

## 具中国特色的双孢蘑菇机械化生产之路的探讨

王鹏<sup>1</sup> 冯翠英<sup>2</sup> 姚太梅<sup>1</sup> 刘洋<sup>1</sup> 忻龙祚<sup>1\*</sup> 南洁<sup>3</sup> 赵广阔<sup>4</sup> 高秀芳<sup>5</sup> 刘会<sup>5</sup>

(1. 河北北方学院园艺系/河北省口蘑栽培技术创新中心/张家口市口蘑栽培技术创新中心, 河北 张家口 075000; 2. 怀来县农业农村局农机中心, 河北 张家口 075400; 3. 易县桥头乡农业综合服务中心, 河北 保定 074200; 4. 易县牛岗乡农业综合服务中心, 河北 保定 074200; 5. 张家口市万全区农业技术推广服务中心, 河北 张家口 076250)

**摘要** 我国食用菌产业的发展极大地带动了食用菌机械装备业的发展, 食用菌工厂化生产优势明显, 逐渐形成与传统季节性栽培优势互补、携手发展的局面。要使传统季节性栽培模式成功向工厂化栽培模式转型, 必须考虑到我国农村一家一户生产和地域广阔分散的国情, 走以轻简化设施设备为重点的发展道路, 设计、生产、制造适合我国食用菌发展模式的设施与机械装备。文章探讨具我国特色的双孢蘑菇机械化生产工艺流程及与其配套的轻简化设施和机械需求。

**关键词** 双孢蘑菇; 中国特色; 工厂化; 轻简化; 机械化

中图分类号: S646

文献标识码: A

文章编码: 2095-0934 (2022) 03-172-07

## Discussion on the characteristic mechanization development road of industrial production of *Agaricus bisporus* in China

Wang Peng<sup>1</sup> Feng Cuiying<sup>2</sup> Yao Taimei<sup>1</sup> Liu Yang<sup>1</sup> Xin Longzuo<sup>1\*</sup> Nan Jie<sup>3</sup> Zhao Guangkuo<sup>4</sup>  
Gao Xiufang<sup>5</sup> Liu Hui<sup>5</sup>

(1. Hebei North University/Hebei Innovation Center for Cultivation Techniques of Tricholoma/Zhangjiakou Innovation Center for Cultivation Techniques of Tricholoma, Zhangjiakou, Hebei 075131, China; 2. Agricultural Machinery Center of Huailai Agricultural and Rural Bureau, Zhangjiakou, Hebei 075400, China; 3. Agricultural Comprehensive Service Center of Qiaotou Township, Yixian County, Baoding, Hebei 074200, China; 4. Agricultural Comprehensive Service Center of Niugang Township, Yixian County, Baoding, Hebei 074200, China; 5. Agricultural Technology Extension Service Center of Zhangjiakou Wanquan District, Zhangjiakou, Hebei 076250, China)

**Abstract** With the rapid development of China's edible mushroom industry, it greatly promotes the development of edible mushroom machinery and equipment industry. Industrial production has obvious advantages and gradually becomes an important mode of *Agaricus bisporus* production. Traditional seasonal cultivation still plays an important role at present. The situation of complementary advantages and joint development between industrialized cultivation and traditional seasonal cultivation will not change fundamentally in the short term. The successful transformation of traditional seasonal cultivation mode to industrialized cultivation mode must take into account the national conditions of

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系创新专项资金——食用菌体系双孢菇栽培技术、集成与示范岗位(HBCT2018050203); 河北省科技厅——河北省口蘑栽培技术创新中心建设项目(SG2020050)

第一作者简介: 王鹏(1972—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事设施环境及栽培技术研究。E-mail: 18931318609@163.com。

\*通信作者: 忻龙祚(1968—), 男, 硕士, 教授, 主要从事食用菌栽培、育种研究。E-mail: nkxxlz@163.com。

each family unit and vast and scattered area in rural areas of China, take the road of mechanization with Chinese characteristics. With light-simplified mechanical equipment as the key development direction, it has a great development prospect to design, produce and manufacture the mechanical equipment suitable for the development mode of *Agaricus bisporus* in China.

