果 树 学 报 2025,42(12):3008-3017
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250319

基于文献计量和问卷调查的中国果树科学研究现状与发展趋势分析

卢 刚[1],陈 姗[3],宋立志[1,2],徐 强[1,2*]

([1]华中农业大学果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室,武汉 430070;[2]华中农业大学园艺林学学院,武汉 430070;[3]华中农业大学图书馆,武汉 430070)

摘 要:梳理中国果树领域研究现状与发展趋势,识别制约产业发展的关键问题,提出有针对性的技术路径与政策建议。采用文献计量与问卷调研方法,分析2015—2024年SCIE数据库果树领域文献,并结合产业一线问卷调查进行归纳总结。中国果树领域研究在论文数量和被引频次方面居全球首位,柑橘、苹果等为主要研究对象,代谢组学、机器学习等方法应用显著增长。在种质创新、栽培技术等方向具有领先优势。调研结果显示,产业主要瓶颈包括采后加工薄弱、栽培技术缺乏、品种结构单一,宜机化品种与省力化技术成为重点需求。中国果树研究国际影响力显著,但研究结构仍需优化。建议加强基础研究与应用需求衔接,推进跨学科协同创新,提升成果转化效率,助推果树产业高质量发展。

关键词:果树;研究现状;发展趋势;文献计量;问卷调查

中图分类号:S66 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2025)12-3008-10

Research status and development trend of fruit tree science in China based on bibliometric and questionnaire survey

LU Gang[1], CHEN Shan[3], SONG Lizhi[1,2], XU Qiang[1,2*]

([1]National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; [2]College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; [3]Library of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: China's fruit industry, an important constitute of agricultural economics, contributes significantly to nutrition security, farmer livelihoods, and rural revitalization. This significance is quantitatively underscored by the national fruit production which reached 327 million tons in 2023. However, persistent challenges, including ongoing threats from diseases and pests, substantial postharvest wastage occurring along the industrial chain, and low rates of mechanization adoption within orchard operations, impose constraints upon the industry's upgrading and sustainable development. To systematically bridge the evident gap between academic research and practical industry demands, this study strategically integrated two methodological approaches, bibliometric analysis and multi-stakeholder surveys, aiming to achieve three specific and interconnected objectives: firstly, to evaluate China's current statues in the scope of the global research landscape while concurrently identifying key industry bottlenecks; secondly, to assess the degree of alignment between scientific outputs generated through research activities and the practical demands articulated by industry development; and thirdly, to propose actionable priority pathways capable of guiding the industry toward smarter and more sustainable transformation models. Our methodological approach involved conducting a thorough bibliometric analysis encompassing

收稿日期:2025-06-03 **接受日期:**2025-06-12

基金项目:中国工程院工程科技学术研讨项目(2024-XS-6);华中农业大学科技战略研究项目(2662024PY009)

作者简介:卢刚,男,助教,硕士,研究方向为科技创新与实验室管理。Tel:027-87283928,E-mail:lugang@mail.hzau.edu.cn

***通信作者** Author for correspondence. Tel:027-87286623,E-mail:xuqiang@mail.hzau.edu.cn

a substantial corpus of 60 761 SCIE-indexed scholarly articles published globally within the timeframe spanning January 2015 through July 2024. This quantitative examination was systematically executed utilizing the Web of Science database accessed via the InCites Benchmarking & Analytics platform alongside the specialized visualization software VOSviewer (version 1.6.19.0), enabling detailed analyses, including keyword co-occurrence network mapping, thematic clustering identification, and longitudinal trend evaluations tracking shifts over the decade. Concurrently, to capture grounded perspectives directly from the fruit field, we administered and subsequently analyzed 314 rigorously validated questionnaires distributed across a representative range of key industry stakeholders. This included scientists from the national modern agricultural industry technology system (constituting 48.3% of respondents), orchard manager or association (18.7%), governmental policymakers (11.2%), field technicians (14.6%), commercial enterprise representatives involved in the fruit sector (3.1%), and additional relevant contributors (4.0%). China plays a leading role in the science of fruit tree research, evidenced by the remarkable output of 19 635 SCIE publications that represent 32.32% of the total global scholarly output in this domain, coupled with an even more substantial citation impact totaling 323 090 citations which constitutes 36.81% of all global citations. This leadership position is further solidified by demonstrating significant and consistent annual growth, escalating from a base of 996 publications in 2015 to 3311 publications in 2022. Simultaneously, China's contribution to globally influential research is highlighted by its production of 248 ESI highly cited papers, representing a dominant 63.59% global share, which are predominantly focused on anthocyanin biosynthesis, fruit firmness, and deep learning. Cluster analysis identified seven core research themes: bioactive compounds/quality regulation, molecular mechanism of fruit development/stress response, pest-pathogen management and pathogen interaction, postharvest physiology and storage technology, flavor metabolomics and detection, smart phenotyping, and oxidative stress/nutrition. These themes centered on key species like apple, citrus, grape, and peach. Emerging research areas included multi-omics and machine learning. Surveys revealed a pronounced research-industry misalignment. Bibliometrics indicated a dominant academic focus on fundamental questions (e.g., molecular regulation) and emerging technologies (e.g., smart detection), whereas industry surveys identified critical bottlenecks: inadequate postharvest processing capacities (15.6%), inadequate labor-saving cultivation techniques (11.0%), and limited cultivar diversity (10.1%). Based on nationwide surveys, breeding and promotion of varieties (14.6%), pest and disease control (9.8%), and R & D in labor-saving mechanization (9.6%) ranked as the top three urgent technological problems, with scientists similarly emphasizing cultivar development (14.8%) and R & D in labor-saving mechanization (11.6%). Technology-specific demands revealed strategic shifts in germplasm innovation toward high-quality, strong resilience, and machine-adaptability traits over yield maximization; seedling production required breakthroughs in efficient virus-free techniques for seedlings, efficient virus detection, and mechanized grafting and production techniques; cultivation management necessitated essential advances in simplified cultivation, high-quality cultivation, high-yield cultivation, and eco-friendly techniques. Over the past decade, China's fruit research has achieved remarkable progress in fundamental studies and high-impact research outputs. It leads in both total SCIE publications and highly cited papers, demonstrating substantially enhanced international influence and innovation capacity. However, critical technological bottlenecks exist. These include inadequate postharvest processing capacities and underdeveloped mechanization systems, which hinder the transformation of research achievements. Meanwhile, a partial misalignment exists between current research priorities and industrial needs, compounded by underdeveloped applied technology frameworks and suboptimal knowledge transfer pathways.

