



李赛,林卓然,盛怡瑾,王宝济. 文献计量视角下智慧农业跨学科特性分析[J]. 中国农业大学学报,2025,30(03):299-310.
LI Sai, LIN Zhuoran, SHENG Yijin, WANG Baoji. Analysis of interdisciplinary characteristics of Smart Agriculture from the perspective of bibliometrics[J].
Journal of China Agricultural University, 2025, 30(03): 299-310.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.03.26

文献计量视角下智慧农业跨学科特性分析

李 赛 林卓然 盛怡瑾 王宝济*
(中国农业大学 图书馆, 北京 100083)

摘 要 为探究智慧农业领域的跨学科性,基于文献计量视角,以2013—2022年期间Web of Science核心数据库中收录的智慧农业领域相关文献为数据源,从论文关键词、作者学科背景和跨学科性测度3个方面直观且定量地分析该领域学科交叉融合现状及特征。结果表明:1)智慧农业的研究展现了深厚的跨学科特性,涉及农业科学、计算机科学、环境科学、化学、材料科学、生物技术和管理学等多个学科;2)智慧农业领域的作者大多来自工学、计算机科学、农学、生态环境学和经济学等学科,跨学科合作现象在智慧农业领域是主流趋势;3)智慧农业领域文献的学科交叉性整体处于中等水平,大部分文献呈现出相对均衡的学科交叉性。未来,智慧农业领域应继续加强跨学科合作,促进农业科学、计算机科学和环境科学等学科间的交流与合作,以实现智慧农业的全面发展。

关键词 智慧农业; 跨学科性; 文献计量; CiteSpace; 作者合作

中图分类号 S-1

文章编号 1007-4333(2025)03-0299-12

文献标志码 A

Analysis of interdisciplinary characteristics of Smart Agriculture from the perspective of bibliometrics

LI Sai, LIN Zhuoran, SHENG Yijin, WANG Baoji*

(China Agricultural University Library, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To explore the interdisciplinarity in the field of Smart Agriculture, this study, from the perspective of bibliometrics, takes the relevant literature in the field of Smart Agriculture included in the Web of Science Core Collection from 2013 to 2022 as the data source, and intuitively and quantitatively analyzes the current situation and characteristics of interdisciplinary integration in this field from three aspects, namely paper keywords, the disciplinary backgrounds of authors, and the measurement of interdisciplinarity. The results showed that: 1) The research on Smart Agriculture shows profound interdisciplinary characteristics, involving multiple disciplines such as agricultural science, computer science, environmental science, chemistry, materials science, biotechnology, and management science; 2) Most authors in the field of Smart Agriculture come from disciplines such as engineering, computer science, agricultural science, ecological environment science, and economics, and interdisciplinary collaboration is the mainstream trend in the field of smart agriculture; 3) The interdisciplinarity of literature in the field of Smart Agriculture is generally at a medium level, and most literature show relatively balanced interdisciplinarity. In the future, the field of Smart Agriculture should continue to strengthen interdisciplinary cooperation and promote exchanges and cooperation among disciplines, such as agricultural science, computer science, and environmental science to achieve the comprehensive development of Smart Agriculture.

Keywords Smart Agriculture; interdisciplinarity; bibliometrics; CiteSpace; author collaboration

收稿日期: 2024-06-18

基金项目: 高校基本科研业务费专项资金项目(2023TC113)

第一作者: 李赛(ORCID:0009-0007-3835-5121), 硕士研究生, E-mail: lisai@cau.edu.cn

通讯作者: 王宝济(ORCID:0000-0001-6036-2810), 研究馆员, 主要从事数据分析与情报研究、科技期刊编辑出版和信息技术应用研究, E-mail: wbj@cau.edu.cn

2017年我国中央一号文件《中共中央、国务院关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见》^[1]指出必须推动“智慧农业发展和项目实施”。2018—2020年我国相继下发《数字乡村发展战略纲要》^[2]《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》^[3]等战略性纲领文件,指出“发展智慧农业”“建设智慧农业引领工程”的重要价值^[4]。智慧农业是以信息和知识为核心要素,通过互联网、物联网、大数据、云计算和人工智能等现代信息技术与农业深度融合,实现农业信息感知、定量决策、智能控制、精准投入和个性化服务的全新的农业生产方式,是农业信息化发展从数字化到网络化再到智能化的高级阶段^[5]。智慧农业通过将最新的信息技术应用于农业生产,极大地提高了农业生产效率和生产力,同时也为农业的可持续发展提供了强有力的支持。

在智慧农业领域的研究与发展中,需要多学科的交叉与合作,如计算机科学、农业科学和环境科学等多个领域,因此,智慧农业领域具有非常高的跨学科特性。已有研究者对智慧农业的跨学科性进行了分析,郑谦等^[6]使用CiteSpace软件对中国知网(CNKI)数据库中近10年收录的有关智慧农业的论文开展了计量学与知识图谱分析,发现智慧农业领域涉及农业经济、计算机科学、农业基础科学、电信技术和自动化技术等学科领域;郑倩等^[7]运用文献计量学方法,分析了SCIE数据库收录的全球智慧农业领域的40 812篇相关文献,发现智慧农业可分为以生物大数据为代表的现代生物技术,以物联网、人工智能和遥感为代表的信息技术,以及以无人机和农业机器人为代表的智能农机装备三大主题;潘友菊等^[8]借助CiteSpace软件对Web of Science核心数据集中2010—2021年的国际CSA研究文献进行了分析,发现气候智慧型农业学科研究排名前5的学科中与理学相关的学科占据4个,且以环境科学为主;Liu等^[9]研究发现智慧农业的发展需要与其他新一代信息技术如物联网、大数据分析等相结合。但当前,人们对智慧农业跨学科性的感知还局限在定性层面,较少有研究直观且定量地揭示该领域学科交叉融合现状及特征。杨良斌^[10]通过分析期刊论文与学科交叉的关系,证实基于文献计量学方法进行跨学科研究是可行的。文献计量学是以文献体系和文献计量特征为研究对象,采用

