

食用菌在肉制品中的应用研究进展

李春兰, 邹玉峰, 张玉洁, 刘登勇*

(渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013)

摘要: 健康肉制品更符合当前人们的消费观念。食用菌在功能性多糖、蛋白质和生物活性化合物方面的优势, 使其成为改善肉制品营养状况的理想选择。本文综述近几年食用菌作为动物脂肪、动物蛋白质和盐类(食盐、磷酸盐和亚硝酸盐)替代物、风味添加剂和天然抗氧化剂在肉制品中的应用进展, 并展望食用菌在肉制品中应用的发展方向, 为健康和“清洁标签”等新型肉制品的研发提供支持。

关键词: 肉制品; 食用菌; 脂肪替代物; 抗氧化剂; 应用

Progress in Application of Edible Mushrooms in Meat Products

LI Chunlan, ZOU Yufeng, ZHANG Yujie, LIU Dengyong*

(National and Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, College of Food and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: Healthy meat products are more in line with the current consumption concepts. The advantages of edible mushrooms in terms of functional polysaccharides, proteins and bioactive compounds make them an ideal choice for improving the nutritional status of meat products. This paper reviews recent advances in the application of edible mushrooms as animal fat, protein and salt (chloride sodium, phosphate and nitrite) substitutes, flavor additives and natural antioxidants in meat products, and presents an outlook on the future directions in this field. It is expected that this review will support the development of new meat products such as healthy and “clean label” products.

Keywords: meat products; edible mushrooms; fat substitutes; antioxidants; applications

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220526-064

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2022) 08-0049-08

引文格式:

李春兰, 邹玉峰, 张玉洁, 等. 食用菌在肉制品中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(8): 49-56. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220526-064. <http://www.rlyj.net.cn>

LI Chunlan, ZOU Yufeng, ZHANG Yujie, et al. Progress in application of edible mushrooms in meat products[J]. Meat Research, 2022, 36(8): 49-56. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20220526-064. <http://www.rlyj.net.cn>

肉和肉制品是蛋白质、维生素、脂肪酸、矿物质和一些生物活性化合物等营养物质的重要来源, 在人们的日常饮食中发挥着重要作用^[1]。然而, 一些种类的肉制品中含有较多的饱和脂肪酸、胆固醇、钠盐、磷酸盐及亚硝酸盐等成分, 过多摄入这些成分可能引发肥胖、心血管疾病、癌症等一系列疾病^[2]。因此, 减少这些不利成分的使用, 增加不饱和脂肪酸和天然抗氧化剂等健康成分, 研发具有功能特性、更营养健康的肉制品成为近年来的研究热点^[3]。

目前, 食品行业正在重新设计现有产品或开发更健康、可持续的新产品, 并转向关注植物成分的应用^[4]。通过加入蔬菜、豆类、谷类、块茎、食用种子、藻类或昆虫等作为脂肪、蛋白质、盐等替代物来改善食品营养和功能特性的相关研究越来越多^[5]。食用菌因其营养价值高, 生物活性化合物种类多, 具有抗氧化作用和保健功能, 且风味和口感俱佳, 能为肉制品提供外源活性物质, 改善肉制品的营养价值和功能特性, 因此备受关注^[2-3]。

收稿日期: 2022-05-26

第一作者简介: 李春兰(1995—)(ORCID: 0000-0002-0015-630X), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品加工与质量安全控制。

E-mail: 13414858022@163.com

*通信作者简介: 刘登勇(1979—)(ORCID: 0000-0003-4588-9985), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量安全控制、食品风味与感知科学。E-mail: jz_dyliu@126.com

近年来,食用菌广泛地应用于肉制品加工行业,包括作为肉制品中动物脂肪、蛋白质、盐类物质3种组分和风味添加剂、抗氧化剂的替代品。因此,本文对食用菌的营养价值和保健功能进行简要介绍,综述食用菌近年来在肉制品中的应用进展,为健康、营养肉制品的深入研究提供一定的参考。

1 食用菌的功能

食用菌是一类可食用的大型真菌,具有高膳食纤维、高蛋白、低脂肪、低热量、多活性物质的特点,因此,很多营养学家认为“一荤一素一菇”可以作为更好的膳食结构推广^[6-7]。近年来,随着对食用菌膳食纤维健康作用的认识及对其分子特性研究的不断深入,不少研究者更加关注膳食纤维的组成、功能特性与应用前景的关系。

食用菌是新型膳食纤维的来源,富含碳水化合物,其总含量为干物质的35%~70%^[8],包括可消化碳水化合物,如海藻糖、糖原、甘露醇和葡萄糖以及不易消化的碳水化合物,如 β -葡聚糖、甲壳素和甘露聚糖^[9]。研究表明, β -葡聚糖是由通过 α 和 β 型糖苷键连接的葡萄糖单元构成的聚合物,是食用菌的主要多糖,含量为0.21~0.53 g/100 g(干基),存在于真菌细胞壁中,它主要由54%~82%不可溶和16%~46%可溶 β -葡聚糖组成^[10],具有免疫调节、抗菌、抗氧化、抗病毒、抗真菌、抗肿瘤、降胆固醇和调节血糖的作用,成为新的益生元来源^[11-12]。例如,Murphy等^[13]最近的研究表明,香菇中的 β -葡聚糖具有抗病毒活性,能通过增强免疫系统耐受性发挥对新型冠状病毒肺炎的预防作用。此外,也有研究表明 β -葡聚糖具有凝胶和增稠特性,在食品中具有一定应用潜力^[14-15]。Khan等^[14]从不同食用菌(双孢菇、平菇和鸡腿菇)中提取的 β -葡聚糖具有一定的膨胀力(3.45~4.49 g水/g样品)、脂肪结合力(5.34~6.65 g油/g样品)、乳化能力(约65%油/1% β -葡聚糖)和热稳定性(80℃加热后约95%的乳液保持稳定),表现出剪切稀化行为,可以作为一种有效的功能成分应用到食品或药品行业加工中。Abreu等^[15]从滑菇中提取的 β -D-葡聚糖也表现出剪切变稀行为,当溶液浓度增加时,表观黏度增加,在模拟巴氏杀菌过程中表现出凝胶行为和热稳定性。

