

桂西北典型食用菌重金属含量分布及安全性评价研究综述

卢启庆, 黄丽娟, 韦曼颖, 李可欣, 覃勇荣*

河池学院化学与生物工程学院, 广西 河池

收稿日期: 2025年3月31日; 录用日期: 2025年4月30日; 发布日期: 2025年5月9日

摘要

为了深入了解桂西北地区食用菌中的重金属含量及其食用安全性, 通过野外调研和查阅文献资料, 了解与食用菌研究及安全利用有关的信息。结果发现, 目前关于食用菌的相关研究, 主要集中在野生食用菌资源的调查及驯化栽培、药用价值开发利用、保健、产业化发展、培养基配方及栽培技术等方面, 而关于桂西北地区的食用菌及其食品安全的相关研究报道比较少。食用菌具有良好的经济价值和社会价值, 其对重金属的吸附而导致的食品安全问题值得深入研究。为了保证桂西北食用菌的食用安全, 作者针对当前存在的问题, 提出了一些参考的意见和建议。

关键词

桂西北, 食用菌, 重金属含量, 食品安全

A Review of the Distribution and Safety Evaluation of Heavy Metal Content in Typical Edible Fungi in Northwest Guangxi

Qiqing Lu, Lijuan Huang, Manying Wei, Kexin Li, Yongrong Qin*

School of Chemistry and Biological Engineering, Hechi University, Hechi Guangxi

Received: Mar. 31st, 2025; accepted: Apr. 30th, 2025; published: May 9th, 2025

Abstract

In order to gain a deeper understanding of the heavy metal content and safety of edible fungi in the

*通讯作者。

文章引用: 卢启庆, 黄丽娟, 韦曼颖, 李可欣, 覃勇荣. 桂西北典型食用菌重金属含量分布及安全性评价研究综述[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(3): 284-293. DOI: 10.12677/hjfn.2025.143032

northwest region of Guangxi, field research and literature review were conducted to gather information related to the research and safe utilization of edible fungi. It was found that current research on edible mushrooms mainly focuses on the investigation and domestication of wild edible mushroom resources, the development and utilization of medicinal value, health care, industrial development, medium formulation, and cultivation techniques. However, there are relatively few reports on edible mushrooms and their food safety in the northwest region of Guangxi. Edible mushrooms have good economic and social value, and the food safety issues caused by their adsorption of heavy metals deserve further research. In order to ensure the safety of edible mushrooms in northwest Guangxi, some reference opinions and suggestions have been put forward for the current problems.

Keywords

Northwest Guangxi, Edible Mushrooms, Heavy Metal Content, Food Safety

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

食用菌(Edible fungi)是指子实体硕大、可供食用的大型真菌,通称为蘑菇,含有丰富的氨基酸和多糖等多种营养物质。食用菌为异养型生物,按其获得营养的方式可分为腐生型真菌、寄生型真菌和共生型真菌。腐生型真菌可以生长在死亡的动植物体或其他无生命有机体上,吸取其中的营养物质和能量以维持自身正常生活,完成整个生活史。腐生型真菌相较其他两类真菌更容易培养,已实现人工栽培的食用菌绝大多数是腐生于植物上的真菌[1]。中国是世界食用菌生产和消费大国,人工栽培的食用菌有 100 多种,其中能商业化栽培的食用菌大约有 60 种,全球多个地区进行规模化生产的食用菌超过 10 种,如香菇(*Lentinus edodes*)、平菇(*Pleurotus ostreatus*)和金针菇(*Flammulina velutipes*)等[2]。食用菌栽培已成为我国农业的一个重要产业,是种植业中仅次于粮食、油料、果树、蔬菜的第 5 大类,其快速发展具有巨大的经济和社会效益[3]。食用菌的生长对环境要求较高,优良的生态环境可以促进食用菌生长,使其有害物质含量降低。桂西北地区拥有丰富的矿产资源,是著名的有色金属之乡,过去由于经营管理不善和不合理开采冶炼,导致矿区及周边环境受到不同程度的重金属污染,因而引起了人们的担忧。随着经济发展,人们的饮食观念已由“吃饱”转变成“吃好”,对农产品质量和食用安全更加重视,食用菌的质量安全问题,特别是食用菌重金属含量超标造成的食品安全问题引起了人们的广泛关注。

2. 研究现状

2.1. 国内研究现状

目前,国内关于食用菌的研究,主要集中在野生食用真菌资源调查及驯化栽培、有效成分提取及药用价值分析、产业化发展、优质高产栽培技术、有毒有害物质检测及食品安全、菌渣综合利用等方面。

2.1.1. 野生食用菌资源调查及驯化栽培

野生食用菌是大自然客观存在的宝贵资源,目前仍有大量的食用菌没有得到充分认识和科学利用,随着人们对野生食用菌认知水平的提升,其商业价值也不断攀升,因而使我国野生食用菌市场逐渐扩大。李方桥等通过文献查阅和实地调研等方式,调查了宜昌市域内野生食用菌资源,结果发现,目前宜昌市

