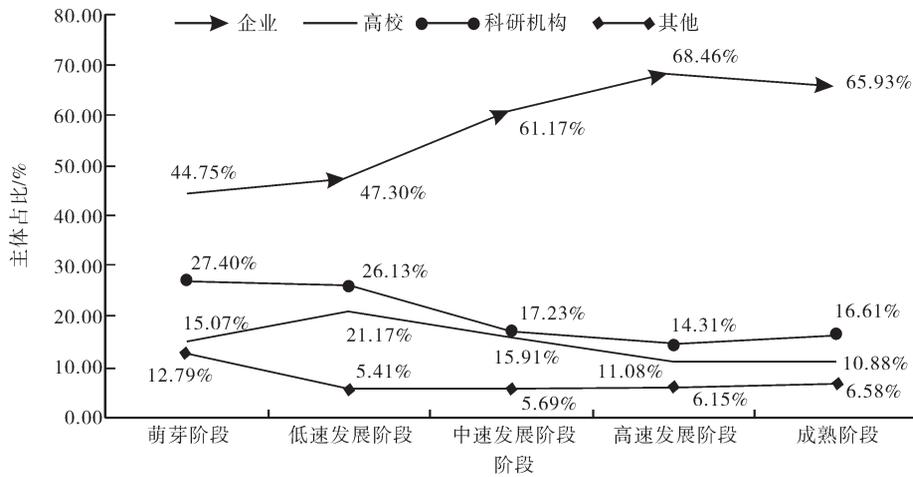


图4 各阶段粮食产业产学研合作主体结构演变

(2)无标度特征。无标度特征意味着网络内主体之间的连接服从幂律分布。表4给出了以幂函数拟合粮食产业内创新主体度分布率的结果,发现拟合优度几乎为1,说明采用幂函数拟合的方法是可信且有效的。进一步,幂指数 $b \in [1.3, 2.6]$,表明各阶段粮食产业产学研合作网络均具有明显的无标度特征,每个阶段网络中主体的相对度数都服从幂律分布。

表4 各阶段粮食产业产学研合作网络度分布曲线拟合值

研究指标	萌芽阶段	低速发展阶段	中速发展阶段	高速发展阶段	成熟阶段
b	1.732	2.576	1.702	1.395	1.311
区间	(1.705, 1.758)	(2.567, 2.585)	(1.691, 1.713)	(1.387, 1.403)	(1.303, 1.318)
R^2	0.996	1.000	0.999	0.995	0.992

通过图5度分布曲线,可以直观地看出粮食产业产学研合作网络在每个阶段均呈现无标度特征,在以相对度数为横轴、度分布概率为纵轴的坐标下,幂律分布呈现一条“二八效应”的曲线,具体表现为相对度数较低的主体在网络里出现的概率远远大于相对度数较高的主体。说明虽然中国粮食产业产学研合作网络规模在不断扩大,但每个阶段新加入的创新主体均优先选择和网络里连接程度高的创新主体产生连接,网络内很少一部分创新主体占据了网络中绝大部分资源,而绝大部分创新主体在网络中只占有很少连接,网络中出现“马太效应”。

(3)小世界网络。小世界网络意味着网络的聚类系数高且特征路径长度短,即网络内创新主体之间平均距离短,整个网络由许多紧密结合的小团体构成。表5计算了粮食产业产学研合作网络与同等规模的随机网络相比,聚类系数和特征路径长度的变化,发现每个阶段的 $CC \gg CC_{random}$, $CC_{ratio} \gg 1$, $CPL \approx CPL_{random}$, $CPL_{ratio} \approx 1$,且随着阶段的发展, CC_{ratio} 越来越大, CPL_{ratio} 越来越接近于1,小世界商数 Q 在波动中增长,说明不同阶段的粮食产业产学研合作网络均具有小世界性,创新主体之间的“抱团”现象很普遍,团体内部合作紧密、传递性强,团体之间有许多弱连接,正是由于这些极大程度缩小团体与团体之间距离的连接,导致整个合作网络变得很小。

