DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2025.0892

我国食用菌移动式智慧菇舱专利技术态势与创新战略研究

宋佩鸿[1],张洪勇[1],耿　立[2],高华利[1],张书霞[3],王　璐[4]

(1.德州市农业科学研究院　山东德州　253000;　2.宁津县乡村振兴服务中心　山东宁津　253400;
3.山东沃克空调集团有限公司　山东德州　253000;　4.德州市农业技术推广中心　山东德州　253000)

摘　要: 移动式智慧菇舱是破解我国食用菌产业土地与能耗制约的创新路径。为系统剖析该领域的技术发展态势,本研究基于98项专利数据,对2015年以来该领域技术创新的区域特征与演进规律进行分析。结果显示,创新呈现显著空间不均衡,专利申请高度集中于山东、江苏、浙江三省,并形成差异化路径:山东侧重环境控制硬件集成,江苏聚焦自动化与智能化提升,浙江致力于气流组织与能源系统优化。技术演进经历了"空间高效利用—环境精准调控—绿色低碳"三阶段跃迁,物联网、光伏储能等技术融合起到关键催化作用。基于专利视角,本文分析了该领域存在的底层创新不足、成本偏高、中西部参与度低等问题,并提出深化技术创新、拓展功能定位、构建标准体系、加强政策赋能等建议。

关键词: 食用菌;智慧菇舱;专利;技术演进

中图分类号: S646　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1673-2871(2026)10-283-08

Research on the patent technology landscape and innovation strategy of mobile smart mushroom cabin for edible mushroom in China

Song Peihong[1], Zhang Hongyong[1], Geng Li[2], Gao Huali[1], Zhang Shuxia[3], Wang Lu[4]

(*1. Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253000, Shandong, China; 2. Ningjin County Rural Revitalization Service Center, Ningjin 253400, Shandong, China; 3. Shandong Walker Air Conditioning Group Co., Ltd., Dezhou 253000, Shandong, China; 4. Dezhou Agricultural Technology Extension Center, Dezhou 253000, Shandong, China*)

Abstract: Mobile smart mushroom cabin represents an innovative pathway for overcoming land and energy constraints in China's edible mushroom industry. To systematically analyze the technological development trends in this field, this study examines the regional characteristics and evolution patterns of technological innovation in mobile smart mushroom carbins since 2015 based on 98 patent records. The results show that innovation in this field exhibits significant spatial imbalance, with patent applications highly concentrated in Shandong, Jiangsu, and Zhejiang provinces, forming a differentiated development paths: Shandong focuses on the integration of environmental control hardware, Jiangsu focuses on the enhancement of automation and intelligence, and Zhejiang focuses on the optimization of airflow organization and energy systems. Technological evolution has undergone a three stages transition: "Efficient space utilization -, precise environmental regulation - green and low-carbon", with the integration of technologies such as the Internet of Things and photovoltaic energy storage playing a key catalytic role. From the perspective of patents, this article points out the problems in this field, including insufficient fundamental innovation, high costs, and low participation in the central and western regions, and proposes suggestions such as deepening technological innovation, expanding functional positioning, building a standard system, and strengthening policy empowerment.

Key words: Edible mushroom; Smart mushroom cabin; Patent; Technological evolution

食用菌产业是我国现代农业的重要组成部分,在市场需求转型、资源环境政策趋紧的共同驱动下,其传统生产模式正面临结构性挑战[1]。以农户家庭为主体的大棚栽培方式普遍存在土地利用效

收稿日期: 2025-12-25;**修回日期:** 2026-06-26

基金项目: 山东省食用菌产业技术体系德州综合试验站建设项目(SDAIT-07-16);德州市科协智库调研立项课题(2025-025);德州市科协智库调研立项课题(2026-211)

作者简介: 宋佩鸿,女,助理农艺师,主要从事食用菌栽培技术及菌渣利用研究。E-mail:1972417267@qq.com

通信作者: 耿　立,男,农艺师,主要从事食用菌工厂化生产技术研究。E-mail:514759016@qq.com

率低、环境调控能力弱的不足，而大型工厂化生产方式投资规模过大、能源成本过高的问题仍然挥之不去，严重制约着食用菌产业的可持续发展[2]。在此背景下，基于集装箱模块化改造的移动式智慧菇舱应运而生，凭借其有效规避建设用地限制的可移动性、内部空间利用的高效性及生长环境调控的精准性，成为食用菌产业技术创新与转型升级的重要路径之一。在乡村振兴战略指引下，多个省份面向不同地理条件区域、不同气候环境的菇舱类产品加速推陈出新，建成集中连片的智慧菇舱基地，成为食用菌产业助力乡村振兴的成功范例。然而，销售价格贵、能耗成本高、维护难度大等问题仍制约着移动式智慧菇舱在广大农村地区的推广应用，制约着我国菇农家庭生产方式与工厂化生产技术相结合、进而向集约化智能化跃迁的历史进程。

值得注意的是，尽管欧美、日本等在集装箱式植物工厂领域有较早探索[3]，但就食用菌、集成移动性与智慧化控制的专利而言，我国在该领域的专利布局处于全球前列，占比高达59%[4]。这一方面与我国食用菌产量占全球85%的产业地位相关[5]，另一方面也与我国“非粮化”政策背景下灵活用地需求密切相关。因此，基于国家知识产权局专利检索及分析系统数据库，系统剖析我国移动式智慧菇舱领域的专利技术态势，揭示其技术创新特征与演进规律，对突破当前推广瓶颈、推动产业转型升级具有重要的现实意义。