数学、统计学等计量方法,研究文献情报的分布结构、数量关系、变化规律和定量管理,并进而探讨科学技术的某些结构、特征和规律的一门学科^[11]。文献计量通过统计和分析文献中的关键词、作者、引文等信息,来揭示不同学科领域的学科发展趋势、研究热点和学术影响力等特征,它能够为广大科研工作者提供关于学科发展状况的重要参考信息^[12]。因此,本研究拟采用文献计量学的方法,从研究主题、研究人员以及学科多样性测度3个分析维度,对智慧农业领域的跨学科性进行深入探究和量化评估,旨在明确智慧农业领域中学科交叉融合的具体现状与特点,从而为智慧农业的持续发展与创新提供理论基础与实践指导。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究选择Web of Science数据库核心合集作为智慧农业领域文献数据源,检索式为:TS=(intelligen* agricultur* or smart agricultur* or wisdom agricultur*),并限定文献类型为Article和Review Article,时间范围限定为2013—2022年。文献数据清洗过程中,剔除了重复的文献和与智慧农业主题不相关的文献,最终得到了5 726条符合要求的文献。

1.2 研究方法

本研究主要采用以下3种研究方法:

1) CiteSpace可视化分析。利用CiteSpace软件对智慧农业研究领域的文献进行可视化分析,以揭示该领域研究主题的跨学科特性。

2) 描述性统计分析。对智慧农业领域文献作者的所属机构、学科专业等信息进行描述性统计分析。通过统计作者的学科背景分布情况,确定作者的学科背景来源,以了解作者学科组成以及专业领域的分布特征,为研究智慧农业领域作者学科背景的跨学科性提供依据。

3) 跨学科性测度。运用特定的跨学科性测度指标(Rao-Stirling多样性指数),评估智慧农业领域的学科整合程度及学科交叉性发展态势。

2 结果与分析

2.1 研究主题跨学科性

关键词是学术论文中用于反映文章最主要内容的术语。关键词不仅反映了研究的主题内容,还

体现了研究的方法和结果等多维度信息。关键词聚类分析可以发现不同学科间的内在联系和交叉点^[13],从而能够识别出隐性的跨学科主题与学者之间的关联,获得跨学科性^[14]。将检索到的5726篇文献导入到CiteSpace软件进行关键词聚类,并以时间线视图展开,得到的结果如图1所示。可知所有关键词被聚类成7个类别,分别是物联网(internet of

things)、气候智慧型农业(climate-smart agriculture)、控制释放(controlled release)、人工智能(artificial intelligence)、土壤有机碳(soil organic carbon)、深度学习(deep learning)和供应链管理(supply chain management),这些类别不仅代表了智慧农业研究中的关键技术或领域,还深刻体现了其跨学科的研究特性。

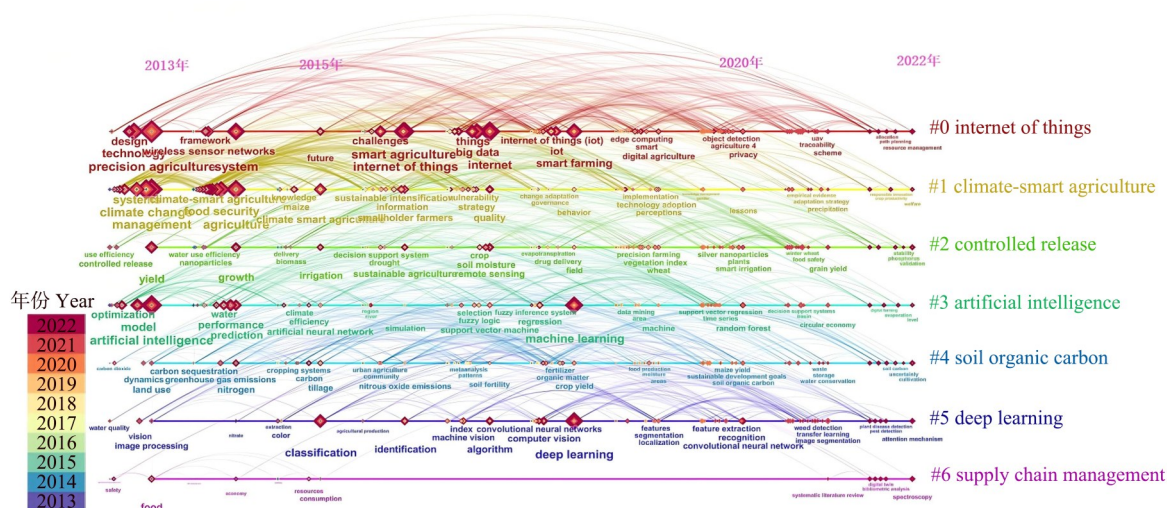


图1 2013—2022年智慧农业领域关键词聚类时间线视图

Fig. 1 Timeline view of keywords clustering in the field of Smart Agriculture from 2013 to 2022

物联网技术与农业领域应用逐渐紧密结合,形成了农业物联网。农业物联网就是物联网技术在农业生产、经营、管理和服务中的具体应用^[15]。农业物联网“人—机—物”一体化互联,可帮助人类以更加精细和动态的方式认知、管理和控制农业中各要素、各过程和各系统,极大提升人类对农业动植物生命本质的认知能力、农业复杂系统的调控能力和农业突发事件的处理能力^[16]。物联网技术作为信息科技的重要分支,它融合了传感器技术、通信技术和数据处理技术,将农业生产中的各类要素连接成一个整体,实现了对农业生产环境的实时监测与控制。这一聚类结果直接关联到信息科技与农业科学的交叉融合,展现了智慧农业在信息技术应用方面的前沿性。