Future efforts should prioritize interdisciplinary collaboration integrating genetics, cultivation management, and agricultural engineering to strengthen mechanization innovation. We propose focusing on machine-adaptability as the pivotal breakthrough. Specifically, this entails developing mechanization-compatible cultivars with corresponding cultivation techniques. Moreover, we should establish a closed-loop mechanism connecting “basic research - applied technologies - industry extension” to propel China's fruit industry toward high-quality, smart, and sustainable development.

Key words: Fruit tree; Research status; Development trend; Bibliometrics; Questionnaire survey

果树产业是中国农业经济的重要组成部分，其产品不仅为消费者提供了丰富的营养来源，也是促进农民增收和乡村振兴的重要支柱[1]。国家统计局数据显示，2023年中国水果总产量达3.27亿t，持续稳居全球首位[2]。然而，中国果树产业仍面临重大病虫害防控压力持续存在、采后损耗率居高不下、机械化水平较低等瓶颈，严重制约了产业的提质增效[2]。如何驱动果树产业升级，已成为学术界与产业界共同关注的核心议题。

文献计量学与问卷调查作为揭示研究趋势和产业需求的重要方法，在农业领域获得广泛应用。文献计量学通过量化分析科研产出（如SCIE论文发表量、高被引论文数量等），可系统追踪研究热点与技术演进[3-5]。例如，王弋等[6]基于Web of Science数据库，对2011—2021年中国园艺学领域SCI论文进行文献计量分析，发现国家自然科学基金是该领域近10年SCI论文的主要资助来源，阐明了中国科研资助状况。在另一项研究中，Ni等[7]对2013年1月至2023年6月的果实品质相关文献进行文献计量分析，识别出光合作用、果实发育和分子育种为该领域的研究重点，揭示了中国果实品质的研究热点。

问卷调查作为获取生产者、消费者及产业链参与者主观认知与实践需求的关键方法，可直接识别出产业链各环节的实践痛点与技术需求[8-10]。然而，尽管问卷调查是了解产业现状最直接有效的途径，但针对中国园艺产业（包括果树）的系统性问卷调查研究仍相对匮乏。王陆等[11]通过问卷调研沽源县农户行为对蔬菜绿色生产的影响，据此提出了促进当地蔬菜产业健康发展与农户增收的建议。Wuepper等[12]则利用跨国问卷调查数据，分析了欧洲葡萄种植户对病虫害绿色防控技术采纳程度的差异。综上，结合文献计量学与问卷调查，可有效弥合“学术研究-产业应用”间的信息鸿沟，但目前将两者进行整合的研究仍不多见。

笔者基于2015—2024年全球果树领域60 761篇SCIE论文以及314份产业调研问卷，整合文献计量学与问卷调查方法，旨在达成以下目标：（1）解析中国果树研究的国际学术地位、核心研究热点及产业发展现状；（2）评估果树领域基础研究/技术研发与产业实际需求间的匹配度；（3）明确未来优先发展方向，助力中国果树产业实现智能化与可持续发展转型。本研究结果将为优化科研资源配置、推动果树产业向智能化与可持续方向升级提供科学支撑。

1 材料来源及分析方法

1.1 数据来源与主要评价指标

基于SCIE（科学引文索引）数据库，检索2015年1月1日至2024年7月31日全球园艺产业果树领域英文研究论文（Article类型）。通过对整体论文产出、国家/地区分布、发文机构、关键词及研究主题分布、高被引论文、重点技术领域研究态势等进行多维度的定量与定性分析，并结合可视化手段进行多层次解析。

1.2 文献分析方法

采用Web of Science数据库及InCites平台进行数据检索与分析，并利用Excel软件对检索结果实施数据合并、去重及消噪等预处理。借助VOSviewer（版本1.6.19.0）等可视化文献分析工具，对全球园艺产业果树领域研究文献进行统计分析与可视化呈现。需说明的是，2024年数据仅收录至7月31日，为不完整年度数据。为系统分析近十年（2015—2024年）该领域总体研究状况与发展态势，2024年数据仍纳入本报告分析范围。由于数据库因素，本文中的中国文献计量情况仅包含中国大陆地区文献。

1.3 调查问卷

调查问卷包含3个问答题和5个选择题，内容涵盖果树产业发展的关键问题、科研技术需求、病虫害现状、新品种需求、嫁接技术、种苗生产技术、栽培管

理技术以及机械化生产障碍等方面。本次调研共计回收有效问卷314份。受访者构成如下：国家现代农业产业技术体系岗站专家（155人，48.3%）、生产者（60人，18.7%）、政府部门管理者（36人，11.2%）、技术人员（47人，14.6%）、企业代表（10人，3.1%），另有13人（4.0%）未填写人员类型。需说明的是，其中3份问卷的填写者同时涉及2类身份，2份问卷的填写者同时涉及3类身份。

2　结果与分析

2.1　研究活跃程度及影响力的对比分析

2015—2024年，全球园艺产业果树领域共发表SCIE论文60 761篇，总被引频次达877 842次。其中，中国大陆发文19 635篇，被引频次323 090次，分别占全球总发文量和总被引频次的32.32%和36.81%，在数量与影响力方面均居世界首位。全球年度发文量总体呈增长趋势，于2022年达到峰值（8368篇）。同期，中国大陆年发文量由2015年的996篇增长至2022年的3311篇，其占比提升至39.57%，增长势头显著（图1）。从国家/地区分布看，全球共有169个国家/地区参与发表，发文量前3名分别为中国大陆、美国与巴西。

