



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

农业可持续发展研究热点与趋势——基于文献计量的可视化分析

胡斯威, 米长虹, 师荣光, 杨琰璞

引用本文:

胡斯威, 米长虹, 师荣光, 等. 农业可持续发展研究热点与趋势——基于文献计量的可视化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 1-10.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0612>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

考虑面源污染的河南省农业生态系统能值评价

郑二伟, 周海生, 吕翠美, 凌敏华, 顾长宽, 李洋

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 689-694 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0547>

基于CNKI的我国生物炭研究趋势文献计量学分析

安显金, 李维

农业资源与环境学报. 2018, 35(6): 483-491 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0159>

生态系统适应性管理:理论内涵与管理应用

冯漪, 曹银贵, 耿冰瑾, 张振佳, 刘施含, 白中科

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 545-557 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0017>

中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析

方永丽, 曾小龙

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 135-142 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0148>

耕地生态风险评价研究热点与趋势——基于CiteSpace可视化分析

黎怡珊, 吴大放, 刘艳艳

农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 502-512 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0187>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

胡斯威, 米长虹, 师荣光, 等. 农业可持续发展研究热点与趋势——基于文献计量的可视化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 1-10.

HU S W, MI C H, SHI R G, et al. Hotspots and trends of agriculture sustainable development: Visualization analysis based on bibliometrics [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(1): 1-10.



开放科学 OSID

农业可持续发展研究热点与趋势 ——基于文献计量的可视化分析

胡斯威^{1,2}, 米长虹¹, 师荣光^{1,3*}, 杨琰琰^{1,3*}

(1. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3. 农业农村部农产品质量安全环境因子控制重点实验室, 天津 300191)

摘要: 农业直接关系到粮食安全和农户收入, 既高度依赖于资源环境又反作用于资源环境。农业可持续发展是实现可持续发展目标的关键。通过 CiteSpace 对 Web of Science 和中国知网在 2000—2019 年发表的关于农业可持续发展评价的 1 174 篇英文和 1 043 篇中文文章进行文献计量分析, 总结出农业可持续发展的研究前沿、热点和趋势, 以期为农业可持续发展研究和决策管理提供参考。结果表明: 农业可持续发展的研究前沿聚焦在食物系统弹性与粮食安全、农业生态集约化与可持续集约化、都市农业与农业多功能性、农业生态系统服务权衡与协同 4 个方面。研究热点主要关注气候变化对农业系统的影响及其适应性管理、农业生态系统服务管理、农业活动的环境影响和农业系统可持续性综合评价。建议在今后的研究中进一步解析“气候-土地-水-能源-粮食”耦合机制, 系统开展农业生态系统的“影响因素-作用机理-调控方法”研究。

关键词: 农业可持续发展; 粮食安全; 农业集约化; 生态系统服务; CiteSpace; 文献计量

中图分类号: X322; F313

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2022)01-0001-10

doi: 10.13254/j.jare.2020.0612

Hotspots and trends of agriculture sustainable development: Visualization analysis based on bibliometrics

HU Siwei^{1,2}, MI Changhong¹, SHI Rongguang^{1,3*}, YANG Yanying^{1,3*}

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Key Laboratory for Environmental Factors Control of Agro-product Quality Safety, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China)

Abstract: Agriculture is directly related to food security, which is highly dependent on and significantly impacts resources and the environment. Sustainable agriculture development is key to achieving the sustainable development goals. Frontiers, hot topics, and trends of sustainable agriculture development were summarized for scientific research and decision-making by CiteSpace based on 1 174 papers published in the Web of Science and 1 043 papers published in China National Knowledge Infrastructure from 2000 to 2019. Results showed that the frontiers were mainly focused on “food system resilience and food security”, “ecological intensification and sustainable intensification”, “agricultural multi-functionality and urban agriculture”, and “trade-offs and synergies of ecosystem services in agro-ecosystem”. Hotspots included how climate change impacts agricultural systems and its adaptive management, ecosystem services management in agro-ecosystems, and the environmental impact assessment of agricultural activities and integrated sustainability assessment of an agricultural system. It is suggested that the coupling mechanism of the “climate-land-water-energy-food” nexus should be further analyzed, and “influencing factors-action mechanisms-regulation methods” of agro-ecosystem should be systematically studied in the future.

Keywords: sustainable agriculture development; food security; agricultural intensification; ecosystem services; CiteSpace; bibliometrics

收稿日期: 2020-10-21 录用日期: 2021-03-19

作者简介: 胡斯威(1997—), 男, 湖南湘乡人, 硕士研究生, 从事农业农村可持续发展研究。E-mail: husiwei555@163.com

*通信作者: 师荣光 E-mail: winsomesky@163.com; 杨琰琰 E-mail: yangyanying@caas.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(42001264); 国家重点研发计划项目(2016YFD0201201)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (42001264); The National Key Research and Development Program of China (2016YFD0201201)

当前全球农业正面临土地和水资源紧缺、面源污染加剧、生态系统稳定性下降及粮食安全受威胁等问题,严重制约联合国可持续发展目标(Sustainable development goals)的实现。20世纪中叶,以化肥、农药等化学品和机械投入为特点的“现代集约农业”使得土地生产率大幅提高,但引发土地退化、水体污染、生物多样性下降等环境问题^[1-2]。1962年,《寂静的春天》指出有机氯农药 DDT 的大量使用造成了严重的生态环境危害。1972年,《增长的极限》通过分析农业粮食生产能否支撑地球上指数增长的人口,引发人类对不可持续农业发展方式的反思^[3]。1987年,世界环境与发展委员会发表了《2000年粮食:转向可持续农业的全球政策》,在国际上正式提出了“可持续农业”的概念^[4]。1991年,荷兰国际农业与环境会议提出了“农业可持续发展”,并将其定义为“满足当代人类及其后代对农业的需求,并不造成环境退化,在技术、经济上可行,能够被社会所接受^[5]”。农业可持续发展的实质是通过对农业生态系统中生物、资源等内部要素与经济、技术等外部投入的协同管理,最终实现农业自然生态系统与社会经济系统的协调发展,既能满足粮食安全,又不造成环境退化。

