

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.23.029

天然物质与功能性发酵剂在发酵香肠中的应用

刘凯彤, 梁荣蓉, 张一敏, 罗欣, 毛衍伟*
(山东农业大学 食品科学与工程学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 随着人们生活水平的提高, 功能性食品逐渐受到重视, 功能性发酵香肠开始成为研究热点和发展方向。该文对天然物质替代亚硝酸盐、降低糖、盐、脂肪含量、添加抗氧化性天然物质以及具有功能性的发酵剂对发酵香肠食用品质、微生物、抗氧化性等品质的影响进行综述, 分析上述物质对发酵香肠的影响机制, 以期对发酵香肠新产品开发和产品质量控制提供技术支撑和理论指导。

关键词: 发酵香肠; 天然替代物质; 具有功能性的发酵剂; 食用品质; 抗氧化性

Application of Natural Substances and Functional Starter Culture in Fermented Sausages

LIU Kaitong, LIANG Rongrong, ZHANG Yimin, LUO Xin, MAO Yanwei*

(College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: With the improvement of people's living standards, functional food has gradually received attention, and functional fermented sausage has become a research hot spot and development direction. This paper summarized the effects of natural substances replacing nitrite, hypoglycemic, salt reduction, lipid lowering, adding antioxidant natural substances, and functional starter culture on the eating quality, microbial and oxidize resistance of fermented sausage, and analyzed the effect mechanism of these substances, to provide technical support and theoretical guidance for the development of new fermented sausage products and the control of product quality.

Key words: fermented sausage; natural alternatives; functional starter culture; eating quality; oxidize resistance

引文格式:

刘凯彤, 梁荣蓉, 张一敏, 等. 天然物质与功能性发酵剂在发酵香肠中的应用[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(23): 217-224.

LIU Kaitong, LIANG Rongrong, ZHANG Yimin, et al. Application of Natural Substances and Functional Starter Culture in Fermented Sausages[J]. Food Research and Development, 2024, 45(23): 217-224.

发酵肉制品是指在一定条件下, 以畜禽肉为原料, 采用特定微生物发酵或酶的作用, 加工制成的一类可即食肉制品^[1]。其具有诸多优点, 例如发酵肉制品具有更好的颜色^[2]; 发酵及成熟过程中, 发酵香肠会产生多种挥发性成分来为产品提供独特风味, 如酯类、酮类等化合物^[3]; 发酵肉制品具有良好的氧化稳定性, 如发酵剂戊糖片球菌 R1 具有较强的抗氧化性, 能够抑制

脂质过氧化、清除自由基^[4], 有助于延缓发酵香肠的氧化^[5]; 具有较长的货架期^[6]; 易消化、营养价值高, 发酵后肉中蛋白质被分解成肽和游离氨基酸, 消化率可达 4.9%^[7]。此外, 部分发酵肉制品还具有特殊作用, 如使用乳酸乳球菌 KX881782 发酵的骆驼香肠和发酵牛肉香肠具有降低血压的功能^[8]。

发酵香肠是发酵肉制品中产量最大的一类代表性

基金项目: 山东省生猪产业技术体系(SDAIT-08-10)

作者简介: 刘凯彤(2003—), 女(汉), 本科, 研究方向: 动物性食品加工与品质安全控制。

*通信作者: 毛衍伟(1981—), 男(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 动物性食品加工与品质安全控制。

产品,正朝着生产机械化、产品多样化、健康化的方向发展^[9]。随着人们生活水平逐步提高及对健康关注的提升,天然、有机、不含人工添加剂的食品需求大幅度上升,促进了天然材料在肉类加工中替代人工添加剂的开发和应用^[10-12],因此含有天然材料的功能性发酵香肠受到消费者喜爱并成为了研究热点。通过添加天然替代物质与具有功能性的发酵剂,可以达到低亚硝酸盐、低盐、低脂、低糖及具有抗氧化性等功效。因此,本文着重从天然替代物质与具有功能性的发酵剂方面对功能性发酵香肠研究的方向及进展进行综述,以期对发酵香肠的产品开发和研究提供参考。

1 发酵香肠新的研究方向

1.1 低亚硝酸盐型发酵香肠

亚硝酸盐作为发酵香肠中关键的腌制剂,具有发

色、抑菌、改善风味和抗氧化等重要作用。在生产发酵香肠时,亚硝酸盐的还原作用在乳酸的参与下产生亚硝酸。由于亚硝酸不稳定,分解生成一氧化氮,一氧化氮与肌红蛋白和血红蛋白反应生成亚硝基肌红蛋白和亚硝基血红蛋白,使肉馅呈现出鲜红色^[13]。亚硝酸盐还具有良好的抑菌效果,尤其是抑制肉毒杆菌。由于亚硝酸盐本身为还原剂,因此具有良好抑制脂肪氧化的效果。但亚硝酸盐易与胺类物质发生反应,生成有强致癌作用的亚硝胺,带来潜在的致癌风险^[13]。因此,筛选能够替代发酵香肠中亚硝酸盐的健康物质成为当前研究方向,相关研究物质及结果见表1。

由表1可知,亚硝酸盐替代品主要是天然物质,安全性较高且类似发酵香肠中亚硝酸盐的作用。亚硝酸盐天然替代品主要分为两类,一类是通过化学反应将天然硝酸盐转化为亚硝酸盐,并减少化学亚硝酸盐的

表1 天然物质替代发酵香肠中亚硝酸盐对产品的影响

Table 1 Effect of natural substances replacing nitrite in fermented sausage on the quality of products