高被引论文（ESI）作为衡量科研成果质量与国际影响力的重要指标，进一步印证了中国的学术领

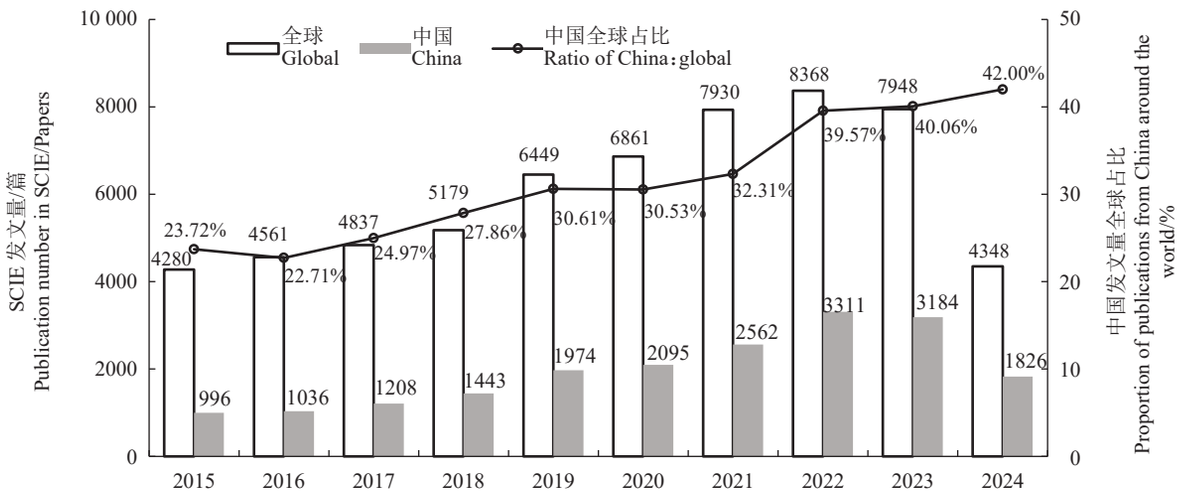


图1　中国与全球果树领域SCIE年度发文趋势

Fig. 1　Annual trends in SCIE publications on fruit trees in China and globa

先地位。数据显示，中国发表248篇高被引论文，累计被引频次29 764次，数量和被引频次均显著高于美国（61篇，9056次），高被引论文数量占全球总量的51.13%（图2），展现出卓越的科研产出能力。这些高被引论文的研究主题集中于花青素生物合成、果实硬度、深度学习、盐胁迫与壳聚糖等方向，其中花青素生物合成领域优势最为突出，相关论文达40篇，凸显了中国在果树品质形成与功能成分研究方面的国际引领地位。

2.2　研究热点分析

为解析中国果树研究热点，笔者应用VOSviewer软件对相关文献关键词进行了共现与聚类分析。设定关键词出现频率≥50次为阈值，共筛选出156个关键词，聚类形成7个研究主题（图3）。主题分布如下：生物活性成分与果实品质调控、果实发育与逆境分子机制、病虫害防控与病原互作、采后生理与贮藏技术、风味代谢物与检测、智能检测与表型分析、氧化应激与营养代谢。高频关键词中，苹果、柑橘、葡萄、桃、梨、草莓及猕猴桃等被频繁提及，集中体现了中国果树研究的核心物种布局，凸显了其在基础研究与应用技术开发中的主导地位。主题聚类时序分析显示，代谢组与转录组、机器学习及深度学习是近10年中国果树研究的新兴方向。进一步分析784个微观主题发现，热点领域（发文量＞500篇）主要集中在硬度、花青素生物合成、酿酒学、拟南芥、抗氧化活性、盐胁迫、化学计量学及茉莉酸等方向。其中，硬度以2449篇的发文量显著领先于其他微观主题。

