

改性血红蛋白替代亚硝酸钠对火腿肠品质的影响

曲树磊¹ 马超¹ 姚现琦² 杜东旭² 王伟² 刘云国¹

(1. 临沂大学生命科学学院, 山东 临沂 276000; 2. 临沂金锣文瑞食品有限公司, 山东 临沂 276000)

摘要: [目的] 提高猪血利用率和火腿肠的安全性。[方法] 在特定条件下对猪血中的血红蛋白进行改性, 制备糖基化亚硝基血红蛋白 (glycosylated nitrosohaemoglobin, GN-Hb), 将不同添加量的 GN-Hb 替代亚硝酸钠加入到经过高温杀菌的火腿肠中。通过质构测试、营养成分检测、色差、颜色可接受性、弹性、咀嚼性、总体可接受性评价等方式分析火腿肠的品质特性。[结果] 当亚硝酸钠添加量为 100 mg/kg, GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg 时, 与对照组相比, 新型色素高温杀菌火腿肠在色泽和内聚性方面得到显著改善, 且未产生其他物理化学方面的不利影响, 上市前质量检测各项指标均符合国家标准规定。[结论] 通过亚硝基化和糖基化将猪血红蛋白改性制成糖基化亚硝基血红蛋白并应用到火腿肠中, 可以部分替代亚硝酸钠在火腿肠中的发色和质地改善效果, 降低亚硝酸钠添加量, 提高猪血的附加值。

关键词: 猪血; 血红蛋白; 糖基化; 亚硝酸钠; 火腿肠

Effect of modified hemoglobin as a substitute for sodium nitrite on the quality of ham sausage

QU Shulei¹ MA Chao¹ YAO Xianqi² DU Dongxu² WANG Wei² LIU Yunguo¹

(1. College of Life Sciences, Linyi University, Linyi, Shandong 276000, China;

2. Linyi Jinluo Wenrui Food Co., Ltd., Linyi, Shandong 276000, China)

Abstract: [Objective] To improve the utilization rate of porcine blood and the safety of ham sausage. [Methods] Under specific conditions, hemoglobin in porcine blood is modified to produce glycosylated nitrosohaemoglobin (GN-Hb). Different amounts of GN-Hb are added to replace sodium nitrite in heat-treated ham sausages. The quality characteristics of the sausages are evaluated through texture analysis, nutritional testing, color difference assessment, color acceptability, elasticity, chewiness, and overall acceptability. [Results] When the sodium nitrite dosage is 100 mg/kg and the GN-Hb dosage is 2.5 g/kg, high-temperature sterilized ham sausage containing the new pigment shows significant improvement in color and cohesion compared with the control group, and no adverse effects on other physical and chemical aspects are observed. All quality indicators before marketing comply with national standards. [Conclusion] By nitrosation and glycosylation, porcine hemoglobin is modified to form glycosylated nitrosohemoglobin and applied to ham sausage, which can partially replace the effect of sodium nitrite in ham sausage on color development and texture improvement, reduce the amount of sodium nitrite added, and increase the added value of porcine blood.

Keywords: porcine blood; hemoglobin; glycosylation; sodium nitrite; ham sausage

随着人们健康意识的提高, 传统火腿肠中广泛使用的亚硝酸盐由于可能生成致癌亚硝胺而备受争议^[1]。中国作为世界上猪肉消费量最大的国家^[2], 每年都会因猪肉

的加工而产生大量副产物, 其中, 猪血占有较大比例。猪血富含蛋白质、碳水化合物、维生素、矿物质等多种营养物质, 但受其自身风味和性质的影响, 目前利用率较低,

基金项目: 山东省重点扶持区域引进急需紧缺人才项目 (编号: 鲁发改动能办[2024]658号)

通信作者: 马超 (1989—), 男, 临沂大学讲师, 博士。E-mail: machaofood@126.com

刘云国 (1977—), 男, 临沂大学教授, 博士。E-mail: yguoliu@163.com

收稿日期: 2025-05-25 **改回日期:** 2025-09-03

引用格式: 曲树磊, 马超, 姚现琦, 等. 改性血红蛋白替代亚硝酸钠对火腿肠品质的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(6): 163-169.

