# 低碳农业研究的知识图谱及比较

陈 儒

（西北农林科技大学 经济管理学院，陕西 杨陵 712100）

**摘 要：** 基于 WoS、CNKI 与 CSSCI 数据库中低碳农业议题相关研究文献，运用 CiteSpace V 软件绘制了知识图谱，借助文献计量分析法展开国内外低碳农业研究现状、发展脉络、知识结构和关键引文等系统性知识信息的比较与分析。结果表明：低碳农业议题在中国学界具有极高的关切度，热点突现期为 2010 年、2011 年；国内外对于低碳农业议题的研究在演化过程中呈现出许多重要文献节点，它们对知识域的兴起、延伸、分叉等转折变化起到了创造性的关键作用；国外关于低碳农业研究主要围绕农业生物能源开发与利用等六大类议题展开，国内低碳农业议题研究在理论探索、实证研究与农业温室气体核算体系构建等三个领域得以发展完善，知识结构既有重叠又有差异；国内外低碳农业研究的“二元结构”特征明显，且国内研究学科交叉性不强，拓展低碳农业议题的知识结构、加深对低碳农业的经济本质内涵研究、加强对农业碳源和碳汇双重效应的系统性关注、开展微观层面的低碳农业议题是未来研究的创新方向。

**关键词：** 低碳农业；知识图谱；碳排放；低碳经济；CiteSpace V

**中图分类号：** F062.2；F303.4　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1672－0202(2019)03－0022－13

## 一、引言

面临“全球气候变暖”这一具体生态环境问题，诸多学者围绕如何控制人为活动产生的温室气体排放展开了关于发展低碳经济的理论与实践探索，至今已取得较为丰硕的研究成果。借此契机，王成城等[1]、余菜花等[2]在文献计量的基础之上对低碳研究领域的知识体系进行了梳理，发现各个科学领域围绕低碳主题的研究正如火如荼的开展，其中王成城等[1]指出低碳领域的研究议题主要有低碳经济、低碳城市、气候变化、低碳技术、节能减排、可持续发展、低碳消费 7 个具体方向，余菜花等[2]认为低碳研究主要围绕低碳经济、低碳城市、低碳技术、低碳社会、低碳农业、低碳旅游、低碳消费展开，而低碳农业已作为重要的研究分支从低碳知识群组中拓展出来，进而发展成为关键的前沿研究领域。低碳农业这一研究议题得以兴盛和发展的原因，一方面在于农业生产过程自身会产生大量的温室气体排放[3]，对全球气候变暖起着举足轻重的作用；另一方面由于农业生产严格受到自然资源条件的制约，对生态环境表现出极强的依赖性，因而除了市场风险的干扰以外，气候变化给农业产业带来了较大的自然风险[4]。作为人类与其他经济部门赖以生存的根基，发展低碳农业的客观现实需求自然敦促着学界不断致力于低碳农业议题的探索与完善。

对于低碳农业议题的研究进展，田云等[5]在对农业碳排放进行概念性阐述的基础上，重点对当前国内外农业碳排放问题的研究论点及其进展进行归纳、比较和述评，指出了当前研究存在的

**收稿日期：** 2019－02－22　　**DOI：** 10.7671/j.issn.1672－0202.2019.03.003

**基金项目：** 国家自然科学基金面上项目（71573212）

**作者简介：** 陈 儒（1991—），男，山西曲沃人，西北农林科技大学经济管理学院博士研究生，主要研究方向为农业资源经济与环境管理。E-mail：R.CHEN@foxmail.com

一些不足,并提出了未来可能的研究方向;周胜等[6]则以水稻生产为例,综述了水稻生产过程 $CH_4$ 和 $N_2O$ 产生的机理和特征,并提出了今后稻田低碳生产的研究方向;魏斌等[7]通过文献阅读分析归纳了低碳农业的概念、特点、发展现状、存在问题及对策,并综述了草地生态系统中碳循环的作用机理。其他现有研究成果也与之类似,均在文献搜寻与回顾的基础之上,运用定性研究范式的概括归纳法试图理清低碳农业议题的研究现状与发展趋势。尽管此类文献研究结论具有重要的参考价值,但也暴露出一定的缺陷:在文献搜集方面,由于缺乏对现有研究成果引文关系的深入探讨,易于疏漏一些关键的低碳农业议题的研究文献,而这些文献往往是该领域具体研究方向的重要转折点;在具体研究论点的综述方面,较多局限于自身研究视角进行概括归纳,使得低碳农业议题研究脉络的梳理要么往往带有较强的主观性色彩,要么局限于单调的概念性特征进行分类阐释,如此难以把握低碳农业议题真正的研究动态与发展趋势。鉴于以上考虑,本研究试图运用定量与定性结合分析的文献计量法对国内外低碳农业议题进行文献梳理与评述,一方面期望把握低碳农业议题的研究现状、发展脉络、知识结构与关键引文等系统性知识信息,另一方面将国内外低碳农业议题研究的知识图谱区分开来进行比较分析,摸清可能的研究差距、共同走势及可借鉴领域等,以期为后续研究奠定基础,提供可能的创新方向。

## 二、基于 CiteSpace 的文献计量法

### (一)研究方法说明

CiteSpace 主要基于共引分析理论和寻径网络算法等对某一学科领域的文献进行计量分析,以此寻找学科演化的关键路径及知识转折点,最终通过一系列可视化知识图谱展开对学科演化的动力机制和发展前沿的探索与分析[8]。因此,CiteSpace 不仅能清晰显示一个学科或知识域在一定时期发展的趋势与动向(进展、前沿、知识基础),还能理清复杂引文网络中文献信息的关系(合作作者、合作机构、期刊等),有助于建立关于低碳农业议题全面的文献信息系统,便于分析该领域的知识发展脉络、发展走向。基于此,本研究运用 CiteSpace 5.3 严格遵循确定关键词和专业术语、收集数据、提取研究前沿术语、时区分割、阈值选择、网络精简和合并、可视化显示、可视化编辑和检测、验证关键点等应用操作流程,对国内外低碳农业议题进行文献计量分析,进而提升相关研究进展评述的客观性,并通过 Modularity Q 与 Mean Silhouette 两个指标判断引文聚类结果的效度,以此确定更为科学、清晰的知识图谱。

