

东北黑土地生态环境问题研究进展

杜国明¹, 陈帅颖¹, 徐新良^{2*}

(1. 东北农业大学公共管理与法学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 全面梳理东北黑土地生态环境问题研究进展与发展态势, 以及当前黑土地存在的主要生态环境问题, 对加强黑土地保护具有重要意义。应用 CiteSpace 软件检索黑土地生态环境研究领域相关文献, 依托所得文献对作者、研究机构、关键词及研究热点进行分析。研究表明: ① 已形成高产出科研团队。高产作者所属研究机构与发文量靠前的主要研究机构高度重合, 形成以东北农业大学和中国科学院东北地理与农业生态研究所为主导、东北各高校为支撑的研究网络体系, 呈现出高度集中、参与单位逐渐增多态势。② 土壤侵蚀、粮食安全、土壤养分、耕地质量、土地利用、生态环境等是热点研究课题。③ 1995—2023 年黑土地生态环境问题研究可分为 3 个阶段, 研究热点前后承接并不断变化, 政策引领与科研成果支撑的互动体现了学界对黑土地保护利用现实需要和国家政策的积极影响。④ 黑土地土壤侵蚀问题、黑土退化问题、黑土重金属污染问题被重点讨论, 从问题诊断、动力机制、治理措施 3 个方面梳理现有研究。

关键词: 黑土地; 生态环境; 知识图谱; 研究进展; CiteSpace

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-9369(2025)05-0163-11

杜国明, 陈帅颖, 徐新良. 东北黑土地生态环境问题研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2025, 56(5): 163-173. DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2025.05.015.

Du Guoming, Chen Shuaiying, Xu Xinliang. Research progress on ecological environment problems of black land in Northeast China[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2025, 56(5): 163-173. (in Chinese with English abstract) DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2025.05.015.

Research progress on ecological environment problems of black land in Northeast China/DU Guoming¹, CHEN Shuaiying¹, XU Xinliang²(1. School of Public Administration and Law, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural, Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: It is of great significance to comprehensively sort out the research progress and development trend of ecological environment problems of black land in Northeast China, and to clarify the main ecological environment problems existing in black land at present, so as to strengthen the research on black land protection. CiteSpace software was used to search the relevant literature in the field of black land ecological environment research. Based on the obtained literature, analyses of authors and research institutions, keywords and research hotspot analyses were carried out. The research showed as follows: ① The high-yield scientific research team was basically formed. The research institutions of high-yield authors were highly coincident with the main research institutions with the highest number of publications, forming a research network system dominated by Northeast Agricultural University and Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1500101)。

第一作者简介: 杜国明(1978-), 男, 教授, 博士, 研究方向为土地资源优化配置与农村区域发展。E-mail: duguoming@neau.edu.cn。

*通信作者: 徐新良, 研究员, 博士生导师, 研究方向为土地利用、土地覆被变化及陆地生态系统综合监测与评估。E-mail: xuxl@reis.ac.cn。

Sciences and supported by universities in Northeast China, showing a trend of high concentration and increasing participation units. ② Soil erosion, food security, soil nutrients, cultivated land quality, land use and ecological environment were hot research topics. ③ The research on the ecological environment of black land from 1995 to 2023 could be divided into three stages. The research hotspots were inherited and constantly changing. The interaction between policy guidance and scientific research achievements reflected the positive response of the academic community to the practical needs of black land protection and utilization and national policies. ④ The problems of soil erosion, black soil degradation and heavy metal pollution in black soil were emphatically discussed, and the existing research was sorted out from three aspects: problem diagnosis, dynamic mechanism and governance measures.

Key words: black land; ecological environment; knowledge graph; research progress ; CiteSpace

中国东北地区具有黑色或暗黑色腐殖质表土层, 性状好、肥力高的土地被称为黑土地, 现阶段主要作为耕地利用, 因此狭义的黑土地仅指黑土耕地^[1]。东北黑土地是我国粮食安全的压舱石^[2], 但长期高强度利用及农业管理方式有待改进, 加之东北地区自然环境的催化作用, 不同区域出现不同程度、多种形式的黑土地生态环境问题, 东北黑土区由“生态功能区”逐渐变成“生态脆弱区”^[3]。2021年印发的《国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025年)》为黑土地保护各项任务制定明确工作指标, 使黑土地生态环境保护的进度监督、效益评价有了可遵循的路线图。进一步明晰黑土地生态环境热点问题及其发生区域, 对推进黑土地保护各项工作具有重要意义。

长期以来, 诊断、治理黑土地生态环境问题和促进黑土地可持续利用一直是学界关注的焦点。现有黑土地生态环境问题研究主要集中在三个方面: 问题诊断与现状研究^[4-6]、驱动机制与演替规律研究^[7-9]、治理路径与策略研究^[3,10]。黑土地生态环境问题研究进展梳理重点关注了土壤侵蚀与黑土地保护利用技术。相关研究基于自然地理学、测绘学、环境科学、生态学、农艺学等视角, 论述了黑土区土壤侵蚀环境、机理和时空变化^[11], 总结出一批水土流失预测技术^[12]和治理措施^[13], 评估实施保护性耕作对促进黑土地生态效益提升和可持续利用的影响^[14-15]。此外, 还有学者对黑土地除草剂残留^[16]、黑土土壤理化性质衰退^[17]等方面展开研究, 有助于进一步拓展与深化东北黑土地生态环境问题诊断, 为黑土地生态环境改善、恢复提供理论支撑。在现阶段发文量逐渐增加、研究前沿不断变化的背景下, 通过文献计量方法快速整合、梳理已有研究成果是各学科使用的常见

方法。土地科学领域, 可视化分析软件 CiteSpace 已被应用至土地利用^[18-19]、国土空间规划^[20]等方面。因此, CiteSpace 软件也可用于东北黑土地生态环境问题的研究梳理。