气候智慧型农业是一种可持续提高农业效率、增强适应性、减少温室气体排放,以更高目标实现粮食安全的农业生产和发展模式^[17]。气候智慧型农业的概念强调了在气候变化背景下,农业生产的可持续性 with 适应性。气候智慧型农业这一聚类结

果体现了农业科学与环境科学的紧密联系。

控制释放技术通过特定的材料或方法,使农药、肥料等农业投入品按照预定的速率和时间释放,以提高其利用效率并减少对环境的负面影响。这一领域的研究需要农业科学来指导具体的应用需求,同时也需要化学、材料科学和生物技术等领域来提供技术支持。

人工智能,尤其是深度学习技术与农业的融合,促进了大量农业数据的高效处理与智能决策,进一步提升了农业生产的智能化水平。人工智能技术在智慧农业中的应用包括使用机器学习和深度学习算法对农业数据进行分析,具体应用有识别与预测病虫害^[18]、预测作物生长趋势^[19]、智能机器人和自动化系统^[20]、数据分析和决策支持、环境监测和可持续发展等^[21]。人工智能和深度学习这2个聚类结果不仅展示了计算机科学在农业领域的广泛应用前景,也凸显了智慧农业在数据处理和智能化方面的先进性。

土壤有机碳是指存在于土壤中的所有形式的

有机碳,包括植物残留物、微生物体及其代谢产物等^[22]。土壤有机碳是土壤肥力的重要指标,其含量变化对农业生产有重要影响。研究土壤有机碳的动态变化及其影响因素,需要深入理解土壤科学的原理,同时关注环境因素(如气候变化、土地利用方式等)对土壤质量的影响。在农业领域则更侧重于农业生产实践对土壤有机碳的影响,例如通过施肥、秸秆还田等方式增加土壤有机碳含量,以提高土壤肥力和作物产量^[23]。这一聚类结果不仅彰显了环境科学与生物技术在现代农业中的重要地位,也为实现农业可持续发展提供了科学依据。

供应链管理是通过信息技术优化农业产品的流通和销售过程,提高效率和质量^[24],与物联网技术在农业生产全生命周期管理与追溯中的应用相辅相成^[25]。供应链管理作为管理学在农业领域的应用,与物联网技术相辅相成,共同优化了农业产品的流通和销售过程。这一聚类结果强调了智慧农业在提升农业产业链整体效率和竞争力方面的重要作用,体现了管理学在农业现代化进程中的价值。

综上,从关键词聚类的结果来看,智慧农业的研究展现了深厚的跨学科特性,研究主题涉及农业科学、计算机科学、环境科学、化学、材料科学、生物技术和管理学等多个学科。这种多学科交叉的特点进一步证实了智慧农业领域的复杂性和综合性,它需要综合运用各种不同的学科知识和技术来解决农业问题。智慧农业研究的多学科交叉特点也意味着该领域的研究需要跨学科的合作和交流。只有通过不同学科之间的合作,才能更好地解决智慧农业领域中的复杂问题,从而推动农业的可持续发展。

此外,从图1中还可以看出,随着时间的推移,新的研究主题不断涌现。近10年一直备受关注的热点关键词为管理、精细农业、人工智能、气候变化、系统、模型、技术和设计等。同时,新的研究关键词也不断涌现,无线传感网络、人工神经网络、物联网、决策支持系统、遥感、支持向量机、算法、机器视觉、大数据、机器学习、卷积神经网络、计算机视觉、深度学习、数据挖掘、支持向量回归、随机森林、图像分割和边缘计算等关键词的陆续出现,反映了智慧农业领域的技术进步和研究方向的多样化并向更加智能化、精准化和可持续化的方向发展。从

这些关键词的时间变化可以看出,智慧农业领域的研究具有明显的跨学科特征,它涉及计算机科学、环境科学、农业科学和管理科学等多个学科的知识和技术。因此,智慧农业领域的研究需要跨学科的合作和交流,需要不同学科背景和技能的支持。这种跨学科的特征也反映了现代农业发展的趋势,即通过应用先进的技术和管理手段,实现农业生产的智能化和高效化,提高农业生产的效益和质量。

2.2 研究人员的跨学科性

在学术领域,作者合作被视为一种重要的研究方式,它不仅能够促进科研工作的开展,还能推动学科的发展^[26]。作者合作模式的变化反映了跨学科研究的趋势。随着科学研究的不断进步和发展,越来越多的研究开始跨越传统的学科界限,寻求与其他学科的合作机会^[27]。通过合作,学者们可以将各自领域的最新研究成果和理论应用于新的研究问题中,从而产生创新性的解决方案^[28]。

本研究为了分析作者的学科背景构成,对从Web of Science核心合集导出的文献题录数据进行如下处理:1)作者信息提取。数据集中Author Address字段包含了每篇文章所有的作者姓名及机构,为了便于统计和分析,使用Python对该字段值进行切分,按照排序分离出每个作者姓名,并提取作者所在机构信息。2)作者学科匹配。因作者学科背景信息获取困难,本研究拟从作者所在机构中捕捉该信息,并将机构所属的学科等同于作者学科,为此,提取机构信息中代表学科的关键词汇,与学科进行对应后建立机构与相关学科匹配的数据库,并将作者所在的机构和学院等信息与学科进行匹配,作为该作者的学科背景。从机构信息中抽取代表学科的关键词汇,如“Comp Sci”(计算机科学)、“Artif Intelligence”(人工智能)和“Physics”(物理学)等。根据Web of Science的学科分类大类,将抽取的关键词与相应的学科大类进行对应。例如,“Comp Sci”和“Artif Intelligence”可归类于“计算机科学”(Computer Science),而“Physics”则直接对应“物理学”(Physics)。基于上述对应关系,建立一个机构与相关学科大类匹配的数据库。利用该数据库,将作者所在的机构和学院等信息与学科大类进行匹配,从而间接确定作者的学科背景。3)编写Python程序使用调和分配公式^[29]计算每篇文章作者的贡献度。合并相