蛋白质是食用菌的第二大组分,其含量一般占干物质的19%~35%^[16-17],含有9种人体必需氨基酸,尤其富含大多数谷物食品所缺乏的赖氨酸和亮氨酸,能满足人类对蛋白质的需求^[17]。此外,食用菌不含胆固醇,脂质含量低,通常占干物质的0.1%~16.3%,主要成分是亚油酸、油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸,其中,亚油酸是必

需脂肪酸,不能在人体内直接合成^[18]。食用菌也是维生素的良好来源,含有B族维生素、硫胺、泛酸、烟酰胺、叶酸以及少量VK、VE和VC等^[19]。此外,经紫外线辐射的食用菌是麦角钙化醇的重要来源^[20]。VD是一种已知的激素原,通常以麦角钙化醇和胆钙化醇2种常见形式存在,其主要与骨矿化、免疫调节和钙磷稳态等重要的生理功能相关^[21]。此外,食用菌还含有较多能在不同代谢途径的正常运作中发挥重要作用的矿物质,如钙、钾、镁、钠、磷、铜、铁、锰和硒等^[19]。因此,食用菌的营养价值丰富,可以为人体提供所需的蛋白质、必需氨基酸、膳食纤维、维生素和矿物质等营养成分,是人类饮食中必不可少的一部分。

食用菌不仅具有良好的营养价值,还有较好的保健功能。从20世纪60年代开始,科学家们开始挖掘食用菌的健康益处潜力,并发现多种独特的生物活性化合物,包括酚类化合物、萜类化合物、真菌凝集素、多糖(主要是 β -葡聚糖)等^[22]。科学证据证实,食用菌衍生的化合物或真菌化学物质可用于维持身体健康并调节身体的多种功能^[23]。例如,食用菌中的酚类化合物包括类黄酮、羟基苯甲酸、羟基肉桂酸、木脂素、酚酸、单宁和氧化多酚,可作为自由基抑制剂、金属钝化剂、过氧化物分解剂或氧气清除剂,具有抗癌、抗菌和抗炎作用,可预防多种退行性疾病,包括脑功能障碍、心血管疾病和衰老^[8,23]。白柄肉齿菌中的多酚衍生物能通过降低糖化血红蛋白、胰岛素和血糖水平来改善葡萄糖和脂质代谢,也能通过降低肝脏中总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇水平,提高血浆超氧化物歧化酶水平,从而减少炎症和脂肪肝,改变肠道微生物群^[24]。此外,从香菇废弃物中提取的香草酸和丁香酸(含量分别为0.31、0.45 mg/g干样)具有治疗骨质疏松的潜在益处,主要作用机制是香草酸和丁香酸降低抗RAW264.7细胞中核因子 κ B受体活化因子配体诱导的破骨细胞中酒石酸酸性磷酸酶(tartrate-resistant acid phosphatase, TRAP)活性和TRAP阳性多核细胞的数量,抑制RAW264.7前破骨细胞分化成破骨细胞,从而具有预防骨质疏松的潜力^[25]。

2 食用菌在肉制品中的应用进展

2.1 食用菌作为脂肪替代物

动物脂肪是甘油与脂肪酸发生酯化反应形成的三酰甘油酯,对食品的口感、多汁性和保水性等起到重要作用,然而过度摄入脂肪严重影响人体健康。中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)提到,居民膳食脂肪供给能比持续上升,不健康生活方式仍然普遍存在,且居民超重肥胖问题不断凸显等。因此,低脂肉制品的开发日益受到关注和重视,开发健康、营养的动物脂肪替代物

成为当前的研究热点。目前,常用的脂肪替代物有脂类替代物、蛋白质类替代物和碳水化合物类替代物。食用菌脂肪含量低,含有优质多不饱和脂肪酸及高含量膳食纤维,具有优异的吸附水和结合水的能力,可以改善肉制品的多汁性和口感,最大限度减少脂肪对肉制品的影响,是替代脂肪的潜在选择^[18]。

近年来,越来越多的食用菌应用到低脂肉制品生产中,以实现在减脂的基础上不影响产品口感和品质的目的。Cerón-Guevara等^[26]研究双孢菇粉和平菇粉分别替代30%或50%脂肪后对法兰克福香肠冷藏期间品质特性的影响。结果表明,制备的2种香肠脂肪含量降低,水分和膳食纤维含量增加,蛋白质含量和氨基酸谱无变化,感官评分均增加。其中,水分含量的增加归因于食用菌粉的添加,食用菌粉富含膳食纤维,尤其是 β -葡聚糖,具有保留脂肪和水分的能力,起到改善肉制品质地和保水的作用。此外,该研究还指出,双孢菇粉由于颜色过深而导致香肠颜色过暗,而平菇粉的添加导致香肠质地软化。由此说明,食用菌粉本身的颜色属性、膳食纤维和蛋白质含量对产品的颜色、保水性和质地产生一定的影响。Patinho等^[27-28]添加双孢菇浆到减脂牛肉汉堡中,发现双孢菇的高含水量和保水性能增加牛肉汉堡的水分含量,提高多汁性,不影响弹性和色泽但降低硬度。这主要是由于非肉成分食用菌的添加降低了肉类蛋白质含量,从而降低了产品硬度,但食用菌能在蛋白质基质中保留更多的水,在感官上改善“脂肪”的感觉,增加“多汁”的体验,从而能够降低脂肪减少带来的负面影响。除此之外,通过对食用菌的不同处理,可以更好地实现减脂效果。Wang Liyan等^[29]以杏鲍菇为原料,从理化特性、工艺和感官等方面研究4种处理方式(未加热、水煮、油炸、油炒)对杏鲍菇猪肉香肠中全部背膘的替代效果。结果表明,经过不同预处理的食用菌对低脂肉制品的营养成分和品质特性有不同的影响。与对照组相比,制备的4种杏鲍菇猪肉香肠能量和脂肪含量显著降低,蛋白质、水分、总膳食纤维含量、蒸煮损失和持水力提高,然而油炸和油炒的杏鲍菇猪肉香肠风味更佳,质地和整体可接受性得分更高。以上研究表明,将食用菌作为脂肪替代物是不错的选择,既能保持产品的感官和理化特性,还能达到减脂、提高产品得率、改善营养成分、增加风味等作用,但是未来还需要考虑食用菌自身的颜色、脂肪替代量及食用菌预处理方式对肉制品产生的影响。