Citation: QU Shulei, MA Chao, YAO Xianqi, et al. Effect of modified hemoglobin as a substitute for sodium nitrite on the quality of ham sausage[J]. Food & Machinery, 2026, 42(6): 163-169.

若不经处理直接排放还会危害人体健康并造成环境污染^[3]。因为自身结构的特殊性,将血红蛋白添加到肉制品中能够起到发色、抗氧化、改善质地和口感的作用^[4],可以部分替代肉制品中的亚硝酸盐^[5]。

近年来,通过化学或酶促改性技术对猪血红蛋白进行功能化修饰,已成为提高其附加值的重要途径^[6]。其中,糖基化与亚硝基化联用可赋予血红蛋白优异的发色能力和抗氧化性能,有望替代或减少亚硝酸盐在火腿肠中的添加,降低健康风险,同时改善产品质构和风味^[7]。Salejda 等^[8]研究发现,亚硝基血红蛋白可以呈现出与亚硝基肌红蛋白相近的色泽,同时可以延缓脂肪氧化,为人体提供铁元素和优质蛋白质,在一定程度上代替亚硝酸钠。Ham 等^[9]研究发现,亚硝基血红蛋白在牛肉糜制品中可以形成与亚硝酸盐相似的粉红色,还可以提高肉制品颜色的稳定性,可用作加工肉制品中亚硝酸盐的替代品。但亚硝基血红蛋白容易氧化,受光照等环境因素影响较大,稳定性不够理想^[10]。若将单糖、寡糖或者多糖与蛋白质混合,基于美拉德反应实现糖基化,糖基的引入有助于亚硝基血红蛋白的溶解度、热稳定性和抗氧化性等的提升^[11]。

研究拟对猪血进行深加工提高其附加值,并用于火腿肠中替代部分亚硝酸钠,基于生产成本和贮藏运输的便利性考虑,选择以猪血红蛋白粉末为原料,在适合条件下充分溶解,并与亚硝酸钠和葡萄糖进行反应,将生成的糖基化亚硝基血红蛋白(glycosylated nitrosohaemoglobin, GN-Hb)加入到火腿肠中替代部分亚硝酸钠^[12]。测定火腿肠的颜色、硬度、咀嚼度等物理性质以及蛋白质、水分含量等化学性质,探究 GN-Hb 在火腿肠中部分代替亚硝酸钠的最佳添加比例,旨在为提高猪血利用率,减少火腿肠中亚硝酸钠添加量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪血红蛋白粉:肽爱生物科技(西安)有限公司;

猪四号精肉、原料肥膘/膘油、冰水:临沂金锣文瑞食品有限公司;

饱和硼砂:分析纯,天津市福晨化学试剂厂;

抗坏血酸、葡萄糖:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

亚铁氰化钾:分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;

乙酸锌:分析纯,天津市凯通化学试剂有限公司;

亚硝酸钠:分析纯,四川金山制药有限公司;

D-异抗坏血酸钠:分析纯,新拓洋生物工程有限公司;

食盐:营口蓝天盐业有限公司;

三聚磷酸钠:湖北兴发集团股份有限公司;

白砂糖:山东新星集团有限公司;

山梨酸钾:金能科技股份有限公司;

高效价乳酸链球菌素:浙江新银象生物有限公司;

白胡椒粉:临沂新程金锣肉制品集团有限公司;

肉味香膏:芬美意香料(中国)有限公司;

大豆分离蛋白:临沂山松生物制品有限公司;

玉米淀粉:潍坊盛泰药业有限公司;

直径 50 尼龙肠衣:天津市康泰塑料包装有限公司。

1.2 设备与仪器

绞肉机:JR-D120 型,河北汉普创制机械有限公司;

搅拌机:KJB-150 型,嘉兴市凯润机械制造有限公司;

滚揉机:GPA200 型,德国 Gunther 公司;

斩拌机:BZBJ-40 型,嘉兴艾博实业有限公司;

灌肠机:VF620 型,汉特曼机械贸易(上海)有限公司;

自动打卡封口机:GCF90 型,山东小康机械有限公司;