专利信息是深入了解某一领域技术创新进展的可靠资料[6]。本文基于国家知识产权局专利检索及分析系统数据库检索结果，综合应用计量分析与IPC解构方法，分析移动式智慧菇舱装备技术创新主体特征、技术成果地域分布特征，探索该领域技术演进趋势，为加快移动式智慧菇舱技术迭代、产品升级与推广应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文的数据来源于国家知识产权局专利检索及分析系统数据库。依次以“移动 and 菇房”“集装箱 and 菇房”“菇 and 舱”“食用菌 and 方舱”为主题词进行检索，筛选条件“专利类型”依次选择“发明”和“实用新型”两类专利，通过阅读检索结果页面内容筛选目标专利并加入批量下载库，检索完成后分别导出Excel文件，共获得2015年至2025年6月期间公开的43项发明专利申请和55项实用新型专利申请数据。

1.2 研究方法

使用Excel软件统计每个年度的专利申请数量并绘制专利申请年度数量分布图，以解读总量变化趋势；统计专利申请人数量与所在省份，分析主要研究机构及其地区分布特征；基于该年度所有专利申请的国际专利分类号（IPC分类号）统计结果，识别高频IPC分类号及其年度变化特征，据此分析移动式智慧菇舱领域技术创新的演变趋势。

2 结果与分析

2.1 专利计量分析

2.1.1 *移动式智慧菇舱专利的年度数量分布* 专利申请数量的年度变化能够反映某一技术领域创新的成果产出情况。由图1可见，近10年移动式智慧菇舱相关专利数量呈现总体增长的趋势。

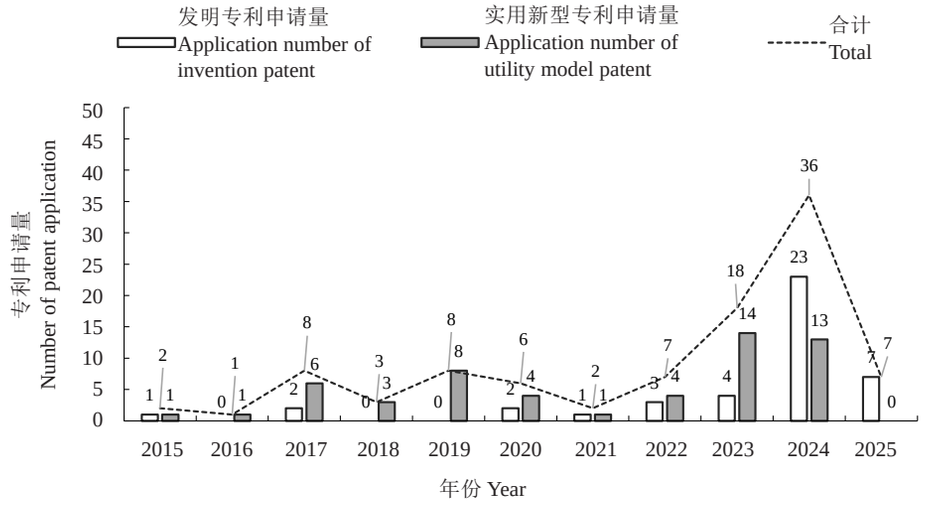


图1 移动式智慧菇舱专利申请数量

Fig. 1 Annual application number of patents for mobile smart mushroom cabin

2015年，该领域首个专利申请“食用菌种植装置”由深圳中集华大智能科技有限公司提出，该专利使用增加了通风与照明系统的集装箱作为舱体，内部设置食用菌种植架。2017年专利申请量显著上升，当年有2项发明专利与6项实用新型专利申请提出。2018—2021年间，新冠疫情的影响可能限制了相关研发活动与成果产出，专利申请数量未出现显著增长，表现为徘徊的态势。2022年开始，专利申请量大幅上升，到2024年达到峰值（36项），说明近3年移动式智慧菇舱技术领域的研究取得了突破性进展。

2.1.2　*移动式智慧菇舱的专利申请人*　专利申请数量直接反映了申请人在某一领域的技术创新能力。由表1可见，发明专利申请量位于前3位的专利申请人，依次为上海康帅冷链科技股份有限公司、康帅冷链设备科技江苏有限公司、易和生能源科技（山东）有限公司和山东省农业科学院（共同申请人），其中康帅冷链设备科技江苏有限公司是上海康帅冷链科技股份有限公司的全资子公司；实用新型专利申请量位于前3位的专利申请人，依次为荟鲜时代（北京）国际农业科技发展有限公司、河南精农科技股份有限公司、山东世纪智慧农业科技有限公司和山东天禾农业可持续发展研究院（共同申请人）。以上6家主体在移动式智慧菇舱技术领域具有相对较强的创新与成果产出能力。