2.2 食用菌作为蛋白质替代物

食用菌含有高比例易消化的蛋白质和膳食纤维、呈现出肉类的质地,成为肉类蛋白质的潜在替代物。近几年,已有不少研究将食用菌部分替代肉制品中的肉类蛋白质。Yahya等^[30]研究不同配比的鸡肉与新鲜平菇对鸡肉香肠的影响,发现添加新鲜平菇的鸡肉香肠可接受

度最高,水分和膳食纤维含量增加,硬度降低而弹性增加,表明平菇是一种潜在的鸡肉替代品,适用于生产肉类蛋白含量低、更健康营养的肉制品。该研究认为平菇中的膳食纤维可以提高肉制品的保水性,保留肉基质释放的水。此外,由于平菇中含有较多 β -葡聚糖和水分,当平菇在搅拌机中研磨时,多糖和水会相互作用形成黏稠的糊状物,而糊状物中水分和多糖的相互作用会影响蛋白质的作用,从而影响凝胶的胶凝特性^[31],有利于凝胶的弹性而不利于凝胶的硬度。Al-Dalain^[32]研究双孢菇替代肉在牛肉香肠加工中的应用,发现双孢菇最佳替代量为30%,此时,牛肉香肠的总必需氨基酸含量增加1.11倍,抗氧化效果较好,感官评分较高。Myrdal^[33]、Wong^[34]等的研究也表明,双孢菇可以作为潜在的肉类替代品,添加量可高达80%,且不影响产品的理化特性,同时产品的感官特性更佳。Wang Liyan等^[35]研究香菇替代猪肉对香肠加工特性的影响,结果表明,香菇蛋白因其在加热过程中干扰肉蛋白质网络的形成并破坏其连续性,从而降低香肠的硬度,但香菇的添加提高了香肠的水分、总膳食纤维、总酚含量及1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除率,降低了蛋白质及能量水平,有效增加香肠的营养价值。

近年来,随着人造肉、植物肉潮流的到来,食用菌在肉类类似物方面的应用也得到了进一步发展。真菌蛋白是低脂肪、高蛋白和高纤维(包括近2/3的 β -葡聚糖和1/3的几丁质聚-N-乙酰氨基葡萄糖)化合物,由于其紧密堆积的层状结构能产生更多的纤维和弹性的食用品质,因此可作为安全的肉类替代品^[36]。目前,有研究^[37]报道,通过深层发酵培养的双孢菇菌丝体具有肉状纤维结构,可用于生产美味、健康、营养的人造肉食品。除此之外,还有很多新的加工技术也可以用于食用菌肉类类似物的生产。Yuan Xinyue等^[38]以食用菌(香菇、平菇、鸡腿菇)和大豆蛋白为原料,采用热挤压法制备出3种与真牛肉结构接近的蘑菇基植物肉,然后再以制备的植物肉作为原料通过不同配方成功制备出3种植物肉香肠,其中以鸡腿菇和大豆蛋白为原料制备的植物肉香肠质地与肉香肠最相似。此外,进一步研究鸡腿菇和大豆蛋白的纤维状挤出物作为肉类替代物对发酵香肠理化、质地特性、味道和风味的改善作用,结果表明,肉类替代物具有接近真实肉制品的理化和质地特性,而其制备的发酵香肠具有接近传统发酵香肠的味道,同时增加了鸡腿菇独特的香气特征^[39]。以上研究表明,食用菌及真菌蛋白是潜在的肉类蛋白质替代品,可以提高产品的营养价值,有助于生产动物蛋白含量低、营养价值高的健康肉制品,然而,消费者的接受度是一个必须考虑的重要问题。

2.3 食用菌作为食盐、磷酸盐和亚硝酸盐的替代物

食盐、磷酸盐、亚硝酸盐在肉制品中不仅可以调味、

防腐,还可以促进肌原纤维蛋白水解,提高产品保水保油性,改善产品质地,提高产品稳定性^[40],但过量摄入盐类物质会引起高血压、心脏病或肾脏疾病,对人体健康产生不利影响^[41]。食用菌因其能为肉制品提供咸味,增加pH值,改善保水性等,成为潜在的盐替代物^[42]。最近,已有研究者成功利用食用菌替代肉制品中的钠盐、磷酸盐及亚硝酸盐,从而达到减少肉制品盐用量的效果^[33,41,43]。

食盐在食品加工中起着重要作用,能提供咸味、促进盐溶性蛋白溶解等。食用菌含有独特的鲜味增强化合物(谷氨酸等游离氨基酸、5'-核苷酸、L-谷氨酰寡肽、三肽等),能提供一定的咸味和鲜味,从而改善肉制品的味道。Myrdal等^[33]将双孢菇替代部分氯化钠和肉类蛋白质添加至牛肉玉米饼中,能显著降低食盐含量,且不影响产品整体味道。作者推测主要是双孢菇中的鲜味物质能协同作用于肉的味道,提供一种平衡的咸味和浓郁的味道,从而在不损失整体味道强度的情况下实现肉制品的减盐。Wong等^[44]发现,在制备牛肉饼时用双孢菇替代26.7%的氯化钠,降低了牛肉饼的氯化钠含量,但不影响其咸味。在最近的一项研究中,França等^[45]从香菇副产物中提取了鲜味成分(主要是L-谷氨酸),并将其作为增味剂用于生产低盐牛肉汉堡,结果表明,汉堡的食盐含量降低34.74%~52.50%,质地无明显变化。

磷酸盐,特别是碱性磷酸盐,如焦磷酸钠和三聚磷酸钠,可通过提高加工肉类的pH值来增加保水性、改善质地,抑制脂质氧化,从而改善产品的质量。食用菌含有膳食纤维、具有抗氧化作用和提高pH值的作用,表现出类似磷酸盐的功能,是潜在的磷酸盐替代品^[46]。如Jo等^[41]将金针菇粉替代磷酸盐并成功应用到低盐鸡肉肠的生产中,结果表明,由于金针菇中膳食纤维结合水、油的能力,鸡肉肠的脂肪和水分流失显著减少;此外,多酚物质通过发挥抗氧化作用抑制了鸡肉肠的脂质氧化,对香肠的颜色和感官性能没有负面影响。Choe等^[47]的研究表明,添加1.0%金针菇粉的乳化型香肠pH值与丙二醛含量相较于添加0.3%磷酸盐的香肠略高,并认为金针菇粉可以替代肉制品中的磷酸盐。Jeong等^[46]报道,使用1%冷冻干燥金针菇粉替代0.3%焦磷酸钠,牛肉饼的烹饪损失减少,可能是由于膳食纤维的作用,而1%烘箱干燥的金针菇粉显著改善牛肉饼的脂质氧化作用,此外,2种金针菇粉对牛肉饼的质地无显著影响。