**Key words** *Agaricus bisporus*; Chinese characteristics; industrialized; light-simplified; mechanization

近十几年来,我国食用菌产业飞速发展,先前小农经济式的传统分散栽培模式,逐渐被周年工厂化全自动远程控制的立体栽培模式所取代,且品质和数量上超过了日本、韩国和我国台湾地区<sup>[1]</sup>,工厂化生产已成为食用菌行业发展的重要方向。2010—2020年间,全国食用菌总产量持续平稳增长,工厂化率呈现震荡上行走势,由2010年的2.87%提高到2017年的6.90%、2020年的9.66%(图1)。目前,我国双孢蘑菇等食用菌生产中,以家庭作坊和中小微企业半机械化、半自动化生产形式为主的其他设施类型食用菌产量占75%以上。设施类型多样,栽培模式五花八门<sup>[2]</sup>,亟待转型升级。未来我国食用菌产业应以品牌和质量升级为重点,以过程自动化、品种多样化、设施轻量化、管理标准化、利用高值化等为内涵,走具有中国特色的菇业发展道路,实现我国食用菌强国之梦<sup>[3]</sup>。

## 1 我国双孢蘑菇工厂化生产现状

双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)是欧美地区最常见和最广泛食用的食用菌,占全球食用菌产量( $3.4 \times 10^7$ 吨)的15%<sup>[4]</sup>。其人工栽培始于1650年法国路易十四时代,我国于20世纪30年代在上海、福州等市郊首次引进栽培<sup>[5]</sup>;1966年福建最早开始双孢蘑菇的规模栽培;20世纪90年代后,我国双孢蘑菇栽培进入快速发展期,自1999年以来产量一直稳居世界第一<sup>[6,7]</sup>。2010—2020年间,我国双孢蘑菇总产量和工厂化率变幅极大(图2)。其中,2019年总产量为231.4万吨,占全球双孢蘑菇总产量的50%左右,产品出口量占全球的65%左右<sup>[8]</sup>;2020年受各种因素影响,总产量降至202.21万吨,较2019年下降12.6%<sup>[9]</sup>。双孢蘑菇工厂化率由2010年的1.05%提高到2020年的12.18%,工厂化生产逐

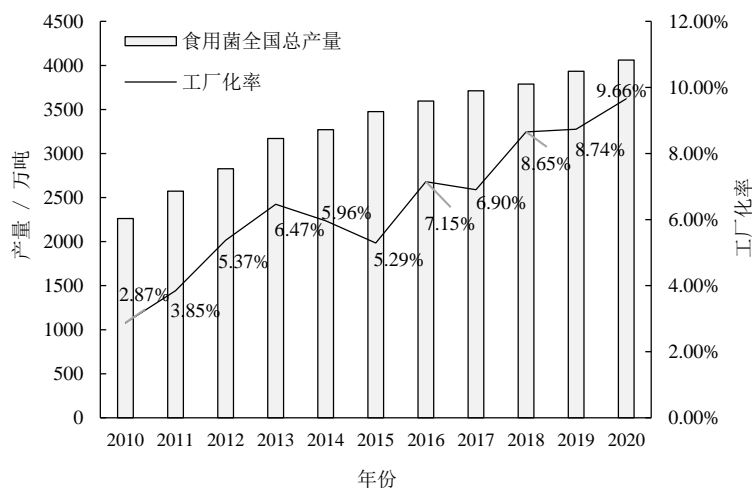


图1 2010—2020年食用菌全国总产量及工厂化率  
(数据来源:中国食用菌协会)

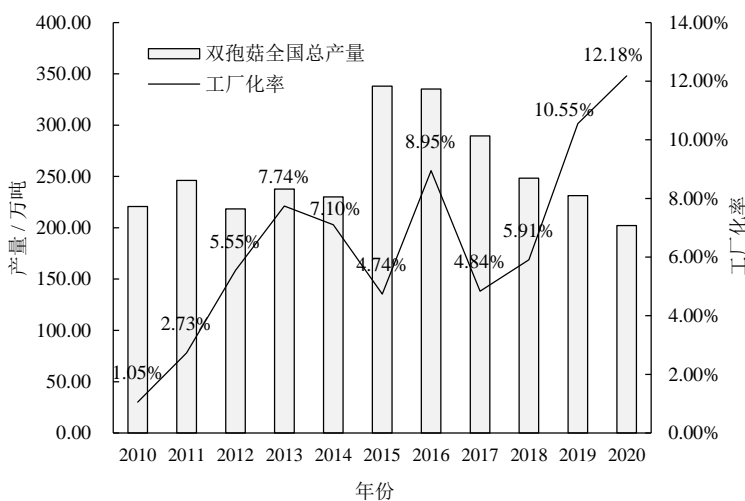


图2 2010—2020年双孢蘑菇全国总产量及工厂化率  
(数据来源:中国食用菌协会)