域有野生食药食用菌 128 种, 常见的有毛木耳(*Auricularia polytricha*)、松乳菇(*Lactarius deliciosus*)、干巴菌(*Thelephora ganbajun*)等, 其中松乳菇分布广泛, 凡有针叶林生长的地方, 几乎都有松乳菇的分布, 其富含多糖、氨基酸等多种营养物质, 具有提高免疫力、抗肿瘤等药用价值, 是一种收益较好且极具开发潜力的野生菌资源[4]。王锋尖等在十堰市范围内采集了 1000 余份野生大型真菌标本, 并对其进行了鉴定, 结果共鉴定出野生食用菌 110 种, 其中湖北省新记录的有假根蘑菇(*Agaricus bresadolanus*)、雀斑蘑菇(*Agaricus micromegethus*)等 29 种, 值得注意的是, 有些食用菌如齿环裸盖菇(*Psilocybe coronilla*)、金盖褐环柄菇(*Phaeolepiota aurea*)等可能有毒, 需谨慎食用[5]。岳万松等以野生紫丁香蘑(*Lepista nuda*)为试验材料, 采用碳源、氮源、pH 和温度 4 个因素进行单因素试验, 研究了不同培养条件对菌丝生长的影响, 发现菌丝体最适生长温度为 25℃, 最适 pH 为 8.0, 最适碳源为麦芽糖, 最适氮源为蛋白胨[6]。

2.1.2. 食用菌有效成分提取及药用价值分析

据文献记载, 中国是认识、利用和栽培食药真菌最早的国家, 已经发现食用真菌 1020 种, 药用真菌 692 种, 其中 277 种兼具食药功能[7]。李时珍在《本草纲目》中记载: “羊肚菌, 性平, 味甘, 具有益肠胃, 消化助食, 化痰理气, 补肾纳气, 补脑提神之功效。”食用菌菌丝体的细胞表面能够分泌大量的抗生素, 其免疫活性成分包括多糖、生物碱、有机酸等, 其中多糖被认为是最重要的。多糖可刺激各种 T 细胞和 B 细胞分化和增殖, 以及激活巨噬细胞, 对病毒和细菌有着良好的抑制作用。魏奇等研究发现, 食用菌多糖可以通过抑制甘油三酯和胆固醇的合成途径, 调控脂代谢相关因子表达, 促进胆汁酸合成, 调节肠道菌群功能和减轻氧化应激反应等途径起到降血脂的作用[8]。梁金孟等挑选大学生运动员, 随机分为 2 组, 每组 41 人: A 组, 服用膨化类食品; B 组, 服用香菇多糖膨化食品。结果发现 B 组胃泌素、双歧杆菌、白细胞介素-2、巨噬细胞总数、胃动素、乳杆菌免疫球蛋白 A 均高于 A 组, 说明香菇多糖食品能够促进运动员胃肠道功能的改善[9]。

2.1.3. 食用菌产业化发展的研究

食用菌味道鲜美、营养丰富, 不仅含有丰富的蛋白质和多糖, 其脂肪和胆固醇均低于肉类, 而且富含维生素 B、维生素 D 以及多种矿物质元素, 是美味的健康食品, 深受消费者喜爱, 因此食用菌产业发展迅速。朱刚对山东省菏泽市食用菌产业进行了研究, 发现菏泽市形成了黑皮鸡枞菌为代表的食用菌产业链, 还培育了多个特色品种, 包括灵芝、秀珍菇和大球盖菇等, 其中大球盖菇的单价可达 30 元/千克, 虽然在带动农民增收和促进乡村发展方面发挥重要作用, 但仍存在技术创新不足、品牌影响力有限等问题, 因而提出了加强科技创新, 提升产品品质, 推进产业融合, 延伸价值链条, 健全人才体系, 夯实发展基础的措施[10]。孙振国等研究发现, 邹城市食用菌产业发展较快, 特别是在工厂化、智能化生产方面走在全国前列, 通过健全利益联结机制, 形成了龙头企业带动农民增收致富的良好局面, 但菌种对外依赖度高、精深加工不足、高层次人才相对匮乏等问题仍制约着产业的发展, 建议推动全产业链发展, 大力培育生产经营主体, 提升产业科技创新水平[11]。

2.1.4. 食用菌优质高产栽培技术的研究

随着我国经济社会的快速发展, 农林业的生产规模也逐年扩大, 因而产生了大量的废弃物, 如何将农林业废弃物资源化是值得深入研究的问题。常见的农林业废弃物主要有玉米芯、秸秆、落叶、木屑等, 传统的处理方法主要是填埋和焚烧, 这两种处理方法虽然简单, 但是会产生 CO₂、CO 等气体, 容易造成环境污染和有机资源的浪费。众所周知, 食用菌具有不与人争粮, 不与粮争地, 不与地争肥, 不与农争时, 不与其他人争资源的特点, 利用秸秆、落叶等废弃物栽培食用菌与传统的食用菌培养料相比, 具有原料成本低、环境污染小、经济效益高等优点。杨建杰等利用玉米秸秆代替棉籽壳栽培平菇, 并对不同配方中平菇的生物学效率和经济效益进行比较分析。结果发现, 玉米秸秆栽培平菇的配方为玉米秸秆