替代物质	最佳添加量	测量指标	指标变化分析	原理	参考文献
白萝卜粉	质量分数 0.05%	亚硝酸盐残留量	显著低于对照组	利用添加的发酵剂和萝卜粉中自带的菌种把萝卜粉中的硝酸盐转化为亚硝酸盐,从而代替化学合成的亚硝酸盐	[14]
		颜色	与对照组差异不显著		
		pH 值	显著低于对照组		
		硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值	显著低于对照组		
		质构特性	硬度显著低于对照组		
感官评价	与对照组差异不显著				
红曲米及红曲米色素	质量分数为 0.2% 红曲米、 0.005% 红曲色素	亚硝酸盐残留量	显著低于其余试验组	红曲色素可将肉制品染成肉红色,红曲色素安全性更高	[15]
		颜色	a^* 值与其余试验组差异不显著		
		pH 值	与其余试验组差异不显著		
		感官评价	与其余试验组差异不显著		
玫瑰花提取液	80 mg/kg NaNO ₂ 与 质量分数 10% 的 玫瑰液	亚硝酸盐残留量	显著低于对照组	玫瑰红色素的着色及黄酮类抗氧化作用	[13]
		颜色	a^* 值显著高于对照组、 L^* 值显著 低于对照组		
		感官评价	感官评价显著高于对照组		

添加,例如白萝卜粉与玫瑰花提取液;另一类是具有与亚硝酸盐相似的品质改善作用的物质(如红曲米及红曲米色素、紫甘薯粉与紫甘薯色素等),通过添加这些物质可以达到改善产品颜色的目的。采用天然物质不仅可以有效替代亚硝酸盐达到降低亚硝酸盐添加量的要求,还可以在抗氧化能力、改善肉色等方面有一定积极作用。

1.2 低盐型发酵香肠

发酵香肠中食盐的添加量通常为质量分数 3%~8%,食盐为发酵香肠提供咸味、给予产品特殊风味、提高感官特性、具有抑制有害微生物的生长和繁殖、延长货架期等重要作用。直接减少食盐添加量而不采取其他措施,往往会带来风味欠缺、产品质构差和保质期缩短等质量问题^[16],因此寻求有关物质替代部分食盐成

为了重要研究方向,发酵香肠中食盐替代物质相关研究见表2。

由表2可知,氯化钠的替代物质主要为氯化钾,不仅可以作为降钠后重要的风味补充物质,还可以提取

表2 食盐替代对发酵香肠品质的影响

Table 2 Effect of salt substitution on the quality of fermented sausage

替代物质	最佳添加量	测量指标	指标变化	原理	参考文献
酵母抽提物	0.564%	感官评价	显著高于对照组	酵母抽提物富含氨基酸、呈味肽、核苷酸等呈味物质	[17]
氯化钾	10%	质构特性	硬度、咀嚼度显著高于对照组	10%~50% 替代范围的氯化钾具有与氯化钠相同程度的萃取肌原纤维蛋白的效果	[18]
		颜色	与对照组差异不显著		
		水分含量	与对照组差异不显著		
		pH 值	与对照组差异不显著		
		感官评价	显著高于对照组		
低钠复合盐	58% 氯化钠、30% 氯化钾、7% 氯化钙、5% 甘氨酸	质构特性	硬度和咀嚼性显著高于对照组	氯化钾性质与氯化钠最为接近	[19]
		颜色	L*值显著低于对照组	甘氨酸可以加快半胱氨酸和还原糖之间的美拉德反应,能够掩盖苦味、促进风味形成	
		钠浓度	显著低于对照组		
		游离氨基酸含量	谷氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸含量显著高于对照组		
		风味物质	醇类、酸类含量显著高于对照组		
		感官评价	与对照组差异不显著		

肌原蛋白保证产品的弹性、维持良好口感。但是氯化钾添加到食品中会产生苦味,过量添加甚至会出现中毒现象,故不可完全替代氯化钠。研究能够完全替代氯化钠的复合盐,是低盐发酵香肠的重要研究方向。

1.3 低糖型发酵香肠

高糖饮食会给人的健康带来危害,如导致晚期糖基化终产物的累积,诱导发生眼组织功能障碍和眼部疾病^[20]、对青少年的海马区域产生损伤^[21]。因此,选用甜味剂代替蔗糖成为发酵肉制品新的研究方向。蔡玉玲等^[22]将质量分数为0.008%的罗汉果甜苷添加到发酵香肠中,产品肉香浓郁、酸甜适口、风味协调,对产品质构无明显影响,感官评分显著高于其他组别。甜苷是罗汉果中的天然甜味成分,具有甜度高、热量低的特点,可以作为蔗糖替代品应用于发酵香肠。目前发酵

肉制品中代替糖类的天然物质研究较少,是一个具有前景的研究方向。

1.4 低脂型发酵香肠

传统发酵香肠一般含有质量分数20%~30%的脂肪^[23]。脂肪在肉制品风味和营养方面起着重要作用,它不仅能够赋予食品浓郁的风味、良好的质地以及感官特性,还提供人体必需的脂肪酸,但过多摄入胆固醇、饱和脂肪酸对人体健康不利,会导致肥胖、高血压、心血管疾病及某些癌症,然而直接降低产品中的脂肪含量,必然会影响到产品的风味与口感^[24-25],因此研究低脂肉制品不能简单地降低脂肪含量,还需保持与原有产品相似的感官品质,并解决低脂导致的产品结构不稳定、风味变差等问题,对发酵香肠脂肪替代物的研究见表3。

