

基于食用菌原料素肉开发的研究进展

杨怡静¹, 李 璟¹, 陈清燕¹, 胡嘉淼^{1,2*}

(¹ 福建农林大学食品科学学院 福州 350002

² 农业农村部(福建农林大学)食用菌加工及综合利用技术集成科研基地 福州 350002)

摘要 随着人们生活水平的提高和消费结构的转变,追求健康安全的饮食成为一大主流。同时,我国大众的肉食需求量逐年增加,该需求带来大量温室气体排放,对环境产生严重的负担。素食商品在提供足够的营养外,还能为环境减轻负担,而且相比动物源食品,能够减少病菌的携带。利用食用菌作为原料进行素肉的生产研究,是一种新兴且热门的方向,不仅能够带来足够的蛋白质,而且能够提供其它营养价值,满足人们对健康和肉类食品的需求。本文介绍人造肉的一些发展现状,主要阐述食用菌对素肉货架期、风味改善以及作为替代性成分的特性分析,并论述食用菌作为原料制作素肉的相关研究进展和加工工艺,以为行业提供参考。

关键词 食用菌素肉; 食用菌; 抗氧化; 香菇; 猴头菇

文章编号 1009-7848(2024)09-0497-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.09.045

长期以来,肉制品消费成为我国消费者生活中不可或缺的一部分。由于近年人口的迅速增加和经济的快速增长,人们对动物源食品的需求量显著增加^[1]。据海关总署的数据显示,2016 年我国肉制品进口量为 468 万 t,而到 2020 年,我国肉制品进口规模增长迅猛,已达 991 万 t^[2]。2019 年,新冠肺炎爆发,全球疫情形势严峻,受动物疫病、交通不便和人员隔离等因素的影响,畜牧业受到严重的冲击。此外,部分进口肉类受到新冠病毒的污染,在一定程度上增加了国内消费者对于猪肉的需求,导致 2020 年猪肉价格暴涨,使养殖肉制品的供求矛盾更加凸显。2030 年,预计我国肉制品缺口将达到 3 804 万 t^[3]。庞大的缺口预示着目前全球畜牧业形势严峻。同时大量肉制品的摄入也带来诸如糖尿病、肥胖、环境污染、温室效应等问题。近几年,我国素食市场规模显著增大^[4],素肉产品层出不穷。目前主要以豆类蛋白为原料生产素肉。食用菌因本身的质构特性和营养价值,故适合作为素肉的原料。此外,以食用菌为素肉原料符合“健康中国”的理念以及碳达峰、碳中和的目的。本

文简述人造肉的发展现状,分析食用菌制备的素肉特性,并论述食用菌素肉加工工艺,旨在为实际生产应用提供参考。

1 人造肉

1.1 人造肉的发展现状

随着人们食品理念的改变,消费者的需求更加多样,如健康、安全、口感和丰富的营养^[5],人们不再只追求吃饱,也追求吃好。虽然目前大部分消费者在选择植物性产品时,更偏向于仅替代部分肉含量的混合型食品^[6],但是也意味着越来越多的消费者对素食产品的认可度以及选择度逐步提高。同时,在全球畜牧业供求关系严重失衡的情况下,消费者也不愿意降低摄入肉类,认为这是不利于环境的做法^[7]。人造肉在满足人们对肉制品的消费之外,还能够实现动物福利、降低人们的三高发病率、解决落后国家营养不良问题等^[8],以上种种原因不断推动着人造肉的发展。

目前,人造肉市场在全球呈现爆发性发展的趋势,如美国的人造肉巨头 Beyond meat、麦当劳、肯德基、中国的 Starfield 星期零公司、以色列的 Chickp 公司、荷兰的 Ojah 公司等^[9]都已经大力投入到人造肉的生产研究中,通过在豆类蛋白的基础上添加肉类香精,进而推出人造肉汉堡、素食鸡块和脆鸡翅等产品^[9];此外,美国嘉吉公司、山东赫

收稿日期: 2023-09-25

基金项目: 福建省科技厅对外合作项目(2020I0012);漳州市科技重大专项(ZZ2019ZD18);福建省引才“百人计划”经费(118360020)

第一作者: 杨怡静,女,硕士

通信作者: 胡嘉淼 E-mail: jiamiao.hu@fafu.edu.cn

达也宣布成立子公司,进军人造肉领域^[4],进一步扩大人造肉市场。

1.2 人造肉的主要分类

1.2.1 细胞培养肉 细胞培养肉有多种称呼,其中“Culture meat”使用最为广泛^[10]。细胞培养肉是利用动物细胞中的干细胞移植到体外进行培养,经过一系列的生长增殖,最后通过加工而制成产品^[11]。早在2013年,荷兰科学家就利用动物细胞培养的方式成功研发了第一块人造肉^[12]。2019年11月,周光宏团队利用猪肌肉干细胞生产出我国首例培养肉^[8]。此种方式制成的肉制品相比植物蛋白肉更具有肉的风味和口感。但是细胞培养技术的成本较为高昂,生产企业需要更多的资金,对于大规模的生产加工还存在技术局限^[13],且成品在销售过程中的定价较高,不利于市场推动。

1.2.2 植物蛋白肉 植物蛋白肉也称为植物基肉,植物肉和素肉等,英文中称为“Plant-based meat”,“Vegetarian meat”和“Vegan meat”等。目前,用于制作植物蛋白肉的原料主要有:大豆蛋白、豌豆蛋白^[14]等,它们具有价格优势,并且在加工过程中具有较好的组织化效果^[15],从而模拟真肉的口感和质地。植物蛋白肉在生产过程中不添加抗生素,可以人为调控营养物质^[3],为人造肉带来更全面的营养价值。但是传统用于植物蛋白肉研究的豆类蛋白再现肉味和肉的质地并不容易,其组织结构经火锅、炖煮等烹饪方式处理后会软烂^[16];此外,大豆蛋白本身具有强烈的豆腥味^[17],以上因素均严重影响食用口感。因此,有必要探寻新型合适原料用于植物蛋白肉的进一步开拓。