52.2%、棉籽壳 34.8%、麸皮 10%、石灰 2%、石膏 1%时,可使平菇菌丝生长健壮、生长速度快,平均单朵质量为 193.34 g,生物学效率为 127.66%,投入产出比为 1:2 [12]。

轮作是一种用地养地的作物栽培技术措施,即在同一块土地上有序地轮换种植不同种类的作物,水稻种植时间为 5~9 月,而羊肚菌种植时间为 10 月至次年 4 月,两种作物茬口刚好衔接,可进行轮作种植。王梦柳等研究了水稻和羊肚菌轮作高效栽培技术,结果发现,稻菌轮作,能够充分利用了废弃菌渣残余养分和水田中病虫害较少的栽培优势,增加土壤有机质含量,改善土壤结构,降低病虫害发生率,减少农药和化肥使用量[13]。

大棚栽培是一种现代农业生产方式,能够通过保温增温、通风换气等技术手段,实现农作物的优质高产。张亚丽等以大棚栽培羊肚菌,具有出菇快、产量高的特点,推广“蔬菜大棚 + 羊肚菌”轮作、“葡萄大棚 + 羊肚菌”套种技术新模式,围绕设施类型选择优良栽培品种等环节进行研究,总结出苏北地区羊肚菌设施化高效栽培关键技术[14]。周闯等根据猴头菇生长主要受温度、湿度、光照以及二氧化碳含量影响的具体情况,围绕高效换气、智能增温、精确加湿及人工补光 4 个方面,设计并构建用于猴头菇的温室栽培系统,开展猴头菇的反季节栽培试验,结果显示,温室系统能准确模拟猴头菇自然生长所需的生态条件,确保其在非自然生长季节内仍可生长,最终收获的猴头菇产品综合合格率达到 95.5%,为实现猴头菇的全年稳定生产与供应提供可能[15]。

2.1.5. 食用菌中有害有毒物质检测及食品安全研究

食用菌中的有害有毒物质主要是重金属、农药残留以及微生物污染。近年来,关于食用菌有害有毒物质所导致的质量安全问题,一些学者进行了调查研究,结果发现,食用菌对重金属具有较强的富集能力,其在重金属含量偏高的环境中生长时,重金属经过食用菌菌丝的吸收作用而转移到子实体中,并产生累积效应,从而导致重金属含量超标。饶书恺等对贵州省栽培的香菇、平菇、羊肚菌等食用菌进行重金属含量测定,发现大部分食用菌中的重金属含量均低于国家食品安全标准中的限量值,但相对其他元素来说,镉的安全风险比较高,铅、砷、镉、铬、汞的超标率分别为 0.0%、0.59%、11.0%、0.29%、0.28%,且超标食用菌均来自不同地区[16]。食用菌生产过程中,为了防治病虫害而施用化学农药,使部分化学农药进入食用菌体内,短时间内无法降解,残留在食用菌内形成有害物质。王雅静等对唐山地区香菇、海鲜菇等 8 种食用菌共 210 份样品中的农药残留进行了检测分析,结果发现,210 份食用菌样品中检出鲜胺、多菌灵、腈本唑、苯醚甲环唑等 9 种农药有残留,但均未超出国家判定标准,其食品安全指数远远小于 1 [17]。细菌等微生物在自然界中分布广泛,新鲜食用菌含有丰富的营养物质,是微生物生长和繁殖的天堂。微生物污染食用菌后,会通过其体内的各种酶吸收分解食用菌中的糖类、蛋白质等营养物质,并分泌有害物质。张欢等对加工后的香菇、金针菇、杏鲍菇、银耳等四种食用菌样品在不同温度和时间下的亚硝酸盐含量和细菌数量进行了测定,将样品分别保存在 4℃ 和 22℃ 的环境中,并在 0、12、24、48 和 72 h 的时间点进行取样,测定其亚硝酸盐含量、硝态氮含量及细菌数量。结果发现,在 22℃ 保存 72 h 后,四种食用菌样品与 4℃ 保存相比,亚硝酸盐含量显著升高,细菌数量更多,而硝态氮含量显著下降,但食用菌样品中亚硝酸盐含量均处于国家标准规定的 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的安全范围内。从时间上看,为了保证食用菌的品质和安全性,应尽快食用新鲜食用菌菜品,如需保存,则建议置于低温冰箱中保存[18]。

食用菌食品安全是指食用菌产品本身无毒、无害,符合相应的营养要求,食用并不会对人体健康产生任何形式的危害。蒋玉艳等对广西各地包括食用菌在内的食品样品进行总砷和无机砷含量的检测,并对其膳食风险进行评估,发现检测的样品中食用菌总砷的超标率最高,大米无机砷的超标率最高,其中大米是居民膳食中无机砷的主要来源,而食用菌在其中占比较低,从总体上看,广西居民膳食中无机砷暴露风险是安全的,但大米是广西居民最常见的食品,其存在的安全问题应当加以关注[19]。唐保晖用国