尽管黑土地生态环境问题由来已久, 但已有研究综述大多以问题的种类进行分类, 缺乏对整体脉络的系统梳理; 对各类生态环境问题的典型发生区域、最新研究动态缺乏总结和更新; 且尚未有黑土地领域研究者应用可视化知识图谱。因此, 本研究借助 CiteSpace 软件, 对近 30a 黑土地生态环境研究文献进行定量分析。通过共现网络分析识别核心研究主体, 以时序分析图谱全面总结黑土地生态环境问题研究进展, 定位该领域研究热点, 以期为完善黑土地生态环境研究体系提供新思路 and 借鉴。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

运用文献计量可视化分析软件 CiteSpace 进行文献计量分析, 通过可视化图谱直观展示研究者、研究机构、研究热点、研究脉络等信息, 从而定位一个学科或领域的主要研究方向和一定时期内的发展趋势, 本研究时间为 1995—2023 年, 时间切片设置为 1。

1.2 数据来源及处理

文献来源于中国学术期刊出版总库(CNKI), 为保证分析结果的权威性与科学性, 将期刊来源限定为 SCI、EI、北大核心、CSSCI、CSCD 期刊, 时间范围为 1995 年 1 月 1 日至 2023 年 10 月 9 日, 将“黑土地”“黑土区耕地”“黑土耕地”“东北地区耕地”“黑土区”与“生态”“质量”“退化”分别组合作为关键词检索。对检索结果进行人工验证, 排除人

物传记、团队介绍、期刊专栏序言、会议通知等无关文献, 通过主题筛查、阅读摘要剔除“砂姜黑土”等无关主题、“金融”等无关学科、研究区域非东北地区的文献, 保证检索所得文献主题与东北黑土地生态问题密切相关。所得检索数据以 Refworks 格式导出, 经 CiteSpace 数据预处理后得到有效文献 709 条。分别运用 Node Types 中的作者、机构、关键词模块, 得到相应统计结果和共现图谱。绘制共现图谱时调整阈值 (Labels-Threshold) 尽可能多地标注节点, 同时在“visible”栏手动取消部分频数为 1 的节点, 避免图谱内容冗杂; 手动调整节点位置及字号大小避免标注之间相互覆盖。

2 结果与分析

2.1 作者与研究机构分析

如表 1 所示, 东北黑土地生态环境问题研究领域发文数量前 15 的作者。其中张兴义发文量最多, 共计 21 篇。其次是刘慧、郑粉莉、陈祥伟、韩晓增等。发文数量前 15 作者共发文 200 篇, 占发文总数 28.21%。表明该领域核心研究团队已逐步形成, 且核心作者群体发文量较高。

作者合作网络图谱 (见图 1) 可对黑土地生态环

境相关主题的核心作者进行定位, 揭示各作者间的合作网络、衡量不同学者或不同团队间的合作精密度。图中节点代表作者发文量, 节点大小与作者发文量呈正相关; 连线代表各学者间的合作关系, 网络密度代表不同作者合作密切程度。图 1 中共有节点 290 个、连线 411 条, 网络密度为 0.009 8。结合共现图谱与发文数量统计表发现, 高产出科研团队内部学术合作密切, 形成以高产出作者为核心的放射状网络结构。刘慧与魏永霞、吴煜等形成紧密合作的科研团队, 重点研究坡面水土流失机理、植被恢复技术与水土保持效益评估体系; 韩晓增主要聚焦于黑土地保护与土壤耕作技术, 重点研究肥沃耕层构建、秸秆还田及黑土退化阻控, 与邹文秀等合作密切; 郑粉莉主要研究方向为土壤侵蚀和水土保持, 与张加琼、刘刚等形成紧密的合作群体, 探究东北黑土区坡耕地复合侵蚀的季节交替和空间叠加过程机理; 张兴义与刘晓冰、刘爽、李浩等组成合作密切的团队, 主要从事黑土水土保持研究, 开发了基于遥感与 GIS 的水土流失动态监测系统。不同团队间合作交流较少, 跨团队交流主体以骨干作者为主。

表 1 东北黑土地生态环境问题研究主要发文作者及发文量

Table 1 Main authors and the number of papers on the ecological environment of black land in Northeast China

序号 Serial number	作者 Author	发文数量 Number of papers	作者单位 Author's unit
1	张兴义	21	中国科学院东北地理与农业生态研究所
2	刘慧	19	东北农业大学
3	郑粉莉	19	中国科学院水利部水土保持研究所
4	陈祥伟	18	东北林业大学
5	韩晓增	17	中国科学院东北地理与农业生态研究所
6	魏永霞	14	东北农业大学
7	邹文秀	14	中国科学院东北地理与农业生态研究所
8	杜国明	12	东北农业大学
9	付强	11	东北农业大学
10	宋戈	11	东北大学
11	张树文	11	中国科学院东北地理与农业生态研究所
12	吴昱	9	黑龙江省水利科学研究院
13	沈海鹏	8	辽宁工程技术大学
14	刘刚	8	北京师范大学
15	雷国平	8	东北大学

有6个; 另一类为东北各农林类高校, 其中东北农业大学发文量最多。除东北地区外的其他省市, 以中国农业大学、西北农林科技大学为代表的研究机构也参与东北黑土地生态环境问题研究。中国科学院地理科学与资源研究所、中国农业科学院等机构发文量也逐渐增多。该领域形成了以中国科学院东北地理与农业生态研究所为引领、东北各高校为骨干的研究网络体系, 呈现出高度集中、参与单位逐渐增加的态势。

表2 东北黑土地生态环境问题研究主要研究机构及发文量

Table 2 Main research institutions and the number of papers on the ecological environment of black land in Northeast China

序号 Serial number	机构名称 Organization name	发文数量 Number of papers
1	东北农业大学	179
2	中国科学院东北地理与农业生态研究所	112
3	东北林业大学	57
4	中国科学院大学	38
5	吉林农业大学	30
6	吉林大学	28
7	西北农林科技大学	23
8	中国农业科学院	23
9	中国农业大学	22
10	中国科学院研究生院	21
11	中国科学院地理科学与资源研究所	20
12	中国科学院水利部水土保持研究所	17
13	沈阳农业大学	15
14	东北大学	12
15	中国科学院沈阳应用生态研究所	11