### (二)数据来源与处理

一方面,对于外文关于低碳农业主题的文献搜集源于 WoS 数据库,检索条件设置主题为 TS = "low carbon" agriculture,其中将 low carbon(低碳)设置为专业术语,旨在查找在记录的"摘要""标题"和"关键字"字段中包含检索词 low carbon 和 agriculture。文献类型设置为 Article,检索日期为 2018 年 8 月 27 日,最终在 WoS 数据库中围绕低碳农业主题检索总计得到 409 条文献记录。其中关键核心文献 357 篇,总被引频次为 5820 次,除去自引后为 5716 次,施引文献为 5423 篇。另一方面,对于国内关于低碳农业主题的文献搜集源于 CNKI 与 CSSCI 数据库,本研究首先在 CNKI 数据库中进行高级检索,检索条件设置主题为"低碳"并含"农业"进行精确文献检索,文献类型设置为期刊论文,检索日期同上,总计得到 2363 条文献记录。在以上检索条件的基础之上,将期刊来源类别设置为"核心期刊"与"CSSCI",从 2363 条记录中再次筛选出了 721 篇高质量文献,为了保留一些未被核心与 CSSCI 收录的高频被引论文,按照被引频次排列后,再次补充了引用频次为 15(含 15)以上的 44 篇期刊论文,最终总计获得 765 篇相关文献。考虑到 CNKI 数据因缺乏参考文献记录无法进行相关研究文献的引文分析,因而再次从 CSSCI 数据库(非扩展版)中进行筛选,通过设

置关键词“低碳”与“农业”进行高级检索，在同日期下得到103篇关于低碳农业的关键文献。

## 三、低碳农业议题研究的现状与趋势

### （一）国内外低碳农业议题发文现状

文献数量的变化情况是衡量低碳农业领域研究进展的重要指标。图1中依据在WoS数据库中围绕低碳农业主题检索得到的409条文献记录和CNKI数据库中检索得到的765条文献记录绘制了文献数量年度分布状况图。从图中可以看出，国内外低碳农业议题相关文献产生于1992年《联合国气候变化框架公约》实施前后，自2009年召开哥本哈根气候变化大会后，整体研究趋势呈现出指数增长的激增态势，国内发文的数量规模整体要高于国外发文数量。其中，在409篇外文文献中，源于中国学者发文量为187篇，美国发文94篇，英国发文67篇，巴西、德国、澳大利亚分别贡献24篇，加拿大发文21篇，印度与西班牙分别贡献14篇，日本与荷兰分别贡献11篇，其余国家发文10篇以下。国外发文趋势在2016年以前保持平稳增长，而后出现回落现象，但降幅水平并不明显。在765篇中文文献中，检索结果显示与低碳农业紧密相关的首篇文献源于2008年王昀发表的《低碳农业经济略论》，2009年相关发文量为8篇期刊论文，但在2010年、2011年陡增至123和146篇，随后呈现逐年递减趋势，2015年往后稳定于每年约为60篇低碳农业主题的高质量期刊论文产量，但减产现象并未停止。因此，从图1中发文数量和发文趋势可知，尽管国内对于低碳农业议题研究的关注度要高于国外，文献研究成果也颇为丰富，但不可置疑地表现出了一定的热点突发性，突现期为2010年、2011年，随后国内学界对其关注度持续减弱。

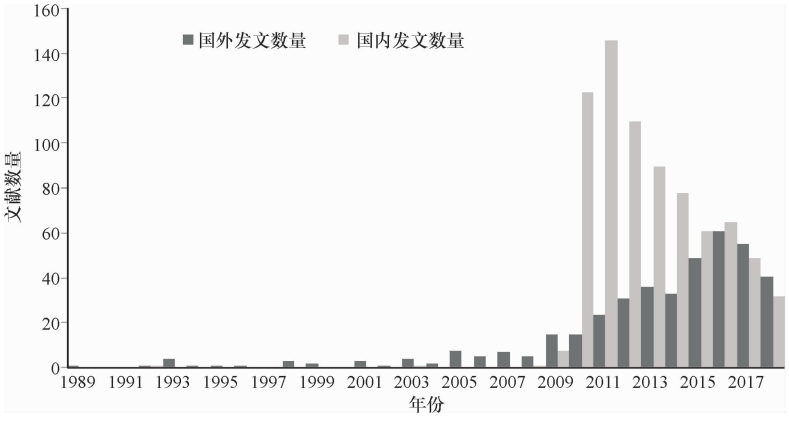



图1 国内外低碳农业议题发文趋势

### （二）低碳农业议题的演化趋势与关键文献识别

在多番调试下，对于WoS数据库357条关键文献记录，模型最终设定1992年《联合国气候变化框架公约》实施后为起始时间，时间分区为2年，周期为1992—2018年，采用寻径算法对图谱进行修剪，总计进入引文分析的有效文献数量为15888篇。其中，对于Top N% =100的文献共被引自动聚类图谱，最终生成了具有461个节点和2846条连线的文献共被引网络，图中颜色整体偏向于代表近期的亮黄色（图略），表明了低碳农业议题的前沿性特征。为了更清晰地展示和把握知识群组的关键节点，继续对引文网络进行精简，在保持其他参数配置不变的情况下，调试数据筛选设置Top N =30，得到了更为清晰的文献共被引聚类图谱，如图2左所示。对于CSSCI数据库103条文献记录，转换后的文献数据规模为1285条记录（施引与被引），由于数据规模较小，因此设定时间分区为1年，周期为2008—2018年，设置Top N% =100，采用寻径算法对图谱进行修剪，通过调

