

基于大食物观的森林食用菌产业现状、问题与对策

魏杰^{1*}, 曹子恒¹, 黄晨阳^{2*}

- 1 内蒙古大学 生命科学学院, 内蒙古自治区高校生物种质资源保护与利用工程研究中心, 微生物资源及合成生物学实验室, 森林食用菌资源培育与利用研究室, 内蒙古 呼和浩特
- 2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北方干旱半干旱耕地高效利用全国重点实验室, 农业农村部农业微生物资源收集与保藏重点实验室, 北京

魏杰, 曹子恒, 黄晨阳. 基于大食物观的森林食用菌产业现状、问题与对策[J]. 微生物学报, 2025, 65(4): 1714-1725.

WEI Jie, CAO Ziheng, HUANG Chenyang. Current situation analysis, problems, and countermeasures of edible forest mushroom industry based on the big food view[J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2025, 65(4): 1714-1725.

摘要: 森林食用菌是森林食品的重要组成部分, 也是助力森林实现“水库、钱库、粮库和碳库”功能的重要资源。向森林要食物, 是践行大食物观的重要抓手之一。本文基于我国森林食用菌产业呈现良性发展但地区发展不均衡、林下人工食用菌种植规模较大但缺乏区域特色和精深加工、菌根食用菌优势明显但科技支撑不足等现状, 在优化产业规划、强化科技资源投入、加快产业数智化及多模式发展、加强气候变化监测及种质资源保护等方面提出建议, 以期为壮大森林食用菌产业并为践行大食物观提供科技支撑。

关键词: 森林食用菌; 森林食品; 林下经济; 林菇共育; 菌根食用菌

资助项目: 国家自然科学基金(32460793)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (32460793).

*Corresponding authors. E-mail: WEI Jie, weijie_211@163.com; HUANG Chenyang, huangchenyang@caas.cn

Received: 2024-10-06; Accepted: 2025-03-15; Published online: 2025-03-25

Current situation analysis, problems, and countermeasures of edible forest mushroom industry based on the big food view

WEI Jie^{1*}, CAO Ziheng¹, HUANG Chenyang^{2*}

1 Inner Mongolia Engineering Technology Research Center of Germplasm Resources Conservation and Utilization, Laboratory of Microbial Resources and Synthetic Biology, Laboratory of Cultivation and Utilization of Edible Forest Mushroom Resources, College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot, Inner Mongolia, China

2 State Key Laboratory of Efficient Utilization of Arable Land in China, Key Laboratory of Microbial Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China

Abstract: Edible forest mushrooms are one of the main forest foods and an essential resource for forests to achieve the functions of conserving water, bringing in economic benefits, boosting grain production, and also serving as a carbon sink. This study summarizes the current situation of the edible forest mushroom industry in China, such as benign development with imbalanced regional development, scaled planting under forests but lack of regional characteristics and deep processing products, and the advantages of edible ectomycorrhizal mushrooms with weak scientific and technological support. Suggestions are put forward on optimizing planning, promoting the investment of scientific and technological resources, accelerating digital intelligence and multi-mode development, conducting climate change monitoring, and protecting germplasm resources, in order to make positive contributions to the development of the edible forest mushroom industry and provide scientific and technological support for the practice of the big food concept.

Keywords: edible forest mushrooms; forest food; under-forest economy; co-cultivation of forest and edible mushrooms; edible ectomycorrhizal mushrooms

森林是以乔木为主体的生物群落，是乔木与其他植物、动物、菌物等生物以及无机环境之间相互依存、相互制约、相互影响而形成的一个生态系统，是陆地生态系统的主体。森林蕴藏着地球上大部分陆地生物多样性，提供了重要的生态系统服务功能；森林在国家生态安全和人类经济社会可持续发展中具有基础性、战略性地位，是水库、钱库、粮库和碳库，蕴藏着丰富的食物资源。森林食品是以森林环境下野生或人工培育(含养殖)的动物、植物、微生物为原料，不经加工或经过加工的各类食品，具有原生态、无污染、健康、安全等特性。联

合国粮农组织发布的《2024 年世界森林状况》^[1]报告指出，全球林木产量处于创纪录水平，现已达到每年约 40 亿 m³，全球还有近 60 亿人使用非木质林产品，70% 的贫困人口依赖野生动植物获取食物、药物、能源和收入等。数据显示，我国目前有森林 2.31 亿 hm²，蕴含丰富的食物资源，是一座天然巨大的粮库。国家林业和草原局统计显示，2023 年，我国实现以经济林为主的森林食物产量 2.26 亿 t。2024 年起，“森林食品”连续 2 年写入中央一号文件。

我国森林食品的内涵经历了“三品一标”

(1990年)、森林食品(2003年)、森林生态食品(2020年)的拓展过程^[2]。森林食用菌是森林食品的重要组成部分,其在森林食品中的分类随着森林食品内涵的延伸而不断变化。在前2个时期,森林食用菌均被归类于蔬菜类或其他类;在《T/LYCY 008—2020 国家森林生态标志产品森林生态食品总则》中,森林食用菌首次被单独划分出来,即森林生态食用菌与森林生态植物源食品、森林生态动物源食品并列。森林生态食用菌进一步细分为腐生性食用菌(包括木生菌、草生菌、土生菌等,如黑木耳、香菇、大球盖菇、羊肚菌、竹荪等)、共生性食用菌(即菌根食用菌,如松乳菇、红菇、牛肝菌)以及寄生性食用菌(寄生于活有机体的食用菌,如冬虫夏草)。我国是世界上认知和利用野生菌最早的国家,在食用菌实现人工栽培之前,人类所采食的野生菌主要来源于森林。