同学科背景的作者信息,计算每篇文章不同学科的贡献度。4)用作者的学科背景分析智慧农业领域的学科交叉现象。

2.2.1 作者所属学科背景

数据集中,部分文章因作者信息缺失或机构地址模糊难以匹配学科,无法进行统计计算,故将这些文章剔除,最终得到 3 868 篇文献。这些文献的作者经统计分析来自 21 个学科领域,包括工学、农学和计算机科学等。21 个学科在数据集中出现的

次数从高到低如表 1 所示。工学、计算机科学、农学、生态环境学和经济学是出现次数最高的作者来源学科。在 3 868 篇文献中,所有作者来自同一学科的文章有 1 705 篇,占比 44.08%,其余 55.92% 均是由 2 个及以上的不同学科背景的作者合作完成(表 2)。平均每篇文章包含的作者背景学科数为 1.88 个,这表明智慧农业领域的研究更多是来自 2 个及以上的学科背景的作者合作完成,跨学科合作现象在智慧农业领域是主流趋势。

表 1 智慧农业论文作者背景学科分布统计

Table 1 Statistics on the disciplinary distribution of the backgrounds of the authors of Smart Agriculture papers

背景学科 Background subject	作者数量/人 Number of Authors	背景学科 Background subject	作者数量/人 Number of Authors
Engineering	1 193	Chemistry	141
Computer Science	1 139	Physics	119
Agriculture Science	1061	Visual &. Performing Arts	65
Environment/Ecology	743	Materials Science	43
Economics &. Business	594	Mathematics	39
Biology &. Biochemistry	548	Arts &. Humanities , Interdisciplinary	35
Social Sciences , General	405	Psychiatry/Psychology	6
Plant &. Animal Science	388	Literature &. Language	6
Multidisciplinary	372	Philosophy &. Religion	3
Geoscience	212	History &. Archaeology	1
Clinical Medicine	145		

表 2 智慧农业论文涉及作者背景学科数量统计

Table 2 Statistics on the quantity of disciplines in the backgrounds of the authors involved in Smart Agriculture papers

作者背景学科数量 Number of author background disciplines	文章数量/篇 Number of articles	所占比例/% Percentage
1	1 705	44.08
2	1 347	34.82
3	519	13.42
4	213	5.51
5	62	1.60
>5	22	0.57

2.2.2 作者贡献

引用Sekercioglu和Hagen的调和分配法,将合著者的贡献标准化,使其总和为1,计算每篇文章各个作者的贡献度,公式如下:

$$C_i = \frac{1/i}{1 + 1/2 + \dots + 1/n}$$

式中: C_i 为署名位次为*i*的作者的贡献度;*i*为作者的署名次序。然后根据相应作者的学科背景计算每篇文章的学科贡献度。对每篇文章贡献度最大

的背景学科进行统计,结果如表3所示,可知计算机科学以805篇文献量排在首位,其次是工学723篇和农学549篇,说明来自这些领域的作者是研究智慧农业领域的主力军。经济学、生态环境学和生物技术等领域的作者也对智慧农业开展了大量的研究。此外,社会科学、植物与动物学和地球科学等学科也主导了一些智慧农业领域的研究,为该领域做出了一定的贡献,来自这些学科的作者在其中扮演了重要的角色。

表3 智慧农业论文中主要贡献作者背景学科统计
Table 3 Statistics on the background disciplines of the main contributing authors in Smart Agriculture papers

背景学科 Background subject	涉及文献数量/篇 Number of articles	所占比例/% Percentage
Computer Science	805	19.60
Engineering	723	17.60
Agriculture Science	549	13.36
Environment/Ecology	368	8.96
Economics & Business	357	8.69
Biology & Biochemistry	258	6.28
Social Sciences, General	176	4.28
Plant & Animal Science	150	3.65
Multidisciplinary	141	3.43
Geoscience	101	2.46
Chemistry	73	1.78
Clinical Medicine	48	1.17
Physics	48	1.17
Visual & Performing Arts	30	0.73
Materials Science	16	0.39
Arts & Humanities, Interdisciplinary	13	0.32
Mathematics	6	0.15
Philosophy & Religion	3	0.07
Psychiatry/Psychology	1	0.02
Literature & Language	1	0.02
History & Archaeology	1	0.02

对每篇文章其余做出贡献的背景学科进行统计结果如表 4 所示,农学超过工学和计算机科学成为出现最多的领域,说明该领域的作者在智慧农业

领域的研究中起了主要的辅助作用。其余学科如生态环境学、生物学、社会学和动植物科学等学科的占比均相较主要贡献统计中的占比有所提高。

表 4 智慧农业论文中非主要贡献作者背景学科统计

Table 4 Statistics on the background disciplines of non-main contributing authors in Smart Agriculture papers

背景学科 Background subject	涉及文献数量/篇 Number of articles	所占比例/% Percentage
Agriculture Science	512	13.64
Engineering	470	12.52
Environment/Ecology	375	9.99
Computer Science	334	8.90
Biology & Biochemistry	290	7.73
Plant & Animal Science	238	6.34
Economics & Business	237	6.31
Multidisciplinary	231	6.16
Social Sciences, General	229	6.10
Geoscience	111	2.96
Clinical Medicine	97	2.58
Physics	71	1.89
Chemistry	68	1.81
Visual & Performing Arts	35	0.93
Mathematics	33	0.88
Materials Science	27	0.72
Arts & Humanities, Interdisciplinary	22	0.59
Psychiatry/Psychology	5	0.13
Literature & Language	5	0.13

通过作者学科背景来源视角对文献的学科贡献统计可以得到智慧农业研究领域中的学科引领作用和专业协作模式。计算机与工程学领域的学者群体在智慧农业的科学探索和技术创新中发挥了核心的导向作用。这一现象可以归因于他们在信息技术和工程技术方面的专业知识积累,为智慧农业的发展提供了坚实的知识基础和技术支撑。相对而言,农学背景的学者在智慧农业的研究实践中则更多地承担了辅助性工作,他们在传统农业知识和现代信息技术融合的过程中发挥了桥梁作用,

