

关颖贤, 江洁, 潘玲, 等. 食用菌发酵食品的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 454–462. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080181

GUAN Yingxian, GANG Jie, PAN Ling, et al. Research Progress on Fermented Food by Edible Fungi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 454–462. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080181

· 专题综述 ·

食用菌发酵食品的研究进展

关颖贤, 江洁*, 潘玲, 薛晨光
(大连民族大学生命科学学院, 辽宁大连 116605)

摘要: 食用菌中含有丰富的营养物质和生物活性成分, 具有极高的营养保健价值。食用菌菌丝体所含的营养成分及功效与子实体相似, 而其发酵工艺简单、生长周期短、原料使用广泛、易于规模化生产且没有季节限制, 更易于实现工业化生产。食用菌发酵食品是一种新型的功能性食品, 菌丝体在基质中发酵能使代谢活性物质增加, 在提高其营养价值的同时赋予其独特的保健功效。本文总结了以灵芝、蛹虫草、羊肚菌和香菇等食用菌为菌种的发酵食品的种类及发酵方式, 对食用菌发酵制备复合米、面包、面条、馒头、饼干、杂粮粉、茶、酒、乳、功能饮料、酱油、食醋等产品的生产工艺与特点进行了综述, 并对食用菌发酵食品的理论研究、工艺创新、产业化应用进行展望, 旨在为食用菌的精深加工及食用菌功能食品的开发提供参考。

关键词: 食用菌, 菌丝体, 发酵, 功能性食品, 研究进展

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)10-0454-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022080181



本文网刊:

Research Progress on Fermented Food by Edible Fungi

GUAN Yingxian, GANG Jie*, PAN Ling, XUE Chenguang

(College of Life Sciences, Dalian Minzu University, Dalian 116605, China)

Abstract: Edible fungi contain rich nutrients and bioactive components, processing high presumed health-promoting properties. The nutrient composition and efficacy of edible fungi mycelium are similar to those of fruiting body. However, mycelium is easier to be fermented on a large scale for industrial production because of its relatively simple fermentation process, short growth cycle, extensive usage of raw materials, and high scalability for large-scale production without seasonal restrictions. Meanwhile, edible-fungal fermented foods constitute a new type of functional product since the fermentation of mycelium in the substrate can increase the active metabolic substances improving its nutritional value and endowing it with unique healthcare effects. In this paper, the types and fermentation methods of fermented foods with *Ganoderma lucidum*, *Cordyceps militaris*, *Morchella esculenta*, *Lentinus edodes* and other edible fungi as strains are summarized. The production technologies and characteristics of compound rice, bread, noodles, steamed bread, biscuits, coarse cereals powder, tea, wine, milk, functional beverage, soy sauce, vinegar and other products prepared by edible-fungal fermentation are reviewed. Also the theoretical research, technological innovation and industrial application of edible-fungal fermented foods are prospected. It aims to provide a reference for the further processing of edible fungi and the development of edible fungus-based functional food.

Key words: edible fungi; mycelium; fermentation; functional food; research progress

食用菌富含蛋白质、多糖、多酚、萜类、氨基酸、甾醇类、核苷类物质等营养和活性成分^[1], 具有抗氧化、抑菌抗炎、降血糖、抗肿瘤、免疫调节、神经调节等保健功能^[2-7], 有“素中之荤”的美誉。食用菌

菌丝体和子实体是食用菌生长阶段的不同形态^[8], 但子实体栽培时间长、技术复杂, 受季节和原料的限制。相较而言, 食用菌菌丝体发酵工艺简单、生长周期短、原料使用广泛, 易于规模化生产且没有季节限

收稿日期: 2022-08-18

基金项目: 大连民族大学·铜仁科学院联合科研项目 (2019110057); 大连民族大学服务国家战略专项项目 (2020fwgj020)。

作者简介: 关颖贤 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食用菌功能食品研发, E-mail: 2423207202@qq.com。

* 通信作者: 江洁 (1965-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: gangjie@dlmu.edu.cn。

制,更易于实现工业化生产。食用菌菌丝体含有的营养成分含量不低于甚至有的高于子实体^[9],具有与子实体中活性物质相同的抗氧化、抗肿瘤等功效,且通过菌丝体发酵后产物的营养活性成分、酶活力等相应得到提高;菌丝体的生物活性成分易于分离利用,人体对其吸收的效果比子实体和孢子粉要好,且其粗纤维比子实体少,凝集素性质稳定^[10],可以用于食品加工。食用菌菌丝体及其发酵产物不仅具有独特的营养和保健价值,而且味道鲜美、香味浓郁,具有很好的调味作用,可以作为原料应用于功能性食品制备。但食用菌作为一种具有发酵功能的真菌,没有得到广泛应用。近年来,基于食用菌发酵研发的食品越来越多,包括米制品、面制品、杂粮制品、饮料制品及调味品等,其发酵菌种涉及灵芝、蛹虫草、牛肝菌、羊肚菌、茯苓、猴头菇、香菇、金针菇等,食用菌发酵研究也受到一些关注,取得诸多进展。本文综述了近年来食用菌发酵食品的种类、发酵菌种及发酵方式、生产工艺及特点,在此基础上指出问题并提出未来研究方向,为食用菌发酵功能食品的进一步开发提供参考。

1 食用菌发酵米制品

复合米是以添加各种营养强化物质的淀粉类为原料加工而成的一种高浓度营养的强化米,通过食用菌菌丝体发酵可提高米质的营养活性成分含量,发酵产物能够满足复合米的营养强化需求,如以大米、玉米为基质接种灵芝菌种固体发酵,所得发酵菌粉相比普通大米及玉米,其可溶性蛋白、灰分、可溶性糖、类胡萝卜素含量及总抗氧化性得到提高^[11],可作为复合米加工制备的原料。食用菌发酵复合米的制备主要以灵芝、蛹虫草为发酵菌种(表 1),通过固体发酵大米、玉米等谷物,发酵菌质经过粉碎、调配、挤压、成型、干燥等一系列工序加工成米粒的形状,其粒形、粒度、色泽、食味均与普通大米相近而营养价值更高。李艳芳等^[12]以灵芝菌丝发酵玉米糝,发酵菌质经过干燥、粉碎加工成灵芝复合米,通过发酵培养的灵芝菌丝可以降解玉米淀粉,提升米质中氨基酸以及灵芝多糖的含量。采用灵芝和益生菌共同发酵大米,发酵产物中不仅含有食用菌的活性成分,还包含许多益生菌及其代谢产物,可研发富含两种菌营养成分的发酵大米。张昭等^[13]以大米为基质,先接种灵芝菌发酵 4 d、后接种乳酸菌共同发酵,使乳酸菌利用灵芝菌丝发酵分解的营养物质从而生长更为旺盛,所得发酵大米中富含还原糖及乳酸。食用菌发酵复合米的原料选择广泛,碎米、籼米、糙米、粳米等资源也可充分得以利用。刘方^[14]分别以籼米、糙米、粳米为原料,蛹虫草发酵菌质为辅料,利用双螺杆挤压技术制备出三种复合米:虫草素籼米复合米、虫草素糙米复合米、虫草素粳米复合米,使米中蛋白质和脂肪的含量提升且虫草素含量丰富,同时复合米具有良好的热糊稳定性以及冷糊稳定性,有助于优化米的