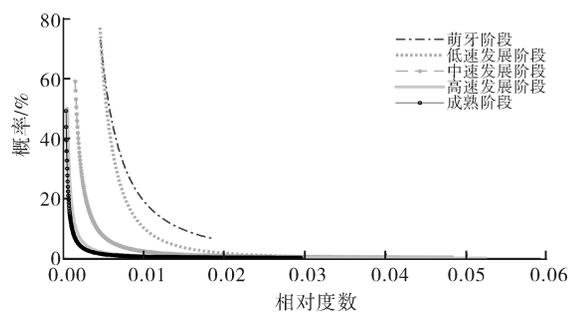


图5 各阶段粮食产业产学研合作网络度分布曲线

表5 各阶段粮食产业产学研合作网络小世界特征

研究指标	萌芽阶段	低速发展阶段	中速发展阶段	高速发展阶段	成熟阶段
CC	0.8400	0.7796	1.1317	1.5702	1.2387
CC_{random}	0.0103	0.0103	0.0037	0.0014	0.0009
CC_{ratio}	81.5534	75.6893	305.8535	1121.5660	1376.3682
CPL	1.1419	1.7860	1.9104	7.7864	6.9184
CPL_{random}	6.6139	6.5575	7.0171	7.1132	7.7472
CPL_{ratio}	0.1727	0.2724	0.2722	1.0946	0.8930
Q	472.2258	277.8609	1123.6352	1024.6355	1541.2858

(4)核心—边缘结构。本文根据核心度计算结果,把核心度 $\in[0.1,1)$ 的创新主体归为核心区,核心度 $\in[0.01,0.1)$ 的创新主体归为亚核心区,核心度 $\in[0.001,0.01)$ 的创新主体归为半边缘区,核心度 $\in[0,0.001)$ 的创新主体归为边缘区。通过对各个区域的占比进行分析,发现核心区、亚核心区、半边缘区的占比均呈下降趋势,而边缘区的占比逐阶上升,说明中国粮食产业产学研合作网络在发展过程中,虽然自身规模不断扩大,但网络内的创新主体大多集中于网络的边缘区,仅有少数主体居于中心位置,整个网络的分区现象较明显(表6)。

表6 各阶段粮食产业产学研合作网络核心—边缘占比情况

区域	萌芽阶段	低速发展阶段	中速发展阶段	高速发展阶段	成熟阶段	%
核心区	7.3	0.9	1.5	0.3	0.3	
亚核心区	53.4	10.4	5.1	0.8	1.6	
半边缘区	29.7	88.7	21.9	4.0	3.1	
边缘区	9.6	0.0	71.5	94.8	95.0	

3. 中国粮食产业产学研合作网络主体特征演化

(1)中心性。在产学研合作网络中,根据中介主体存在与否,可以将主体之间的联系分为直接联系和间接联系,其中直接联系即主体之间的直接合作,间接联系即由中介主体带来的主体之间的间接合作。中心性主要从主体直接联系层面度量,反映某个主体在合作网络中有多大程度处于核心位置、拥有绝对权力,影响着不同主体之间的信息交流、资源交换^[37]。Bonacich中心性被广泛用于衡量主体在网络中的地位^[34],中心性越高则主体地位越高,在网络中越居于核心位置。从表7可以看出,在中国粮食产业产学研合作网络动态演化过程中,粮食产业内的核心主体也在发生改变。首先是萌芽及低速发展阶段,Bonacich中心性排名前10的创新主体多为科研单位,企业以及其他产学研申请人的参与度较低且每个申请人的合作专利数量不高;其次是中速发展阶段,以中粮集团有限公司为代表,企业在网络中占据着中心地位,同时企业参与的合作专利数量显著增多;最后是高速发展及成熟阶段,企业始终是产学研合作的重要主体,高校由于其丰富的科技资源与创新能力同样在网络中占据核心地位,尤其是江南大学,其自身的专利数量高达80余个,而政府、中介机构等创新主体逐渐退到边缘位置。

(2)结构洞。结构洞主要从主体间接联系层面度量,反映某个主体在合作网络中有多大程度处于中间位置、充当信息“守门人”,控制着不同主体之间的信息流动、知识流动^[35]。对于结构洞的计算,总的来说有两类统计指标,其一是Burt^[38]本人给出的结构洞指数,其二是中间中心度指数。依据Freeman^[35]的观点,以中间中心度测度创新主体在合作网络中拥有的结构洞多寡,以此判断创新主体的控制权力、协调能力、综合能力以及获取更多信息的能力,中间中心度越高则主体控制力越强,在网络中越是居于中间位置。从表8可以看出中国粮食产业产学研合作网络在不同的演化阶段,高校