渐成为双孢蘑菇生产的重要模式，其飞速发展，极大带动了相关设施设备制造业的发展<sup>[12]</sup>，并形成较完备的生产装备体系<sup>[13]</sup>。我国生产装备水平的大幅提升<sup>[14]</sup>，在一定程度上限制了国外装备企业对国内市场的占领<sup>[15]</sup>，国内多家企业应用国产装备，产、质量达到了国际先进水平<sup>[16]</sup>。由于我国双孢蘑菇工厂化生产起步较晚，生产总量仍处于较低水平<sup>[10]</sup>。2019年，全国双孢蘑菇工厂化企业数量为49家，占食用菌工厂化企业数量的11.75%，前三大企业（江苏裕灌、江苏紫山、中国绿宝）合计市场占比为5.3%，市场较为分散<sup>[11]</sup>。

目前我国双孢蘑菇栽培模式主要有传统栽培模式、“公司（企业）+农户”栽培模式和工厂化栽培模式三种。传统栽培模式以农户为主，设施、设备简陋，生产规模小，主要为季节性栽培，产量、质量及安全等级参差不齐，总体竞争力差。传统栽培生产劳动强度大，由于劳动力成本不断攀升，生产设施、设备亟待进行轻简化、机械化转型升级。

工厂化栽培模式具备生产标准化、规模化、机械化、周年化等诸多特点，单产高，产品质量稳定，但其对技术要求高，高度倚重于资金、技术和管理的投入。工厂化生产企业受技术、资源、市场等主客观因素限制，生产规模无法达到设计要求，巨额银行债务、折旧及知识产权等开支成为企业的沉重负担，盈利艰难，工厂化生产在盈亏平衡线附近徘徊，管理或技术稍有失误则极可能亏损。据不完全统计，2015年双孢蘑菇工厂盈利占比只有10%左右<sup>[17]</sup>。近两年来由于鲜菇价格连续下跌、生产成本不断攀升，食用菌工厂化企业陷入经营困境。“公司（企业）+农户”栽培模式是由传统栽培模式转向工厂化栽培模式过程中的一种过渡模式，将传统栽培与工厂、市场对接连通，但其受季节性影响较大，产质量不稳定，其中较为典型的代表有富邦模式<sup>[18]</sup>、“1+N”生产供应模式等<sup>[19]</sup>。

## 2 构想具中国特色的双孢蘑菇机械化生产之路

尽管工厂化生产在我国双孢蘑菇产业发展中显示出越来越重要的作用，但在广大农村，尤其是中西部农村，在脱贫攻坚与乡村振兴中发挥着重要作用的食用菌传统栽培模式仍具有举足轻重的地位与作用。工厂化栽培是一个复杂的系统工程，由传统栽培转向工厂化栽培不可能在短时间内一蹴而就，这一转变必然需要一个较长期的过程。传统栽培、“公司（企业）+农户”栽培和工厂化栽培优势互补、共同发展的局面，在短期内不会有根本性的变化。

欧美国家的双孢蘑菇栽培模式缺乏灵活性，其大型设施设备不利于因需求而随时变化与转移。考虑到我国农村地域广阔、以家庭为种植主体分散经营的现实国情，不适宜采用欧美大型机械化设备，应将适于几家联合或者一家一户使用的轻简化设施设备作为重点发展方向<sup>[3]</sup>。因而，木腐菌栽培的一些发展模式值得双孢蘑菇产业借鉴，如：为防御市场剧烈波动的风险，一些有经验、有思想的周年工厂化栽培者，改原来的“大而全、重资产”的做法为采用“轻资产”运营模式，将企业全年所需的菌包全部交由专门的菌包制作中心完成，企业长期租赁专业旧厂房，在完成出菇房改造与设备添置后，进行出菇管理及销售<sup>[1]</sup>，这一模式非常适合小型企业运营；为推动传统栽培向规模化、标准化有效过渡，近年来浙江、河北等地借鉴日本“培养中心模式”，整合散户实现统一制作菌棒及接种、发菌，能够减少散户装备投资、节约生产成本，进一步降低劳动强度，提高食用菌生产效率<sup>[20,21]</sup>。这两种经营模式是在现实国情条件下做出的有益尝试。