《2030年可持续发展议程》确立的以“消除饥饿,实现粮食安全,改善营养状况和促进可持续农业”为关键指标的17项可持续发展目标,为农业可持续发展研究提供了政策导向。国内外学者从问题产生、发展内涵、定量评价等方面对农业可持续发展进行了大量研究,但对研究历程、热点和发展趋势的系统梳理较少,制约了农业可持续发展领域的研究深度。利用大数据手段获取农业可持续发展的关键词和引用文献,通过文献计量分析准确把握研究进展,对促进农业可持续性科学研究和农业可持续发展决策管理、推动联合国可持续发展目标实现具有重要意义。本研究运用 CiteSpace 可视化文献分析软件,对 2000—2019 年国内外农业可持续发展相关文献进行梳理,构建知识图谱,探究农业可持续发展的研究前沿、热点与趋势,以期对农业可持续发展研究提供参考。

1 数据来源与分析方法

1.1 分析软件

知识图谱是以文献为计量对象,通过文献信息(如关键词、被引文献等)出现的频度、相似性和相关性,直观地呈现科学知识结构、规律和分布情况,显示科学知识的发展进程与结构关系的一种分析方法。

CiteSpace 是由美国德雷塞尔大学陈超美教授于 2004 年开发的科学文献数据挖掘及信息可视化分析软件,通过构建知识图谱,辅助科研人员探索相关领域研究热点、演化路径和发展前沿,在全球文献分析领域具有广泛的应用^[6]。

1.2 数据来源

以 Web of Science(WOS)核心数据库和中国知网(CNKI)数据库为数据源,利用高级检索功能,分别以 TS = (agriculture sustainable development) AND TS = (evaluation OR assessment),主题=“农业可持续发展”并且主题=“评价”为检索词,文献语言分别选择“所有语言”和“中文文献”,文献类型选择“全部文献”,检索时间跨度为 2000—2019 年,对检索结果中与研究主题不相关的非学术性文献逐条筛选后得到英文文献 1 174 篇、中文文献 1 043 篇,将文献分别以 Plain Text(包含全记录 and 引用的参考文献)和 Refworks(不包含参考文献)文件格式导出,作为分析数据样本。

1.3 分析方法

使用 CiteSpace V 软件,设置时间切割分区为 1 年,节点类型选择被引文献和关键词,阈值选择每个时间切片内出现频次最高的前 50 个数据,采用寻径网络算法(Pathfinder Network)绘制知识图谱,对国内外农业可持续发展评价研究文献进行文献共被引分析和关键词共现分析。被引文献(共引网络)组成了研究的知识基础,施引文献是被引文献的发展,从施引文献中提取的关键术语(文献共被引聚类命名)被认为是研究前沿的领域^[6]。关键词是研究文献核心内容的提炼,高频出现的关键词及关键词之间的联系反映了该领域的研究热点^[6]。通过文献共被引聚类图谱和关键词共现图谱分析农业可持续发展的研究前沿及知识基础、研究热点与发展趋势。

2 结果与讨论

2.1 文献发表量和学科分布

从研究的发文量(图 1)来看,WOS 上发表的农业可持续发展评价文献从 2000 年的 19 篇快速增长到 2019 年的 171 篇,其中 2000—2014 年发文量缓慢波动增长,2015 年后呈指数增长趋势。2015 年联合国可持续发展目标的提出对国际农业可持续发展研究起到了重要推动作用。CNKI 上发表的文献数量波动较为平稳,2000—2014 年平均发文量为 52 篇,高于同期 WOS 平均发文量 36 篇,但 2015 年后发文量相对下降。从研究的学科分布(图 2)来看,农业可持续发展

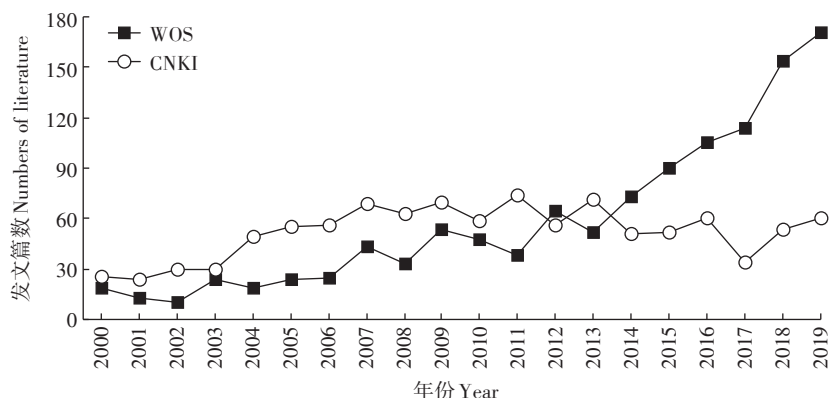


图1 2000—2019年农业可持续发展研究发表文献数量

Figure 1 Annual published literature of agriculture sustainable development from 2000 to 2019

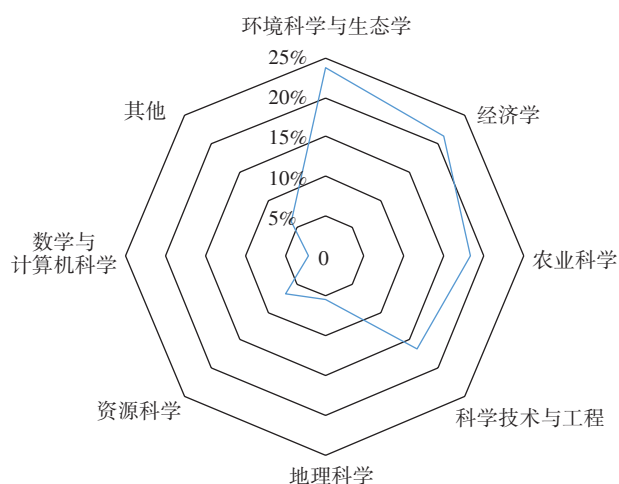


图2 农业可持续发展研究学科分布

Figure 2 Discipline of agriculture sustainable development research

相关研究主要集中在环境科学与生态学、经济学、农业科学和科学技术与工程领域,此外还涵盖地理科学、资源科学、数学与计算机科学、社会学、管理学等,具有多学科交叉融合的特征和发展需求。

2.2 研究前沿及知识基础

WOS文献共被引聚类图谱(图3)中,最大的4个聚类为粮食安全(Food security)、农业集约化(Agricultural intensification)、都市农业(Urban agriculture)和生态系统服务(Ecosystem services)。通过聚类主题文献分析归纳出以下4个方面的前沿主题:

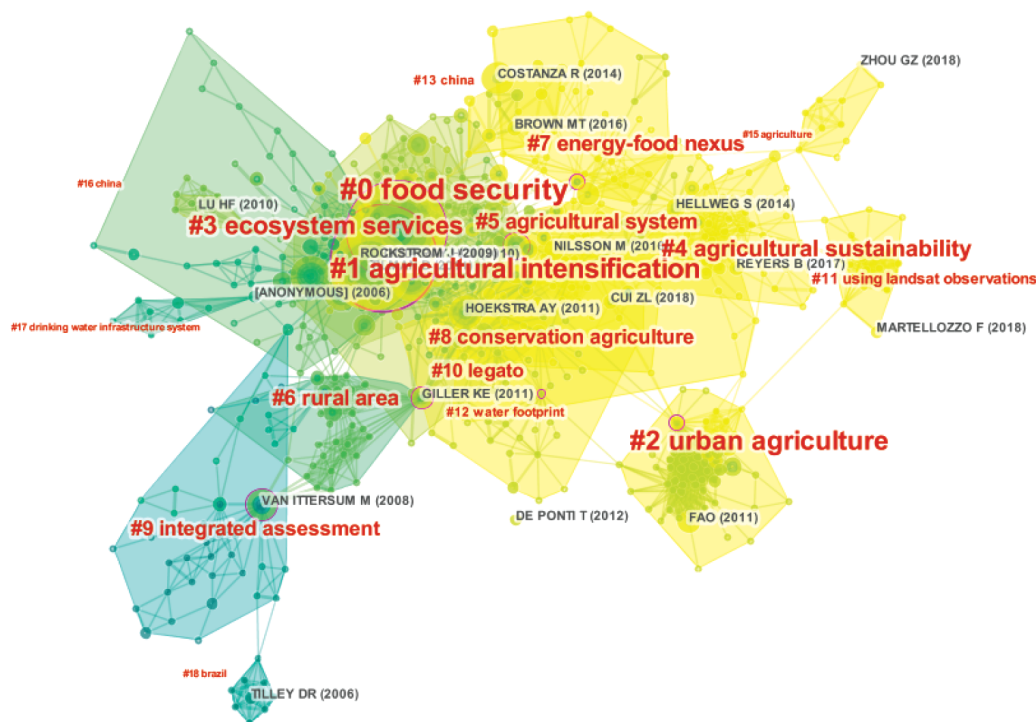
(1) 食物系统弹性与粮食安全

全球人口增长和消费水平提高使粮食需求增大,而气候变化、耕地面积减少、水资源紧缺制约着粮食产量^[7]。GODFRAY等^[7]从农业生产力差距的影响因素、农产品利用条件和需求种类结构变化等方面论述

了粮食安全的可持续机制。MUELLER等^[8]对农业管理实践和产量差(给定区域实际产量和潜在产量之差)的空间格局进行全球评估,指出营养和水管理可以减少产量差,提高粮食产量。同时粮食作物种类和营养成分丰富度下降破坏了食物系统稳定性^[9]。全球范围食物系统的可持续性评估表明,高收入国家在环境、食物浪费和健康营养摄入方面表现不佳,从动物性食品向植物性食品转变将提高绝大多数国家的食物系统可持续性^[10]。食物系统内部生产要素、营养结构、环境功能的复杂变化与外部气候变化和社会经济压力给粮食安全带来了挑战^[11]。TENDALL等^[12]将食物系统弹性定义为在各种干扰下向所有人提供足够、适当和可获得的食物能力。如何增强并衡量食物系统弹性成为农业可持续发展的研究前沿。

(2) 农业生态集约化与可持续集约化

全球尺度上大规模农业活动带来的环境影响,已造成气候变化、生物多样性损失、碳氮磷生物地球化学循环三个过程超出了地球安全运行空间^[13-14]。FOLEY等^[15]通过分析全球农业和环境的格局以及变化趋势,提出转变传统农业集约发展方式来实现环境可持续性。生态集约化和可持续集约化正成为农业集约化的新范式^[16]。生态集约化通过管理地块和景观尺度的生态过程与生态系统服务来保持土壤肥力和生物多样性,在增加粮食产量的同时减少外部投入和环境损害^[17]。可持续集约化强调在减少对自然资源和环境服务造成负面影响的前提下,利用社会和人力资本,在自然系统中投入技术和化学品,提高土地生产率和资源利用率^[18]。TILMAN等^[19]指出提升养分利用效率和减少土地开垦是农业可持续集约化的发展路径。农业可持续集约化开始关注生态、经济、社



节点表示被引文献;连线表示共引关系;节点大小反映被引频次

The nodes represent cited literature; The lines represent co-citation relationship; The node size reflects the frequency of cited literature

图3 WOS农业可持续发展文献共被引聚类图谱

Figure 3 Co-citation clustering map of agriculture sustainable development literature in WOS

会系统的同步影响和综合效益,探索实现粮食安全下生态系统保护和农户生计改善^[20-21]。ROCKSTRÖM等^[22]提出了农业可持续集约化向农业发展运行框架的范式转变,以及在地球安全运行空间内提高农业生产力和生态恢复力的目标。

(3)都市农业与农业多功能性

都市农业将绿色农业生产、现代农业技术和居民生计结合起来,通过营造城市绿色空间发挥农业多功能性,成为应对21世纪快速城市化和农业可持续发展挑战的解决方案^[23]。都市农业为城市提供了农产品供给、小气候调节和生活休闲等多功能服务,通过供应的多样化增强农业系统的适应力,促进城市更新和再生^[24]。都市农业研究的目标和范围与地理环境和社会发展水平密切相关。南半球的都市农业致力于通过家庭、微型企业和大型都市的农业经营活动,提升粮食安全水平和创造家庭收入;北半球的都市农业以维持新鲜食品供应、激活经济为主^[25]。PENG等^[26]对北京都市农业的综合功能和多功能性评估表明各县之间经济功能差距最大,其次是社会和生态功能,农业多功能性由北向南呈下降趋势。此外,新型都市农业形式,如室内农场、植物工厂和屋顶温室的

