

基于专利与文献计量学的中国土地整治工程技术进展与趋势

阮琳琳¹, 肖武^{1*}, 陈航宇², 蒋卓人¹, 袁逸铭³, 张红梅^{4,5}, 侯长莉^{4,5}

(1. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学区域协调发展研究中心, 杭州 310058; 3. 浙江大学经济学院, 杭州 310058; 4. 安徽省国土空间规划研究院, 合肥 230601; 5. 自然资源部江淮耕地资源保护与生态修复重点实验室, 合肥 230601)

摘要: 土地整治工程技术是土地整治落实的重要基础, 但目前对中国土地整治工程技术的系统梳理与评估仍相对缺乏。因此, 该研究以 1989—2023 年 Incopat 数据库土地整治工程相关专利和中国学术期刊全文数据库(知网)土地整治工程相关研究文献为数据基础, 结合文献计量与文本语义分析方法, 探究中国土地整治工程领域的研发主体、研发热点与发展趋势等特征。结果表明: 1) 土地整治发明专利授权数量自 1989 年起历经缓慢发展、稳步增长与快速增长 3 个阶段, 形成了两大研发方向: 整治实施方法与器械以及土壤改良技术。2) 随着时间的推移, 中国土地整治专利研发对象由单一的农业相关、整地方法转向多元的整治工具与设备创新以及土壤改良材料与试剂的研发, 专利研发与环境领域的联系愈加紧密, 地理信息技术在土地整治中的应用也得到进一步的发展。3) 未来生态型土地整治、土地整治多源遥感智能监测创新、土地整治项目管理是需要重点关注的领域与发展方向。该研究可为土地整治工程技术的研发与应用提供参考。

关键词: 土地整治; 专利; 文献计量; 语义分析; 演化路径

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404184

中图分类号: F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-21-0242-11

阮琳琳, 肖武, 陈航宇, 等. 基于专利与文献计量学的中国土地整治工程技术进展与趋势[J]. 农业工程学报, 2024, 40(21): 242-252. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404184 <http://www.tcsae.org>

RUAN Linlin, XIAO Wu, CHEN Hangyu, et al. Progress and trends of China's land consolidation engineering technologies based on patentometrics and bibliometrics analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(21): 242-252. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404184 <http://www.tcsae.org>

0 引言

土地整治长期以来被视为缓解中国人地矛盾、解决土地利用问题的重要抓手^[1]。自 1997 年《中共中央、国务院关于进一步加强土地管理切实保护耕地的通知》的发布, 1999 年《土地管理法》的修订, 2004 年土地整治的大规模实施, 2016 年国土综合整治的提出, 再到 2019 年全域土地综合整治试点的推行, 土地整治的概念从“土地整理”“土地开发整理”“土地整理复垦开发”, 发展到“土地整治”“国土综合整治”, 最终演变为“全域土地综合整治”^[2], 其内涵也由土地关系与利用布局调整逐渐转为涵盖农用地整理、建设用地整理和乡村生态保护修复的“全域全要素”综合整治^[3]。当前中国国土开发与生态文明建设面临着城镇化转型与乡村振兴等一系列重大挑战^[4-5], 土地整治已成为国家层面的战略部署, 被视为重新配置空间资源、增加空间效益和提高空间供给能力的有效途径^[6-7], 助力城乡统筹发展、乡村振兴、生态文明建设等目标的实现^[8-10]。

收稿日期: 2024-04-25 修订日期: 2024-08-29

基金项目: 安徽省自然资源科技项目(2023-K-1)

作者简介: 阮琳琳, 博士生, 研究方向为土地整治与城市发展。

Email: 12022073@zju.edu.cn

*通信作者: 肖武, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为土地整治与生态修复。Email: xiaowu@zju.edu.cn

20 余年来, 国内学者对土地整治的内涵、实践、规划、成效等方面的研究日渐深入^[11-14]。目前已经有相当多的学者从不同视角对土地整治研究进行了回顾与展望。除了对已有文献的定性梳理^[15,16], 以中国学术期刊全文数据库(知网)或 Web of Science 为文献检索平台进行土地整治相关研究的系统梳理是土地整治综述研究的常用方法^[17], 此类研究通常关注土地整治的研究热点信息。此外, 也有研究从技术方法、政策法规、效益评价、生态影响等视角系统对遥感技术在土地整治中的应用^[18]、土地整治制度演进及其与乡村振兴等政策的联系^[19-21]、土地整治的效益^[22-23]、土地整治对生态系统的影响^[24-26]的研究进展进行系统评述。此外, 《中国土地科学》期刊自 2012 年开始组织对国内外土地科学发展动态进行梳理分析, 内容涵盖土地制度、土地利用与规划、土地经济、农用地保护、土地整治等领域, 形成 12 份年度研究重点评述与研究发展展望^[27]。土地整治领域的研究与实践不断深化, 形成了较为成熟的理论体系和技术方法。

土地整治工程是实施土地整治所采取的各项建设措施, 是落实土地整治的重要基础。通过实施土地整治工程技术, 调整土地利用的结构与布局, 可实现耕地保护、产业发展、人居环境优化等目标^[28-30]。近年来学者们已对土地整治工程实施中的测绘、复垦、沟道整治、景观建设、生态修复等工程技术展开探讨^[31-35], 一些土地整

治综述研究也对土地整治工程相关技术研究进展进行讨论^[2,15], 但上述研究通常基于文献计量方法对科研论文的进展进行梳理, 缺乏对中国土地整治工程技术的系统梳理与评估, 也无法反映土地整治工程技术的创新进展及发展趋势。专利是衡量科技创新的重要指标, 专利分析可帮助挖掘相关领域技术创新与发展的态势^[36]。因而, 本研究以 1989—2023 年中国土地整治工程领域的相关授权发明专利为主要研究对象, 梳理土地整治工程领域的研发主体、研发热点与发展趋势等特征, 辅以相关文献综述进行融合分析, 补充当前中国土地整治工程研究中该视角的研究, 以期为今后中国土地整治工程技术的研发与应用提供参考, 助力土地整治工程技术的创新发展与发展趋势研判。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源与处理

本研究以 IncoPat 全球专利数据库 (www.incopat.com) 和中国学术期刊全文数据库 (www.cnki.net) 为中国土地整治工程专利与文献检索源。IncoPat 收录了全球 170 个国家/组织/地区 1.7 亿余件专利信息, 数据采购自各国知识产权官方和商业机构, 在专利研究中得到广泛应用。CNKI 是全球信息量最大、最具价值的中文文献检索平台, 是文献综述研究的重要数据来源。本研究根

据《土地整治术语》(TD/T 1 054-2018) 的综合类术语与工程类术语选择了与土地整治及土地整治工程直接相关的“土地整治”“土地整理”“土地复垦”“土地修复”“土地开发”“农田防护”“土壤改良”“土地平整”“灌溉排水”“平地机”等 35 个关键词为检索主题^[2,11,15]。据此分别在 IncoPat 全球专利数据库与 CNKI 进行高级检索, 设置专利公开日期截止到 2023 年 12 月 31 日, 设置文献发表时间范围为 1989 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日。共检索到土地整治工程相关授权发明专利 3 803 项, 去除重复项以及与本研究不相关的条目后获得 3 439 项发明专利, 其中土壤改良专利 569 项, 灌溉排水专利 379 项, 生态护坡专利 340 项, 土地复垦专利 285 项, 平地机专利 291 项。每项发明专利包含发明人、申请人、专利标题、专利号、专利申请日、专利授权日、专利公开日、国际专利分类 (international patent classification, IPC) 主分类、IPC 分类、摘要、专利类型等信息, 所有数据保存为 CSV 文件格式, 通过 Python 代码处理数据并完成格式转换。共检索得到相关 SCI/EI/北大核心/SSCI 文献 9 321 篇, 筛选得到与土地整治工程相关文献 3 392 篇。数据处理完成后将专利与文献分别导入 CiteSpace 软件进行计量分析 (图 1)。

