

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2024.01.033

崔彩贤, 沈霖, 远佳怡, 等. 黄土高原土壤调控原理与应用研究知识图谱—基于 CiteSpace 的文献可视化分析[J]. 水土保持学报, 2024, 38(1): 396-408.

CUI Caixian, SHEN Lin, YUAN Jiayi, et al. Knowledge graph of principles and applications of soil control in the Loess Plateau-literature visualization analysis based on CiteSpace[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(1): 396-408.

黄土高原土壤调控原理与应用研究知识图谱

——基于 CiteSpace 的文献可视化分析

崔彩贤, 沈霖, 远佳怡, 伊雅楠, 王忠港, 李玲玲

(西北农林科技大学人文社会发展学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 黄土高原是中国一个伟大的地理单元, 对国家粮食安全和生态安全具有重要的战略意义。通过长期的坡度治理、流域综合治理、植树造林等多种措施, 黄土高原地区的生态环境已经得到显著改善, 但仍然面临着局部地区植被恢复配置的合理性不足、全流域统筹不协调、平衡经济发展与生态保护等方面的挑战。在国家双碳目标的指引下, 黄土高原生态系统及农业可持续发展的未来方向和目标应当是支持碳中和目标实现、建立环境适宜性的植被群落、推进生态系统统筹社会经济系统的发展实现发展方式绿色转型。[方法] 通过文献计量学工具 CiteSpace 对 1992—2023 年发表的黄土高原土壤调控原理与应用研究相关文献进行可视化分析, 重点针对该研究领域的核心研究力量、研究热点与研究趋势。[结果] (1) 从发文量的嬗变来看, 整体呈上升趋势, 在 2001 年后爆发式增长; (2) 从发文机构来看, 西北农林科技大学在该领域的发文量最高, 为 2 157 篇; (3) 从作者的合作关系来看, 邵明安和刘国彬是该领域的核心带头人, 发文量分别为 141, 117 篇, 由他们构成的合作网络已经非常成熟; (4) 从该领域的研究热点和发展趋势来看, 主要研究热点集中在土壤水分、产量、旱地、土壤侵蚀、土壤养分和植被恢复等方面, 未来微观主题趋势将集中在产量、坡位和施氮量上, 而未来宏观趋势将探索生态—经济—社会系统耦合协调发展的新模式。[结论] 基于可视化分析后的结果, 对黄土高原土壤调控原理与应用研究领域提出了合作研究、研究热点和未来重点发展方向 3 个方面的展望。

关键词: 黄土高原; 土壤调控原理与应用; CiteSpace; 可视化; 产能协同提升

中图分类号: S151; G353.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242-(2024)01-0396-13

Knowledge Graph of Principles and Applications of Soil Control in the Loess Plateau

——Literature Visualization Analysis Based on CiteSpace

CUI Caixian, SHEN Lin, YUAN Jiayi, YI Ya'nan, WANG Zhonggang, LI Lingling

(College of Humanities & Social Development, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The Loess Plateau is a great geographical unit of China, which has important strategic significance for national food security and ecological security. Through long-term slope management, comprehensive watershed management, afforestation and other measures, the ecological environment of the Loess Plateau has been significantly improved, but it still faces challenges in such aspects as insufficient rationality of vegetation restoration in local areas, uncoordinated overall planning of the whole basin, and balanced economic development and ecological protection. Under the guidance of the national dual-carbon goal, the future direction and goal of the Loess Plateau ecosystem and agricultural sustainable development should be to support the realization of carbon neutrality, establish an environmentally suitable vegetation community, promote the development of the ecosystem as a whole, and realize the green transformation of the development mode. [Methods] Based on the bibliometrics tool CiteSpace, this paper visually analyzes the relevant literatures on the principle and application of soil regulation in the Loess Plateau published from

收稿日期: 2023-09-01

修回日期: 2023-10-03

录用日期: 2023-10-10

网络首发日期 (www.cnki.net): 2023-11-10

资助项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1900700)

第一作者: 崔彩贤 (1971—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事农业技术推广研究。E-mail: ylsn003@163.com

通信作者: 李玲玲 (1984—), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农业知识产权与农业科技规划研究。E-mail: linglingli848@163.com

<http://stbxb.alljournal.com.cn>

1992 to 2023, focusing on the core research strength, research hotspot and research trend in this research field. [Results] (1) From the perspective of the evolution of the number of published papers, the overall trend is rising, and the growth rate is explosive after 2001; (2) From the perspective of publishing institutions, Northwest A&F University has the highest number of publishing institutions in this field, with 2 157; (3) From the perspective of the cooperative relationship between authors, Academician SHAO Mingan and Professor LIU Guobin are the core leaders in this field, and the number of published papers is 141 and 117 respectively. The cooperative network formed by them has been very mature; (4) From the perspective of research hotspots and development trends in this field, the main research hotspots focus on soil moisture, yield, dryland, soil erosion, soil nutrients and vegetation restoration, etc. The future micro theme trend will focus on yield, slope position and nitrogen application amount, while the future macro trend will explore a new model of the coupling and coordinated development of eco-economic-social system. [Conclusion] Based on the results of visual analysis, three perspectives on the principles and application of soil regulation in the Loess Plateau were proposed, including cooperative research, research hotspots and future key development directions.

Keywords: the Loess Plateau; principles and applications of soil control; CiteSpace; visualization; collaborative capacity improvement

Received: 2023-09-01

Revised: 2023-10-03

Accepted: 2023-10-10

Online(www.cnki.net): 2023-11-10

黄土高原是中国重要的地理单元,是中华民族的发祥地,该区域地形地貌复杂多样,土壤疏松易流失,降雨集中,生态系统脆弱性强,水土流失问题突出,一直是国家政策和科学研究的重要关注点。傅伯杰等^[1]研究认为,黄土高原地区生态治理虽然已经取得了众多成就,但仍然存在植被恢复配置合理性不足、农户生计脆弱、区域发展差距显著、局部地区自然灾害风险较高和中下游统筹不力等问题。人工林的过度种植会导致深层土壤的水分消耗增大,进而导致土壤干层化,严重制约土壤水资源的可持续利用^[2]。在此基础上,土壤干层、硝态氮的深层积累、磷肥的残留积累、塬面蚕食的加剧、农村劳动力转移与土地流转导致的粗放经营等问题也接踵而至^[3]。除此之外,林龄老化导致碳汇能力下降、缺乏有效的管理机制及经济效益与生态效益的平衡等也是黄土高原地区生态治理的遗留问题^[4]。黄土高原脆弱的生态环境并没有得到根本性的改变,与当地的实际发展也并未深度契合,且农业的综合生产能力依然较低^[5]。

面临着这些问题和挑战,也有很多学者提出了一定的未来发展方向。苏艳丽等^[6]研究认为,在未来应当加强黄土高原西部高海拔地区的植被管理,科学种植,同时采取技术措施最大化利用降水资源。中国土壤侵蚀与水土保持研究领域在 2000 年后过于追随国外相关研究进展,未来研究应当更多立足于中国社会的实际发展状况,紧密贴合中国生态建设与绿色高质量发展目标^[7]。杨波等^[8]研究表明,目前榆林市黄土

高原地区降雨对土壤侵蚀的影响已处于次要地位,随着植被恢复与退耕还林还草工程的不断推进,植被大量生长,增加了耗水量,从而导致了土壤干层加剧,未来土壤调控的发展方向应集中在“因水制宜”,更加注重水资源的承载力。虽然黄土高原地区仍需要持续加强水土流失治理,但因地制宜优化产业发展布局,进一步实现人与自然和谐共处,进而提高社会经济发展速度与质量,才是未来治理的发展方向^[9]。因此,目前对黄土高原地区水土流失治理模式、理念和目标都需要跟随新时代建设理念加以优化,且对农民增收的贡献度不高,未来应坚持水土流失治理与社会经济发展深度耦合,并支撑乡村振兴战略,推动产能协同提升^[10]。

目前已有部分学者对黄土高原地区生态治理和水土保持领域进行了进展回顾与总结,但缺乏对黄土高原土壤调控原理与应用研究领域进行系统总结和可视化的研究。基于此,本文通过文献分析法和知识共现分析法对黄土高原土壤调控原理与应用研究进行系统梳理和可视化呈现,并揭示该领域研究的历史脉络、研究热点和发展趋势。在此基础上,对黄土高原土壤调控原理与应用研究的知识结构和知识演化进行深入探讨,为该领域的未来研究提供新的视角和方法,并提出相应的对策建议。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