双光束紫外可见分光光度计:TU-1901 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

红外快速分析仪:Food Scan 2 lab 型,丹麦 FOSS 公司;

电子天平:ME2002 型,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;

色差仪:ZE7700 型,深圳市三恩驰科技有限公司;

质构仪:TA.TOUCH 型,上海保圣事业发展有限公司。

1.3 方法

1.3.1 GN-Hb 的制备 参照刘鹏雪等^[13]的方法并修改。称取 80 g 血红蛋白粉,用 440 mL 蒸馏水于 40 °C 下溶解,制备血红蛋白溶液。加入 1.8 g 抗坏血酸和 4 g 亚硝酸钠溶液($m_{\text{亚硝酸钠}}:m_{\text{水}}=1:4$),充分搅拌,35 °C 水浴 2.5 h,4 000 r/min 离心 5 min,除去下部沉淀,得到亚硝基血红蛋白溶液。加入 3 g 葡萄糖,60 °C 水浴 20 min,得到糖基化亚硝基血红蛋白溶液。

1.3.2 GN-Hb 火腿肠的制备 按基本火腿肠产品的配方[猪肉 60%,冰水 18%,玉米淀粉 8%,辅料(亚硝酸钠溶液、食盐、三聚磷酸钠、白砂糖、山梨酸钾、高效价乳酸链球菌素、D-异抗坏血酸钠、白胡椒粉、大豆分离蛋白、GN-Hb 溶液)14%]和工艺流程^[14]进行操作。

将处理好的原辅料按照一定顺序放入斩拌机中高速斩拌,转速为 1 000~2 000 r/min。一段时间后,将斩拌均匀的肉糜放入滚揉机中,真空滚揉 10 min,使用灌肠机灌入口径为 2 cm 的塑料肠衣中,尽量保证肉糜在肠衣中松紧度均匀,封口。先 60 °C 杀菌 30 min,再 90 °C 杀菌 1 h,冷却,得到成品。成品静置 48 h 后进行各项指标(质构、色

差、水分含量、蛋白质含量、脂肪含量、盐含量、亚硝酸钠残留量等)测定。

试验分组:亚硝酸钠添加量以瘦肉计为 150 mg/kg,不添加 GN-Hb (N1 组);亚硝酸钠添加量为 100 mg/kg,不添加 GN-Hb (N2 组);亚硝酸钠添加量为 100 mg/kg,GN-Hb 添加量为 2.0 g/kg (GN-1 组);亚硝酸钠添加量为 100 mg/kg,GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg (GN-2 组);亚硝酸钠添加量为 100 mg/kg,GN-Hb 添加量为 3.0 g/kg (GN-3 组)。

1.3.3 质构分析 将 5 组火腿肠切成边长为 1.5 cm 的均匀正方体,采用质构仪进行 TPA 测试。P/36 圆柱形探头,两次压缩,下压形变量 30%,测前速度 1 mm/s,测试速度 0.8 mm/s,测后速度 0.8 mm/s,两次压缩间隔时间 5 s。每组重复测 20 次,记录并分析硬度、咀嚼性、弹性、内聚性、黏附性及胶着性等数据^[15]。

1.3.4 颜色分析 将 5 组火腿肠切成 1.5 cm 厚度的片状,使用色差仪测定样品的 L^* 、 a^* 和 b^* 。用黑板和白板进行调零和校准,将处理好的样品铺满色差杯底部进行测试^[16]。测试时将每组样品按照同一方向旋转测定 3 次,记录各组数据。

1.3.5 理化指标测定 将 5 组火腿肠按顺序打碎成肉泥,用密封袋密封保存。将 5 组样品分别放入预热并校准好的红外快速分析仪样品盘中,按照仪器操作指南测定火腿肠的水分、盐、脂肪及蛋白质等含量。