表7 各阶段Bonacich中心性排名前10的申请人及其专利数量与性质

萌芽阶段			低速发展阶段			中速发展阶段			高速发展阶段			成熟阶段		
申请人	数量	性质	申请人	数量	性质	申请人	数量	性质	申请人	数量	性质	申请人	数量	性质
四川省农业科学院作物研究所	4	R	国家出入境检验检疫局动植物检疫实验所	10	O	江南大学	25	U	北京大北农科技集团股份有限公司	78	F	江南大学	82	U
中国农业科学院作物育种栽培研究所	2	R	深圳市匹基生物工程有限公司	10	F	中粮集团有限公司	20	F	江南大学	72	U	华南理工大学	77	U
化学工业部沈阳化工研究院	2	R	江南大学	7	U	湖南农业大学	17	U	贵州开磷集团股份有限公司	54	F	中粮营养健康研究院有限公司	55	F
南开大学	2	U	中国科学院遗传与发育生物学研究所	6	R	浙江大学	12	U	中粮营养健康研究院有限公司	52	F	中国农业科学院作物科学研究所	54	R
河北省农林科学院	2	R	天津市农业生物技术研究中心	4	R	上海市农业科学院	14	R	中粮集团有限、公司	50	F	广东日可威富硒食品有限公司	50	F
清华大学	2	U	中国农业大学	5	U	深圳市海川实业股份有限公司	13	F	贵州大学	31	U	中粮集团有限公司	39	F
中国石油化工股份有限公司	2	F	中国科学院上海生命科学研究院	5	R	深圳海川食品科技有限公司	13	F	南京华洲药业有限公司	42	F	华中农业大学	46	U
中国科学技术大学	2	U	南开大学	3	U	广西中粮生物质能源有限公司	13	F	南京红太阳股份有限公司	42	F	南京农业大学	43	U
中国科学院石家庄农业现代化研究所	2	R	四川大学	5	U	天津天狮生物发展有限公司	7	F	广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所	33	R	福建傲农生物科技集团有限公司	28	F
兰州市农业技术推广中心	2	O	清华大学	5	U	中国中化股份有限公司	9	F	贵州科鑫化冶有限公司	27	F	河南工业大学	40	U

注:F代表企业,O代表其他,R代表科研机构,U代表高校;后同。

和科研机构均扮演着“守门人”角色,占据着网络的中间位置,具有突出的网络连接能力,是产学研合作的重要桥接者。

四、结论与启示

1. 结论

本文运用中国1985—2019年粮食产业合作专利数据,结合文献研究、统计分析和网络分析方法,具体分析中国粮食产业产学研合作网络整体结构、主体特征的动态演化,研究发现粮食产业产学研合作网络整体结构的演化与其他产业具有相似性,并且主体特征的演化具有粮食产业的特殊性。得出如下结论:

(1)从网络图谱来看,中国粮食产业产学研合作网络的规模、范围明显扩大,网络内主体数、合作关系数都呈显著增加趋势,网络变得更加庞大;同时,网络内各类主体参与的合作专利数量不断增

表8 各阶段中间中心度排名前10的申请人及其专利数量与性质

萌芽阶段			低速发展阶段			中速发展阶段			高速发展阶段			成熟阶段		
申请人	数量	性质	申请人	数量	性质									
化学工业部沈阳化工研究院	2	R	中国科学院遗传与发育生物学研究所	6	R	江南大学	25	U	南京农业大学	27	U	南京农业大学	43	U
河北省植保总站	2	O	天津市农业生物技术研究中心	4	R	浙江大学	12	U	中国农业科学院作物科学研究所	24	R	中国农业科学院作物科学研究所	54	R
南开大学	2	U	中国农业大学	5	U	中国科学院上海生命科学研究院	4	R	河北省农林科学院粮油作物研究所	10	R	河南工业大学	40	U
清华大学	2	U	江南大学	7	U	中国水稻研究所	4	R	中国科学院遗传与发育生物学研究所	11	R	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	13	R
中国科学院石家庄农业现代化研究所	2	R	清华大学	5	U	上海市农业科学院	14	R	浙江省农业科学院	10	R	河南农业大学	26	U
华中农业大学	2	U	中国科学院上海生命科学研究院	5	R	恒丰(镇江)食品有限公司	2	F	通威股份有限公司	19	F	江南大学	82	U
中国石油化工股份有限公司	2	F	四川大学	5	U	中国科学院遗传与发育生物学研究所	3	R	江南大学	72	U	袁隆平农业高科技股份有限公司	25	F
四川省农业科学院作物研究所	4	R	南京农业大学	4	U	湖南农业大学	17	U	海南大学	4	U	西南大学	15	U
浙江工商大学	2	U	上海交通大学	3	U	中国农业科学院作物科学研究所	7	R	中国水稻研究所	17	R	江苏省农业科学院	18	R
安徽省化工研究院	2	R	南开大学	3	U	江苏大学	4	U	湖南农业大学	28	U	湖南杂交水稻研究中心	23	R