本文以中国知网(CNKI)数据库为文献来源,检索方法为主题词检索,为尽可能地保障检索结果科

学,减少遗漏,在检索过程中使用了多种“黄土高原”地区的同义词,并在检索后进行逐篇筛选,剔除掉非黄土高原地区的文献。最终检索主题词设置为“‘黄土高原’+‘西北’+‘干旱半干旱区’+‘黄土丘陵’+‘旱地’*‘土壤’”,文献类型限定为发表在北大核心和 CSSCI 的学术期刊,最终检索出相关文献 8 331 条。在此基础上,构建具体的筛选标准:(1)地域范围上,限定为黄土高原地区,剔除如东北地区、西南紫土区、南方旱区等非黄土高原地区;(2)研究范围上,必须与黄土高原土壤调控原理与应用研究有关,如水、土、肥,或者对黄土高原地区农作物、植被的研究;(3)研究跨度上,限定为现代黄土高原土壤的研究,剔除考古类、地理历史类的相关文献,如全新世土壤磁化率研究、古气候变化等。对所有已检索出的文献进行筛选,剔除重复和不相关文献后,最终得到有效文献数量为 5 428 条,发表时间最早的文献为 1992 年 1 月,最晚为 2023 年 4 月。

1.2 统计方法

CiteSpace 是一款文献可视化分析软件,由美国 Drexel 大学陈超美教授及其团队基于 Java 语言开发。该软件通过共引分析理论对相关文献进行计量分析,进而绘制出可视化图谱,可用于研究领域的热点分析与趋势预测^[11]。本文基于 CiteSpace6.2.R3 软件进行可视化分析,将经过剔除不相关文献后的 5 428 条有效文献以 Refworks 的格式进行导出,在 CiteSpace 软件中转化为软件可识别的文件格式后,建立相关工程,时间跨度设置为 1992—2023 年,时间切片设置为 1,节点类型依次选择作者机构和关键词,由于文献数量较大,网格密集,为突出重点,采取网络裁剪方法,裁剪方式选择 Pathfinder、Pruning sliced networks、Pruning the merged network。

2 研究概况分析

2.1 黄土高原土壤调控原理与应用研究高水平论文发表趋势

根据 CiteSpace 分析得出的结果,制作从 1992—2023 年的发文量趋势图(图 1),可以看出,该领域的发文量总体呈上升趋势,1992—1999 年处于相对平缓的阶段,1999 年后开始进入快速发展阶段,2001 年开始爆发式增长,2008 年之后进入波动发展期。由于 2023 年的文献统计截止于 4 月,所以呈现断崖式下跌的情况,但根据知网的可视化分析结果显示,2023 年该领域的发文预测值基本于 2022 年一致。

自新中国成立以来,黄土高原生态治理经历了从坡面治理到沟坡联合治理,再到小流域综合治理,以及退耕还林还草和生态保护与高质量发展等多个阶

段。这些措施在区域生态建设和恢复生态功能方面取得了显著成效。植被覆盖率得到明显改善,林草覆盖面积大幅增加,区域生态呈现良性发展态势。水土流失得到有效控制,入黄泥沙显著减少。此外,黄土高原还发展了旱地农业、有机农业、可持续农业、低碳农业、立体农业等多种农业发展模式,形成了休闲观光农业、都市农业、白色农业、水土保持农业等综合生态型农业。根据发文量的变化趋势,可以将黄土高原地区土壤调控原理与应用研究领域初步划分为 4 个阶段。

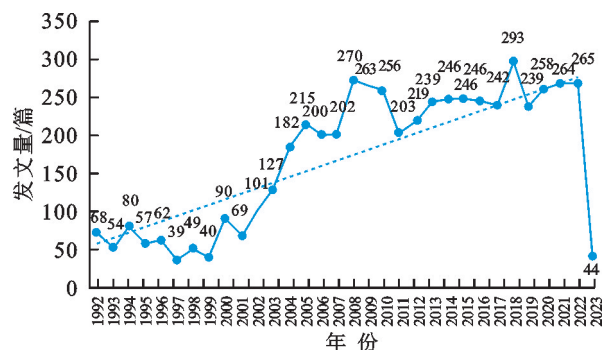


图 1 黄土高原土壤调控原理与应用研究 1992—2023 年高水平论文发表趋势

Fig. 1 The high-level publication trend of research on the principles of soil regulation in the Loess Plateau

2.1.1 萌芽阶段(1992—1999 年) 该阶段黄土高原土壤调控原理与应用研究正处于初步探索阶段。研究重点聚焦于深入探究黄土高原地区土壤的基本特性与特征,以及土壤侵蚀和退化的成因与机理。技术目标重点针对黄土高原生态环境的恢复与重建。相关研究^[12]内容主要包括但不限于增强地表植被覆盖、优化土壤结构,以及调整地形地貌特征等,以逐步实现土壤侵蚀的防治,并达到土壤平衡机制中侵蚀与风化、搬运与沉积之间的动态平衡。然而,受限于早期资金投入的不足,技术手段与研究方法相对滞后,研究机构之间呈现出较大的分散性,合作性较为薄弱。因此,在此阶段,关于黄土高原土壤调控原理与应用的研究文献数量整体呈现稀缺且稳定的趋势。

2.1.2 快速发展阶段(1999—2008 年) 在该阶段,黄土高原土壤调控原理与应用正逐渐迈向成熟,并得到广泛的实际应用。研究重心主要集中在黄土高原土壤的保育、修复和改良等方面,囊括土地利用、植被恢复、水土保持以及土壤改良等多个领域。值得注意的是,退耕还林还草工程自 1999 年在陕西、甘肃、四川进行试点,于 2002 年全面展开^[13],因而在此阶段,黄土高原土壤调控原理与应用领域的研究文献量显著增长。

2.1.3 稳定发展阶段(2008—2018 年) 在该阶段,黄土高原土壤调控原理与应用已进入稳健发展阶段,此阶段在早期研究的基础上开始追求创新。在整体

发文数量不断增长的基础上,随着创新性探索的展开,技术和相关技术原理研究经历不断地试验、试错与突破,因而整体趋势呈现相对平缓的波动。研究范畴也得到扩展与延伸,不再仅限于土壤保育和修复,开始关注土壤的生态功能和环境效益。一个典型示例是在 2013—2016 年,黄河水利科学研究院主导了一项名为“黄河中游砒砂岩区抗蚀促生技术集成与示范”的国家科技支撑计划项目。该研究团队构建了针对砒砂岩区抗蚀促生措施的立体配置技术与模式,为应对黄河中游砒砂岩区水土流失问题,探索了综合治理的创新途径^[14]。

2.1.4 提质增效阶段(2018—2023 年) 在该阶段,国家战略层面开始强调高质量发展,同时在“双碳目标”的战略背景下,黄土高原土壤调控原理与应用逐渐聚焦于产能协同提升,即目标导向从单一的生态治理转向更多效益的多元化调控。2023 年 8 月黄土高原林草植被覆盖度达 59% 以上^[15],同时在“黄河流域高质量发展”和“双碳目标”等国家重大战略框架下,黄土高原地区的植被恢复引起土壤固碳量显著增加,新时代黄土高原土壤的碳汇效应将持续提升^[16]。在此背景下,对技术的实际应用逐渐引起关注,同时自然科学与人文社会科学的交叉合作也日益受到重视。这种合作逐渐弥合了自然科学研究在政策建议方面的短板,为长期可持续性提供了保障,从而促使技术的实际落地和推广实施。这也在政策和制度机制层面上提供了可靠的政策建议和对策建设,为技术的推广与应用提供了坚实的支撑。

总体而言,黄土高原土壤调控原理与应用研究经历了从起步阶段到成熟阶段,再到创新阶段和提质增效阶段的嬗变。在这个过程中,不断探索和创新黄土高原土壤保育、修复和改良等领域的技术手段。这些努力为黄土高原地区的可持续发展作出了积极的贡献。

2.2 作者合作网络分析

根据导入的有效文献,通过 CiteSpace 软件运行得出的作者合作关系图谱,可以进一步了解到该领域的作者合作关系,并较为清晰地看出哪些作者在该领域的影响力较大。