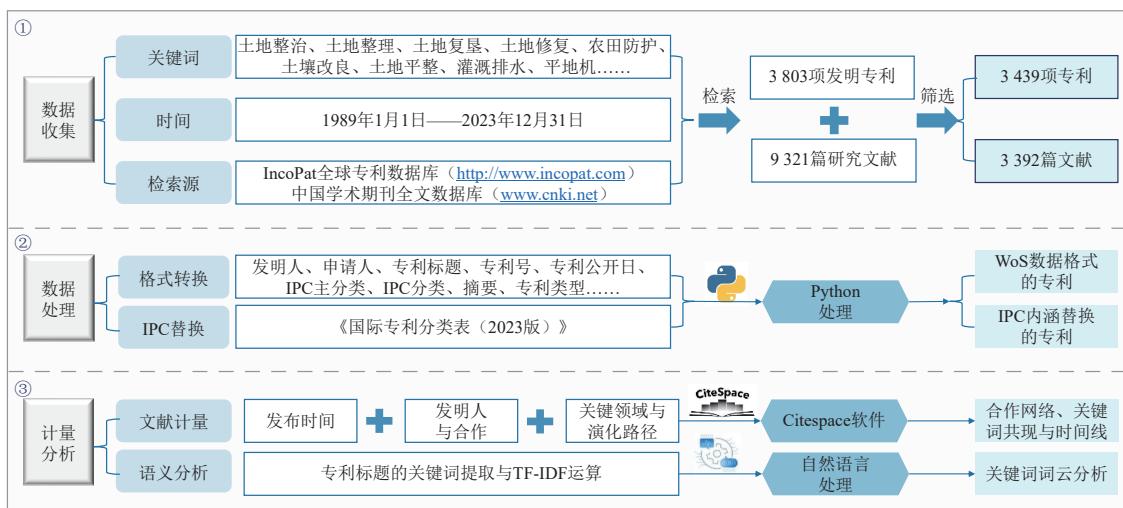


图 1 研究技术路线图
Fig.1 Research framework

1.2 研究方法

1) 文献计量研究方法

信息技术的发展使得对海量文献数据的集成分析成为可能。应用知识图谱工具可实现学科知识的可视化, 进而展开研究理论发展、研究范式转换、学科领域演进以及学科结构辨识等方面的研究^[37,38]。当前常用的知识图谱工具包括 CiteSpace、PaperLens、Ucinet、VOSviewer 等。本研究以土地整治工程发明专利与文献为研究对象, 利用 CiteSpace 软件进行相应的数据挖掘与计量分析, 以把握土地整治工程的研发热点、最新进展与演化路径等关键信息, 为相关研究提供参考。CiteSpace 软件是由美

国德雷塞尔大学陈超美博士联合大连理工大学开发的基于 Java 环境的引文网络分析与可视化工具^[39,40], 可帮助展开文献数据的计量、分析与识别, 进而探索学科研究前沿的演变趋势, 在研究中得到广泛应用^[41]。由于 IncoPat 全球专利数据库中提供的发明专利缺乏关键词信息, 因此研究选择数据中的 IPC 信息作为关键词的替代。IPC 能反映专利主要涉及的技术领域, 在专利研究中长期受到关注。根据国家知识产权局发布的《国际专利分类表 (2023 版)》, 本研究将发明专利对应的 IPC 替换为相对应的内涵, 再进行后续的专利计量分析。研究中 IPC 对应的内涵已去除过于冗长的解释说明内容。

2) 文本语义分析方法

文本分类与语义分析是自然语言处理 (natural language processing, NLP) 技术的重要应用^[42], 该方法旨在从专利文本数据中挖掘与土地整治相关的信息。研究选择 3 439 项发明专利的专利标题信息为文本语义分析的对象, 文本语义分析步骤包括数据预处理、分句分词处理、土地整治词汇的获取和分类等, 并对提取的土地整治词汇做 TF-IDF 运算, 即词频 (term frequency, TF) 和逆文档频率 (inverse document frequency, IDF) 之积, 以计算词汇在土地整治专利标题中的重要性排名^[43], 为土地整治专利关键词的捕捉提供依据。当前, 自然语言处理的方法主要包括基于规则的方法、基于机器学习和深度学习的方法。其中, 基于机器学习的方法主要采用监督分类算法。该方法依赖大规模语料库的训练结果, 已在研究中得到广泛应用, 但需要大量的人工标记数据集。由于无监督分类方法已被证明能有效解码信息密集型文本^[44], 本研究采用无监督分类的文本语义分析方法。

2 结果与分析

2.1 专利数量及其增长趋势

本研究以专利公开日为专利发布时间, 土地整治工程领域年度发布的专利数量如图 1 所示。总体而言, 中国土地整治工程专利的发布数量逐年增加, 2008 年之后发展迅速, 整体呈现指数增长的趋势; 30 余年间, 中国土地整治工程领域的专利发展经历了缓慢发展、稳步增长及快速增长 3 个阶段。据《土地整治蓝皮书: 中国土地整治发展研究报告 No.4》, 中国土地整治经历了从土地整治 1.0 到土地整治 4.0 的变迁: 土地整治 1.0 以 1997 年发布的《中共中央、国务院关于进一步加强土地管理切实保护耕地的通知》(中发〔1997〕11 号) 为标志, 重点任务是保护耕地, 实现耕地占补平衡; 土地整治 2.0 以 2003 年发布的《全国土地开发整理规划(2001—2010 年)》(国土资发〔2003〕69 号) 为标志, 重点任务转为基本农田建设与保护, 趋于耕地数量和质量并重; 土地整治 3.0 以 2012 年发布的《全国土地整治规划(2011—2015 年)》(国土资发〔2012〕55 号) 为标志, 不再以农地整理为主要方向, 而是出现了多类型土地整治, 且日益重视保护生态; 土地整治 4.0 以 2017 年发布的《全国土地整治规划(2016—2020 年)》(国土资发〔2017〕2 号) 为标志, 强调土地综合整治, 提倡保护乡村人文风貌, 致力于打造“山水林田湖”生命共同体^[45]。事实上, 土地整治早在 20 世纪 80 年代便进入国内学者视野, 并在实践中展开了土地权属关系和土地利用布局的调整^[2], 但早期的实践经验鲜少转化为专利成果, 可能是因为在此阶段中国专利制度尚未完善。在土地整治起步与 1.0 阶段, 土地整治的政策评论性文章与研究性文章数量逐步上升^[2], 但土地整治专利发展处于缓慢发展阶段, 土地整治专利数量处于较低水平, 发布的专利数量仅占研究期专利总量的 0.93%, 土地整治工程技术

研发处于起步阶段。在土地整治 2.0 与土地整治 3.0 阶段, 土地整治专利数量进入稳步增长阶段, 发布的专利数量占研究期专利总量的 30.96%。在此阶段, 土地整治工作正式纳入自然资源管理的重点工作, 中国开始大规模实施土地整治, 土地整治实践得到进一步发展, 知识产权制度也得到完善, 土地整治工程技术研发稳步推进。在土地整治 4.0 阶段, 土地整治专利数量进入快速增长阶段, 发布的专利数量占研究期专利总量的 68.11%, 尤其是 2019 年之后, 年度土地整治专利数量均高于 200 项 (图 2)。2019 年自然资源部发布《关于开展全域土地综合整治试点工作的通知》(自然资发〔2019〕194 号), 要求“到 2020 年, 全国试点不少于 300 个”。在积极的政策引导下, 土地整治相关发明专利发布数量从 2019 年的 230 项增长至 2023 年的 415 项。

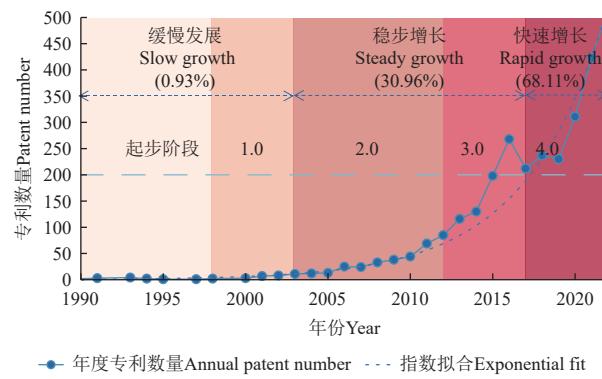


图 2 1989—2023 年土地整治专利分布统计图及土地整治发展阶段划分

Fig.2 Number of patents issued on land consolidation from 1989 to 2023 and the development stages of land consolidation