品质,加工食用口感更为细腻。此外,食用菌在发酵过程中产生 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、纤维素酶、蛋白酶和木聚糖酶等多种酶类,具有缓解淀粉老化的作用^[15-18],有助于提高米的品质;马誉畅^[19]发现经过灵芝发酵液处理后的糙米淀粉的老化程度下降,回生值比率高达 24.0%,且处理后的糙米中酯类、烃类增加,糙米香味增加,其熟制后粘性升高、硬度下降,口感改善,糙米品质得到提高。

2 食用菌发酵面制品

食用菌发酵面制品是利用菌丝发酵产物经过加工处理后,在和面时按一定比例添加至面粉中加工而成的面制品,其添加产物可以为液体发酵获得的菌丝体或发酵液,制备成发酵面包、发酵馒头,或利用固体发酵菌质经过干燥、粉碎而成的菌质粉,制备成发酵面条、发酵饼干(表 1)。经过食用菌发酵制备的面制品不仅营养价值更高,功能性也更加显著,如 Enkhjargal 等^[20]将 5% 的小麦粉替换为姬松茸、香菇、牛樟菇菌丝制作面包,结果表明菌丝体的加入不影响面包的口感,同时面包中的洛伐他汀、 γ -氨基丁酸(GABA)和麦角新碱含量得到大幅提高,增加了面包的营养价值。胡龙^[21]以燕麦和大米为主料、豆粕为辅料,接入蛹虫草菌种固体发酵,经过配料、和面、静置熟化、压片、切条、干燥、切断制成挂面;与普通挂面相比,蛹虫草挂面 eGI 值降低 27.89%,达到低 eGI 水平,为食用菌发酵制备低 GI 食品的开发提供了参考。食用菌发酵液具有一定的抑菌作用,对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌等具有良好的抑制效果^[22-24],可应用于面制品的生产及防腐保鲜,如潘昌等^[25]利用食用菌发酵液抑制热干面中的蜡样芽孢杆菌,以香菇、黑木耳、血耳、猴头菇和蛹虫草 5 个品种 26 个菌株为出发菌株,通过菌丝生长速度比较、发酵液对热干面中蜡样芽孢杆菌生长抑制效果评价,筛选出对蜡样芽孢杆菌具有明显抑制效果的麻城血耳菌株,并确定其最小抑菌浓度为 31.25 $\mu\text{L/mL}$ 。食用菌菌丝体在发酵过程中分泌的淀粉酶、漆酶、蛋白酶等起到改善面制品品质的作用,如灵芝漆酶能显著增大馒头的比容,并催化小麦蛋白交联,改善面筋网络结构,提高馒头硬度,同时使馒头中淀粉颗粒膨大与聚集,有助于人体的吸收^[26]。将灵芝发酵液添加至小麦面粉中制备馒头,发酵液中含有的淀粉酶能催化淀粉产生葡萄糖,使酵母菌借助葡萄糖生长代谢形成 CO_2 ,馒头的比容、气孔数以及气孔面积增大,降低馒头的硬度以及咀嚼度,提升馒头的品质^[27]。徐慧等^[28]通过液体发酵培养鹿角灵芝菌丝,发酵液接种至小麦培养基固体发酵,发酵菌质经过灭活、干燥、粉碎得到灵芝全麦粉,通过黄油搅打、混合调粉、挤压成型、烘烤、包装制成全麦粉曲奇饼干。经鹿角灵芝发酵得到的全麦粉几乎不含面筋蛋白,添加至面粉中可降低面筋网络形成,使饼干咀嚼性和硬度下降,提高饼干品质。

表 1 食用菌发酵食品分类
Table 1 Classification of edible fungi fermented food

发酵食品大类	发酵食品种类	食用菌种类	发酵方式	文献
发酵米制品	发酵复合米	灵芝	固体发酵	[12-13]
		蛹虫草		[14]
	发酵面包	姬松茸、牛樟菇、香菇	液体发酵	[20]
发酵面制品	发酵馒头	灵芝	固体发酵	[27]
	发酵面条	蛹虫草		[21]
	发酵饼干	灵芝		[28]
发酵杂粮制品	发酵杂粮粉	蛹虫草	固体发酵	[21]
		灵芝		[31]
		灵芝		[34-35]
		蛹虫草		[36]
	发酵茶	茯苓	液体发酵	[37]
		灵芝		[33,38]
		蛹虫草		[36]
		灵芝、杏鲍菇		[39]
	发酵酒	灵芝	固体发酵	[40-41,44]
		羊肚菌		[42]
发酵饮料	其他发酵饮料	羊肚菌	液体发酵	[43]
		蛹虫草		[45]
		灵芝		[46,51]
		蛹虫草		[47]
	发酵乳	香菇	液体发酵	[48,51]
		白灵菇		[51]
		灵芝		[52-53,56]
		灵芝、金针菇		[54]
	发酵酱油	金针菇	固体发酵	[56]
		灵芝		[55]
		蛹虫草		[57]
		灵芝		[60]
发酵调味品	发酵食醋	牛肝菌	液体发酵	[58]
		蛹虫草		[59]
		蛹虫草		[61]
		蛹虫草		[62]
	发酵调味汁	羊肚菌、猴头菇、香菇	固体发酵	[63]
		灵芝		[64]
		香菇		[65]
		羊肚菌		[66,68]
	发酵调味料	牛肝菌	液体发酵	[67]
		羊肚菌		[69]
	发酵调味酱	羊肚菌	液体发酵	[69]