上海康帅冷链科技股份有限公司的专利申请集中在舱内环境智能化控制、舱内空间优化方面。如“一种循环控湿的菌菇智能冷暖方舱”与“一种智能化菌菇生产用方舱”这两个专利，通过集成温湿度传感器、制冷/制热模块、雾化加湿系统及新风装置，动态监测与调节菇舱内的环境因子[7-8]；“一种智能优化培养空间的菌菇舱”采用了装配式的舱体结构，通过可增减的舱段与可调节的菇架设计，大大提升了菇舱对不同食用菌品种和生产规模的适应性[9]。此外，“一种光伏储能菌菇共生种植方舱”在菇舱侧面设置了连接光伏面板的储能箱，通过储能箱内部记忆合金的形变来控温散热、降低运行能耗，体现了该公司对提升产品节能低碳性能的追求[10]。

荟鲜时代（北京）国际农业科技发展有限公司的研发重点是为移动式智慧菇舱开发环境控制专用设备，以提升设备适配性为目标。“一种集装箱出菇房使用的加湿机”“一种集装箱出菇房使用的制冷机”“一种用于集装箱出菇房的制热机”及“一种用于集装箱出菇房使用的新风机”等专利，在显著提升对舱内温度、湿度、气流等关键环境因子精准调控能力的同时，也通过模块化设计大大提升了菇舱运行维护操作的便利性[11-14]。

表1　移动式智慧菇舱专利申请数量前3位的专利申请人

Table 1　Top 3 patent applicants for mobile smart mushroom cabin patents

发明专利 Invention patent		实用新型专利 Utility model patent	
专利申请人名称 Patent applicant name	申请数量 Application number	专利申请人名称 Patent applicant name	申请数量 Application number
上海康帅冷链科技股份有限公司 Shanghai Kangshuai Cold Chain Technology Company Limited	6	荟鲜时代（北京）国际农业科技发展有限公司 Huixian Times（Beijing）International Agricultural Technology Development Company Limited	4
康帅冷链设备科技江苏有限公司 Kangshuai Cold Chain Equipment Technology（Jiangsu）Company Limited	3	河南精农科技股份有限公司 Henan Jingnong Technology Company Limited	3
易和生能源科技（山东）有限公司，山东省农业科学院 Yihesheng Energy Technology（Shandong）Company Limited; Shandong Academy of Agricultural Sciences	2	山东世纪智慧农业科技有限公司，山东天禾农业可持续发展研究院 Shandong Century Smart Agriculture Technology Company Limited; Shandong Tianhe Agricultural Sustainable Development Research Institute	3

2.1.3　*移动式智慧菇舱专利的地区分布*　专利申请数量的地区分布，反映了某一地区技术创新成果的集中度。由表2可见，发明专利申请数量前5位的省份依次为上海、山东、江苏、安徽、浙江，实用新型专利申请数量前5位的省份依次为浙江、山东、北京、江苏、河南。由此可见，山东、浙江和江苏这3个省是移动式智慧菇舱专利技术成果集中度较高的地区。

表 2　移动式智慧菇舱专利申请数量前 5 位的省份

Table 2　Top 5 Provinces in terms of the number of patent applications for mobile smart mushroom cabin

发明专利 Invention patent		实用新型专利 Utility model patent	
省份 Province	专利申请数量 Number of patent application	省份 Province	专利申请数量 Number of patent application
上海 Shanghai	7	浙江 Zhejiang	12
山东 Shandong	7	山东 Shandong	11
江苏 Jiangsu	5	北京 Beijing	7
安徽 Anhui	4	江苏 Jiangsu	5
浙江 Zhejiang	3	河南 Henan	4

表 3　移动式智慧菇舱专利申请人数量前 5 位的省份

Table 3　Top 5 provinces in terms of the number of patent applicants for mobile smart mushroom cabin

发明专利 Invention patent		实用新型专利 Utility model patent	
省份 Province	专利申请人数量 Number of patent applicant	省份 Province	专利申请人数量 Number of patent applicant
山东 Shandong	8	山东 Shandong	13
浙江 Zhejiang	5	浙江 Zhejiang	11
江苏 Jiangsu	4	江苏 Jiangsu	5
安徽 Anhui	4	北京 Beijing	4
福建 Fujian	4	河南 Henan	3

专利申请人的地区分布，反映了某一地区技术创新主体的集中度。由表 3 可见，发明专利与实用新型专利申请人数量前 3 位的省份都是山东、浙江、江苏。将发明专利和实用新型专利申请人信息合并整理，统计出以上 3 个省专利申请人数量的市域分布情况。如图 2-A 所示，山东省的技术创新主体主要位于青岛市、德州市和济宁市，浙江省（图 2-B）的技术创新主体主要位于宁波市、杭州市，江苏省（图 2-C）的技术创新主体主要位于南京市。