当前,静电纺丝技术、挤压技术^[15]、食品3D打印等技术的不断发展也为植物蛋白肉的质地口感以及感官特性带来不同的体验。其中,静电纺丝技术通过产生定向纤维,从而得到组织化的大豆蛋白^[18];3D打印技术利用植物蛋白能够复刻出结构紧密、味道逼真的人造肉制品^[19];挤压技术是通过输送、搅拌、混合、破碎、蒸煮、杀菌、加压成型等操作对原料进行连续化生产,包括单螺杆挤压技术和双螺杆挤压技术。根据水分含量的高低,双螺杆挤压技术可分为低水分挤压和高水分挤压^[18]。挤压过程中,植物蛋白在高温、高压、高剪切力的作用下发生变性,最后形成肉状纤维质地。

2 食用菌在素肉的应用进展

2.1 食用菌的概述

食用菌是多类大型真菌的统称,长期被认为是一种天然的活性成分,味道鲜美、营养价值高。在含有丰富蛋白质和多糖的同时,其脂肪和胆固醇低于肉类中的含量,也被称为最佳的减肥食品^[20]。食用菌中富含多种矿物质元素以及维生素B、维生素D,具有抗病毒、抗癌、抗氧化、抗凝血活性^[21]、抗衰老的功效,还能够改善人体的膳食结构^[22]。我国是世界上最大的食用菌生产国,2019年我国食用菌总产量为3 933.87万t,占世界总产量的70%以上,成为继粮、油、果蔬后的第四大农产品。食用菌不仅成本低廉、产业庞大,如今,也可以采用人工栽培技术通过木林业废料来培育食用菌,这种方式不但实现了农工业的废料利用,极大程度上降低了生产成本,而且利于生态环境可持续发展^[23]。

2.2 食用菌应用于素肉的研究进展

食用菌本身富有纤维结构,可以作为拉丝蛋白来使用,因此其在素肉的生产中具备更优越的质地特性,在硬度、弹性以及咀嚼性方面都有较好的表现^[24];其次,食用菌还具有良好的鲜味特征,Zhou等^[25]研究表明食用菌中存在11种醇、11种酮、15种醛、5种杂环化合物、20种芳香族化合物等多种挥发性化合物,其中C8脂肪族是其特有风味的主要来源。因此,食用菌也可应用于生物修复、功能食品和人造肉的生产研究中^[17]。2020年,食用菌行业龙头上海雪榕生物宣布对人造肉研究企业“未食达”公司增资1 400万元,共同研发食用菌素肉^[4,16],成为国内该产业延伸的关键一步,逐步推进食用菌素肉的发展。食用菌的高纤维含量,赋予素肉更好的韧性和组织结构,但也会出现硬度过高影响相似度的问题,Yuan等^[26]以质地剖面分析指出,相比平菇,香菇和鸡腿菇更接近肉制品的硬度值,但是素肉的弹性没有差异。因此,如何运用每种食用菌的不同成分特性来调整加工过程中的风味也成为难点之一。近年来,用于素肉研究的常用食用菌主要有香菇、猴头菇、双孢蘑菇、平菇等。不同的食用菌因其本身的质地和颜色,感官品质存在些许差异,甚至同一种食用菌,其不同部位也具有不同风味^[27]。根据市场观察,香菇和猴

头菇为用于素肉生产的最常见食用菌。

2.2.1 香菇 香菇作为我国食用菌中的第二大种类,年产量巨大,其身影广泛存在于全国各地,在易于栽培的同时,蛋白质、多糖、矿物质和维生素含量丰富,对人体有诸多益处,具有降血脂、抗血栓、抗肿瘤等功效^[28]。Wasser 等^[29]研究表明,食用菌中的多糖不直接攻击癌细胞,而是利用胸腺依赖性免疫机制介导,需要完整的 T 细胞成分,通过激活宿主细胞中的不同免疫反应来产生抗肿瘤作用。游离的脂肪酸是食品的重要营养成分,通过添加食用菌的素肉产品并不会对此含量产生影响,沈硕等^[30]研究表明香菇中的游离脂肪酸含量可达到 6%,足以提供这项营养支持,甚至能够提高素肉的营养品质。由于香菇的分布及使用都较为普遍,且价格低廉,市面上大多数的食用菌素食产品均采用香菇作为主要的原材料。在日常生活中,香菇柄因纤维粗大、不适口性,常作为废料丢弃;但在素肉的生产过程中,香菇柄因具有韧性、膳食纤维的含量高,备受生产厂家青睐。现有研究表明,利用纤维素酶与半纤维素酶进行复合酶解可以降低香菇中的木质化成分,进而使其膳食纤维较好的吸附呈味物质,提高素肉的风味^[31]。

2.2.2 猴头菇 猴头菇是一种珍贵的药食两用食用菌,有着“山珍猴头”之称,富含蛋白质、多糖、微量维生素等,在营养价值方面高于香菇。其菌丝体提取物具有抗炎、抗癌、健胃的功效,在结肠炎方面具有积极的治疗作用^[32],对于胃损伤也有一定的保护作用。安苗青等^[33]研究表明猴头菇多糖中的 WEH1、WEH2、WEH3 等物质可以降低炎症因子的表达量,通过抑制炎症因子的释放从而达到抗炎作用。Cardoso 等^[34]研究表明并不是所有的食用菌都具有抗炎活性,物种之间存在一定的差异。干猴头菇在泡发过程中存在一定的苦味,极大影响素肉制品的味感,夏光辉等^[35]研究表明,在加工过程中加入 0.1%~0.2% 含量的食盐能够大大降低苦味,在 0.2% 的食盐含量下感官评分达到最高。其次,猴头菇的储藏期限较短,采后极易发生褐变,对此问题,目前通过超声波脱水技术降低在加工过程中的褐变率^[36],可大大改善素肉制品的货架期。此外,猴头菇膳食纤维含量极高,韩爽等^[37]研究表明,将其运用在素肉干产品中组织状态表现良好,能够具有肉的形态和相似的口感,但是,成品的风味差异会影响素肉干的适口性和咀嚼性。