亚硝酸盐在肉制品加工中的主要功能是发色和防腐。食用菌结合恰当的加工技术也能起到类似亚硝酸盐的功效。如Jo等^[43]发现,等离子体处理的金针菇粉能合成亚硝酸盐,将处理后的金针菇粉替代火腿肠中亚硝酸盐,结果表明,金针菇粉香肠在加速氧化条件下贮藏30 d,其亚硝基血红素含量和颜色接近含有磷酸盐和亚

硝酸盐的香肠,硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)值无显著差异,证实金针菇粉能有效替代火腿肠中的亚硝酸盐。但目前用食用菌替代亚硝酸盐的研究较少,未来可以探索不同食用菌及其结合不同的加工方式替代肉制品中食盐、磷酸盐和亚硝酸盐的效果和潜力,这在未来开发低盐健康食品中具有广阔的应用前景。

2.4 食用菌作为风味添加剂

各种成分和添加剂被广泛应用于改善肉制品的风味特性。随着生活水平和健康意识的提高,消费者越来越注重产品的风味、食品安全和天然添加剂的使用^[48]。食用菌因其独特的味道和香气,在食品工业中可用作调物质。如1-辛烯-3醇是食用菌典型的八碳芳香化合物之一,具有蘑菇味、霉味或泥土味,同时还带有甜味,已被纳入美国食品和药品管理局的食品添加剂数据库^[41]。目前,食用菌作为风味添加剂改善肉制品的风味特性已逐渐受到研究者的关注和重视。

刘子轩等^[49]以食用菌(香菇、杏鲍菇、平菇、双孢菇)为原料,通过热反应制备肉味美拉德反应产物,结果表明,食用菌是制备肉味基料前体物的理想原料,可通过分解蛋白质产生大量游离氨基酸和多肽。食用菌自身除了能提供肉类风味,还能促进肉制品风味物质的形成。如Qing Zhenglong等^[48]比较4种食用菌(草菇、蟹味菇、平菇、双孢菇)对牛肉糜品质的影响,并探讨其丰富牛肉糜风味的潜在机制。研究发现,食用菌的添加促进了脂质和蛋白质的适度氧化,增加了牛肉糜谷氨酸、精氨酸等风味氨基酸的含量,引入3-辛酮、1-辛烯-3-酮、3-辛醇等典型食用菌风味化合物,提供食用菌特征风味并促进风味物质的形成。Wang Xuping等^[50]研究草菇粉对广式香肠理化特性、营养和感官特性的影响,结果表明,草菇粉的添加可改善香肠的物理性能,增加氨基酸、脂肪酸和挥发性化合物的含量,增强风味特性,其中,苯丙氨酸可能构成了挥发性化合物的潜在来源,其通过酶作用或微生物作用进行生物转化,生成苯甲醛。作者推测香肠理化特性及风味特性的改变可能与香肠加工过程中草菇内源酶与肉蛋白的相互作用有关。为进一步探究草菇内源酶对广式香肠味道和风味形成的影响,Wang Xuping等^[51]研究不同添加量的草菇内源酶对广式香肠理化和风味特性的影响,结果表明,草菇内源酶通过促进香肠适度的蛋白质水解和脂质水解来改善香肠的口感、味道和风味特性,其中添加200 mL草菇内源酶(0.83 g/mL)香肠的鲜味、甜味、苦味和必需氨基酸含量均显著增加,醇类含量显著降低,而酯类含量显著增加,形成香肠的特征香气,不仅能掩盖产品的腐臭味,还为产品提供花香和果香味。以上结果表明,食用菌可作为一种天然风味添加剂,能丰富肉制品中风味物质的



种类及促进风味物质的形成,有助于开发风味更佳肉制品,但其具体作用机理尚不清楚。

2.5 食用菌作为抗氧化剂

肉及肉制品在食用前的处理、加工、贮藏及烹饪准备过程中均易发生氧化反应^[52]。脂质氧化和蛋白质氧化直接影响肉类及肉制品的风味、色泽、质地等品质特性,降低营养价值和安全性^[53]。因此,为了控制脂质氧化和食品变质,人们对含有天然抗氧化剂产品的兴趣日益俱增。食用菌含有多酚类物质、黄酮类化合物、膳食纤维、抗坏血酸、胡萝卜素、多糖、麦角硫因、萜类等多种天然抗氧化成分,具有抗氧化、清除自由基的作用,可用作食品抗氧化剂和补充剂,以降低食物氧化的风险^[54]。

近年来,不少学者研究食用菌及其提取物的添加对肉制品的抗氧化作用,并认为食用菌及其提取物具有抗

氧化活性,在一定程度上能抑制蛋白质和脂质氧化。例如,Pahila等^[55]的研究发现,富含麦角硫因的姬菇粗提物能中和亲水性和亲油性的活性自由基,从而控制虾青素脂质的氧化并延缓其氧化进程。Özünü等^[56]将平菇粉加入意大利腊肠中,评价其对贮藏过程中腊肠脂质和蛋白质氧化的影响。结果表明,平菇粉能有效延缓腊肠贮藏期间的脂质氧化和蛋白质氧化。Pil-Nam等^[57]研究香菇粉对贮藏期法兰克福香肠的影响,结果表明,香菇粉能显著抑制贮藏期香肠TBARs值的生长和需氧霉菌的生长,且不改变贮藏期间香肠的色泽和质地,提高香肠的氧化稳定性。然而,在最近的研究中,食用菌的抗氧化作用没有得到证实,相反,有研究表明食用菌能促进产品氧化。如Cerón-Guevara等^[26]研究双孢菇和平菇对法兰克福香肠贮藏期氧化稳定性的影响,结果表明,双孢菇和平