2.3　果树产业重点技术研究情况

种质创新与新品种培育、性状解析、栽培技术是果树产业研究的三大核心方向。基于SCIE数据库

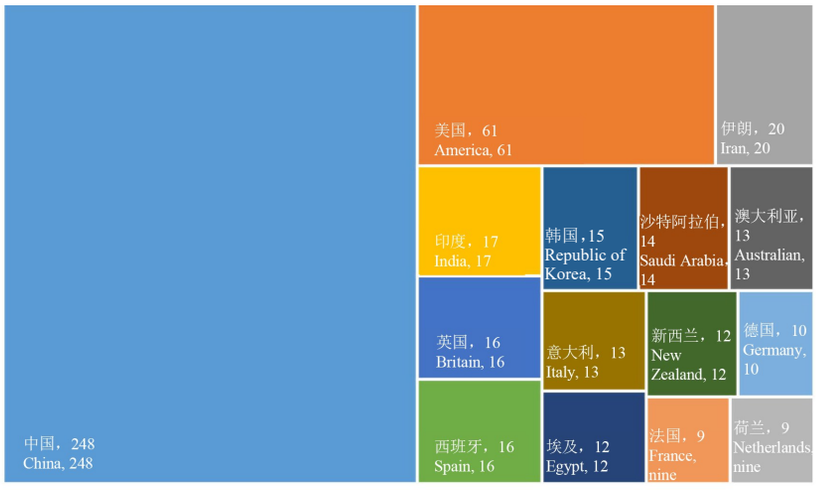
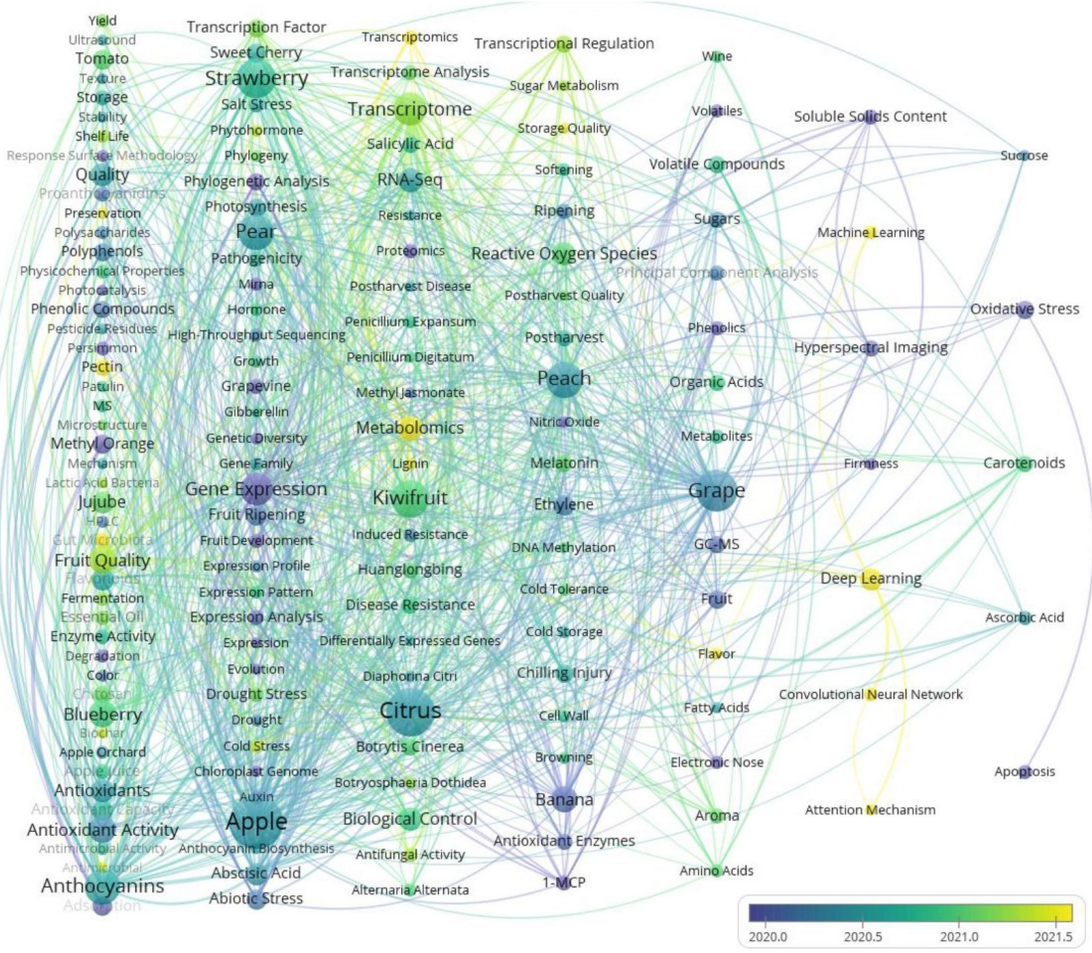


图 2　全球果树领域基本科学指标(ESI)高被引论文发文量前 15 国家/地区

Fig. 2　The top 15 countries/regions with the highest number of citations in the Essential Science Indicators (ESI) for fruit trees



圆圈大小与主题词出现的频次成正比；颜色代表关键词出现的时间，颜色越深说明关键词出现在研究早期，颜色越浅说明关键词出现的时间越接近现在。

Circle size is proportioned to the frequency of subject word occurrence. The color gradient indicates the timeline of the keywords, with darker colors representing earlier occurrences and lighter colors indicating more recent ones.

图 3　中国果树领域主要研究主题聚类时序图

Fig. 3　Clustering sequence diagram of key research topics in fruit trees in China

与InCites平台的数据分析显示，全球果树领域在种质创新、性状解析及栽培技术方向的年度发文量均呈增长态势（表1）。中国在上述3个方向的发文量均居全球首位：种质创新方向3794篇，性状解析方向19 060篇，栽培技术方向745篇。从全球发文峰值看，种质创新与性状解析方向均在2022年达到最高，而栽培技术方向则在2023年达到峰值。中国各方向增长趋势显著。种质创新方向，发文量由2015年的206篇（占全球17.53%）增至2022年的679篇（占全球33.70%）；性状解析方向，发文量由2015年的969篇（占全球23.41%）增至2022年的3209篇（占全球39.45%）；栽培技术方向，发文量由2015年的25篇（占全球16.13%）增至2023年的159篇（占全球33.54%）。综上，近10年中国果树研究在三大核心

表1　中国与全球在果树领域重点技术方向SCIE年度发文趋势

Table 1　Annual trends in SCIE publications on key technology of fruit trees in China and globally　篇 Papers

年份 Years	种质创新与新品种培育 Germplasm innovation and new varieties breeding			性状解析 Trait analysis			栽培技术 Cultivation technology		
	全球 Global	中国 China	占比 Ratio of China: global/%	全球 Global	中国 China	占比 Ratio of China: global/%	全球 Global	中国 China	占比 Ratio of China: global/%
2015年 In 2015	1175	206	17.53	4139	969	23.41	155	25	16.13
2016年 In 2016	1176	187	15.90	4416	1005	22.76	194	35	18.04
2017年 In 2017	1282	241	18.80	4695	1175	25.03	174	24	13.79
2018年 In 2018	1311	284	21.66	5028	1385	27.55	196	36	18.37
2019年 In 2019	1636	384	23.47	6272	1926	30.71	271	51	18.82
2020年 In 2020	1694	410	24.20	6650	2034	30.59	315	65	20.63
2021年 In 2021	1895	443	23.38	7680	2480	32.29	384	101	26.30
2022年 In 2022	2015	679	33.70	8135	3209	39.45	440	137	31.14
2023年 In 2023	1891	621	32.84	7710	3096	40.16	474	159	33.54
2024年 In 2024	997	339	34.00	4220	1781	42.20	288	112	38.89