2.2 研究热点分析

根据关键词共现分析结果(见图2), 图谱中共有节点293个、连线608条、网络密度为0.014 2。节点越大说明该关键词出现频率越高, 连线代表关键词联系紧密程度。对关键词分类整理, 分析黑土地生态环境诊断的学科切入点、研究地域及研究方法。在学科范畴上, 由表3、图2可知, 该领域多从土壤学、生态环境、农业生产、土地整治等角度展开研究, 其中生态环境问题中重点关注水土流失问题, 并围绕粮食安全与耕地保护进行大量讨论。在研究地域上具有多尺度性, 兼顾重点县市与地形区、大尺度与小尺度。研究方法上, 遥感技术是近年黑土地生态环境研究中广泛应用的方法。通过卫星或航空遥感影像, 可获取黑土地侵蚀沟的空间分布、面积变化等信息, 有助于分析黑土地生态系统的空间格局和动态变化。研究者还通过构建实验模型或模拟系统, 模拟不同环境条件下黑土地生态环境的应对机制, 以探究其内在规律和影响因素。另外, 在农户、土地管理者行为研究等社会经济问题情境下, 实证分析、博弈分析、效益分析等方法均为使用频率较高的研究方法。

综合关键词分类分析、共现分析结果, 结合高被引、较新发表的文献阅读, 梳理出目前黑土地主要生态环境问题。

2.2.1 土壤侵蚀

黑土区土壤侵蚀类型多样, 学者们主要关注水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀和复合侵蚀。水力侵蚀是东北黑土区分布最广、侵蚀土壤总量最多的侵蚀类型, 得到学者们重点关注。

表3 东北黑土地生态环境问题研究关键词分类

Table 3 Keywords classification of ecological environment research on black soil in Northeast China

项目 Item	黑土地生态环境问题关键词 Keywords of black land ecological environment problem research
学科范畴 Subject category	土壤学: 土壤养分、土壤肥力、土壤质量、黑土层、土壤流失、黑土退化、黑土、有效磷、有机质、土壤水热、土壤呼吸、团聚体、持水性能、土壤水分、速效养分、腐殖质、白浆土、黑钙土、冻融作用 生态环境: 水土流失、土壤侵蚀、水土保持、侵蚀沟、冻融侵蚀、坡面侵蚀、复合侵蚀、复合污染、碳储量、碳收支、荒漠化、黑土退化、风蚀速率、植被恢复、生态建设、耕地开垦 农业生产: 黑土地、耕地质量、农田黑土、斜坡垄作、知识产权、粮食安全、培肥效益、常规施肥、硝态氮、全氮、施肥管理、尿素、生态农业、地膜覆盖、坡耕地、产量比、作物产量、作物轮作 土地整治: 免耕、综合治理、自然恢复、人类活动、耕地保护、黑土资源、障碍因子、休耕、持续发展、梨树模式、表土剥离
地域范围 Territorial scop	地形区: 三江平原、东北平原、松干流域 行政区: 吉林省、黑龙江省(巴彦县、绥化市、海伦市、扎鲁特旗、拜泉县、德惠市、宾县)
研究方法 Research method	技术措施: 遥感、高光谱、知识图谱、土壤普查、红外光谱 分析方法: 空间分异、实证分析、差热分析、遗传算法、博弈分析、效益分析、动态分析、地力评价、因子分析、分形维数、双栏模型

在问题诊断方面,学者们大多基于国家专项调查、遥感影像分析^[21]和文献分析开展研究。松嫩平原、长白山-辽东丘陵山区、大兴安岭东麓低山丘陵区等地,既是《国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025年)》中划定的水蚀严重区域,也是侵蚀沟密度监测、时空演变研究^[22-24]的重点区域。风力侵蚀对黑土区粮食安全的影响显著小于其他侵蚀类型,但对东北黑土区中西部,特别是松嫩平原西部农业生产与水土保持威胁较大。黑土区冻融侵蚀研究热度相对较低,研究热区相对较少,主要集中于大小兴安岭地区^[25]。但张科利等认为,在风蚀区与水蚀区,冻融作用可通过破坏土壤结构和改变土壤性质降低土壤团聚体稳定性和抗蚀性能,间接加剧土壤侵蚀^[26]。

驱动机制方面研究主要围绕沟蚀发生的临界条件、控制面蚀和沟蚀强度的关键因子^[27]、各侵蚀营力加剧水土流失的作用机制^[11]。降雨、土壤质地、地形、植被覆盖、人类活动,是学者重点关注的影响因子^[28-29]。已有研究发现,坡向不是东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育的主要影响因子,且阳坡、阴坡侵蚀强度在不同地区差异显著^[11,30]。土地利用方式的转变^[31]、坡耕地水平改垄^[29]同样导致或加速坡耕地侵蚀沟发育。

治理对策方面,现有研究主要在综合考量经济效益和生态效益的前提下,根据地形条件和侵蚀机理的不同,讨论不同坡度、不同坡面位置各种工程措施、生物措施、耕作措施的合理配置问题^[32-33]。学者们通常选取地表径流减少量^[34]、土壤侵蚀量减少程度^[35]、粮食增产量等指标,综合评价坡耕地水土流失防治效益。为达到更好的保水保土效果,需长期监测现有防治体系的防治效果,加强黑土区不同区域特色防治措施探讨,加大新型土壤侵蚀防控技术的研发力度。

2.2.2 黑土退化

黑土退化是土壤侵蚀与长期高强度利用的直接后果,是自然因素和人为因素综合作用的结果。有学者将其定义为黑土土壤质量及其可持续性下降甚至完全丧失物化和生物学特征的过程^[36],也有学者将黑土退化总结为物理退化与化学退化。物理退化主要体现在土地利用效率降低、土层变薄等方面;化学退化主要体现在土壤养分减少、失调,土壤中有害物质增加等方面^[37-38]。