3 食用菌发酵杂粮制品

食用菌菌丝体具有分解、利用纤维素和木质素的能力^[29],谷物中除富含纤维素和木质素外,还含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质等营养成分,可作为食用菌菌丝体生长的原料。食用菌发酵杂粮粉的制备主要采用固体发酵的方式(表 1),以蛹虫草、灵芝发酵谷物基质,发酵菌质经过干燥、粉碎、混料而成,不仅能充分保留谷物原料的营养成分,还具有营养均衡、食用方便等特点。通过食用菌发酵得到的菌质粉口感粗糙且带有苦味,为了提高杂粮粉成品的适口性,加工过程中需要加入木薯粉、燕麦粉等使其口感更加细腻,以及添加紫薯粉、蓝莓粉、哈密瓜粉等掩盖苦味。胡龙^[21]以燕麦、大米和豆粕为基质,通过蛹虫草固体发酵,发酵菌质经过干燥、粉碎后加入燕麦

粉、哈密瓜粉、木糖醇制备低 GI 谷物杂粮粉,经发酵制备的杂粮粉中虫草素、喷司他丁等活性成分含量提高,具备独特的保健功效。食品加工产生的副产物如豆渣、豆腐渣、甘蔗渣等,可以作为食用菌的发酵转化培养基,通过菌丝固体发酵,转变其营养成分,获得相应的酶及功能性成分,同时改善适口性,提高其生物利用率^[30],发酵产物可以作为功能性杂粮制品的原料。韦玉芳等^[31]以甘蔗渣、豆渣、麦麸为培养基,通过灵芝固体发酵,发酵菌质与木薯淀粉、面粉混合,经过调浆、熟化、微波膨化、粉碎过筛、添加糖及乳粉,制成灵芝型膳食纤维方便杂粮粉。灵芝菌丝体发酵过程中对豆渣、甘蔗渣细胞进行降解,其分泌的纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶等胞外酶,可降解膳食纤维原料中难以消化的粗纤维形成多糖,促进豆渣

及甘蔗渣营养成分的释放,转变了膳食纤维原料的成分构成以及口感,使蔗渣、豆渣、麸皮的使用价值得到提高^[30-31]。

4 食用菌发酵饮料

4.1 食用菌发酵茶

食用菌发酵茶是以茶叶或茶汤为主要原料,添加少量天然可食用辅料,通过食用菌发酵培养而成,不同于一般茶饮料混合、调配的工艺,食用菌菌丝在茶叶、茶汤基质中充分发酵生长,茶和菌自然融合,使有机营养物质易于被人体吸收。采用固体发酵制备发酵茶,可以茶叶为基质,选用灵芝、蛹虫草、茯苓为发酵菌种,发酵后的茶叶制备成袋泡茶等产品;以茶汤为基质,采用液体发酵制备发酵茶汤,所选发酵菌种主要为灵芝、蛹虫草,或以具有清香菇味的杏鲍菇、香菇发酵液等作为原料,通过发酵液与茶汁调配而成(表 1)。

茶中的茶多酚、单宁酸等物质具有一定的抑菌作用^[32],抑制食用菌菌丝体的生长,故发酵用的食用菌需具有较强的多酚氧化酶分泌能力,才能起到有效降解茶多酚、解除其抑制的作用^[33]。同时茶中含有丰富的营养与矿物质,可作为菌丝体生长代谢的发酵基质,高佳佳^[34]借助灵芝菌、红曲霉、红茶菌混合固体发酵红茶,红茶中含有的营养物质能够推动菌体代谢产物合成,在适当茶浓度下其活性成分含量得到提升,通过添加玉米油促进混合菌种体系发酵,优化混合发酵工艺条件,开发出了一种新的红茶深加工技术。此外,灵芝孢子粉中含有能刺激灵芝菌丝快速生长的物质,研发富含灵芝、银杏茶、绿茶三种营养成分的复合灵芝保健茶^[35],可通过向银杏茶叶、绿茶中增添灵芝孢子粉,经过沸水浸泡处理后,添加灵芝发酵液进行固体发酵,发酵菌质在烘干、包揉、烘焙后制成。

通过食用菌发酵可降低茶中茶多酚含量、调节茶酚氨比,提高茶醇度、鲜度及澄清度,保留茶原有特征性香气成分的同时产生新的香气成分,从而改善茶品质。采用灵芝菌丝体发酵绿茶茶汤^[33],其在绿茶汤中的适应性较强,可将代谢产物排放到绿茶茶汤中,提高氨基酸含量,并使茶酚氨比达到合理水平,提升绿茶的整体品质。金星^[36]借助夏茶经由蛹虫草菌丝液体发酵,使茶的酚氨比降低 54.38%,鲜度提高 36.17%,醇度增加 117.39%,澄清度提高 72.51%;同时以夏茶叶经由煮沸的种子液培养基浸泡,添加 5% 麸皮、5% 玉米粉为辅料,通过蛹虫草菌丝固体发酵加工成袋泡茶,使茶咖啡碱含量维持不变,而茶多酚、酚氨比有不同程度的降低。以茯苓菌丝固体发酵藤茶,可使茶叶中多糖含量提高 218%,DPPH 自由基清除能力提高 246%,同时藤茶中原有的 β -紫罗兰酮等特征香气成分得以保留,并产生新的香气成分 2-甲基戊酸甲酯,使藤茶带有浓郁的水果香味,其原有的苦涩味得到改善^[37]。

采用菌丝发酵液经过过滤与离心后,添加茶汁以及其他物质共同调制备食用菌发酵茶,可使含有的各种原料活性成分得到富集,如董玉玮等^[38]通过灵芝液体发酵牛蒡,发酵液经过过滤、离心后,添加稳定剂、柠檬酸以及茉莉花茶汁共同调配,研制出灵芝牛蒡茉莉花茶,不仅含有茉莉花茶香气及风味,还含有灵芝和牛蒡的特有风味。制备食用菌发酵果茶^[39],可在调配过程中添加果汁,如白果汁、菊花汁等,使茶营养保健价值进一步提高。