在树立大农业观、大食物观的背景下,要向森林要食物,向江河湖海要食物,向设施农业要食物,向植物、动物、微生物要热量、要蛋白,全方位、多途径开发食物资源,森林食用菌产业发展迎来了难得的机遇。新修订的《中华人民共和国森林法》首次将“林下经济”写入法律条文,从法律层面明确发展林下经济与保护森林资源互不矛盾,在符合一定条件的前提下可以对森林资源进行科学合理利用。林下经济在森林多功能作用、保护生物多样性、维持水和土地资源、提供多种木材和非木质林产品等方面发挥着积极作用^[3]。《林草产业发展规划(2021—2025年)》^[4]中提出,发展林下经济,重点发展包括林下食用菌(林菌)在内的种养殖及林下采集加工等。林菌在林下经济主要模式区域都有布局,野生菌类等林下采集加工在东北、华北、西南地区也有布局。2021年11月,国家林业和草原局发布的《全国林下经济发展指南

(2021—2030年)》^[5],提出到2030年,全国林下经济经营和利用林地总面积达到0.47亿 hm^2 ,实现林下经济总产值1.3万亿元,大力发展林下食用菌产业等重点领域,为森林食用菌产业的发展带来了契机。2024年9月15日发布的《关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见》(〔2024〕46号)中提出,积极发展经济林和林下经济,稳妥开发森林食物资源,推广林药、林菌等森林复合经营模式,开发新型森林食品,为森林食用菌产业的发展指明了方向。

目前,我国森林食用菌科技创新能力滞后于产业发展,无法有力支撑和引领产业发展。本研究深入分析森林食用菌的现状、问题,并提出对策,以期为森林食用菌产业高质量发展提供科技支撑。

1 数据来源

2004—2022年全国森林食用菌数据来自中国林业信息网(<http://lygc.lknet.ac.cn/>),并结合中国食用菌协会公布的数据进行修正,其中,2019—2021年数据缺失。

2 我国森林食用菌产业现状

2.1 我国森林食用菌初具规模

根据统计数据推算,各省(自治区、直辖市)对林下食用菌统计的标准不一致。有的省份仅仅包含林下野生食用菌,有的省份还包括了林下栽培的食用菌和/或以林木为原料栽培的木腐菌。森林食用菌是森林食品的重要组成部分。2004年产量达到135.3万t,2022年增至230.8万t(图1),增幅约70.58%。2012年以来,我国森林食用菌产量稳定在200万t左右,整体呈现稳中有增的趋势,特别是2015年,全国森林食用菌产量达到最高值,为273.5万t。

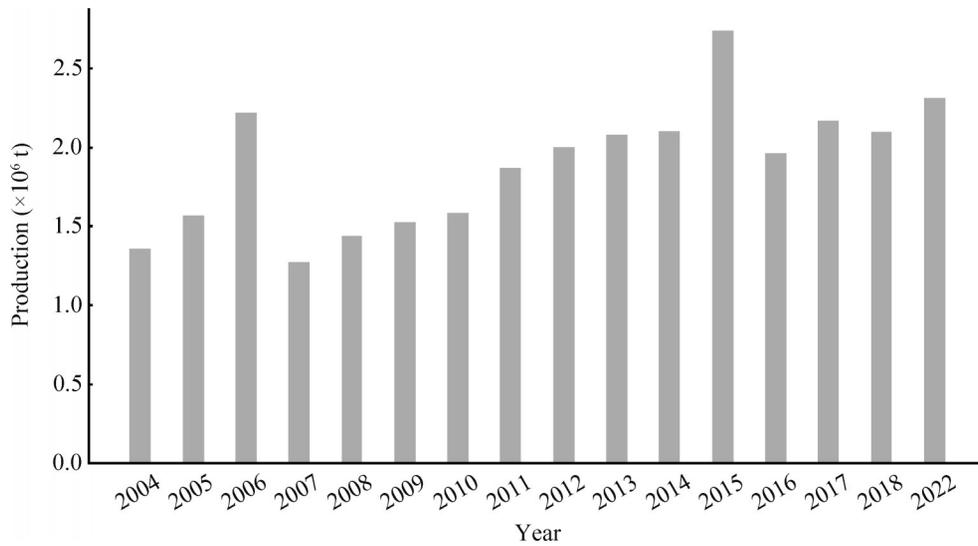


图1 2004–2022年全国林菌产量

Figure 1 National edible forest mushroom production from 2004 to 2022.

2.2 我国森林食用菌优势种类规模增长显著

野生松茸和牛肝菌是我国森林食用菌的优势种类。2010–2020年,我国松茸的产量从2010年的3 736 t增长到2014年突破5 000 t,2020年达到1.37万 t(图2)。牛肝菌的产量从2010年的1.29万 t增长到2017年突破6万 t,

2020年达到9.78万 t(图2)。

2.3 地区间发展不平衡

从地区来看,2004–2022年期间(2019–2021年数据缺失),森林食用菌总产量在600万 t以上的省仅有福建;200–400万 t的省有辽宁、黑龙江和湖北;100–200万 t的省有浙江、河南、四川和云南;50–100万 t的省(自治区)有吉林、安

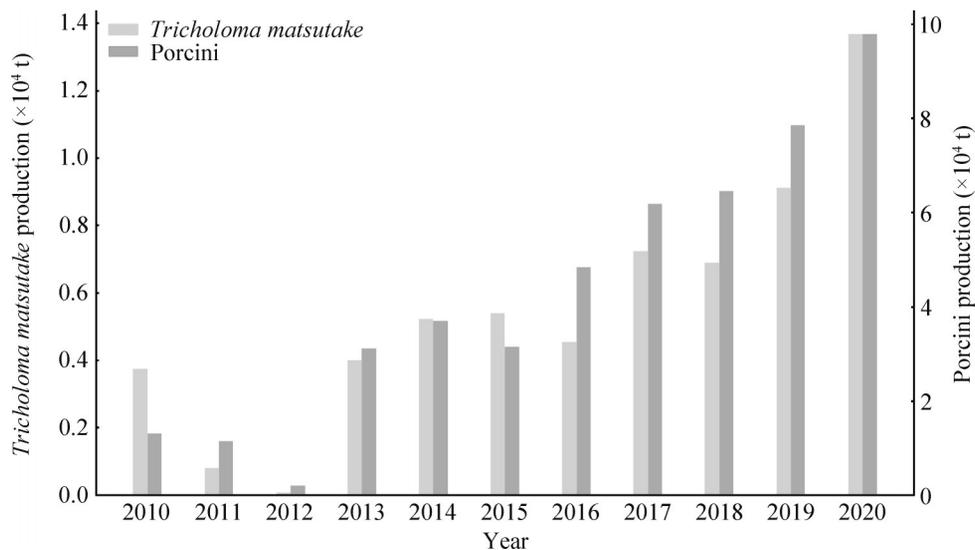


图2 2010–2020年松茸和牛肝菌产量

Figure 2 Production of *Tricholoma matsutake* and porcini from 2010 to 2020.