表1 近年食用菌在肉制品中的应用进展
Table 1 Application of edible fungi in meat products in recent years

食用菌种类	功能及比例	产品种类	主要结果	参考文献
双孢菇、平菇粉(2%和5%)	替代50%盐、脂肪(30%、50%)	法兰克福香肠	水分含量、膳食纤维含量增加;氨基酸含量、抗氧化作用无变化;烹饪损失、双孢菇颜色、平菇粉质地下降	[26]
双孢菇	替代脂肪(15%、30%)	牛肉汉堡	水分含量增加,多汁性改善;弹性、质地、外观无变化;硬度降低	[27]
双孢菇	替代脂肪(5%、10%、15%)	牛肉汉堡	水分含量、产量、氧化稳定性、感官评价提高;蒸煮损失、直径、硬度、咀嚼性降低	[28]
杏鲍菇	替代全部脂肪	香肠	蛋白质、水分、膳食纤维含量、蒸煮损失、持水性、必需氨基酸含量增加;脂肪含量、能量、亚硝酸盐残留量降低	[29]
玉米耳、银耳切片及粉	替代脂肪(25%、50%、100%)	香肠	蛋白质含量、持水性和弹性增加;脂肪含量、硬度和内聚性降低	[58]
平菇丁	替代鸡肉(25%、50%)	鸡肉饼	不溶性膳食纤维和总膳食纤维含量、弹性增加;水分、蒸煮得率、硬度值(a^*)无变化;硬度、咀嚼性、黄度值(b^*)、亮度值(L^*)降低	[59]
平菇	替代牛肉(25%、50%)	牛肉糜	总膳食纤维含量增加;感官评价无变化;蒸煮得率、蛋白质、脂肪含量降低	[60]
平菇粉	替代鸡肉(2%、4%、6%)	法兰克福香肠	总膳食纤维、 β -葡聚糖含量增加;黏附性、内聚性无变化;脂肪、蛋白质含量降低	[61]
新鲜平菇	替代鸡肉(15%、30%、45%、60%)	香肠	水分、纤维含量、感官评价提高;质构特性、 b^* 、灰分、脂肪、蛋白质含量降低;碳水化合物含量无变化	[20]
新鲜双孢菇	替代牛肉(15%、30%、45%)	牛肉香肠	感官评价、必需氨基酸含量、抗氧化效果增加;脂肪含量降低	[32]
双孢菇	替代牛肉(50%、80%)	牛肉玉米卷	提高产品整体风味以及蘑菇味、蔬菜、洋葱、大蒜味等,弥补肉减少导致的鲜味减弱	[33]
双孢菇	替代牛肉(10%、20%、30%、40%、50%)	牛肉饼	钠含量、蒸煮得率、机械应力降低	[34]
香菇	替代猪肉(25%、50%、75%、100%)	猪肉香肠	水分、膳食纤维、蛋氨酸、谷氨酸、半胱氨酸、25%香菇香肠总体可接受性增加;脂肪含量、水分活度、微生物数量无变化;蛋白质含量、灰分含量、pH值、能量、硬度降低	[35]
双孢菇	替代牛肉(10%、20%、30%、40%、50%);减盐26.7%	牛肉糜	水分含量、 b^* 增加;蒸煮得率、硬度、钠含量降低; L^* 和 a^* 无变化;含蘑菇低钠牛肉饼与全肉牛肉饼的感官评价相当	[44]
银耳	替代猪肉糜(10%、20%、30%)	猪肉肉饼	水分含量、保油性、蒸煮得率、感官评价、 b^* 、 L^* 增加	[62]
金针菇粉	替代焦磷酸钠(0.5%、1.0%)	鸡肉香肠	pH值、抗脂质氧化能力增加;色泽、感官评价无变化;硬度、汁液流失、脂肪损失降低	[41]
金针菇粉	替代磷酸盐(0.5%、1.0%、1.5%和2.0%)	乳化型香肠	添加1.0%以上金针菇粉香肠的pH值增加;色泽、感官评价无变化;质构特性、汁液流失、脂质氧化、2.0%金针菇粉香肠感官特性降低	[47]
1%冻干(FDP)、烘干(ODP)金针菇粉	替代0.3%磷酸盐	牛肉饼	FDP牛肉饼蒸煮损失降低、抗脂质氧化能力无变化、质地改善;ODP牛肉饼蒸煮损失无变化、抗脂质氧化能力增强、质地改善	[46]
低温等离子体处理金针菇粉	替代100%硝酸钠盐	火腿	金针菇粉经低温等离子体处理后生成亚硝酸盐;与含有磷酸盐和亚硝酸盐火腿相比,金针菇粉火腿的 a^* 、TBARs值无变化,汁液流失和脂肪流失增加	[43]
草菇、蟹味菇、双孢菇、平菇	添加量5%	牛肉糜	蛋白质和脂质适度氧化、氨基酸和挥发性物质含量增加;蟹味菇、双孢菇硬度增加;草菇、平菇牛肉饼硬度降低	[48]
茶树菇、香菇、杏鲍菇、蟹味菇	添加量40%	冷吃牛肉	氨基酸态氮含量、pH值、感官评价、风味化合物种类增加;总酸含量降低	[63]
草菇	添加量1%、2%、3%、4%	广式香肠	抑制脂质氧化、感官评价、氨基酸、挥发性化合物种类及含量增加;硬度、弹性、 L^* 、 a^* 降低	[50]
平菇粉	添加量1%、3%、5%	牛肉香肠	抑制脂质氧化、蛋白质氧化增加;色泽、风味、整体可接受性无变化;质地、脂肪、蛋白质含量降低	[56]
香菇粉	添加量0.4%、0.8%、1.2%	法兰克福香肠	感官评价提高;抑制脂质氧化、需氧菌生长;色泽、质地、水分含量、蛋白质含量无变化	[57]
双孢菇粉	添加量1%、2%、4%	盐腌牛肉	双孢菇粉对牛肉脂质氧化的抑制作用与其添加量无关;丙二醛、挥发性醛、1%双孢菇粉牛肉的硫醇、色氨酸含量降低;2%双孢菇粉牛肉的过氧化产物增加	[64]
金针菇粉、新鲜金针菇	添加2.5%新鲜金针菇、2.5%和5.0%金针菇粉	广式香肠	总游离氨基酸含量、抑制脂质、蛋白质氧化能力增加;硬度、咀嚼性、脂肪含量降低; b^* 、水分含量、灰分含量无变化	[65]
金针菇茎粉	替代山羊肉2%、4%、6%	山羊肉饼	抗氧化性、贮藏期抑制脂质氧化能力、乳化稳定性、总酚含量、总膳食纤维含量增加;硬度、咀嚼性降低;脂肪含量、蛋白质含量、水分含量、 b^* 、可接受性无变化	[66]
香菇、松露、松茸	添加量0.80%	鸭肉乳化肠	抑制脂质氧化、不饱和脂肪酸、游离氨基酸含量、滋味和风味增加;硬度、咀嚼性、色泽和质地得分降低	[67]