4.2 食用菌发酵酒

采用食用菌菌丝体发酵制备酒,使发酵过程中菌丝体富含的活性成分浸出至酒液中,后期加入适量蜂蜜等平衡酒体,缓冲口味,得到的食用菌保健酒如米酒、黄酒、果酒等,兼备食用菌鲜味与酒醇香。食用菌发酵制备酒主要以蛹虫草、灵芝、羊肚菌为发酵菌种(表 1),其生产工艺有三类,一是以菌丝体、发酵液或发酵菌质为原料参与酒精发酵制得。以糯米为基质,通过蒸煮冷却及膨化后,添加酒曲进行前发酵,以及添加发酵菌质进行后发酵,可制备食用菌保健米酒,如王金亮等^[40]经过膨化糯米及酒曲前发酵后,利用灵芝固体发酵小麦,将增添纯净水的发酵菌质、银耳、木耳、大枣、香菇、枸杞、金针菇等原料借助无菌胶体磨制成胶体液,添加至发酵醪中参与后发酵,研制出既有米香又有植物香的百野祝寿保健酒。采用共酵法酿造营养强化米酒,工艺简单,生产条件容易控制,有利于规模化生产,张帅等^[41]将糯米蒸煮冷却后,加入甜酒曲与灵芝菌丝发酵液,固体发酵生产灵芝糯米酒,得到的灵芝糯米酒酸甜可口、香气浓郁;石思文等^[42]利用羊肚菌固体发酵糯米,发酵菌质进行糖化、发酵,酿制成羊肚菌营养强化米酒,具有纯正醇和的发酵酒香。魏甲乾等^[43]利用羊肚菌液体培养基添加甘草、当归、党参、板蓝根中药药水,以菌丝悬液并添加黄黏米为原料,结合传统黄酒酿造工艺研制出羊肚菌功能性黄酒,具有滋补及保健功效。第二类生产工艺改进了菌种发酵工艺,采用三步发酵技术使产品具有更高的生理活性功能。钱静亚等^[44]以白果、大米为原料,采用灵芝发酵、灵芝转化白果发酵和酵母发酵三步发酵技术,研制出具有抗氧化、护肝功效的灵芝白果酒。第三类是以液体发酵获得的菌丝体为主要原料,添加一定辅料,采用基酒浸提而得。曾里等^[45]向纯高粱的清香型白酒中加入蛹虫草菌丝体、灵芝孢子粉、枸杞进行冷浸泡制,添加桑葚汁、蜂蜜调配,经过降度、澄清、陈酿研制出灵芝虫草酒,具有抗疲劳、提高免疫力的功效。这类浸泡酒对基酒的选择非常重要,既要突出产品中原料的风味又要保留基酒的清香,故采用小曲工艺生产的清香型白酒作基酒为佳。

4.3 食用菌发酵乳

食用菌发酵乳的制备主要采用液体发酵的方式,以灵芝、蛹虫草、香菇、白灵菇为发酵菌种(表 1),

将获得的菌丝体或发酵液与鲜乳、蔗糖、稳定剂、乳化剂等调配,经过均质、灭菌、冷却后接种乳酸菌进行二次发酵制得。采用鲜乳中添加灵芝发酵滤液制备灵芝发酵酸乳,可使鲜乳中高含量的赖氨酸和亮氨酸弥补灵芝中这两种限制性氨基酸的不足^[46],起到蛋白质互补作用。蛹虫草发酵乳是通过液体深层发酵获取蛹虫草菌丝体干粉,与原料奶、蔗糖混合调配后,经过均质、灭菌、冷却、接种乳酸菌、发酵等工艺制成^[47],含有丰富的虫草多糖以及虫草素,具有提升免疫力的功效。香菇发酵酸乳^[48]是以液体发酵培养的香菇菌丝体进行超声波破碎、热水浸提、离心得到粗多糖液,与原料乳、蔗糖、稳定剂(单甘酯、明胶、羧甲基纤维素钠)、乳化剂混合调配,经过过滤、均质、巴氏杀菌后接入乳酸菌发酵制得。食用菌中含有的功能成分可提高发酵乳的品质,如杏鲍菇多糖对发酵剂具有保护作用,能较好的维持发酵乳的硬度和胶粘性^[49];灵芝多糖、灵芝酸、茶新菇多糖和真姬菇多糖可促进酸乳中乳酸菌增殖,制备的食用菌多糖酸奶起到延缓皮肤衰老的功效^[50]。李靖^[51]通过灵芝、白灵菇、香菇菌丝发酵液粗分离,得到粗多糖、蛋白、多肽功能性成分,添加至牛奶中发酵制备酸乳,其中发酵液的多糖提取液可以促进酸乳中乳酸菌的增殖,能改善酸乳的组织形态,提升酸乳中乙醛的含量,蛋白提取液能增加酸乳的氨基酸含量,其多肽提取液能促进酸乳中丁二酮合成,从而提高酸乳的营养及品质。

4.4 食用菌发酵其他饮料

采用菌丝体发酵果汁、麦芽汁、大豆汁、芦笋、牛蒡等植物原料,能融合植物和食用菌的优势制备新型功能饮料,形成许多新的营养保健成分和风味物质,是子实体复配饮料无法代替的。以果汁为发酵基质生产菌丝发酵饮料,其清新果味能够大大改善食用菌醇厚的风味,兼顾营养的同时更容易被人们接受;如杨茜茜^[52]以雪梨汁辅以大豆蛋白粉、玉米油为基质,通过鹿角灵芝液体发酵,添加白砂糖、蜂蜜、维生素C、黄原胶研制灵芝雪梨饮料,饮料色泽淡黄、口味酸甜、具有雪梨和灵芝滋味与香气。以大豆蛋白为原料,采用灵芝菌种液态深层发酵使大豆蛋白降解成小分子的肽和氨基酸,制备的灵芝转化肽饮料集灵芝与大豆肽功效于一体,具有免疫调节、抗疲劳、抗氧化等功能^[53]。董玉玮等^[54]以金针菇和灵芝混种发酵,发现混菌菌种间存在一定的协同增效效应,提高了生物活性物质的含量,其发酵液调配而成的混菌功能性饮料具有抑菌功能。采用固体发酵制备功能饮料,可将得到的发酵菌质经过水浸提后,与其他汁液进行调配而成;如张卫国等^[55]以灵芝固体发酵大豆粕,将含灵芝多糖的菌质水浸提液用红枣提取汁调配,得到灵芝多糖保健饮料。运用微胶囊细胞技术发酵培养食用菌菌丝体,适用于研发新型的发酵饮料深加工技术。苗敬芝等^[56]以海藻酸钠为载体、浓度