表3 天然物质替代脂肪对发酵香肠品质的影响

Table 3 Effect of natural substances replacing fat on the quality of fermented sausage

替代物质	最佳添加量	测量指标	指标变化	原理	参考文献
红心火龙果	替代脂肪添加量 30%	颜色	L*值、a*值显著高于对照组,b*值显著低于对照组	火龙果中植物蛋白与可溶性纤维素结合,构成与脂肪咀嚼性相似的胶体物质,可减轻脂肪含量下降带来的食品风味损失	[26]
		质构特性	显著优于对照组		
		蛋白质溶解度	显著高于对照组		
		巯基含量及疏水性	巯基含量显著高于对照组、疏水性显著低于对照组		
		荧光强度	与对照组差异不显著		
		TBARS 值	显著低于对照组		
		感官评价	显著高于对照组		

续表3 天然物质替代脂肪对发酵香肠品质的影响

Continue table 3 Effect of natural substances replacing fat on the quality of fermented sausage

替代物质	最佳添加量	测量指标	指标变化	原理	参考文献
大豆分离蛋白、山药黏液质、玉米油	大豆分离蛋白、山药黏液质、玉米油添加量分别为5.60%、1.53%、28.31%	颜色	L^* 值、 a^* 值显著高于对照组	使用外源蛋白作为乳化剂,植物油乳化得到类似动物脂肪质构	[27]
		质构特性	硬度、咀嚼性、胶着性显著低于对照组		
		pH值	显著低于对照组		
		益生菌活菌数	乳酸菌、葡萄球菌数显著高于对照组		
		感官评价	与对照组差异不显著		
菊粉	替代脂肪添加量6%	颜色	L^* 值、 a^* 值显著低于对照组	菊粉分子中含有大量羟基,与水结合的能力较强,可与水结合形成平滑细腻的乳脂状凝胶	[28]
		质构特性	与对照组差异不显著		
		香肠持水力	与对照组差异不显著		
		感官评价	与对照组差异不显著		
燕麦膳食纤维	2.33%	颜色	显著优于其余试验组	燕麦水溶膳食纤维为 β -葡聚糖,与水分和脂肪结合能力较好,是一种理想的脂肪替代物	[29]
		质构特性	咀嚼性显著高于其余试验组		
		亚硝酸盐含量	与其余试验组差异不显著		
		感官评价	显著优于其余试验组		
预乳化榛子油与榛子粉	部分或全部替代脂肪	颜色	L^* 值、 b^* 值显著高于对照组	预乳化技术可以提高油的结合能力和蛋白质的稳定性,从而确保香肠品质 榛子粉富含膳食纤维可以改善与脂肪的结合,减少脂肪含量	[30]
		质构特性	与对照组差异不显著		
		总脂质含量	显著高于对照组		
		脂肪酸组成	棕榈酸和硬脂酸显著低于对照组,油酸与亚油酸显著高于对照组		
		TBARS值	显著低于对照组		
		感官评价	与对照组差异不显著		

由表3可知,脂肪替代的天然物质多为植物蛋白、植物多糖(如纤维素、淀粉)或脂肪基类(如植物油)^[27],都具有凝胶性、保水性等性质,通过与水、纤维素、非肉类蛋白乳化剂等物质的结合获得与脂肪类似的质构和口感,通过添加上述物质达到降脂的效果,并可以降低饱和脂肪酸含量,提高不饱和脂肪酸含量。此外,有的脂肪替代物还具有调节肠道菌群、抗氧化性等作用。如菊粉是一种水溶性植物储存多糖,属于一类非消化碳水化合物果聚糖,对肠胃健康起到有益的作用^[31],红心火龙果作为脂肪替代物具有抗氧化性^[32]。

1.5 抗氧化型发酵香肠

脂肪和蛋白质是发酵香肠中最主要的组成成分,直接影响香肠的营养价值和感官特性。在发酵过程中,脂肪的适度氧化会产生小分子挥发性化合物,对醛类、烃类、醇类、酸类及酮类等挥发性风味成分的产生有促进作用,可改善肉制品的风味^[33-34]。而脂肪的过度氧化会导致香肠风味变差、失去原有质构和颜色,缩短保质期,降低消费者的接受程度,带来食品安全隐患^[35]。脂肪过度氧化测定指标主要为TBARS值、酸价、羰基价。蛋白质降解也是发酵肉制品加工过程中

重要的化学变化,蛋白质适度的氧化可以产生一些小肽和氨基酸等物质,赋予产品特殊风味与营养特性,但蛋白质的过度氧化会对发酵肉制品的色泽、风味、质构、安全性、持水性等产生不利影响。蛋白质过度氧化测量指标主要为蛋白巯基含量。因此在发酵香肠的加工过程中,采用天然物质抑制脂肪和蛋白质过度氧化具有重要意义,对发酵香肠抗氧化性的研究见表4。

由表4可知,发酵香肠中应用的天然物质均具有一定的抗氧化作用,主要是依靠以下4种方式进行抗氧化^[40]:1)通过提供质子和电子并直接与自由基相结合的方式清除、抑制自由基;2)通过抑制与自由基相关的氧化酶活性或提高抗氧化酶活性的方式来缓解氧化损伤;3)与金属离子发生络合反应,破坏自由基生成的条件,阻断自由基的产生;4)具有抗氧化活性的成分之间相互促进,增强抗氧化能力。某些天然抗氧化剂除了具有优良的抗氧化性质还具有抑菌性质,如添加开心果壳提取物可以抑制酵母菌与霉菌的生长、保护发酵剂葡萄球菌的生长,从而提高食品安全性^[37]。部分天然抗氧化剂如香蕉花提取物、开心果壳提取物均是从农业生产的废弃物中提取,实现废物利用,因此达