菇在贮藏期间有较高的TBARS值。这可能是由于干燥过程中的干燥条件促进食用菌发生褐变反应和生成蛋白质降解产物,而这些物质与硫代巴比妥酸反应形成有颜色的复合物。此外, Qing Zhenglong等^[48]在研究草菇、蟹味菇、平菇、双孢菇粉对牛肉糜理化性质的影响时发现,食用菌均能促进牛肉糜自身发生适度氧化,其氧化过程的产生可能主要与食用菌活性酶的两方面作用相关: 1) 食用菌的内源酶,如蛋白酶、丝氨酸蛋白酶可以水解肉蛋白质,促进肽链的释放,从而使蛋白质更易氧化; 2) 食用菌的氧化酶诱导蛋白质发生氧化,并诱导蛋白质交联结构的形成。由此可见,食用菌在肉制品中的抗氧化作用尚未得到一致的结论。未来需深入研究食用菌及其提取物对肉制品抗氧化作用的影响规律和内在机制,这对肉制品品质、功能及人类健康具有积极意义。

近年食用菌在肉制品中的应用进展归纳见表1。

3 结 语

食用菌是营养素和生物活性成分的重要来源,其营养价值高,风味独特,具有多种保健功能,已经引起食品加工领域的重视。食用菌可以作为动物脂肪、蛋白质和盐类替代物及风味添加剂,以改善肉制品的营养成分和价值、加工特性及健康特性,符合人们对绿色健康、功能食品行业的要求。然而,食用菌在肉制品中的抗氧化作用仍有争议,且其在肉制品中的作用机理研究也不够深入。

目前,关于食用菌在肉制品应用中的相关报道还相对缺乏,不能满足目前食品加工应用的需求。因此,为了更好地开发新型、健康食用菌肉制品,对其进行以下几点展望: 1) 进一步研究不同食用菌种类、不同添加比例、不同食用菌组分(膳食纤维、多糖、蛋白质等)等对肉制品理化特性和营养特性的影响; 2) 进一步研究食用菌及其组分对肉制品品质特性影响的潜在机理,建立完善的食用菌肉制品品质变化的数据库; 3) 未来需要更多深入的研究确定食用菌对肉制品的抗氧化作用及潜在机理; 4) 缺乏食用菌在肉制品中保健功能的研究,未来需进一步探索食用菌应用到肉制品后对人体健康及保健功能的潜在作用及机理。

参考文献:

- [1] OLMEDILLA-ALONSO B, JIMÉNEZ-COLMENERO F, SÁNCHEZ-MUNIZ F J. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods[J]. Meat Science, 2013, 95(4): 919-930. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.03.030.
- [2] PÉREZ-MONTES A, RANGEL-VARGAS E, LORENZO J M, et al. Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products[J]. Current Opinion in Food Science, 2021, 37: 118-124. DOI:10.1016/j.cofs.2020.10.004.
- [3] MCCLEMENTS D J, BARRANGOU R, HILL C, et al. Building a resilient, sustainable, and healthier food supply through innovation and technology[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2021, 12: 1-28. DOI:10.1146/annurev-food-092220-030824.
- [4] MCCLEMENTS D J, DAS A K, DHAR P, et al. Nanoemulsion-based technologies for delivering natural plant-based antimicrobials in foods[J]. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2021, 5: 643208. DOI:10.3389/fsufs.2021.643208.
- [5] DAS A K, NANDA P K, MADANE P, et al. A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods[J]. Trends in Food Science and Technology, 2020, 99: 323-336. DOI:10.1016/j.tifs.2020.03.010.
- [6] 张璐, 弓志青, 王文亮, 等. 7种大宗食用菌的呈味物质分析及鲜味评价[J]. 食品科技, 2017(3): 274-278. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2017.03.053.
- [7] 倪宗耀. 一荤一素一菌 味美营养丰益长寿[J]. 浙江食用菌, 2008(3): 57-58.
- [8] YADAV D, NEGI P S. Bioactive components of mushrooms: processing effects and health benefits[J]. Food Research International, 2021, 148: 110599. DOI:10.1016/j.foodres.2021.110599.
- [9] KOU Rongwei, XIA Bing, WANG Zhiju, et al. Triterpenoids and meroterpenoids from the edible *Ganoderma resinaceum* and their potential anti-inflammatory, antioxidant and anti-apoptosis activities[J]. Bioorganic Chemistry, 2022, 121: 105689. DOI:10.1016/j.bioorg.2022.105689.
- [10] KHAN A A, GANI A, KHANDAY F A, et al. Biological and pharmaceutical activities of mushroom β -glucan discussed as a potential functional food ingredient[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2018, 16: 1-13. DOI:10.1016/j.bcdf.2017.12.002.
- [11] SAWANGWAN T, WANSANIT W, PATTANI L, et al. Study of prebiotic properties from edible mushroom extraction[J]. Agriculture and Natural Resources, 2018, 52(6): 519-524. DOI:10.1016/j.anres.2018.11.020.
- [12] RUTHES A C, CANTU-JUNGLES T M, CORDEIRO L M C, et al. Prebiotic potential of mushroom *D*-glucans: implications of physicochemical properties and structural features[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 262: 117940. DOI:10.1016/j.carbpol.2021.117940.
- [13] MURPHY E J, MASTERSON C, REZOAGLI E, et al. β -Glucan extracts from the same edible shiitake mushroom *Lentinus edodes* produce differential *in vitro* immunomodulatory and pulmonary cytoprotective effects: implications for coronavirus disease (COVID-19) immunotherapies[J]. Science of the Total Environment, 2020, 732: 139330. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.139330.
- [14] KHAN A A, GANI A, MASOODI F A, et al. Structural, rheological, antioxidant, and functional properties of β -glucan extracted from edible mushrooms *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* and *Coprinus atrimentarius*[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2017, 11: 67-74. DOI:10.1016/j.bcdf.2017.07.006.
- [15] ABREU H, SIMAS F F, SMIDERLE F R, et al. Gelling functional property, anti-inflammatory and antinociceptive bioactivities of β -D-glucan from the edible mushroom *Pholiota nameko*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 122: 1128-1135. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2018.09.062.
- [16] DAS A K, NANDA P K, DANDAPAT P, et al. Edible mushrooms as functional ingredients for development of healthier and more sustainable muscle foods: a flexitarian approach[J]. Molecules, 2021, 26(9): 2463. DOI:10.3390/molecules26092463.
- [17] KAKON A J, CHOUDHURY M B K, SAHA S. Mushroom is an ideal food supplement[J]. Journal of Dhaka National Medical College and Hospital, 2012, 18(1): 58-62. DOI:10.3329/jdnmch.v18i1.12243.