问题诊断方面,黑土退化速率和退化重点区域是备受关注的议题。黑土耕地土层厚度变化^[39]、黑土各类营养元素和有机质含量^[40]、耕地表层土壤结构变化^[41]等均被重点监测。退化速率上,土壤养分下降速度与土层厚度变化规律相似,开垦后随年限增加而降低。地域分布上,学者们关注到东北地区内部黑土退化的典型表现及退化速度的差异^[17,42]。总体看,研究大多认为东北地区优质黑土仍处于逐步退化过程中,但黑土层减薄速率与有机质下降速率趋于稳定。黑土地微量元素含量减少且元素含量比例平衡被破坏^[43],人为补充难度较大。大量使用化肥、农药和除草剂等加速土壤矿化速率,破坏土壤团粒结构^[44],扰乱黑土地微观生态系统。

退化机制方面,学者重点对黑土退化过程进行论述^[45],分析加剧黑土退化的主要原因^[46],主要围绕以下两类影响因素开展研究。①自然因素。学者们发现东北地区气候特点、地质地貌条件、土壤质地等^[47],主要通过水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀的影响加剧黑土退化。如许文旭等对不同坡度下坡耕地土层厚度和退化规律的差异展开探讨^[48]。②人为因素。学者们从不同土地利用方式、耕地土壤理化性质指标测定结果分析黑土退化演替过程,研究认为过度垦殖^[36]、开垦后长期高强度利用^[9]是造成黑土退化的重要原因。不合理的经营方式持续消耗土壤养分、恶化土壤理化性质、削弱土壤保水保肥能力,导致黑土持续退化。

治理措施方面,学者们重点围绕水土保持、培肥土壤、保护性耕作、改善农田设施等方面展开讨论。针对坡耕地水土流失导致土壤质量下降问题,有学者从水土保持目标确立、政策法规颁布、国家项目引领、水土保持技术研发4个角度提出具体建议^[39];针对黑土有机质下降、土壤肥力降低、土壤储水能力降低的问题,学者们提出应普及秸秆混合有机肥还田^[40]、秸秆覆盖还田免耕^[44]等保护性耕作技术。

2.2.3 农田土壤重金属污染

黑土区工农业的快速发展使大量污染物进入土壤,主要表现为除草剂、农药残留和重金属污染。长期大量使用化肥和农药促进了东北黑土地粮食高产,但也加重了黑土地重金属问题,对土壤质量、农作物发育、农产品安全和人体健康造成潜在威胁,同时影响土壤生态系统服务功能^[16]。

众多学者在黑土区部分农田开展采样调查, 使用较多的黑土重金属污染评价方法, 包括单因子污染指数法^[49]、地累积指数法^[43]、内梅罗指数法^[50]等。从重金属污染的空间分布和来源看, 不同地区主要污染源及污染元素具有地域差异。学者们已认识到, 目前发生重金属污染的农田主要集中在靠近城市工业区和农药化肥使用较多的城郊地区^[51], 主要重金属污染源为工矿生产污染物沉降、污灌、农户生活垃圾、大棚作业、交通运输尾气沉降等^[52-53]。综合已有研究成果, 公路两侧土壤^[54]、具有较多塑料大棚和地膜覆盖的农田土

壤^[55]、工矿生产用地周边土壤^[56]等区域, 黑土重金属污染较为明显, 后续研究应予以重点观测。

2.3 研究前沿演变趋势

时序图谱可从时间跨度显示研究主题, 分析时间序列下研究脉络与热点变迁^[4]。1995—2023年, 有关黑土地生态环境的研究发展趋势见图3。其中, 节点大小表示关键词出现频次, 连线代表2个关键词共同出现。纵轴为关键词聚类名称和数量, 横轴为时间。时序图谱可清楚地捕捉到科研热点的变化轨迹, 为精确掌握黑土地生态环境研究进展提供参照。