通过普赖斯定律中的核心作者计算公式进行计算^[17],计算公式为:

$$M \approx 0.749 \times \sqrt{N_{\max}}$$

式中:M 为核心作者最低论文数量;N_{max} 为对应年限中发表论文数量最多作者的论文数量。

在黄土高原土壤调控原理和应用研究领域,发文量最高的是邵明安,为 141 篇,公式计算结果为 8.89,因此,在作者关系共现图谱中选择≥9 篇的核心作者

进行共现,得出核心作者合作关系图谱(图 2),将图 2 中最外圈的核心作者进行进一步分析制作散点图(图 3),分别展示了每个核心作者的发文量和中心性。

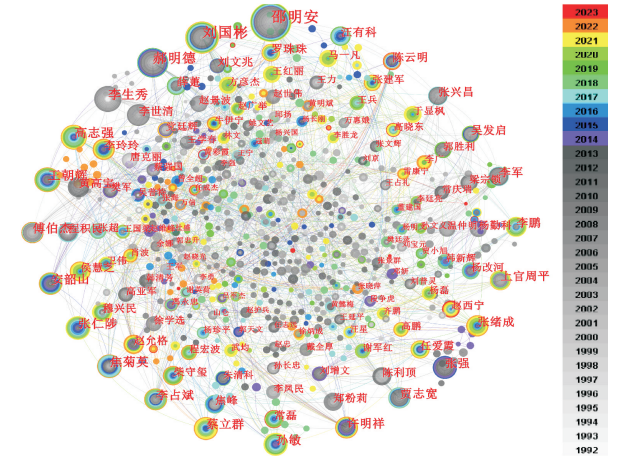


图 2 核心作者合作关系图谱

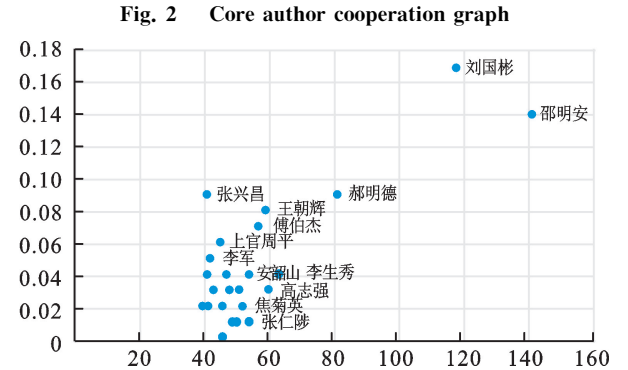


图 3 外圈核心作者散点分布

Fig. 3 Core author scatter distribution in outer circle

在图 2 中,节点的大小代表该作者的发文量多少,节点之间的连线代表作者之间的相互合作关系,而每个节点圆环的颜色则是对应的发文年。图 2 中的作者按照发文数量从外圈到内圈依次逆时针排序。中心性主要指的是中介中心性,它反映了一个节点在网络中最短路径上的频率。具有高中介中心性的节点可能位于不同社团或子网络之间,因此可以作为桥梁或媒介。一般来说,如果一个节点的中心性超过 0.1,就可以认为它是一个关键节点,在研究领域中具有较大的影响力和创新潜力。

2.2.1 核心带头人显著 在黄土高原土壤调控原理与应用研究领域,邵明安和刘国彬的发文数量分别为 141,117 篇,分别位居第 1 和第 2。两位作者的首次发文年份分别为 1999 年和 1996 年,早期涉足研究,展现了较早的贡献。邵明安的中心性为 0.14,刘国彬的中心性为 0.17。中心性值大于 0.1,表明他们在作者合作网络中扮演着中心节点的角色,拥有较为显著的影响力^[18]。相较之下,其他核心作者的中心性都小于 0.1,从而可以得出结论,在该领域内,邵明安和刘国彬

作为核心带头人,拥有较高的研究影响力。

2.2.2 部分地区跨区域合作不够成熟 设置散点图共现发文量排名前 10 及中心性排名前 10 的核心作者,可以看出显示在散点图上的作者中,邵明安、刘国彬、郝明德、王朝晖、张兴昌、上官周平、安韶山、李生秀和焦菊英的所属机构都是西北农林科技大学,说明黄土高原土壤调控原理和应用研究领域的合作网络多围绕着西北农林科技大学向外部延伸。而其他在散点图中显示出来的核心作者中,傅伯杰的所属机构是中国科学院地理环境研究所,李军的所属机构是广西兽医研究所,高志强的所属机构是山西农业大学,张仁陟的所属机构是甘肃农业大学,且中心性都小于 0.1,说明其他地区的核心作者合作网络还不够成熟,有较大的发展空间。

2.3 机构合作网络分析

使用 CiteSpace 进行机构分析,生成机构合作关系图谱(图 4),从图 4 中可以清晰地观察到各个机构在该领域的发文量情况。西北农林科技大学在该领域的发文数量最高,达到 2 157 篇,其次是中国科学院大学,发文数量为 341 篇,紧随其后的是中国科学院,发文数量达到 265 篇。此外,该领域形成了庞大的机构合作网络。其中,西北农林科技大学的中心性最高,达到 0.58,凸显其在该研究领域的领导地位。同时,中国科学院和中国科学院大学的中心性分别为 0.20 和 0.13,也超过了 0.1。

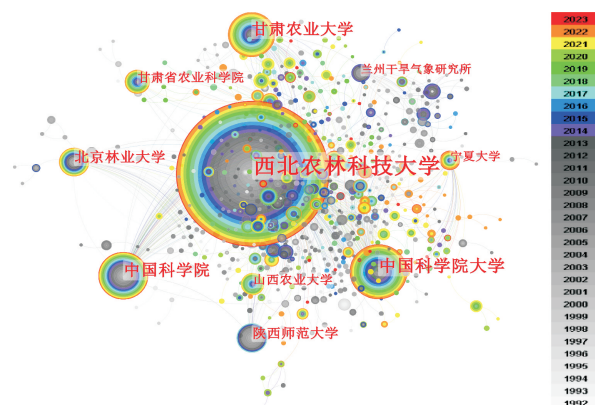


图 4 机构合作关系图谱

Fig. 4 Institutional partnerships graph

图 4 中清晰地呈现出以西北农林科技大学、中国科学院大学和中国科学院为核心,构建了一定程度的合作网络。值得注意的是,甘肃农业大学的中心性恰好达到 0.1,这表明其作为新兴机构的牵头者,正在迅速发展。然而,通过查看节点详情并观察其合作机构,可以发现甘肃农业大学和山西农业大学等其他地区的大学主要合作机构集中在内部合作和本地区合作,跨区域合作相对较不充分。

3 研究热点与趋势分析

3.1 关键词共现分析

关键词共现图谱能够揭示黄土高原土壤调控原理与应用研究领域的研究热点。通过 CiteSpace 软件生成的关键词共现图谱(图 5),共有 930 个节点,每个节点代表一个关键词,节点的大小表示该关键词的出现频率^[19]。中心性则反映了节点在整个网络中的重要性,若中心性大于 0.1,则表明这是具有重要转折意义的关键词。

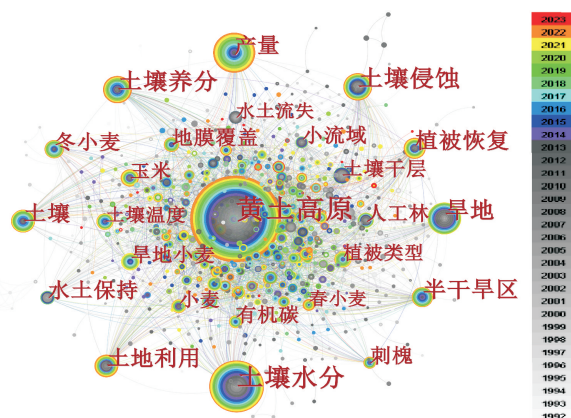


图 5 关键词共现图谱

Fig. 5 Keywords co-occurrence graph

在图 5 中,围绕着“黄土高原”这一地域范畴,关键词的出现频率从最外圈向内圈递减,最外圈的关键词包括“土壤水分”“产量”“土壤侵蚀”“土壤养分”“植被恢复”“冬小麦”“土壤”“旱地”“水土保持”“半干旱区”“土地利用”和“刺槐”。

表 1 显示了最外圈 12 个关键词的出现频率和中心性,“土壤水分”的出现频次为 600 次,中心性达到 0.24,是该领域的研究重点。此外,还有其他中心性 ≥ 0.1 的关键词,如“旱地”“土壤侵蚀”“土壤养分”和“植被恢复”。