2.2 发明人与合作网络

为了探究土地整治工程领域专利核心发明人及其合作关系信息, 本研究统计了 3 439 项专利的第一作者与第一单位信息。尽管在土地整治工程发明领域存在具有较大影响力的学者与机构, 但整体而言, 中国土地整治工程专利发明仍显得偶发且分散。统计结果显示, 土地整治工程相关专利发明量 5 项以上的发明人共 14 位 (表 1), 而 86.00% 的土地整治工程相关专利发明人仅发明了一项专利。就申请单位而言 (表 2), 中国矿业大学 (北京) 是土地整治工程相关专利发明数量最多的单位, 河海大学和中国农业大学也是该领域的重要机构。除了高校与研究所等传统科研机构外, 工程建设与环境类公司也占据了一定比例, 这表明土地整治工程相关专利的发明与土地整治工程实践工作密切相关。

为了进一步探究土地整治工程领域学者之间的合作关系, 本研究将 3 439 项土地整治工程相关发明专利导入 CiteSpace 软件, 经过相关设置后生成发明人合作图谱 (图 3)。图谱中的节点大小表示发明人的出现频次, 线条表示发明人之间的合作关系, 节点和线条的颜色则对应发明时间与合作时间。

表 1 1989—2023 年土地整治工程专利发明数量高于 5 的发明人及其所在单位

Table 1 Inventors with more than 5 inventions and their institutions on land consolidation engineering from 1989 to 2023

发明人 Inventor	专利数量 Number	发明人单位 Invention institution
胡振琪	25	中国矿业大学(北京)
缪江桥	10	无锡同春新能源科技有限公司
张耿杰	9	南农业大学
刘刚	7	中国农业大学
韩雯昌	7	陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司
陈昌和	7	清华大学
叶建军	7	湖北工业大学
赵祚喜	7	华南农业大学
王胜	6	山东胜伟园林科技有限公司
毕银丽	6	中国矿业大学(北京)
刘波	6	中国科学院东北地理与农业生态研究所
程辉彩	6	河北省科学院生物研究所
李洪法	6	山东泉林纸业有限责任公司
赵民忠	6	西藏俊富环境恢复有限公司

表 2 1989—2023 年申请土地整治工程专利超过 15 项的单位
 Table 2 Application institutions with more than 15 inventions on
 land consolidation engineering from 1989 to 2023

申请单位 Application institution	专利 数量 Number	申请单位 Application institution	专利 数量 Number
中国矿业大学(北京)	43	清华大学	17
河海大学	42	云南农业大学	17
中国农业大学	34	中国科学院新疆生态与地理研究所	17
华南农业大学	31	北京林业大学	16
徐州徐工筑路机械有限公司	31	同济大学	16
华北水利水电大学	20	中国科学院东北地理与农业生态研究所	16
卡特彼勒公司	19	中国科学院沈阳应用生态研究所	16
株式会社小松制作所	19	中国科学院西北生态环境资源研究院	16

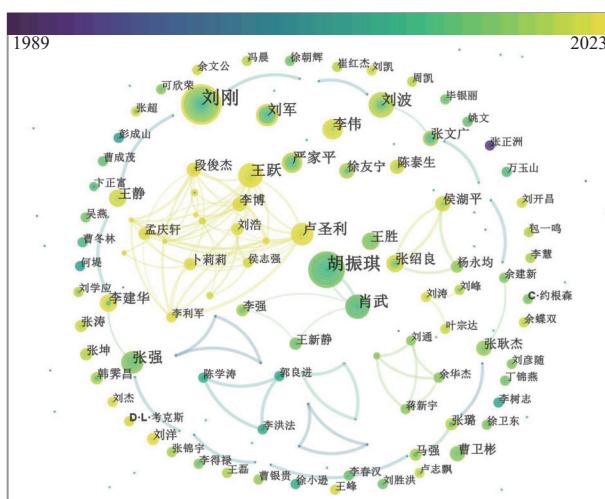


图 3 1989—2023 年土地整治工程专利发明人合作网络

Fig.3 The cooperation network of the inventors on land consolidation engineering from 1989 to 2023

目前，土地整治工程专利发明人合作网络呈现集中为主、分散为辅的分布特征，相较企业，高校与科研院所的发明人合作更紧密，但合作网络的规模较小。就专利发明数量而言，胡振琪团队与刘刚团队是土地整治工程专利发明人合作网络的核心，但其相关发明的发布时间较早，近期土地整治工程相关发明可能主要来源于王

跃及其合作者。土地整治工程领域已经形成了多个研发团队，其中，徐州徐工筑路机械有限公司的王跃、卢圣利与段俊杰及相关发明人形成了广泛而密切的合作网络，其余合作网络的发明人大多来自高校与科研院所。可以看出，尽管工程企业、高校与科研院所的土地整治工程专利发明人之间各自形成了合作网络，但工程企业与科研机构之间的互动较少，未来应当加强科研院所与工程公司的合作，以促进土地整治工程先进技术的应用与实践。

2.3 关键领域进展

2.3.1 土地整治工程研发的关键领域

提炼土地整治工程相关专利中的高频关键词，可以在一定程度上反映该领域的研发热点。研究统计了1989—2023年3439项土地整治工程专利的IPC出现频次，提取了出现频次超过100的IPC及其对应内涵（表3），并应用文本语义分析方法提取土地整治工程专利标题中的关键词及其词频信息（图4）。

表 3 1989—2023 年土地整治专利高频 IPC、内涵与出现频次

Table 3 High-frequency IPCs, the content, and the frequencies on land consolidation from 1989 to 2023

国际专利分类 IPC	内涵 Content	频数 Frequency	首次出现年份 Time
C09K101/00	农业用途	378	2001
C09K17/40	含有无机和有机化合物混合物的土壤调节材料或土壤稳定材料	377	2003
A01B79/02	与其他农业过程相结合的整地方法	351	2010
C05G3/80	土壤调理剂	344	2000
C09K109/00	调节 pH	217	2008
E02D17/20	边坡或斜坡的稳定	174	2001
E02D3/00	土壤或岩石的改良或保护	169	1991
B09C1/08	用化学方法污染的土壤的复原	168	2006
C05G3/00	一种或多种肥料与无特殊肥效的添加剂组分的混合物	167	2004
E02B3/12	河岸、水坝、水道或其他类似工程的护砌	156	2008
A01B79/00	整地方法	156	1989
C05G3/04	含有土壤调理剂的肥料	136	2000
A01B77/00	提升和处理土壤的机械	133	1991
A01G9/02	栽培容器/栽培花卉用的玻璃器皿	116	2006
A01B49/02	带两件或多件不同类型的整地工作部件的联合作业机械	112	1989
C09K17/14	只含有机化合物的土壤调节材料或土壤稳定材料	106	2002
A01G1/00	营养繁殖无性繁殖/草皮草坪或类似物用的扁平容器	106	2002
C12N1/20	细菌其培养基	103	2008



图 4 1989—2023 年土地整治工程专利标题关键词词云

Fig.4 The keyword cloud of the titles of the land consolidation engineering patents from 1989 to 2023