整节点和连线的透明度参数,得到国内低碳农业议题文献共被引自动聚类图谱(参见图 3),由于图谱结构清晰,能够科学反映引文关系,故而不再调整数据筛选设置。

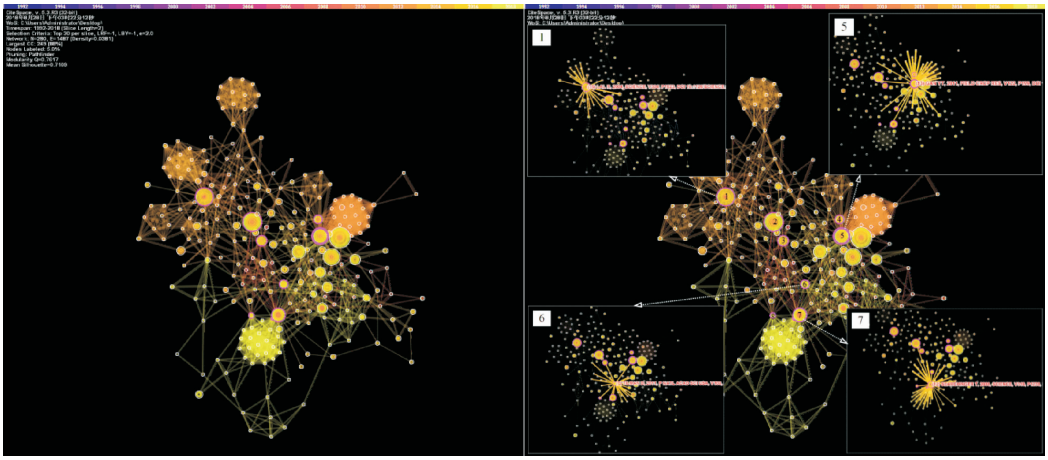
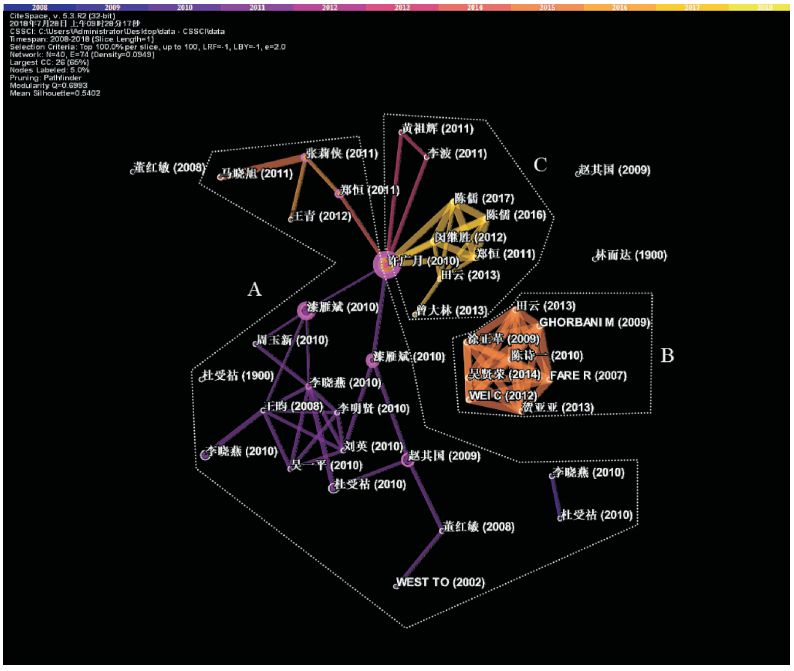



**图 2　Top N = 30 WoS 数据库文献共被引自动聚类图谱及其关键节点**




注:引文文献年份若检索不到,CiteSpace 会自动替代为 1900 年

**图 3　Top N% = 100 CSSCI 数据库文献共被引自动聚类图谱及其关键节点**

如图 2 左和图 3 所示,国内外对于低碳农业议题的研究均随着时间推移呈现出一定的演化趋势,国外自左上向右下低碳农业议题随时间而不断得到推进,国内自左下向右上随时间而呈现出知识的演变,同时,在低碳农业议题演化过程中出现了众多关键文献节点,节点大小代表着文献的被引频次,节点内圈中颜色及厚薄程度代表着不同时间段内文献的被引频次,节点之间的连线则代表了文献的共引关系,而粗细代表着共引强度,连线颜色对应了节点之间第一次共引的时间。这些在每个知识群落的转折处出现的关键节点,对知识域的变化起到了创造性的关键作用。为了辨识、筛选出对知识域起到关键作用的节点,CiteSpace 以紫色圆边加以标记,以图 2 右为例,通过

对关键文献的识别,最终确定了8个关键节点,并给出了节点1、5、6、7的引文网络,这些关键节点文献频繁地被其他文献引用,进而发展成为某个具体研究方向的引文"鼻祖"。由于国内文献数据规模较小,因而关键节点显得更为清晰。表1给出国内外低碳农业议题关键节点原始文献信息,这些文献对于全面了解低碳农业议题的知识结构具有十分重要的意义。

**表1 国内外低碳农业议题关键节点的原始文献信息**

| 类别 | 作者(节点编号) | 文献名称 | 出现频次 | 中心性 |
|---|---|---|---|---|
| 国外低碳农业议题关键节点文献 | Lal, et al.(节点1) | Managing soil carbon | 18 | 0.07 |
| | Smith, et al.(节点2) | Greenhouse gas mitigation in agriculture | 17 | 0.19 |
| | Hillier, et al.(节点3) | The carbon footprints of food production | 9 | 0.20 |
| | Wiedmann, et al.(节点4) | A definition of 'carbon footprint' | 7 | 0.11 |
| | Gan, et al.(节点5) | C:N ratios and carbon distribution profile across rooting zones in oilseed and pulse crops | 13 | 0.28 |
| | Tilman, et al.(节点6) | Global food demand and the sustainable intensification of agriculture | 7 | 0.16 |
| | Searchinger, et al.(节点7) | Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change | 12 | 0.17 |
| | Foley, et al.(节点8) | Solutions for a cultivated planet | 4 | 0.12 |
| 国内低碳农业议题关键节点文献 | 许广月 | 中国低碳农业发展研究 | 11 | 0.55 |
| | 赵其国,等 | 低碳经济与农业发展思考 | 6 | 0.14 |
| | 漆雁斌,等 | 低碳农业发展影响因素的回归分析 | 6 | 0.21 |
| | 李晓燕,等 | 低碳农业:应对气候变化下的农业发展之路 | 4 | 0.00 |
| | 杜受祜 | 低碳农业:潜力巨大的低碳经济领域 | 4 | 0.04 |
| | 郑恒,等 | 低碳农业发展模式探析 | 4 | 0.18 |
| | 张莉侠,等 | 中国低碳农业发展现状与对策探讨 | 4 | 0.13 |
| | 漆雁斌,等 | 能源紧张情况下的低碳农业发展问题分析 | 3 | 0.21 |
| | 田云,等 | 中国农业生产净碳效应分异研究 | 2 | 0.06 |

## 四、低碳农业议题研究的知识基础

低碳农业研究的知识基础指每个具体研究方向或研究前沿的所有前期文献集合,主要是根据文献共被引聚类来体现[8]。本文运用CiteSpace提供的聚类生成与标注功能,并通过细致阅读这些前沿性文献,继而归纳出低碳农业研究的知识结构与前沿议题。

### (一)国外低碳农业议题的研究前沿分析

运用CiteSpace提供的聚类生成与标注功能对引文主题进行聚类,并在此基础之上进行归纳总结,对于聚类标签词的提取办法采用对数似然率算法,每个聚类均以排序最高的特征词来表示。如图4左所示,低碳农业知识域通过聚类形成了20个群组,其中发展较为庞大、成熟的群组有11个议题。同时,为了勾画聚类之间的关系和某个聚类中文献的历史跨度,再次运用CiteSpace绘制了时间线视图(图4右),将其结合聚类图谱进行分析,可以得知聚类群组兴起、涌现的时间,以及