徽、广西、湖南、山东、江西、陕西和贵州；50 万 t 以下的省(自治区、直辖市)有江苏、广东、北京、重庆、河北、山西、内蒙古、甘肃和西藏(图 3)。

不同省份年度间森林食用菌产量存在波动。2018 年，森林食用菌产量分析显示，产量在 45 万 t 以上的省仅有福建；10–40 万 t 的省有黑龙江、河南、湖北和安徽；5–10 万 t 的省(自治区)有贵州、四川、吉林、云南、陕西、江苏、江西、广西；1–5 万 t 的省(自治区)有浙江、湖南、辽宁、山东、广东和内蒙古；1 万 t 以下的省(自治区、直辖市)有重庆、河北、甘肃和西藏(图 4)。2022 年，森林食用菌产量在 60 万 t 以上的省仅有福建；10–40 万 t 的省有云南、湖北、黑龙江、贵州和四川；5–10 万 t 的省(自治区)有浙江、江西、江苏、吉林、广西和河南；1–5 万 t 的省(自治区)有陕西、安徽、湖南、广东、辽

宁、河北和内蒙古；1 万 t 以下的省(自治区、直辖市)有重庆、山东、西藏和甘肃(图 4)。

同一省份不同年度森林食用菌产量波动也较大。以我国东北、西南和东南的黑龙江、云南和福建为例(图 5)，2004–2022 年 3 个省份的森林食用菌产量变化趋势各不相同。福建 2004 年森林食用菌产量已达 54 万 t，此后产量震荡下滑，但至 2018 年产量始终保持在 30 万 t 以上，个别年份产量在 40 万 t 以上，2022 年增长到 60 万 t 以上。黑龙江森林食用菌产量 2004 年仅为 2 万 t 左右，但保持持续增长，到 2015 年达到 38 万 t，此后逐年下降，到 2022 年仅为 23 万 t，但从 2012 年至 2018 年产量始终在 20 万 t 以上。云南森林食用菌产量由 2004 年的 2 万 t 持续增长，2015 年猛增到 58 万 t，此后产量急剧下降，2022 年产量回到 30 万 t 水平。

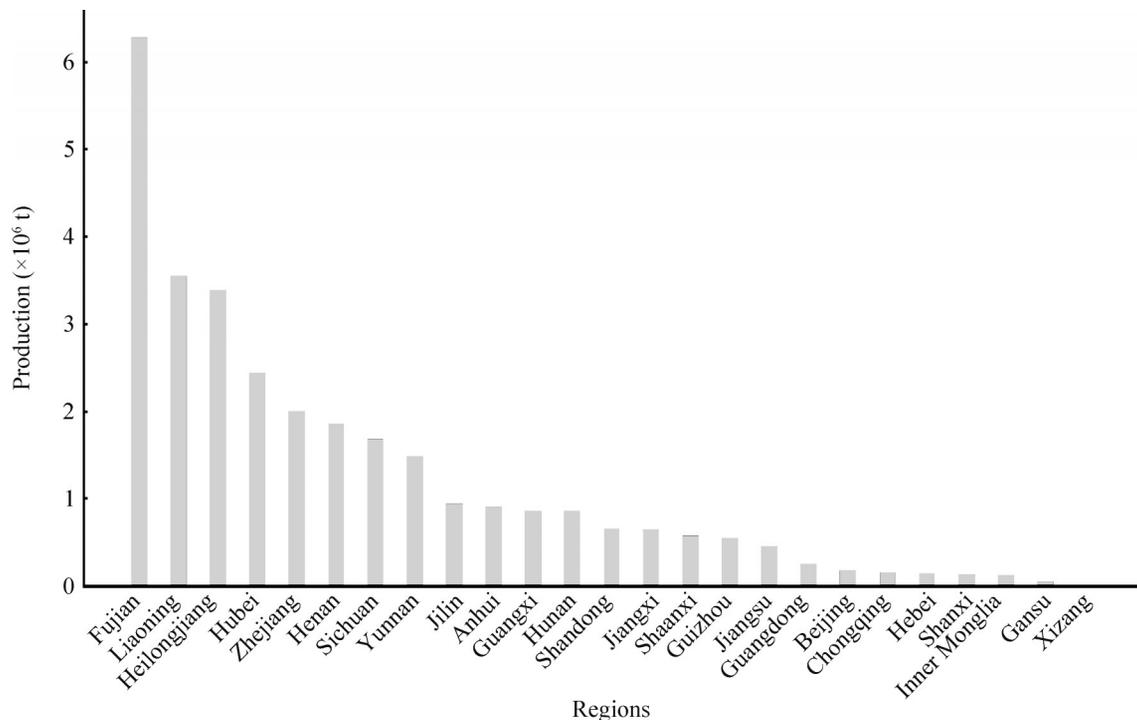


图3 2004–2022年国内各地区林菌总产量

Figure 3 Total production of edible forest mushrooms in different regions of China from 2004 to 2022.