适合我国国情的双孢蘑菇栽培机械化发展道路，需要考虑以下几个问题。

一是生产布局、生产规模必须与农区实际情况相结合。我国地域东西、南北跨度大，农区地貌、气候、农业生产活动条件差异大，不同地区间的贫富差距、经济发展不平衡，发展双孢蘑菇必须考虑各地气候、资源和生产成本等，重在优化优势基地和区域布局，如河南、山东、江苏等栽培原料较为集中的地区<sup>[22]</sup>；中小企业生产规模应与当地农牧业资源规模相配套，地方各级政府可出台政策加以引导。

二是设施设备机械化、轻简化、智能化是发展的必然。

三是生产组织模式多元化，打破地域限制，根据资源条件实行分工、分段合作。在原料资源丰富、场地宽裕、水电便利区域建双孢蘑菇栽培基质制作功能区；在气候、市场、劳动力等条件具相对优势的区域建立专业出菇功能区。可分情况采用以下发展模式：一是全机械化的工厂化发展模式，适宜建在经济发达、交通便利地区；二是专业化发展模式，制料、上料、覆土和下料等作业由专业化公司承担，栽培主体负责环境调控出菇房的建设、生产管理及采菇等，鲜菇由专业公司统一收购；三是“公司+农户”模式，公司负责配方定制、菌种制作、制料、打包及技术指导，菇农完成栽培环节，企业进行产品包装销售，此模式以季节性生产为主，有利于降低菇农生产成本，增加收益。

要实现双孢蘑菇栽培机械化目标，必须先解决以下两个问题：一是专业技术人员匮乏问题，亟需开展理论与实践相结合的专业化培训，特别是迎合企业、地方一线专业人才需求的定向培养；二是针对生产工艺流程，研发配套的轻简化设施设备，实现菌机与菌艺相融合。

### 3 双孢蘑菇生产工艺流程及其配套的轻简化设施和机械需求

轻简化是与传统手工操作相对应的概念：“轻”是机械代替人工，减轻劳动强度；“简”是减少作业环节和次数，简化栽培管理；“化”则是菌机与菌艺融合、良种与良法配套的过程。轻简化绝不等同于机械化，轻简化生产是以机械化为主体，以资源高效利用为核心，在实现高产的同时，最大程度降低劳动力成本和劳动强度的生产方式<sup>[23]</sup>。以轻简化设施设备为重点研发方向，设计、生产、制造适合我国双孢蘑菇发展模式的机械装备有着巨大的发展潜力。

筐（包）式栽培是实施轻简化栽培的一个有效途径。根据双孢蘑菇栽培生产工艺流程，以轻简化设施栽培为目标，以菌筐（包）栽培为模式，提出以下较具体的双孢蘑菇轻简化配套机械设施实现路径，内容包括十个功能区、一套病虫害防控系统，涉及配套机械设备 28~30 种（套）（图 3）。

#### 3.1 原料预处理

机械设备主要为切碎或粉碎机、秸秆预湿机和干粪肥粉碎预湿机。

原料切碎、粉碎机：要求具备“挤、切、揉”加工工艺性能，充分破坏秸秆（玉米芯）等材料物理结构，以利于原料预湿、透气及发酵，并尽可能减少粉末料的产生。

秸秆预湿机：现行工艺预湿效果均质性差，费水、费时、费力，环境污染问题突出，秸秆预湿要求将加工好的秸秆聚拢、扭紧成束状后推送入水中，期间可通过改变秸秆束的松紧状态，促使秸秆迅速吸收水分，经过一定的浸水过程，含水量达到要求后推出。

干粪肥粉碎预湿机：具备粉碎、喷淋、搅拌一体化功能，能避免混合料中出现直径超过 10 毫米的大粪块，减少粉尘排放，避免粪水流失与场地污染，尤其是可通过控制用水量保证预湿效果均质可调。