1.3.6 亚硝酸钠残留量测定 称取 2~3 g 火腿肠肉泥,加入 12.5 mL 饱和硼砂溶液,用玻璃棒搅匀,用 70 °C 重蒸馏水将样品洗入 150 mL 容量瓶中,沸水浴 15 min。将加热好的样品边转动边加入 5 mL 亚铁氰化钾溶液,摇匀,加入 5 mL 乙酸锌溶液,沉淀蛋白质,定容,静置 30 min,除去上层脂肪,过滤,弃去初滤液 30 mL,每份样品收集 40 mL 滤液备用。按照双光束紫外可见分光光度计操作指南测定滤液中亚硝酸钠残留量。

1.3.7 感官评价 将每组样品切成 2.5 cm 厚的段状,随机编号,组织 20 名食品专业的老师和学生在品评室中进行品尝。感官评价采用 9 分制原则,评分指标包括颜色、咀嚼性、弹性和综合可接受性^[17],各指标占比分别为 0.3, 0.2, 0.2, 0.3。感官评价标准见表 1。

1.3.8 产品上市前质量检测 根据火腿肠的产品特点,参照 GB/T 20712—2022、GB 2760—2024、GB 2762—2022、GB 2726—2016、GB 29921—2021、整顿办函〔2011〕1 号的相关要求,将测试最优组样品送至具有 CMA 资质和 CNAS 资质的方圆检测认证公司,检测标准中要求的所有指标。

1.4 数据处理

每个指标测定设置 3 次重复,采用 Excel、Origin 2024 软件进行数据记录、统计分析及绘图,结果以 Mean±SD 表示,通过 Turkey 程序分析平均值之间的显著性差异

表 1 火腿肠感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for ham sausages		
项目	评分标准	评分
色泽	肠体呈色均匀,表面有光泽,具有产品应有的粉红色	7~9
	肠体整体呈色效果较好,但局部呈色不均匀或整体颜色较深或较浅	4~6
	肠体呈色不均匀,大部分颜色深浅不一	1~3
弹性	按压后回弹较迅速,咀嚼时比较紧实有韧性,无残留形变	7~9
	按压后部分回弹,咀嚼时弹性一般,形变明显但可以接受	4~6
	按压后回弹缓慢或不完全,咀嚼时松散或发硬	1~3
咀嚼性	咬断轻松但富有韧性,残留物细腻无渣感,口感较好	7~9
	咬断需明显用力,残留物有纤维感或胶粒,但可接受	4~6
	咬断困难或过于松散,拒绝后残留大块或粉状,口感粗糙或黏牙	1~3
综合可接受性	综合产品各项指标,对产品具有较强好感	7~9
	产品总体可以接受,但某些方面需要改进	4~6
	产品偏离预期,对产品好感度较低	1~3

($P<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 颜色分析

火腿肠中的粉红色是消费者选择购买时的一个重要考虑因素^[18]。由表 2 可知,在亮度方面,N1 组呈现最高值,GN-2 组呈现最低值;与对照组相比,3 个试验组的 L^* 值均显著降低($P<0.05$);在红度值方面,3 个试验组的 a^* 值均显著高于 N1 组和 N2 组($P<0.05$),其中 GN-2 组的 a^* 值显著高于其他两组($P<0.05$),与马利华等^[19]的研究结果一致。5 组的 b^* 值无显著性差异,表明 GN-Hb 的添加和亚硝酸钠的减少对 b^* 值无显著影响。因此,GN-Hb 的添加可以部分代替亚硝酸钠提高火腿肠的鲜红色,改善产

表 2 GN-Hb 添加量对火腿肠色泽的影响[†]

Table 2 Effect of different levels of GN-Hb on color of ham sausages			
样品	L^*	a^*	b^*
N1	67.53±0.53 ^b	9.06±0.11 ^c	13.90±0.13
N2	68.88±0.24 ^a	8.86±0.08 ^c	14.09±0.85
GN-1	64.64±0.07 ^c	10.12±0.12 ^b	13.65±0.04
GN-2	61.39±0.50 ^d	10.54±0.14 ^a	13.30±0.30
GN-3	61.41±0.65 ^d	10.06±0.10 ^b	13.76±0.23