表4 添加抗氧化物质对发酵香肠品质的影响
Table 4 Effect of adding antioxidant substances on the quality of fermented sausage

替代物质	最佳添加量	测量指标	指标变化	原理	参考文献
香蕉花提取物	0.10%	蛋白巯基含量	显著高于对照组	香蕉花提取物含有黄酮类、多酚类物质。通过清除自由基、与促氧化的金属离子结合、提供氢原子与自动氧化生成的自由基相结合来实现抗氧化作用	[36]
		巯基含量	显著低于对照组		
		表面疏水性	显著低于对照组		
		二聚酪氨酸含量	显著低于对照组		
		内源性氨基酸荧光强度	显著低于对照组		
		蛋白质二级结构	α -螺旋和 β -折叠含量最高,二级结构稳定		
开心果壳提取物	0.05%	质构特性	与对照组差异不显著	开心果壳中含有没食子酸等抗氧化性物质	[37]
		TBARS 值	显著低于对照组		
		pH 值	与对照组差异不显著		
		感官评价	与对照组差异不显著		
鲜金针菇与金针菇干粉	鲜金针菇 8%、 金针菇粉 4%	质构特性	硬度与咀嚼性显著低于、弹性与内聚性显著高于对照组	金针菇中含有多糖多酚类物质具有抗氧化性,可以改善香肠的组织结构,延缓脂肪及蛋白质的氧化,抑制脂质过氧化物产生	[38]
		TBARS 值	显著低于对照组		
		酸价与羰基价	均显著低于对照组		
		感官评价	未进行评价		
		质构特性	均显著低于对照组		
人参	发酵剂 0.06%(植物乳杆菌与鼠李糖乳杆菌质量比 1:1 复配)、人参 2%	质构特性	均显著低于对照组	人参中的总黄酮可以提高抗氧化能力	[39]
		TBARS 值	显著低于对照组		
		蛋白巯基含量	显著高于对照组		
		1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1, 1-diphenyl-2-trinitrophenylhydrazine radical, DPPH)自由基清除率	显著高于对照组		
		pH 值	显著低于对照组		
		感官评价	显著高于对照组		

到了保护环境的效果^[41]。

2 具有功能性的发酵剂在香肠中的应用

近年来,葡萄球菌、乳酸菌、霉菌等具有功能性的微生物作为发酵剂在肉制品中使用,可赋予发酵肉制

品功能特性,提高其营养价值和附加值。具有功能性的微生物可以促进优势菌群生长,与腐败菌和不利微生物竞争,来提高发酵肉制品的安全性;同时,上述发酵剂还可以促进蛋白质、脂质水解,改善产品风味,表5总结了具有功能性的发酵剂主要功能与对应菌株。

表5 具有功能性的发酵剂主要功能与对应菌株
Table 5 Main functions of functional starter culture and corresponding strains

功能特性	菌株类型	菌株举例	参考文献
抑制蛋白质与脂质过度氧化	葡萄球菌、乳酸菌	模仿葡萄球菌 NJ201、乳酸菌 ATCC11545、商业发酵剂 SM-181(含清酒乳杆菌、木糖葡萄球菌)	[42-44]
降低亚硝酸盐含量	葡萄球菌、乳酸菌	木糖葡萄球菌、植物乳杆菌 CGMCC161310	[45-46]
降低生物胺含量	葡萄球菌、乳酸菌、霉菌	模仿葡萄球菌 ZSJ6、木糖葡萄球菌 A2、植物乳杆菌 R2、复合发酵剂(乳酸片球菌与娄地青霉)	[47-49]
延长发酵香肠货架期	葡萄球菌、乳酸菌	木糖葡萄球菌、植物乳杆菌和戊糖乳杆菌	[45, 50]
改善产品风味	乳酸菌、霉菌	戊糖乳杆菌 CICC22226 和植物乳杆菌 CGMCC161310、产黄青霉、钠地青霉	[46, 51-53]

2.1 具有功能性的葡萄球菌发酵剂

葡萄球菌是一种串状革兰氏阳性菌,在肉制品发酵中具有重要应用。研究表明,葡萄球菌可以抑制发酵香肠蛋白质与脂质过度氧化,如将模仿葡萄球菌

NJ201 接种至发酵香肠,结果表明香肠过氧化值、TBARS 值显著低于对照组,总巯基含量显著高于对照组,有效降低蛋白质和脂质的氧化程度,提高发酵香肠的氧化稳定性^[42];葡萄球菌还可以提高发酵香肠安全

性,延长货架期,如接种 10^7 lg(CFU/g)木糖葡萄球菌到羊肉发酵香肠中,可使产品中亚硝酸盐含量降低,并提高产品的贮藏性^[45],接种 10^7 lg(CFU/g)模仿葡萄球菌 ZSJ6 到发酵香肠中,可显著降低亚硝酸盐与生物胺含量^[47];此外,葡萄球菌还能够增加产品香气,如木糖葡萄球菌与肉葡萄球菌通过降解蛋白质产生风味物质成为了产香菌种,从而改善产品风味^[54-56]。