表 1 市售食用菌素肉制品信息

Table 1 The information of commercially available edible mushroom vegetarian meat

产品名称	成分
双菇素肉片	有机杏鲍菇、榆耳、大豆蛋白、菜籽油、芹菜、花生、酿造酱油、香醋、芝麻油、白砂糖、香辛料
素肉干	平菇,葵花油,水,高油酸,枫糖浆,菠萝汁,鹰嘴豆,番茄酱,酵母提取物,粗盐等
蘑菇烩饭素食汉堡	双孢蘑菇,糙米,水,压榨菜籽油,土豆片,豌豆,胡萝卜,洋葱,羽衣甘蓝,芹菜,葛粉,海盐,松露油(橄榄油,天然松露提取物,天然香料,白松露),黑胡椒等
香菇素肉干	香菇柄,盐,酱油,大豆油,白砂糖,五香粉,辣椒粉,白胡椒,山梨酸钾等
香菇汉堡肉饼	香菇,豌豆蛋白,葵花籽,鹰嘴豆,黑豆,扁豆,木薯粉,番茄,亚麻,大米,洋葱,大蒜,生姜,香菜,肉豆蔻,海盐
素培根	蘑菇菌丝体,椰子油,牛肉汁,食用盐,白砂糖等
菇的棒	香菇,大豆油,(含 TBHQ),辣椒,白砂糖,淀粉,鸡蛋,食用盐,味精,海藻糖,白芝麻,酵母抽提物,香辛料,食品添加剂(复配着色剂(甜菜红, β -胡萝卜素,麦芽糊精)),食用香精等
炭烤素牛肉棒	香菇($\geq 65\%$),大豆油,(含 TBHQ),辣椒,白砂糖,淀粉,鸡蛋,食用盐,味精,海藻糖,白芝麻,酵母抽提物,香辛料,食品添加剂,食用香精等
猴菇植物肉干	猴头菇,食用植物油,水,大豆拉丝蛋白,食用盐,魔芋粉,白砂糖,酿造酱油,香辛料,呈味核苷酸二钠等

由表 1 可见,食用菌在素食商品相关领域应用不够广泛,目前主要用于开发休闲类食品。在市

场调查中发现,利用豆类蛋白制备素食已开发出多样化产品,除了较为常见的素肉饼、素肉干、素

肉肠外,豆类蛋白还可以用来制作素肉酱、素鱼丸、素蛋等,这意味着食用菌素肉的产品丰富性还有很大的发展空间。其次,市面上大部分商品主要选用香菇作为其主料,用于素肉生产的食用菌品种有待增加。同时部分产品中食用菌的添加量占比不高,仍需依附大豆蛋白,而小部分将食用菌作为主料的商品主要为肉干类产品。因此,如何利用食用菌本身属性将食用菌的利用价值最大化,开发出完全由食用菌主导的多样化素食商品,是国内外研究者的研究方向之一。

2.3 食用菌制备素肉特性分析

2.3.1 食用菌营养成分作为素肉制品替代性成分分析 肉制品作为重要食品是因为能够提供人体所需的营养物质,例如蛋白质、维生素、脂肪、必需氨基酸等。而食用菌因其含有丰富的营养物质而闻名,具有作为肉制品替代物的潜力。食用菌相较于肉制品的生产周期,能够更快的产生,是蛋白质的可持续来源,经加工后可形成富含蛋白质的素肉制品^[38]。Stephan等^[39]研究表明,担子菌菌丝体作为纯素煮香肠的蛋白质来源,接受度高于大豆分离蛋白和豌豆分离蛋白,相较于肉香肠具有相似的特性。其次,食用菌中含有满足人体需求的维生素。传统肉制品中含有丰富的维生素B-12,素食者因饮食习惯的特殊性,未能摄入足够的肉类,极易患素食症,而食用菌中存在生物利用度极高的维生素B-12,且存在形式与牛肉、动物肝脏及鱼类是相同的^[40],符合素食主义者的追求,还有助于预防维生素B-12缺乏症^[41]。另外,食用菌中含有麦角固醇,其经阳光照射后可转化为维生素D₂,有效满足人体每日对维生素D的所需量。食用菌的减脂性在素肉制品的脂肪替代中也有较好的表现,Ramle等^[42]研究发现,用香菇、平菇、双孢蘑菇等替代动物脂肪制成的低脂肉丸,其持水能力和蛋白质含量显著增加,甚至具备更好的感官特性,对肥胖症患者表现友好。

2.3.2 食用菌风味物质改善素肉风味分析 风味物质用以产生肉香味,由其前体物质经过一系列的化学反应后得到的特征香气,能提高产品的感官质量和消费者的接受度。在素肉的生产加工中需要模拟此种香气并不容易。目前,应用于素肉生产中的风味物质来源有:天然香料和香草、美拉德