[†] 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

品色泽,进而可能对消费者是否选择购买形成有利的影响^[20]。其中,GN-Hb添加量对火腿肠的色泽改善有显著作用,可能是因为添加有色物质可以影响火腿肠内部的颜色状态^[21]。随着 GN-Hb 添加量由 2.0 g/kg 升高到 2.5 g/kg, a^* 值呈上升趋势。当 GN-Hb 添加量为 3.0 g/kg 时, a^* 值又呈下降趋势,可能是 GN-Hb 含量过高,色素分子因分子聚集形成了更大的颗粒,导致光散射增强,或者过量的色素分子在火腿肠加工过程中从体系中析出,形成不均匀分布的沉淀,导致 a^* 值下降。综上,GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg 时,可以更好地替代亚硝酸钠改善火腿肠的色泽,进而提高对消费者的吸引力。

2.2 质构分析

质构特性与食品的物理性质、品质优劣有着密切关系,是评价食品品质的重要指标^[22]。由表 3 可知,在硬度、咀嚼性、胶着性和内聚性方面,GN-1 组与 N1 组和 N2 组之间均不存在显著差异($P<0.05$);GN-2 组与 N2 组之间在硬度和内聚性方面具有显著差异($P<0.05$),与 N1 组之间差异不显著,可能是因为 GN-Hb 中的蛋白质和葡萄糖进行糖基化反应形成的交联结构可以更好地稳定火腿肠中的脂肪,使油滴在火腿肠中分布均匀,硬度降低,内聚性升高^[23]。GN-3 组与 N1 组和 N2 组之间均不存在显著差

异。GN-1 组的硬度显著大于 GN-2 组,其内聚性显著小于 GN-2 组;GN-2 组的硬度、咀嚼性和胶着性与 GN-3 组之间不存在显著差异,胶着性和咀嚼性是依赖于硬度的二次特性,这 3 种特性具有相似的变化规律,与蛋白质含量有一定关系^[24]。但 GN-2 组的内聚性显著大于 GN-3 组;GN-1 组和 GN-3 组在这 4 个指标方面均不存在显著差异,说明除对照组外,在试验范围内添加不同量的 GN-Hb 对火腿肠的质构影响并不显著。3 个试验组在黏附性方面与 N1 组和 N2 组之间均无显著差异,而马利华等^[25]研究表明,火腿肠的黏附性可能与肉糜本身的凝胶特性相关联。试验条件下的火腿肠初始加热温度较低,有利于原料中蛋白质活性位点的暴露,从而具有更好的凝胶性能^[26]。采用 60℃ 灭菌 30 min 后再升高灭菌温度至 90℃,这种加热方法有助于肉糜中大分子基团解体,可能是对照组和试验组之间黏附性无显著性差异的原因。在弹性方面,GN-3 组相较于对照组和其他两个试验组显著降低($P<0.05$),其他 4 组之间无显著性差异。综上,添加 GN-Hb 有利于改善火腿肠的质地和口感,以其部分代替亚硝酸钠不会对火腿肠质构特性产生不利影响。当 GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg 时,添加 GN-Hb 对火腿肠的质构起着更优的作用。

表 3 GN-Hb 添加量对火腿肠质构特性的影响[†]

Table 3 Effect of different levels of GN-Hb on texture properties of ham sausages

样品	硬度/N	黏附性/(N·s)	弹性	咀嚼性/N	胶着性/N	内聚性
N1	12.23±1.34 ^{ab}	-0.53±0.20	0.87±0.02 ^{ab}	8.18±0.96	9.38±0.99	0.77±0.01 ^b
N2	12.66±0.89 ^a	-0.57±0.17	0.87±0.01 ^a	8.46±0.64	9.70±0.70	0.76±0.00 ^b
GN-1	12.66±0.92 ^a	-0.58±0.20	0.87±0.01 ^{ab}	8.44±0.62	9.68±0.69	0.76±0.01 ^b
GN-2	11.60±1.03 ^b	-0.49±0.12	0.87±0.03 ^{ab}	7.83±0.79	9.00±0.76	0.78±0.01 ^a
GN-3	12.10±1.00 ^{ab}	-0.54±0.16	0.86±0.02 ^b	7.92±0.71	9.22±0.75	0.76±0.01 ^b