家标准检测方法,对河池市城区 154 份食品中的铅、镉、汞含量进行检测,共检测出铅含量超标 74 份,超标率 48.05%;镉含量超标 18 份,超标率 11.69%;汞含量全部符合国家卫生标准,其中检测干食用菌样品 10 份,铅含量超标率为 80%,鲜食用菌样品 13 份,镉含量超标率为 7.69%,说明食用菌干品等食品受铅的污染比较严重,因此要加强对食品中重金属污染的监测,同时应加强对环境污染的综合治理,确保食品卫生安全[20]。

食用菌中的重金属含量与其生长环境、栽培方式及其本身生物学特性有关。目前我国香菇、黑木耳、平菇产量较高,也是人们最常食用的食用菌,分别占食用菌总产量的 31.34%、17.01%和 14.78%,是主要的研究对象[21]。在关于食用菌重金属含量检测的相关报道中,各地食用菌重金属含量检测的指标不尽相同,但铅、镉、汞、砷元素较为常见。

在对食用菌重金属含量进行检测时,消解方法主要有湿法消解、微波消解、压力罐消解、干灰化法等。其中,湿法消解具有操作简单,效率较高等优点,适合批量样品处理,但会消耗大量的酸,产生大量的酸气,容易污染环境和设备;干法灰化法具有结果准确、适合批量样品处理等优点,但坩埚在高温条件下容易污染样品,且不能用于汞等易挥发重金属的消解;微波消解和压力罐消解具有消解完全、试剂用量少及结果准确等优点,但仪器昂贵,前处理过程较为复杂,处理过程要考虑样品类型和消解试剂用量[22][23]。食用菌重金属含量的检测方法,主要有紫外-可见分光光度法、原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱法、电感耦合等离子体发射光谱法。紫外-可见分光光度法对仪器设备的要求低,操作简单,但检测范围窄,干扰比较严重,灵敏度和特异性较低;原子吸收光谱法灵敏度高、检出限低、信号稳定,但不能同时分析多种元素,检测效率低;原子荧光光度法谱线干扰较少、灵敏度较高,检出限更低,但能检测的重金属种类不多;电感耦合等离子体质谱法和电感耦合等离子体发射光谱法线性范围宽,灵敏度高,检出限低,可同时测定多种金属元素,但仪器设备昂贵,维护频率较高[24]。

在我国《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762-2022)中,食用菌及其制品的限量是铅、镉、砷、汞四种重金属的主要评价指标,其限量分别为 0.5 mg/kg、0.2 mg/kg、0.5 mg/kg、0.1 mg/kg [25]。除此之外,还有单因子污染指数、内梅罗综合污染指数法、潜在生态风险评估指数法,以及目标危害系数法评价方法。单因子污染指数和内梅罗综合污染指数法能单一或综合反映样品重金属的污染状况;潜在生态风险评估指数法,能反映出不同重金属对单一区域的影响,同时能综合反映多种重金属的影响;目标危害系数法依据成人和儿童的平均体重所建立起来的评价方法,可用于评价食用菌中单一的重金属或多种重金属暴露的饮食风险。

2.1.6. 菌渣的综合利用

食用菌渣也称菌糠、废料或废菌棒,是指在完成食用菌栽培后剩余的废弃物,由于食用菌种类的不同,其菌渣的理化性质有所差异,相同种类的食用菌也因栽培方式不同,其菌渣的理化性质也有差异。随着食用菌产业的发展,不可避免产生大量的菌渣,因此容易造成环境污染和有机资源浪费,如何变废为宝,将菌渣资源化是当前亟待解决的重要问题。

食用菌的菌渣中含有丰富的有机质、氮、磷、钾等植物必须的营养元素,马征等在棉花的种植中,施用适量金针菇菌渣有机肥替代部分化肥,结果发现,添加菌渣有机肥能够提高棉花产量和经济效益,其中以每公顷施用 3.00 t 菌渣有机肥和 0.19 t 复合肥效果最佳,增产 8.2%,效益提高 9.6% [26]。菌渣中含有的碳、氮元素仍具备再次生长食用菌的潜力,通过添加玉米芯、秸秆等富含纤维素的材料,对菌渣进行补充,可以使其再次适用于食用菌的栽培。张洁等以椴木银耳菌渣为主料栽培毛木耳,设置了 5 个配方,结果发现,银耳菌渣含量分别为 8%和 16%的配方②和配方③栽培的毛木耳有高产高收益[27]。金针菇菌渣中含有大量的营养物质,如粗蛋白、粗脂肪、无机盐等,况丹等在断奶仔猪的日粮中分别添加