表 1 关键词频次和中心性

Table 1 Keywords frequency and centrality

关键词	频次	中心性
土壤水分	600	0.24
产量	363	0.06
旱地	273	0.14
土壤侵蚀	259	0.13
土壤养分	212	0.12
冬小麦	150	0.08
植被恢复	145	0.10
土壤	141	0.09
半干旱区	140	0.08
土地利用	107	0.06
刺槐	90	0.05
水土保持	83	0.06

通过上述分析,可以清晰地看出黄土高原土壤调控原理与应用研究领域的热点不仅关注于土壤本身,

还涉及土壤上的植被与作物研究。结合表 1 的数据,进一步分析最外圈的 12 个关键词,可以将该领域的研究热点划分为 3 个主要板块:土壤属性、旱作农业和生态治理。

3.1.1 土壤属性 土壤属性包括土壤水分、土壤侵蚀、土壤养分等。黄土高原土壤疏松,质地均一,持水能力较强,但降水补给不充分,地面蒸发耗水强烈,土壤水分是影响黄土高原植物生长和生态环境重建的关键因素。土壤侵蚀是黄土高原水土流失的主要表现形式,严重影响土壤质量和生产力。土壤养分是决定黄土高原农业生产和植被恢复的重要条件,是土壤肥力的物质基础,包含植物生长发育所需的营养元素,并且在森林植被的生长与健康中起着重要的作用,影响和调控森林生态系统的发展^[20]。

3.1.2 旱作农业 旱作农业包括旱地、半干旱区、土地利用、产量、冬小麦和刺槐。黄土高原土地利用类型主要包括农地、草地、林地、裸地等,不同类型的土地利用对土壤水分的利用效率和影响程度不同^[21]。黄土高原地区的农业用地以旱地为主,主要种植冬小麦、玉米等作物,由于耕作方式和灌溉管理不合理,导致旱地土壤水分亏缺和干层形成。半干旱区是黄土高原降水较少、干旱风险较高的区域,需要采取合理的植被恢复和水资源管理措施,提高半干旱区的生态安全和社会经济发展水平。土地利用变化是黄土高原生态环境变化的重要驱动因素,也是调控黄土高原

水循环和水资源利用的有效手段。不同类型的作物对土壤水分的需求量和消耗量不同。冬小麦是黄土高原最主要的粮食作物之一,其生长期主要在秋冬季节,对深层土壤水分依赖性较强。刺槐是黄土高原最主要的人工林之一,其具有深根系和快速生长的特点,对深层土壤水分消耗量较大,容易导致深层干层形成。

3.1.3 生态治理 生态治理包括植被恢复和水土保持。《国务院关于加强水土保持工作的通知》(国发[1993]5 号)^[22]明确强调“水土保持是山区发展的生命线,是国民经济和社会发展的基础,是国土整治、江河治理的根本,是我们必须长期坚持的一项基本国策”。植被恢复是通过种植草地、林地、灌木林等,增加土壤植被覆盖度,减少水土流失,提高土壤水分利用效率和生态服务功能的一种生态治理措施。自 2000 年以来,生态工程建设实施工作开始大规模进行,其中包括退耕还林还草工程,三北防护林体系建设,防沙治沙以及天然林资源保护等一系列生态建设工程,这些工程的实施使植被覆盖度得到增加,生态系统得到有效恢复^[23]。

因此,植被恢复和水土保持措施相结合,是黄土高原生态治理的重要模式。

3.2 关键词聚类分析

运用 CiteSpace 的 Timeline View 功能对关键词进行自动聚类,并绘制出关键词时序图谱(图 6),选择前 10 个进行显示。

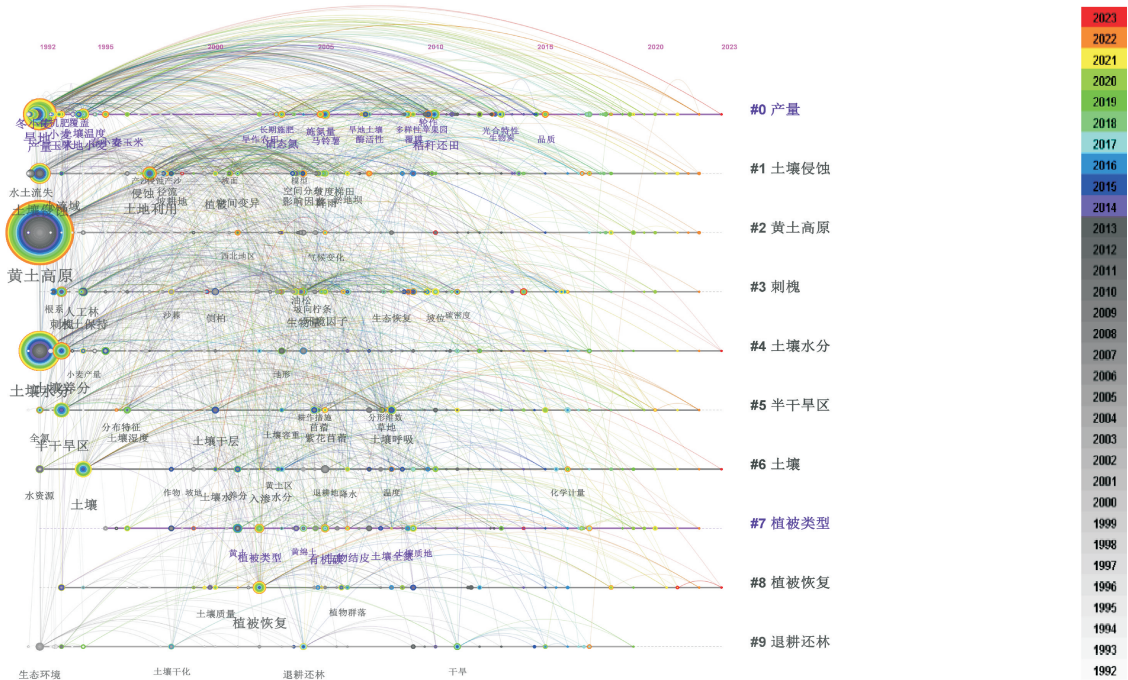


图 6 关键词时序图谱
Fig. 6 Keywords timing grajph

通过聚类模块值 Modularity(Q 值)和聚类平均轮廓值 Mean Silhouette(S 值)可以判断聚类结果的效度, $Q>0.3$ 表示聚类效果显著, $S>0.5$ 表示聚类结果合理,如果 $S>0.7$ 则说明聚类的可靠性相当高^[24]。根据 CiteSpace 的运行结果,图 6 的聚类图谱 Q 值为 0.522, S 值为 0.806,说明聚类结构是合理且有效的。

在关键词时序图谱中,每个节点的大小代表该关键词在特定年份的出现频率,节点越大表示关键词在该年份的出现频次越高。同时,节点的数字编号根据聚类中包含的关键词数量从多到少进行排序,数字越小表示聚类中包含的关键词数量越多。需要注意的是,CiteSpace 通过算法将相关性紧密的关键词进行聚类,然后从这些关键词中选择出现频率最高的关键词作为聚类标签,因此,并不意味着每个聚类之间都没有联系。

通过关键词的聚类,可以清晰地总结出该领域的不同研究热点和方向。结合关键词时序图谱,按照每个聚类在时间线中的长短与节点的变化,可以对每个研究领域的发展趋势进行详细的分析。

(1)研究起步最早且跨越整段时间线的是产量、土壤水分和土壤 3 个聚类,都是从 1992 年就已经开始相关研究。产量和土壤聚类中,各个节点较为分散,没有明显变化,说明产量的研究一直在学界保持关注。产量是旱作农业的核心指标,也是评价适水改土技术效果的重要依据。而土壤一直是黄土高原地区的重要研究主题,同时也是作为本次分析的检索词之一,无论是关于土壤本身的研究还是关于土壤之上的研究,都离不开土壤这个核心条件,土壤是黄土高原土壤调控原理与应用研究领域的基本概念和范畴,反映该领域的学科属性和理论基础。土壤水分研究领域在 2017 年之后新的节点数量有所减少,可能是由于该领域的研究已经趋于成熟和稳定,没有太多新的关键词或概念出现。具体的原因可能是因为该领域的研究已经取得了一些重要的进展和成果,特别是土壤水分遥感反演方法的不断完善和优化,遥感技术的迅速发展使得干旱遥感监测模型的实用化程度越来越高,为大范围旱情监测和评估提供了有效的范式,遥感技术已经成为干旱情况监测的重要支撑手段^[25]。这些进展和成果为该领域的研究提供更多的数据支撑和理论基础,也为该领域的研究提出更高的要求 and 标准。