反应、酵母提取物、植物油等^[43]。其中,通过美拉德反应可以制备出性质稳定,香味浓郁的肉香型风味物质,其反应分为3个阶段。初始阶段由氨基和还原糖进行缩合,形成N-糖基胺,并重新排列形成Amadori/Heyns产品;中间阶段释放出氨基基团,生成稳定的美拉德二级产物;最后阶段由氨基参与脱水、断裂、环化和聚合反应形成风味物质^[44]。Lotfy等^[45]研究表明,酶水解双孢蘑菇蛋白在低pH值微波加热的条件下,经美拉德反应可产生牛肉味调味料。此外,食用菌中还存在大量风味化合物,Qing等^[46]研究表明,食用菌中具有调味物质和酶,添加食用菌的处理组中大部分游离氨基酸的含量显著增加,尤其是谷氨酸及天冬氨酸含量的增加能够直接改善肉制品的风味。再者,提供食用菌特有风味的挥发性化合物1-octen-3-ol在经过烹饪和热处理后,风味增强^[25]。Myrdal等^[47]以双孢蘑菇为例,利用其增强风味的原理,将其作为牛肉玉米饼中部分调味剂替代成分,用于钠的缓和剂。结果表明,双孢蘑菇能够增加鲜味和甜味,在减少钠摄入量的同时不会影响整体风味,有利于满足人们的口腹之欲,并能减少人们患甲状腺疾病的风险。

2.3.3 食用菌抗氧化成分对素肉货架期的影响分析 无论是素肉制品还是真肉,产品的货架期是影响消费者选择的重要指标。氧化褐变和脂肪氧化是引起肉制品货架期发生变化的主要因素。真肉中富含肌红蛋白,极易发生氧化作用,其次,肉制品中的脂肪氧化会促进肌红蛋白氧化,导致肉制品发生褐变,货架期缩短^[48]。而素肉制品中存在脂肪,脂肪氧化不仅会产生有害物质,而且严重影响其货架期。Georgantelis等^[49]研究表明壳聚糖与迷迭香或与 α -生育酚联合添加,对延缓脂质氧化和改善牛肉汉堡在冷冻储存条件下的保色性有积极作用。崔国梅^[50]研究表明迷迭香提取物添加量0.4%、茶多酚添加量0.03%、维生素C添加量0.02%和柠檬酸添加量0.02%进行复配时,可使素肉制品的抗氧化性最优,在20℃下预期贮藏时间可达576d。

目前,有相关研究证明食用菌中存在抗氧化物质,并能影响素肉制品的脂肪氧化过程,可在一定程度上延长货架期。于弋涵等^[51]研究发现猴头

菇可以水解出多种具有抗氧化活性的多肽,且随着不同种多肽的质量浓度升高,DPPH 自由基清除率不断提高。Wang 等^[52]研究发现添加草菇可以改善香肠的理化性质,显著降低过氧化值,防止脂质氧化后产生的毒性物质对人体健康造成危害。Bao 等^[53]研究发现金针菇提取物中的麦角硫因能够显著降低总脂质氢过氧化物的氧化程度,相比抗坏血酸、钠盐和 α -生育酚,具有更佳延缓肉制品变色的能力。此外,Jang 等^[54]研究发现金针菇粗提物(enokitake crude extract,ECE)可以有效防止鱼油在乳化液体体系中的氧化,且表现出比脱叶绿素绿茶提取物(dechlorophyllized green tea extract,DGTE)和儿茶素更好的抗氧化活性。因此,以食用菌为基料生产素肉在防止脂肪氧化、延长货架期方面有着很好的表现。

2.4 加工工艺对食用菌素肉的影响

现阶段,采用食用菌生产素肉的过程中,由于食用菌品种的差异性和对原料预处理方式的不同,仍然沿用螺杆挤压技术,以使其转化形成纤维结构。此法的目的与通过腌制和软化技术制作植物纤维蛋白肉的制造工艺相似^[55]。在挤压过程中,影响成品的工艺参数有水分含量、挤压温度、螺杆转速和喂料速度。其中,螺杆转速能够影响原料组织化的程度,在一定范围内增加螺杆转速,可以增加对原料的机械剪切力,促使蛋白质形成纤维结

构^[56]。喂料速度是通过改变加料量所造成的填充度大小、出口压力以及物料的停留时间,从而改变产品的组织化程度。一般来说,挤压温度与蛋白的种类相关,如花生蛋白、大豆蛋白与豌豆蛋白的最佳挤压温度均存在差异^[15]。对于挥发性风味物质来说,随着挤压温度的升高挥发性风味物质的保留率在一定范围内逐渐增加,蛋白对部分挥发性风味物质的吸附力增强,素肉制品的结构更加紧密^[57]。此外,水分含量的高低是极其重要的因素。低水分挤压技术制备出的素肉产品在外观和质地方面无法与真肉媲美,且产品还需进行复水工艺^[58]。研究表明在高水分挤压的条件下,大量的自由水能够降低物质在机筒内的黏度和停留时间并减小机械力,使产品的纤维化程度提高,更能够制备出类似动物组织的结构^[59]。

如图 1 所示,食用菌素肉的制作流程一般为:首先对不同的食用菌进行相应的预处理;通过挤压工艺将其转化为纤维结构;随后利用斩拌的方式将物料与配料充分混合;再装模成型即得初品;最后采用高压杀菌处理,包装得到成品。

原大豆蛋白在挤压技术的基础上需进行蒸煮发生交联聚合反应^[59],食用菌则需经过复合酶法进行改性从而降低粗纤维含量。此外,因食用菌自身组织结构的紧密性,在加工过程中还需要通过斩拌的方式,降低纤维细度,最大程度模拟肉制品