土地整治工程专利发明的热点集中在装置与方法、土壤改良、土地整治生态、固沙与农田水利等领域。在 18 个高频 IPC 中, 涉及农业的土壤改良相关 IPC 占 11 个, 总出现频次达到 2298; 整地方法相关 IPC 占 3 个, 总出现频次达到 619; 生态护坡相关 IPC 占 3 个, 总出现频次达到 446。从时间角度分析, 在土地整治起步与 1.0 阶段, 整地方法、土壤改良和生态护坡相关 IPC 均已出现; 在土地整治 2.0 阶段, 新增了 5 项土壤改良相关 IPC 和 2 项生态护坡相关 IPC。高频 IPC 多出现在土地整治的早期阶段, 虽然此阶段的土地整治工程相关专利数量较少, 但其研发重点依然深刻影响了未来土地整治工程发展的方向。总体而言, 除了与土地整治工程实施相关的整地方法与机械外, 土地整治专利中的高频 IPC 大多与土壤改良密切相关, 这可能受中国耕地保护政策发展的影响。

为了进一步探究土地整治工程研发关键领域之间的联系, 本研究使用 CiteSpace 软件进行关键词共现分析(图 5)。节点的大小表示关键词的中心性, 线条则表示关键词的共现关系。在土地整治工程专利研发中, 农业用途、整地方法、防止风化、调节 pH(酸碱度)等无疑是重点领域, 此外, 施肥方法、杀菌剂、真菌、土壤排水、地面材料、植物保护、秧苗容器等也是关键点, 涵盖了土地整治方法与器械、盐碱土壤改良、生态护坡与防风固沙等领域。根据土地整治工程关键词共现分析结果, 可总结该领域两大技术方向:

1) 整治实施方法与器械的研发: 该发展路径聚焦与工程实施直接相关的整地方法、结构部件与机械的发明。专利关键词共现结果显示, 整地方法是工程技术与器械领域的核心节点, 土壤排水、人工水道、地面材料、填方、结构部件等也是重要关键词。土地整治方法与器械的创新集中在土地平整、灌溉沟渠、农田水利、表土剥离与土壤重构、监测检测装置等领域。相关专利包括: 一种根据土层厚度进行土地平整的方法(CN103650695B)、一种高标准农田水利灌溉系统(CN114991097B)、一种用于农田水利工程的水渠杂物自清理装置(CN115030107B)、丘陵区土地整理表土剥离与回填施工方法(CN102301847A)、露天矿区土地复垦监测方法和装置(CN105023189A)等。此外, 土地整治方法与器械还应用于细分的土地修复、土地复垦、土地整理、土地整治等领域, 相关专利包括: 一种采煤塌陷区复垦土壤生态修复方法(CN115053658A)、一种土地复垦泥水含量检测装置(CN114167037A)、一种基于土地整治用的土壤收集装置(CN117288926B)等。

2) 土壤改良技术的研发: 该发展路径聚焦土壤改良中的污染土壤修复(包括土壤钝化与土壤稳定化)、土壤肥力提升、沙化土地治理与盐碱地土壤改良领域。专利关键词共现结果显示, 农业用途的节点中心性较强, 这与土壤改良的应用场景直接相关, 防止风化、施肥方法、调节 pH、杀菌剂、真菌等节点也与农业用途联系密切, 相关的土壤改良材料与药剂也在关键词共现图谱中得到体现。相关专利包括一种防尘固沙环保液体地膜材

料的制备方法(CN111303907B)、一种盐碱土壤改良剂及其制备方法(CN1100842C)、复合型可降解的土壤营养调理剂及其制备方法(CN101081983B)、土壤重金属钝化剂及其用途(CN104560047B)、一种重金属污染土壤稳定化药剂及其制备方法和应用(CN103740373B)、一株土壤杆菌 DP3、其菌剂及在制备生物肥料领域的应用(CN112625960B)等。

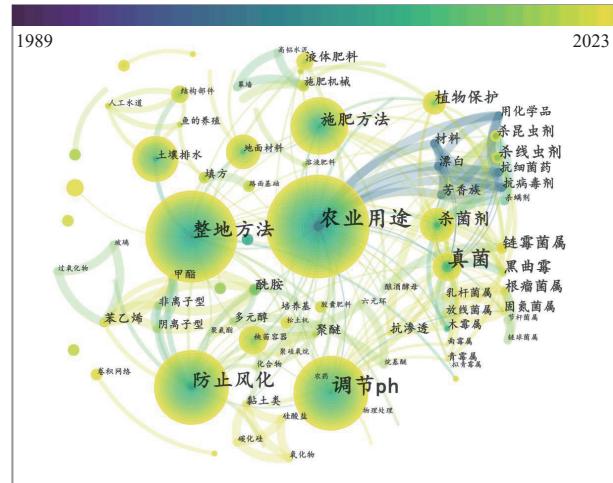


图 5 1989—2023 年土地整治工程专利关键词共现图谱
Fig.5 The co-occurrence network of the key words of land consolidation engineering patents from 1989 to 2023

2.3.2 土地整治工程发明专利研发的发展过程

基于关键词共现分析的结果, 研究进一步对关键词进行聚类与时间线图分析(图 6)。时间线图可反映不同聚类模块中关键词随时间的变化, 可辅助分析该领域研发的演变及不同聚类之间的联系^[46]。随着时间的推移, 中国土地整治工程技术的关键词由单一转向多元, 研发领域由整地方法与农业用途拓展至防风固沙、盐碱地土壤改良以及土地整治机械。专利研发关键词的时间线结果表明, “整地方法”“农业用途”与“防止风化”等具有较强的延续性与较广的时间跨度, 这与土地整治工程专利领域的技术方向相吻合。在土地整治起步与 1.0 阶段, 土地整治专利的研发范围相对单一, 但“整地方法”与“农业用途”等关键词影响深远; 进入 2.0 阶段, 研发范围逐渐拓展, 出现了“防止风化”与“调节 pH”等重要关键词; 到了 3.0 与 4.0 阶段, 专利研发领域愈加多元, 不仅延续了整治工程实施方法与器械的研发, 还在土壤改良方面取得了快速进展, 特别是土壤改良领域的新材料和试剂的研发, 一些新的研发分支也在此阶段涌现, 标志着土地整治工程专利研发进入繁荣发展阶段。

2019 年是土地整治工程专利发布数量激增的开始。为探究中国土地整治工程创新的趋势, 研究统计了 2019 年之前与 2019 年之后的相关专利 IPC 出现频次, 并整理了相较于 2019 年之前频次增加超过 30 的 IPC(表 4)。结果表明, 土壤改良与土地整治机械相关 IPC 在 2019 年之前已处于较高水平, 而在 2019 年之后相关研发进一步推进。其他出现频率突增的 IPC 在 2019 年之前出现频次较低, 其中影响肥料剂量或释放速率/影响溶解度、使用

特定的微生物或物质制备肥料为2019—2023年间首次出现的关键词。与2019年之前的统计结果相比,在2019—2023年间,栽培容器/栽培花卉用的玻璃器皿、只含有有机化合物的土壤调节材料或土壤稳定材料、细菌其培养基、特殊农作物或植物的栽培等成为了新的高频关键词,这些关键词主要与生态护坡中的新施工结构方法和土壤改

良修复中的新材料制备相关,表明中国土地整治工程在这些领域的新研发趋势。值得关注的是,2019—2023年间还新增了一些2019年之前尚未出现的关键词,如水面污染物去除、污泥处理、计算机辅助设计优化验证或模拟、地理信息数据库等,反映出中国土地整治工程与生态修复结合的趋势以及地理信息技术应用的发展。

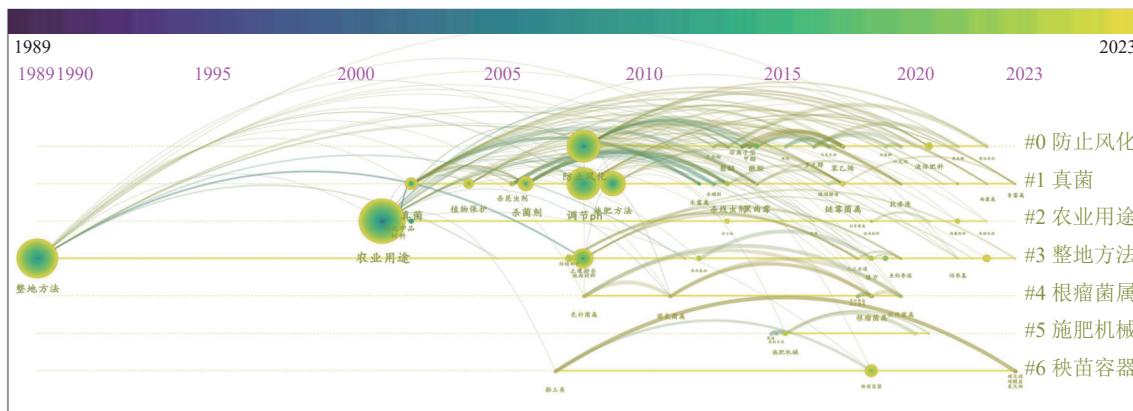


图6 1989—2023年土地整治工程专利关键词时间线图

Fig.6 The timeline diagram of the keywords of land consolidation engineering patents from 1989 to 2023