(2)植被类型和植被恢复聚类中,节点多集中于 2000—2008 年。一方面,从政策角度来看,2000—2008 年,中国实施了一系列的生态工程 and 环境保护

政策,如退耕还林还草工程、天然林保护工程、三北防护林工程等。这些政策对于恢复和改善植被覆盖状况,增加植被类型的多样性和丰富性、提高植被的生产力和生态功能都有着积极的作用。2000—2014 年黄土高原植被指数(NDVI)呈现显著增加趋势^[26],在此基础上,该时间段植被类型的研究是符合政策导向的;另一方面,从技术角度来说,2000—2008 年,中国在遥感技术、信息技术、生物技术等方面取得了一定的进展和突破。这些技术对于植被覆盖的影响是积极的,主要体现在提高植被监测和分析的能力和精度,促进植被分类系统和植被志的研编,增加植被类型和植被恢复聚类中节点的数量。

而刺槐作为一种黄土高原地区的典型植被,在图 6 中可以较为明显地看出,在过去的研究中,刺槐出现的频率相对较多,2016 年之后新的关键词出现频率开始逐渐减少,2022 年之后甚至不再出现。黄土高原对刺槐的研究多集中于刺槐的生态效益和生态风险,如刺槐对土壤水分、土壤养分、土壤侵蚀、生物多样性等的影响^[27]。这表明刺槐作为黄土高原土壤调控原理与应用研究领域的一个分支,在长期的研究中已经相对饱和。新的研究方向拓展受限,且黄土高原植被恢复和建设领域的研究正在趋向多元化,不再局限于对单一植物的针对性研究。这种多元化的趋势可能反映了研究者对于更广泛的植被恢复方案和策略的兴趣,以更好地实现黄土高原地区的生态环境恢复和可持续发展。

(3)土壤侵蚀聚类中发现,2015 年左右出现了一定程度上的断层,2016 年后又逐渐开始趋热。随着退耕还林还草工程的长期实施,黄土高原地区的植被覆盖度和有机碳含量显著提高,土壤侵蚀强度和面积明显降低。黄土高原 2001—2015 年年平均土壤侵蚀量最小为 2015 年,年平均土壤侵蚀量总体呈现减小的趋势,其中 2001—2012 年年平均土壤侵蚀减小较为显著^[28]。因此,这可能导致土壤侵蚀领域的研究需求和关注度下降。而 2016 年是中国实施“十三五”规划的第 1 年,这个规划提出了建设美丽中国的目标,强调生态文明建设和环境保护的重要性。在这个背景下,黄土高原地区的水土保持和生态修复又重新受到重视和关注。

(4)退耕还林聚类中,关键词“退耕还林”的首次发文年是在 2004 年,在 2004 年之前,该聚类当中的节点数量较少,主要是对生态环境和土地退化的研究,而在退耕还林还草工程试点工作正式启动之后,经过了几年的政策推行期,从 2004 年开始出现“退耕还林”关键词节点,但在此之后直到 2009 年,时间线

上出现的新节点数量很少,可能是因为政策推广初期阶段研究热点都还集中于退耕还林本身,暂时还没有对其相关领域进行大范围的挖掘。2009 年之后,节点明显增多,随着工程的日趋成熟,相关领域的研究也逐渐进行拓展与延伸,但是在 2019 年之后,该聚类就中断了,原因可能是 2019 年是退耕还林还草工程的第 20 年,已经取得了丰硕的阶段性成果,2020 年国家林业和草原局发布《中国退耕还林还草二十年(1999—2019)》白皮书,至此,我国已经基本完成退耕还林还草首轮和第 2 轮的任务,下一步要以巩固退耕还林工程成果为首要任务^[29]。

(5)黄土高原作为其中一个聚类,其中的主要节点包括农业工程、土壤分类、植物系数、降雨入渗和矿物质氮等。这些节点代表了黄土高原土壤调控原理与应用研究领域中的关键主题和概念。如土壤分类表示对黄土高原土壤进行分类和归纳的研究,土壤分类是为了建立一个土壤类别的有序体系^[30],为土壤调控提供基础数据和参考,而植物系数是表示实际植物表面与参照植物表面的蒸发蒸腾量(即蒸散量)之间差异的系数,研究植物系数有助于优化农作物的灌溉管理和水资源利用效率^[31]。通过对这些节点的进一步分析和探索,可以深入理解黄土高原土壤调控的机理和方法,为该地区的土地管理和农业生产提供科学依据。

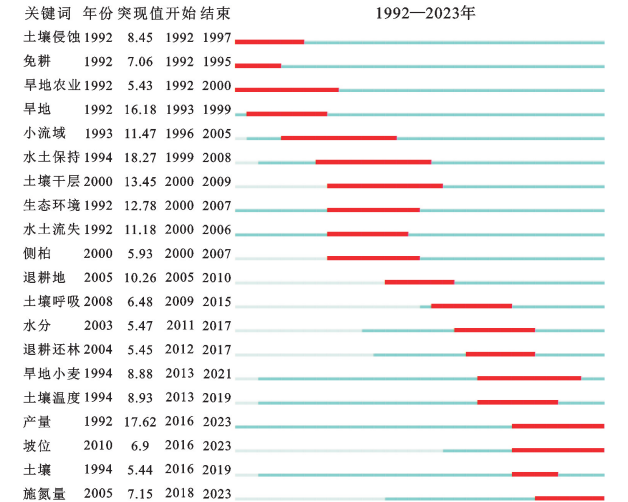
(6)半干旱区聚类与黄土高原聚类类似,同样是地域上的划分,其中主要节点包括农田、土壤干层、有机质和苜蓿等。半干旱区是黄土高原土壤调控原理与应用的重要研究对象和试验场,是探索不同气候条件下土壤调控技术的适应性和效果的关键区域。近年来,半干旱区开展了一系列的土壤调控原理与应用研究,涉及土壤物理性质、化学性质和生物学性质的调控,以及土壤水分、养分、微生物和有机质等要素的平衡调控。这些研究揭示了半干旱区土壤调控的基本规律和机制,提出了一些有效的土壤改良、保护和利用的技术方法,为半干旱区适水改土和旱作农业提供了理论依据和技术手段。

3.3 关键词突现分析

突现关键词是某一时期出现的高频关键词,是某一时期研究热点的集中反映,也是预测未来研究趋势的重要依据^[32]。通过 CiteSpace 分析突现词后,设置显示前 20 的关键词,按照年份次序进行排列(图 7)。

3.3.1 基本分析 关键词的识别是通过文章标题、摘要和关键词 3 个维度进行的,并且由于黄土高原土壤调控原理与应用研究领域的特殊性,很多关键词之间可能存在相互包含的关系。因此,关键词突现分析

更多是侧重于某一时间段某一具体的研究领域的高热度集中研究,部分较为微观的关键词突现值虽然较低,但并不一定意味着其重要程度不高,例如,“水分”作为土壤调控原理与应用研究的核心主题之一,自始至终贯穿着黄土高原相关研究领域,在此基础之上,又细分出众多分支领域,但其本身并不一定会作为一个单独的关键词被识别出来。



注:图中红色部分代表该关键词的突现年段。

图 7 突现关键词

Fig. 7 Highlights keywords

由图 7 可知,突现值大于 10 的有水土保持(18.27)、产量(17.62)、旱地(16.18)、土壤干层(13.45)、生态环境(12.78)、小流域(11.47)、水土流失(11.18)和退耕地(10.26)等。这些关键词在不同的时间段都具有较高的突现值,在黄土高原土壤调控原理与应用研究领域曾发挥着重要的阶段性作用。其中,产量作为近年来的突现词,突现值位列第 2,说明增加旱地农业的产量,促进产能协同提升在近年来受到了较多的关注,可能是黄土高原土壤调控原理与应用相关领域的研究热点和前沿。

3.3.2 阶段分析 通过对图 7 的基本分析,可以进一步将黄土高原土壤调控原理与应用研究领域从 1992—2023 年划分为土壤侵蚀治理、水土流失治理、生态工程建设和提质增效 4 个阶段,根据这 4 个阶段绘制黄土高原土壤调控原理与应用研究历程图(图 8)。

(1)土壤侵蚀治理阶段。时间为 1992—1997 年,主要关键词是土壤侵蚀、免耕、旱地农业和旱地。这些关键词反映了这个阶段的研究重点是探讨黄土高原土壤侵蚀的原因、机制和影响,以及通过免耕技术和旱地农业模式来减少土壤侵蚀和提高农业生产效率。这一阶段对标的国家需求是土壤侵蚀综合防控。