了解到某类议题中的一些标志性文献。通过对这些文献的分析可以明确聚类群组研究的主要内容、现状问题等。

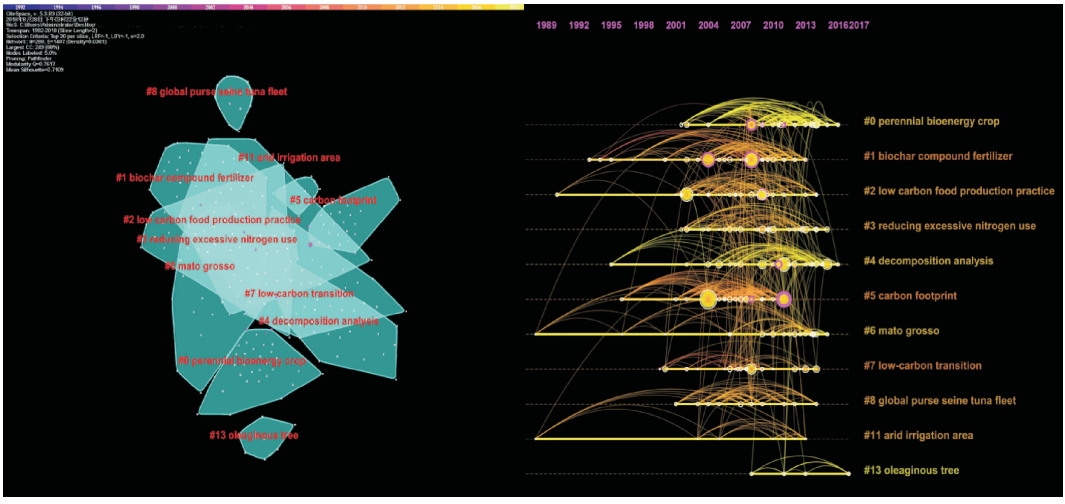



**图 4　Top N = 30 引文主题聚类标签图谱和时间线图谱**

(1)聚类#0(Perennial bioenergy crop)(多年生生物能源作物)与聚类#13(Oleaginous tree)(油料树)。在这两类知识群组中,学者重点讨论了农业生产的生物能源对化石燃料的替代作用对减排影响的重要性。部分研究认为如果将农业生产中的作物残留物、畜禽粪便进行有效回收,或经营专用的能源作物[9],进而发挥农业生物能在能源供给方面的减排优势,对传统化石燃料进行替代,温室气体将会大幅减少[10]。但对于此种策略,部分学者表示担忧:如果生物燃料价格过高,由于经济利益的驱动,农户可能会将退耕还林(草)的土地转向经营生物能源作物,实践证明东南亚油棕产业的扩张已经导致了生物多样性的减少和温室气体排放的增加[11],土地利用的变化将在整体上降低减排效果[12],所以应尽量依赖农业废弃物的能源化利用[13]。

(2)聚类#1(Biochar compound fertilizer)(生物炭复合肥)和聚类#3(Reducing excessive nitrogen use)(减少氮素过量利用)。这两组文献关注的议题是农作与土壤碳管理,重点在于研究、改良农业化肥及其施用方式。当前追求短期农业经济利益的常规耕作方式——翻耕,极易导致土壤有机碳流失速率不断增加,虽然现有措施考虑将秸秆粉碎还田,但其实际减排效果并不好,原因在于土壤微生物分解作用致使净碳汇产生损失,农民往往进行追肥予以应对[14]。因此,研究水肥管理对减轻温室气体排放的综合效应是极其重要的[15],其中聚类#1 文献侧重研究如何实现工业化肥向生物化的转变[16],聚类#3 研究视角精准落在了对于氮肥的管理利用上。减少氮素过量利用的途径主要有推广氮肥优化技术、提高肥料生产的能源效率、加强现场指导和参与式培训、发展有机农业等措施[17]。

(3)聚类#2(Low carbon food production practice)(低碳农产品生产与实践)、聚类#5(Carbon footprint)(碳足迹)与聚类#8(Global purse seine tuna fleet)(金枪鱼围网渔业)。此三组知识文献均涉及农业碳足迹这一前沿性议题。在聚类#5 中,学者重点在理论层面上理清碳足迹的概念内涵、核算方法等,对于碳足迹的核算,学者善于围绕 IPCC 推荐的三种办法在某一地区内展开农业温室气体某一环节的详细测算并进行比较研究[18],而全生命周期评价(LCA)的方法为温室气体核算提供了新视角。聚类#2、聚类#8 则是在聚类#5 知识群组基础之上的深入拓展,聚类#2 更侧重量化和确定不同农作方式下生产的多种农作物碳足迹,即农作物层面的温室气体排放与吸收,在系统边

界的考虑上更加全面、完善[19],全生命周期阶段的分析视角备受学者青睐[20]。聚类#8 则将研究目光投向了渔业领域,尝试构建渔业食品的碳足迹指标,由于现代化的商业渔业在整个供应链中很大程度上需要紧密依赖化石燃料的投入,且燃料投入强度因所捕获的鱼种、捕鱼区域、技术装备等差异而不同[21],因而减少渔业碳足迹也成为相关领域学者关注的焦点[22]。

(4)聚类#4(Decomposition analysis)(分解分析)。该知识群组文献侧重于解剖农业温室气体的结构并进行对比分析,试图评价低碳农业生产实践中经济效益与生态效益的关系,一般从农业全生产核算环节和分解模型两个角度进行解析。如 Gan 等[23]为了了解替代后的耕作方式是否会真正实现产量增加和减排的双重效益,研究了半干旱环境替代小麦生产系统后作物产量与碳足迹的关系,得到了肯定的结论;Cheng 等[24]利用中国 1993—2007 年间的国家统计数据进行碳足迹分析后也认为碳强度与农业总产量呈显著的正相关关系,化肥施用是这种关系的主要制约因素。在分解模型的应用方面,随着解耦与分解计量经济学方法得到发展完善[25],量化分析经济增长与碳排放的解耦效应和驱动因素也因此得以兴盛[26]。