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 理化指标分析

由表 4 可知,在水分和蛋白质含量方面,试验组与对照组无显著性差异,表明添加一定量的 GN-Hb(>2.0 g/kg)可以在降低亚硝酸钠添加量的同时保持水分和蛋白质含量稳定。在脂肪含量方面,GN-2 组和 GN-3 组相较于 N1 组均有显著下降,且 GN-2 组的含量最低,可能是因为添加 GN-Hb 可将小的脂肪颗粒分散得更加均匀,一部分脂肪以结合态存在,检测数值偏低^[27]。在盐分检测中,添加 GN-Hb 未显著降低盐分含量,且与 N1 组也不存在显著性差异,说明添加 GN-Hb 不会对火腿肠的盐分含量产生不良影响。

由表 5 可知,添加亚硝酸钠和 GN-Hb 对产品中亚硝酸钠残留量影响较大,且 5 组样品中亚硝酸钠残留量均符合国家标准(≤ 30 mg/kg)。N1 组的亚硝酸钠残留量最

表 4 火腿肠的水分、蛋白质、脂肪和盐分含量[†]

Table 4 Content of moisture, protein, fat, and salt in ham sausages g/100 g

样品	水分	蛋白质	脂肪	盐分
N1	68.75±0.23	12.61±0.11	9.31±0.12 ^a	2.64±0.09 ^a
N2	69.58±0.21	12.38±0.15	9.08±0.06 ^{ab}	2.14±0.17 ^b
GN-1	68.98±0.17	12.47±0.14	9.24±0.06 ^a	2.60±0.14 ^a
GN-2	69.45±0.20	12.57±0.10	8.50±0.05 ^c	2.68±0.07 ^a
GN-3	69.11±0.44	12.56±0.20	8.90±0.06 ^b	2.66±0.17 ^a

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

大,GN-3 组的最低。随着 GN-Hb 添加量的增加,火腿肠中亚硝酸钠的平均残留量升高,且各组之间差异显著,表明 GN-Hb 代替部分亚硝酸钠加入到火腿肠中,可以减少

表5 火腿肠中亚硝酸钠残留量

Table 5 Residual content of sodium nitrite in ham sausages

样品	亚硝酸钠残留量/(mg·kg ⁻¹)
N1	22
N2	15
GN-1	14
GN-2	16
GN-3	17

亚硝酸钠在产品中的含量,从而提高产品安全性,这与张红涛等^[28]的研究结果一致。

综上,添加 GN-Hb 可以代替部分亚硝酸钠在火腿肠中起作用,并不会对产品的水分、蛋白质、脂肪、盐含量产生不利影响。此外,添加 GN-Hb 也会对火腿肠的乳化性等物理性质产生影响,当 GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg 时,火腿肠的化学性质保持能力较好。

2.4 感官评价

由表 6 可知,在颜色方面,GN-2 组与其他各组差异显著($P<0.05$),其评分最高,N2 组的最小,表明单独减少亚硝酸钠会降低消费者对火腿肠颜色的好感^[29],但添加 GN-Hb 可以改善火腿肠的色泽,使其呈现出消费者喜爱的鲜红色。咀嚼度和弹性的评分变化与颜色的相似,表明 GN-2 组具有最大的咀嚼度评分和较好的弹性。

表6 不同处理组火腿肠的感官评价[†]

Table 6 Sensory evaluation of ham sausages with different treatments

样品	颜色	咀嚼度	弹性	综合可接受性
N1	6.25±0.85 ^b	5.65±0.99 ^b	6.00±0.86 ^{ab}	6.10±0.64 ^b
N2	5.15±0.88 ^c	4.85±0.75 ^c	5.50±0.89 ^{bc}	5.50±0.69 ^c
GN-1	6.40±0.60 ^b	6.15±0.67 ^b	5.85±0.63 ^{ab}	6.45±0.60 ^b
GN-2	7.65±0.75 ^a	7.10±0.64 ^a	6.38±0.49 ^a	7.80±0.62 ^a
GN-3	5.25±0.64 ^c	4.80±0.70 ^c	5.10±0.64 ^c	4.80±0.70 ^d