(2)水土流失治理阶段。时间为 1998—2004 年,主要关键词是小流域、水土保持、土壤干层、生态环境

和水土流失。这些关键词反映了这个阶段的研究重点是探讨黄土高原水土保持的理论、方法和效果。对标的国家需求是水土保持,2000 年后黄土高原地区的建设目标是大力进行水土保持型生态农业的建设^[33]。

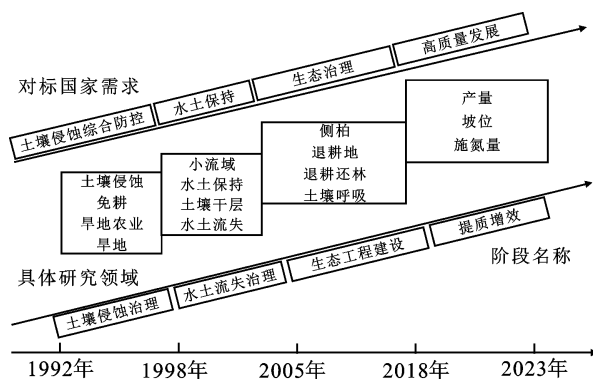


图 8 黄土高原土壤调控原理与应用研究历程

Fig. 8 Research history of soil control principle and application in the Loess Plateau

(3)生态工程建设阶段。时间为 2005—2017 年,主要关键词是侧柏、水分、土壤呼吸、退耕地、退耕还林、土壤温度等。这些关键词反映了退耕还林还草等生态工程对于改善生态环境、减少水土流失、增加土壤有机质等方面的作用,以及评估退耕还林还草对于提高土壤碳汇能力、降低土壤温度、提高水分利用效率等方面的作用。对标的国家需求是生态治理。

(4)提质增效阶段。时间为 2018—2023 年,主要关键词是产量、坡位、土壤和施氮量。这些关键词反映了这个阶段的研究重点是探讨黄土高原旱地农业生产的优化策略,如怎样根据坡位差异调整作物种植结构、如何根据土壤特性调整施肥方式,如何提高作物产量和品质等。总体思路对标提质增效目标,对于土壤的研究不再局限于某一领域,如改善旱地农业的生产效率,改善生态环境等,而是综合起来,力求实现产能的协同提升。对标的国家需求是高质量发展,2017 年,中国共产党第十九次全国代表大会首次提出高质量发展,意味着发展模式向着质量第一、效益优先的方向转变,因此,黄土高原地区土壤调控原理与应用的研究也朝着提质增效转变。

综上,从第 1 阶段到第 4 阶段,黄土高原土壤调控原理与应用的研究大体上进行着由“大”到“精”,再到“深”,最后到“博”的一个转变。“大”是指黄土高原土壤调控原理与应用的研究较为宽泛,涉及的领域很广,而随着国家政策和需求的导向,逐渐转向精细化,从土壤侵蚀到水土流失,再到植被恢复,研究领域呈现出“精”而多的现象,“深”则是进入高质量发展阶段后,在保持精细化研究的基础之上,更加注重提质增效,从而纵向挖掘各个领域的深度,最终将每个领域

的技术、产能与效益聚焦在一起,由“深”变“博”,从而实现产能的协同提升。

3.3.3 未来研究趋势分析

(1)未来微观主题趋势分析

通过关键词的突现分析,未来黄土高原土壤调控原理与应用的研究热点会集中在旱作适水改土和产能协同提升方面。

第一,产量是黄土高原旱作农业的主要目标和评价指标,也是适水改土和产能协同提升的直接体现。从关键词突现图中(图 7)可以看到,产量从 2016 年开始突现到 2023 年,且突现值位列全部突现词第 2,作为近几年来绝对的研究热点,且预计在未来也有很大的发展空间。通过适水改土,可以有效地增加黄土高原旱作农田的粮食作物(如玉米)和饲草作物(如紫花苜蓿)的单产和总产,保障粮食安全和重要农产品有效供给。

第二,坡位是黄土高原旱作农业的重要因素,影响着土壤和作物的各项物理化学性质和产量^[34]。不同坡位的土壤调控技术和模式需要根据坡位特征进行优化和适应,以提高土壤调控的效果和效率。同时,也需要考虑其对生态环境和区域发展的影响和效益,以实现旱作农业的生态友好、低碳、协调发展^[35]。因此,研究不同坡位的土壤调控原理与应用,是黄土高原旱作农业适水改土和产能协同提升技术的重要内容。

第三,施氮是黄土高原旱作农业的重要措施,影响着作物的生长发育、产量和品质,进而影响着农民的收入和国家粮食安全。不同施氮量的土壤调控技术和模式需要根据作物需求、土壤特性、气候条件等因素进行优化和调整,以提高施氮的利用效率和减少施氮的负面影响。因此,研究不同施氮量的土壤调控原理与应用,能够有效提高黄土高原地区的土壤质量,从而进一步提升黄土高原地区旱作农业的产量。此外,施氮量还影响着土壤的有机质、微生物、酶活性等生物学性质,进而影响着土壤的肥力和健康。过量或不合理的施氮会导致土壤硝化、酸化、盐渍化等问题,以及氮素的淋失、挥发、流失等过程,造成水体富营养化、温室气体排放等环境问题。因此,研究不同施氮量的土壤调控对生态环境的影响和效益,能够对产能的协同提升提供一定的生态环境基础。

综上所述,产量—坡位—施氮量之间存在着复杂的相互作用与调控关系。提高产量能够保障农民收入和国家粮食安全,而不同坡位的水土流失程度与生态功能不相同,从而考虑坡位是实现水土保持与生态修复的重要手段,不合理的施氮量也对环境和土壤造成一定程度上的负面影响,而通过科学合理的确定施

氮量,并结合不同坡位和产量目标进行调整,能够有效推进生态效益与经济效益的双赢。最终,三者的结合,共同构建未来黄土高原地区土壤调控原理与应用研究领域的宏观主题—产能的协同提升。

(2) 未来宏观趋势分析

随着 2021 年《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》的发布与实施,黄土高原地区的生态建设已经逐步向巩固成效与产能协同提升转型。黄河流域是我国重要的生态屏障,而黄土高原作为黄河流域的重要组成部分,其治理也具有较高的战略价值,长期的生态治理已经给黄土高原地区带来了巨大的改变,而在未来,对黄土高原地区的协同治理需求将愈发迫切。黄土高原地区植被恢复和水土流失的治理已经取得巨大成就,但近些年城市的扩张、经济的发展却再次带来了地表植被的破坏,植被的不合理配置也引发了如加剧土壤干燥化之类的新问题,在进行生态治理的过程中如何考虑生态系统的承载力也成为重中之重。此外,生态恢复成效明显,对农民增收和经济发展的贡献度却并不高,这也有悖于我国未来黄河流域高质量发展的顶层需求,生态、社会与经济之间的矛盾日益突出。在新形势下,探索生态—经济—社会系统耦合协调发展的新模式是推进黄土高原地区高质量发展的重中之重^[36],同时也是土壤调控原理与应用研究实现产能协同提升的未来路径。

4 结论与展望

本文通过 CiteSpace 分析了黄土高原土壤调控原理与应用的研究热点与发展趋势,旨在为黄土高原土壤调控原理与应用研究领域提供一个较为完善的历史总结与分析,并最终从合作研究、研究热点和未来重点发展方向 3 个方面提出一定的对策建议。

4.1 加强有组织科研

有组织科研是战略科技力量为了服务科技前沿和国家重大需求,按照特定、有目标、有侧重、精准化的规划,整合科技资源,开展协同性科技活动的一种科研组织模式^[37]。通过前文分析,目前黄土高原土壤调控原理与应用研究领域存在的问题主要集中在跨学科交叉合作不足、跨区域联动不足及部分核心作者的“孤岛”现象。聚焦这 3 类问题,以有组织科研为整改重点,建立起一套完善的“高校—政府—企业”多元主体协调系统。吸引的人才层次与平台往往呈正相关,因此,依托政府高平台搭建底层架构是最有效的方式^[38],在此基础上,充分重视高校在系统中的重要地位,同时密切联系龙头企业,共商解决“卡脖子”技术攻关并用以实际运用和推广。具体来说,以西北农林科技大学为核心,牵头建立创新型的科研集聚