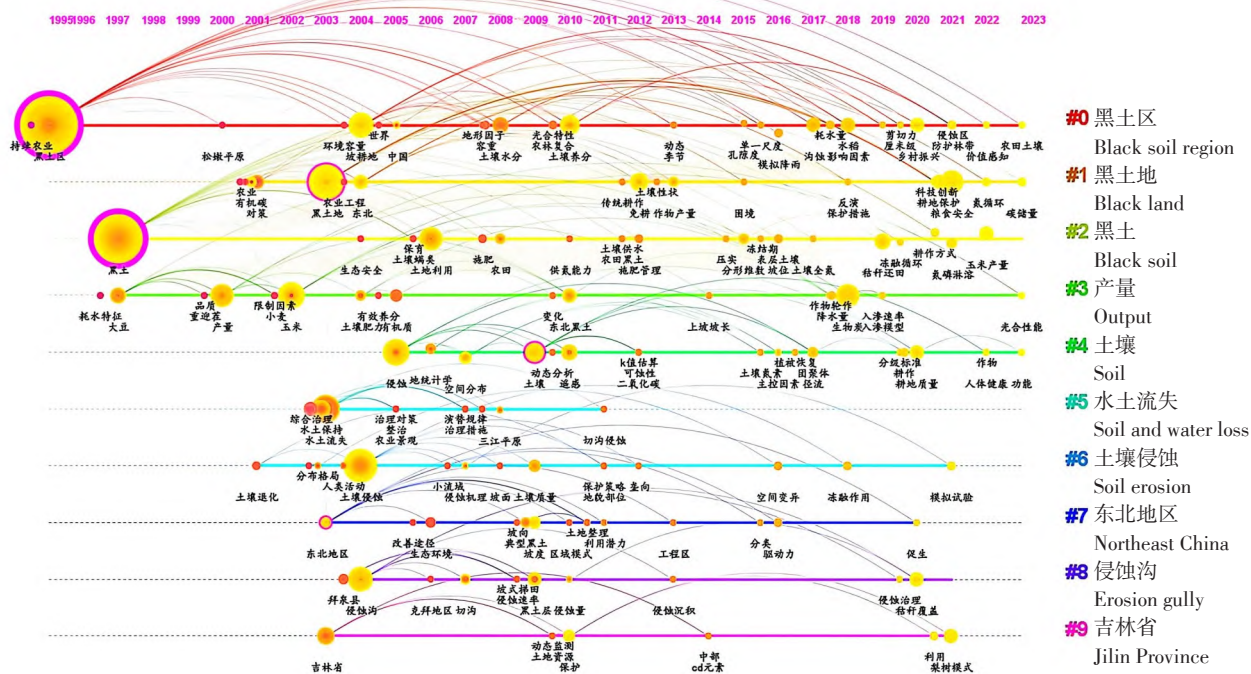


图3 东北黑土地生态环境问题研究关键词时序图谱

Fig. 3 Keywords time series map of ecological environment problems of black land in Northeast China

2.3.1 萌芽探索阶段(1995—2003年)

1995—2003年为黑土地生态环境研究的萌芽探索阶段, 得到政府和学界关注。从该阶段发布的政策可看出, 中国政府开始注意到黑土地生态环境问题。1998年, 《国务院关于印发全国生态环境建设规划的通知》明确提出要防治东北黑土地水土流失并改进耕作技术提高产量^[57], 这是黑土地保护首次出现在政府政策之中。同时, 黑土地生态环境问题也逐渐受到学界关注。衣保中^[58]梳理了东北平原开发历史, 论述了黑土开发的生态环境代

价; 王玉玺等从水蚀、风蚀两大侵蚀类型展开系统分析, 总结东北黑土区水土流失原因^[59]。随着黑土区坡耕地水土流失的危害逐渐受到重视, 众多学者就黑土地可持续利用路径展开讨论。如刘绪军等认为, 因地制宜加强退耕还林还草工程, 发展畜牧业、经济林果业, 可适当减少土地压力^[60]; 刘丙友针对物理退化、化学退化、生物退化、永久性退化等不同退化类型, 分析退化原因, 梳理对应的治理模式^[38]。该阶段学术研究主要集中在水土流失防治领域, 多数研究以环境生态学为视

角,以工程管理科学为措施对水土流失的现状、成因、综合治理技术进行初步探讨。

2.3.2 快速发展阶段(2004—2014年)

2004—2014年是黑土地生态环境研究的快速发展阶段,研究内容逐渐多样化,政策发布引领学术成果大幅增加。2005年出台的《东北黑土区水土流失综合防治规划》是中国首部黑土地保护专项规划,体现了政策由碎片化向专门化的转变^[5]。2010年,《关于加快转变东北地区农业发展方式建设现代农业指导意见》中明确提出以有机培肥为基础,定向培育退化黑土和薄层黑土,加强黑土地生态环境建设。政策出台得到研究者们积极响应。该阶段对坡耕地水土流失综合治理的研究更为深入,定量研究所占比重逐渐增加。航空相片、高分辨率卫星等开始普及,逐步成为重要数据来源。学者们借助遥感影像对侵蚀沟进行识别与定位,辅以实地考察,分析空间分布格局,归纳侵蚀沟密度变化特征和演替规律,定位重点防治区域^[61-62],并基于东北黑土区自然地理环境特点,总结坡耕地土壤侵蚀方式和特点^[63]。该阶段黑土地理化性质监测措施也在不断完善。如刘焕军等构建了黑土有机质含量高光谱预测模型,为实现黑土有机质含量的野外快速测定,监控黑土土壤养分变化作出重要贡献^[64];苏子龙等研究不同土地利用方式土壤水分的动态变化过程和剖面变化特征^[65];说明学界已经关注到人为扰动对黑土土壤质地、结构的影响机制。除黑土退化与侵蚀沟监测治理,学者们还关注了黑土区重金属污染问题。多位学者在三江平原、松嫩平原等典型黑土区开展黑土土壤采样检测,评估污染程度^[55,66]。已有研究发现,重金属与有机质结合形成络合物,大量重金属被络合使耕地中有机态重金属增加,但有机质对重金属的生物有效性影响机制暂不明确^[67]。这一阶段东北黑土地生态环境问题研究的内涵正逐步走向丰富与立体。

2.3.3 深化发展阶段(2015年至今)

2015年至今是东北黑土地生态环境问题研究的深化发展阶段。这一阶段黑土地生态环境的研究热点极大丰富,涵盖问题诊断、区域格局、动力机制、生态修复、政策保障等方面。2017年,由农业部等六部委联合颁布的《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030年)》将提升黑土地生态环境的

可持续性列为重点任务。黑土地保护工作不再作为其他主题规划纲要或国家整体规划子单元被提及,而是拥有专门的纲领性文件,其专业化、规范化程度得到极大提升。

在乡村振兴战略及农业现代化建设背景下,东北黑土地生态环境问题研究全方位开展。由图3可知,耕地质量、粮食安全、侵蚀治理、秸秆覆盖等主题热度最高。在黑土耕地利用理论研究方面,杜国明等探究了耕地利用系统的概念、构成、运行、功能和特点^[68];并以黑龙江垦区为例,认为耕地利用子功能主要经历了以国民经济贡献功能和社会就业保障功能为主向,以粮食安全保障功能和生态安全维护功能为主的转型过程^[69]。在黑土耕地利用实践研究方面,学者们从粮食安全视角出发,研究不同轮作制度、秸秆还田技术对黑土土壤肥力的影响^[7],探寻不同地区最适宜的农业生产经营模式^[70],总结提升黑土地耕地质量的对策建议^[71]。2020年,黑土地保护进入大熊猫时代^[1],同年《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)》颁布,遏制黑土地退化成为兼具现实性与时代性的研究命题,大批代表性研究成果随之涌现。学者们研究了适用于东北典型黑土区坡耕地退化程度诊断与评价的指标体系^[72],总结了东北四省(区)黑土地保护利用的政策架构、技术模式^[73]与实践成效^[70]。该阶段研究深入讨论了黑土地科学利用的理论架构,重点归纳了现代农业管理模式下不同土地利用方式对黑土土壤理化性质、黑土地生态环境的影响。经过数十年的发展,东北黑土地生态环境问题的研究方法持续多样化,研究内容逐步体系化。