#### 3.2 培养料发酵与检测

培养料量化配制搅拌机：针对现有装载机混料不均匀的问题，通过借鉴饲料加工中的料斗定量配

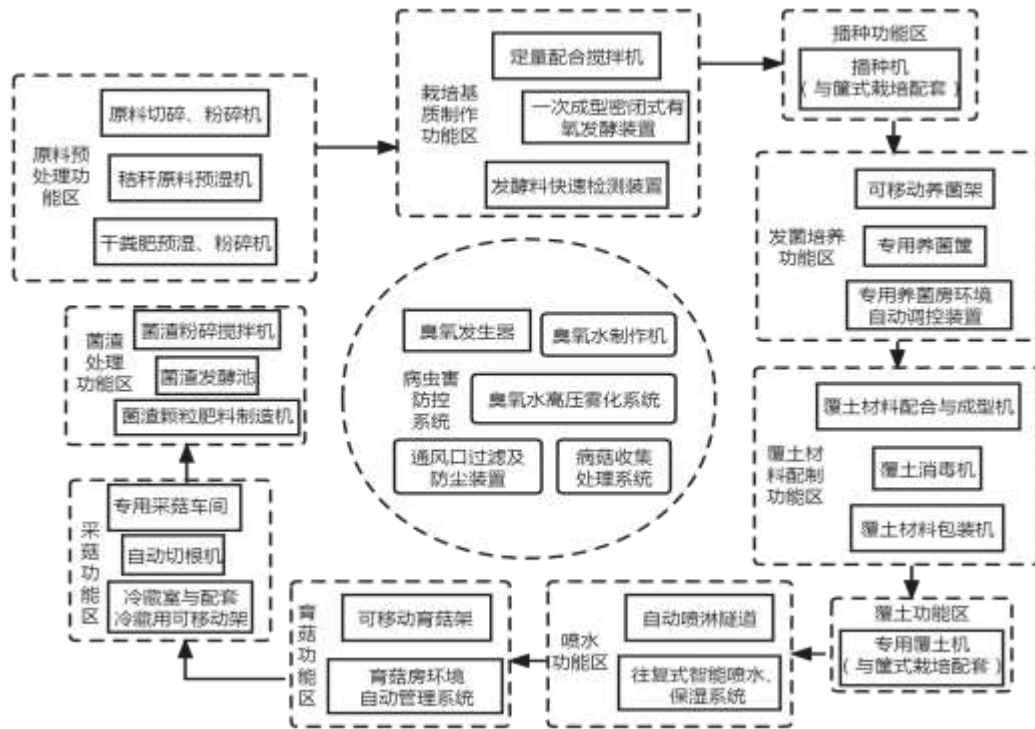


图3 双孢蘑菇工厂化生产流程、功能区划分及配套机械示意图

制与搅拌工艺，保证培养料的成分含量精确，促进主料（秸秆等）与辅料（豆粕、石灰粉、石膏粉等）均匀混合。

一次成型密闭式有氧发酵装置：室外堆积一次发酵与室内增温二次发酵相结合，开发适合小规模生产，可移动、节能环保、自动化程度高的轻简化原料发酵装置是关键。现行的隧道式增氧发酵是主流发酵技术，其成本和耗能高，环境污染隐患较大；而欧洲国家的工厂化双孢蘑菇栽培技术模式，因投资过大，不适宜于我国农村小规模分散经营，难以广泛应用。本课题组已成功研发试制出封闭发酵装置，并获两项国家实用新型专利。

发酵料质量检测设备：国内多数双孢蘑菇栽培因发酵料理化性质检测耗时长、技术复杂、缺少必要设施设备与配套技术人员等原因，基质质量往往得不到保证。基质质量快速检测装置（主要包括含水量、透气性、pH、黏度等检测指标）的研发更能切合生产企业的实际需要。

### 3.3 播种

播种机（与筐式栽培配套）：采取混合播种与表层播种相结合的方式，先将发酵好的栽培基质与菌种搅拌混匀，再将播有菌种的发酵料混合物装入筐内或打包，最后在栽培基质表层均匀撒播一层菌种。