区,分别创立“跨区域联动特区”“交叉合作研究所”和“创新型校企合作平台”,解决科研合作集中且单一的痛点。

4.2 建立“多站式动态实地考察站”

通过前文分析,可以看出黄土高原土壤调控原理与应用研究领域的研究热点与研究趋势,整体的研究热点可以分为几大板块,每个时期研究的侧重点又有所不同,如何将研究热点的动态调整效果最大限度投放到实际运用中,是需要重点解决的问题。基于此,清华大学乡村振兴工作站的运作模式具有一定的借鉴意义,通过派遣支队赴全国各省份的重点地区进行实地考察调研,确定建站可行性,从而在全国各地建立清华大学乡村振兴工作站,并持续派遣后续支队不断丰富工作站成果。动态调整研究热点的初衷就是为了适应不断变化的实际需求,以西北农林科技大学为试点,建立“多站式动态实地考察站”,分批次派遣技术考察员,在各个地区不断根据当前研究热点,实时对技术的实际成效进行考察评估,淘汰落后技术,监测新兴技术,做到“研有所用,用有所成”。

“多站式动态实地考察站”的搭建为黄土高原土壤调控研究提供了重要的大范围现实依据,摆脱了科研过程中试验地区单一的局限,将科研与实时监测有机结合,使研究方向的灵活性、综合评价的科学性和需求导向的明确性相互交织,促进科研成果在现实中产生更加有益的影响。

4.3 强化技术接受者与技术研发者之间的链接

通过突现关键词的分析,未来黄土高原土壤调控原理与应用研究的宏观趋势将聚焦在产能的协同提升上,实现产能的协同提升,离不开生态—经济—社会效益的耦合协调发展,在这一耦合机制中,农业经营主体作为技术的接受者扮演着至关重要的角色,同时也是技术落地后产生的经济效益、生态效益及社会效益的直接受益者。然而,他们在技术研发体系中的参与度却常常被忽视,导致了技术的实际应用效果不尽如人意。这种断裂对于农业技术的发展和推广产生了阻碍,因此迫切需要建立一套强调合作的技术共创体系,以增强农业经营主体在技术研发中的参与度和作用。

传统上,技术研发往往由专业研究机构或学术界主导,而农业经营主体则在技术的接受和应用环节中处于被动地位。这种单向的技术传递模式不仅容易导致技术脱离实际需求,还可能造成农业经营主体对于新技术的抵触情绪。因此,需要转变思维,从合作共创的角度出发,将农业经营主体纳入到技术研发的过程中,让他们从技术的旁观者转变为技术的参与者,进而成为技术的积极应用主体。

一种切实可行的方法是构建技术共创体系,即在技术研发阶段就适度地“因技、因地、因时”引入农业经营者的参与,这不仅有助于将技术研发与实际生产情境相结合,还能够提高技术的实际适用性和效果。农业经营主体可以通过提供实际种植经验、问题反馈和需求意见,为技术研发者反馈技术应用效果,从而更好地完善技术的科学性、持续性和广泛的落地性,进一步满足市场、生态和社会需求,最终促进技术落地后实现产能的协同提升。

参考文献:

- [1] 傅伯杰,刘彦随,曹智,等.黄土高原生态保护和高质量发展现状、问题与建议[J].中国科学院院刊,2023,38(8):1110-1117.
FU B J, LIU Y S, CAO Z, et al. Current conditions, issues, and suggestions for ecological protection and high-quality development in Loess Plateau[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(8): 1110-1117.
- [2] 魏童,谭军利,马中昇.黄土高原地区水土保持措施对土壤水分影响研究综述[J].节水灌溉,2018(10):97-99,103.
WEI T, TAN J L, MA Z S. A review of researches on effect of soil and water conservation measures on soil moisture in the Loess Plateau[J]. Water Saving Irrigation, 2018(10): 97-99, 103.
- [3] 郭胜利,姬洪飞,郝明德,等.黄土高原沟壑区综合治理试验示范成果评述与高质量发展研究展望:以陕西省长武县王东沟小流域 30 年综合治理实践为例[J].水土保持通报,2020,40(1):318-324.
GUO S L, JI H F, HAO M D, et al. A review on experiment and demonstration effects of comprehensive management and research perspectives on regional high-quality development in highland region of Loess Plateau: A case study on management practices for more than 30 years at Wangdonggou small watershed, Changwu County, Shaanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 318-324.
- [4] 杨阳,张萍萍,吴凡,等.黄土高原植被建设及其对碳中和的意义与对策[J].生态学报,2023,43(21):9071-9081.
YANG Y, ZHANG P P, WU F, et al. The significance and countermeasures of vegetation construction on the Loess Plateau to carbon neutrality[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(21): 9071-9081.
- [5] 翟惠平.西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室科研进展[J].干旱地区农业研究,2021,39(6):266-267.
ZHAI H P. Research progress of the state key laboratory of soil erosion and dryland farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(6): 266-267.
- [6] 苏艳丽,陈笑蝶,刘思余,等.2001—2100 年黄土高原植被变化的土壤保持功能时空演变[J].水土保持学报,2022,36(6):55-62,81.
SU Y L, CHEN X D, LIU S Y, et al. Spatiotemporal evolution of soil conservation function of vegetation change on the Loess Plateau from 2001 to 2100[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(6): 55-62, 81.
- [7] 张科利,蔡强国,柯奇画.中国土壤侵蚀研究重大成就及未来关键领域[J].水土保持通报,2022,42(4):373-380.
ZHANG K L, CAI Q G, KE Q H. Major achievements and future key fields of soil erosion research in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 373-380.
- [8] 杨波,王全九,周佩,等.退耕还林(草)背景下榆林市土壤侵蚀变化与未来趋势预测[J].中国水土保持科学(中英文),2022,20(1):56-64.
YANG B, WANG Q J, ZHOU P, et al. Change analysis and future prediction of soil erosion in Yulin in the context of Grain for Green Project[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2022, 20(1): 56-64.
- [9] 李锐.黄土高原水土保持工作 70 年回顾与启示[J].水土保持通报,2019,39(6):298-301.
LI R. Review and enlightenments of soil and water conservation on Loess Plateau in past 70 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 298-301.
- [10] 李宗善,杨磊,王国梁,等.黄土高原水土流失治理现状、问题及对策[J].生态学报,2019,39(20):7398-7409.
LI Z S, YANG L, WANG G L, et al. The management of soil and water conservation in the Loess Plateau of China: Present situations, problems, and counter-solutions[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20): 7398-7409.
- [11] 赵梓君,何文清,尹君华,等.基于文献计量分析中国全生物降解地膜研究发展态势[J].中国农业大学学报,2023,28(4):57-67.
ZHAO Z J, HE W Q, YIN J H, et al. Development situation analysis of biodegradable mulch film based on bibliometric analysis in China[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(4): 57-67.
- [12] 张翼.黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究进展[J].水土保持学报,2001,15(2):121-124,128.
ZHANG Y. Research advance on soil erosion in loess hilly-gully region [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2001, 15(2): 121-124, 128.
- [13] 邓元杰,姚顺波,侯孟阳,等.退耕还林还草工程对生态系统碳储存服务的影响:以黄土高原丘陵沟壑区子长县为例[J].自然资源学报,2020,35(4):826-844.
DENG Y J, YAO S B, HOU M Y, et al. Assessing the effects of the Green for Grain Program on