技术方向不仅增长迅速，而且国际影响力持续提升。

2.4　中国果树产业面临的关键问题与急需科技攻关的科学问题

基于对各省份果树产业管理者、生产者、技术人员、加工营销人员及国家现代农业产业技术体系岗站专家的综合调研，中国果树产业发展面临的核心问题依次为：采后及加工能力不足（15.6%）、轻简化/省力化栽培技术缺乏（11.0%）和品种结构单一（10.1%）。产业布局不合理（6.9%）与机械化障碍（5.9%）分列第4、5位（图4-A）。关于急需解决的技术难题，全国范围调查显示：品种培育与推广（14.6%）、病虫害防治（9.8%）及机械化/省力化技术研发（9.6%）位列前三（图4-B）。而针对国家现代农业果树产业技术体系岗站专家的调查则表明：品种培育与推广（14.8%）、机械化/省力化技术研发（11.6%）及采后加工技术提升（9.6%）是其最关注的三大技术难题（图4-C）。综合可见，品种培育与推广和机械化/省力化技术研发是受访群体共同关注的两类核心焦点，高度契合中国果树产业当前需求与发展趋势。

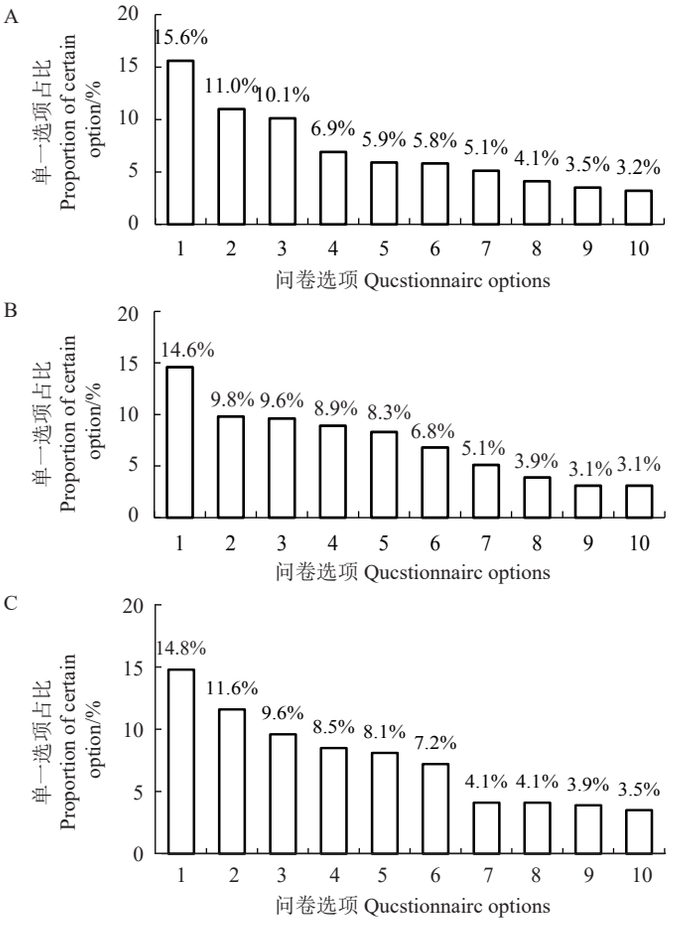
2.5　中国果树产业重点技术方向急需解决的关键问题

调研结果表明，在种质创新与新品种培育方向，受访者普遍认为产量已不再是制约中国果树产业发展的关键因素。品质优异、抗性强及适宜机械化操作（宜机化）成为当前及未来果树新品种培育的核心目标（图5-A）。在良种规模化生产环节，亟须重点突破的三大关键技术：种苗高效脱毒技术、机械化嫁接与生产技术、宜机化移栽育苗技术（图5-B）。针对栽培管理技术，产业迫切需求集中在四大方向：轻简化栽培技术、宜机化栽培技术、高品质栽培技术及绿色安全生产技术（图5-C）。综上，中国果树产业的技术需求高度集中于提升品种抗性、实现宜机化作业与优化果实品质。

3　讨　论

3.1　国际学术影响力持续增强，研究结构亟待优化

近年来，中国果树研究的国际学术影响力持续攀升，在高水平成果产出方面取得显著突破。SCIE



A. 中国果树产业发展面临的关键问题：1. 采后及加工能力不足；2. 栽培管理技术缺乏；3. 品种结构单一；4. 产业布局缺乏；5. 产业机械化存在障碍；6. 市场销售困难；7. 逆境及病虫害严重；8. 优良种苗（木）/ 菌种缺乏；9. 品牌建设不足；10. 产业链短缺。B. 急需科技攻关的科学问题（受访者综合调查结果）：1. 加强品种培育与推广；2. 病虫害防治；3. 机械化省力化研发；4. 栽培管理技术水平提升；5. 采后及加工能力提升；6. 轻简化栽培；7. 品质提升；8. 肥水高效利用；9. 育种技术应用；10. 智能化栽培。C. 岗位科学家认为急需科技攻关的科学问题：1. 加强品种培育与推广；2. 机械化省力化研发；3. 采后及加工能力提升；4. 轻简化栽培；5. 病虫害防治；6. 栽培管理技术提升；7. 肥水高效利用；8. 智能化栽培；9. 育种技术应用；10. 农药和生物防治方法研发。