表4 2019年后出现频次突增的土地整治专利IPC、内涵与出现频次

Table 4 The emergent land consolidation IPCs, the content, and the frequencies after 2019

IPC	内涵 Content	变化频次 Increased Frequency	出现频次 Frequency	
			2019— 2023	1989— 2018
A01B79/02	与其他农业过程相结合的整体方法	81	216	135
B09C1/08	用化学方法污染的土壤的复原	80	124	44
E02B3/12	河岸、水坝、水道或其他类似工程的护砌	68	112	44
A01G9/02	栽培容器/栽培花卉用的玻璃器皿	66	91	25
A01G22/00	特殊农作物或植物的栽培	64	76	12
C09K17/40	含有无机和有机化合物混合物的土壤调节材料或土壤稳定材料	63	220	157
A01B49/04	整地部件与非整地部件	63	74	11
C05G3/80	土壤调理剂	58	201	143
C09K109/00	调节pH	57	137	80
C09K101/00	农业用途	56	217	161
C09K17/14	只含有机化合物的土壤调节材料或土壤稳定材料	54	80	26
C12N1/20	细菌其培养基	53	78	25
A01B77/00	提升和处理土壤的机械	49	91	42
A01G24/10	基于或包含无机材料的种植基质或培养基	40	44	4
A01G17/00	啤酒花、葡萄、果树或类似树木的栽培	38	67	29
E02D17/20	边坡或斜坡的稳定	36	105	69
A01G20/00	草皮、草坪或类似物的栽培及装置或方法	35	40	5
A01B49/02	带两件或多件不同类型的整地工作部件的联合作业机械	34	73	39
C05G3/40	影响肥料剂量或释放速率/影响溶解度	32	32	0
A01G24/20	基于或包含天然有机材料的种植基质或培养基	31	37	6
A01P21/00	植物生长调节剂	31	42	11
C05F17/20	使用特定的微生物或物质制备肥料	30	30	0

2.3.3 土地整治工程文献研究的热点

研究进一步对3392篇土地整治工程相关文献进行了关键词共现与时间线分析(图7和图8),旨在从文献研究的视角对土地整治工程研发的进展进行补充。与土地整治工程专利的关键词共现结果不同的是,土地整治工程文献研究中,土地复垦最受关注,土壤修复、土壤重金属、土地整理、生态护坡与平地机等也是热点领域。此外,生态修复与生态环境,土地整治工程的规划设计、评价以及模型等方面在文献研究中受到关注,但在专利研发领域却鲜有涉及。土地整治工程专利研发的关键词聚类主要集中在土壤改良与整地方法等领域,而文献研究的关键词聚类则涉及更广泛的土地整治工程领域,包括土壤重金属、土地复垦、土地利用、土地整治、土地复垦、生态护坡和平地机等。

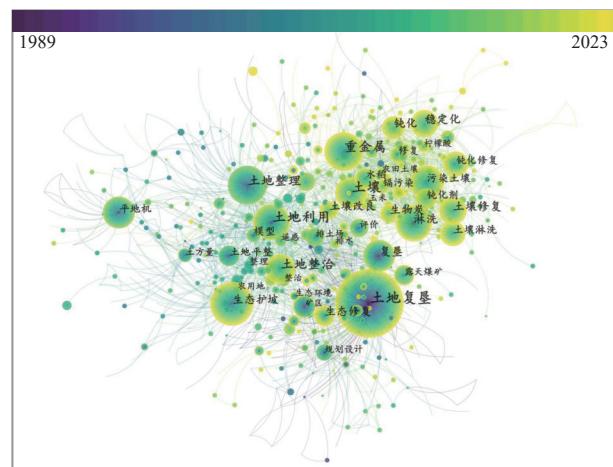


图7 1989—2023年土地整治工程文献关键词共现图谱

Fig.7 The co-occurrence network of the key words of land consolidation engineering references from 1989 to 2023

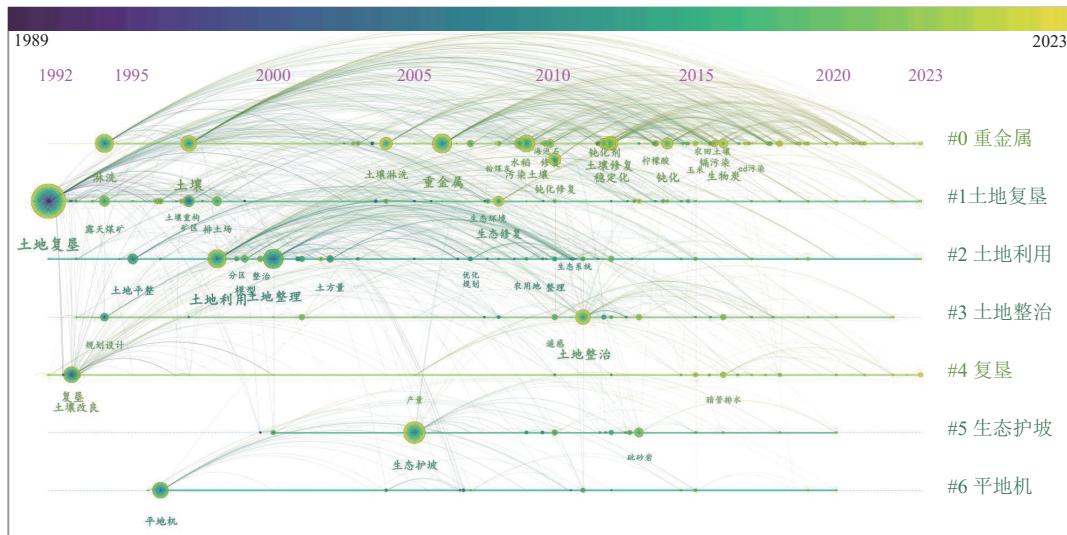


图 8 1989—2023 年土地整治工程文献关键词时间线图

Fig.8 The timeline diagram of the keywords of land consolidation engineering references from 1989 to 2023

土地整治工程文献关键词的时间线结果表明，大部分文献研究的关键词在土地整治的起步与 1.0 阶段已出现，例如土地复垦、土壤改良、淋洗、土壤重构、土地利用与土地整理等，其中土地复垦、淋洗、土壤等关键词的延续性与时间跨度尤为显著。在土地整治 2.0 阶段，重金属、土壤修复、生态修复、生态系统、生态护坡、土地整治、遥感等关键词开始出现，标志着该阶段的文献研究重点转向了土地整治与生态修复的结合领域。进入土地整治 3.0 与 4.0 阶段，文献研究领域愈发多元，重金属、土地复垦、土地整治、复垦等领域均涌现出大量的新的研究关键词，新的研究热点集中在污染土壤的修复、稳定化与钝化领域。