加,网络逐渐呈现弱连接,多聚团特征。表明中国在以企业为主体、市场为导向、坚持产学研合作这一创新体系的指引下,国内粮食产业不同创新主体的合作趋向多样化、深层化、系统化,有效激发了粮食产业产学研合作网络模式。

(2)从合作网络整体结构来看,中国粮食产业产学研合作网络的无标度特征、小世界性及核心—边缘结构越来越显著。这表明合作网络内存在少量资源丰富和实力强大的“明星”主体,如在合作网络中占据核心位置的江南大学、河南工业大学、中粮集团有限公司、中粮营养健康研究院有限公司等高校和企业,这些创新主体发挥着提升粮食产业整体竞争优势的重要作用。并且,创新主体一方面与自己周围的主体联系紧密、相互信任,形成众多关系复杂的小团体,使得知识在团体内部有效扩散与高效传播,加速了创新成果产出;另一方面与其他主体保持着弱连接,从而加速异质、非冗余信息的获取。此外,虽然网络规模在不断扩大,但进入合作网络的创新主体多分布在网络的边缘区,核心区主体的占比极低,核心—边缘结构特征愈发凸显。

(3)从合作网络主体特征来看,企业的技术创新主体地位越来越突出,尤其是在中速发展阶段,企业在粮食产业产学研合作网络中的占比和地位有了质的提升,自身创新动力、创新活力及创新能

力显著提高,成为粮食产业产学研合作网络的重要引领者与主导者。同时,中国粮食科技创新是面向世界粮食科技前沿、面向粮食产业高质量发展、面向中国特色粮食安全、面向国家重大研发需求的偏应用型研究,科研单位同样发挥着不可或缺的作用,不仅在粮食产业产学研合作网络中占据核心地位,还在知识吸收与扩散过程中充当“守门人”,成为粮食产业产学研合作网络的重要参与者与桥接者。然而,政府、中介机构等其他产学研合作参与者的活跃度整体不高,在粮食产业产学研合作网络的发展过程中,这些创新主体逐渐退到边缘位置,网络连接能力也较弱,但其在粮食政策引导与扶持、创新环境营造与共建等方面扮演着重要角色,成为粮食产业产学研合作网络的重要支持者与服务者。

2. 启示

(1)中国粮食产业产学研合作应坚持创新的核心地位,促使合作向广度和深度进军。这不仅需要企业有敏锐的需求嗅觉和问题嗅觉,不断提出市场的技术需求和现实问题,积极参与粮食产业产学研合作,充分利用合作关系获取科学知识并提升自身原始创新能力,为推进粮食产业创新能级提高注入新鲜血液;更需要科研单位加强粮食领域基础研究和前沿技术研究,通过产学研合作及时获取市场信息进而抽象出理论问题,生产更多科学知识,进一步促进基础研究与应用研究相互作用,形成粮食产业产学研合作的良性互动。

(2)作为粮食产业产学研合作网络的引领者与主导者,企业应从三个维度拓宽创新尺度:其一是纵向延伸,借助粮食产业产学研合作伙伴与其他主体的合作关系,努力拉长合作范围,拉近彼此间合作距离,实现外部创新资源向企业流入;其二是横向扩张,主动增强与外部企业、科研单位等创新主体的合作与交流,基于共同的发展需求和基本利益,合作开展粮食科技创新,提升粮食产业核心竞争力;其三是侧向拓展,积极与粮食产业产学研合作伙伴开展多领域、全方位的深度合作,实现向其他领域的拓展和转型。

(3)作为粮食产业产学研合作网络的参与者与桥接者,科研单位最为紧要的任务是持之以恒加强粮食相关基础研究,及时转移转化粮食科技成果,为粮食科技创新奠定扎实基础;同时,高校作为人才培养和学科建设的重要基地,应积极与企业等创新主体开展人才交流、学科交叉和技术跨界等形式的产学研合作,注重粮食专业特色人才和领军型人才培养,为粮食领域搭建衔接学科链、创新链与产业链的桥梁,推进粮食科技创新协同发展。