1%、2%、4%的金针菇菌渣, 结果发现, 断奶仔猪采食适量食用菌渣可降低腹泻率, 提高粗蛋白与粗纤维的消化率, 改善血清指标, 在不影响生长的前提下, 断奶仔猪采食 2% 的金针菇菌渣较为适宜[28]。

2.2. 国外研究现状

国外关于食用菌的研究, 主要集中在栽培技术及废弃物的循环利用、重金属污染和农药残留、药用价值、产业经济、野生食用菌的鉴定等方面。

2.2.1. 食用菌栽培技术及废弃物循环利用

Babla Shingha Barua 等利用稻壳、米糠等食品废弃物作为主要基质, 成功培育出高产蘑菇菌种。利用农业废弃物和食品废弃物优化平菇和金针菇的培养基, 能够缩短培养时间, 而且添加豆渣作为添加剂的菌糠堆肥, 无需经过堆肥过程即可用于农田, 不会导致土壤氮素缺乏[29]。通过将食品生产系统与食品废弃物和农业废弃物的再生相结合, 生产出新的有价值的农产品, 从而减少未来食品损失和废弃物的产生, 从根本上说, 这种循环过程通过分离和收集食品废弃物, 并将其作为新生产过程的原料, 从而达到资源循环利用和节能减排的目的。石灰性土壤具有高钙含量、低有机质和营养元素(如氮、磷、钾)的特点, 会限制农作物生长, 尤其是影响番茄的产量和品质。生物炭可以用作土壤改良剂, 提升土壤保水保肥能力, 改善土壤微生物结构。废弃菌渣中富含有机质和营养成分, 是制备生物炭的理想材料。Hasan Sardar 等研究了利用废弃菌渣制备的生物炭对石灰性土壤的改良效果, 测定了土壤理化性质及番茄形态、果实品质、养分含量等指标, 以确定生物炭的最佳施用比例。结果发现, 添加生物炭能够显著提高土壤的电导率、有机碳、氮、磷、钾的含量, 同时降低钙碳酸盐的含量, 种植的番茄株高、根长、光合色素(类胡萝卜素、叶绿素 a、叶绿素 b)、果实数量和质量与对照组相比, 均有明显提高, 其氧化酶活性及叶片中氮、磷、钾的含量也有明显提高。其中 4% 浓度的生物炭处理效果最好[30]。也就是说, 废弃菌渣制备的生物炭是一种良好的石灰性土壤改良剂, 可加快番茄植株的生长速度, 提高其产量、品质和抗逆性。

2.2.2. 食用菌重金属污染和农药残留的研究

从国外关于食用菌重金属污染的研究报道可以发现, 铅、镉、汞、砷等重金属元素的污染较为常见。Magdalena Niezgoda 等检测了 Miasteczko Slaskie 锌冶炼厂及其周边卢布林采茨地区森林中生长的可食用蘑菇和浆果中的重金属含量。结果发现, 检测样本中的汞、砷和镍含量很低, 但蘑菇中铅的平均含量为 0.60 mg/kg, 而最高允许值为 0.80 mg/kg; 镉的平均含量为 0.98 mg/kg, 是允许值上限的两倍, 对消费者存在显著的风险[31]。Karolina Orywal 等测定了野生干蘑菇(*Boletus edulis* 和 *Xerocomus badius*)中的汞、铅、镉和砷含量, 结果发现, 在褐绒盖牛肝菌(*Xerocomus badius*)中的重金属含量为汞 < 砷 < 铅 << 镉; 在牛肝菌(*Boletus edulis*)中的重金属含量为砷 < 铅 镉 << 汞; 危害指数(HI)的最大值表明, 食用标准份量的干牛肝菌可能会对健康产生负面影响, 分别相当于每日最大剂量汞、镉、铅和砷的 76.2%、34.1%、33% 和 4.3% [32]。Schusterova Dana 等对产自捷克、波兰、中国、欧盟等国家的 49 份新鲜和加工蘑菇样品进行 427 种农药残留检测, 共发现 21 种农药残留及其代谢物和增效物。其中 58% 的样品中咪鲜胺及其三种代谢物高于定量限, 干的黑木耳(*Auricularia auricula*)中氯菊酯和鲜木菇(*Enoki mushrooms*)中的噻苯达唑含量超标[33], 由此可见, 食用菌中的重金属、农药残留等有毒有害物质污染问题不容忽视。

2.2.3. 食用菌药用价值的研究

食用菌因其独特的营养价值而受到广泛关注, 多糖是其主要的生物活性化合物之一。多糖主要来源于真菌的子实体、菌丝体和发酵液。食用菌多糖已成为具有多种治疗潜力的重要生物活性化合物, 抗肿瘤作用效果显著。Ebru Deveci 等对四种不同食用菌的多糖提取物进行了化学特征和生物活性研究, 结果发现: 雨傘菇(*Macrolepiota procera*)的多糖提取物具有较好的抗氧化活性, 平截棒瑚菌(*Clavariadelphus*

truncatus)的多糖提取物具有较高的抗氧化和抗癌活性,粉红蜡伞(*Hygrophorus pudorinus*)的多糖提取物具有显著的乙酰胆碱酯酶抑制活性[34]。Priya Lakshmi Sreedharan 等发现平菇(*Pleurotus ostreatus*)中含酚类、麦角硫因等生物活性化合物,具有清除自由基,调节氧化程度的功能。除此之外,平菇的提取物(如多糖等)能够通过抑制癌细胞的生长及诱导细胞周期停滞和凋亡等方式发挥抗癌作用[35]。