3 结论与展望

研究以 1989—2023 年 Incopat 全球专利数据库中 3 439 项土地整治工程相关专利和 CNKI 中 3 392 篇土地整治工程相关文献为数据源，运用 CiteSpace 软件和文本语义研究方法，探讨了中国土地整治工程的研发主体、研发热点与发展趋势。研究发现，中国土地整治工程技术与土地整治实践同步发展。在土地整治起步与 1.0 阶段，中国土地整治工程专利缓慢发展，整地方法与农业用途是为数不多的研发热点。在土地整治 2.0 与 3.0 阶段，土地整治工程专利稳步增长，防止风化、调节 pH、施肥方法、土壤排水、结构部件等成为研发热点。在土地整治 4.0 阶段，土地整治工程专利快速增长，土壤改良与整治工程器械领域的研发进一步深入。在此过程中，中国土地整治工程的创新形成了两个主要技术方向：整治实施方法与器械以及土壤改良。近年来，中国土地整治工程的创新一方面与环境领域的联系愈加紧密，土地整治与生态修复的结合成为新的研发热点；另一方面，地理信息技术在土地整治工程中的应用创新也得到进一步的发展。

随着中国全域土地综合整治试点的持续展开，土地整治工程专利研发也面临新的现实需求，未来需关注如

以下几个方面：1) 生态型土地整治创新。从“土地整理”到“全域土地综合整治”，土地整治的目标从关注新增耕地数量，到数量和质量并重，再扩展到数量、质量和生态“三位一体”。因此，土地整治不仅需服务于耕地保护，还要兼顾生态保护的需求^[47-48]。尽管近年来生态型土地整治相关专利有所增加，土地整治与生态修复技术的结合趋势愈加明显，特别是在土壤修复、土地生态化治理与矿山生态修复等领域，但土地整治技术研发相较科研探索仍是相对滞后的。未来，生态型土地整治工程的研发对实现“田水路林村矿”等多要素、多目标、多模式综合整治仍至关重要。2) 土地整治多源遥感能监测创新。虽然在土地整治工程文献研究中，土地整治监测遥感技术已经受到广泛关注并在实践案例中有所应用，但在专利领域的研发仍相对不足。目前，地理信息数据库已成为 2019 年后新增的重要关键词，涉及高分辨率遥感、无人机影像、地理信息系统空间分析等技术方法。然而，仅有 35 项专利涉及遥感技术，主要应用在矿区或耕地的监测与评价领域。随着遥感大数据平台与无人机航空遥感技术的发展，遥感技术在土地整治规划、施工、验收等多环节有广阔的应用前景^[49-52]，其研发可为土地整治实施全流程监测提供丰富的技术支持。3) 土地整治项目管理创新。与科研探索中对土地整治工程管理效益与评价的关注不同，目前土地整治工程专利研发中项目管理正处于初步发展阶段，研发集中在监管平台建设和整治评价方法等领域。虽然在专利研发中新的土地综合整治项目监测与管理系统已被提出，且与土地整治项目监管与评价相关的专利数量已达到 70 项，但仍处于发展阶段。随着土地整治目标与要素逐渐多元，传统的项目管理模式亟需变革，以适应新发展阶段土地整治的需求。总体而言，中国土地整治工程专利技术的发展与政策导向、科研探索和现实需求之间存在一定的不匹配。后续研发应进一步加强与土地整治研究及实践热点的联系，拓展研发维度，从而使专利研发更好地服务于土地整治工程的现实需求。

[参考文献]

- [1] 肖武, 侯丽, 岳文泽. 全域土地综合整治的内涵、困局与对策[J]. 中国土地, 2022(7): 12-15.
- [2] 王军, 钟莉娜. 中国土地整治文献分析与研究进展[J]. 中国土地科学, 2016, 30(4): 88-97.
WANG Jun, ZHONG Lina. Literature analysis on land consolidation research in China[J]. China Land Sciences, 2016, 30(4): 88-97. (in Chinese with English abstract)
- [3] 范业婷, 金晓斌, 张晓琳, 等. 乡村重构视角下全域土地综合整治的机制解析与案例研究[J]. 中国土地科学, 2021, 35(4): 109-118.
FAN Yeting, JIN Xiaobin, ZHANG Xiaolin, et al. Mechanism analysis and case study of comprehensive land consolidation from the perspective of rural restructuring[J]. China Land Sciences, 2021, 35(4): 109-118. (in Chinese with English abstract)
- [4] 何一民, 何永之. 中国式城镇化: 从传统城市化向新型城镇化转型的理论探索与实践创新[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版), 2024, 43(1): 1-10.
HE Yimin, HE Yongzhi. Chinese-style urbanization: Theoretical exploration and practical innovation in the transition from traditional practice to a new model of urbanization[J]. Journal of Xihua University (Philosophy & Social Sciences), 2024, 43(1): 1-10. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650.
LIU Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650. (in Chinese with English abstract)
- [6] LI Y, WU W, LIU Y. Land consolidation for rural sustainability in China: Practical reflections and policy implications[J]. *Land Use Policy*, 2018, 74: 137-141.
- [7] 严金明, 蔡大伟. 关于全域土地综合整治的战略思考[J]. 中国土地, 2022(7): 4-7.
- [8] 金晓斌, 张庶. 土地整治与生态文明建设的协同性分析[J]. 中国土地, 2013(10): 38-39.
- [9] 丁庆龙, 叶艳妹. 乡村振兴背景下土地整治转型与全域土地综合整治路径探讨[J]. 国土资源情报, 2020(4): 48-56.
DING Qinglong, YE Yanmei. Study on the transformation of land consolidation and the path of comprehensive land consolidation covering the whole county jurisdiction under the rural vitalization[J]. Land and Resources Information, 2020(4): 48-56. (in Chinese with English abstract)
- [10] 许恒周. 全域土地综合整治助推乡村振兴的机理与实施路径[J]. 贵州社会科学, 2021(5): 144-152.
- [11] 夏方舟, 杨雨濛, 严金明. 中国国土综合整治近40年内涵研究综述: 阶段演进与发展变化[J]. 中国土地科学, 2018, 32(5): 78-85.
XIA Fangzhou, YANG Yumeng, YAN Jinming. The connotation research review on integrated territory consolidation of China in recent four decades: Staged evolution and developmental transformation[J]. China Land Sciences, 2016, 30(4): 88-96. (in Chinese with English abstract)
- [12] 沈菊生, 汪磊. 实践、转向与模式: 乡村振兴背景下农村土地综合整治研究[J]. 安徽建筑大学学报, 2022, 30(5): 37-44.
SHEN Jusheng, WANG Lei. Practice, Transformation and model: Rural land integration in the context of rural revitalization remediation research[J]. Journal of Anhui Jianzhu University, 2022, 30(5): 37-44. (in Chinese with English abstract)
- [13] 包家豪. 全域土地综合整治的景观规划路径及优化策略[D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
Bao Jiahao. Approach and Strategy of Landscape Ecological Spatial Planning for Comprehensive Land Consolidation in Rural China[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2022. (in Chinese with English abstract)
- [14] 赵梦洁. 乡村振兴背景下的土地整治综合成效评估研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
Zhao Mengjie. Evaluation of Comprehensive Effectiveness of Land Consolidation under the Background of Rural Rejuvenation: Taking Qujiang District, Quzhou city, Zhejiang Province as An Example [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张勇, 汪应宏, 包婷婷, 等. 土地整治研究进展综述与展望[J]. 上海国土资源, 2014, 35(3): 15-20.
ZHANG Yong, WANG Yinghong, BAO Tingting, et al. A review of the progress and direction of land consolidation research[J]. *Shanghai Land & Resources*, 2014, 35(3): 15-20. (in Chinese with English abstract)
- [16] 林元城, 杨忍, 葛语思. 农村土地综合整治助力乡村振兴的内在逻辑与传导机制[J]. 规划师, 2023, 39(5): 12-18.
LIN Yuancheng, YANG Ren, GE Yusi. Internal logic and transmission mechanism of rural comprehensive land consolidation for rural revitalization[J]. *Planners*, 2023, 39(5): 12-18. (in Chinese with English abstract)
- [17] YIN Q, SUI X, YE B, et al. What role does land consolidation play in the multi-dimensional rural revitalization in China? A research synthesis[J]. *Land Use Policy*, 2022, 120: 106261.
- [18] 张超, 吕雅慧, 邬文聚, 等. 土地整治遥感监测研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(1): 1-22.
ZHANG Chao, LYU Yahui, YUN Wenju, et al. Analysis on research progress of remote sensing monitoring of land consolidation[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(1): 1-22. (in Chinese with English abstract)
- [19] 韩博, 金晓斌, 顾铮鸣, 等. 乡村振兴目标下的国土整治研究进展及关键问题[J]. 自然资源学报, 2021, 36(12): 3007-3030.
HAN Bo, JIN Xiaobin, GU Zhengming, et al. Research progress and key issues of territory consolidation under the target of rural revitalization[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(12): 3007-3030. (in Chinese with English abstract)
- [20] 黄雪飞, 吴次芳, 廖蓉. 中国土地整治政策演进的制度逻辑——分析框架与历史观察[J]. 经济社会体制比较, 2023(2): 142-152.
HUANG Xuefei, WU Cifang, LIAO Rong. The institutional logic of the evolution of land consolidation policy in China: Analytical framework and historical observation[J].