3 结 论

本研究运用CiteSpace软件分析1995—2023年黑土地生态环境问题相关文献,得到作者合作网络图谱、研究机构共现网络图谱、关键词共现网络图谱、关键词时序图谱,对黑土地生态环境问题的研究现状、研究脉络、研究热点作出归纳与分析。

①从学科视角看,该领域学者多从土壤学、生态环境、农业生产、土地整治等角度开展研究。从研究方法看,黑土地生态环境研究常用研究方法包括实地调查法、遥感技术、实验法、数

学模型及统计分析等方法。在研究地域上具有多尺度性,兼顾重点县市与地形区、大尺度与小尺度。土壤侵蚀防控、耕地质量提升、土壤养分监控、土地利用效率等问题受到学者高度关注。

② 现有研究着重讨论了黑土地土壤侵蚀问题、退化问题、重金属污染等问题的研究进展,从问题诊断、动力机制、治理措施对现有研究进行梳理。针对黑土地不同类型生态环境问题的监测研究已取得丰厚成果;动力机制研究主要围绕临界条件、关键因子、作用机理展开;治理措施重点关注水土保持、配肥土壤、改善农田设施、保护性耕作等方面。

③ 根据时序图谱显示的研究脉络梳理结果,研究前沿经历了从萌芽探索到系统深化发展的3个阶段,形成“问题诊断-机制解析-技术修复-政策保障”的完整体系。研究内容上实现了从单一水土治理到基于遥感与高光谱技术的定量化研究,再到“生态-生产-政策”协同保护研究的系统性跨越;研究方法上完成了定性描述到多源数据驱动的技术升级;政策支持上经历了碎片化到专项化的制度完善。政策引领与科研成果支撑的互动表明,黑土地生态环境研究是实践驱动型研究,体现了学界对黑土地保护利用现实需要和国家政策的积极影响。

4 展 望

结合前面分析结果及黑土地生态环境保护的客观需求,后续东北黑土地生态环境问题研究可从以下方面深入探讨。

① 加强黑土地生态环境系统性研究。应基于黑土地生态环境各要素的相互作用关系和系统演化机理,将侵蚀沟治理、黑土退化防治及耕地质量提升等内容有机结合,推动目前较为普遍的单要素研究逐步转向黑土地科学系统性研究,寻求黑土地生态环境系统内各要素的协调、生态功能的提升。未来应引领黑土地研究,推动区域土地系统科学研究,逐步构建起“防止减少—防止破坏—防止退化—修复损伤—复垦废弃”的全方位研究体系。在实践层面,需将科研成果系统性地融入政策制定,如借鉴韩晓增^[17]团队“秸秆深翻-有机肥替代”模式的推广经验,推动工程措施、农艺措施与生物措施的协同优化。

② 深入开展黑土地生态环境跨尺度集成研究。在方法论层面,黑土地生态环境问题研究正经历从定性描述到定量模拟、从单点观测到多源数据驱动的深刻变革。早期研究主要依赖野外调查与实验室分析,如郑粉莉团队对侵蚀沟的形态分类,并且应用遥感、传感器和计算技术,研究范式逐渐转向天空地一体化监测与模型耦合分析^[74]。跨尺度集成研究能够结合微观、中观和宏观尺度,全面、系统地理解黑土地生态环境的复杂性和动态性,精准识别黑土地生态环境的关键问题和脆弱区域,为制定针对性的保护措施提供参考。未来需统筹微观尺度黑土退化机制分析、中观尺度黑土地生态环境质量区域差异评估、宏观尺度黑土地生态系统演化趋势研究,为农业生产行为调整提供指导,为黑土地保护提供全面、清晰的信息支撑。

③ 加强黑土地生态监测与管理技术研究。当前国际研究趋势强调地球系统科学的整体视角,例如,欧盟“Mission Soil”计划利用卫星遥感、物联网传感器和数字建模优化土壤管理;该范式为我国黑土地研究提供重要借鉴,特别是在多源数据融合与智能分析技术应用。未来应通过融合卫星和无人机多光谱、高光谱、地物光谱等遥感技术与探地雷达快速检测技术,构建天空地多源数据监测体系,实现对黑土地数量、质量、生态稳定性指标的精确测定与动态监测。进一步摸清黑土地农业生态环境质量现状,持续监测其质量变化趋势,为有效防治坡耕地水土流失、治理侵蚀沟、培育肥沃耕作层提供技术支撑,提升黑土地保护与利用效率。

④ 聚焦黑土地生态环境综合治理体系研究。当前生态文明建设背景下,黑土地保护被赋予新的时代内涵。黑土地不仅是农业生产资料,更是重要的生态系统组成部分,具有碳汇、水源涵养、生物多样性维护等多重生态功能。因此,黑土地保护已从单纯的农业生产问题转变为涉及粮食安全、生态安全、气候安全的综合性战略议题。基于黑土地生态环境问题的综合性与复杂性,未来研究应着重于统筹土、肥、水、种等生产要素,综合运用工程、农艺、生物等多种措施,整合多元治理方式,构建一套全面系统的综合治理体系。坚持多方协同、全措施保护,对黑

土地进行利用、改造、修复和整治,实现黑土地质量的全面提升和生态环境的持续改善。

[参 考 文 献]