2.1% CaCl_2 溶液为载体液、金针菇菌丝体为芯材制备微胶囊并接种至培养基中液体发酵,将发酵滤液与柠檬酸、蔗糖、蜂蜜等调配,制备金针菇发酵饮料。

5 食用菌发酵调味品

5.1 食用菌发酵酱油

食用菌发酵制作酱油的工艺分为两类,一是利用固体发酵菌质经过粉碎后,混合原料,通过蒸煮、接种制曲、发酵、淋油、调配、包装等工艺制成。车振明^[57]向酱油酿制的原料中增添5%~10%人工蛹虫草培养基残基,伴随培养基添加量增加,产品中虫草多糖含量增加,虫草风味提高,且蛹虫草菌丝体中的成分对有害细菌的生长有抑制功效,研制的蛹虫草酱油味道纯正,具有抑菌功能。第二类生产工艺是在酱油酿造的制曲、制醅、调配等不同工艺阶段中添加菌丝体、发酵液或发酵菌质制成。江洁等^[58]将牛肝菌发酵液分别按酱油原料量的10%在酱油酿造的前酵、后酵和淋油时添加,研制出的牛肝菌酱油中氨基酸态氮含量和全氮含量得到提高,且在淋油工序时添加可以最大限度提高牛肝菌酱油的氨基酸态氮和全氮含量。在制曲阶段添加食用菌菌丝体,有利于米曲霉的生长,促进酶类产生使曲料分解较为彻底,提高原料利用率,李林波^[59]分别在成曲制备阶段添加蛹虫草干菌丝体,敷盐发酵、成品勾兑阶段添加蛹虫草发酵液,研制的蛹虫草酱油中成分含量远高于普通酱油,且富含虫草多糖与虫草素,具有抗氧化、抗疲劳的功效。通过食用菌发酵富锗培养基,转化吸收锗,其产物作为原料添加至酿造工艺中可制备锗强化酱油;彭荣等^[60]从豆腐渣、大豆皮、核桃壳、竹屑、麦粒中筛选出最适宜灵芝 No.3 菌株吸收转化锗的培养基,以麦粒添加20%的豆腐渣和大豆皮作为富锗培养基,固体发酵培养赤芝菌丝体,酱油原料经过蒸煮冷却后添加米曲霉、发酵菌质共同制曲,研制出富含有机锗及多糖的灵芝酱油。

5.2 食用菌发酵醋

在制醋的制曲环节添加菌丝体发酵产物,可提高醋曲的糖化、发酵性能及成品醋的品质。以小麦、麸皮为基质,经过蛹虫草菌丝固态发酵,发酵产物经过浸提后添加至醋曲生产中,可使成曲的液化、糖化力得到提高,缩短醋曲的生产及发酵时间,且固态发酵浸提固形物含有活性组分及利于菌体生长繁殖的营养物质,可以有效的二次利用^[61]。

在制醋的酒精发酵环节添加菌丝发酵液,由于其含有一定量的葡萄糖,可以使酵母前发酵期缩短,同时食用菌特有的营养成分溶解至发酵液中,更容易被菌体所利用,生产的食醋风味更佳,口感更加柔和。彭凯^[62]在制醋过程中以料液比8%的蛹虫草发酵液、0.12%酵母接种量分批次等量添加进行酒精发酵,研制出的蛹虫草食醋含有多种氨基酸及虫草酸、虫草素活性成分,提高了醋的营养保健功能。

在制醋的淋醋环节添加菌丝发酵液;萧晋川

等^[63]通过液体深层发酵得到的羊肚菌、猴头菇及香菇发酵液混合,于淋醋环节添加制备复合食用菌功能醋,粗多糖含量达 1.01 g/dL,提高了 124.4%,其营养价值进一步提高。

以菌丝发酵滤液为原料制备食用菌醋,因为培养基中的糖大多数被菌丝吸收利用,在酒精发酵时糖度显著稀缺,需要混合相应的蔗糖调配,再经过酒精发酵和醋酸发酵,与制醋工艺相结合而制成。Zu 等^[64]通过灵芝深层发酵液中自分离醋酸菌引起的生物反应,研究了生产灵芝功能醋的工艺,通过正交试验和神经网络的方法,得到最佳工艺参数为:乙醇用量为 6.7%,灵芝发酵液用量为 32%,反应时间为 74 h,醋酸菌接种浓度为 10%。

5.3 食用菌发酵其他调味品

食用菌发酵调味汁营养丰富,具有复合风味,如香菇发酵佐餐、烹调味汁^[65]以液体发酵得到的香菇菌丝体干粉、发酵浓缩液,混合全脂营养豆粉、豆粕、江米粉、酱油配料,接入香菇种子液进行二次发酵制得,具备浓郁的香菇与果香味。羊肚菌腐乳的制备是通过将羊肚菌菌种或菌丝体均匀喷洒在腐乳乳胚上,至菌丝完全包裹乳胚并自然倒伏,再经过发酵和腌制而得^[66]。食用菌发酵调味料是以菌丝体酶解后混合食盐、谷氨酸钠、核苷酸二钠、蔗糖、淀粉、植物油等辅料,经过造粒、干燥处理制得^[67];或以液体发酵培养的菌丝球为原料经过真空干燥以及混合辅料加工而成,成品圆滑且富有弹性^[68]。制备羊肚菌调味酱可以大豆酱为原料,在酱炒制过程中添加液体发酵培养的羊肚菌菌丝体,研制出的食用菌调味酱具有浓厚的羊肚菌风味^[69],可用于调味增香。

6 总结与展望

食用菌发酵食品的研发是未来食用菌产品深加工的一个重要趋势。当前运用食用菌菌丝体发酵研发的功能性食品类型持续增多,但是大多数为粗加工品,成本低廉,工艺简单,并没有充分发挥食用菌的风味、活性成分以及营养特性,特征性风味不够显著,产业工业化规模不够大。食用菌发酵食品的开发要加强基础理论研究,包括不同食用菌的风味特性、风味物质的提取及保持技术、加工对风味物质的影响、发酵产物对食品品质的影响等。其次,需要加强技术创新,优化生产工艺,缩短生产周期。在生产过程中采用酶工程等先进的生物技术,结合现代加工工艺,更加高效地制备食用菌发酵食品,并提高其营养价值和保健功能。最后,充分运用科学成果以及新技术,研发相对成熟的产业化技术,构建食用菌发酵菌种培养到产品的全工业化发酵生产技术,拓宽工业化生产规模。食用菌发酵食品具有特殊的风味,且产品多样化,可以满足不同消费者的需求,给予消费者充分的选择空间,市场潜力巨大,发展优势明显。因此,食用菌发酵食品的开发能够促进食用菌精深加工的发展,提高我国食用菌的产业价值。