- Comparative Economic & Social Systems**, 2023(2): 142-152.
(in Chinese with English abstract)
- [21] 孙婧雯, 刘彦随, 戈大专, 等.平原农区土地综合整治与乡村转型发展协同机制[J].地理学报, 2022, 77(8): 1971-1986.
SUN Jingwen, LIU Yansui, GE Dazhuan, et al. Coordinated mechanism between comprehensive land consolidation and rural transformation development in plain agricultural areas of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(8):1971-1986. (in Chinese with English abstract)
- [22] 姜珊, 王冬艳, 李红, 等. 土地整治效益评价研究综述[J].
安徽农业科学, 2014, 42(31): 11163-11166.
JIANG Shan, WANG Dongyan, LI Hong, et al. Research review on land consolidation benefit evaluation[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2014, 42(31): 11163-11166. (in Chinese with English abstract)
- [23] 张庶, 金晓斌, 魏东岳, 等. 土地整治项目绩效评价指标设置和测度方法研究综述[J]. *中国土地科学*, 2014, 28(7): 90-96.
ZHANG Shu, JIN Xiaobin, WEI Dongyue, et al. Review on the index systems and methods on assessing the performance of land consolidation projects[J]. *China Land Sciences*, 2014, 28(7): 90-96. (in Chinese with English abstract)
- [24] 王军, 李正, 白中科, 等. 土地整理对生态环境影响的研究进展与展望[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(S1): 340-345.
WANG Jun, LI Zheng, BAI Zhongke, et al. Progress and prospect of ecological environment impact of land consolidation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(S1): 340-345. (in Chinese with English abstract)
- [25] 王军, 严慎纯, 白中科, 等. 土地整理的景观格局与生态效应研究综述[J]. *中国土地科学*, 2012, 26(9): 87-94.
WANG Jun, YAN Shenchun, BAI Zhongke, et al. Review on landscape patterns of land consolidation and the ecological effects[J]. *China Land Sciences*, 2012, 26(9): 87-94. (in Chinese with English abstract)
- [26] 王军, 钟莉娜, 应凌霄. 土地整治对生态系统服务影响研究综述[J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(9): 803-812.
WANG Jun, ZHONG Lina, YING Lingxiao. Review on the study of the impacts of land consolidation on ecosystem services[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(9): 803-812. (in Chinese with English abstract)
- [27] 王庆日, 郎海鸥, 仲济香, 等. 2023 年土地科学研究重点进展评述及 2024 年展望[J]. *中国土地科学*, 2024, 38(3): 92-104.
- [28] LI P, CHEN Y, HU W, et al. Possibilities and requirements for introducing agri-environment measures in land consolidation projects in China, evidence from ecosystem services and farmers' attitudes[J]. *The Science of the Total Environment*, 2019, 650(2): 3145-3155.
- [29] 陈艳林, 韩博, 金晓斌, 等. 长江经济带耕地产能变化及土地整治影响分析[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(2): 182-193.
CHEN Yanlin, HAN Bo, JIN Xiaobin, et al. Analysis of the cropland productivity change and the impact of land consolidation in the Yangtze River Economic Zone[J].
- Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)**, 2023, 39(2): 182-193.
(in Chinese with English abstract)
- [30] 梅文静, 郭青霞, 李淑红, 等. 基于风貌提升视角的乡村全域土地综合整治策略——以和顺县阳光占村为例[J/OL].
农业资源与环境学报:1-15[2024-08-19]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2024.0217>
- MEI Wenjing, GUO Qingxia, LI Shuhong, et al. Strategy of comprehensive land improvement in rural areas from the perspective of landscape improvement : A case study of Yangguangzhan Village in Heshun County[J/OL]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*:1-15[2024-08-19].<https://doi.org/10.13254/j.jare.2024.0217> (in Chinese with English abstract)
- [31] 黄毓, 顾呈剑, 周就猫, 等. 内置 RTK 无人机航拍技术在土地整治项目测绘与辅助规划设计中的应用[J]. *湖南科技大学学报 (自然科学版)*, 2022, 37(3): 87-94.
HUANG Yu, GU Chengjian, ZHOU Jiumao, et al. Application of unmanned aerial vehicle equipped with RTK photographing in surveying and mapping of land consolidation project[J]. *Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2022, 37(3): 87-94. (in Chinese with English abstract)
- [32] 胡振琪. 我国土地复垦与生态修复 30 年: 回顾、反思与展望[J]. *煤炭科学技术*, 2019, 47(1): 25-35.
HU Zhenqi. The 30 years' land reclamation and ecological restoration in China: review, rethinking and prospect[J]. *Coal Science and Technology*, 2019, 47(1): 25-35. (in Chinese with English abstract)
- [33] 刘彦随, 李裕瑞. 黄土丘陵沟壑区沟道土地整治工程原理与设计技术[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(10): 1-9.
LIU Yansui, LI Yurui. Engineering philosophy and design scheme of gully land consolidation in Loess Plateau[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2017, 33(10): 1-9. (in Chinese with English abstract)
- [34] 唐秀美, 任艳敏, 潘瑜春. 基于景观格局与限制性因素分析的土地整治规划设计[J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2015, 51(4): 677-684.
TANG Xiumei, REN Yanmin, PAN Yuchun. Planning and design modes of land consolidation based on analysis of landscape pattern and restrictive factors[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensi*, 2015, 51(4): 677-684. (in Chinese with English abstract)
- [35] 魏成国, 黄义忠, 牟禹恒, 等. 景观生态视角下的耕地细碎化及土地整治分区——以文山壮族苗族自治州为例[J]. *西南师范大学学报 (自然科学版)*, 2022, 47(9): 82-90.
WEI Chengguo, Huang Yizhong, Mu Yuheng, et al. Cultivated land fragmentation and guidance of land consolidation based on landscape ecology perspective: A case study of Wenshan Zhuang and Miao Autonomous Prefecture[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2022, 47(9): 82-90. (in Chinese with English abstract)
- [36] 郑倩, 张宗毅, 李洪波. 基于专利计量的谷物收割机技术竞争态势分析[J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(12): 262-275.