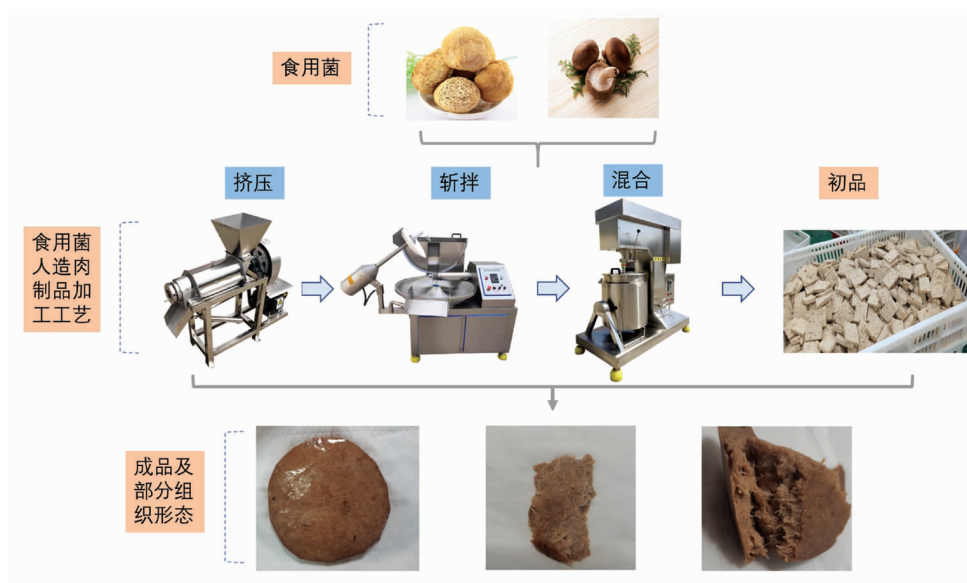


图 1 食用菌素肉制品加工过程

Fig.1 The process of edible mushroom vegetarian meat

的弹性。其次,添加黏合剂能够减少物料损失,提高出品率,制备出感官性能良好的素肉制品,目前使用的黏合剂有胶型黏合剂和蛋白型黏合剂;不同类型的亲水胶体,对素肉产品的颜色和质地有不同影响。Arora 等^[60]研究表明,胶型黏合剂(卡拉胶、黄原胶)的黏合效果优于蛋白型黏合剂(大豆浓缩蛋白、酪蛋白);Majzoubi 等^[61]研究表明卡拉胶和魔芋甘露聚糖均能使素肉香肠结构稳定,质地细腻,具有良好的切片性和保水性,但黄原胶不能够改善产品的理化性质和感官属性。最后,在杀菌包装过程中,可采用微波杀菌、高压杀菌^[62]结合真空包装的方式来达到成品的保鲜效果。相比普通肉制品,该生产工艺弥补了在储藏过程中由于蛋白水解酶的影响导致肉嫩度降低的不足^[63]。食用菌素肉有较稳定的货架期^[64]。相关感官性评价表明,食用菌在提高营养价值的同时不仅保持了产品的含水量,并且较好具备肉制品的质地、颜色和口感^[65]。

3 存在问题及发展趋势

食用菌素肉的发展还处于初期阶段,存在巨大的市场潜力,但是如产品结构不合理、食品安全等问题仍然制约着产业的转型与发展。首先,食用菌素肉产品在食品领域分布极不均衡,除休闲食品之外,在其它类别成品方面应加大研发投入。其次,食用菌品种的采用局限性较大,对于其它品种的选取仍需开拓,如有“真菌之花”之称的金顶蘑存在着碱性蛋白酶^[66],可用于调控素肉的营养;平菇味道鲜美,有鲍鱼、牡蛎的香气,利用此优点在模拟鱼源素肉制品方面(如鱼糜、素鲍鱼、滑类等)拥有独特优势。此外,以香菇、猴头菇等食用菌作为素肉原料生产时,部分产品中大豆蛋白的添加量仍然较高,如何不断提高食用菌的含量并研发出高仿真的素肉产品需要进一步探究。再者,在素肉市场高涨的情况下,相关食品安全问题层出不穷,市场监管者们应加强生产监管标准以及食品安全法律法规的完善,才能让素肉长远发展下去。食用菌作为大型真菌,其生长过程中可通过降解重金属有机物作为自身养分,长久积累后,极易导致自身重金属含量超标,因此,需加强食品安全监管,以防引发食品安全事件。

4 结语

在全球畜牧业资源紧张、环境污染问题每况愈下的重大现实背景下,如何利用素肉来有效弥补资源缺口已成为人们研究的方向。因自身的结构优势以及营养价值,食用菌素肉比传统以豆类蛋白为原料进行生产的素肉更具有肉的口感与纤维感,为食用菌素肉的发展潜力奠定了基础。

食用菌素肉作为一个热门的新兴领域,在具有商业价值的同时,也将迎来巨大的挑战。在研究开发过程中,生产研究者不仅需要保证其食用安全和营养价值,也需要不断改良、创新生产技术。另外,对于产品的货架稳定期的调控也需要进一步努力,还应考虑到不同消费人群对产品的需求。总之,无论是从经济效益还是社会影响等各方面来看,食用菌素肉市场具有巨大的潜力和商机。

参 考 文 献

- [1] STEINFELD H, WASSENAAR T, JUTZI S. Live-stock production systems in developing countries: Status, drivers, trends[J]. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, 2006, 25(2): 505-516.
- [2] 刘聪, 石奇, 钱龙. 中国人造植物肉产业的发展现状、驱动机制与前景预测[J]. *农林经济管理学报*, 2021, 20(6): 759-768.
LIU C, SHI Q, QIAN L. Development status, driving mechanism and prospect of Chinese plant-based meat[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2021, 20(6): 759-768.
- [3] 刘芳, 王盼娣, 熊小娟, 等. 人造肉技术发展现状、安全性评价和监管以及消费者接受度[J]. *中国食物与营养*, 2022, 28(1): 5-9.
LIU F, WANG P D, XIONG X J, et al. Development status of artificial meat technology, safety evaluation and supervision and consumer acceptance [J]. *Food and Nutrition in China*, 2022, 28(1): 5-9.
- [4] 曲晓丽. 布局人造肉市场——中外企业在食品消费新蓝海“硬碰硬”[R]. (2020-12-21) [2021-10-29]. <https://d.drcnet.com.cn/?DocID=6058800&leafid=3063&chnid=1029>.
QU X L. Layout of artificial meat market - Chinese and foreign enterprises in the new blue ocean of