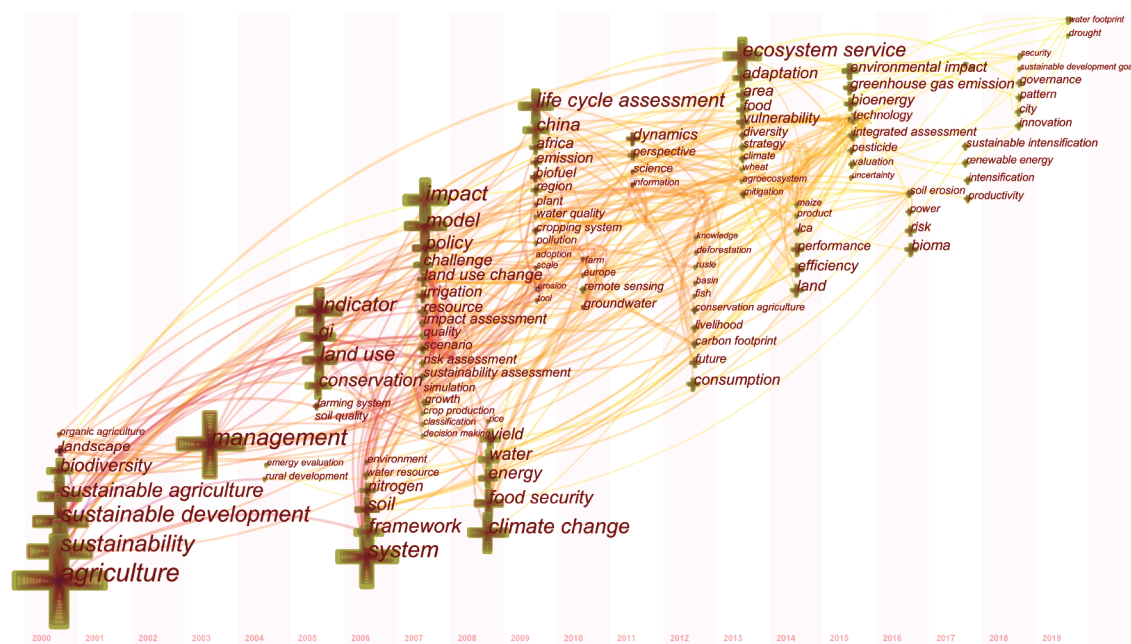
生产潜力、资源效率和环境影响评估受到关注^[27]。

(4)农业生态系统服务权衡与协同

农业生态系统作为半自然生态系统,以提供食物、纤维、生物能源等产品供给服务为主,此外也带来了生活休闲等文化服务^[28]。不适当的农业活动会减损其他重要的生态系统服务,如化肥农药过量使用导致土壤肥力保持、水质净化、授粉和虫害调控等支持和调节服务下降^[28]。耕地集约利用下农产品供给服务与其他生态系统服务间存在权衡^[29]。SUN等^[30]分析了北京市粮食供给与调节和支持服务之间的权衡,提出通过提高单位面积粮食供给效率和发展都市垂直农业来减少权衡。BRINER等^[31]评估了瑞士山区森林和农业生态系统粮食供给、生物多样性保护、碳储存和减少自然灾害等服务之间的权衡与协同作用,研究表明增加重要供给服务与山区其他服务存在不同程度的权衡与协同,并且这种作用取决于经济和技术相互关系。如何权衡不同时空尺度上农业供给服务和调节服务,协同农业生产和自然保护是农业可持续发展的研究前沿。

2.3 研究热点与发展趋势

WOS关键词共现时间图谱(图4)中,农业(Agri-



节点表示关键词;连线表示共现关系;节点大小反映关键词出现频次。下同

The nodes represent keywords;The lines represent co-occurrence relationship;The node size reflects the frequency of keywords. The same below

图4 WOS农业可持续发展关键词共现时间图谱

Figure 4 Keywords co-occurrence timezone view of agriculture sustainable development literature in WOS

culture)、管理(Management)、可持续性(Sustainability)、系统(System)、可持续发展(Sustainable development)出现频次最高,在100次以上,其余频次在40次以上的关键词依次是影响(Impact)、气候变化(Climate change)、可持续农业(Sustainable agriculture)、指标(Indicator)、生态系统服务(Ecosystem service)、生命周期评价(Life cycle assessment)、土地利用(Land use)、模型(Model)、框架(Framework)、地理信息系统(GIS)、粮食安全(Food security)、土壤(Soil)、生物多样性(Biodiversity)、保护(Conservation)、中国(China)、政策(Policy)。CNKI关键词共现网络图谱(图5)中,指标体系、综合评价、土地资源、层次分析法、能值分析、农业现代化、农业生态系统、生态安全、生态农业、熵值法、生态足迹、对策等关键词出现频次在20次以上。高频关键词与其他多个关键词联系紧密,形成了农业可持续发展研究路径和热点。通过国内外文献综合分析总结出以下3个方面的研究热点:

(1)气候变化对农业系统的影响及其适应性管理

气候变化(Climate change)-产量(Yield)-水(Water)-能源(Energy)-粮食安全(Food security)-生计(Livelihood)-脆弱性(Vulnerability)-适应性(Adaptation)形成了该热点的研究路径。研究主要关注气候变化对作物生产的影响及限制因素^[32]。LIU等^[33]评估

了全球范围内气候变化对主要谷物生产和消耗性用水的影响,结果表明作物生产在部分地区具有短期收益,但从长远看收益减损,并且对灌溉的依赖性增加。DUAN等^[34]对不同社会经济情景下的未来用水量、作物产量、土地和水生产力进行了综合评估,分析了水、气候和粮食之间的影响关系。

同时,气候变化下农业系统的脆弱性和缓解适应机制也受到关注^[35-36],尤其是非洲地区小农户农业系统的脆弱性和气候适应性可持续农业实践,如农林复合、生物炭应用、雨水收集和肥料管理等方面的研究^[37-38]。LOPEZ-RIDAURA等^[39]应用情景模拟研究了环境冲击和基于保护性农业和改良畜牧业两种干预措施的气候智能农业(Climate smart agriculture)对印度不同小农户类型潜在粮食可获得性的影响。MATHEW等^[40]利用环境生计框架探索了在气候变化压力下澳大利亚北部的水、能源和粮食资源利用与生计平衡。能源-水-食物耦合系统成为研究焦点^[41-43]。生物能源开发和土地利用优化有助于缓解气候变化和保障粮食安全,是协调可持续发展目标的重要研究内容^[44-46]。