参考文献

- [1] ASSEMIE A, ABAYA G. The effect of edible mushroom on health and their biochemistry[J]. International Journal of Microbiology, 2022, 2022: 8744788.
- [2] SHANG X L, PAN L C, TANG Y, et al. 1H NMR-based metabolomics of the hypoglycemic effect of polysaccharides from *Cordyceps militaris* on streptozotocin-induced diabetes in mice[J]. Natural Product Research, 2020, 34(10): 1366–1372.
- [3] SINGDEVSAACHAN S K, AUROSHREE P, MISHRA J, et al. Mushroom polysaccharides as potential prebiotics with their antitumor and immunomodulating properties: A review[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2016, 7: 1–14.
- [4] ZHANG Q, WU C E, SUN Y J, et al. Cytoprotective effect of *Morchella esculenta* protein hydrolysate and its derivative against H₂O₂-induced oxidative stress[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Science, 2019, 69(3): 255–265.
- [5] GAO X, QI J Y, HO C T, et al. Structural characterization and immunomodulatory activity of a water-soluble polysaccharide from *Ganoderma leucocontextum* fruiting bodies[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 249(2): 116874.
- [6] LI X M, XIE Y Z, PENG J J, et al. Ganoderiol F purified from *Ganoderma leucocontextum* retards cell cycle progression by inhibiting CDK4/CDK6[J]. Cell Cycle, 2019, 18(21): 3030–3043.
- [7] WANG K, BAO L, MA K, et al. A novel class of α -glucosidase and HMG-CoA reductase inhibitors from *Ganoderma leucocontextum* and the anti-diabetic properties of ganomycin I in KK-Ay mice[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2017, 127: 1035–1046.
- [8] NAIR R B, LENNARTSSON P R, TAHERZADEH M J. Mycelial pellet formation by edible ascomycete filamentous fungi, *Neurospora intermedia*[J]. AMB Express, 2016, 6(31): 1–10.
- [9] TANG Y J, LIU R S, LI H M. Current progress on truffle submerged fermentation: A promising alternative to its fruiting bodies[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2015, 99(5): 2041–2053.
- [10] CHANG H H, CHIEN P J, TONG M H, et al. Mushroom immunomodulatory proteins possess potential thermal/freezing resistance, acid/alkali tolerance and dehydration stability[J]. Food Chemistry, 2017, 105(2): 597–605.
- [11] 俞婷婷, 宋婷婷, 金群力, 等. 灵芝两种谷物固体发酵菌粉的营养价值和抗氧化活性测定[J]. 食药用菌, 2017, 25(6): 372–375.
- [12] YU S T, SONG T T, JIN Q L, et al. Determination of nutritional value and antioxidant activity of two kinds of solid-state fermentation fungal substance of *Ganoderma lucidum*[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2017, 25(6): 372–375.
- [13] 李艳芳, 张立伟, 王相刚, 等. 固体发酵法制作寒地黑土灵芝米技术研究[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(10): 50–52. [LI Y F, ZHANG L W, WANG X G, et al. Study on the technology of producing *Ganoderma lucidum* rice in cold region and black glebe by solid-state fermentation[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2018, 64(10): 50–52.]
- [14] 张昭, 钟荣华, 李夏伊, 等. 灵芝益生菌共发酵大米制品的研制[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(6): 66–106. [ZHANG Z, ZHONG R H, LI X Y, et al. The development of the rice product co-fermented by *Ganoderma lucidum* and probiotics[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2016, 52(6): 66–106.]

- [14] 刘方. 虫草素复合米的制备工艺及性质研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015. [LIU F. Preparation and properties of restructuring rice with cordycepin[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2015.]
- [15] LI W, LI C, GU Z, et al. Retrogradation behavior of corn starch treated with 1,4- α -glucan branching enzyme[J]. *Food Chemistry*, 2016, 203: 308–313.
- [16] 张雨, 张康逸, 张国治. 淀粉老化过程机理及淀粉抗老化剂应用的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(13): 316–321. [ZHANG Y, ZHANG K Y, ZHANG G Z. Research progress on starch retrogradation process mechanism and application of starch anti-retrogradation agent[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(13): 316–321.]
- [17] 牟婷婷, 李怡萱, 李丽, 等. 酸性蛋白酶提取白酒丢糟中淀粉条件优化研究[J]. *中国酿造*, 2019, 38(12): 31–35. [MOU T T, LI Y X, LI L, et al. Optimization of starch extraction conditions from Baijiu distiller's grain by acid protease[J]. *China Brewing*, 2019, 38(12): 31–35.]
- [18] 王显伦, 任顺成, 潘思轶, 等. 木聚糖酶对冷冻馒头老化特性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(5): 29–32. [WANG X L, REN S C, PAN S Y, et al. Effect of xylanase on aging characteristics of frozen steamed bread[J]. *Food Science*, 2015, 36(5): 29–32.]
- [19] 马誉畅. 灵芝菌胞内酶液对糙米老化及品质的影响[D]. 太原: 山西师范大学, 2021. [MA Y C. The effect of retrogradation and quality of brown rice by intracellular enzyme solution of *Ganoderma lucidum*[D]. Taiyuan: Shanxi Normal University, 2021.]
- [20] ULZIJARGAL E, YANG J H, LIN L Y, et al. Quality of bread supplemented with mushroom mycelia[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(1): 70–76.
- [21] 胡龙. 蛹虫草固体发酵优化及其在低GI产品开发中应用[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021. [HU L. Optimization of solid fermentation of *Cordyceps militaris* and its application in the development of low GI products[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2021.]
- [22] REN L, HEMAR Y, PERERA C O, et al. Antibacterial and antioxidant activities of aqueous extracts of eight edible mushrooms[J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 2014, 3(2): 41.
- [23] 罗青, 杨玉珍, 王国霞. 灵芝与猴头菇发酵液的抑菌性测定[J]. *现代牧业*, 2017, 3: 40–42. [LUO Q, YANG Y Z, WANG G X. Determination of antimicrobial activity of *Ganoderma lucidum* and *Hericium erinaceus*[J]. *Modern Animal Husbandry*, 2017, 3: 40–42.]
- [24] 窦会娟, 孙连海, 郭文涛. 食用菌发酵液对耐药菌的抑菌活性研究[J]. *中国酿造*, 2015, 34(7): 40–42. [DOU H J, SUN L H, GUO W T. Antibacterial activity of mushroom fermentation broth to drug-resistant bacteria[J]. *China Brewing*, 2015, 34(7): 40–42.]
- [25] 潘昌, 范秀芝, 姚芬, 等. 食用菌发酵液对热干面中蜡样芽孢杆菌的抑制作用[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(5): 170–177. [PAN C, FAN X Z, YAO F, et al. Inhibitory effect of edible fungal fermentation broth on bacillus cereus in hot dry noodles[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(5): 170–177.]
- [26] 刘宇峰. 灵芝(*Ganoderma lucidum*)漆酶发酵参数优化及其在改善馒头品质方面的研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2014. [LIU Y F. Improvement of laccase production from *Ganoderma lucidum* HSD06B and the application of improving the quality of chinese steamed bread[D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2014.]
- [27] 杨玉华. 灵芝发酵液改善馒头品质的机制及漆酶基因在毕赤酵母内的异源表达[D]. 新乡: 河南师范大学, 2015. [YANG Y H. Impact of the fermentation broth of *Ganoderma lucidum* on the quality of chinese steamed bread and the expression of laccase genes in *Pichia pastoris*[D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2015.]
- [28] 徐慧, 陈蕾蕾, 刘孝永, 等. 发酵型灵芝全麦粉曲奇的研制[J]. *齐鲁工业大学学报(自然科学版)*, 2016, 30(5): 29–34. [XU H, CHEN L L, LIU X Y, et al. Study on the technology of whole wheat flour with *Ganoderma lucidum* cookies[J]. *Journal of Qilu University of Technology*, 2016, 30(5): 29–34.]
- [29] HU Y R, XU W Z, HU S S, et al. In *Ganoderma lucidum*, Glsnfl regulates cellulose degradation by inhibiting GlcA during the utilization of cellulose[J]. *Environmental Microbiology*, 2020, 22(1): 107–121.
- [30] 申春莉. 灵芝菌丝体固态发酵转化豆渣的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019. [SHEN C L. Study on transformation of okara by solid fermentation using *Ganoderma lucidum* mycelium[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019.]
- [31] 韦玉芳, 王立升, 覃斐章. 灵芝型优良膳食纤维方便食品的研制[J]. *食品科学*, 2009, 30(2): 275–278. [WEI Y F, WANG L S, QIN F Z. The preparation of *Ganoderma lucidum*-fermented instant food with high-quality dietary fiber[J]. *Food Science*, 2009, 30(2): 275–278.]
- [32] 蔡静, 叶润, 贾凯, 等. 茶多酚的提取及抑菌活性研究综述[J]. *化学试剂*, 2020, 42(2): 105–114. [CAI J, YE R, JIA K, et al. Review on extraction and antibacterial activity of tea polyphenols[J]. *Chemical Reagents*, 2020, 42(2): 105–114.]
- [33] 连红茹. 灵芝发酵绿茶提高绿茶茶汤品质的研究[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2008. [LIAN H R. Study on *Ganoderma lucidum* fermenting liquid green tea to improve its quality[D]. Jinan: Shandong Polytechnic University, 2008.]
- [34] 高佳佳. 灵芝菌和红曲霉及红茶菌混合发酵红茶的工艺研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2013. [GAO J J. Study on the mixed fermentation technics of black tea by *Ganoderma lucidum*, *Monoascus* and kombucha[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2013.]
- [35] 唐玉琴, 徐济贵. 灵芝、银杏固体发酵茶的研制[J]. *中国食用菌*, 2012, 31(2): 47–49. [TANG Y Q, XU J Z. The preparation of solid-state fermentation tea of *Ganoderma lucidum* and *Ginkgo biloba*[J]. *Edible Fungi of China*, 2012, 31(2): 47–49.]
- [36] 金星. 蛹虫草在茶叶发酵中的应用研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2014. [JIN X. Study on the application of *Cordyceps militaris* in tea fermentation[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2014.]
- [37] 冯彦勇, 陈雪梅, 匡凤军, 等. 食药菌茯苓对藤茶的生物转化效应[J]. *湖南农业科学*, 2021(2): 82–86. [FENG Y Y, CHEN X M, KUANG F J, et al. Bioconversion effect of poria cocos on ampelopsis grossedentata tea-like product[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2021(2): 82–86.]
- [38] 董玉玮, 苗敬芝. 灵芝牛蒡茉莉花茶饮料的研制[J]. *徐州工程学院学报(自然科学版)*, 2019, 34(3): 77–81. [DONG Y W, MIAO J Z. The preparation of *Ganoderma lucidum*-*Arctium lappa*-jasmine tea beverage[J]. *Journal of Xuzhu Institute of Technology*