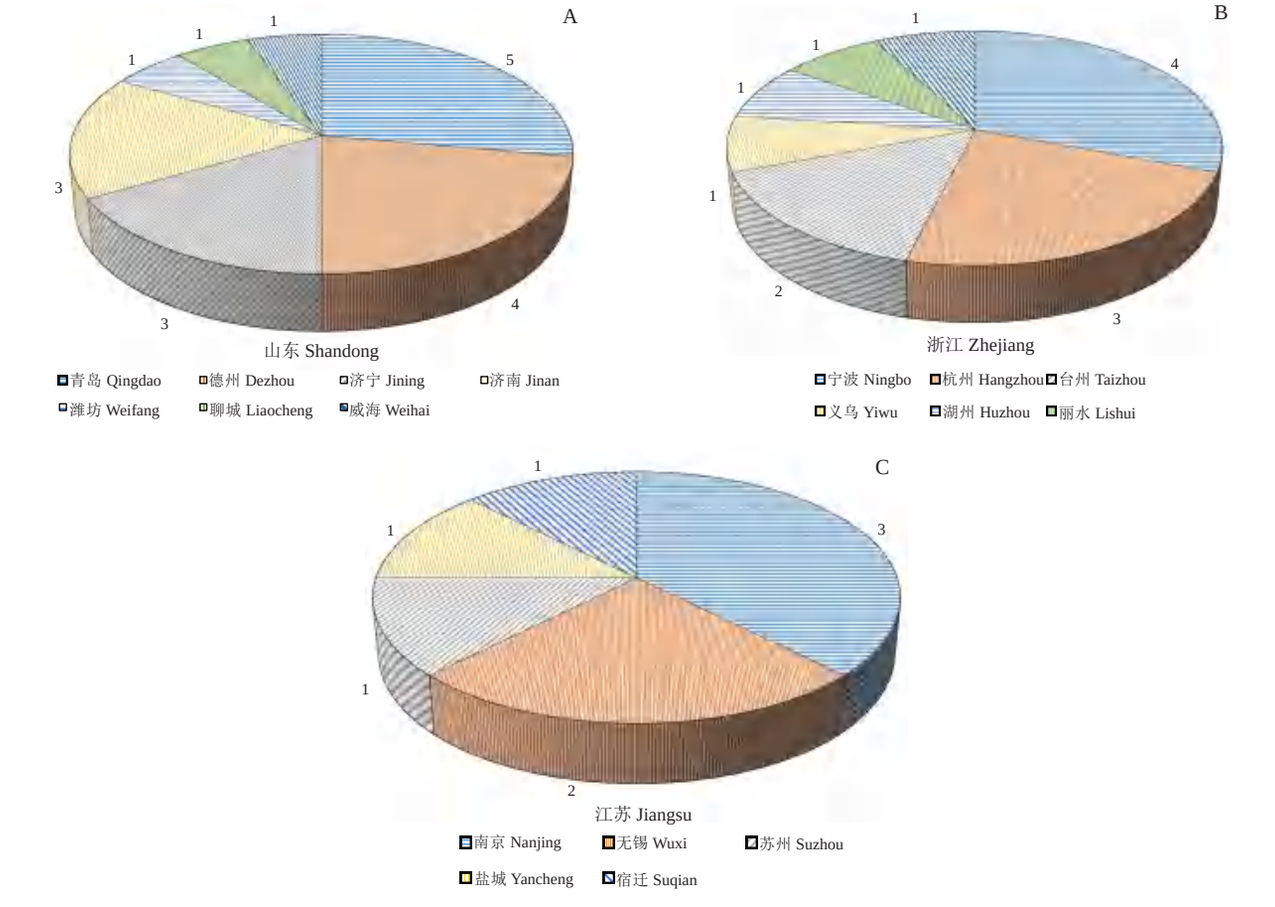


图 2　移动式智慧菇舱专利申请人市域分布

Fig. 2　City-level distribution of patent applicants for mobile smart mushroom cabin

山东、浙江、江苏3个省在移动式智慧菇舱技术领域的创新侧重点各有不同。山东省聚焦菇舱内环境精准控制与结构优化方面，在技术上以双级压缩机空调机组和管道送风系统等硬件设备集成为主，并通过主机系统的联动保证舱内的温湿度、CO_2浓度等参数相对稳定，有效降低因舱内环境波动对食用菌生长造成的影响[15-17]；浙江省致力于对舱内气流组织及能效提升方面的技术创新，如通过多通道同程气流、风机导流结构等降低风道阻力、提高送风均匀度，将舱顶光伏系统与热回收技术相结合大大降低新风处理的能耗等[18-20]；江苏省则主要通过传感器网络、人机交互界面等方式，实现舱内环境参数的自适应调节，以最大限度地规避人工操作的不确定性对产品质量造成的影响[21-23]。

2.2　专利IPC分类演变趋势解析

2.2.1　*发明专利申请的IPC分类演变趋势*　IPC分类号反映了专利所属技术领域的分布情况，据此可判断研发的主要方向。图3展示了近10年移动式智慧菇舱发明专利申请对应的IPC分类号及其出现频次，反映出以下特征：(1)技术奠基期(2015—2019年)为未来的菇舱迭代升级提供了基础框架。此阶段的专利分类号由最初的基础栽培装置(A01G1/04)扩展至温湿度、气流等环境控制技术(F24F、F25B)，表明菇舱从简单的栽培容器发展为以创造舱内人工环境为主要功能的专用食用菌栽培装备。(2)专业化与智能化转型期(2020—2022年)菇舱由“物理调控”升级成“数据驱动”的“智慧菇舱”。这一阶段的关键突破是蘑菇栽培专用分类号(A01G18/60、A01G18/69)成为传统的园艺分类号(A01G)的独立分支，同时出现了一些智能化技术相关的分类号，如智能控制(G05D27/02)、物联网监测(G16Y10/05)及多变量传感技术(G01D21/02)等。(3)系统集成与绿色化阶段(2023年至今)移动式智慧菇舱正向“低碳高效、全链协同”的新一代智慧农业平台进化。此阶段“蘑菇的栽培”(A01G18/60、A01G18/69)和智能控制(G05D27/02)仍然是主要分类号，但培养料处理(B01F)、卫生控制(A61M)、光伏能源(H02S)、节能制冷(F25B)及清洁技术(B08B3/02)等分类号出现的频次越来越多，智慧菇舱的集成化特征越来越明显。