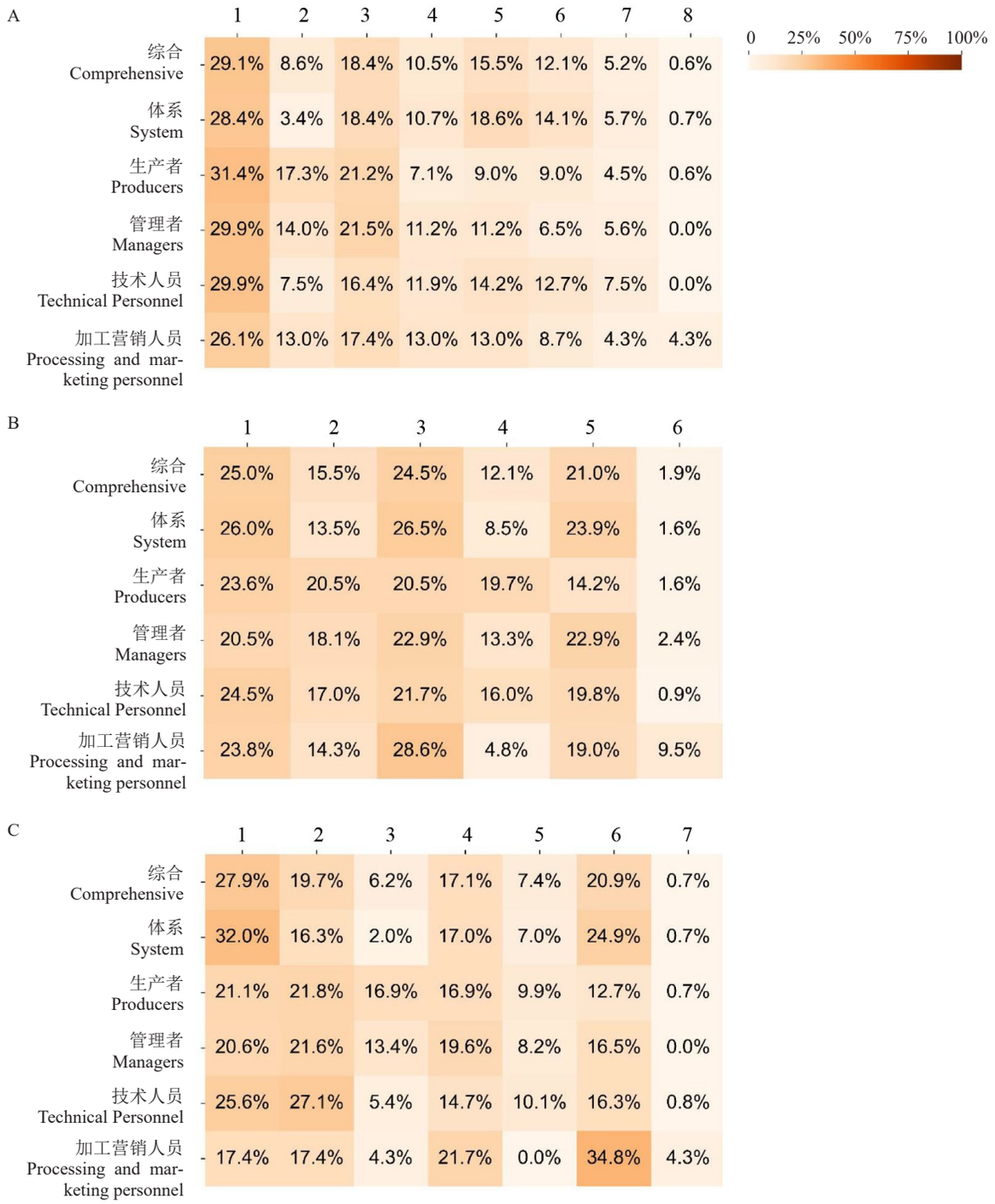
A. Key issues facing the development of fruit tree industry in China: 1. Inadequate postharvest processing capacities; 2. Lack of cultivation management techniques; 3. Limited varietal diversity; 4. Lack of industrial layout; 5. Obstacles to industrial mechanization; 6. Difficulties in sales; 7. Severe abiotic stress and severe pests/diseases; 8. Shortage of high-quality planting stock and microbial strains; 9. Insufficient brand building; 10. Industry chain dislocation. B. Scientific research priorities deemed urgent (Based on comprehensive survey results): 1. Strengthening breeding and promotion of varieties; 2. Pest and disease management; 3. R&D in labor-saving mechanization; 4. Improvement on cultivation management techniques; 5. Improvement on postharvest processing capacities; 6. Simplified cultivation; 7. Improvement on quality; 8. Efficient utilization of nutrient-rich water; 9. Application of breeding techniques; 10. Intelligent cultivation. C. Scientific research priorities deemed urgent by position scientists: 1. Strengthening breeding and promotion of varieties; 2. R&D in labor-saving mechanization; 3. Improvement on postharvest processing capacities; 4. Simplified cultivation; 5. Pest and disease management; 6. Improvement on cultivation management techniques; 7. Efficient utilization of nutrient-rich water; 8. Intelligent cultivation; 9. Application of breeding techniques; 10. R&D on pesticide and biological control methods.

图 4 中国果树产业发展面临的关键问题与急需科技攻关的科学问题

Fig. 4 Key issues in the development and scientific problems requiring urgent research of fruit tree industry in China

数据库显示，中国在果树领域的论文发表量、高被引论文数量及总被引频次均居全球首位，彰显出强劲的科研综合实力。同时，源自本土的高质量研究成果显著增长。以柑橘为例，华中农业大学近10年在*Science*、*Nature Genetics*等国际顶尖期刊发表多项突破性成果[13-16]，充分彰显了中国在果树研究领域的国际引领地位。