(Natural Science Edition), 2019, 34(3): 77-81.]

[39] 王凡, 葛蒙蒙, 高忠辉, 等. 灵芝、杏鲍菇混合发酵牛蒡白果茶饮料的研制[J]. 食品工业, 2019, 40(7): 58-62. [WANG F, GE M M, GAO Z H, et al. The preparation of tea beverage of *Arctium lappa* and *Ginkgo biloba* by mixing fermentation with *Ganoderma lucidum* and *Pleurotus eryngii*[J]. The Food Industry, 2019, 40(7): 58-62.]

[40] 王金亮, 孔联军, 智鲁, 等. 发酵型保健酒的研究[J]. 酿酒, 2013, 40(4): 39-42. [WANG J L, KONG L J, ZHI L, et al. Study on fermented health wine[J]. Liquor Making, 2013, 40(4): 39-42.]

[41] 张帅, 王娟, 程昊. 发酵型灵芝糯米酒的研制[J]. 食品工业, 2018, 39(12): 92-95. [ZHANG S, WANG J, CHENG H. Development of fermented glutinous rice wine with *Ganoderma lucidum* mycelia[J]. The Food Industry, 2018, 39(12): 92-95.]

[42] 石思文, 江洁, 崔琳, 等. 羊肚菌营养强化米酒发酵工艺的优化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 175-181. [SHI S W, GANG J, CUI L, et al. Optimization fermentation technology of *Morchella esculenta* fortified rice wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(23): 175-181.]

[43] 魏甲乾, 赵玉卉, 韩融冰, 等. 羊肚菌黄酒发酵工艺研究[C]//2018第三届全国羊肚菌大会资料汇编. 云南: 中国菌物协会, 2018: 173-177. [WEI J Q, ZHAO Y H, HAN R B, et al. Study on fermentation technology of *Morchella* rice wine[C]//Data collection of the third national Morchella conference in 2018. Yunan: Mycological Society of China, 2018: 173-177.]

[44] 钱静亚, 陈涵, 谢德中, 等. 灵芝白果酒的生理活性研究[J]. 食用菌学报, 2014, 21(2): 82-89. [QIAN J Y, CHEN H, XIE D Z, et al. Study on the physiological activity of *Ganoderma lucidum* ginkgo wine[J]. Acta Edulis Fungi, 2014, 21(2): 82-89.]

[45] 曾里, 赵志君, 褚少军, 等. 灵芝虫草保健酒的研发[J]. 酿酒科技, 2007(12): 88-90. [ZENG L, ZHAO Z J, CHU S J, et al. Development of *Ganoderma lucidum*-*Cordyceps* health wine[J]. Liquor-making Science & Technology, 2007(12): 88-90.]

[46] 黄书铭, 谷天平, 沈寿国, 等. 功能性灵芝乳饮料研究与营养分析[J]. 中国乳品工业, 2010, 38(5): 22-25. [HUANG S M, GU T P, SHEN S G, et al. Investigation of functional milk drink and nutritional analysis from *Ganoderma lucidum*[J]. China Dairy Industry, 2010, 38(5): 22-25.]