促进了智慧农业理念的实施和技术的应用。这一跨学科的合作模式不仅充分利用了各学科的优势,也体现了学科间的互补性,共同推进了智慧农业科技的进步。

2.3 跨学科性指标测度

2.3.1 知识流动视角下智慧农业领域的学科交叉性

学科知识流动则是指在学科领域内,知识从一个学科向另一个学科的传递和扩散过程。这个过程涉及不同学科之间的交叉和融合,是推动学科发

展、创新的重要动力。学科知识流动通常包括知识的传播、吸收、转化和创新等环节,是一个复杂的过程。科学研究工作中常常存在跨学科知识流动现象,而交叉领域的知识流动是一种非常常见的、具有一定代表性的现象。智慧农业领域作为一个典型的交叉领域,跨学科的知识流动现象比较显著。

为了进一步分析智慧农业领域学科知识流动的情况,本文引入了知识输出与知识流入的比值。这个比值是通过将检索结果引文涉及 Web of Science Categories 数量除以检索结果涉及 Web of Science Categories 数量来计算的。图2展示了这一比值随年份的变化情况。从图中可以看出,近十年来,知识输出与知识流入的比值整体呈现上升趋势。这表明,从学科知识来源流动的视角来看,智慧农业领域跨学科融合与知识集成能力显著增强。

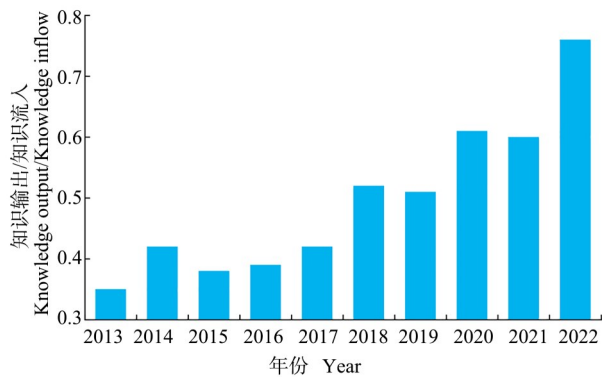


图2 智慧农业近10年知识输出/知识流入比值趋势图

Fig. 2 Trend chart of knowledge output/knowledge inflow ratio of Smart Agriculture in recent ten years

2.3.2 多样性计算视角下智慧农业领域的学科交叉性

为了对智慧农业领域的跨学科特性进行更为精细的量化分析,本研究采用了学科交叉多样性的量化指标,对智慧农业的跨学科性进行了深度剖析。目前所使用的学科交叉多样性的测度指标大多为第一代生物多样性测度指标 Gini-Simpson 指数和香农熵^[30]以及第二代生物多样性测度指标 Rao-Stirling 指数^[31]。张雪等^[32]通过梳理归纳现有学科多样性和聚合性测度指标发现 Rao-Stirling 指数、2DS 指数、 Δ 指标综合性最强。因此,本研究基于第二代生物多样性测度指标 Rao-Stirling 指数计算智慧农业领域的学科交叉性。该指数从种类、均

衡度以及差异性3个维度对某个领域的学科交叉性做了一个系统衡量。

均衡度衡量了文献中各个学科的相对重要性或出现频率的平衡程度。当均衡度较高时,表示各个学科在文献中的重要性或出现频率相对平衡,没有明显的学科偏好或偏差。差异性衡量了文献中不同学科之间的差异程度。当差异性较高时,表示文献中的学科之间具有较大的差异,即学科之间的内容和特征差异明显。多样性衡量了文献中学科的种类和丰富程度。当多样性较高时,表示文献中涵盖了较多不同的学科,具有较高的学科多样性。

本研究采用 Leydesdorf^[33]提出的方法,利用 JCR 引用数据,将2007年 JCR 期刊学科共被引数据用于计算学科类别的余弦相似度,共涉及 Web of Science 学科种类221种,最终得到学科相似度矩阵。随后,本研究对智慧农业领域论文的引文学科进行了统计,并利用 Python 语言中的 Pandas 库和 Numpy 库,构建指标计算程序,分别测度每篇文献中参考文献的种类、均衡度、差异性以及 Rao-Stirling 多样性指数。

Rao-Stirling 多样性指数的高低与学科交叉性密切相关。当该指数较高时,表示文献中的学科之间存在较高的交叉性;而当指数较低时,表示学科之间的交叉性较低。图3为 Rao-Stirling 多样性指数的概率分布统计结果,可以看到超过一半文献的 Rao-Stirling 多样性指数为0.3~0.5,说明大部分智慧农业领域的文献学科交叉性处于中等水平,表明文献中的学科交叉性相对均衡,不过度集中在某些特定学科,也没有过于分散在各个学科

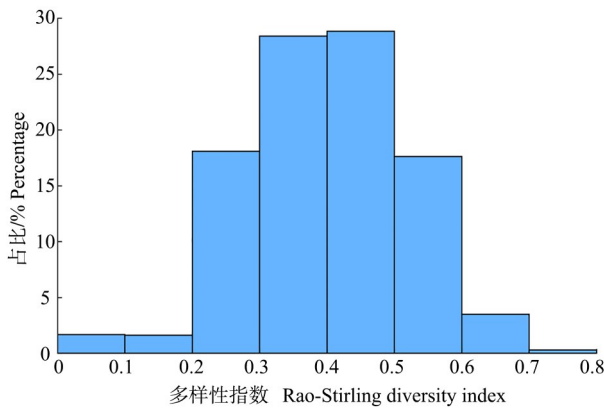


图3 智慧农业领域 Rao-Stirling 指数概率分布图

Fig. 3 Probability distribution histogram of Rao-Stirling index in Smart Agriculture