2.2.4. 食用菌的产业发展研究

Biplob Dey 等对孟加拉国 5 个地区 120 个食用菌从业者进行问卷调查,并通过采访专家和查阅现有文献等途径了解食用菌产业发展的现状。结果发现,食用菌产业主要有香菇、稻香菇等 6 种,从业者男性居多,女性参与度渐高,全国缺乏专门的食用菌生产培训机构,农民对食用菌的认知不够,因此提出加强产业之间的合作,宣传推广食用菌,减少中间商影响,回收利用废弃物进行再生产等建议措施[36]。Shubham Singh Patel 等研究发现,目前食用菌产业存在废弃物处理、碳排放、对传统能源依赖过高等问题,提出开发灵芝、猴头菇等高附加值品种,提升产业经济效益与环境兼容性,使用热空气灭菌替代传统高压灭菌,利用太阳能光伏系统为温室供电,结合物联网实现智能环境调控,减少对化石能源的依赖,利用废弃菌渣作为肥料、生物燃料原料、环保包装材料或二次栽培基质,利用稻草等农业废弃物替代传统基质,降低原料成本与环境负担,推动资源循环利用等策略与技术[37]。

2.2.5. 野生食用菌资源的开发利用

虽然一些野生食用菌已经被人类食用了数千年,但仍有大量野生食用菌没有被人类了解和培育。区分食用菌和毒蕈的知识非常重要,因为某些品种的食用菌含有剧毒,所以在食用之前需要进行预处理才可以安全食用。Y A Nion 等在 Central Kalimantan Province 地区通过森林实地采样和市场购买收集野生食用菌,由当地人初步鉴定,再在实验室分析形态特征。共鉴定出 22 种野生食用菌,Dayak Ngaju 命名为蘑菇的有紫木耳(*Auricularia* sp)等 17 种。部分蘑菇如紫木耳、平菇和裂褶菌(*Schizophillum commune*)分布广泛,在 Central Kalimantan Province 几乎所有地方都占主导地位。此外,紫木耳等 7 种野生食用菌在当地有交易记录,其中裂褶菌全年都有交易记录,价格在 40,000~50,000 印尼盾/千克,具有较高的经济价值[38]。

3. 存在的主要问题

虽然人们在食用菌研究及生产应用方面做了大量的工作,并取得不少的理论成果和实践经验,但仍存在一些问题值得关注。

一是对桂西北地区食用菌的食品安全研究不够关注。自古以来广西都是我国重要的金属矿产区,金、银、铜、铁、铅、锡、汞、锌等金属矿产开发历史悠久,部分矿产资源储量位居全国前列,因此被称为我国有色金属之乡[39]。食用菌蓄积重金属元素的能力远远超过绿色植物,吸附能力极强,甚至高于一些动物性食品[40],种植在矿区周边的食用菌,其重金属含量是否超标,人们食用会有何种风险等诸多问题值得思考。

二是对于食用菌潜在的重金属污染物研究较少。食用菌的食品安全主要与其重金属含量及其他有毒有害物质含量有关,目前关于食用菌重金属含量的研究,主要侧重于铅、镉、砷、汞四种重金属,而对其他潜在的重金属污染物,如铬、锡等的研究相对较少,铬虽然是人体必需的微量元素,但也是一种毒性较大的重金属,摄入过多会对人体产生伤害。重金属对食用菌生长和产品质量有何种影响,目前缺乏对食用菌中多种重金属元素污染的了解和安全评估。

三是关于食用菌食品安全的研究,目前主要侧重于重金属含量和农药残留检测,对于细菌等微生物污染和使用其他化学药剂引起的安全问题研究较少。食用菌在贮存、加工过程中,容易受到各种微生物

侵染发生腐烂变质, 为了保障食用菌的品质, 在其加工过程中, 通常会添加一些防腐和防霉变的化学药剂, 从而可能形成食用风险。

4. 展望

目前关于食用菌的研究, 主要集中在野生食用真菌资源调查、有效成分提取及药用价值分析、产业化发展、优质高产栽培技术、有毒有害物质检测及食品安全、菌渣综合利用等方面, 而关于桂西北地区食用菌食品安全以及潜在的重金属污染物研究较少。随着我国经济社会的发展, 人们对营养、健康、安全的食品需求日益增长, 食用菌因口感独特、味道鲜美、营养丰富、药用保健价值高, 一跃成为深受消费者喜爱的健康美食, 也带动了食用菌产业的发展, 然而食用菌吸附重金属而引发的食品安全问题不容忽视。