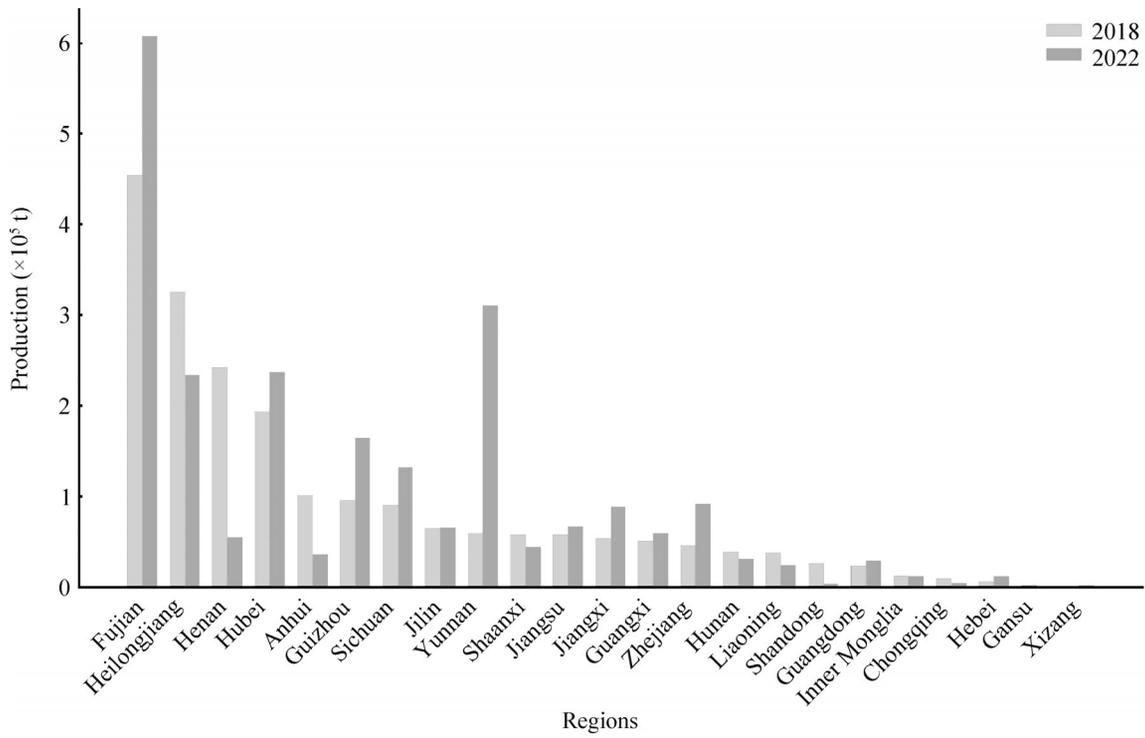


图4 2018年和2022年国内各地区林菌产量

Figure 4 Production of edible forest mushrooms in different regions of China in 2018 and 2022.

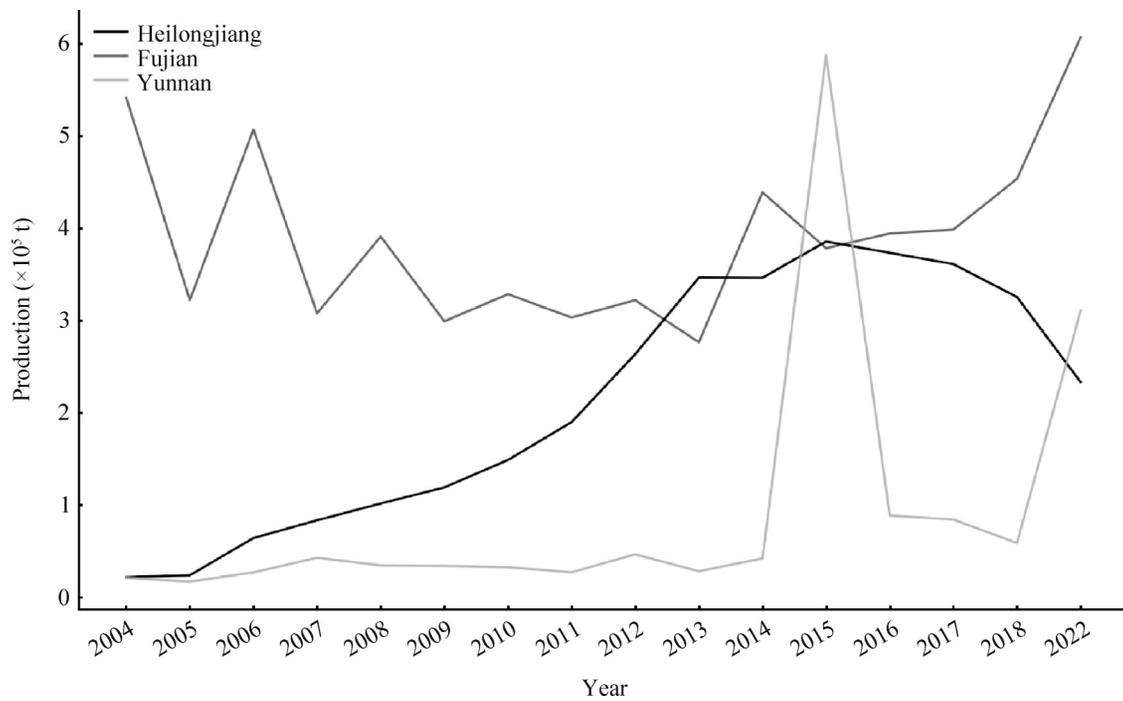


图5 2004–2022年黑龙江、福建和云南林菌产量

Figure 5 Production of edible forest mushrooms of Heilongjiang, Fujian, and Yunnan from 2004 to 2022.

2.4 菌根食用菌出口换汇优势明显

块菌、松茸及牛肝菌是我国食用菌产业出口的主要种类。2012–2021年这10年间，鲜或冷藏的松茸出口量达6 801.40 t，出口金额达3.73亿美元；鲜或冷藏的块菌出口量为1.31万t，出口金额为0.58亿美元；盐水松茸出口量为464.06 t，出口金额为0.11亿美元；干牛肝菌出口量为1.19万t，出口金额为2.84亿美元(图6)。

3 我国森林食用菌存在的问题

3.1 菌根食用菌优势明显但总体规模小，发展缓慢

森林菌根食用菌产量低但产值高，为我国出口创汇作出了重要贡献。块菌、松茸及牛肝菌是我国食用菌出口的主要种类，2010–2020年松茸、牛肝菌等品类产量逐年递增。云南省菌根食用菌产业可以较好地反映我国菌根食用菌产业特点。《2021年度云南省食用菌产业发展报