(5)聚类#6(Mato Grosso)(马托格罗索,巴西)与聚类#11(Arid irrigation area)(干旱灌区)。这两组文献共同关注的议题为如何实现应对气候变化与保障粮食安全的双重目标,其中聚类#6 以世界农业重要生产基地巴西马托格罗索州实践为出发点展开分析,而聚类#11 较为关注农业生态系统较为脆弱的干旱地区。二者研究目标殊途同归——在获得最大粮食产量的同时,最大限度地减少农业活动对环境的负外部效应。部分学者建议将马托格罗索养殖备用地转向作物生产,以满足国家所需的减排指标[27],但又对农业快速扩张所引致的森林过度砍伐表示担忧,因而提出发展以应对气候变化为目标的智能化、集约化农业的对策措施[28]。然而,聚类#11 文献研究认为,通过集约化的生产系统的确可以提高作物产量,但通常需要更多的能量投入[29],而在干旱地区水资源显得尤为珍贵,在集约化生产实现的方式上则需要多加考虑[30],其中通过调整作物种植制度以实现可持续性成为学者讨论的议题[31]。

(6)聚类#7(Low carbon transition)(低碳转型)。在该聚类中,学者重点讨论低碳发展政策设计、机制建设相关议题,文献研究成果批判了仅仅依靠工程技术实现温室气体减排的方案设想,认为忽略全球参与式气候政策能否顺利制定和现有先进的低碳技术能否充分利用等政策性问题是极为不妥当的[32]。为此,该组知识文献回答了诸如如何实现全球式参与治理气候变化[33]、如何引导能源部门实现温室气体减排[32]、合作的利益[34]与风险[35]有哪些等问题,指出了传统研究中依赖纯模型分析不足以解决低碳领域广泛的经济、政治和风险管理问题,减轻气候变化对农业生产的影响还应更多地依赖一些有效的资源环境政策[36],未来还应重视调整温室气体治理制度,关注气候政策工具[37]、减排技术的组合效益[38]。

基于以上分析可知,在低碳农业研究领域兴起的知识群组或热点议题既有区别又有联系。从时间线视图(图 4 右)也可看出,聚类#2、#6、#11 相关议题出现较早,而聚类#0、#3、#8、#13 知识群组起步较晚,聚类#0、#3、#4 与#13 相比较其他议题而言具有一定的前沿性,关键节点文献散落于聚类#0、#1、#2、#4 与#5 知识群组中。整体上来讲,以上 11 个议题研究内容可归纳为农业生物能源开发与利用、农作与土壤碳管理、农业碳足迹、农业温室气体结构解析、气候变化与粮食安全、低碳发展政策机制设计六大类,其中关于农业碳足迹的核算研究是其他议题发展的重要知识基础。

**(二)国内低碳农业议题的研究前沿分析**

如图 3 所示,由于 Top N% =100 国内低碳农业议题文献共被引自动聚类图谱引文结构较为清晰,故而直接进行归纳总结发现,国内低碳农业议题演化出了 3 个重要的研究方向(图 3 中 A-C 区),片区中的文献成为其对应研究方向的重要知识基础,通过对这些前沿文献的分析发现:

(1)A 区知识群组为低碳农业研究提供了一定的理论支撑。①部分学者阐释了低碳农业的概念、内涵及特征,把低碳经济的概念体系引入到农业生产实践中,为农业领域展开温室气体减排工作提供基本理论指导[39],指出低碳农业生产表征出“三低”型[40]、资源节约型、环境友好型、效益型和安全型的经济特征[41],低碳农业经济的本质也即为依据能源技术创新、制度创新等措施在农业生产经营过程中以最低温室气体排放获得最大的社会收益,实现方式包括直接减排、间接减排与碳汇作用减排,旨在提高农业碳汇能力和减弱农业碳源能力[42]。②部分研究归纳了低碳农业发展的经济模式,有的基于具体农业实践归纳出有害投入品减量的替代模式、立体种养的节地模式、种养废弃物再利用模式等类型[43],有的就具体农业经济形态,认为实现低碳农业经济的途径为发展有机农业、循环农业、生态农业等[44],有的创新提出低碳农业是在应对全球气候变化中应运而生的新生事物,是一种生态高值农业模式[45],郑恒等[46]强调低碳农业发展模式中应当关注其碳汇功能,推广节碳固碳技术,提高农业固碳能力。③还有部分学者在挖掘和总结实验科学领域中通过展开精密实验设计的方式,精确评估农业技术温室气体减排效应的文献成果,提出了实现低碳农业生产的技术支撑体系[47]。

(2)B 区知识群组开展了宏观层面上低碳农业的实证分析。①农业碳排放与经济增长关系的实证检验。学者对农业碳排放与经济增长关系的实证检验目标有三个:第一,试图理清农业碳排放与经济增长之间是否相互影响,即是否互为因果关系,采用的计量方法一般为协整、误差修正模型与格兰杰因果检验[48],也有自回归分布滞后模型等[49];第二,检验农业碳排放与经济增长之间是否存在倒 U 型曲线关系,或农业碳排放与经济增长是否实现脱钩趋势,采用的方法有 EKC 曲线回归模型[50]、Tapio 脱钩模型等[51];第三,引入一些关键变量到农业碳排放和经济增长之中,试图挖掘出该变量对农业碳排放与经济增长关系的影响机理,如技术水平、产业结构等[52]。②农业碳排放的驱动因素分析。除了引入关键变量分析其对农业碳排放和经济增长关系的影响之外,更多文献构建了计量模型展开了对农业碳排放驱动因素的分析,采用的计量方法比较主流的有 LMDI 指数分解法[53]、Kaya 恒等式法[54]和 STIRPAT 模型[55],另有多元回归模型[56]、对应分析法[57]、Paasche 指数法与 Divisia 指数法等[54]。从实证结果来看,影响农业碳排放的驱动因素较多,有农业技术水平、农村生活质量、城镇化建设进程、人口规模效应、能源强度、效率与结构、产业结构、农业生产规模、农业机械化水平等。③低碳农业发展的绩效测算与评价。对于低碳发展绩效的评价,起初学者习惯于采用单要素指标进行评价,如通过核算农业碳排放量、净碳排放量评价其生态效益[58],而后学者引入了经济指标,构建了碳效率指标、碳强度指标、碳密度指标等,以此评价低碳农业发展的经济效益[59]。随着环境方向性距离函数工具方法的发展完善,及其在宏观部门或工业层面研究中的成熟运用[60],低碳研究领域获得了重要的方法支撑。函数估计方法主要分为参数化方法和基于数据包络模型的非参数化方法[61]。部分学者以此把环境因素纳入到农业经济绩效的研究框架中,对低碳农业的绩效予以评估[62]。