(2)农业生态系统服务管理

土地利用(Land use)-景观(Landscape)-生态系统服务(Ecosystem service)-生物多样性(Biodiversity)-

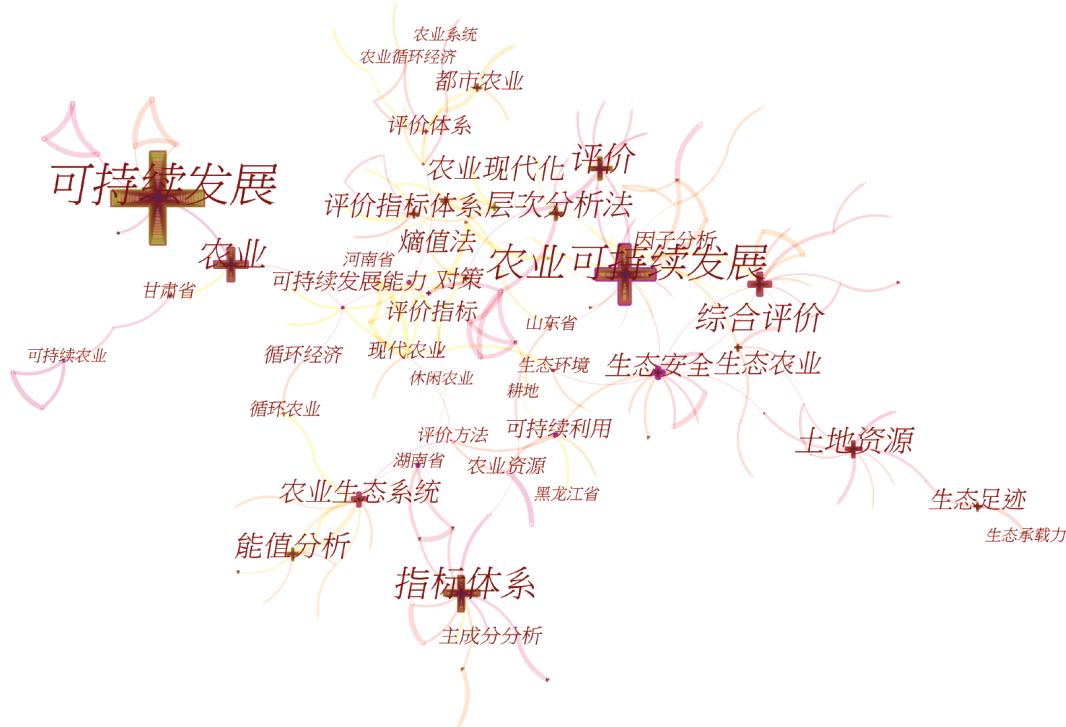


图5 CNKI农业可持续发展关键词共现网络图谱

Figure 5 Keywords co-occurrence network of agriculture sustainable development literature in CNKI

土壤(Soil)-保护(Conservation)研究路径下,通过土地利用/景观规划满足生物多样性和农业生产的生态系统服务管理是实现农业可持续发展的重要途径^[47]。生物多样性为筛选出高品质农作物以及丰富农作物品种提供基础,并通过固碳、降低土壤侵蚀、授粉和病虫害控制来提高农作物产量^[48-50]。农业生态系统中以土壤生物多样性管理为重点^[51]。SMITH等^[52]分析了温带地区农林复合经营通过多功能土地利用平衡粮食生产和生物多样性保护的途径。THEROND等^[53]提出了不同社会经济背景下基于不同生态系统服务和外部投入的农业生态系统管理模式。BERBES-BLAZQUEZ等^[54]分析了不同农业政策下农户对生态系统服务的依赖和获取生计机会,为农业生态系统管理提供了选择。

(3) 农业活动的环境影响和农业系统可持续性综合评价

从氮(Nitrogen)-农药(Pesticide)-地下水(Groundwater)-种植制度(Cropping system)-碳足迹(Carbon footprint)-水足迹(Water footprint)-土壤质量(Soil quality)-水质(Water quality)-环境影响(Environmental impact)-风险评价(Risk assessment)-生命周期评价(Life cycle assessment)研究路径可以看到,

农业生产消耗以及农业化学品大量投入增加温室气体排放,破坏土壤养分平衡,降低水质和生物多样性,对环境产生负面影响^[55]。生命周期评价广泛用于农业碳足迹分析和环境影响评价^[56-58]。GOGLIO等^[59]采用农业生态系统模型(DNDC)对加拿大不同种植制度及累积能量需求、全球变暖潜势、富营养化和酸化潜势影响类别进行了情景模拟和评价。XIAO等^[60]研究表明,与常规耕作相比,推荐耕作下华北平原农田氮肥和地下水投入减少,全球变暖潜势和水足迹下降。CAO等^[61]量化了京津冀地区2000—2016年农牧业水足迹的时空变化特征,结果显示区域水资源开发恶化为不稳定状态。

农业系统可持续性综合评价以指标框架为主,如农场可持续性指标框架(IDEA)^[62]、粮食和农业系统可持续性评估框架(SAFA)^[63]、农业和环境可持续性评估框架(SAFE)^[64]、驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)框架^[65]、经济-社会-环境主题框架^[66]等。层次分析法^[67]、熵值法^[68]、主成分分析法^[69]、模糊数学法^[70]、欧氏距离法^[71]、能值分析^[72]和生态足迹^[73]等是研究的主要方法。系统间关系和耦合协调性分析也受到重视,评价方法包括协调度模型^[74]、灰色关联度模型^[75]、TOPSIS模型^[76]、耦合协调度模型^[77]等。此外,农

业环境政策和技术评估(SEAMLESS-IF)^[78]、事前可持续性影响评估(FoPIA)^[79]等方法常用于农业可持续发展决策与规划。农业可持续发展目标监测工具的应用、数据平台的开发以及目标间关系的权衡可为可持续发展目标研究提供重要支持^[80-82]。