- ecosystem carbon storage service by linking the InVEST and FLUS models: A case study of Zichang county in hilly and gully region of Loess Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(4): 826-844.
- [14] 左仲国, 肖培青, 黄静. 黄河流域水土保持科研进展及展望[J]. *中国水土保持*, 2016(9): 63-67, 93.
- ZUO Z G, XIAO P Q, HUANG J. Prospects and research progress of soil and water conservation of the Yellow River Basin[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2016(9): 63-67, 93.
- [15] 兰州新闻网. 黄土高原林草植被覆盖度达 59% 以上[EB/OL]. 兰州: 兰州晚报, [2023-08-28]. http://www.lzbs.com.cn/gnnews/2023-08/28/content_504849720.htm.
- Lanzhou News Network. The vegetation coverage of forest and grass on the Loess Plateau is more than 59% [EB/OL]. Lanzhou: Lanzhou Evening News [2023-08-28]. http://www.lzbs.com.cn/gnnews/2023-08/28/content_504849720.htm.
- [16] 杨阳, 刘良旭, 童永平, 等. 黄土高原植被恢复过程中土壤碳储量及影响因素研究进展[J/OL]. *地球环境学报*, 2023: 1-24. (2023-04-18). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1482.X.20230417.1708.002.html>.
- YANG Y, LIU L X, TONG Y P, et al. Advances and driving factors in soil organic carbon storage during vegetation restoration in the Loess Plateau, China[J/OL]. *Journal of Earth Environment*, 2023: 1-24. (2023-04-18). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1482.X.20230417.1708.002.html>.
- [17] 姚雪, 徐川平, 李杰, 等. 基于普赖斯定律和二八定律及在线投稿系统构建某科技期刊核心作者用户库[J]. *编辑学报*, 2017, 29(1): 64-66.
- YAO X, XU C P, LI J, et al. Core author user base construction of a technical journal based on the Price law, the Pareto's law and the online submission system[J]. *Acta Editologica*, 2017, 29(1): 64-66.
- [18] 张爱霞, 周飞丽, 刘炼, 等. 基于 Web of Science 和 CiteSpace 的水稻育种研究热点与前沿分析[J]. *分子植物育种*, 2023, 21(15): 5066-5078.
- ZHANG A X, ZHOU F L, LIU L, et al. Analysis of hotspots and frontiers of rice breeding research based on web of science and CiteSpace[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2023, 21(15): 5066-5078.
- [19] 侯慧, 赵文娜, 李淑娟. 基于 CiteSpace 对国内杜鹃属近 20 年研究热点分析[J/OL]. *分子植物育种*, 2022: 1-10. (2022-08-02). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220801.1842.006.html>.
- HOU H, ZHAO W N, LI S J. Analysis of cesearch hotspots of *Rhododendron* in China in recent 20 years based on CiteSpace[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 2022: 1-10. (2022-08-02). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220801.1842.006.html>.
- [20] 杨家慧, 谭伟, 冯艳. 马尾松人工林土壤养分空间分布特征及其与地形因子的相关性分析[J]. *西南林业大学学报*, 2020, 40(4): 23-29.
- YANG J H, TAN W, FENG Y. Spatial distribution characteristics of soil nutrients and the correlation with topographic factors in *Pinus massoniana* plantation[J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2020, 40(4): 23-29.
- [21] 王佳珍, 张秋芬, 彭华, 等. 不同土地利用方式下次降雨对土壤含水量深层变化的影响[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(3): 69-75.
- WANG J Z, ZHANG Q F, PENG H, et al. Impact of individual rainfall on the changes of soil water content in deep layer of different land uses[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(3): 69-75.
- [22] 王飞, 山仑, 戈文艳, 等. 黄土高原水土保持高质量发展研究重点[J]. *中国水土保持*, 2022(9): 61-64.
- WANG F, SHAN L, GE W Y, et al. Research focus on high-quality development of soil and water conservation in the Loess Plateau[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2022(9): 61-64.
- [23] 牛丽楠, 邵全琴, 宁佳, 等. 黄土高原生态恢复程度及恢复潜力评估[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(3): 779-794.
- NIU L N, SHAO Q Q, NING J, et al. Evaluation on the degree and potential of ecological restoration in Loess Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(3): 779-794.
- [24] 王越晗, 黄雨露, 夏煜, 等. 基于文献计量和可视化分析的中国水生态环境治理研究热点与趋势[J]. *长江科学院院报*, 2022, 39(9): 137-143.
- WANG Y H, HUANG Y L, XIA Y, et al. Research-hotspots and trends of water eco-environmental governance in China based on bibliometric and visual analysis[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2022, 39(9): 137-143.
- [25] 黄诗峰, 辛景峰, 杨永民. 水利部旱情遥感监测系统建设与展望[J]. *水利信息化*, 2017, 140(5): 1-5.
- HUANG S F, XIN J F, YANG Y M. Construction and prospect of drought remote sensing monitoring system in Ministry of Water Resources[J]. *Water Resources Informatization*, 2017, 140(5): 1-5.
- [26] 孙高鹏, 刘宪锋, 王小红, 等. 2001—2020 年黄河流域植被覆盖变化及其影响因素[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 205-212.
- SUN G P, LIU X F, WANG X H, et al. Changes in vegetation coverage and its influencing factors across the Yellow River Basin during 2001—2020 [J]. *Journal of Desert Research*, 2021, 41(4): 205-212.
- [27] 金思雨, 彭祚登. 刺槐和油松干旱胁迫响应研究进展

- [J].西北林学院学报,2022,37(4):79-91.
- JIN S Y, PENG Z D. Research progress on drought stress on *Robinia pseudoacacia* and *pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2022, 37(4):79-91.
- [28] 耿文广,诸云强,陈鹏飞.黄土高原逐年土壤侵蚀模数 1-km 栅格数据集(2001—2015)[J].全球变化数据学报(中英文),2022,9(1):85-92,244-251.
- GENG W G, ZHU Y Q, CHEN P F. 1-km raster dataset of annual soil erosion modulus on the Loess Plateau (2001—2015) [J]. Journal of Global Change Data and Discovery, 2022, 9(1):85-92, 244-251.
- [29] 陈琛,王立群.巩固退耕还林成果:农户意愿与行为研究进展及对策建议[J].世界林业研究,2023,36(2):95-101.
- CHEN C, WANG L Q. Consolidating the achievements of the sloping land conversion program: Research progress in farmer households' willingness and behavior and recommendations for countermeasures[J]. World Forestry Research, 2023, 36(2):95-101.
- [30] 张甘霖,史舟,朱阿兴,等.土壤时空变化研究的进展与未来[J].土壤学报,2020,57(5):1060-1070.
- ZHANG G L, SHI Z, ZHU A X, et al. Progress and perspective of studies on soils in space and time[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(5):1060-1070.
- [31] 张杨,冯文新,董宏炳,等.高陡岩质边坡覆绿植物生态需水量计算[J].安全与环境工程,2019,26(6):23-28,33.
- ZHANG Y, FENG W X, DONG H B, et al. Calculation of ecological water demand of reforestation plants in high-steep rock slopes[J]. Safety and Environmental Engineering, 2019, 26(6):23-28, 33.
- [32] 党真,杨明义,张加琼.基于文献计量学分析泥沙来源研究进展与热点[J].水土保持研究,2022,29(5):398-403.
- DANG Z, YANG M Y, ZHANG J Q. Research hotspots and progresses of sediment sources based on bibliometrics method[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(5):398-403.
- [33] 卢宗凡.黄土高原的农业发展战略[J].干旱地区农业研究,2000,18(4):1-7.
- LU Z F. Agricultural development strategy of loess plateau [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2000, 18(4):1-7.
- [34] 雷斯越,赵文慧,杨亚辉,等.不同坡位植被生长状况与土壤养分空间分布特征[J].水土保持研究,2019,26(1):86-91,105.
- LEI S Y, ZHAO W H, YANG Y H, et al. Spatial distribution characteristics of soil nutrients and vegetation growth status in different slopes[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(1):86-91, 105.
- [35] 潘蕊蕊,李小雁,胡广荣,等.青海湖流域季节性冻土区坡面土壤有机碳分布特征及其影响因素[J].生态学报,2020,40(18):6374-6384.
- PAN R R, LI X Y, HU G R, et al. Characteristics of soil organic carbon distribution and its controlling factors on hillslope in seasonal frozen area of Qinghai Lake Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18):6374-6384.
- [36] 姜悦,侯现慧,刘国彬,等.黄土高原生态—经济—社会耦合协调发展研究:以长武县、绥德县、神木市和淳化县为例[J].水土保持通报,2022,42(4):234-243.
- JIANG Y, HOU X H, LIU G B, et al. Research on coordinated development of ecological-economic-social coupling of loess plateau: Take Changwu County, Suide County, Shenmu City and Chunhua County as examples[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4):234-243.
- [37] 赵宏媚,赵文华,姚建建.高校有组织科研核心要素响应机制研究[J/OL].科学学研究:1-15[2023-08-30].<https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20230810.001>.
- ZHAO H M, ZHAO W H, YAO J J. Research on the core elements and response mechanism of organized research in universities[J/OL]. Studies in Science of Science: 1-15 [2023-08-30]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20230810.001>.
- [38] 陈霞玲.高校开展有组织科研的组织模式、经验特征与问题对策[J].国家教育行政学院学报,2023(7):78-87.
- CHEN X L. Organizational model, empirical characteristics, problem and suggestions of organized scientific and research in colleges and universities[J]. Journal of National Academy of Education Administration, 2023(7):78-87.