2.2 具有功能性的乳酸菌发酵剂

乳酸菌是发酵香肠常用的发酵菌种,具有多种作用:1)乳酸菌可以提高产品安全性,如接种植物乳杆菌和戊糖乳杆菌可以促进优势菌群的生长、抑制有害细菌^[50];2)乳酸菌可以降低发酵香肠中生物胺的含量,如接种 10^7 lg(CFU/g)的植物乳杆菌 R2 和木糖葡萄球菌 A2 可以降低发酵香肠的 pH 值及酪胺、腐胺、尸胺和总生物胺的含量^[48];3)乳酸菌可以改善发酵香肠颜色,如戊糖乳杆菌 CICC22226 和植物乳杆菌 CGMCC161310 可利用自身一氧化氮聚合酶提高发酵香肠的色泽稳定性^[46,51];4)乳酸菌可以抑制发酵香肠中蛋白质与脂质过度氧化,提高风味,如乳酸菌 ATCC11545 的发酵代谢产物中含有多种螯合二价金属离子的活性肽,缓解蛋白质与脂质的过度氧化^[43];5)乳酸菌降低亚硝酸盐残留量,如将 10^7 lg(CFU/g)植物乳杆菌 CGMCC161310 替代 50% 亚硝酸钠进行香肠发酵,成熟期结束时香肠中的亚硝酸盐残留量仅为对照组的 20%^[46];6)乳酸菌对硒进行富集转化能力较强,如硒添加量为 $10 \mu\text{g/mL}$ 的乳酸片球菌发酵剂在 38°C 恒温培养 36 h 后,发酵剂的硒转化率为 96.14%^[57]。

2.3 具有功能性的霉菌发酵剂

霉菌是一种好氧型真菌,可在产品表面形成避免水分散失与防止有害微生物入侵的薄膜,但是由于霉菌会产生有毒代谢产物,需要对作为发酵剂的霉菌进行严格筛选与检测。发酵香肠中常用霉菌主要有红曲霉、产黄青霉、纳地青霉。霉菌可以降低发酵香肠中亚硝酸盐含量,维持产品色泽,如红曲米与红曲色素添加至发酵香肠中,红曲霉在发酵红曲米时会产生红曲色素,减少亚硝酸盐使用量^[15];可以改善产品风味,如接种产黄青霉接种至发酵鸭肉中,鸭肉肌原纤维遭到破坏,产品质地松软,表面多汁,感官评分显著高于对照组^[52];此外,有的可以提高游离氨基酸含量,提高风味,如接种纳地青霉至鸡肉中,为鸡肉提供鲜味、甜味的谷氨酸、丝氨酸等风味氨基酸含量显著提高^[53]。目前霉菌作为肉制品功能性发酵剂的研究较少,是一类具有潜力的研究领域。

2.4 复合发酵剂

复合发酵剂是发酵剂的常见类型,在发酵香肠中具有广泛应用。研究表明,复合发酵剂可以提高食品安全性,延长货架期,如将清酒乳杆菌和木糖葡萄球菌

接种到香肠中,可抑制单核细胞增生、李斯特菌和革兰氏阴性腐败微生物等有害菌群的生长,从而延长货架期^[50];可以提高产品风味,如使用乳酸片球菌与娄地青霉进行混合发酵萨拉米香肠,结果显示混合发酵的香肠亚硝酸盐含量显著低于对照组,在风味方面具有更浓的发酵味、果香味和奶酪味^[49];可以提高抗氧化性,将商业发酵剂 SM-181(含清酒乳杆菌、木糖葡萄球菌)接种至香肠,可以使香肠呈现更好的抗脂肪氧化效果,色泽与质地得到改善,风味更加独特^[44];可以作为低盐发酵剂,如植物乳杆菌 BR-12 与木糖葡萄球菌 H-1 接种至低盐发酵香肠中,可以使产品中肠杆菌数和挥发性盐基氮含量降低,保证了食品安全性^[58],可以提高香肠多肽抗氧化活性,将植物乳杆菌 CD101 和模仿葡萄球菌 NJ20 接种至发酵鱼肉香肠中,香肠多肽的 DPPH 自由基、ABTS 阳离子自由基、羟自由基清除率均显著提高^[59]。

复合发酵剂关键在于复合菌株的选择,将不同功能性菌株复合往往会产生不同的功能。但是在某些情况下菌株之间互相作用可能产生毒素,导致菌株死亡,发酵失败。因此,为避免上述情况,应对复合菌株的选择做进一步研究。

3 总结与展望

发酵香肠中使用天然物质替代亚硝酸盐,使用低钠盐、新型甜味剂、脂肪替代物可以在降低亚硝酸盐、钠盐、糖、脂肪含量的同时较好地维持或提高发酵香肠品质;添加天然抗氧化物可以提高产品的抗氧化性,提高品质并延长产品货架期;添加具有功能性的发酵剂亦可提高发酵香肠的抗氧化性、提高品质、延长保质期、提高产品风味、降低亚硝酸盐残留量等。

尽管上述研究已经取得诸多进展,但新型替代产品的开发及应用技术仍需要大量系统研究;天然替代物风味会对发酵香肠产生影响,如何维持或提高发酵香肠的风味,保证消费者接受度至关重要。此外,上述功能性发酵香肠的开发往往针对某一特性,如何全面改善发酵香肠的功能性,特别是天然替代物质与具有功能性的发酵剂配合改善发酵香肠品质,生产出消费者需要的高品质、功能型发酵香肠仍需进一步深入探索研究。

参考文献:

- [1] 田文广,张俊杰,石亚萍,等.发酵肉制品的研究进展[J].肉类工业,2022(2):54-57.
TIAN Wenguang, ZHANG Junjie, SHI Yaping, et al. Research progress of fermented meat products[J]. Meat Industry, 2022(2): 54-57.
- [2] WÓJCIAK K M, DOLATOWSKI Z J. Effect of acid whey on nitrosylmyoglobin concentration in uncured fermented sausage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(2): 713-719.
- [3] 李佳,刘忠义,付满,等.发酵香肠风味物质气质分析及与发酵