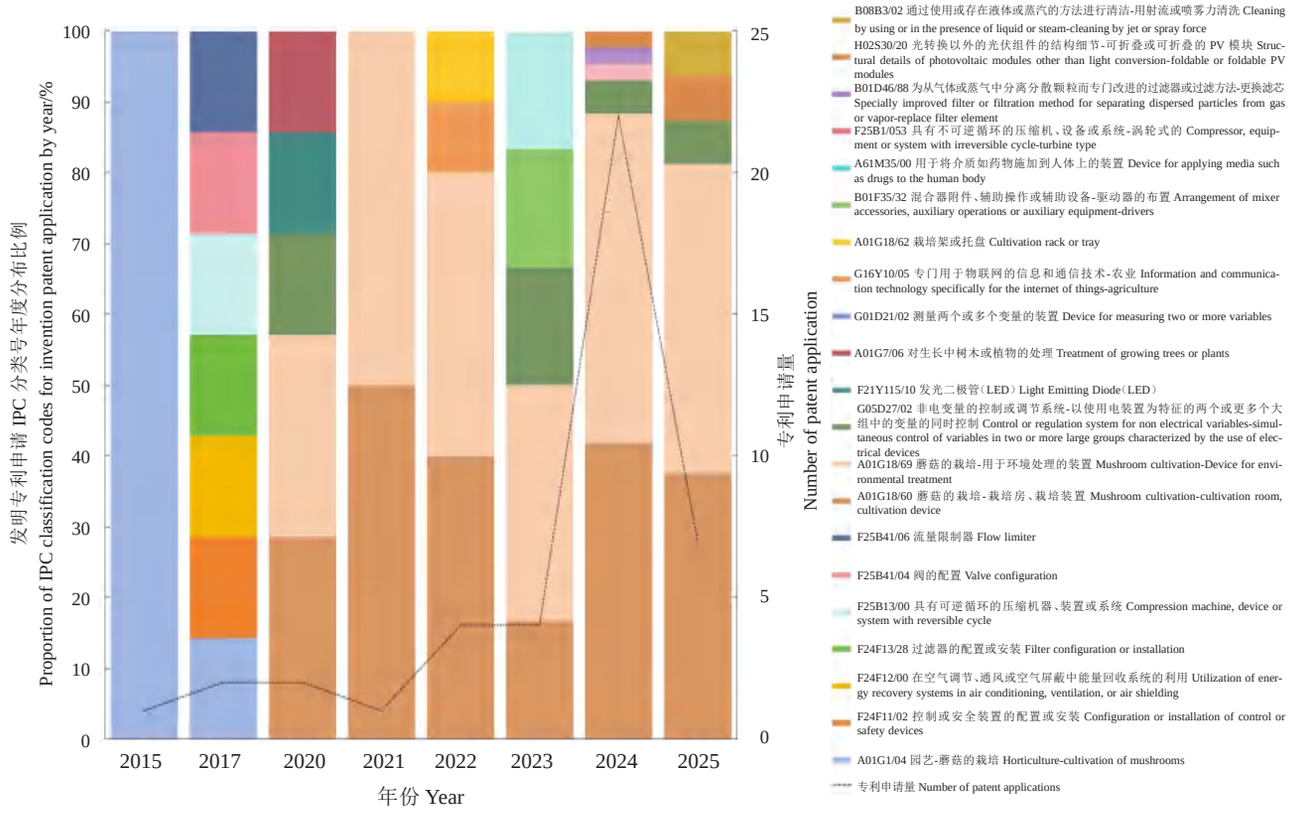


图3　移动式智慧菇舱发明专利申请的IPC分类分布演变情况

Fig. 3　IPC classification distribution evolution of mobile intelligent mushroom pod invention patent application

2.2.2　*实用新型专利申请IPC分类演变趋势*　图4展示了近10年移动式智慧菇舱实用新型专利申请的IPC分类号及其出现频次，反映出以下技术演进特征：(1)基础环境控制阶段(2015—2017年)创新