国内评价导向下的农业可持续发展研究与国际农业可持续发展研究相比,在研究内容、研究尺度和研究方法上存在较大差异。研究内容上,国内侧重农业经济和农业现代化建设管理,聚焦农业绿色发展和循环经济理论,关注生态循环和现代休闲等农业发展模式和综合评价与规划;国际侧重农业生态和可持续发展协同管理,聚焦全球驱动变化下农业生产、农户生计和环境保护问题,从具体要素和过程探究农业可持续发展调控机制。研究尺度上,国内研究范围主要是行政单元,以省域和县域为主,并向全国和区域性范围拓展;国际研究范围主要是自然单元,从农田尺度到全球尺度,农场和景观尺度的研究较多。研究方法上,国内注重评价指标体系的构建,赋予不同指标权重计算综合指数;国际注重框架模型的建立开发和指标相互作用研究。

综上,未来研究趋势将从单一农业经济或环境目标导向下的研究转向农业经济、社会、环境多目标的统筹与协调。研究内容涉及农业生产、农业环境和农户生计等多个方面,如粮食生产、营养安全和生物多样性关系,气候变化与粮食安全作用,农业气候、土地、水、能源、粮食资源关联,农业生态系统服务与农户生计耦合,农业活动环境影响及农业生态系统可持续性评价,农业生态安全格局与农业景观规划,农业制度模式、技术创新和政策管理等。研究尺度将从农田、农场等单一小尺度转向景观、区域、全球等复杂大尺度,尤其关注土壤退化、干旱等自然地理环境脆弱和经济社会发展水平落后的地区。研究方法从以指标体系及指数构建为主的静态评价转向集指标框架构建、系统模型开发、数据平台管理于一体的情景模拟和动态预测。

3 结论与展望

本研究基于CiteSpace V软件,采用文献共被引分析和关键词共现分析,系统分析了WOS和CNKI数据库中2000—2019年发表的农业可持续发展相关研究文献,总结出农业可持续发展的研究前沿及知识基础、研究热点与发展趋势,结论如下:

(1)食物系统弹性与粮食安全、农业生态集约化

与可持续集约化、都市农业与农业多功能性、农业生态系统服务权衡与协同是农业可持续发展的研究前沿和知识基础。

(2)气候变化对农业系统的影响及其适应性管理、农业生态系统服务管理、农业活动的环境影响和农业系统可持续性综合评价是目前农业可持续发展的研究热点。

(3)未来农业可持续发展的研究趋势将从单一农业经济或环境目标转向农业经济、社会、环境多目标的统筹与协调,研究内容涉及农业生产、农业环境和农户生计等多个方面;研究尺度将从农田、农场等单一小尺度转向景观、区域、全球等大尺度;研究方法将从指标静态评价转向系统模型模拟和动态预测。

本研究中热点与趋势是在文献计量分析的基础上得来的,在一定程度上受到检索词、数据库以及聚类算法的影响。总体看来,目前农业可持续发展的系统性、交叉性、综合性研究不足。在今后的研究中,建议关注农业系统的脆弱性、适应性、弹性和稳定性,解析农业生态系统中气候-土地-水-能源-粮食耦合机制,系统开展农业生态系统的影响因素-作用机理-优化调控研究。同时推动利益相关者参与,进一步完善农业可持续发展评价体系的科学性,设计包含经济、社会、环境多维度,农场、景观、区域多尺度,专家、企业、农户多视角,指标、框架、模型多层次的评价体系。

参考文献:

- [1] PRETTY J. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2008, 363(1491):447-465.
- [2] PRETTY J. Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems[J]. *Science*, 2018, 362(6417):908.
- [3] 张忠根, 应凤其. 农业可持续发展评估:理论、方法与应用[M]. 北京:中国农业出版社, 2003:36-40. ZHANG Z G, YING F Q. The evaluation of agriculture sustainable development: Theory, method and application[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003:36-40.
- [4] 刘彦随, 吴传钧. 农业持续发展研究进展及其理论[J]. 经济地理, 2000(1):63-68. LIU Y S, WU C J. Theories and progress of study on sustainable agriculture development[J]. *Economic Geography*, 2000(1):63-68.
- [5] 贺艳华, 郭建国, 周国华, 等. 论乡村可持续性与乡村可持续性科学[J]. 地理学报, 2020, 75(4):736-752. HE Y H, WU J G, ZHOU G H, et al. Discussion on rural sustainability and rural sustainability science[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4):736-752.
- [6] 李杰, 陈超美. CiteSpace:科技文本挖掘及可视化[M]. 二版. 北京:首都经济贸易大学出版社, 2017:2-8. LI J, CHEN C M. Citespace:

- Text mining and visualization in scientific literature[M]. Second Edition. Beijing: Capital University of Economics and Business Press, 2017:2-8.
- [7] GODFRAY H C J, BEDDINGTON J R, CRUTE I R, et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people[J]. *Science*, 2010, 327(5967):812-818.
- [8] MUELLER N D, GERBER J S, JOHNSTON M, et al. Closing yield gaps through nutrient and water management[J]. *Nature*, 2012, 490(7419):254-257.
- [9] KHOURY C K, BJORKMAN A D, DEMPEWOLF H, et al. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(11):4001-4006.
- [10] CHAUDHARY A, GUSTAFSON D, MATHYS A. Multi-indicator sustainability assessment of global food systems[J]. *Nature Communications*, 2018, 9:848.
- [11] SPRINGMANN M, CLARK M, MASON-D' CROZ D, et al. Options for keeping the food system within environmental limits[J]. *Nature*, 2018, 562(7728):519-525.
- [12] TENDALL D M, JOERIN J, KOPAINSKY B, et al. Food system resilience: Defining the concept[J]. *Global Food Security*, 2015, 6:17-23.
- [13] ROCKSTROM J, STEFFEN W, NOONE K, et al. A safe operating space for humanity[J]. *Nature*, 2009, 461(7263):472-475.
- [14] STEFFEN W, RICHARDSON K, ROCKSTROM J, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet[J]. *Science*, 2015, 347(6223):1259855.
- [15] FOLEY J A, RAMANKUTTY N, BRAUMAN K A, et al. Solutions for a cultivated planet[J]. *Nature*, 2011, 478(7369):337-342.
- [16] TITTONELL P. Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2014, 8(SI):53-61.
- [17] BOMMARCO R, KLEIJN D, POTTS S G. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2013, 28(4):230-238.
- [18] PRETTY J, BHARUCHA Z P. Sustainable intensification in agricultural systems[J]. *Annals of Botany*, 2014, 114(8):1571-1596.
- [19] TILMAN D, BALZER C, HILL J, et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(50):20260-20264.
- [20] GARNETT T, APPLEBY M C, BALMFORD A, et al. Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies[J]. *Science*, 2013, 341(6141):33-34.
- [21] GARIBALDI L A, GEMMILL-HERREN B, D' ANNOLFO R, et al. Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2017, 32(1):68-80.
- [22] ROCKSTRÖM J, WILLIAMS J, DAILY G, et al. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability[J]. *Ambio*, 2017, 46(1):4-17.
- [23] ARTMANN M, SARTISON K. The role of urban agriculture as a nature-based solution: A review for developing a systemic assessment framework[J]. *Sustainability*, 2018, 10(6):1937.
- [24] LIN B B, PHILPOTT S M, JHA S. The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services: Challenges and next steps[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2015, 16(3):189-201.
- [25] SPECHT K, WEITH T, SWOBODA K, et al. Socially acceptable urban agriculture businesses[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2016, 36(1):17.
- [26] PENG J, LIU Z C, LIU Y X, et al. Multifunctionality assessment of urban agriculture in Beijing City, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 537:343-351.
- [27] SAHA M, ECKELMAN M J. Growing fresh fruits and vegetables in an urban landscape: A geospatial assessment of ground level and rooftop urban agriculture potential in Boston, USA[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 165:130-141.
- [28] POWER A G. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2010, 365(1554):2959-2971.
- [29] DE GROOT R S, ALKEMADE R, BRAAT L, et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making[J]. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3):260-272.
- [30] SUN X, LU Z, LI F, et al. Analyzing spatio-temporal changes and trade-offs to support the supply of multiple ecosystem services in Beijing, China[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 94:117-129.
- [31] BRINER S, HUBER R, BEBI P, et al. Trade-offs between ecosystem services in a mountain region[J]. *Ecology and Society*, 2013, 18(3):35.
- [32] OLESEN J E, BINDI M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy[J]. *European Journal of Agronomy*, 2002, 16(4):239-262.
- [33] LIU J G, FOLBERTH C, YANG H, et al. A global and spatially explicit assessment of climate change impacts on crop production and consumptive water use[J]. *PLoS ONE*, 2013, 8(2):e57750.
- [34] DUAN W, CHEN Y, ZOU S, et al. Managing the water-climate-food nexus for sustainable development in Turkmenistan[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220:212-224.
- [35] HOWDEN S M, SOUSSANA J F, TUBIELLO F N, et al. Adapting agriculture to climate change[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(50):19691-19696.
- [36] NHAMO L, NDLELA B, NHEMACHENA C, et al. The water-energy-food nexus: Climate risks and opportunities in southern Africa[J]. *Water*, 2018, 10(5):567.
- [37] WILLIAMS P A, CRESPO O, ABU M, et al. A systematic review of how vulnerability of smallholder agricultural systems to changing climate is assessed in Africa[J]. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(10):103004.
- [38] SIEBER S, JHA S, THARAYIL SHEREEF A-B, et al. Integrated assessment of sustainable agricultural practices to enhance climate resilience in Morogoro, Tanzania[J]. *Regional Environmental Change*, 2015, 15(7):1281-1292.

- [39] LOPEZ-RIDAURA S, FRELAT R, VAN WIJK M T, et al. Climate smart agriculture, farm household typologies and food security: An *ex-ante* assessment from eastern India[J]. *Agricultural Systems*, 2018, 159:57–68.
- [40] MATHEW S, ZENG B, ZANDER K K, et al. Exploring agricultural development and climate adaptation in northern Australia under climatic risks[J]. *Rangeland Journal*, 2018, 40(4):353–364.
- [41] KEAIRNS D L, DARTON R C, IRABIEN A. The energy–water–food nexus[J]. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 2016, 7:239–262.
- [42] PASTOR A V, PALAZZO A, HAVLIK P, et al. The global nexus of food–trade–water sustaining environmental flows by 2050[J]. *Nature Sustainability*, 2019, 2(6):499–507.
- [43] LIU J G, HULL V, GODFRAY H C J, et al. Nexus approaches to global sustainable development[J]. *Nature Sustainability*, 2018, 1(9):466–476.
- [44] CREUTZIG F, RAVINDRANATH N H, BERNDEN G, et al. Bioenergy and climate change mitigation: An assessment[J]. *Global Change Biology Bioenergy*, 2015, 7(5):916–944.
- [45] HECK V, HOFF H, WIRSENIUS S, et al. Land use options for staying within the planetary boundaries: Synergies and trade-offs between global and local sustainability goals[J]. *Global Environmental Change–Human and Policy Dimensions*, 2018, 49:73–84.
- [46] DOELMAN J C, STEHFEST E, TABEAU A, et al. Making the Paris agreement climate targets consistent with food security objectives[J]. *Global Food Security*, 2019, 23:93–103.
- [47] TOLEDO A, BURLINGAME B. Biodiversity and nutrition: A common path toward global food security and sustainable development[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2006, 19(6/7):477–483.
- [48] KAZEMI H, KLUG H, KAMKAR B. New services and roles of biodiversity in modern agroecosystems: A review[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 93:1126–1135.
- [49] LUCAS P L, KOK M T J, NILSSON M, et al. Integrating biodiversity and ecosystem services in the post–2015 development agenda: Goal structure, target areas and means of implementation[J]. *Sustainability*, 2014, 6(1):193–216.
- [50] ROGER-ESTRADE J, ANGER C, BERTRAND M, et al. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture[J]. *Soil & Tillage Research*, 2010, 111(1):33–40.
- [51] ZANZANAINI C, TRAN B T, SINGH C, et al. Integrated landscape initiatives for agriculture, livelihoods and ecosystem conservation: An assessment of experiences from south and southeast Asia[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 165:11–21.
- [52] SMITH J, PEARCE B D, WOLFE M S. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? [J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2013, 28(1):80–92.
- [53] THEROND O, DURU M, ROGER-ESTRADE J, et al. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, 37(3):21.
- [54] BERBES-BLAZQUEZ M, BUNCH M J, MULVIHILL P R, et al. Understanding how access shapes the transformation of ecosystem services to human well-being with an example from Costa Rica[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 28(S1):320–327.
- [55] CARVALHO F P. Pesticides, environment, and food safety[J]. *Food and Energy Security*, 2017, 6(2):48–60.
- [56] MEIER M S, STOESSEL F, JUNGBLUTH N, et al. Environmental impacts of organic and conventional agricultural products: Are the differences captured by life cycle assessment? [J]. *Journal of Environmental Management*, 2015, 149:193–208.
- [57] AL-MANSOUR F, JEJCIC V. A model calculation of the carbon footprint of agricultural products: The case of Slovenia[J]. *Energy*, 2017, 136:7–15.
- [58] RONGA D, GALLINGANI T, ZACCARDELLI M, et al. Carbon footprint and energetic analysis of tomato production in the organic vs the conventional cropping systems in southern Italy[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220:836–845.
- [59] GOGGIO P, SMITH W N, WORTH D E, et al. Development of Crop. LCA, an adaptable screening life cycle assessment tool for agricultural systems: A Canadian scenario assessment[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172:3770–3780.
- [60] XIAO G M, ZHAO Z C, LIANG L, et al. Improving nitrogen and water use efficiency in a wheat–maize rotation system in the North China Plain using optimized farming practices[J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 212:172–180.
- [61] CAO C, LU X H, LI X Y. Risk assessment and pressure response analysis of the water footprint of agriculture and livestock: A case study of the Beijing–Tianjin–Hebei region in China[J]. *Sustainability*, 2019, 11(13):3693.
- [62] ZAHM F, VIAUX P, VILAIN L, et al. Assessing farm sustainability with the IDEA method: From the concept of agriculture sustainability to case studies on farms[J]. *Sustainable Development*, 2018, 16(4):271–281.
- [63] DE OLDE E M, OUDSHOORN F W, SORESENSEN C A G, et al. Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 66:391–404.
- [64] VAN CAUWENBERGH N, BIALA K, BIELDERS C, et al. SAFE: A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2007, 120(2/3/4):229–242.
- [65] GOSWAMI R, SAHA S, DASGUPTA P. Sustainability assessment of smallholder farms in developing countries[J]. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2017, 41(5):546–569.
- [66] 邱化蛟, 常欣, 程序, 等. 农业可持续性评价指标体系的现状分析与构建[J]. 中国农业科学, 2005(4):736–745. QIU H J, CHANG X, CHENG X, et al. The analysis and design of agricultural sustainability indicators system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005(4):736–745.
- [67] 罗其友, 唐曲, 刘洋, 等. 中国农业可持续发展评价指标体系构建及研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(27):158–164. LUO Q Y, TANG Q, LIU Y, et al. Construction of index system evaluating agricultural sustainable development in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(27):158–164.