基于上述各种原因, 为了进一步保障桂西北地区食用菌的食品安全, 笔者建议: 一是地方政府及相关部门应当及时更新食用菌食品安全标准, 同时出台并推行相应的矿产资源可持续开发及环境保护政策, 引导污染企业转型发展, 加强监管, 积极开展重金属污染综合防治, 严格执行食品安全法律法规, 经常性开展食用菌食品安全检测; 二是应当利用现代传媒等多种渠道, 宣传和科普食用菌食品安全的知识, 营造关注食用菌食品安全的社会氛围; 三是消费者应当提高食品安全意识, 了解食用菌食品安全的常识, 关注区域食品安全的动态和相关报道, 通过正规渠道购买食用菌产品, 确保其品质, 并学会通过观察外观、色泽、气味等简单方法判别其可否正常食用, 烹饪时应充分加热, 确保熟透; 四是加强校地合作, 有条件的高等院校, 可增设食用菌栽培相关课程或学科专业, 培养创新型应用人才, 在确保安全的前提下, 充分利用食用菌富集金属和矿物质的特点开发保健食品(如富硒香菇、富锗灵芝等), 带动高附加值食用菌产业的发展; 五是生产经营者应当学习先进的栽培技术, 了解不同食用菌品种的特性和科学的生产方法, 从源头抓起, 确保食用安全。

基金项目

广西现代蚕桑丝绸协同创新中心资助项目(2022GXCSSC18), 桂西北地方资源保护与利用工程中心(桂教科研[2012]9 号), 河池学院高层次人才科研启动费项目(XJ2018GKQ015, XJ2018GKQ016)。

参考文献

- [1] 谭琦. 食用菌栽培发展历程[J]. 食用菌学报, 2024, 31(5): 1-8.
- [2] 赵春艳, 华蓉, 董娇, 等. 2019 年至 2022 年我国食用菌产量和种类概况分析[J]. 中国食用菌, 2024, 43(5): 101-105.
- [3] 孔雷, 张良, 胡文洪, 等. 中国食用菌产业现状及预测[J]. 食用菌学报, 2016, 23(2): 104-109.
- [4] 李方桥, 喻敏, 刘璐, 等. 宜昌市野生食用菌资源及其开发利用探讨[J]. 食用菌, 2023, 45(4): 72-74.
- [5] 王锋尖, 周向宇, 潘坤. 十堰市野生食用菌资源调查[J]. 食用菌学报, 2018, 25(1): 88-92.
- [6] 岳万松, 华蓉, 孙达锋, 等. 紫丁香蘑生物学特性及驯化栽培[J]. 北方园艺, 2023(6): 112-119.
- [7] 戴玉成. 中国食药真菌研究发展的新趋势——以《菌物学报》2000-2021 年发表论文分析[J]. 菌物研究, 2022, 20(2): 141-156.
- [8] 魏奇, 翁馨, 吴艳钦, 等. 食用菌多糖降脂活性及其作用机制的研究进展[J]. 食品科技, 2021, 46(9): 190-194.
- [9] 梁金孟, 张焱超. 香菇多糖食品改善运动员肠道功能的作用探索[J]. 中国食用菌, 2019, 38(12): 30-33.
- [10] 朱刚. 乡村振兴背景下菏泽市食用菌产业链优化与创新[J]. 智慧农业导刊, 2025, 5(1): 95-98.
- [11] 孙振国, 黄齐, 王宝印, 等. 邹城市食用菌产业高质量发展的实践与思考[J]. 中国食用菌, 2024, 43(6): 108-111.
- [12] 杨建杰, 张桂香, 刘明军, 等. 玉米秸秆栽培平菇的配方筛选及其生物学研究[J]. 中国食用菌, 2023, 42(2): 74-81, 87.