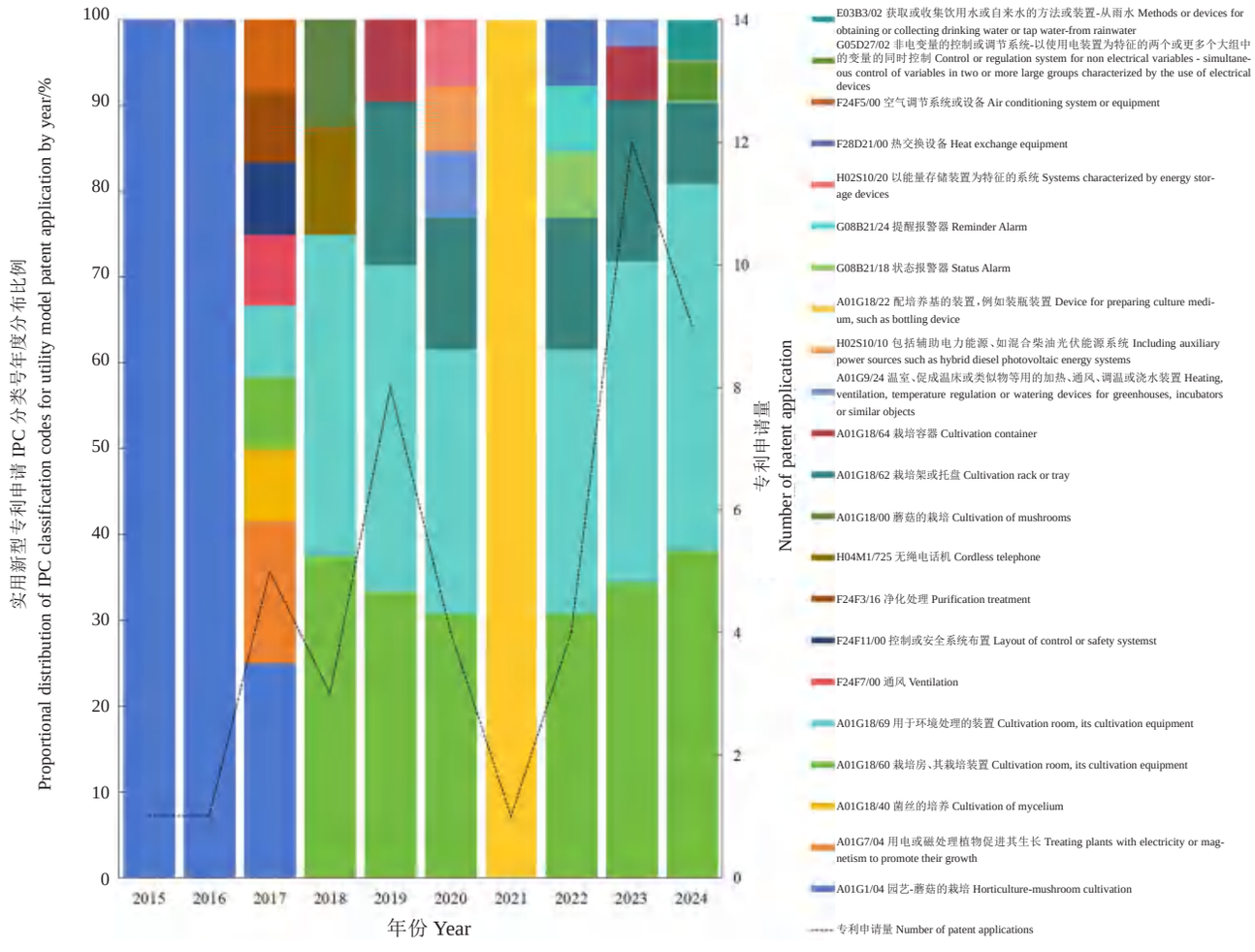


图 4　移动式智慧菇舱实用新型专利申请的 IPC 分类演变情况

Fig.4　IPC classification evolution of utility model patent application for mobile smart mushroom cabin

的主要目标是实现菇舱栽培环境的人工控制。由通用园艺栽培（A01G1/04）、蘑菇栽培（A01G18）等基础环境控制相关分类号，逐步发展出空气调节（F24F）、通风、净化及基础环境处理装置（A01G18/69）等。（2）专业化与智能化阶段（2018—2020 年），以控制技术的发展和舱体能源系统的改进为主要特征。一方面，舱内舱外结构更加专业化，农业设施与设备（A01G18）中的栽培架（A01G18/62）、容器（A01G18/64）等细分领域分类号均多次出现，2018 年首次出现移动终端控制分类（H04M1/725）；另一方面，2020 年新出现光伏系统（H02S）分类，表明移动式智慧菇舱的功能方式出现重大转变。（3）绿色化与资源循环阶段（2021—2024 年），移动式智慧菇舱技术创新开始向资源循环利用与低碳方向转变。这一时期出现智能报警（G08B21）、多变量控制系统（G05D27/02）、热回收（F28D）等新的分类号，并于 2024 年首次出现雨水收集（E03B3/02）代码。

2.3　基于专利内容的主要技术分析

为进一步揭示技术创新细节，本研究深入分析了 98 项专利，并从中提取关键词与解决的核心问题。结果表明，环境精准调控是该领域技术创新的核心，其技术路径呈现出“设备集成化”“系统智能化”“空间均匀化”的清晰演进逻辑，早期通过简单组合制冷、加湿等分立设备实现基本控制，中期转向中央控制器联动的系统集成，近年来则聚焦于双级压缩机[15]、多通道同程气流[19]等方案以提升环境场的均匀性与稳定性。结构模块化与空间优化技术贯穿发展全过程，早期以集装箱舱体基础改造为主，近年则引入了可扩展性理念，通过可增减舱段与可调节菇架设计[9,23]，使产品从“标准化产品”向“模块化平台”演进。绿色能源与低碳技术是 2022 年以来增长最快的方向，其核心特征是“光伏-储能-节能”系统集成[10]以及新风热回收[19]、雨水收集[18]