- [18] SANDE D, DE OLIVEIRA G P, E MOURA M A F, et al. Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids[J]. Food Research International, 2019, 125: 108524. DOI:10.1016/j.foodres.2019.108524.
- [19] SINGH R. A review on different benefits of mushroom[J]. IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences, 2017, 12(1): 107-111. DOI:10.9790/3008-120102107111.
- [20] BA D M, GAO X, MUSCAT J, et al. Association of mushroom consumption with all-cause and cause-specific mortality among American adults: prospective cohort study findings from NHANES III[J]. Nutrition Journal, 2021, 20(1): 1-11. DOI:10.1186/s12937-021-00691-8.
- [21] PINTO J M, MERZBACH V, WILLMOTT A G B, et al. Assessing the impact of a mushroom-derived food ingredient on vitamin D levels in healthy volunteers[J]. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2020, 17(1): 1-10. DOI:10.1186/s12970-020-00387-0.
- [22] BAINS A, CHAWLA P, KAUR S, et al. Bioactives from mushroom: health attributes and food industry applications[J]. Materials, 2021, 14(24): 7640. DOI:10.3390/ma14247640.
- [23] 李妍. 食用菌食品的营养价值及其保健功能[J]. 现代食品, 2020(23): 153-155. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2020.23.045.
- [24] SUN Li, BAO Li, PHURBU D, et al. Amelioration of metabolic disorders by a mushroom-derived polyphenols correlates with the reduction of Ruminococcaceae in gut of DIO mice[J]. Food Science and Human Wellness, 2021, 10(4): 442-451. DOI:10.1016/j.fshw.2021.04.006.
- [25] TANAKA T, ONUMA H, SHIGIHARA T, et al. Anti-osteoporotic effects of syringic acid and vanilic acid in the extracts of waste beds after mushroom cultivation[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2019, 128(5): 622-629. DOI:10.1016/j.jbiosc.2019.04.021.
- [26] CERÓN-GUEVARA M I, RANGEL-VARGAS E, LORENZO J M, et al. Reduction of salt and fat in frankfurter sausages by addition of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* flour[J]. Foods, 2020, 9(6): 760. DOI:10.3390/foods9060760.
- [27] PATINHO I, SALDAÑA E, SELANI M M, et al. Use of *Agaricus bisporus* mushroom in beef burgers: antioxidant, flavor enhancer and fat replacing potential[J]. Food Production Processing and Nutrition, 2019, 1(1): 1-15. DOI:10.1186/s43014-019-0006-3.
- [28] PATINHO I, SELANI M M, SALDAÑA E, et al. *Agaricus bisporus* mushroom as partial fat replacer improves the sensory quality maintaining the instrumental characteristics of beef burger[J]. Meat Science, 2021, 172: 108307. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108307.
- [29] WANG Liyan, LI Cheng, REN Lili, et al. Production of pork sausages using *Pleurotus eryngii* with different treatments as replacements for pork back fat[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(11): 3091-3098. DOI:10.1111/1750-3841.14839.
- [30] YAHYA F, TING H T. Effect of different ratios of chicken meat to fresh osyter mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) on the physicochemical properties and sensory acceptability of sausages[J]. International Journal on Food, Agriculture, and Natural Resources, 2020, 1(1): 7-14. DOI:10.46676/ij-fanres.v1i1.2.
- [31] CHUNG S I, KIM S Y, NAM Y J, et al. Development of surimi gel from king oyster mushroom and cuttlefish meat paste[J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(1): 51-56. DOI:10.1007/s10068-010-0007-0.
- [32] AL-DALAIN S Y A. Utilization of mushroom fungi in processing of meat sausage[J]. Research on Crops, 2018, 19(2): 294-299. DOI:10.5958/2348-7542.2018.00044.X.
- [33] 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]. Journal of Food Science, 2014, 79(9): S1795-S1804. DOI:10.1111/1750-3841.12549.
- [34] WONG K M, DECKER E A, AUTIO W R, et al. Utilizing mushrooms to reduce overall sodium in taco filling using physical and sensory evaluation[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(10): 2379-2386. DOI:10.1111/1750-3841.13838.
- [35] WANG Liyan, GUO Hongyue, LIU Xuejun, et al. Roles of *Lentinula edodes* as the pork lean meat replacer in production of the sausage[J]. Meat Science, 2019, 156: 44-51. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.05.016.
- [36] HASHEMPOUR-BALTORK F, KHOSRAVI-DARANI K, HOSSEINI H, et al. Mycoproteins as safe meat substitutes[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 253: 119958. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.119958.
- [37] 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. DOI:10.1002/jsfa.4348.
- [38] YUAN Xinyue, JIANG Wei, ZHANG Danwei, 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, 2021, 11(1): 52. DOI:10.3390/foods11010052.
- [39] YUAN Xinyue, ZHU Xuecheng, SUN Ruohao, et al. Sensory attributes and characterization of aroma profiles of fermented sausages based on fibrous-like meat substitute from soybean protein and *Coprinus comatus*[J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131537. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.131537.
- [40] 张诗泉, 葛鑫禹, 张朵朵, 等. 功能肉制品的开发现状与发展前景[J]. 肉类工业, 2021(11): 1-6. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2021.11.001.
- [41] JO K, LEE J, JUNG S. Quality characteristics of low-salt chicken sausage supplemented with a winter mushroom powder[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2018, 38(4): 768. DOI:10.5851/kosfa.2018.e15.
- [42] SUN Libin, ZHANG Zhiyong, XIN Guang, et al. Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms[J]. Trends in Food Science and Technology, 2020, 96: 176-187. DOI:10.1016/j.tifs.2019.12.018.