(4)作为粮食产业产学研合作网络的支持者与服务者,政府首先应对表现突出的企业或科研单位加大扶持力度,鼓励它们强强联合或以强带弱,聚焦迫切需求与实际问题,开展深度合作与组织融合,培养它们形成全产业链意识,以产业融合战略为主线促进粮食产业全链条协同。其次,政府应狠抓粮食科技创新体系建设,发挥企业在技术创新中的主体作用,引导创新要素汇聚于企业;强化产学研支撑,壮大粮食龙头企业,重点打造从田间到餐桌的大型粮食企业,实现粮食产购储加销的完美结合,全面落实各项优惠政策,引导龙头企业与农户和新型经营主体构建利益共同体;吸引科研单位积极参与粮食科技创新合作项目,支持研发资金向科研单位投入;坚持需求导向和问题导向,完善粮食科技社会化服务体系;立足搭建粮食科技资源优化配置、不同创新主体优势互补的粮食科技创新平台,以科技兴粮战略为动力加快粮食产业高质量发展。再次,政府应深化粮食产业产学研合作创新以及开放共享的体制机制,着力改善粮食科技创新生态,鼓励企业加大粮食领域研发投入,激励科研单位加强粮食相关基础研究,推进粮食产业“三链”协同,实现产学研深度融合;进一步整合资源,合纵连横,最大化粮食产业创新联盟优势,以创新驱动战略为依托推进粮食产业全要素聚合。最后,科技兴粮、人才为先,政府应改革粮食科技人才培育制度,集成多方优势,融合集体智慧,建立健全多部门联合培养的人才培育体系,以人才强粮战略为保障激发粮食产业创新创造活力。