- food consumption 'hard hit' [R]. (2020-12-21) [2021-10-29]. <https://d.drcnet.com.cn/?DocID=6058800&leafid=3063&chnid=1029>.
- [5] HOEK A C, LUNING P A, STAFLEU A, et al. Food-related lifestyle and health attitudes of Dutch vegetarians, non-vegetarian consumers of meat substitutes, and meat consumers[J]. *Appetite*, 2004, 42(3): 265-272.
- [6] LANG M. Consumer acceptance of blending plant-based ingredients into traditional meat-based foods: Evidence from the meat-mushroom blend[J]. *Food Quality and Preference*, 2020, 79(1): 103758.
- [7] TOBLER C, VISSCHERS V H M, SIEGRIST M. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors[J]. *Appetite*, 2011, 57(3): 674-682.
- [8] 李东巧, 谢华玲, 杨艳萍, 等. 人造肉领域国际创新发展态势分析[J]. *世界科技研究与发展*, 2021, 43(1): 43-53.
- LI D Q, XIE H L, YANG Y P, et al. Analysis of the development trend of international innovation in artificial meat[J]. *World Sci-Tech R&D*, 2021, 43(1): 43-53.
- [9] 李东巧. 人造肉向我们走来[J]. *食品界*, 2021, 12(4): 28-29.
- LI D Q. Artificial meat is coming to us[J]. *Food Industry*, 2021, 12(4): 28-29.
- [10] 张斌, 屠康. 传统肉类替代品——人造肉的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(9): 327-333.
- ZHANG B, TU K. The research advance of traditional meat substitutes-artificial meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(9): 327-333.
- [11] KADIM I T, MAHGOUB O, BAQIR S, et al. Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(2): 222-233.
- [12] POST M J. Cultured beef: Medical technology to produce food[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(6): 1039-1041.
- [13] 张国强, 赵鑫锐, 李雪良, 等. 动物细胞培养技术在人造肉研究中的应用[J]. *生物工程学报*, 2019, 35(8): 1374-1381.
- ZHANG G Q, ZHAO X R, LI X L, et al. Application of cell culture techniques in cultured meat[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2019, 35(8): 1374-1381.
- [14] 王秋野. 豌豆蛋白基植物肉的研制及特性分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- WANG Q Y. Preparation and properties analysis of pea protein-based meat analogues[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2021.
- [15] 金鑫. 植物蛋白挤压组织化性质、工艺优化及应用研究[D]. 广州: 华东理工大学, 2021.
- JIN X. Study on the extrusion properties, process optimization and application of textured plant protein [D]. Guangzhou: East China University of Science and Technology, 2021.
- [16] 林木. 食用菌行业龙头的扩张与延伸[J]. *农经*, 2021, 35(2): 74-77.
- LIN M. Expansion and extension of leading edible fungi industry[J]. *Agricultural Economics*, 2021, 35(2): 74-77.
- [17] 唐小华, 胡斌, 李雪玲, 等. 食药菌菌丝体应用研究进展[J]. *食用菌学报*, 2021, 28(4): 116-122.
- TANG X H, HU B, LI X L, et al. Research progress on the application of mycelium of edible and medicinal fungi[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2021, 28(4): 116-222.
- [18] 欧雨嘉, 郑明静, 曾红亮, 等. 植物蛋白肉研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(12): 299-305.
- OU Y J, ZHENG M J, ZENG H L, et al. Advance in plant-based meat research[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(12): 299-305.
- [19] 周涛, 徐书洁, 杨继全. 3D食品打印技术研究的最先进展[J]. *食品工业*, 2016, 37(12): 208-212.
- ZHOU T, XU S J, YANG J Q. The latest research progress in 3D food printing technology[J]. *The Food Industry*, 2016, 37(12): 208-212.
- [20] 况丹. 食用菌的营养价值及应用进展[J]. *现代食品*, 2020, 10(15): 53-55.
- KUANG D. The nutritional value and application progress of edible fungi[J]. *Modern Food*, 2020, 10(15): 53-55.
- [21] PONIEDZIAŁEK B, SIWULSKI M, WIATER A, et al. The effect of mushroom extracts on human platelet and blood coagulation: In vitro screening of eight edible species[J]. *Nutrients*, 2019, 11(12): 30-40.
- [22] 周春丽, 刘腾, 胡雪雁, 等. 食用菌的营养价值及应用进展[J]. *食品工业*, 2016, 37(6): 247-252.
- ZHOU C L, LIU T, HU X Y, et al. Investigation and analysis of the nutritional value of edible fungi