告》显示，2021年全省食用菌总产量为85.14万t，总产值为324.93亿元，其中野生食用菌产量为28.04万t，产值为211.13亿元；栽培食用菌产量为57.1万t，产值为113.8亿元。出口创汇较高的品种包括松茸(0.06万t，0.32亿美元)、牛肝菌(0.6万t，0.38亿美元)和块菌(0.13万t，0.14亿美元)。云南省已形成以野生食用菌为主的鲜明特色森林食用菌产业，2022年和2023年云南省食用菌产量分别为98.33万t和110.34万t，其中野生食用菌产量分别为31.61万t和39.67万t，产值分别为250.54亿元和295.57亿元，约占各年总产值的65%和67% (<https://nync.yn.gov.cn/uploadfile/s38/2023/1220/2023/220042614816.pdf>)，以上数据表明菌根食用菌的产值优势明显。除云南外，尽管贵州、四川、陕西及内蒙古等少数地区建有菌根食用菌种植园，但种植地块分散，规模化程度低，发展缓慢。

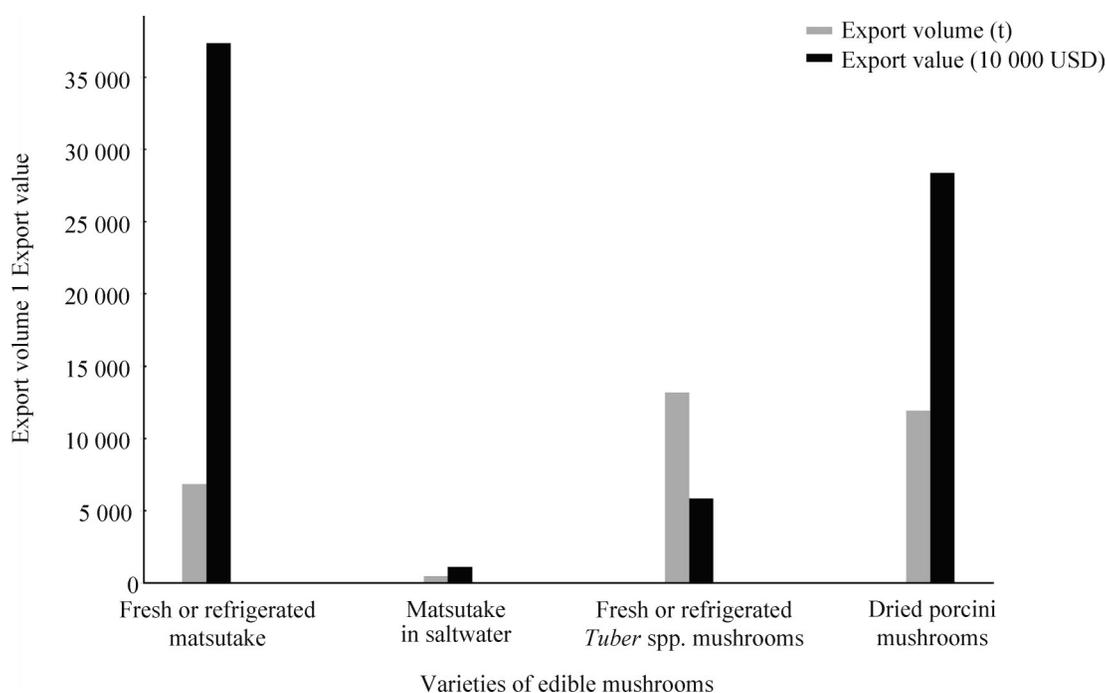


图6 各类菌根食用菌出口量(t)及产值(万美元)

Figure 6 Export volume and export value of various types of edible ectomycorrhizal mushrooms.

3.2 森林食用菌区域性强, 产业发展不均衡

我国森林食用菌区域性强, 产业规模差异大。2004–2022 年这 19 年间, 各省份森林食用菌产量可分为 5 个梯队, 即 600 万 t 以上、200–400 万 t、100–200 万 t、50–100 万 t 和 50 万 t 以下, 其中总产量在 100 万 t 以下的省份占大多数, 共 17 个。2012 年以来, 我国森林食用菌产业呈现良性发展, 年产量维持在 200 万 t 左右。2010–2018 年及 2022 年, 我国森林食用菌产量占全国食用菌总产量的 5.4%–7.9%, 相比于我国的森林规模, 森林食用菌产业仍有巨大潜力。

以黑龙江和福建为例, 福建的森林食用菌产业具有前期优势, 这与其资源禀赋、技术优势、政策导向、市场拓展以及食用菌产业化发展较早有关。福建早期森林食用菌产量远高于其他地区, 表明其食用菌产业早期可能以林下种植为主, 例如依托丰富的竹林资源, 大力发展林下竹荪、灵芝、茯苓等食用菌种植。尽管产量有所震荡下滑, 但始终保持在全国前列。黑龙江依托丰富的森林资源与冷凉气候优势, 森林食用菌产量从 2004–2015 年保持高速增长。2015 年起大小兴安岭、长白山林区的天然林主伐全面停止[《全国资源型城市可持续发展规划(2013–2020 年)》], 这对森林食用菌生产产生了一定的影响。

3.3 林下栽培食用菌特色不足, 可持续发展动力不足

目前, 我国林下栽培食用菌以腐生食用菌为主, 种类数量发展较快, 但缺乏特色。在《全国集体林地林药林菌发展实施方案(2015–2020)》中, 明确重点发展香菇、侧耳、木耳、草菇、金针菇、猴头菇、蘑菇、竹荪和羊肚菌等。目前, 从全国来看, 常见林下栽培

食用菌种类有香菇、平菇、毛木耳、黑木耳、竹荪、大球盖菇、鸡腿菇、白灵菇、双孢蘑菇、灰树花、茶薪菇、草菇、灵芝、长根菇等。尽管近些年各地区不断引进林下栽培品种, 但与我国森林食用菌的种类相比, 森林腐生食用菌栽培品种缺乏多样性和区域特色, 从长远来看, 产业难以实现可持续健康发展。