之间。约30%的文献Rao-Stirling多样性指数分布在0.2~0.3和0.5~0.6这2个数值范围内,其中,0.2~0.3范围内的文献的学科交叉性较低,这部分文献主要集中在某个或少数几个学科,缺乏跨学科的关联;0.5~0.6的文献的学科交叉性较高,这部分文献涉及多个学科之间的交叉和关联。仅有10%左右的文献Rao-Stirling多样性指数为0~0.2和0.6~0.8,即学科交叉性较低或者较高。综上,智慧农业领域文献的学科交叉性整体处于中等水平,大部分文献呈现出相对均衡的学科交叉性。

2013—2022年智慧农业领域文献各学科交叉

度测度结果均值如图4所示。从图中可以看出,智慧农业领域文献Rao-Stirling多样性指数呈波动上升趋势,说明该领域文献中的学科多样性在逐渐增加,学科之间的交叉和融合不断增加;文献种类指数不断上升,说明引文文献中涵盖的学科种类和丰富程度在逐渐增加;文献均衡度总体呈上升趋势,说明该领域的文献中各个学科的相对重要性或出现频率的平衡程度在逐渐增加,学科平衡度在不断增加;差异性总体呈波动下降趋势,说明智慧农业研究领域的学科差异程度在逐渐减小,进一步说明该领域的研究趋势正向着跨学科深度合作和综合性研究发展。

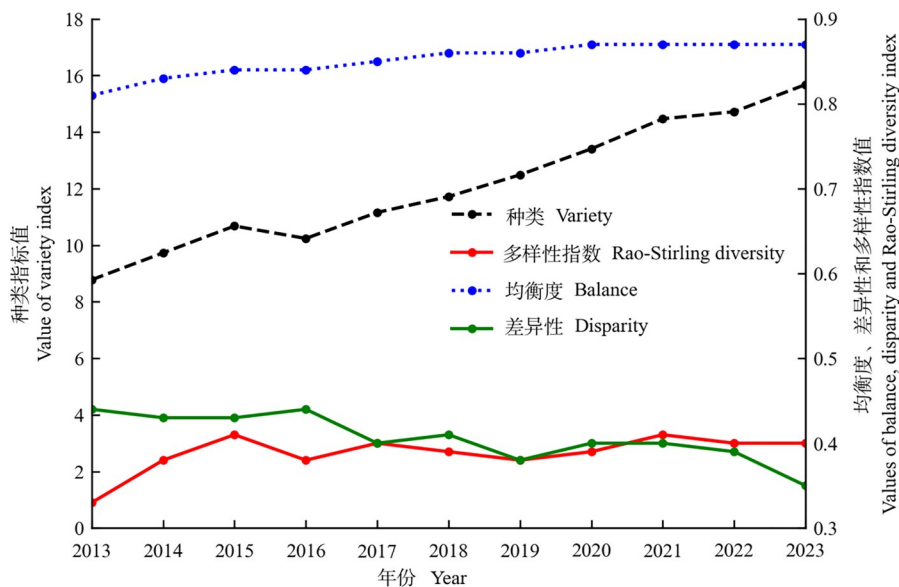


图4 2013—2022智慧农业领域文献各学科交叉度测度结果均值

Fig. 4 Average of interdisciplinary degree measurement results of documents in the field of Smart Agriculture from 2013 to 2022

3 结论与建议

本研究基于2013—2022年Web of Science核心数据库的智慧农业领域的相关文献,从研究主题、研究人员学科背景及学科多样性测度3个维度,对智慧农业的跨学科特性进行了深入探讨与量化分析。主要结论如下:

1)智慧农业的研究展现了深厚的跨学科特性,研究主题涉及农业科学、计算机科学、环境科学、化学、材料科学、生物技术和管理学等多个学科。智慧农业领域的复杂性和综合性需要综合运用各种不同的学科知识和技术来解决农业问题,近10年正

逐步实现智能化和高效化。

2)智慧农业领域的作者大多来自工学、计算机科学、农学、生态环境学和经济学等学科,半数以上的智慧农业领域文献由2个及以上的不同学科背景的作者合作完成。跨学科合作现象在智慧农业领域是主流趋势,来自计算机科学、工学和农学领域的作者是研究智慧农业领域的主力军,农学领域的作者在智慧农业领域的研究中起了主要的辅助作用。

3)智慧农业领域知识输出/知识流入整体呈现上升趋势。从学科知识来源流动的视角来看,智慧农业领域的跨学科性在逐年增强。智慧农业领域

文献的学科交叉性整体处于中等水平,大部分文献呈现出相对均衡的学科交叉性,学科多样性在逐渐增加,引文文献中涵盖的学科种类和丰富程度在逐渐增加,学科平衡度在不断增加,学科差异程度在逐渐减小。

基于上述研究结论,提出促进智慧农业领域进一步发展和跨学科合作的3点建议:

1)基于智慧农业研究主题的跨学科特征,建议学术界和研究机构进一步推动跨学科研究平台的建设,重点促进农业科学、计算机科学和环境科学等学科间的交流与合作。同时,鼓励和支持跨学科研究项目的开展,特别是在农业信息化、智能装备和生物技术等领域,以实现智慧农业的全面发展。

2)基于智慧农业研究者的跨学科特征,建议加强计算机科学、工学和农学等主要学科在智慧农业领域的研究力度,鼓励这些学科的专家学者在智慧农业的技术创新和应用实践中发挥领导作用。同时,重视跨学科研究团队的建设,促进这些学科与经济学、生态环境学和生物技术等其他领域的交流与合作,以实现智慧农业的全面发展。此外,建议在智慧农业项目和政策制定中,特别关注农学领域的参与和贡献,确保传统农业知识与现代信息技术融合,以及农学专家在智慧农业实践中的桥梁作用得到充分发挥。

3)基于智慧农业文献引用的跨学科特征,建议智慧农业研究人员在进行文献综述和研究设计时,注重其他学科文献的引用和整合。这不仅能够丰富研究内容,还能够促进不同学科间的知识和技术交流。此外,建议图书馆和信息资源中心开发跨学科文献检索工具,以帮助研究者更容易地发现和利用其他学科的研究成果。