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

由图 1 可知,在综合可接受性方面,GN-1 组和 GN-2 组的总体评分显著高于 N2 组和 GN-3 组($P<0.05$),N1 组和 GN-1 组的无显著差异,与马晓庆等^[30]的研究结果一致。综上,GN-2 组在颜色、咀嚼度、弹性方面均获得相对较高的评价,总评分最高,说明 GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg 时,火腿肠具有较优的口感和质地。当 GN-Hb 添加量为 3.0 g/kg 时,火腿肠的颜色评分和总体可接受性较低,可能是过量添加 GN-Hb 使产品呈暗红色,不符合消费者对火腿肠鲜红色的需求^[31]。

2.5 产品上市前质量检测

检测结果表明,当 GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg 时,火腿

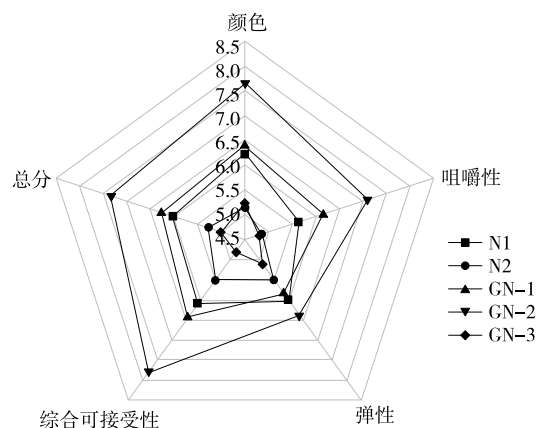


图1 火腿肠的感官特性评分

Figure 1 Scores of sensory attributes of ham sausages

肠的各项指标均符合 GB/T 20712—2022、GB 2760—2024、GB 2762—2022、GB 2726—2016、GB 29921—2021、整顿办函〔2011〕1 号的相关规定,在感官指标、理化指标、微生物指标等方面符合 GB/T 20712—2022 中的特级标准,特别是在减少亚硝酸钠残留和脂肪含量方面表现突出。因此,添加 2.5 g/kg 的 GN-Hb 可以代替部分亚硝酸钠在火腿肠中起到改善品质的作用,还可以降低火腿肠中亚硝酸钠残留量,进而提高产品安全性。

3 结论

采用猪血红蛋白粉末制备了兼具发色与功能特性的糖基化亚硝基血红蛋白(GN-Hb),并将其应用于火腿肠生产中。结果表明,当亚硝酸钠添加量从 150 mg/kg 减至 100 mg/kg,GN-Hb 添加量为 2.5 g/kg 时,火腿肠的红色、硬度、内聚性以及感官综合评分均与常规组无显著差异,且显著优于仅降低亚硝酸钠含量的对照组($P<0.05$)。添加 GN-Hb 不仅可改善火腿肠的粉红色泽和组织结构,还保持了产品的化学组成稳定性,且不会对脂肪、蛋白及盐含量造成不利影响。对于食品上市前的质量检测,添加 2.5 g/kg GN-Hb 的试验组也表现出对产品显著有利的影响。综上,GN-Hb 在火腿肠中具有部分替代亚硝酸盐的潜力,可兼顾安全性与品质提升。后续可进一步优化 GN-Hb 的制备工艺与纯化流程,并开展长期贮藏及消化稳定性评估。此外,将 GN-Hb 与其他天然护色或抗氧化物质协同使用,或可实现更低亚硝酸盐添加量,满足更加严格的食品安全标准。

参考文献

- [1] SHAKIL M H, TRISHA A T, RAHMAN M, et al. Nitrites in cured meats, health risk issues, alternatives to nitrites: a review [J]. Foods, 2022, 11(21): 3 355.
- [2] 邢彩云, 沈玥, 位正鹏, 等. 羧甲基纤维素钠和羟乙基纤维素对冷冻猪血豆腐品质的影响[J]. 肉类研究, 2022, 36(5): 37-41.