### 3.4 发菌培养

可移动养菌架（菌包或菌筐专用）：设计目的在于方便栽培基质上架、下架，提高劳动效率，减少上料、下料及运输的大型设备投资，提高设备与空间（养菌架可以靠紧，减少中间过道）的利用率，也便于栽培场所消毒。

专用养菌筐：与后续的机械覆土、喷水、育菇操作系统相配套。

专用养菌房环境自动调控装置：应用现代信息与智能化技术，实现菇房环境远程智能调控，保证养菌房温、湿度和空气调控适宜、恒定，减少人为因素造成的调控失误，同时降低人工成本。

### 3.5 覆土材料配制与消毒处理

覆土配制与成型机：我国农村双孢蘑菇栽培，因成本问题，少有使用草炭土等优质覆土材料，自制的覆土材料含水量不足、透气性差，导致双孢菇产量低、品质差。该机设计目的就是优先利用当地廉价的自然资源，通过添加持水力强、透气性好的材料，以搅拌、发酵、造粒等工艺，生产孔隙度、持水力、酸碱度和颗粒度均适宜的优质覆土材料。

覆土消毒机：覆土材料采取日光曝晒方式消毒，时间长而不彻底，易受天气及环境影响，而采用甲醛等药物消毒则存在残留及污染问题。因此，可借鉴食品行业高温、辐射、高浓度臭氧水等瞬间高效杀菌工艺，研发相应覆土消毒设备。

覆土材料包装机：主要是解决覆土材料商业化储运问题。

### 3.6 覆土

专用覆土机（与筐式栽培配套）：其目的是解决覆土工艺的机械化、标准化，应同时具备料面整理功能。

### 3.7 喷水

自动喷淋隧道（与筐式栽培配套）：与专用覆土机配套，通过控制喷淋隧道长度、喷淋水量、传输装置速度等参数实现喷淋效果。

育菇房往复智能喷水、保湿系统：在菇架中间顶部安装可以上下往复运动、左右双向喷水的装置，通过土层含水量感应器调控喷水量。顶部安装固定高压雾化喷头，通过空气相对湿度感应器调控湿度。

### 3.8 育菇

可移动育菇架（与筐式栽培配套）：增加单位空间的使用效率，方便进出移动。

育菇房环境自动管理系统：因地制宜开发配套设施设备与管理工艺，如北方双孢蘑菇栽培，空气湿度小是主要矛盾，养菌期间超声波增湿是优化方法，育菇期间高压雾化增湿与补水是首选措施。通风设备与温湿度调控设备配套，就可实现栽培室内环境调控，同时可避免因通风导致室内环境的剧烈变化。