- [13] 王梦柳, 张怀山, 龙彪. 六盘水市水稻羊肚菌轮作高效栽培技术[J]. 农业与技术, 2024, 44(23): 46-49.
- [14] 张亚丽, 张翠娥, 张亚楠, 等. 苏北地区羊肚菌设施化高产栽培技术[J]. 食用菌, 2024, 46(5): 53-55.
- [15] 周闯, 秦国辉, 王玉鹏, 等. 猴头菇温室反季节栽培试验[J]. 中国食用菌, 2024, 43(5): 110-118.
- [16] 饶书恺, 邱树毅, 谢锋. 贵州省栽培食用菌重金属含量的测定及健康风险评估[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(18): 54-58.
- [17] 王雅静, 王帅, 汤思凝, 等. 食品安全指数法评估唐山市鲜食用菌农药残留风险[J]. 食品工业, 2022, 43(3): 317-320.
- [18] 张欢, 韩永林, 李兰洲, 等. 食用菌菜品不同保存方式下亚硝酸盐含量及细菌数量的变化[J]. 生物技术进展, 2024, 14(6): 967-972.
- [19] 蒋玉艳, 蒙浩洋, 陈晖, 等. 广西主要食品中砷污染及居民膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29(6): 745-749.
- [20] 唐保晖, 黄丽华, 邓雄鹰. 2009-2010 年河池市食品中重金属污染监测及分析[J]. 医学动物防制, 2011, 27(9): 841-842.
- [21] 中国食用菌协会. 2021 年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. 中国食用菌, 2023, 42(1): 118-127.
- [22] 辜洋建, 于小翠, 王玉环, 等. 湿法消解-电感耦合等离子体质谱法测定果实类农产品中砷铅铬镉钼[J]. 分析仪器, 2024(2): 48-52.
- [23] 蒋伟, 胡平国, 曹璐. 简述食品中镉元素的危害及前处理方法[J]. 四川农业科技, 2024(5): 134-137.
- [24] 李傲, 闫俊锋, 贾波, 等. 食用菌中重金属的检测方法和污染防治策略研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(4): 177-179.
- [25] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 2762-2022 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [26] 马征, 魏建林, 张柏松, 等. 金针菇菌渣有机肥对棉花产量及经济效益影响[J]. 中国食用菌, 2014, 33(2): 38-40.
- [27] 张洁, 罗建华, 刘宏平, 等. 段木银耳菌渣栽培毛木耳配方初筛[J]. 食用菌, 2024, 46(3): 44-46, 49.
- [28] 况丹, 周昊. 日粮中添加食用菌渣对断奶仔猪生长性能、养分表观消化率及血清生化指标的影响[J]. 饲料研究, 2023, 46(21): 11-15.
- [29] Barua, B.S., Nigaki, A. and Kataoka, R. (2024) A New Recycling Method through Mushroom Cultivation Using Food Waste: Optimization of Mushroom Bed Medium Using Food Waste and Agricultural Use of Spent Mushroom Substrates. *Recycling*, **9**, Article 58. <https://doi.org/10.3390/recycling9040058>
- [30] Sardar, H., Waqas, M., Nawaz, A., Naz, S., Ali, S., Ejaz, S., *et al.* (2025) Amendment of Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Grown in Calcareous Soil with Spent Mushroom Substrate-Derived Biochar: Improvement of Morphological, Biochemical, Qualitative Attributes, and Antioxidant Activities. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02265-7>
- [31] Niezgoda, M., Dziubanek, G., Rogala, D. and Niesler, A. (2024) Health Risks for Consumers of Forest Ground Cover Produce Contaminated with Heavy Metals. *Toxics*, **12**, Article 101. <https://doi.org/10.3390/toxics12020101>
- [32] Orywal, K., Socha, K., Nowakowski, P., Zoń, W., Kaczyński, P., Mroczko, B., *et al.* (2021) Health Risk Assessment of Exposure to Toxic Elements Resulting from Consumption of Dried Wild-Grown Mushrooms Available for Sale. *PLOS ONE*, **16**, e0252834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252834>
- [33] Schusterova, D., Mraz, P., Uttl, L., Drabova, L., Kocourek, V. and Hajslova, J. (2023) Pesticide Residues in Fresh and Processed Edible Mushrooms from Czech Markets. *Food Additives & Contaminants: Part B*, **16**, 384-392. <https://doi.org/10.1080/19393210.2023.2259867>
- [34] Deveci, E., Tel-Çayan, G., Çayan, F., Yılmaz Altınok, B. and Aktaş, S. (2024) Characterization of Polysaccharide Extracts of Four Edible Mushrooms and Determination of *in vitro* Antioxidant, Enzyme Inhibition and Anticancer Activities. *ACS Omega*, **9**, 25887-25901. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00322>
- [35] Sreedharan, P.L., Kishorkumar, M., Neumann, E.G. and Kurup, S.S. (2025) The Emerging Role of Oyster Mushrooms as a Functional Food for Complementary Cancer Therapy. *Foods*, **14**, Article 128. <https://doi.org/10.3390/foods14010128>
- [36] Dey, B., Ador, M.A.H., Haque, M.M.U., Ferdous, J., Halim, M.A., Uddin, M.B., *et al.* (2024) Strategic Insights for Sustainable Growth of Mushroom Farming Industry in Bangladesh: A Comprehensive Evaluation Using SWOT-AHP and TOPSIS Frameworks. *Heliyon*, **10**, e36956. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36956>
- [37] Patel, S.S., Bains, A., Sridhar, K., Kaushik, R., Chawla, P., Sharma, M., *et al.* (2025) Approaches and Challenges for a Sustainable Low-Carbon Mushroom Industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **212**, Article 115338.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115338>

- [38] Nion, Y.A., Djaya, A.A., Kamillah, Agnestisia, R., Mashabhi, S. and Nion, K.A. (2024) Wild Edible Mushroom from Central Kalimantan and Its Potential for Other Benefits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **1421**, Article 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1421/1/012011>
- [39] 陆秋燕. 宋至清代广西金属矿产开发研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2023.
- [40] 张晶, 余偲, 白莉圆, 等. 食用菌富集重金属因素及其控制技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 347-354.