- 时间的关系[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 61-66.
- LI Jia, LIU Zhongyi, FU Man, et al. The flavor compounds in fermented sausages analyzed by GC-MS and its relationship with fermentation time[J]. Food & Machinery, 2019, 35(5): 61-66.
- [4] LIU P X, WANG S W, ZHANG H, et al. Influence of glycated nitrosohaemoglobin prepared from porcine blood cell on physicochemical properties, microbial growth and flavour formation of Harbin dry sausages[J]. Meat Science, 2019, 148: 96-104.
- [5] YU D, FENG M Q, SUN J. Influence of mixed starters on the degradation of proteins and the formation of peptides with antioxidant activities in dry fermented sausages[J]. Food Control, 2021, 123: 107743.
- [6] PAN B S, KUO J M. Flavour of shellfish and kamaboko flavorants [M]/Seafoods: Chemistry, Processing Technology and Quality. Boston, MA: Springer US, 1994: 85-114.
- [7] 刘会平, 成文生. 发酵肉制品的生产[J]. 肉类工业, 1999(4): 16-18. LIU Huiping, CHENG Wensheng. Production of fermented meat products[J]. Meat Industry, 1999(4): 16-18.
- [8] AYYASH M, OLAIMAT A, AL-NABULSI A, et al. Bioactive properties of novel probiotic *Lactococcus lactis* fermented camel sausages: Cytotoxicity, angiotensin converting enzyme inhibition, antioxidant capacity, and antidiabetic activity[J]. Food Science of Animal Resources, 2020, 40(2): 155-171.
- [9] 孟培阳. 发酵香肠的研究现状及发展趋势[J]. 食品安全导刊, 2021(18): 150-151. MENG Peiyang. Research status and development trend of fermented sausage[J]. China Food Safety Magazine, 2021(18): 150-151.
- [10] FANG Z X, LIN P Y, HA M, et al. Effects of incorporation of sugarcane fibre on the physicochemical and sensory properties of chicken sausage[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(4): 1036-1044.
- [11] FERYSIUK K, WÓJCIAK K M. Reduction of nitrite in meat products through the application of various plant-based ingredients[J]. Antioxidants, 2020, 9(8): 711.
- [12] RIBEIRO J S, SANTOS M J M C, SILVA L K R, et al. Natural antioxidants used in meat products: A brief review[J]. Meat Science, 2019, 148: 181-188.
- [13] 黄业传, 王洋, 彭春雷. 玫瑰花提取液对发酵香肠品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(3): 205-211. HUANG Yechuan, WANG Yang, PENG Chunlei. Effect of rose extract on the flavor and quality of fermented sausages[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(3): 205-211.
- [14] 闫瑞, 唐敏, 陈东方, 等. 白萝卜粉作为亚硝酸盐来源制备猪肉发酵干香肠[J]. 食品科学, 2023, 44(8): 101-108. YAN Rui, TANG Min, CHEN Dongfang, et al. Preparation of dry fermented pork sausage using radish powder as a source of nitrite[J]. Food Science, 2023, 44(8): 101-108.
- [15] 张静, 王淑培, 李炎芳, 等. 低亚硝酸盐型中式发酵香肠的研制[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 92-99. ZHANG Jing, WANG Shupe, LI Yanfang, et al. Development of Chinese fermented sausage with low-nitrite[J]. Food Research and Development, 2021, 42(20): 92-99.
- [16] 田文广, 张琼琼. 减盐对肉制品质量特性的影响及改善策略[J]. 肉类工业, 2022(3): 44-49. TIAN Wenguang, ZHANG Qionqiong. Effects of salt reduction on quality characteristics of meat products and improvement strategies[J]. Meat Industry, 2022(3): 44-49.
- [17] 毛欢, 田慧敏, 龙敏, 等. 响应面法优化低盐发酵香肠配方[J]. 食品安全导刊, 2022(17): 126-128, 132. MAO Huan, TIAN Huimin, LONG Min, et al. Study on formula optimization of low-salt fermented sausages by response surface methodology[J]. China Food Safety Magazine, 2022(17): 126-128, 132.
- [18] 宗丽娜, 韩齐, 杨宝嘉, 等. KCl 部分替代 NaCl 对发酵风干肠品质的影响[J]. 肉类工业, 2019(8): 11-15. ZONG Lina, HAN Qi, YANG Baojia, et al. The effect of replacement of some NaCl by KCl on the quality of fermented and air-dried sausage[J]. Meat Industry, 2019(8): 11-15.