- [1] 杜国明,梁常安,张树文,等.黑土地保护的对象特性、面临形势与应对策略[J].资源科学,2023,45(5):887-899.
- [2] 韩长赋.加强东北黑土地保护推进农业绿色发展[N].人民日报,2018-02-05(007).
- [3] 魏丹,匡恩俊,迟凤琴,等.东北黑土资源现状与保护策略[J].黑龙江农业科学,2016,16(1):158-161.
- [4] 王文娟,张树文,邓荣鑫.东北黑土区沟蚀现状及其与景观格局的关系[J].农业工程学报,2011,27(10):192-198.
- [5] 崔斌,张瑜,田立生.黑土区坡耕地侵蚀沟生态环境状况诊断与评价[J].吉林水利,2023(6):64-67.
- [6] 雷国平,代路,宋戈.黑龙江省典型黑土区土壤生态环境质量评价[J].农业工程学报,2009,25(7):243-248.
- [7] 刘肃,崔斌,张瑜,等.吉林省低山丘陵区地形因素对坡耕地侵蚀沟分布的影响[J].水土保持通报,2020,40(1):38-42.
- [8] 王文娟,邓荣鑫,张树文,等.东北典型黑土区侵蚀沟发育演化特征分析[J].地理与地理信息科学,2019,35(4):105-110.
- [9] 刘驰,刘希瑶,刘澎.松辽平原典型黑土区有机质的变化及影响因素分析[J].地质与资源,2020,29(6):550-555.
- [10] 张兴义,刘晓冰.东北黑土区沟道侵蚀现状及其防治对策[J].农业工程学报,2021,37(3):320-326.
- [11] 张光辉,杨扬,刘瑛娜,等.东北黑土区土壤侵蚀研究进展与展望[J].水土保持学报,2022,36(2):1-12.
- [12] 王计磊,李子忠.东北黑土区水力侵蚀研究进展[J].农业资源与环境学报,2018,35(5):389-397.
- [13] 王娜,王璐,宋昌海.东北黑土区坡耕地土壤侵蚀及其治理研究进展[J].南方农业,2022,16(17):160-162,166.
- [14] Liang A Z, Zhang Y, Chen X W, et al. Development and effects of conservation tillage in the black soil region of Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(8): 1325-1335.
- [15] 李濛池,杨玉荣,黄修梅,等.不同耕作方式与秸秆还田对黑土地影响的研究进展[J].分子植物育种,2024,22(4):1251-1258.
- [16] Li R, Wu Q M, Zhao G M, et al. Research progress and prospect of herbicide residue characteristics in black soil region of China[J]. Environmental Science, 2023, 44(4): 2395-2408.
- [17] 韩晓增,李娜.中国东北黑土地研究进展与展望[J].地理科学,2018,38(7):1032-1041.
- [18] 张苗,兰梦婷,陈银蓉,等.国外土地利用与碳排放知识图谱分析:基于CiteSpace软件的计量分析[J].中国土地科学,2017,31(3):51-60.
- [19] 柳可,张安录.耕地利用效率研究进展:基于文献计量视角[J].资源科学,2023,45(3):494-511.
- [20] 朱晓丹,叶超,李思梦.可持续城市研究进展及其对国土空间规划的启示[J].自然资源学报,2020,35(9):2120-2133.
- [21] 杜国明,向悦维,王璟.黑土区典型县域侵蚀沟时空分布特征和影响因素研究:以拜泉县为例[J].东北农业大学学报,2023,54(6):78-88.
- [22] 钱志晶,肖洋,牛羽萱,等.2003—2021年拜泉县典型区侵蚀沟形态特征及发育变化规律[J].水土保持通报,2024,44(4):225-235.
- [23] Wang S H, Xu X L, Cao W. Spatial and temporal changes of erosion in the black soil region of Northeast China from 2000 to 2020[J]. Resources Science, 2023, 45(5): 951-965.
- [24] 路中,雷国平,王居午,等.30年来东北典型黑土区水土流失敏感性时空分异特征研究[J].自然灾害学报,2019,28(4):186-195.
- [25] 景国臣,刘丙友,荣建东,等.黑龙江省冻融侵蚀分布及其特征[J].水土保持通报,2016,36(4):320-325.
- [26] 张科利,刘宏远.东北黑土区冻融侵蚀研究进展与展望[J].中国水土保持科学,2018,16(1):17-24.
- [27] 张光辉.切沟侵蚀研究进展与展望[J].水土保持学报,2020,34(5):1-13.
- [28] 张旭,顾广贺,范昊明,等.东北黑土区降雨侵蚀力与侵蚀沟发育关系研究[J].沈阳农业大学学报,2014,45(2):249-252.
- [29] 孟令钦,李勇.东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J].水土保持学报,2009,23(1):7-11,44.
- [30] Wang W J, Zhang S W, Fang H Y. Coupling mechanism of slope gully erosion in typical black soil area of Northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(12): 2113-2122.
- [31] 闫业超,张树文,岳书平.基于Corona和Spot影像的近40年黑土典型区侵蚀沟动态变化[J].资源科学,2006(6):154-160.
- [32] 陈雪,蔡强国,王学强.典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J].中国水土保持科学,2008(5):44-49.
- [33] 张锋.东北黑土区侵蚀沟现状及治理模式[J].中国水土保持,2020(12):54-55,79.
- [34] 杨庆楠,徐金忠,李志飞,等.典型黑土区陡坡植草水土流失防治效果研究[J].水土保持通报,2019,39(6):117-123.
- [35] 孙莉英,蔡强国,陈永生,等.东北典型黑土区小流域水土流失综合防治体系[J].水土保持研究,2012,19(3):36-41,57.
- [36] 于磊,张柏.中国黑土退化现状与防治对策[J].干旱区资源与