(3)C 区知识群组探索完善了农业温室气体核算体系。①不同尺度下的农业温室气体核算体系。目前,对于农业生产活动碳效应的分析与核算,现有文献较多从宏观农业层面[58]、中观农业产业(种植业[63]、畜牧业[64]与林业层面[65]等)以及具体农业项目尺度[59]构建相应的测算体系进行研究。另有文献围绕某项农业环境工程技术、生态环境建设项目、农业环境污染行为等,运用碳计量的方法测算其带来的温室气体排放量或减排效益,如农业残留物燃烧产生的温室气体排放核算[66]、农村户用沼气池碳减排效果评估[67]、退耕还林工程[68]等碳效应分析与核算。②农业温室气体核算制度的发展与评价。现有文献测算农业活动温室气体排放量时,较多借鉴早期政府间气候变化专门委员会(IPCC)构建的核算制度[3],或国家发展改革委基于清单指南编写的《省级温室

气体清单编制指南》等展开相应的碳效应核算[65],这种在 IPCC 清单指南基础上开展的自上而下、逐层分解的核算方法,易于展开宏观区域层面的 GHG 核算。就更为微观的组织和产品层面而言,国际标准化组织(ISO)对产品碳足迹的核算方法制定了一系列具体的指导要求和指南规范,如 ISO 14040 系列标准、ISO 14060 系列标准等,与此类似,还有世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会制定的温室气体议定书、英国标准协会发布的 PAS 2050 系列规范、日本工业标准委员会实施的 JIS TS Q 0010 等,这些基于生命周期评价视角、自下而上的核算方法逐步成为开展产品和服务中进行微观层面温室气体核算的制度依赖[69]。

## 五、低碳农业议题的研究展望

综上所述,低碳农业作为低碳经济研究领域的前沿议题,自 2009 年全球哥本哈根气候变化大会召开以来,已在国外和国内理论与实践中得到长足发展。WoS 数据库中关于低碳农业研究主题的文献成果已形成了 20 个知识群组,其中发展较为庞大、成熟的群组有 11 个议题,学者围绕如何合理开发和利用农业生物能源实现温室气减排、如何调整农作方式管理和改善土壤碳汇、如何更全面详尽地测算农业生产碳足迹、如何评价低碳农业生产实践中经济效益与生态效益的关系、如何实现应对气候变化与保障粮食安全的双重目标,以及如何进行低碳发展的政策机制设计等议题展开了丰富的研究,不仅拓宽了低碳农业的研究视野,更实现了低碳经济理论在农业领域内的有益尝试。国内 CNKI 数据库、CSSCI 数据库(非扩展版)中关于低碳农业的研究与国际相比起步并不落后,突现期为 2010、2011 年,随时间推移至今演化出了 3 个重要的知识群组,分别讨论了低碳农业的概念、内涵、特征及重要意义,归纳了低碳农业的经济发展模式、技术支撑体系,在此基础之上开展了宏观层面上低碳农业的实证分析,如农业碳排放与经济增长关系的实证检验、农业碳排放的驱动因素分析、低碳农业发展的绩效测算与评价等,并进一步探索完善了农业温室气体核算体系。这些研究成果对帮助理解低碳农业具有重要的启发和借鉴意义,但仍需要在以下几方面作进一步创新完善。

(1)拓展低碳农业议题的知识结构。尽管关于低碳农业议题的国内外文献研究成果颇为丰富,且形成了各自的知识结构与前沿议题,但从知识结构本身来看,尚且存在着一定的"封闭"特征,这一点在国内低碳农业议题研究现状中表现得尤为明显:一方面,国内发文规模要远高于国外,且在 409 篇外文文献中,中国学者发文量占到了 45.72%,反映出低碳农业议题在中国学界具有极高的关注度,然而从国内文献所形成的知识基础来看,仅存有为数不多的外文文献,表明国内外低碳农业议题知识的融合度较差,"二元结构"明显。另一方面,从低碳农业研究的知识基础来看,国外文献研究的跨学科特征明显,而国内研究并未能加以充分的借鉴与整合。实现温室气体减排不仅是一种环境问题,需要通过机制设计将环境的外部性内部化,它还是一种生态问题,需要关注温室气体本身的自然属性。因此,低碳农业不仅遵循一定的经济规律,还遵循着一定的自然规律,这就意味着在研究低碳农业的问题上,需要涉猎多学科知识,构建广泛知识基础,低碳农业议题的研究需进一步强化国内外及各领域的知识碰撞与融合。

(2)加深对低碳农业的经济本质内涵研究。从现有文献对低碳农业的概念剖析、特征描述来看,学界侧重于用低碳经济理论的通用范式去阐释低碳农业的本质特征,由于低碳经济本身较强的跨学科特征,这就使得学者对于低碳农业内涵概念的理解和阐释显得更为宽泛,这种概念的阐释核心实为"低碳农业发展",而非"低碳农业经济"。同时,无论学界还是实际工作部门较多青睐于依靠工程技术有针对性地攻克具体农业环境问题,缺乏对低碳农业生态、经济、社会和政治等多重效益协同实现的关注。因此,无论从理论层面还是实践层面来看,低碳农业的经济本质内涵均

未能得以详实、具体的反映与呈现,由此易于引发低碳农业与其他可持续农业生产模式之间的概念混淆,最终导致学界与实际工作部门难以真正把握低碳农业的本质内涵,低碳农业政策效果评价也就缺乏一定的精准性。因此,引入更多的经济理论思维打开低碳农业的本质内涵,注重低碳农业发展多重效益的结合是未来研究需要关注的方向。

(3)加强对农业碳源、碳汇双重效应的系统性关注。无论在概念剖析还是特征描述中,由于过分强调温室气体排放和"三低一高"的转型,农业生产的碳汇效应未能得到充足的重视,或关注度只限定于某一特定的产业中,如林业、草原等。这使得学者无论对于农业碳排放与经济增长关系的实证检验,还是对农业碳排放驱动因素的剖析,均将二氧化碳一同视为其他工业污染排放物研究其减排的经济规律,对于低碳农业发展绩效的评价也偏爱于将碳排放作为非期望产出引入研究框架直接进行实证分析,测算过程明显忽略了对可纳入期望产出的碳汇指标的考察。事实上,广义上的农业生产涉及自然环境中物质和能量转化的方方面面,忽略或非系统性分析农业本身固有的碳效应或碳属性,则难以全面客观地反映低碳农业的经济规律与自身特色。因此,未来研究需要进一步加强对农业碳源、碳汇双重效应的系统性探讨。