然而，基于文献计量与研究热点分析，当前中国果树研究结构仍存在两方面亟须优化的问题。一是作物研究类型趋于集中，研究同质化现象较为突



A. 对新品种性状需求：1. 品质优；2. 产量高；3. 抗性强；4. 特早熟或特晚熟；5. 适宜机械化；6. 易栽培；7. 具有特殊功效；8. 其他。B. 种苗生产中急需解决的关键技术：1. 种苗高效脱毒技术；2. 病毒高效检测技术；3. 机械化嫁接与生产技术；4. 嫁接成活效率提高技术；5. 宜机化移栽育苗技术；6. 其他。C. 急需的栽培管理技术：1. 轻简化栽培技术；2. 高品质栽培技术；3. 高产栽培技术；4. 绿色安全生产技术；5. 熟期调控栽培技术；6. 宜机化栽培技术；7. 其他。

A. Demand for new varieties: 1. High quality; 2. High yield; 3. Strong resistance; 4. Extra-farly or extra-late maturity; 5. Suitable for mechanization; 6. Easy to cultivate; 7. With special functions; 8. Others. B. Key technologies for seedling production: 1. Efficient virus-free technique for seedlings; 2. Efficient virus; detection technique; 3. Mechanized grafting and production technique; 4. Technique for improving grafting survival efficiency; 5. Mechanization-friendly transplanting and seedling raising technique; 6. Others. C. Essential cultivation and management techniques: 1. Simplified cultivation technique; 2. High-quality cultivation technique; 3. High-yield cultivation technique; 4. Green and safe production technology; 5. Maturity regulation cultivation technique; 6. Mechanization-friendly cultivation technique; 7. Others.

图 5　中国果树产业重点技术方向急需解决的关键问题调查统计

Fig. 5　Survey results on key problems urgently needing solutions in the critical technical areas of fruit industry in China

出。苹果、柑橘等主栽果树长期主导研究方向（图3），而猕猴桃、蓝莓等特色果树的分子遗传基础研究及关键技术创新相对薄弱，限制了研究体系的多样性与系统性。二是关键前沿技术融合度不足。以花青素生物合成为例，尽管该方向已发表40篇ESI高被引论文，成为国际研究热点，但现有成果主要集中于基因表达调控层面，在合成生物学赋能的人工合成路径、功能元件设计与转化应用等方面尚缺乏系统性突破。

综上，未来中国果树研究需进一步拓展作物多样性，加强关键技术的融合创新，尤其要提升合成生物学、智能育种等前沿技术的集成应用能力，推动研究结构向多元、交叉、深度协同的方向持续优化，夯实全球科研竞争力基础。

3.2 研究聚焦与产业需求错位，应用导向型科研体系亟待构建

文献计量分析显示，中国在果树种质创新与新品种培育、性状解析及栽培技术三大领域的全球发文量均居首位，特别是在性状研究方面优势尤为突出。研究热点主要集中于生物活性成分、分子调控机制等基础研究方向，以及采后生理与贮藏技术、智能检测与表型分析等前沿技术领域。然而，问卷调查结果表明，栽培管理技术缺乏（11%）和品种结构单一（10.1%）仍是当前制约果树产业高质量发展的核心问题，尤其采后及加工能力不足（15.6%）和产业机械化存在障碍（5.9%）被普遍认为是亟待突破的关键技术瓶颈。这一差异凸显出科研供给与产业需求之间存在明显错位。

一方面，科研成果向实际应用转化的链条尚不完善，基础研究成果难以快速转化为生产力，实验室技术未能高效延伸至田间实践。另一方面，当前科研立项机制对产业痛点响应不够及时，研究方向设置与生产一线的真实需求之间存在脱节，难以形成协同推进的创新格局。为破解这一困境，建议以产业问题导向为核心优化科研组织机制，在课题遴选、任务部署和成果考核等环节嵌入产业需求视角；同时，依托中国在基础研究方面的积累，推动采后处理、智能装备、精准栽培等关键领域的技术集成与系统突破，形成“基础研究—技术攻关—产业应用”有机衔接、闭环运行的研发体系，为果树产业智能化、高效化和可持续发展提供强有力的科技支撑。

3.3 宜机化成为技术发展核心方向，亟须跨学科协同攻关

调研数据显示，融合种质资源创新与栽培技术两个研究维度分析，宜机化已成为同时统筹品种选育与栽培管理的关键技术诉求，正逐步演化为引领中国果树科技发展的核心主攻方向。果树栽培周期长，管理环节贯穿春夏秋冬，部分晚熟品种甚至需要越冬至次年收获，生产过程劳动强度高、时程分散，对劳动力依赖显著。然而，当前农业劳动力总体呈现素质下降与供给不足的双重压力，且用工成本持续攀升，亟须通过机械化手段降低人力投入、提升作业效率。

在此背景下，发展适宜机械化作业的果树品种与配套技术体系已成为产业转型升级的紧迫任务。由于果树机械化生产涉及遗传育种、栽培学、机械工程、人工智能等多个学科领域，必须打破传统专业壁垒，构建高效的跨学科协同创新体系，推动科技融合与系统集成。基于此，建议重点推进以下三方面技术路径：一是加快农机农艺协同技术体系研发，聚焦植保与运输无人机、水肥一体化智能管理、病虫害自动监测巡检、机械化除草与修剪等关键环节；二是聚力选育适配机械化和智能化作业需求的果树专用品种与种质资源，如适宜宽行密植、具柱状直立株型等品种；三是构建面向宜机化的丘陵果园改造技术体系，集成机械装备、传感数据、作业流程等核心要素，整体提升果园智能化、集约化与高效化水平。

4 结论与展望

过去10年，中国果树研究在基础研究与高水平成果产出方面取得显著进展，SCIE收录论文总量及高被引论文数量均位居全球首位，国际学术影响力持续增强，科研创新能力显著提升。然而，从产业发展需求出发，仍面临多个关键技术瓶颈尚未有效突破，特别是采后加工能力薄弱、机械化技术体系不完善等，制约了科研成果的广泛转化与高效落地。同时，当前科研布局与产业实际需求之间存在一定脱节，应用技术研发体系尚不健全，成果转化路径仍需优化。