- [68] 袁久和, 祁春节. 基于熵值法的湖南省农业可持续发展能力动态评价[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(2): 152-157. YUAN J H, QI C J. Dynamic assessment of regional agricultural sustainability of Hunan Province based on entropy method[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(2): 152-157.
- [69] 段妍磊. 河北省农业可持续发展指标体系分析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(6): 169-173, 183. DUAN Y L. Analysis of index system of agricultural sustainable development in Hebei Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(6): 169-173, 183.
- [70] FALLAH-ALIPOUR S, BOSHRABADI H M, MEHRJERDI M R Z, et al. A framework for empirical assessment of agricultural sustainability: The case of Iran[J]. *Sustainability*, 2018, 10(12): 4823.
- [71] YANG S Q, MEI X R. A sustainable agricultural development assessment method and a case study in China based on euclidean distance theory[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 168: 551-557.
- [72] 田宜水, 姚一晨, 宋成军, 等. 基于能值分析的农业园区循环经济发展评价研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(4): 241-247. TIAN Y S, YAO Y C, SONG C J, et al. Cycle economic development evaluation of agricultural park based on emergy analysis[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(4): 241-247.
- [73] 赵桂慎, 王一超, 唐晓伟, 等. 基于能值生态足迹法的集约化农田生态系统可持续性评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 159-167. ZHAO G S, WANG Y C, TANG X W, et al. Evaluation of sustainability for intensive farmland ecosystem based on emergy ecological footprint[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(18): 159-167.
- [74] 张利国, 鲍丙飞. 我国农业系统可持续发展协调度分析[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9295-9303. ZHANG L G, BAO B F. Coordination degree of sustainable development of agricultural system in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(24): 9295-9303.
- [75] 李超, 李文峰, 李林润. 基于灰色关联度模型的区域农业生态系统可持续发展水平评价[J]. 生态科学, 2014, 33(2): 373-378. LI C, LI W F, LI L R. Assessment of regional agro-ecosystem sustainable development based on grey correlation and models[J]. *Ecological Science*, 2014, 33(2): 373-378.
- [76] LI M J, WANG J, CHEN Y H. Evaluation and influencing factors of sustainable development capability of agriculture in countries along the belt and road route[J]. *Sustainability*, 2019, 11(7): 2004.
- [77] 丁文广, 刘兴德, 耿怡颖, 等. 甘肃省农业可持续发展评价及耦合协调性分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(3): 61-69, 129. DING W G, LIU X D, GENG Y Y, et al. Evaluation of agricultural sustainable development and analysis of coupling coordination in Gansu Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(3): 61-69, 129.
- [78] VAN ITTERSUM M K, EWERT F, HECKELEI T, et al. Integrated assessment of agricultural systems: A component-based framework for the European Union (SEAMLESS)[J]. *Agricultural Systems*, 2008, 96(1/2/3): 150-165.
- [79] SCHINDLER J, GRAEF F, KOENIG H J. Methods to assess farming sustainability in developing countries. A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35(3): 1043-1057.
- [80] WHITCRAFT A K, BECKER-RESHEF I, JUSTICE C O, et al. No pixel left behind: Toward integrating earth observations for agriculture into the United Nations Sustainable Development Goals framework[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 235: 111470.
- [81] KANTER D R, MUSUMBA M, WOOD S L R, et al. Evaluating agricultural trade-offs in the age of sustainable development[J]. *Agricultural Systems*, 2018, 163(S1): 73-88.
- [82] SCOWN M W, WINKLER K J, NICHOLAS K A. Aligning research with policy and practice for sustainable agricultural land systems in Europe[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116(11): 4911-4916.