- 环境, 2004(1): 99-103.
- [37] 李发鹏, 李景玉, 徐宗学. 东北黑土区土壤退化及水土流失研究现状[J]. 水土保持研究, 2006(3): 50-54.
- [38] 刘丙友. 典型黑土区土壤退化及可持续利用问题探讨[J]. 中国水土保持, 2003(12): 31-32.
- [39] 张兴义, 刘晓冰. 中国黑土研究的热点问题及水土流失防治对策[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 340-344.
- [40] 韩晓增, 邹文秀. 我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 206-212.
- [41] 马常宝, 王慧颖. 国内外黑土地保护利用现状与方向研究[J]. 中国农业综合开发, 2022(11): 7-11.
- [42] 刘凯, 魏明辉, 戴慧敏, 等. 东北黑土区黑土层厚度的时空变化[J]. 地质与资源, 2022, 31(3): 434-442, 394.
- [43] 戴慧敏, 刘凯, 宋运红, 等. 东北地区黑土退化地球化学指示与退化强度[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 510-517.
- [44] 王小兵, 吴元元, 邓玲. 东北黑土区黑土退化防治与保护研究[J]. 资源与产业, 2008(3): 81-83.
- [45] 孟凯, 张兴义. 松嫩平原黑土退化的机理及其生态复原[J]. 土壤通报, 1998(3): 5-7.
- [46] 赵兰坡, 王鸿斌, 刘会青, 等. 松辽平原玉米带黑土肥力退化机理研究[J]. 土壤学报, 2006(1): 79-84.
- [47] 何艳芬, 张柏, 李方, 等. 东北黑土区农业生态环境问题与对策[J]. 干旱地区农业研究, 2004(1): 191-194.
- [48] 许文旭, 杨献坤, 崔斌, 等. 东北黑土区典型坡耕地土层厚度及退化程度分析[J]. 中国水土保持科学(中英文), 2021, 19(3): 28-36.
- [49] 陈玉东, 王火焰, 周健民, 等. 黑龙江省海伦市农田土壤重金属分布特征及污染评价[J]. 土壤, 2012, 44(4): 613-620.
- [50] 高璐, 沙迪, 张雪萍. 松嫩平原耕作黑土 Cu、Pb、Zn 的污染现状分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 261-265.
- [51] Wu S Z, Wang D Y, Li W B, et al. Risk zoning of heavy metals in a peri-urban area in the black soil farmland based on agricultural products[J]. Environmental Science, 2022, 43(1): 454-462.
- [52] 刘媚媚, 高凤杰, 韩晶, 等. 黑土区小流域土壤重金属生态危害与来源解析[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(11): 12-21.
- [53] 郭观林, 周启星. 中国东北北部黑土重金属污染趋势分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 2004(3): 386-392.
- [54] 蔡霖. 东北农业区土壤中农药残留特征及风险识别[D]. 大连: 大连理工大学, 2017.
- [55] 杜贯新, 闫百泉, 孙雨, 等. 松嫩平原黑土区西北部阿荣旗黑土重金属分布特征、评价及预警[J]. 地质科学, 2022, 57(2): 606-621.
- [56] 曹会聪, 王金达, 张学林. 吉林黑土中 Cd、Pb、As 的空间分布及潜在生态风险[J]. 中国环境科学, 2007(1): 89-92.
- [57] 李政宏, 吕晓, 杨伊涵, 等. 中国黑土地保护政策演进过程与特征的量化考察[J]. 土壤通报, 2022, 53(4): 998-1008.
- [58] 衣保中. 近代以来东北平原黑土开发的生态环境代价[J]. 吉林大学社会科学学报, 2003(5): 62-68.
- [59] 王玉玺, 解运杰, 王萍. 东北黑土区水土流失成因分析[J]. 水土保持科技情报, 2002(3): 27-29.
- [60] 刘绪军, 景国臣, 刘丙友. 论黑土区水蚀坡耕地改造的措施与途径[J]. 水土保持科技情报, 2001(5): 26-28.
- [61] 丁超, 胡伟, 严月, 等. 中国东北漫川漫岗典型黑土区沟道侵蚀特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 72-78.
- [62] 闫业超, 张树文, 岳书平. 近 40a 黑土典型区坡沟侵蚀动态变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 109-115.
- [63] 张晓平, 梁爱珍, 申艳, 等. 东北黑土水土流失特点[J]. 地理科学, 2006(6): 687-692.
- [64] 刘焕军, 张柏, 赵军, 等. 黑土有机质含量高光谱模型研究[J]. 土壤学报, 2007(1): 27-32.
- [65] 苏子龙, 张光辉, 于艳. 东北典型黑土区不同土地利用方式土壤水分动态变化特征[J]. 地理科学, 2013, 33(9): 1104-1110.
- [66] 王粟, 孙彬, 汪潮柱, 等. 东北典型黑土区土壤重金属污染现状评价与分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(10): 4350-4352.
- [67] 曹会聪, 王金达, 张学林. 东北地区污染黑土中重金属与有机质的关联作用[J]. 环境科学研究, 2007(1): 36-41.
- [68] 杜国明, 柴璐佳, 李玉恒. 耕地利用系统的理论解析与研究框架[J]. 地理科学进展, 2022, 41(7): 1288-1299.
- [69] 杜国明, 郭凯, 于凤荣. 黑龙江省垦区耕地利用功能转型与调控建议[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(4): 589-599.
- [70] 韩晓增, 邹文秀, 杨帆. 东北黑土地保护利用取得的主要成绩、面临挑战与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1194-1202.
- [71] 汪景宽, 徐香茹, 裴久渤, 等. 东北黑土地地区耕地质量现状与面临的机遇和挑战[J]. 土壤通报, 2021, 52(3): 695-701.
- [72] 张守昊, 孙蕾, JAMSHIDI A H, 等. 典型黑土区坡耕地退化程度诊断与评价[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 1-6.
- [73] 韩晓增, 邹文秀. 东北黑土地保护利用研究足迹与科技研发展望[J]. 土壤学报, 2021, 58(6): 1341-1358.
- [74] 温磊磊, 郑粉莉, 沈海鸥, 等. 沟头秸秆覆盖对东北黑土区坡耕地沟蚀发育影响的试验研究[J]. 泥沙研究, 2014(6): 73-80.