未来应以提升果树产业自主创新与支撑服务能力为核心，加快构建跨学科协同创新体系，强化遗传育种、栽培管理、装备工程等多领域深度融合。建议将宜机化作为突破口，聚焦适合机械化作业的品种

选育与配套栽培技术研发，推进关键环节技术集成与工程转化，构建“基础研究—应用技术—产业推广”闭环机制，推动中国果树产业向高品质、智能化和可持续方向迈进。

参考文献 References：

[1] 邓秀新，束怀瑞，郝玉金，徐强，韩明玉，张绍铃，段常青，姜全，易干军，陈厚彬 . 果树学科百年发展回顾[J]. 农学学报，2018，8(1)：24-34.
DENG Xiuxin，SHU Huairui，HAO Yujin，XU Qiang，HAN Mingyu，ZHANG Shaoling，DUAN Changqing，JIANG Quan，YI Ganjun，CHEN Houbin. Review on the centennial development of pomology in China[J]. Journal of Agriculture，2018，8(1)：24-34.

[2] 国家统计局[OL]. 2024. https://www.stats.gov.cn/sj/.
National Bureau of Statistics[OL]. 2024. https://www.stats.gov.cn/sj/.

[3] VAN ECK N J，WALTMAN L. Software survey：VOSviewer，a computer program for bibliometric mapping[J]. Scientometrics，2010，84(2)：523-538.

[4] CHEN C M，HU Z G，LIU S B，TSENG H. Emerging trends in regenerative medicine：A scientometric analysis in CiteSpace[J]. Expert Opinion on Biological Therapy，2012，12(5)：593-608.

[5] CHENG P，TANG H T，DONG Y，LIU K，JIANG P，LIU Y L. Knowledge mapping of research on land use change and food security：A visual analysis using CiteSpace and VOSviewer[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2021，18(24)：13065.

[6] 王弋，唐山，毕杰 . 我国园艺学领域文献计量与 VOSviewer 可视化分析[J]. 安徽农业科学，2022，50(24)：233-237.
WANG Yi，TANG Shan，BI Jie. Bibliometrics and VOSviewer visual analysis in the field of horticulture in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2022，50(24)：233-237.

[7] NI F，LI Z W，HUANG J Z. Worldwide productivity and research trend on fruit quality：A bibliometric study[J]. Frontiers in Plant Science，2024，14：1294989.

[8] DILLMAN D A，SMYTH J D，CHRISTIAN L M. Internet，phone，mail，and mixed-mode surveys：The tailored design method[M]. Hoboken：Wiley，2014

[9] MOSER C M，BARRETT C B. The complex dynamics of smallholder technology adoption：The case of SRI in madagascar[J]. Agricultural Economics，2006，35(3)：373-388.

[10] YUE C Y，TONG C. Organic or local? Investigating consumer preference for fresh produce using a choice experiment with real economic incentives[J]. HortScience，2009，44(2)：366-371.

[11] 王陆，张宝悦，张静，连炳瑞，金亚茹，王激清，杨俊刚 . 农户行为对蔬菜绿色生产的影响分析：基于沽源县农户问卷调查[J]. 现代园艺，2023，46(15)：29-30.
WANG Lu，ZHANG Baoyue，ZHANG Jing，LIAN Bingrui，JIN Yaru，WANG Jiqing，YANG Jungang. The influence of farmers' behavior on green vegetable production-based on the questionnaire survey of farmers in Guyuan county[J]. Contemporary Horticulture，2023,46(15)：29-30.

[12] WUEPPER D，ROLEFF N，FINGER R. Does it matter who advises farmers? Pest management choices with public and private extension[J]. Food Policy，2021，99：101995.

[13] WANG H X，REN J，ZHOU S Y，DUAN Y Y，ZHU C Q，CHEN C W，LIU Z Y，ZHENG Q Y，XIANG S，XIE Z Z，WANG X，CHAI L J，YE J L，XU Q，GUO W W，DENG X X，ZHANG F. Molecular regulation of oil gland development and biosynthesis of essential oils in *Citrus* spp.[J]. Science，2024，383(6683)：659-666.

[14] WANG X，XU Y T，ZHANG S Q，CAO L，HUANG Y，CHENG J F，WU G Z，TIAN S L，CHEN C L，LIU Y，YU H W，YANG X M，LAN H，WANG N，WANG L，XU J D，JIANG X L，XIE Z Z，TAN M L，LARKIN R M，CHEN L L，MA B G，RUAN Y J，DENG X X，XU Q. Genomic analyses of primitive，wild and cultivated citrus provide insights into asexual reproduction[J]. Nature Genetics，2017，49(5)：765-772.

[15] HUANG Y，HE J X，XU Y T，ZHENG W K，WANG S H，CHEN P，ZENG B，YANG S Z，JIANG X L，LIU Z S，WANG L，WANG X，LIU S J，LU Z H，LIU Z A，YU H W，YUE J Q，GAO J Y，ZHOU X Y，LONG C R，ZENG X L，GUO Y J，ZHANG W F，XIE Z Z，LI C L，MA Z C，JIAO W B，ZHANG F，LARKIN R M，KRUEGER R R，SMITH M W，MING R，DENG X X，XU Q. Pangenome analysis provides insight into the evolution of the orange subfamily and a key gene for citric acid accumulation in citrus fruits[J]. Nature Genetics，2023，55(11)：1964-1975.

[16] LIU S J，XU Y T，YANG K，HUANG Y，LU Z H，CHEN S L，GAO X，XIAO G A，CHEN P，ZENG X L，WANG L，ZHENG W K，LIU Z S，LIAO G L，HE F，LIU J J，WAN P F，DING F，YE J L，JIAO W B，CHAI L J，PAN Z Y，ZHANG F，LIN Z C，ZAN Y J，GUO W W，LARKIN R M，XIE Z Z，WANG X，DENG X X，XU Q. Origin and *de novo* domestication of sweet orange[J]. Nature Genetics，2025，57(3)：754-762.