参 考 文 献

- [1] 樊胜根,高海秀.新冠肺炎疫情下全球农业食物系统的重新思考[J].华中农业大学学报(社会科学版),2020(5):1-8,168.
- [2] 罗万纯.中国粮食安全治理:发展趋势、挑战及改进[J].中国农村经济,2020(12):56-66.
- [3] 张蓓,马如秋,刘凯明.新中国成立70周年食品安全演进、特征与愿景[J].华南农业大学学报(社会科学版),2020,19(1):88-102.
- [4] 阮俊虎,刘天军,冯晓春,等.数字农业运营管理:关键问题、理论方法与示范工程[J].管理世界,2020,36(8):222-233.
- [5] 崔奇峰,王秀丽,钟钰,等.“十四五”时期我国粮食安全形势与战略思考[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2021,42(1):134-144.
- [6] 中华人民共和国国务院新闻办公室.中国的粮食安全[N].人民日报,2019-10-15(10).
- [7] 姜长云,王一杰.新中国成立70年来我国推进粮食安全的成就、经验与思考[J].农业经济问题,2019(10):10-23.
- [8] 王晓君,何亚萍,蒋和平.“十四五”时期的我国粮食安全:形势、问题与对策[J].改革,2020(9):27-39.
- [9] 王燕,刘哈,赵连明,等.乡村振兴战略下西部地区农业科技协同创新模式选择与实现路径[J].管理世界,2018,34(6):12-23.
- [10] 陈秧分,钱静斐.“十四五”中国农业对外开放:形势、问题与对策[J].华中农业大学学报(社会科学版),2021(1):49-56,175-176.
- [11] 卫志民,翟柏棱.中国粮食安全治理研究[J].理论视野,2021(5):59-64.
- [12] 赵霞,陶亚萍,胡迪.粮食安全视角下我国粮食产业国际竞争力的提升路径[J].农业经济问题,2021(5):107-119.
- [13] 吴中超.国外产学研创新网络研究回顾与前瞻[J].技术与创新管理,2020,41(2):107-113.
- [14] 王璐璐,张卓,刘一新.江苏省产学研合作创新网络结构特征及其优化策略[J].科技管理研究,2018,38(8):94-99.
- [15] FISCHER B B, SCHAEFFER P R, VONORTAS N S. Evolution of university-industry collaboration in Brazil from a technology upgrading perspective[J]. Technological forecasting and social change, 2019, 145:330-340.
- [16] 薛澜,姜李丹,黄颖,等.资源异质性、知识流动与产学研协同创新——以人工智能产业为例[J].科学学研究,2019,37(12):2241-2251.
- [17] PENG F, ZHANG Q, HAN Z, et al. Evolution characteristics of government-industry-university cooperative innovation network of electronic information industry in Liaoning Province, China[J]. Chinese geographical science, 2019, 29(3):528-540.
- [18] 刘林青,闫小斐.国际粮食贸易网络多核集聚格局的形成机制研究[J].华中农业大学学报(社会科学版),2021(4):47-59,179-180.
- [19] GUAN J, ZHAO Q. The impact of university-industry collaboration networks on innovation in nanobiopharmaceuticals[J]. Technological forecasting and social change, 2013, 80(7):1271-1286.
- [20] LYU L, WU W, HU H, et al. An evolving regional innovation network: collaboration among industry, university, and research institution in China's first technology hub[J]. The journal of technology transfer, 2019, 44(3):659-680.
- [21] 韩增林,袁莹莹,彭飞.东北地区装备制造业官产学研合作网络发展演变[J].经济地理,2018,38(1):103-111.
- [22] 陈钰芬,姚天娇,胡思慧.浙江省ICT产业产学研合作创新网络动态演化分析[J].技术经济,2019,38(10):65-73.
- [23] 李培哲,营利荣,刘勇.卫星及应用产业产学研专利合作网络结构特性及演化分析——基于社会网络视角[J].情报杂志,2018,37(11):55-61.
- [24] 林聚任.社会网络分析——理论、方法与应用[M].北京:北京师范大学出版社,2009.
- [25] 罗家德.社会网分析讲义(第二版)[M].北京:社会科学文献出版社,2010.
- [26] BARABÁSI A L, ALBERT R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439):509-512.
- [27] BARABÁSI A L, ALBERT R, JEONG H. Mean-field theory for scale-free random networks[J]. Physica a: statistical mechanics and its applications, 1999, 272(1-2):173-187.
- [28] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. Nature, 1998, 393(6684):440-442.
- [29] WATTS D J. Networks, dynamics, and the small-world phenomenon[J]. American journal of sociology, 1999, 105(2):493-527.
- [30] UZZI B, SPIRO J. Collaboration and creativity: the small world problem[J]. American journal of sociology, 2005, 111(2):447-504.
- [31] BORGATTI S P, EVERETT M G. Models of core/periphery structures[J]. Social networks, 2000, 21(4):375-395.
- [32] 刘军.社会网络分析导论[M].北京:社会科学文献出版社,2004.
- [33] BONACICH P. Power and centrality: a family of measures[J]. American journal of sociology, 1987, 92(5):1170-1182.
- [34] PIAZZA A, CASTELLUCCI F. Status in organization and management theory[J]. Journal of management, 2014, 40(1):287-315.
- [35] FREEMAN L C. Centrality in social networks conceptual clarification[J]. Social networks, 1978, 1(3):215-239.
- [36] 杨艳萍,刘窃君.风险投资机构网络凝聚性与投资绩效关系研究——资源属性的调节效应[J].科技进步与对策,2019,36(20):11-38.
- [37] 刘军.整体网分析——UCINET软件实用指南(第三版)[M].上海:上海人民出版社,2019.
- [38] Burt R S. Structural holes: the social structure of competition[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1995.

Structural Characteristics and Dynamic Evolution of the Industry-University-Research Cooperation Network in China's Grain Industry

LIU Yaojun, YANG Yanping

Abstract Based on the patent data of China's grain industry collaboration from 1985 to 2019 and considering the actual development of industry-university-research collaboration, this paper divides the industry-university-research collaboration network in the grain industry into five evolutionary stages, and adopts social network analysis to explore the dynamic evolution of the overall structure and subjective features of the collaboration network. The results show that the scale and scope of the industry-university-research collaboration network in China's grain industry are obviously expanded with increasingly significant scale-free characteristic, small-world network and core-periphery structure. In the industry-university-research collaboration network of grain industry, enterprises, research institutes and other innovative subjects respectively act as leaders and agents, participants and mediators, as well as supporters and service providers. The paper puts forward that the industry-university-research collaboration in China's grain industry should adhere to the core position of innovation and promote the collaboration in both scope and depth. Firstly, the enterprises should widen the scale of innovation from three dimensions of longitudinal prolongation, horizontal expansion and lateral extension. Secondly, the universities should take initiative in collaboration with enterprises and other innovative subjects with regard to industry-university-research in the form of talents exchange, interdisciplinary cooperation and technology crossover to advance the coordinated development of grain science and technology innovation. Lastly, the government should continue to perfect the policy system of industry-university-research collaboration in the grain industry.

Key words grain industry; industry-university-research collaboration network; structural characteristics; dynamic evolution

(责任编辑:余婷婷)