### 3.9 采菇

专用采菇车间（与可移动栽培架、栽培筐相配套）：车间要求温度、光照、湿度和通风良好。机械采摘比人工采摘作业效率高，病菇处理彻底，利于出菇料面的整理。

双孢蘑菇自动切根机：目的在于提高双孢蘑菇切根效率及质量，降低人工成本。

冷藏室与配套冷藏用可移动架：冷藏室温度和湿度可精确控制，以利于延长双孢蘑菇保鲜时间。配套可移动架提高作业效率，减少人工搬运对鲜菇质量的不良影响。

### 3.10 菌渣处理

菌渣粉碎搅拌机：粉碎含水量大的菌渣废料以便于再次利用，要求进料口设计合理、粉碎物料均匀、不易粘壁、清理方便。

菌渣发酵池：将粉碎后的菌渣，混合适量的水和发酵剂后，严格密封一定天数，实现菌渣的进一步腐熟，方便后续颗粒肥料的制作。

菌渣颗粒肥料制造机：菌渣经发酵、造粒等加工工艺后，方便现代化播种施肥一体机施用，可促进

商业化菌渣肥料的利用。

以上设施设备,可依据不同地区的农区交通、自然气候、劳动力和市场等条件灵活选择。

### 3.11 病虫害防控系统

臭氧发生器:设计目的在于实现栽培各环节的空间消毒,要求体积小、可移动、功率可选。

高浓度臭氧水机:已有现成设备,可移动、功率可选,其可实现覆土材料的消毒杀菌。

臭氧水高压雾化系统:与臭氧水制造机配套使用,要求雾化效果好、体积小、可移动、功率可选。

病菇收集处理系统:菇房配套相应的病菇专用采集、隔离收集处理设备,防止病菇病源化传播。

通风口过滤与防虫装置:采取管道通风方式,于通风口处设置过滤、防虫、消毒、温湿度调控一体化设备,在严格把控空气进出通道的同时,大幅降低室内设备投资与能源消耗。

## 4 结 论

现今双孢蘑菇在欧美发达国家是餐桌上不可或缺的食品,在我国,双孢蘑菇产品认知度亦高,市场空间巨大。当前我国双孢蘑菇产业正处于转型关键期,工厂化栽培已成为产业发展的必然趋势。根据我国国情,设计、生产、制造适合我国双孢蘑菇发展模式的机械装备有着迫切需求和巨大的发展前景。

### 参考文献

- [1] 黄毅,郑永德.当前食用菌企业困局的形成原因与突破路径探讨[J].食药用菌,2022,30(1):1-6.
- [2] 李天来.外行视角看我国设施食用菌发展[J].食药用菌,2019,27(4):225-230.
- [3] 李玉.中国食用菌产业发展现状、机遇和挑战——走中国特色菇业发展之路,实现食用菌产业强国之梦[J].菌物研究,2018,16(3):125-131.
- [4] 钟顺昌,Miller M,谭琦,等.谷粒菌种发明86周年:双孢蘑菇现代化商业栽培回顾[J].食用菌学报,2019,26(1):77-98.
- [5] 郑玲.我国双孢蘑菇产业转型升级道路探讨[J].食药用菌,2012,20(1):5-7.
- [6] 袁滨,林文发,柯丽娜,等.漳州双孢蘑菇工厂化生产的创新与转型——有感于双孢蘑菇产业的考察调研[J].食药用菌,2015,23(6):349-351.
- [7] 王泽生.双孢蘑菇遗传育种支撑产业发展[A].中国菌物学会第七届全国会员代表大会暨2017年学术年会摘要集[C].北京:中国菌物学会,2017.
- [8] 2019年度全国食用菌统计调查结果分析[J].中国食用菌,2021,40(6):104-110.
- [9] 2020年度全国食用菌统计调查结果分析[J].中国食用菌,2022,41(1):85-91.
- [10] 王荣先,赵向鹏,林士兰,等.双孢蘑菇工厂化生产关键装备研究现状及对策[J].农业工程,2019,9(11):59-62.
- [11] 东方财富网.2020年中国双孢蘑菇发展现状及保鲜技术研究[EB/OL].[2021-03-12].<https://caifuhao.eastmoney.com/news/20210312130840310028180>.
- [12] 柳琪.食用菌全程机械化发展趋势判断[J].农机科技推广,2017(5):41-42.
- [13] 宋卫东,王明友,肖宏儒,等.我国食用菌工厂化生产技术[J].中国农机化,2011(6):80-82,86.
- [14] 罗欣,张唐娟,廖剑,等.食用菌工厂化发展现状和趋势[J].农业开发与装备,2021(1):114-115.
- [15] 颜卫兵,李伟伟,张晓召.双孢蘑菇上料装备从自动化到智能化的发展升级[J].食药用菌,2021,29(6):480-483.
- [16] 金贤松,樊小轻,袁杰,等.双孢蘑菇工厂化生产环控装备与控制系统的研发应用[J].食药用菌,2021,29(6):484-487.
- [17] 王春宝.中国双孢蘑菇工厂化栽培的现状及技术难点的破解[J].食药用菌,2015,23(6):337-339.
- [18] 宋益胜.中国双孢蘑菇栽培模式的发展趋势[J].食药用菌,2018,26(1):15-17.
- [19] 应学兵,宋吉玲,陆娜,等.双孢蘑菇工厂化发酵料在传统菇棚的出菇试验[J].中国食用菌,2021,40(8):39-42.
- [20] 景全荣,徐名汉,刘天舒,等.袋栽食用菌生产关键装备现状及发展趋势[J].农业工程,2020,10(4):11-15.
- [21] 景全荣.我国食用菌机械化生产现状及发展趋势[J].中国农机监理,2020(9):23-24.
- [22] 陈梁城,赵书光,郑永德,等.发展双孢蘑菇产业之思考[J].食药用菌,2014,22(2):71-74.
- [23] 官春云.作物轻简化生产的发展现状与对策[J].湖南农业科学,2012(2):7-10.