- [J]. The Food Industry, 2016, 37(6): 247-252.
- [23] VICTOR B, TETIANA K. Utilization of agro-industrial waste by higher mushrooms: Modern view and trends[J]. Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences, 2018, 14(7): 563-577.
- [24] KIM K, CHOI B, LEE I, et al. Bioproduction of mushroom mycelium of *Agaricus bisporus* by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(9): 1561-1568.
- [25] ZHOU J J, FENG T, YE R. Differentiation of eight commercial mushrooms by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Sensors, 2015, 18(1): 1-14.
- [26] YUAN X Y, JIANG W, ZHANG D W, et al. Textural, sensory and volatile compounds analyses in formulations of sausages analogue elaborated with edible mushrooms and soy protein isolate as meat substitute[J]. Foods, 2022, 11(1): 52.
- [27] 杜佳馨, 席嘉佩, 方东路, 等. 猪肚菌不同部位的营养评价及风味特征分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(6): 743-756.
- DU J X, XI J P, FANG D L, et al. Nutritional evaluation and flavor characteristic analysis of different parts of *clitocybe maxima*[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences, 2021, 47(6): 743-756.
- [28] JONG S C, BIRMINGHAM J M. Medicinal and therapeutic value of the shiitake mushroom[J]. Advances in Applied Microbiology, 1993, 66(39): 153-184.
- [29] WASSER S P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2002, 60(3): 258-274.
- [30] 沈硕, 彭颖, 李沛, 等. 酵母抽提物对自制香菇素肉水饺馅料风味的影响研究[J]. 肉类工业, 2021, 45(12): 33-38.
- SHEN S, PENG Y, LI P, et al. Study on the effect of yeast extract on the flavor of self-made dumplings filling with mushroom and vegetarian meat [J]. Meat Industry, 2021, 45(12): 33-38.
- [31] 黄茂坤, 林雯, 潘超然. 香菇柄仿真肉味素食品的研制[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 439-442.
- HUANG M K, LIN L, PAN C R. Development of simulation meat flavor food for *lentinus edodes stipe* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011, 39(6): 439-442.
- [32] DURMUS A, DURMUS I, BENDER O, et al. The effect of *Hericium erinaceum* on the prevention of chemically induced experimental colitis in rats [J]. The Korean Journal of Internal Medicine, 2020, 36(1): 44-52.
- [33] 安苗青, 赖玉健, 徐雅因, 等. 不同方式制备的猴头菇提取物对大鼠急性胃黏膜损伤保护作用对比 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 360-367.
- AN M Q, LAI Y J, XU Y N, et al. Comparison of protective effects of *hericium erinaceus* extracts prepared by different methods on acute gastric mucosal injury in rats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 360-367.
- [34] CARDOSO R V C, FERNANDES A, OLIVEIRA M, et al. Development of nutraceutical formulations based on the mycelium of *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus bisporus*[J]. Food & Function, 2017, 8(6): 2155-2164.
- [35] 夏光辉, 郭聪颖, 李鑫. 不同工艺条件对猴头菇素肉干品质的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 148-152.
- XIA G H, GUO C Y, LI X. Influence of different process conditions on quality of *hericium erinaceus* vegetarian jerky [J]. Food Industry, 2018, 39(5): 148-152.
- [36] 赵立艳. 食用菌精深加工关键技术创新与应用[J]. 中国农村科技, 2020, 30(11): 39-41.
- ZHAO L Y. Key technology innovation and application in deep processing of edible fungi [J]. China Rural Science & Technology, 2020, 30(11): 39-41.
- [37] 韩爽, 夏光辉, 郭聪颖, 等. 猴头菇素肉干的制作工艺研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(3): 94-97.
- HAN S, XIA G H, GUO C Y, et al. Study on the processing technology of dried *hericium erinaceus* plantmeat[J]. China Condiment, 2018, 43(3): 94-97.
- [38] STRONG P J, SELF R, ALLIKIAN K, et al. Filamentous fungi for future functional food and feed[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2022, 35(76): 102729.
- [39] STEPHAN A, AHLBORN J, ZAJUL M, et al. Edible mushroom mycelia of *Pleurotus sapidus* as novel protein sources in a vegan boiled sausage analog system: Functionality and sensory tests in comparison to commercial proteins and meat sausages [J].