(4)农户是低碳农业生产中最广大且最重要的参与主体,考察农户对农业环境政策的行为反应更易于客观、真实地了解到政策设计与层级落实效果的优劣性。现有文献研究往往较多热衷于开展宏观层面上低碳农业的实证分析,多采用区域面板数据对低碳农业发展的绩效水平进行评价及影响因素的挖掘,或采用定性分析的范式提出政策设计与完善的建议,而对微观层面的农业企业和农户关注度偏低,相关数据的开发力度不够。农业产业碳效应的本质均源自于千万农户生产项目的"集体产出",是无数农户单元碳效应的累积,所以必须要深入到农户层面上开展农业碳效应分析与核算、政策设计与评价研究,从根本上挖掘低碳农业发展的影响因素、特征差异及存在问题。因此,拓展更为微观的生产者、组织或产品层面的低碳农业研究视角,是未来低碳农业议题研究的创新方向之一。

**参考文献:**

[1]王成城,蒋海萍,吴婷,等. 中国低碳研究领域知识图谱:基于共词网络的计量研究[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(9):19-27.

[2]余菜花,廉同辉,刘军. 中国低碳研究的知识图谱分析[J]. 资源科学,2012,34(10):1959-1964.

[3]闵继胜,胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(7):21-27.

[4]徐婵娟,陈儒,姜志德. 外部冲击、风险偏好与农户低碳农业技术采用研究[J]. 科技管理研究,2018,38(14):248-257.

[5]田云,张俊飚. 农业碳排放国内外研究进展[J]. 中国农业大学学报,2013,18(3):203-208.

[6]周胜,宋祥甫,颜晓元. 水稻低碳生产研究进展[J]. 中国水稻科学,2013,27(2):213-222.

[7]魏斌,张灵菲,葛庆征,等. 低碳农业研究进展[J]. 草业科学,2012,29(4):528-533.

[8]陈悦. 引文空间分析原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2014.

[9]FUSS S, CANADELL J G, PETERS G P, et al. Betting on negative emissions[J]. Nature Climate Change, 2014, 4(10):850-853.

[10]FARRELL A E, PLEVIN R J, TURNER B T, et al. Ethanol can contribute to energy and environmental goals[J]. Science, 2006, 311(5760): 506-508.

[11]KOH L P, MIETTINEN J, LIEW S C, et al. Remotely sensed evidence of tropical peatland conversion to oil palm[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(12):5127-5132.

[12]SEARCHINGER T, HEIMLICH R, HOUGHTON R A, et al. Use of U. S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change[J]. Science, 2008, 319(5867):1238 - 1240.

[13]FOLEY J A, RAMANKUTTY N, BRAUMAN K A, et al. Solutions for a cultivated planet[J]. Nature, 2011, 478(7369):337 - 342.

[14]LAL R, GRIFFIN M, APT J, et al. Managing Soil Carbon[J]. Science, 2004, 304(5669):393.

[15]CAI Z, XING G, YAN X, et al. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management[J]. Plant & Soil, 1997, 196(1):7 - 14.

[16]ZHANG A, CUI L, PAN G, et al. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 139(4):469 - 475.

[17]SEUFERT V, RAMANKUTTY N, FOLEY J A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture[J]. Nature, 2012, 485(7397): 229 - 232.

[18]SMITH P, MARTINO D, CAI Z, et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture[J]. Philosophical Transactions Biological Sciences, 2008, 363(1492):789 - 813.

[19]HILLIER J, HAWES C, SQUIRE G, et al. The carbon footprints of food production[J]. International Journal of Agricultural Sustainability, 2009, 7(2):2288 - 2289.

[20]GROENIGEN J W V, VELTHOF G L, OENEMA O, et al. Towards an agronomic assessment of $N_2O$ emissions: A case study for arable crops[J]. European Journal of Soil Science, 2010, 61(6):903 - 913.

[21]SCHAU E M, ELLINGSEN H, ENDAL A, et al. Energy consumption in the Norwegian fisheries[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(3):325 - 334.

[22]PARKER R W R, VáZQUEZ-ROWE I, TYEDMERS P H. Fuel performance and carbon footprint of the global purse seine tuna fleet[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 103:517 - 524.

[23]GAN Y T, LIANG B C, LIU L P, et al. C: N ratios and carbon distribution profile across rooting zones in oilseed and pulse crops[J]. Crop & Pasture Science, 2011, 62(6):496 - 503.

[24]CHENG K, PAN G, SMITH P, et al. Carbon footprint of China's crop production——an estimation using agro-statistics data over 1993—2007[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2011, 142(3):231 - 237.

[25]TAPIO P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy, 2005, 12(2):137 - 151.

[26]TIAN Y, ZHANG J B, HE Y Y. Research on spatial-temporal characteristics and driving factor of agricultural carbon emissions in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 6(6):1393 - 1403.

[27]NEPSTAD D, MCGRATH D, STICKLER C, et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains[J]. Science, 2014, 344(6188):1118 - 1123.

[28]GIL J D B, GARRETT D R, ROTZ A, et al. Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil[J]. Environmental Research Letters, 2018, 13:1 - 11.

[29]CHAI Q, QIN A, GAN Y, et al. Higher yield and lower carbon emission by intercropping maize with rape, pea, and wheat in arid irrigation areas[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2014, 34(2):535 - 543.

[30]DYER L, Oelbermann M, Echarte L. Soil carbon dioxide and nitrous oxide emissions during the growing season from temperate maize: Soybean intercrops[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2012, 175(3):394 - 400.

[31]QIN A, HUANG G, CHAI Q, et al. Grain yield and soil respiratory response to intercropping systems on arid land[J]. Field Crops Research, 2013, 144(6):1 - 10.

[32]KNOPF B, EDENHOFER O, FLACHSLAND C, et al. Managing the low-carbon transition——from model results to policies[J]. Energy Journal, 2010, 31(1):223 - 245.

[33]ELZEN M D, HÖHNE N. Reductions of greenhouse gas emissions in annex I and non-annex I countries for meeting concentration stabilisation targets[J]. Climatic Change, 2008, 91(3 - 4):249 - 274.