林下仿野生栽培的菌根食用菌种类较少, 在一些区域尚未布局菌根食用菌产业。目前我国报道的仿野生栽培菌根食用菌种类较少, 如黑松露、干巴菌^[6]和红汁乳菇^[7]等。《全国林下经济发展指南(2021–2030 年)》中, 西北地区、华北、华东和华南地区均未布局菌根食用菌栽培, 但这些地区并不缺乏地方特色菌根食用菌。例如, 西北地区有祁连山与贺兰山的中华丝膜菌; 华北地区有山西中条山脉华山松林下的美洲乳牛肝菌^[8]、油松林下的褐环乳牛肝菌、落叶松林下的厚环乳牛肝菌、灰乳牛肝菌等^[9], 以及黄粉红蜡伞、中国美味牛肝菌、丝状色钉菇、灰锁瑚菌、皱锁瑚菌、管形喇叭菌、金黄枝瑚菌、横断乳菇、天蓝红菇、蓝黄红菇^[10]; 河北太行山北部有斑点铆钉菇、淡红蜡伞、香乳菇、橙黄疣柄牛肝菌、灰乳牛肝菌、褐环乳牛肝菌、血红色钉菇、杨树口蘑、大孢硬皮马勃^[11], 河北雾灵山国家级自然保护区有漆亮蜡蘑、淡红蜡伞、鸡油菌、喇叭菌、血红色钉菇、橙黄疣柄牛肝菌、美味牛肝菌、松乳菇、厚环乳牛肝菌等^[12]; 华东地区有江西的乳白马鞍菌、黄棕丝膜菌、多变丝膜菌、灰鹅膏等^[13]。目前, 我国林下食用菌产业发展规划局限于少数类群, 缺乏科学的系统分类支撑, 急需增加适合不同区域发展的森林食用菌种类, 以充分发挥食用菌在构建粮食安全大格局中的作用。

3.4 森林食用菌加工处于初级阶段

我国大部分森林食用菌栽培规模较小或以

野生自然资源为主, 目前仍停留在初级产品加工和低水平经营阶段, 主要以风干、烘干、速冻等加工方式为主。此外, 一产、二产、三产融合不足, 产业链条较短, 基础设施滞后, 产业难以壮大, 综合利用加工程度低, 产品成本高, 未能真正将资源优势转化为特色产业优势。

3.5 科技支撑滞后于产业需求

在资源方面, 采集、鉴定和深度评价缺乏系统性、科学性, 面临资源丰富, 但挖掘利用率低的困境; 在育种方面, 仍停留在传统的系统选育阶段, 缺乏突破性品种; 在功能挖掘方面, 仅停留在物质含量测定层面, 未能证实其功能性; 在驯化栽培方面, 共生菌驯化尚未实现突破, 仍停留在人工促繁阶段; 在人才方面, 缺乏专业人才, 未形成网络和团队, 严重制约产业发展的后劲。

4 我国森林食用菌发展潜力分析

4.1 发展空间潜力大

《全国林下经济发展指南(2021–2030年)》中提出, 到2025年林下食用菌生态培育面积目标为500万亩(约33万 hm^2), 到2030年目标为800万亩(约53万 hm^2), 表明我国森林食用菌产业发展空间巨大。该指南明确指出, 林药、林菌发展应以保护生态环境为前提, 在《全国林地保护利用规划纲要(2010–2020年)》区划的III、IV级林地中开展, 其中2020年III、IV级林地占比分别为35.58%和28.31%。根据第八次全国森林资源清查结果, 扣除禁止或限制开展经营性生产活动的I、II级林地6873.80万 hm^2 后, 仍有11702.16万 hm^2 林地可用于发展林药和林菌产业[《全国集体林地林药林菌发展实施方案(2015–2020)》]。此外, 郁闭度0.2以上的乔木林地、竹林地、灌木林地、疏林地以及苗

圃地等也可用于发展林菌产业, 进一步拓展了森林食用菌产业的发展空间。2020年11月18日国务院发展改革委发布了《关于科学利用林地资源促进木本粮油和林下经济高质量发展的意见》, 提出科学利用林地资源, 积极探索林果、林药、林菌等多种森林复合经营模式, 进一步拓宽食物来源渠道, 促进增强国家粮食安全保障能力。综合来看, 我国森林食用菌产业发展空间潜力巨大。

4.2 创新利用潜力大

“林菇共育系统”的创新发展潜力巨大。以森林腐生食用菌栽培为代表的浙江庆元林-菇共育系统在我国传承了几百年, 奠定了我国现代食用菌产业的基础。以培育森林菌根食用菌为目标的另一个林-菇共育系统将在我国森林食用菌产业发展中发挥重要作用。《全国集体林地林药林菌发展实施方案(2015–2020)》中, 与树木共生的菌根食用菌等高端品种是林菌重点品种选择的原则之一。路飞等^[14]根据主导功能、资源特点和发展条件等因素, 将全国林药、林菌发展从地域和布局上划分为7个区域, 其中4个区域布局了菌根食用菌模式, 包括东北菌根性食用菌发展区、南方菌根性食用菌发展区、云贵高原菌根性食用菌保护促产发展区, 以及青藏高原菌根性保护促产发展区。云南、贵州、四川等西南地区自2003年开始陆续建立了块菌种植园, 部分种植园已开始产出块菌^[15]; 湖南建立了面积达65 hm^2 的红汁乳菇马尾松种植园^[16], 为菌根食用菌种植园在我国的规模化发展奠定了基础。

4.3 科学规划潜力大

全国林下经济示范基地中, 林菌示范基地占比较低, 且主要以腐生食用菌为栽培种类, 未来科学规划潜力巨大。2013年9月30日, 国家林业和草原局(原国家林业局)公布了首批国家

林下经济示范基地名单。截至 2021 年 12 月 24 日第五批国家林下经济示范基地名单发布, 前五批共认定了 649 个林下经济示范基地。首批 20 个示范基地中, 涉及林菌的有 4 个, 分别位于天津、海南、陕西和云南, 主要涵盖林下食用菌种植和采集加工。第五批 123 个示范基地中, 涉及食用菌的有 6 个, 分别位于吉林、辽宁、江西、重庆和贵州, 主要涉及的食用菌种类包括木耳、灵芝和黑皮鸡枞等。总体而言, 林菌示范基地数量少、分布区域窄、示范带动效果有限, 未来发展潜力巨大。