- [19] 王宁宁, 冯美琴, 孙健. 低钠复合盐对发酵香肠理化特性及风味的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 1-7. WANG Ningning, FENG Meiqin, SUN Jian. Effect of low-sodium salt mixture on physicochemical properties and flavor of fermented sausages[J]. Food Science, 2021, 42(16): 1-7.
- [20] BEJARANO E, TAYLOR A. Too sweet: Problems of protein glycation in the eye[J]. Experimental Eye Research, 2019, 178: 255-262.
- [21] PÉREZ-CORREDOR P A, GUTIÉRREZ-VARGAS J A, CIRO-RAMÍREZ L, et al. High fructose diet-induced obesity worsens post-ischemic brain injury in the hippocampus of female rats[J]. Nutritional Neuroscience, 2022, 25(1): 122-136.
- [22] 蔡玉玲, 王伟, 倪来学. 低盐低糖功能型发酵香肠加工工艺研究[J]. 肉类工业, 2021(5): 11-15. CAI Yuling, WANG Wei, NI Laixue. Study on processing technology of functional fermented sausage with low-salt and low-sugar[J]. Meat Industry, 2021(5): 11-15.
- [23] HERRERO A M, RUIZ-CAPILLAS C, PINTADO T, et al. Infrared spectroscopy used to determine effects of chia and olive oil incorporation strategies on lipid structure of reduced-fat frankfurters[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 1333-1339.
- [24] RAHMAN M S, SEO J K, ZAHID M A, et al. Physicochemical properties, sensory traits and storage stability of reduced-fat frankfurters formulated by replacing beef tallow with defatted bovine heart[J]. Meat Science, 2019, 151: 89-97.
- [25] CHOI Y S, KIM Y B, HWANG K E, et al. Effect of apple pomace fiber and pork fat levels on quality characteristics of uncured, reduced-fat chicken sausages[J]. Poultry Science, 2016, 95(6): 1465-1471.
- [26] 梁燕群, 李玲. 红心火龙果替代部分脂肪对香肠蛋白质理化特性和脂质氧化的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 71-77. LIANG Yanqun, LI Ling. Effects of red pitaya replacing part of fat on physicochemical properties of protein and lipid oxidation of sausage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 71-77.
- [27] 文港, 张香美, 卢涵, 等. 发酵香肠用脂肪替代物的制备与应用[J]. 食品科技, 2022, 47(7): 79-86. WEN Gang, ZHANG Xiangmei, LU Han, et al. Preparation and application of fat substitute for fermented sausage[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(7): 79-86.
- [28] 宋小叶, 王旭, 刘畅, 等. 菊粉添加量对低脂羊肉乳化香肠品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(2): 27-32. SONG Xiaoye, WANG Xu, LIU Chang, et al. Effect of adding inulin on the quality of low-fat emulsified mutton sausage[J]. Meat Research, 2020, 34(2): 27-32.
- [29] 伍勇, 唐瑶, 王任媛, 等. 燕麦膳食纤维发酵香肠的研制[J]. 中国调味品, 2023, 48(3): 146-151. WU Yong, TANG Yao, WANG Renyuan, et al. Preparation of fermented sausage with oat dietary fiber[J]. China Condiment, 2023, 48(3): 146-151.
- [30] URGU-ÖZTÜRK M, ÖZTÜRK-KERIMOĞLU B, SERDAROĞLU M. Design of healthier beef sausage formulations by hazelnut-based pre-emulsion systems as fat substitutes[J]. Meat Science, 2020, 167: 108162.
- [31] LI Y, MA X H, LIU X. Physicochemical and rheological properties of cross-linked inulin with different degree of polymerization[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 95: 318-325.
- [32] HE X M, TANG Y Y, SUN J, et al. Optimization of extraction technology of red pitaya pigment and analysis of its chemical composition[J]. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology, 2020, 127: 148-149.
- [33] HUANG L, XIONG Y L, KONG B H, et al. Influence of storage temperature and duration on lipid and protein oxidation and flavour changes in frozen pork dumpling filler[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 295-301.
- [34] OLIVARES A, NAVARRO J L, FLORES M. Effect of fat content on