在本项关于智慧农业跨学科性的探索性研究中,尽管从研究主题、研究人员学科背景及学科多样性测度的三维视角进行了详尽的描绘与分析,但研究设计与实践过程仍显现出若干局限性。首要不足在于检索策略的构建相对简约且宽泛,导致所收集数据集的代表性与精确性未能达到理想状态。其次,研究人员学科背景的识别方法依赖于机构信息到学科的映射,此方法虽具一定合理性,但受机构与个体学科专长之间并非总是一一对应而影响了学科分类的精确性与全面性。未来研究应致力于优化检索策略,探索更为精细与准确的学科分类

方法,以期全面增强研究的丰富性、可靠性及理论贡献。

参考文献 References

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央 国务院关于深入推进农业供给侧结构性改革 加快培育农业农村发展新动能的若干意见[EB/OL]. [2024-05-20]. https://www.gov.cn/zhengce/2017-02/05/content_5165626.htm
The Central People's Government of the People's Republic of China. Several Opinions of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on Deepening the Structural Reform of the Agricultural Supply Side and Accelerating the Cultivation of New Momentum for the Development of Agriculture and Rural Areas [EB/OL]. [2024-05-20]. https://www.gov.cn/zhengce/2017-02/05/content_5165626.htm (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《数字乡村发展战略纲要》[EB/OL]. [2024-05-20]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm
The Central People's Government of the People's Republic of China. The Central Committee of the Communist Party of China General Office and the General Office of the State Council Issued the "Digital Rural Development Strategy Outline" [EB/OL]. [2024-05-20]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm (in Chinese)
- [3] 中华人民共和国农业农村部. 两部门印发《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》[EB/OL]. [2024-05-20]. https://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202001/t20200120_6336380.htm
The Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Two Departments Issued the "Digital Agriculture and Rural Development Plan (2019-2025)" [EB/OL]. [2024-05-20]. https://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202001/t20200120_6336380.htm (in Chinese)
- [4] 叶兴艺, 谢闻. 乡村振兴战略下我国智慧农业发展问题与策略分析[J]. 农业经济, 2023(12):3-6
Ye X Y, Xie C. Analysis on the development problems and strategies of China's smart agriculture under the rural revitalization strategy [J]. *Agricultural Economy*, 2023, (12): 3-6 (in Chinese)
- [5] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7
Zhao C J. State-of-the-art and recommended developmental strategic objectives of smart agriculture [J]. *Smart Agriculture*, 2019, 1(1): 1-7 (in Chinese)
- [6] 郑谦, 李其琪. 基于CiteSpace的中国智慧农业研究趋势可视化分析[J]. 安徽科技学院学报, 2023, 37(5): 109-116
Zheng Q, Li Q Q. CiteSpace-based visual analysis of China's smart agriculture research trend [J]. *Journal of Anhui Science and Technology University*, 2023, 37(5): 109-116 (in Chinese)
- [7] 郑倩, 李鹏云, 周迪. 基于文献计量学的智慧农业研究现状及趋势分析[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(3): 29-38
Zheng Q, Li P Y, Zhou D. Current status and trend of studying smart agriculture based on bibliometric analysis [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2023, 42(3): 29-38 (in Chinese)
- [8] 潘友菊, 徐玉婷, 於冉, 徐国良, 周艳, 李英妮. 气候智慧型农业研究: 热点、趋势和展望[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(1): 136-148
Pan Y J, Xu Y T, Yu R, Xu G L, Zhou Y, Li Y N. Climate-smart agriculture research: Hotspots, trends, and prospects [J]. *Chinese*