我国的三北地区特别是华北和西北地区, 沙漠面积广阔, 可能成为未来中国北方地区向森林要食物的主战场。路飞等^[14]根据我国不同区域现有资源禀赋对全国林药、林菌发展进行了布局规划。由于新疆、内蒙古、甘肃等西北地区植被类型以荒漠灌草为主, 天然林资源分布相对集中, 因此在西北地区仅布局了大宗中药材发展区。然而, 该区域正是天然林全面保护、退耕还林、三北防护林、京津风沙源治理等重大生态工程实施的核心区域。通过持续推进国土绿化, 西北地区大幅增加了森林面积。2018 年, 全国造林面积超过 500 万亩(约 33 万 hm^2)的省(自治区)有 9 个, 按造林面积大小依次为河北、内蒙古、湖南、四川、甘肃、云南、陕西、贵州和山西。我国还将开展大规模国土绿化行动, 每年完成营造林 1.1 亿亩(约 733 万 hm^2), 预计到 2035 年全国森林覆盖率将达到 26%。在造林过程中, 为我国三北地区的主要造林树种如油松和樟子松接种菌根食用菌菌剂, 是未来在沙漠中向森林要食物的必由之路。“给一棵树接菌最好的时间是十年前, 其次是现在。”做好“适地适树”和“适地适菌”的科学规划, 探索森林食用菌的价值实现机制, 是从生态扶贫走向生态富民的具体路径, 并可实

现“前人种树、后人拾菌”的愿景, 符合我国未来大规模、低成本、可持续、高质量的蛋白生产方式创新和发展需求。

5 对策建议

在全球粮食安全问题日益凸显的形势下, 食品营养与可持续供给成为世界各国重点攻关、抢占前沿高地的关键领域^[17]。针对我国森林食用菌产业现状及存在的问题, 提出以下 6 条建议。

(1) 做好顶层设计, 抓好林菌产业科学规划。首先, 从国家层面进行全要素、全链条、全方位、成体系的部署。目前的林菌产业规划呈现区域性布局, 但腐生食用菌种类在区域间的差异不显著, 急需完善区域间林下采集和加工野生食用菌种类, 以及菌根食用菌在西北、华北、华东和华南的布局, 以满足林菌产业区域差异化需求, 支撑区域特色林菌产业发展。其次, 各省应加快制定林菌产业发展规划和森林食用菌产业发展指导意见, 落实深化集体林权制度改革, 设立专项资金, 支持规模化林菌基地建设, 打造产业链。最后, 地方应集成基础要素、产品要素、政府支持要素等, 持续推进森林食用菌产业高质量发展。

(2) 加强气候变化监测, 助力森林食用菌产业发展。气候变化引起的温度和降水等气候因素的波动, 对森林食用菌的生长和发育有着直接影响, 进而影响食用菌的产量和质量。通过气象数据及模型模拟, 为森林食用菌栽培提供保障。森林菌根食用菌仿野生栽培对气候变化尤为敏感, 应加快布局具有重要经济价值和濒危的菌根食用菌物种保育区、发展区的智能气象站建设。

(3) 做好森林食用菌种质资源保护和利用能力建设。气候变化、土地利用方式及人为活动

对我国森林食用菌种质资源造成了不同程度的威胁,尤其是森林菌根食用菌。目前,我国大部分森林食用菌的野生资源状况缺乏科学评估。在对森林食用菌资源进行调查的同时,应尽可能获取其种质资源进行迁地保护,尽快建立森林食用菌种质资源库和鉴定利用中心,为森林食用菌产业的可持续发展提供种质支持。

(4) 做好森林食用菌监测体系建设,推进产业的数智化发展。建议进一步规范森林食用菌统计内容,细分林下野生食用菌和林下栽培食用菌。在摸清森林食用菌资源数量、质量、开发状况和资源承载力的基础上,对森林食用菌生产、加工情况进行监测,并对消费情况及营养贡献进行统计核算。通过建设森林食用菌数字平台,整合原料、加工、产品、技术、渠道等资源,借助合成生物技术及人工智能技术,开发森林食用菌生物制品,构建森林食用菌资源开发与数字监测体系,为森林食用菌产业发展赋能。

(5) 做好补链延链强链工作。借助林业建设项目及森林康养和文旅项目,多途径带动森林食用菌产业发展。例如,以国家储备林和公益林建设项目为载体,发展“储备林+林菌模式”“公益林+林菌模式”,可部分解决森林食用菌产业资金来源问题。通过森林食用菌采摘、品鉴及文化体验等文旅融合方式,逐渐形成多途径发展森林食用菌产业的格局。

(6) 建立多级协作的科研梯队,发挥政策优势、人才优势。首先,构建国家到地方的森林食用菌多级科研协同体系,加快推进不同区域特色森林食用菌新品种选育、高效栽培技术、采收联合作业装备、贮运加工关键装备、高值化多功能开发利用技术研发。其次,在深入分析森林食用菌行业趋势的基础上,企业可通过深度链接高校和科研机构的人才、技术和成果优势,探索森林

食用菌产业技术创新和成果转化模式。

综上所述,森林食用菌产业基础扎实,开发潜力巨大。尽管面临诸多问题,但通过科学规划、技术创新及产业政策的逐步完善等多措并举,相信未来森林食用菌产业可为提供更加丰富多样的食物品种、构建多元化食物供给体系及确保国家粮食安全做出重要贡献。