等被动式节能技术的耦合创新，标志着技术创新正从“单一能耗降低”向“系统能源自循环”跃升。智能化与物联网应用已从“附加功能”转变为“底层使能技术”，当前超过 60%的相关专利将智能控制与物理系统深度融合，基于多传感器数据进行动态优化调控[17]，并通过云端平台实现多菇舱集群的远程监控与生产数据分析[22]。基于上述技术内容分析，本研究发现智能化与物联网应用和绿色能源方向的专利数量相对较少，分别占总量 12.2%和 9.2%，显示出该领域底层原理性创新仍显不足（表 4）。

表 4　移动式智慧菇舱专利技术内容深度分析

Table 4　In-depth analysis of patent technology content for mobile smart mushroom cabin

技术主题 Technology theme	专利数量 Number of patent	占比 Proportion/%	解决核心问题 Solve the core problem	关键技术路径与代表性专利演进 Key technological path and evolution of representative patent	技术特征 Technical feature
环境精准调控 Accurate environmental regulation	46	46.9	舱内温湿度、CO_2浓度分布不均，控制精度低，能耗高 Uneven distribution of temperature, humidity, and CO_2 concentration inside the cabin, low control accuracy, and high energy consumption	分立设备组合（2015—2017）、系统集成联动（2018—2022）、气流组织优化（2023 年至今）[15,18] Discrete equipment combination (2015—2017), system integration linkage (2018—2022), airflow organization optimization (2023 present)[15,18]	设备集成化至系统智能化至空间均匀化 Equipment integration to system intelligence to spatial uniformity
智能化与物联网应用 Intelligence and IoT application	12	12.2	依赖人工经验，调控滞后，多设备协同管理困难 Relying on manual experience, lagging regulation, and difficulty in collaborative management of multiple devices	远程监控（2018—2020）、自动控制（2021—2022）、AI 预测与协同（2023 年至今）[17,22] Remote monitoring (2018—2020), automatic control (2021—2022), AI prediction and collaboration (2023 present)[17,22]	附加功能至底层使能技术 Additional features to the underlying enabling technology
结构模块化与空间优化 Structural modularization and spatial optimization	28	28.6	舱体空间利用率低，难以适配不同品种与规模 The utilization rate of cabin space is low, making it difficult to adapt to different varieties and scales	舱体基础改造（2015—2017）、空间立体拓展（2018—2022）、模块化与可扩展（2023 年至今）[9,23] Cabin foundation renovation (2015—2017), spatial three-dimensional expansion (2018—2022), modularization and scalability (2023 present)[9,23]	标准化产品至模块化平台 Standardized products to modular platforms
绿色能源与低碳技术 Green energy and low carbon technologies	9	9.2	运行能耗高，运营成本压力大，依赖外部电网 High operating energy consumption, high operating cost pressure, and dependence on external power grids	单机设备节能（2020—2021）、可再生能源引入（2022—2023）、系统集成与储能（2024 年至今）[10,19] Energy saving of standalone equipment (2020—2021), introduction of renewable energy (2022—2023), system integration and energy storage (2024 present)[10,19]	能耗降低至能源自循环 Reduce energy consumption to self circulating energy
其他 Other	3	3.1	培养基配制效率低、舱内清洁维护不便、光照能效与光谱适配性差等辅助环节的技术短板 The technical shortcomings of auxiliary links such as low efficiency in preparing culture media, inconvenient cleaning and maintenance in the cabin, poor light efficiency and spectral compatibility	培养基自动混合装置（B01F35/32）、高压喷淋清洁系统（B08B3/02）、LED 植物补光（F21Y115/10）等，多为单一设备改进，缺乏系统集成 The automatic mixing device for culture medium (B01F35/32), high- pressure spray cleaning system (B08B3/02), LED plant fill light (F21Y115/10), etc. are mostly single equipment improvements and lack system integration	辅助技术 Assistive technology

3　讨论与展望

3.1　讨论

本文基于专利计量与 IPC 分类号分析，揭示了移动式智慧菇舱“空间利用—环境调控—绿色低碳”的技术演进路线：早期的“菇舱”是由集装箱改造而成的移动式“蘑菇栽培容器”，在此基础上制冷制热机组、加湿通风设备以及物联网环境控制系统的融合催生了“智慧菇舱”，2023 年以来光伏储能、热回收及雨水收集等绿色技术的大量集成加速着

移动式智慧菇舱向节能低碳可循环的新型农业装备升级。研究也发现了当前创新中存在的不足与挑战：一是实用新型专利申请占比较高，且集中在加湿机、制冷机等环境控制单机设备的组装方面，说明移动式智慧菇舱的底层技术创新点较少；二是舱体轻量化材料、低成本结构设计等方面的专利申请稀少，导致移动式智慧菇舱的制造成本和销售价格长期居高不下，阻碍了中小型生产主体的购买与应用；三是从专利申请分布状况来看，移动式智慧菇舱装备应用前景广泛的中西部地区的专利申请稀缺，凸显了该领域的重要价值尚未引起中西部创新主体的重视，成为产业可持续发展的瓶颈问题。为此，移动式智慧菇舱在突破底层技术、研发专用配件、降低制造成本与强化推广应用等方面仍然任重道远。