- Journal of Eco-Agriculture*, 2023, 31(1): 136-148 (in Chinese)
- [9] Liu Q, Yan Q, Tian J Y, Yuan K X. Key technologies and applications in intelligent agriculture[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1757(1): 012059
- [10] 杨良斌. 跨学科学的理论基础探讨[J]. 图书情报工作, 2011, 55(16): 29-32, 41
- Yang L B. Theoretical basis of interdisciplinary science[J]. *Library and Information Service*, 2011, 55(16): 29-32, 41 (in Chinese)
- [11] 邱均平, 段宇锋, 陈敬全, 宋恩梅, 嵇丽. 我国文献计量学发展的回顾与展望[J]. 科学学研究, 2003, 21(2): 143-148
- Qiu J P, Duan Y F, Chen J Q, Song E M, Ji L. The retrospect and prospect on bibliometrics in China[J]. *Studies in Science of Science*, 2003, 21(2): 143-148 (in Chinese)
- [12] 赵民志. 文献计量跨学科应用研究[J]. 图书馆理论与实践, 2015(3): 54-56
- Zhao M Z. Research on interdisciplinary application of bibliometrics[J]. *Library Theory and Practice*, 2015(3): 54-56 (in Chinese)
- [13] 胡昌平, 陈果. 科技论文关键词特征及其对共词分析的影响[J]. 情报学报, 2014, 33(1): 23-32
- Hu C P, Chen G. Characteristics of keywords in scientific papers and their impact on co-word analysis[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2014, 33(1): 23-32 (in Chinese)
- [14] 屈文建, 朱丽, 虞逸飞. 学术交叉领域的双向聚类及主题关联特征分析[J]. 情报科学, 2021, 39(7): 30-37
- Qu W J, Zhu L, Yu Y F. An analysis of the bidirectional clustering and the topic association characteristics in academic cross fields[J]. *Information Science*, 2021, 39(7): 30-37 (in Chinese)
- [15] 李道亮. 物联网与智慧农业[J]. 农业工程, 2012, 2(1): 1-7
- Li D L. Internet of things and wisdom agriculture[J]. *Agricultural Engineering*, 2012, 2(1): 1-7 (in Chinese)
- [16] 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 222-230, 277
- Ge W J, Zhao C J. State-of-the-art and developing strategies of agricultural Internet of Things[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(7): 222-230, 277 (in Chinese)
- [17] 管大海, 张俊, 郑成岩, 邓文兴, 宋振伟, 王全辉, 张卫建. 国外气候智慧型农业发展概况与借鉴[J]. 世界农业, 2017(4): 23-28
- Guan D H, Zhang J, Zheng C Y, Deng A X, Song Z W, Wang Q H, Zhang W J. General situation and reference of climate intelligent agriculture development abroad[J]. *World Agriculture*, 2017(4): 23-28 (in Chinese)
- [18] Mohanty S P, Hughes D P, Salathé M. Using deep learning for image-based plant disease detection[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7: 1419
- [19] Attiri I, Awasthi L K, Sharma T P. Machine learning in agriculture: A review of crop management applications[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2024, 83(5): 12875-12915
- [20] 赵欣. 智能机器人在农业自动化领域的主要应用[J]. 中国农学通报, 2010, 26(10): 360-364
- Zhao X. The main application of intelligent robot in the field of agriculture automation[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(10): 360-364 (in Chinese)
- [21] Smith M J. Getting value from artificial intelligence in agriculture[J]. *Animal Production Science*, 2020, 60(1): 46
- [22] 张维理, Kolbe H, 张认连. 土壤有机碳作用及转化机制研究进展[J]. 中国农业科学, 2020, 53(2): 317-331
- Zhang W L, Kolbe H, Zhang R L. Research progress of SOC functions and transformation mechanisms[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(2): 317-331 (in Chinese)
- [23] 张维理, Kolbe H, 张认连, 冀宏杰. 农田土壤有机碳管理与有机质平衡算法[J]. 中国农业科学, 2020, 53(2): 332-345
- Zhang W L, Kolbe H, Zhang R L. Research progress of SOC functions and transformation mechanisms[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(2): 317-331 (in Chinese)
- [24] 胡鸿雁, 朱建明. 智慧农业体系研究[J]. 中国国情国力, 2017(11): 48-50
- Hu H Y, Zhu J M. Research on smart agriculture system[J]. *China National Conditions and Strength*, 2017(11): 48-50 (in Chinese)
- [25] 牛冲理, 王涛. 面向农业生产智能管理与追溯的物联网应用研究[J]. 物联网技术, 2015, 5(2): 86-88, 91
- Niu C L, Wang T. Research on the application of Internet of Things for intelligent management and traceability of agricultural production[J]. *Internet of Things Technologies*, 2015, 5(2): 86-88, 91 (in Chinese)
- [26] 李长玲, 崔斌, 刘小慧, 冯志刚. 作者潜在跨学科合作度模型构建与合作组合识别: 以图书情报学与计算机学科为例[J]. 情报理论与实践, 2017, 40(7): 61-66
- Li C L, Cui B, Liu X H, Feng Z G. Potential interdisciplinary collaboration model construction and cooperative combination identification of authors[J]. *Information Studies: Theory & Application*, 2017, 40(7): 61-66 (in Chinese)
- [27] Gunawardena S, Weber R, Agosto D. Finding that special someone: Interdisciplinary collaboration in an academic context[J]. *Journal of Education for Library and Information Science*, 2010, 51(4): 210-221
- [28] 华小琴, 邢文明. 基于文献分析的跨学科研究及协作行为探析[J]. 图书馆建设, 2017(8): 21-26, 35
- Hua X Q, Xing W M. Exploration of interdisciplinary research and collaborative behavior based on literature review[J]. *Library Development*, 2017(8): 21-26, 35 (in Chinese)
- [29] 薛杰, 李涵昱, 吴振新. 合著论文作者贡献度评价方法研究综述[J]. 图书情报知识, 2024, 41(2): 100-109
- Xue J, Li H Y, Wu Z X. Literature review on evaluating methods research of coauthor contributions[J]. *Documentation, Information & Knowledge*, 2024, 41(2): 100-109 (in Chinese)
- [30] Mugabushaka A M, Kyriakou A, Papazoglou T. Bibliometric indicators of interdisciplinarity: The potential of the Leinster-Cobbold diversity indices to study disciplinary diversity[J]. *Scientometrics*, 2016, 107(2): 593-607
- [31] Stirling A. A general framework for analysing diversity in science, technology and society[J]. *Journal of the Royal Society, Interface*, 2007, 4(15): 707-719
- [32] 张雪, 张志强. 学科交叉研究系统综述[J]. 图书情报工作, 2020, 64(14): 112-125
- Zhang X, Zhang Z Q. Review on interdisciplinary research[J]. *Library and Information Service*, 2020, 64(14): 112-125 (in Chinese)
- [33] Leydesdorff L. Visualization of the citation impact environments of scientific journals: An online mapping exercise[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2007, 58(1): 25-38

责任编辑：申青苗



第一作者简介:李赛,中国农业大学图书馆图书情报专业硕士研究生。本科就读于中国农业大学信息与电气工程学院电子信息工程专业。硕士期间,协助开展研究工作,并撰写了多个领域的分析报告,包括智慧农业领域的作者合作分析报告、主题分析报告,以及中国农业大学等7所高校智慧农业领域的博士论文主题分析报告。2024年获研究生学业一等奖学金、校级三好学生。



通讯作者简介:王宝济,中国农业大学研究馆员,硕士研究生导师。教育部学位中心硕博论文评审专家。长期从事图书馆网络自动化、资源数字化、农业科学与农业工程等学科情报研究和科技期刊编辑出版等教学和研究工作。主持或参与多项国家级和省部级科研课题;在SCI、EI、CSSCI等学术期刊发表相关学术论文10余篇,编著出版《网络建设实用指南》。担任《中国农业文摘-农业工程》执行主编,中国期刊协会农业期刊分会副主任委员,中国高校科技期刊研究会农业期刊专业委员会副主任委员,中国农业期刊网编辑委员会副主任委员,中国科学技术期刊编辑学会政策咨询与发展工作委员会委员等。