致谢

感谢中国林业科学研究院生态保护与修复研究所冯锦霞高级工程师在数据共享方面给予的帮助。

作者贡献声明

魏杰: 论文设计与撰写; 曹子恒: 数据收集与图表绘制; 黄晨阳: 论文审阅与修改。

作者利益冲突公开声明

作者声明不存在任何可能会影响本文所报告工作的已知经济利益或个人关系。

参考文献

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. In brief to the state of the world's forests 2024—forest-sector innovations towards a more sustainable future[Z]. [2025-03-18]. <https://doi.org/10.4060/cd1212e>.
- [2] 符潮, 谷战英, 吴伶俐, 周文化, 何介南, 李建安. 我国森林生态食品研究现状与发展策略[J]. *南方林业科学*, 2021, 49(5): 60-63, 68.
- [3] FU C, GU ZY, WU LL, ZHOU WH, HE JN, LI JA. Research status and development strategy of forest ecological food in China[J]. *South China Forestry Science*, 2021, 49(5): 60-63, 68 (in Chinese).
- [4] 陈幸良. 林下经济学的缘起、发展与展望[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(6): 105-114.
- [5] CHEN XL. The origin, development and prospect of non-timber forest-based economics[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2022, 46(6): 105-114 (in Chinese).
- [6] 国家林业和草原局. 林草产业发展规划(2021-2025年)[Z]. [2025-03-18]. https://www.forestry.gov.cn/html/main/main_5461/20220210143502934848435/file/20220210143540490594614.pdf.
- [7] 国家林业和草原局. 全国林下经济发展指南(2021-2030年)[Z]. [2025-03-18]. <https://www.forestry.gov.cn/>

- html/main/main_5461/20211203160350789804950/file/20211203160545689316723.pdf.
- [6] 钟华, 段丽华, 周彬, 岳金龙, 赵苗. 昆明食用菌林下栽培现状及其发展对策[J]. 西部林业科学, 2017, 46(2): 83-87.
ZHONG H, DUAN LH, ZHOU B, YUE JL, ZHAO M. The current situation and development strategy of edible fungi cultivation understorey in Kunming[J]. Journal of West China Forestry Science, 2017, 46(2): 83-87 (in Chinese).
- [7] 谭著明. 红汁乳菇生物学特性与半人工栽培技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学博士学位论文, 2005.
TAN ZM. A study on the biological character of *Lactarius hatsutake* Tanaka and its semi-artificial cultivation[D]. Changsha: Doctoral Dissertation of Hunan Agricultural University, 2005 (in Chinese).
- [8] 刘虹, 董淑英, 李素玲. 山西一种与五针松共生的食用菌新记录种: 美洲乳牛肝菌[J]. 中国食用菌, 2022, 41(7): 18-21.
LIU H, DONG SY, LI SL. *Suillus americanus*, a new recorded species which associated with five-needle pines in Shanxi[J]. Edible Fungi of China, 2022, 41(7): 18-21 (in Chinese).
- [9] 刘虹, 李素玲, 许晶, 王华. 山西吕梁山地区乳牛肝菌属 *Suillus* 物种多样性研究[J]. 中国食用菌, 2018, 37(6): 15-19.
LIU H, LI SL, XU J, WANG H. Species diversity of *Suillus* in Lvliang Mountains of Shanxi Province[J]. Edible Fungi of China, 2018, 37(6): 15-19 (in Chinese).
- [10] 金铭. 中条山食用菌物种资源调查和鉴定研究[D]. 太原: 山西农业大学硕士学位论文, 2021.
JIN M. Investigation and identification on species resources of edible fungi in Zhongtiao Mountain[D]. Taiyuan: Master's Thesis of Shanxi Agricultural University, 2021 (in Chinese).
- [11] 史路瑶, 郭耀宾, 魏铁铮, 李明, 李守勉, 李国杰. 河北省太行山北部地区大型真菌物种多样性[J]. 河北农业大学学报, 2022, 45(5): 56-66.
SHI LY, GUO YB, WEI TZ, LI M, LI SM, LI GJ. Species diversity of macrofungi in the northern Taihang Mountains of Hebei Province[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2022, 45(5): 56-66 (in Chinese).
- [12] 杨苗, 张杰, 白嘉伟, 郭建刚, 曲亚辉, 李会平. 雾灵山国家级自然保护区大型真菌物种多样性[J]. 生物多样性, 2021, 29(9): 1229-1235.
YANG M, ZHANG J, BAI JW, GUO JG, QU YH, LI HP. Species diversity of macrofungi in the Wuling Mountain National Nature Reserve[J]. Biodiversity Science, 2021, 29(9): 1229-1235 (in Chinese).
- [13] 余湖波. 黔南州食用菌产业发展现状及对策[J]. 农业技术与装备, 2023(11): 58-60.
YU HB. Development status and countermeasures of edible fungus industry in Qiannan Prefecture[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2023(11): 58-60 (in Chinese).
- [14] 路飞, 陈为, 张良, 王海亮, 赫尚丽, 侯香莲. 全国林药、林菌发展区划布局研究[J]. 林业建设, 2014(5): 20-25.
LU F, CHEN W, ZHANG L, WANG HL, HE SL, HOU XL. Study on partition layout for development of under-forest herb and fungus[J]. Forestry Construction, 2014(5): 20-25 (in Chinese).
- [15] 王溢洋, 张国庆, 秦岭, 陈青君, 曹庆芹, 徐诗毅, 卢宇成. 块菌人工栽培现状及菌根苗培育方法的研究进展[J]. 微生物学通报, 2023, 50(3): 1245-1264.
WANG YY, ZHANG GQ, QIN L, CHEN QJ, CAO QQ, XU SY, LU YC. Current status of artificial cultivation of truffles and research progress on preparation methods of seedlings with truffle mycorrhiza[J]. Microbiology China, 2023, 50(3): 1245-1264 (in Chinese).
- [16] 谭著明, Danell Eric, 申爱荣, 傅绍春. 红汁乳菇 (*Lactarius hatsutake*) 的成功栽培-分子方法评估[J]. 食用菌学报, 2008, 15(3): 85-88.
TAN ZM, DANELL E, SHEN AR, FU SC. Successful cultivation of *Lactarius hatsutake*: an evaluation with molecular methods[J]. Acta Edulis Fungi, 2008, 15(3): 85-88 (in Chinese).
- [17] 李玉. 发挥食用菌在构建粮食安全大格局中的作用[J]. 安徽乡村振兴研究, 2022(5): 5-12.
LI Y. The role of edible fungi in building the overall situation of food security[J]. Journal of Anhui Academy of Governance, 2022(5): 5-12 (in Chinese).