3.2 展望

随着物联网、大数据、人工智能等新技术革命成果在食用菌生产应用场景上的拓展，移动式智慧菇舱装备技术也将继续向智能化、低碳化方向深度发展。未来技术创新的重点可能包括：一是加快前沿技术创新，如开发高效“光伏－储能－节能系统”以提升智能菇舱的能源供给绿色化水平，又如基于AI技术开发不同品种菇类的生长模型，实现对菇舱舱体内环境因子的精准预测、主动调控[24]；二是通过模块化设计拓展智慧菇舱功能，使其从单一生产单元升级为集种植、加工与观光等多功能于一体的三产融合型平台，例如加强对舱体内部层架结构的设计，让同一舱体内可以实现不同种类产品的育种、育菇和加工作业，在减少产后损耗的同时还可以助力农业科普；三是完善技术标准建设并降低成本，如建立移动式智慧菇舱国家标准、开发应用轻质化低成本的舱体材料、促进装备制造企业建立专利共享池以减少低水平重复性研发投入。此外，政府部门应强化政策赋能效应，将移动式智慧菇舱纳入各省农机补贴目录范围之内，建设集中连片示范点，加大推介推广力度，推动移动式智慧菇舱装备技术创新成为食用菌产业智能化低碳化转型升级的重要引擎。

参考文献

[1] Li C T，Xu S. Edible mushroom industry in China：Current state and perspectives[J]. Applied microbiology and biotechnology，2022，106（11）：3949-3955.

[2] 鲍大鹏，邹根，裴晓东，等. 中国食用菌产业实现高质量现代化发展的路径探讨[J]. 食用菌学报，2022，29（6）：103-110.

[3] 杨其长，白音巴特尔，程瑞锋. 智慧植物工厂发展历程及展望[J]. 农业工程学报，2026，42（3）：97-106.

[4] 王培. 基于食用菌栽培种植专利技术的创新态势分析[J]. 天津农业科学，2024，30（7）：67-72.

[5] 黄晨阳. 食用菌生物技术研究任重道远[J]. 生物技术通报，2021，37（11）：1-3.

[6] Pamina F，Lars B，Timothy C C，et al. Filamentous fungal applications in biotechnology：A combined bibliometric and patentometric assessment[J]. Fungal Biology and Biotechnology，2021，8（1）：23.

[7] 上海康帅冷链科技股份有限公司. 一种循环控湿的菌菇智能冷暖方舱：202411197740.9[P]. 2025-01-07.

[8] 上海康帅冷链科技股份有限公司. 一种智能化菌菇生产用方舱：202410304084.1[P]. 2024-05-10.

[9] 上海康帅冷链科技股份有限公司. 一种智能优化培养空间的菌菇舱：202510174986.2[P]. 2025-04-08.

[10] 上海康帅冷链科技股份有限公司. 一种光伏储能菌菇共生种植方舱：202510484292.9[P]. 2025-07-08.

[11] 荟鲜时代（北京）国际农业科技发展有限公司. 一种集装箱出菇房使用的加湿机：201920705647.2[P]. 2020-05-12.

[12] 荟鲜时代（北京）国际农业科技发展有限公司. 一种集装箱出菇房使用的制冷机：201920705646.8[P]. 2020-01-31.

[13] 荟鲜时代（北京）国际农业科技发展有限公司. 一种用于集装箱出菇房的制热机：201920705242.9[P]. 2020-01-31.

[14] 荟鲜时代（北京）国际农业科技发展有限公司. 一种用于集装箱出菇房使用的新风机：201920705215.1[P]. 2020-01-31.

[15] 兴恒环境科技集团有限公司. 一种蘑菇方舱的双级压缩机及空调机组：202411137678.4[P]. 2024-09-17.

[16] 山东沃克空调集团有限公司. 一种一体化集成式的种植方舱：202510494931.X[P]. 2025-06-13.

[17] 水发浩海（青岛）环境有限公司，青岛澳耐斯特环境工程有限公司. 一种用于菌菇种植密闭舱的温度—湿度—CO_2浓度联合控制方法：202410290608.6[P]. 2024-06-25.

[18] 浙江宏业装备科技有限公司，台州科技职业学院，江苏大学流体机械温岭研究院. 一种方舱式智能菇房及其空气调节系统、风机：202410933826.7[P]. 2024-09-24.

[19] 浙江日福莱农业科技股份有限公司. 一种可移动装配式绿色生态循环种植蘑菇房：201821502722.7[P]. 2019-05-21.

[20] 宁波顺源农业科技有限公司，浙江顺源智慧生物科技有限公司. 一种菌菇智慧方舱：202221047911.6[P]. 2022-11-04.

[21] 康帅冷链设备科技江苏有限公司. 一种智能化可移动式菌菇舱：202510206006.2[P]. 2025-04-15.

[22] 宿迁市龙科微生物产业研究院，黑龙江省科学院微生物研究所. 一种全方位监测的集装箱培养食用菌装置：202210140499.0[P]. 2022-05-17.

[23] 南京慧菇生物科技有限公司. 一种模块化可移动智能菌菇房：201920299615.7[P]. 2020-01-07.

[24] Yang Y X，Gao P，Zhang T S，et al. Graph-based temperature and humidity prediction model for mushroom house using spatial-temporal fusion strategy[J]. IEEE Internet of Things Journal，2025，12：19702-19715.