[34]LEIMBACH M, BAUER N, BAUMSTARK L, et al. Mitigation costs in a globalized world: Climate policy analysis with REMIND-R[J]. Environmental Modeling & Assessment, 2010, 15(3):155 - 173.
[35]KAI L, EDENHOFER O. Research cooperation and international standards in a model of coalition stability[J]. Resource & Energy Economics, 2011, 33(1):36 - 54.
[36]ROBERTSON G P, PAUL E A, HARWOOD R R. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere[J]. Science, 2000, 289(5486):1922 - 1925.
[37]KNUDSEN M T, MEYERAURICH A, OLESEN J E, et al. Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations——using a life cycle assessment approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 64(2): 609 - 618.
[38]SMITH P, HABERL H, POPP A, et al. How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? [J]. Global Change Biology, 2013, 19(8):2285 - 2302.
[39]王昀. 低碳农业经济略论[J]. 中国农业信息,2008(8):34 - 38.
[40]李晓燕,王彬彬. 低碳农业:应对气候变化下的农业发展之路[J]. 农村经济,2010(3):10 - 12.
[41]许广月. 中国低碳农业发展研究[J]. 经济学家,2010,10(10):72 - 78.
[42]王青,郑红勇,聂桢祯. 低碳农业理论分析与中国低碳农业发展思路[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版),2012, 12(3):1 - 7.
[43]张莉侠,曹黎明. 中国低碳农业发展现状与对策探讨[J]. 经济问题探索,2011(11):103 - 106.
[44]周玉新. 低碳经济时代转变农业经济发展方式探析[J]. 农业经济,2010(4):3 - 5.
[45]赵其国,钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. 生态环境学报,2009,18(5):1609 - 1614.
[46]郑恒,李跃. 低碳农业发展模式探析[J]. 农业经济问题,2011,32(6):26 - 29.
[47]董红敏,李玉娥,陶秀萍,等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报,2008,24(10):269 - 273.
[48]田云,张俊飚. 碳排放与经济增长互动关系的实证研究——以武汉市为例[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2013(1):118 - 121.
[49]姚成胜,钱双双,李政通,等. 黑龙江省农业碳排放、科技投入与经济增长关系研究[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(8):8 - 15.
[50]张志高,袁征,刘雪,等. 基于投入视角的农业碳排放与经济增长的脱钩效应分析——以河南省为例[J]. 水土保持研究,2017,24(5):272 - 278.
[51]李波,张俊飚,李海鹏. 中国农业碳排放与经济发展的实证研究[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(12):8 - 13.
[52]张维阳,段学军. 经济增长、产业结构与碳排放相互关系研究进展[J]. 地理科学进展,2012,31(4):442 - 450.
[53]史常亮,郭焱,占鹏,等. 中国农业能源消费碳排放驱动因素及脱钩效应[J]. 中国科技论坛,2017(1):136 - 143.
[54]吴贤荣,张俊飚. 中国省域农业碳排放:增长主导效应与减排退耦效应[J]. 农业技术经济,2017(5):27 - 36.
[55]刘丽辉,徐军. 基于扩展的 STIRPAT 模型的广东农业碳排放影响因素分析[J]. 科技管理研究,2016,36(6): 250 - 255.
[56]漆雁斌,毛婷婷,殷凌霄. 能源紧张情况下的低碳农业发展问题分析[J]. 农业技术经济,2010(3):106 - 115.
[57]何艳秋,戴小文. 中国农业碳排放驱动因素的时空特征研究[J]. 资源科学,2016,38(9):1780 - 1790.
[58]田云,张俊飚. 中国农业生产净碳效应分异研究[J]. 自然资源学报,2013,28(8):1298 - 1309.
[59]陈儒,邓悦,姜志德. 农业生产项目的综合碳效应分析与核算研究——基于陕西安塞的农户调查数据[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2017(3):23 - 34.
[60]涂正革. 工业二氧化硫排放的影子价格:一个新的分析框架[J]. 经济学(季刊),2010,9(1):259 - 282.
[61]吴贤荣,张俊飚,朱烨,等. 中国省域低碳农业绩效评估及边际减排成本分析[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(10):57 - 63.
[62]张林,冉光和,蓝震森. 碳排放约束与农业全要素生产率增长及分解[J]. 华南农业大学学报(社会科学版),

2015(3):22-32.
[63]田云,张俊飚,吴贤荣,等. 中国种植业碳汇盈余动态变化及地区差异分析——基于31个省(市、区)2000—2012年的面板数据[J]. 自然资源学报,2015,30(11):1885-1895.
[64]孟祥海,程国强,张俊飚. 中国畜牧业全生命周期温室气体排放时空特征分析[J]. 中国环境科学,2014,34(8):2167-2176.
[65]王育宝,何宇鹏. 土地利用变化及林业温室气体排放核算制度与方法实证[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(10):168-177.
[66]刘丽华,蒋静艳,宗良纲. 农业残留物燃烧温室气体排放清单研究:以江苏省为例[J]. 环境科学,2011,32(5):1242-1248.
[67]麦文隽,李丽丽,栾胜基. 农村户用沼气池碳减排效果评估[J]. 干旱区资源与环境,2018(2):75-80.
[68]刘博杰,张路,逯非,等. 中国退耕还林工程温室气体排放与净固碳量[J]. 应用生态学报,2016,27(6):1693-1707.
[69]童庆蒙,沈雪,张露,等. 基于生命周期评价法的碳足迹核算体系:国际标准与实践[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2018(1):46-57.

# Knowledge Graph and Comparison of Researches on Low Carbon Agriculture

CHEN Ru

(*School of Economics and Management*, *Northwest Agriculture and Forestry University*, *Yangling* 712100, *China*)

**Abstract**: Based on the research data of low carbon agriculture in WoS, CNKI and CSSCI, knowledge graph was drawn using CiteSpace V software, this paper compared and analyzed the systematic knowledge of research status, development context, knowledge structure and key citation of low carbon agriculture at home and abroad adopting a bibliometric method. The conclusion are: this issue has received great concern in Chinese academia and hot spot period emerges from 2010 and 2011; The research on low carbon agriculture at home and abroad shows a certain trend of evolution over time and arises many important document nodes, which played a key role in the creation, extension and bifurcation of low carbon agriculture knowledge domain; Foreign researches of low carbon agriculture mainly focus on agricultural bioenergy development and utilization, etc. Domestic researches have developed and improved in three areas: theoretical exploration, empirical research and the construction of agricultural carbon measurement system, having both overlaps and differences in knowledge structure; The "dual structure" of low carbon agriculture research at home and abroad is obvious, and the interdisciplinary nature of domestic research is insufficient. Expanding the knowledge structure, deepening the research on the economic essence, strengthening the systematic attention on the dual effects of carbon emissions and carbon sinks, and developing micro-level study are innovative directions for future research of low carbon agriculture.

**Key Words**: low carbon agriculture; knowledge graph; carbon emission; low carbon economy; CiteSpace V