- aroma generation during processing of dry fermented sausages[J]. Meat Science, 2011, 87(3): 264-273.
- [35] 曹辰辰, 冯美琴, 孙健, 等. 功能性发酵剂对发酵香肠氧化稳定性及挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 106-113.
CAO Chenchen, FENG Meiqin, SUN Jian, et al. Effect of functional starter culture on antioxidant and volatile compound in fermented sausages[J]. Food Science, 2019, 40(20): 106-113.
- [36] 赵佳莹, 唐善虎, 李思宁, 等. 香蕉花提取物对牦牛肉自然发酵香肠蛋白质氧化的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 90-99.
ZHAO Jiaying, TANG Shanhu, LI Sining, et al. Effect of banana flower extract on protein oxidation in naturally fermented yak meat sausage[J]. Food Science, 2023, 44(10): 90-99.
- [37] LASHGARI S S, NOOROLAH Z, SAHARI M A, et al. Improvement of oxidative stability and textural properties of fermented sausage via addition of pistachio hull extract[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(6): 2920-2928.
- [38] 马利华, 尤敦学. 金针菇的添加对香肠脂肪氧化及蛋白质氧化的影响[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2021, 36(2): 15-21.
MA Lihua, YOU Dunxue. Effect of *Flammulina velutipes* on oxidation and structure of traditional Chinese sausage[J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 2021, 36(2): 15-21.
- [39] 赵嘉楠. 发酵人参香肠理化特性及工艺研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
ZHAO Jianan. Physicochemical properties and processing technology of fermented ginseng sausage[D]. Changchun: Jilin University, 2021.
- [40] 王颖, 杜易潼, 薛婉玉, 等. 植物源性天然抗氧化剂的机理及其在食品保鲜中的应用[J]. 中国调味品, 2023, 48(1): 204-209.
WANG Ying, DU Yitong, XUE Wanyu, et al. Mechanism of natural plant-derived antioxidants and their application in food preservation[J]. China Condiment, 2023, 48(1): 204-209.
- [41] RODRIGUES A S, KUBOTA E H, DA SILVA C G, et al. Banana inflorescences: A cheap raw material with great potential to be used as a natural antioxidant in meat products[J]. Meat Science, 2020, 161: 107991.
- [42] 冯美琴, 张杰, 孙健. 模仿葡萄球菌接种对发酵香肠品质及氧化稳定性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 105-112.
FENG Meiqin, ZHANG Jie, SUN Jian. Effect of *Staphylococcus simulans* NJ201 inoculation on the quality and oxidative stability of fermented sausage[J]. Food Science, 2022, 43(4): 105-112.
- [43] RAMESH L, LATHA L B V, KUMAR MUKUNDA C. Identification and characterization of metal-chelating bioenhancer peptide derived from fermented *Citrus lanatus* seed milk[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(7): e14102.
- [44] 王琴, 李洪军, 杨莉, 等. 直投式商业发酵剂对发酵香肠品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(16): 103-111.
WANG Qin, LI Hongjun, YANG Li, et al. Effect of commercial direct vat set cultures on the quality of fermented sausages[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(16): 103-111.
- [45] 刘浩, 吴叶, 张建萍, 等. 混合菌辅助发酵羊肉香肠研制及产品品质分析[J]. 中国调味品, 2021, 46(9): 69-73.
LIU Hao, WU Ye, ZHANG Jianping, et al. Development and product quality analysis of mutton sausage assisted fermented by mixed bacterial[J]. China Condiment, 2021, 46(9): 69-73.
- [46] ZHU Y L, GUO L P, YANG Q L. Partial replacement of nitrite with a novel probiotic *Lactobacillus plantarum* on nitrate, color, biogenic amines and gel properties of Chinese fermented sausages[J]. Food Research International, 2020, 137: 109351.
- [47] 赵赛赛, 宁喜斌. 接种模仿葡萄球菌(*Staphylococcus simulans*) ZSJ6 和添加芹菜粉对发酵香肠中亚硝酸盐及生物胺含量的影响[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(12): 2944-2953.
ZHAO Saisai, NING Xibin. Effects of *Staphylococcus simulans* ZSJ6 inoculation and addition of celery powder on the contents of nitrite and biogenic amine in fermented sausage[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2023, 35(12): 2944-2953.
- [48] XIAO Y Q, LIU Y N, CHEN C G, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Staphylococcus xylosus* on flavour development and bacterial communities in Chinese dry fermented sausages[J]. Food Research International, 2020, 135: 109247.
- [49] 张亚琳, 陈福生. 微生物强化对西式发酵萨拉米香肠理化指标与挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(21): 213-218.
ZHANG Yalin, CHEN Fusheng. Microbes strengthened physicochemical indexes and volatile flavor components of salami, a western fermented sausage[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(21): 213-218.
- [50] PEDONESE F, TORRACCA B, MANCINI S, et al. Effect of a *Lactobacillus sakei* and *Staphylococcus xylosus* protective culture on *Listeria monocytogenes* growth and quality traits of Italian fresh sausage (salsiccia) stored at abusive temperature[J]. Italian Journal of Animal Science, 2020, 19(1): 1363-1374.
- [51] ZHU Y L, WANG P, GUO L P, et al. Effects of partial replacement of sodium nitrite with *Lactobacillus pentosus* inoculation on quality of fermented sausages[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(5): e13932.
- [52] 蓝天婵, 于冰, 孙京新, 等. 产黄青霉发酵鸭肉制品食用品质、微观结构及物理化学特性变化[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 36-43.
LAN Tianchan, YU Bing, SUN Jingxin, et al. Effect of fermentation with *Penicillium chrysogenum* on eating quality, microstructure and physicochemical properties of duck meat[J]. Food Science, 2020, 41(21): 36-43.
- [53] 刘功明, 孙京新, 李鹏, 等. 纳地青霉发酵对鸡肉质构、游离氨基酸及挥发性物质变化的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 289-295.
LIU Gongming, SUN Jingxin, LI Peng, et al. Texture, free amino acid content, and volatile compounds of chicken meat fermented by *Penicillium nalgiovense*[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(9): 289-295.
- [54] LEROY S, VERMASSEN A, RAS G, et al. Insight into the genome of *Staphylococcus xylosus*, a ubiquitous species well adapted to meat products[J]. Microorganisms, 2017, 5(3): 52.
- [55] SEMEDO-LEMSADDEK T, CARVALHO L, TEMPERA C, et al. Characterization and technological features of autochthonous coagulase-negative staphylococci as potential starters for Portuguese dry fermented sausages[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(5): M1197-M1202.
- [56] RAVYTS F, STEEN L, GOEMAERE O, et al. The application of staphylococci with flavour-generating potential is affected by acidification in fermented dry sausages[J]. Food Microbiology, 2010, 27(7): 945-954.
- [57] 刘玺, 宋照军, 王树宁, 等. 富硒发酵香肠的工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 471-474.
LIU Xi, SONG Zhaojun, WANG Shuning, et al. Investigation of processing techniques for selenium-enriched fermented sausages[J]. Food Science, 2009, 30(20): 471-474.
- [58] 杨贝, 张香美, 卢涵, 等. 肉用发酵菌株的筛选及其在低盐发酵香肠中的应用[J]. 中国酿造, 2022, 41(11): 102-107.
YANG Bei, ZHANG Xiangmei, LU Han, et al. Screening of strain for meat fermentation and its application in low-salt sausage fermentation[J]. China Brewing, 2022, 41(11): 102-107.
- [59] 冯美琴, 李天翔, 孙健. 复合发酵剂对发酵鱼肉香肠品质、风味及其多肽抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(24): 138-145.
FENG Meiqin, LI Tianxiang, SUN Jian. Effects of mixed-strain starter culture on quality, flavor and antioxidant activity of fermented fish sausage[J]. Food Science, 2023, 44(24): 138-145.