- ZHENG Qian, ZHANG Zongyi, LI Hongbo. Analysis on the technical competition situation of grain harvester based on patent measurement[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(12): 262-275. (in Chinese with English abstract)
- [37] 张洪波, 廖启鹏. 我国资源型城市废弃矿区土地再利用研究进展与趋势分析: 基于 CiteSpace 的知识图谱分析[J]. 中国矿业, 2023, 32(8): 9-18.
- ZHANG Hongbo, LIAO Qipeng. Research progress and trend analysis of land reuse in abandoned mining area in resource-based cities in China based on knowledge graph analysis of CiteSpace[J]. *China Mining Magazine*, 2023, 32(8): 9-18. (in Chinese with English abstract)
- [38] 应荷香, 赵骞, 张朝忙, 等. 土地全生命周期管理的知识图谱构建及应用[J]. 测绘科学, 2022, 47(6): 161-167.
- YING Hexiang, ZHAO Qian, ZHANG Chaomang. Construction and application of knowledge graph for whole life cycle of land management[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2022, 47(6): 161-167. (in Chinese with English abstract)
- [39] CHEN C, HU Z, LIU S, et al. Emerging trends in regenerative medicine: A scientometric analysis in CiteSpace[J]. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 2012, 12(5): 593-608.
- [40] 陈锐, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- CHEN Yue, CHEN Chaomei, LIU Zeyuan, et al. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253. (in Chinese with English abstract)
- [41] 高云峰, 徐友宁, 祝雅轩, 等. 矿山生态环境修复研究热点与前沿分析——基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的大数据可视化研究[J]. 地质通报, 2018, 37(12): 2144-2153.
- GAO Yunfeng, XU Youning, ZHU Yaxuan, et al. An analysis of the hotspot and frontier of mine eco-environment restoration based on big data visualization of VOSviewer and CiteSpace[J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(12): 2144-2153. (in Chinese with English abstract)
- [42] 车万翔, 窦志成, 冯岩松, 等. 大模型时代的自然语言处理: 挑战、机遇与发展[J]. 中国科学: 信息科学, 2023, 53(9): 1645-1687.
- CHE Wanxiang, DOU Zhicheng, FENG Yansong, et al. Towards a comprehensive understanding of the impact of large language models on natural language processing: challenges, opportunities and future directions[J]. *Scientia Sinica Informationis*, 2023, 53(9): 1645-1687. (in Chinese with English abstract)
- [43] 叶雪梅, 毛雪岷, 夏锦春, 等. 文本分类 TF-IDF 算法的改进研究[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(2): 104-109.
- YE Xuemei, MAO Xuemin, XIA Jinchun, et al. Improved approach to TF-IDF algorithm in text classification[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2019, 55(2): 104-109. (in Chinese with English abstract)
- [44] TSHITOYAN V, DAGDELEN J, WESTON L, et al. Unsupervised word embeddings capture latent knowledge from materials science literature[J]. *Nature*, 2019, 571(7763): 95-98.
- [45] 邝宛琪, 朱道林, 汤怀志. 中国土地整治战略重塑与创新[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(4): 1-8.
- YUN Wanqi, ZHU Daolin, TANG Huazhi. Reshaping and innovation of China land consolidation strategy[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(4): 1-8. (in Chinese with English abstract)
- [46] LI X, MA E, QU H. Knowledge mapping of hospitality research—A visual analysis using CiteSpace[J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2017, 60: 77-93.
- [47] 刘永强, 戴琳, 龙花楼, 等. 乡村振兴背景下土地整治模式与生态导向转型——以浙江省为例[J]. 中国土地科学, 2021, 35(11): 71-79.
- LIU Yongqiang, DAI Lin, LONG Hualou, et al. Land consolidation mode and ecological oriented transformation under the background of rural revitalization: A case study of Zhejiang province[J]. *China Land Science*, 2021, 35(11): 71-79. (in Chinese with English abstract)
- [48] 张绍良, 杨永均, 侯湖平, 等. 基于恢复力理论的“土地整治+生态”框架模型[J]. 中国土地科学, 2018, 32(10): 83-89.
- ZHANG Shaoliang, YANG Yongjun, HOU Huping, et al. A framework model of “land consolidation + ecology” based on resilience theory[J]. *China Land Science*, 2018, 32(10): 83-89. (in Chinese with English abstract)
- [49] SHAN W, JIN X, REN J, et al. Ecological environment quality assessment based on remote sensing data for land consolidation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 239: 118126.
- [50] 曾吉彬, 邵景安, 谢德体. 基于遥感影像的重庆高标准基本农田建设难度与时序分析[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(23): 267-278.
- ZENG Jibin, SHAO Jing'an, XIE Deti. Study on difficulty and time sequence of construction of high standard basic farmland in Chongqing based on remote sensing images[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2018, 34(23): 267-278. (in Chinese with English abstract)
- [51] 肖武, 阮琳琳, 岳文泽, 等. 面向国土空间生态保护修复的多尺度成效评估体系构建[J]. 应用生态学报, 2023, 34(9): 2566-2574.
- XIAO Wu, RUAN Linlin, YUE Wenze, et al. Construction of a multi-scale effectiveness evaluation system for ecological restoration and protection of territorial space[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34(9): 2566-2574. (in Chinese with English abstract)
- [52] 顾铮鸣, 金晓斌, 杨晓艳, 等. 基于无人机遥感影像监测土地整治项目道路沟渠利用情况[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(23): 85-93.
- GU Zhengming, JIN Xiaobin, YANG Xiaoyan, et al. Monitoring roads and canals utilization condition for land consolidation project based on UAV remote sensing image[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2018, 34(23): 85-93. (in Chinese with English abstract)

Progress and trends of China's land consolidation engineering technologies based on patentometrics and bibliometrics analysis

RUAN Linlin¹, XIAO Wu^{1*}, CHEN Hangyu², JIANG Zhuoren¹, YUAN Yiming³,
ZHANG Hongmei^{4,5}, HOU Changli^{4,5}

(1. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Research Center for Regional Coordinated Development, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. School of Economics, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 4. Anhui Provincial Land and Space Planning Research Institute, Hefei 230601, China; 5. Key Laboratory of JiangHuai Arable Land Resources Protection and Eco-restoration(ARPE), Ministry of Natural Resources, Hefei 230601, China)

Abstract: Land consolidation is a crucial approach to addressing the conflicts between people and land, resolving land use issues, and promoting rural revitalization. The advancement of land consolidation engineering technology is essential for the protection of farmland, the promotion of industrial development, and the enhancement of the human settlement environment. This study analyzes 3,439 invention patents and 3,392 references related to land consolidation engineering. Using bibliometric and semantic analysis methods, it explores the subjects of research and development, identifies hotspots and trends, and anticipates future directions for research and development in land consolidation engineering. According to the Land Consolidation Blue Book: China Land Consolidation Development Research Report No. 4, China's land consolidation has undergone a transition from land consolidation 1.0 to land consolidation 4.0. During this period, the number of land consolidation patents issued in China increased year by year, showing an overall exponential growth trend. It has experienced slow, steady and rapid growth stages. As far as inventors and invention institutions are concerned, although there are influential scholars and institutions in land consolidation inventions, land consolidation patent inventions are still sporadic and scattered. The collaboration network of land consolidation patent inventors exhibits a distribution pattern characterized by primary concentration with secondary dispersion. Compared with enterprises, inventors from universities and research institutes cooperate more closely, but the scale of the cooperation network is smaller. In the process of land consolidation technology change, three major development paths have been formed: (1) Research and development of methods and equipment for implementation of soil consolidation: focusing on the invention of structural components and equipment directly related to engineering implementation; (2) Research and development of soil improvement technology: focusing on the remediation of contaminated soil (including soil passivation and soil stabilization), soil fertility improvement, desertification land management and, and saline-alkali soil improvement. The results of the patent research and development keyword timeline show that with the passage of time, the keywords of land consolidation engineering technology have shifted from single to multiple, and the research and development fields have expanded from land preparation methods and agricultural uses to windbreak and sand fixation, soil improvement and land consolidation machinery. The keywords related to land preparation methods, agricultural uses, and weathering prevention exhibit significant continuity and an extensive time span. In the land consolidation 1.0 and 2.0 stages, far-reaching keywords like land preparation methods, agricultural uses, and preventing weathering appeared; in the land consolidation 3.0 and 4.0 stages, the research and development fields of land consolidation patents have become more diverse, especially the research and development of new materials and reagents of soil improvement and windbreak and sand fixation. The co-occurrence results of keywords in the literature on land consolidation projects show that land reclamation is the topic of most focus in the literature on land consolidation projects. Ecological restoration and ecological environment, planning and design of land consolidation projects, evaluation and models have received attention in literature research but are rarely involved in the field of patent research and development. 3) In the future, ecological land consolidation, innovative multi-source remote sensing intelligent monitoring for land consolidation, and project management of land consolidation are key areas and development directions that need to be focused on. This study can provide directions for the research and application of land consolidation engineering technologies in the future.

Keywords: land consolidation; patent; bibliometrics; semantic analysis; evolutionary trajectory