[47] 李海洲, 孙新涛, 孙自余, 等. 蛹虫草菌丝体深层发酵培养加工虫草酸奶研究[J]. 中国食用菌, 2014, 33(4): 55-56. [LI H Z, SUN X T, SUN Z Y, et al. Study on cordyceps yogurt processing of *Cordyceps militaris* mycelium by liquid fermentation[J]. Edible Fungi of China, 2014, 33(4): 55-56.]

[48] 梁宝东, 魏海香, 徐坤, 等. 香菇菌丝体酸奶生产工艺的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(2): 129-132. [LIANG B D, WEI H X, XU K, et al. Production technology of mushroom mycelium yogurt[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(2): 129-132.]

[49] 许艳玲. 杏鲍菇多糖对发酵乳品质的影响[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2021. [XU Y L. Effect of *Pleurotus eryngii* polysaccharide on the quality of fermented milk[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2021.]

[50] 李广富. 食用菌功能成分对益生型酸奶风味影响及协同抗衰老效果的探索[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016. [LI G F. The flavor influence and anti-aging synergistic effect of yogurt added edible fungi functional component[D]. Taian: Shandong Agricultural

University, 2016.]

[51] 李靖. 灵芝白灵菇酸奶的研制及发酵液组分对酸奶品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012. [LI J. Development of the *Ganoderma* and *Pleurotus nebrodensis* yoghurt and the effect of fermented broth composition on yoghurt quality[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.]

[52] 杨茜茜. 灵芝发酵雪梨汁制备新型雪梨饮料的工艺研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. [YANG Q Q. Study on the preparation technology for a new type of snow pear beverage from *Ganoderma lucidum*[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2022.]

[53] 李孝良. 灵芝转化肽饮料的研制及其功能的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. [LI X L. Research on the technology and function of peptide beverage fermented by *Ganoderma*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.]

[54] 董玉玮, 苗敬芝, 曹泽虹, 等. 金针菇、灵芝混菌发酵型饮料的制备及其活性物质的检测[J]. 食品科技, 2014, 39(8): 7-8. [DONG Y W, MIAO J Z, CAO Z H, et al. Drink preparation and active substances detection of mixed fermentation of *Ganoderma lucidum* and *Flammulina velutipes*[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(8): 7-8.]

[55] 张卫国, 刘欣, 陈永泉. 固态发酵灵芝多糖营养保健口服液的研制[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(9): 94-96. [ZHANG W G, LIU X, CHEN Y Q. Research of nutritious & healthy *Ganoderma* polysaccharide oral liquid by solid fermentation[J]. Food Research and Development, 2006, 27(9): 94-96.]

[56] 苗敬芝, 董玉玮, 张建萍. 灵芝、金针菇细胞微胶囊化发酵饮料的研制[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 55-59. [MIAO J Z, DONG Y W, ZHANG J P. Fermented beverage preparation of microencapsulated *Ganoderma lucidum* and *Flammulina velutipes*[J]. The Food Industry, 2017, 38(4): 55-59.]

[57] 车振明. 利用人工蛹虫草培养基酿制功能型酱油的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(3): 67-69. [CHE Z M. Study on brewing functional soy sauce with artificial *Cordyceps militaris* medium[J]. Food Science, 2003, 24(3): 67-69.]

[58] 江洁, 张茜. 美味牛肝菌液体培养及其在酱油生产中的应用[J]. 食品工业科技, 2009, 30(7): 223-228. [GANG J, ZHANG Q. Study on submerged culture of *Boletus edulis* and its application in the production processing of soy sauce[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(7): 223-228.]

[59] 李林波. 蛹虫草保健酱油的工艺研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2016. [LI L B. Study on the process of *Cordyceps* health soy sauce[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science & Technology, 2016.]

[60] 彭荣, 彭洪光. 灵芝酱油的生产工艺研究[J]. 西南师范大学学报, 2004, 29(6): 1073-1076. [PENG R, PENG H G. Study on the production technology of *Ganoderma lucidum* soy sauce[J]. Journal of Southwest China Normal University, 2004, 29(6): 1073-1076.]

[61] 彭凯. 添加蛹虫草固态发酵浸提固形物对醋曲品质的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(4): 111-113. [PENG K. Effect of solids extracted by solid-state fermentation of *Cordyceps militaris* on the quality of vinegar koji[J]. China Condiment, 2021, 46(4): 111-113.]

[62] 彭凯. 蛹虫草香醋生产工艺研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(11): 83-84. [PENG K. Study on production technology of

Cordyceps militaris aromatic vinegar[J]. China Condiment, 2017, 42(11): 83-84.]

[63] 萧晋川, 张勇, 李弘文, 等. 复合食用菌功能醋的研制[J]. 中国调味品, 2021, 46(2): 118-121. [XIAO J C, ZHANG Y, LI H W, et al. Preparation of compound edible fungi functional vinegar [J]. China Condiment, 2021, 46(2): 118-121.]

[64] ZU L S, MING E G. Optimization on process parameters of brewing *Ganoderma lucidum* functional drinking vinegar[J]. Advanced Materials Research, 2012, 554: 953-956.

[65] 董存魁. 香菇调味汁酿造技术[J]. 科学种养, 2010(6): 56. [DONG C K. Brewing technology of mushroom sauce[J]. Kexue Zhongyang, 2010(6): 56.]

[66] 王秀云. 羊菌腐乳的酿造研究[J]. 中国酿造, 1999(4): 30. [WANG X Y. Study on the brewing of *Morchella* spp sufu[J]. China Brewing, 1999(4): 30.]

[67] 李一丰, 刘丹, 尹显峰. 响应面优化牛肝菌菌丝体复合调味料生产工艺[J]. 食品工业, 2016, 37(1): 167-170. [LI Y F, LIU D, YIN X F. Optimization of production process of compound seasoning from *Boletus edulis* mycelium[J]. The Food Industry, 2016, 37(1): 167-170.]

[68] 付天宇, 丁健峰, 谢高鹏, 等. 羊肚菌调味料的制备工艺研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(7): 55-57. [FU T Y, DING J F, XIE G P, et al. Study on preparation technology of morchella seasoning[J]. China Condiment, 2012, 37(7): 55-57.]

[69] 赵航, 单程程, 刘超. 液体发酵产羊肚菌食用菌酱的制作工艺研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(5): 81-85. [ZHAO H, DAN C C, LIU C. Production process of *Morchella esculenta* edible fungi sauce by liquid fermentation[J]. China Condiment, 2016, 41(5): 81-85.]