- European Food Research and Technology, 2018, 244(5): 913–924.
- [40] 玛丽乔菲尼, 约翰那德怀, 克莱尔汉斯勒里维斯. 食用菌与人类健康 (一)[J]. 食药菌, 2015, 23(2): 82–85.
- FEENEY M J, DWYER J, M. HASLER-LEWIS C, et al. Mushroom and human health(1)[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2015, 23(2): 82–85.
- [41] WATANABE F, YABUTA Y, TANIOKA Y, et al. Biologically active vitamin B-12 compounds in foods for preventing deficiency among vegetarians and elderly subjects[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(28): 6769–6775.
- [42] RAMLE N A, ZULKURNAIN M, ISMAIL-FITRY M R. Replacing animal fat with edible mushrooms: A strategy to produce high-quality and low-fat buffalo meatballs[J]. International Food Research Journal, 2021, 28(5): 905–915.
- [43] WANG Y, TUCCILLO F, LAMPI A M, et al. Flavor challenges in extruded plant-based meat alternatives: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022, 21(3): 2898–2929.
- [44] VAN BOEKEL M A J S. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(2): 230–233.
- [45] LOTFY S N, FADEL H H M, EL-GHORAB A H, et al. Stability of encapsulated beef-like flavourings prepared from enzymatically hydrolysed mushroom proteins with other precursors under conventional and microwave heating[J]. Food Chemistry, 2015, 187(11): 7–13.
- [46] QING Z L, CHENG J R, WANG X P, et al. The effects of four edible mushrooms (*Volvariella volvacea*, *Hypsizygus marmoreus*, *Pleurotus ostreatus* and *Agaricus bisporus*) on physicochemical properties of beef paste[J]. LWT, 2021, 135(9): 110063.
- [47] MYRDAL MILLER A, MILLS K, WONG T, et al. Flavor-enhancing properties of mushrooms in meat-based dishes in which sodium has been reduced and meat has been partially substituted with mushrooms[J]. J Food Sci, 2014, 79(9): 1795–1804.
- [48] 黄莉, 孔保华, 李菁, 等. 氧化引起肉及肉制品品质劣变的机理及影响因素[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 319–323.
- HUANG L, KONG B H, LI J, et al. Cultured beef: Medical technology to produce food[J]. Food Science, 2011, 32(9): 319–323.
- [49] GEORGANTELIS D, BLEKAS G, KATIKOU P, et al. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on lipid oxidation and colour stability during frozen storage of beef burgers[J]. Meat Science, 2007, 75(2): 256–264.
- [50] 崔国梅. 复配天然抗氧化剂对人造肉抗氧化性能的研究 [J]. 农产品加工, 2019, 23(18): 10–13.
- CUI G M. Study on antioxidation of natural antioxidant compound on artificial meat[J]. Farm Products Processing, 2019, 23(18): 10–13.
- [51] 于弋涵, 杜伟宁, 胡秋辉, 等. 酶法水解猴头菇多肽的生物活性[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 119–127.
- YU Y H, DU W N, HU Q H, et al. Bioactivities of peptides derived from hericium erinaceus proteins by enzymatic hydrolysis[J]. Food Science, 2021, 42(21): 119–127.
- [52] WANG X P, ZHOU P F, CHENG J R, et al. Use of straw mushrooms (*Volvariella volvacea*) for the enhancement of physicochemical, nutritional and sensory profiles of Cantonese sausages[J]. Meat Science, 2018, 146(12): 18–25.
- [53] BAO H N D, USHIO H, OHSHIMA T. Antioxidative activities of mushroom (*Flammulina velutipes*) extract added to bigeye tuna meat: Dose-dependent efficacy and comparison with other biological antioxidants[J]. Journal of Food Science, 2009, 74(2): 162–169.
- [54] JANG M S, EUN J B, USHIO H, et al. Antioxidative properties of mushroom flammulina velutipes crude extract on the oxidation of cod liver oil in emulsion[J]. Food Science and Biotechnology, 2004, 13(2): 215–218.
- [55] 李伟兴. 一种植物纤维人造肉制造工艺: CN201910951454.X[P]. 2019–12–20.
- LI W X. A plant fiber artificial meat manufacturing process: CN201910951454.X[P]. 2019–12–20.
- [56] FANG Y Q, ZHANG B, WEI Y M, et al. Effects of specific mechanical energy on soy protein aggregation during extrusion process studied by size exclusion chromatography coupled with multi-angle laser light scattering[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(2): 220–225.
- [57] 寻崇荣. 高湿挤压技术制备持香型仿肉制品工艺[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 292–298.

- XUN C R. Processing of flavored meat analogues by high-moisture extrusion[J]. Food Science, 2019, 40(4): 292-298.
- [58] GUO Z W, TENG F, HUANG Z X, et al. Effects of material characteristics on the structural characteristics and flavor substances retention of meat analogs[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 105(6): 105752.
- [59] 陈锋亮. 植物蛋白挤压组织化过程中水分的作用[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- CHEN F L. Role of water in extrusion texturization for vegetable protein[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.
- [60] ARORA B, KAMAL S, SHARMA V P. Effect of binding agents on quality characteristics of mushroom based sausage analogue[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(5): 131-134.
- [61] MAJZOBI M, TALEBANFAR S, ESKANDARI M H, et al. Improving the quality of meat-free sausages using κ -carrageenan, konjac mannan and xanthan gum [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(5): 1269-1275.
- [62] 韩林娜, 戴增辉, 路飞, 等. 杀菌处理对植物基人造肉保鲜效果的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(13): 36-41.
- HAN L N, DAI Z H, LU F, et al. Effects of germicidal treatment on fresh-keeping of plant-based meat[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(13): 36-41.
- [63] OLIVERA D F, BAMBICHA R, LAPORTE G, et al. Kinetics of colour and texture changes of beef during storage[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2013, 50(4): 821-825.
- [64] BASHIR N, SOOD M, BANDRAL J D, et al. Impact of storage on quality parameters of meat analog nuggets formulated from oyster mushroom, flaxseed and amaranth[J]. Applied Biological Research, 2019, 21(3): 265-273.
- [65] HUSAIN H, HUDA-FAUJAN N. Quality evaluation of imitation chicken nuggets from oyster mushroom stems and chickpea flour[J]. Malaysian Applied Biology, 2020, 49(3): 61-69.
- [66] CUI L, LIU Q H, WANG H X, et al. An alkaline protease from fresh fruiting bodies of the edible mushroom *Pleurotus citrinopileatus*[J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2007, 75(1): 81-85.

Research Progress on the Development of Edible Mushroom-Based Artificial Meat

Yang Yijing¹, Li Jing¹, Chen Qingyan¹, Hu Jiamiao^{1,2*}

(¹College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002

²Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Fujian Agriculture and Forestry University) Integrated Research Base of Edible Mushroom Processing and Comprehensive Utilization Technology, Fuzhou 350002)

Abstract With the improvement of people's living standards and the change of consumption structure, the pursuit of healthy and safe diet has become a mainstream. At the same time, public demand for meat in China increased year by year which brought a large amount of greenhouse gas emissions and created a serious burden on the environment. In addition to providing sufficient nutrition, plant-based products can also reduce the burden on the environment, and can reduce the carrying of pathogens compared with animal-derived foods. Edible mushrooms as raw materials for plant-based meat production research is an emerging and popular direction that not only brings enough protein but also provides other nutritional values to meet people's demand for health and meat nutrition. This review introduced some development status of artificial meat, which mainly described the shelf life, flavor improvement and characteristics analysis as an alternative component of plant-based meat were mainly expounded, and the progress related to edible mushrooms as raw materials for plant-based meat production, aiming to provide references for industry research producers.

Keywords edible mushroom-based meat; edible mushroom; antioxidant; *Lentinus edodes*; *Hericium ericium*