- [43] JO K, LEE S, JO C, et al. Utility of winter mushroom treated by atmospheric non-thermal plasma as an alternative for synthetic nitrite and phosphate in ground ham[J]. Meat Science, 2020, 166: 108151. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108151.
- [44] WONG K M, CORRADINI M G, AUTIO W, et al. Sodium reduction strategies through use of meat extenders (white button mushrooms vs. textured soy) in beef patties[J]. Food Science and Nutrition, 2019, 7(2): 506-518. DOI:10.1002/fsn.3824.
- [45] FRANÇA F, DOS SANTOS HARADA-PADERMO S, FRASCETO R A, et al. Umami ingredient from shiitake (*Lentinula edodes*) by-products as a flavor enhancer in low-salt beef burgers: effects on physicochemical and technological properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 154: 112724. DOI:10.1016/j.lwt.2021.112724.
- [46] JEONG H G, JUNG D Y, JO K, et al. Alternative of phosphate by freeze-or oven-dried winter mushroom powder in beef patty[J]. Food Science of Animal Resources, 2021, 41(3): 542. DOI:10.5851/kosfa.2021.e18.
- [47] CHOE J, LEE J, JO K, et al. Application of winter mushroom powder as an alternative to phosphates in emulsion-type sausages[J]. Meat Science, 2018, 143: 114-118. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.04.038.
- [48] QING Zhenglong, CHENG Jingrong, WANG Xuping, 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-Food Science and Technology, 2021, 135: 110063. DOI:10.1016/j.lwt.2020.110063.
- [49] 刘子轩, 高雅, 王文倩, 等. 不同品种食用菌制备热反应肉味基料风味差异分析[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(1): 30-43. DOI:10.12301/spxb202100940.
- [50] WANG Xuping, ZHOU Pengfei, CHENG Jingrong, 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: 18-25. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.07.033.
- [51] WANG Xuping, ZHOU Pengfei, CHENG Jingrong, et al. The role of endogenous enzyme from straw mushroom (*Volvariella volvacea*) in improving taste and volatile flavor characteristics of Cantonese sausage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 154: 112627. DOI:10.1016/j.lwt.2021.112627.
- [52] ESTÉVEZ M. Oxidative damage to poultry: from farm to fork[J]. Poultry Science, 2015, 94(6): 1368-1378. DOI:10.3382/ps/pev094.
- [53] GRAY J I, MONAHAN F J. Measurement of lipid oxidation in meat and meat products[J]. Trends in Food Science and Technology, 1992, 3: 315-319. DOI:10.1016/S0924-2244(10)80019-6.
- [54] KHATUA S, PAUL S, ACHARYA K. Mushroom as the potential source of new generation of antioxidant: a review[J]. Research Journal of Pharmacy Technology, 2013, 6(5): 496-505.
- [55] PAHILA J, ISHIKAWA Y, OHSHIMA T. Effects of ergothioneine-rich mushroom extract on the oxidative stability of astaxanthin in liposomes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(12): 3491-3501. DOI:10.1021/acs.jafc.9b00485.
- [56] ÖZÜNLÜ O, ERGEZER H. Possibilities of using dried oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in the production of beef salami[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(2): e15117. DOI:10.1111/jfpp.15117.
- [57] PIL-NAM S, PARK K M, KANG G H, et al. The impact of addition of shiitake on quality characteristics of frankfurter during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 62-68. DOI:10.1016/j.lwt.2015.01.032.
- [58] 代思奇. 玉木耳和银耳作为脂肪替代物对猪肉香肠品质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020: 8-20.
- [59] WAN ROSLI W I, SOLIHAN M A, AISHAH M, et al. Colour, textural properties, cooking characteristics and fibre content of chicken patty added with oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) [J]. International Food Research Journal, 2011, 18(2): 612-618.
- [60] ROSLI W, SOLIHAN M A. Effect on the addition of *Pleurotus sajor-caju* (PSC) on physical and sensorial properties of beef patty[J]. International Food Research Journal, 2012, 19(3): 993-999.
- [61] ROSLI W, MAIHIZA M N, RAUSHAN M. The ability of oyster mushroom in improving nutritional composition, β -glucan and textural properties of chicken frankfurter[J]. International Food Research Journal, 2015, 22(1): 311-317.
- [62] CHA M H, HEO J Y, LEE C, et al. Quality and sensory characterization of white jelly mushroom (*Tremella fuciformis*) as a meat substitute in pork patty formulation[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(4): 2014-2019. DOI:10.1111/jfpp.12058.
- [63] 李韬, 邹伟, 赵兴秀, 等. 食用菌添加对自贡冷吃牛肉品质与风味影响研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(8): 24-28. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2021.08.006.
- [64] ALNOUMANI H, ATAMAN Z A, WERE L. Lipid and protein antioxidant capacity of dried *Agaricus bisporus* in salted cooked ground beef[J]. Meat Science, 2017, 129: 9-19. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.02.010.
- [65] WANG Xuping, XU Mingying, CHENG Jingrong, et al. Effect of *Flammulina velutipes* on the physicochemical and sensory characteristics of Cantonese sausages[J]. Meat Science, 2019, 154: 22-28. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.04.003.
- [66] BANERJEE D K, DAS A K, BANERJEE R, et al. Application of enoki mushroom (*Flammulina velutipes*) stem wastes as functional ingredients in goat meat nuggets[J]. Foods, 2020, 9(4): 432. DOI:10.3390/foods9040432.
- [67] 陈坤朋, 余依敏, 夏强, 等. 食用菌添加对鸭肉乳化肠品质特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(18): 251-257. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191028-305.