- XING C Y, SHEN Y, WEI Z P, et al. Effect of addition of carboxymethyl cellulose sodium or hydroxyethyl cellulose on the quality of frozen porcine blood curd[J]. Meat Research, 2022, 36(5): 37-41.
- [3] 吴金松, 徐美娟, 王晓芳, 等. 猪血中主要功能成分的制备、修饰及应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 218-224.
- WU J S, XU M J, WANG X F, et al. Research progress into the preparation, modification and application of the main functional components in porcine blood[J]. Food Research and Development, 2021, 42(12): 218-224.
- [4] 姚伦欢, 郝刚, 唐善虎, 等. 胰蛋白酶对猪血红蛋白酶解脱色条件优化[J]. 肉类研究, 2020, 34(10): 19-25.
- YAO L H, HAO G, TANG S H, et al. Optimization of conditions for decolorization of porcine hemoglobin by trypsin[J]. Meat Research, 2020, 34(10): 19-25.
- [5] 肖朝耿, 谭芦兰, 朱培培, 等. 糖基化酰基血红蛋白与甜菜粉对中式香肠品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(4): 161-168.
- XIAO C G, TAN L L, ZHU P P, et al. Effect of glycosylated acyl hemoglobin and beet powder on the quality of Chinese sausage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(4): 161-168.
- [6] 王中江, 郭亚男, 任双鹤, 等. 空化射流条件下大豆分离蛋白糖基化产物乳液特性研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(3): 423-431, 458.
- WANG Z J, GUO Y N, REN S H, et al. Effect of cavitation jet on emulsion characteristics of soy protein isolate glycosylation products[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(3): 423-431, 458.
- [7] 宋璇, 侯成立, 高远, 等. 血红蛋白及其衍生物在食品中的应用[J]. 中国食品学报, 2018, 18(7): 314-322.
- SONG X, HOU C L, GAO Y, et al. Application of hemoglobin and its derivatives in food[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(7): 314-322.
- [8] SALEJDA A M, NAWIRSKA-OLSZAŃSKA A, JANIEWICZ U, et al. Effects on quality properties of pork sausages enriched with sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)[J]. Journal of Food Quality, 2017, 2 017(1): 7123960.
- [9] HHM H, MA M H, JIN G F, et al. Nitroso-hemoglobin increased the color stability and inhibited the pathogenic bacteria in a minced beef model: a combined low-field NMR study[J]. Food Science of Animal Resources, 2019, 39(5): 704-724.
- [10] 张军, 王英平, 王建化. 糖基化亚硝基血红蛋白色素特性的研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(7): 151-153, 159.
- ZHANG J, WANG Y P, WANG J H. Study on the characteristics of glycosylated nitrosohemoglobin pigments[J]. China Condiment, 2019, 44(7): 151-153, 159.
- [11] 兰秋雨, 张清, 刘琳, 等. 蛋白质糖基化改性方法和产物验证方法研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 196-201.
- LAN Q Y, ZHANG Q, LIU L, et al. Research progress on the preparation and identification methods of proteins glycosylation[J]. Food & Machinery, 2019, 35(2): 196-201.
- [12] ZHOU Y, PETROVA S P, EDGAR K J. Chemical synthesis of polysaccharide-protein and polysaccharide-peptide conjugates: a review[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 274: 118662.
- [13] 刘鹏雪, 刘昊天, 张欢, 等. 糖基化亚硝基血红蛋白部分替代亚硝酸钠对哈尔滨风干肠质量的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 45-51.
- LIU P X, LIU H T, ZHANG H, et al. Effect of partial substitution of sodium nitrite with glycosylated nitrosohaemoglobin on quality of Harbin air-dried sausage[J]. Food Science, 2019, 40(16): 45-51.
- [14] 冯晓慧, 申智宇, 薛晓凌, 等. 石榴粉与茶多酚替代部分亚硝酸盐对菊粉火腿肠品质的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(10): 84-92.
- FENG X H, SHEN Z Y, XUE X L, et al. Effect of partial nitrite substitution by pomegranate powder and tea polyphenols on inulin ham sausage quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(10): 84-92.
- [15] YE Y M, ARIFUL I M, ZHU J Y, et al. Physicochemical characteristics, texture changes, proteolysis and volatile flavor compounds of fermented sausages by mixed starters: effects of incorporating varying proportions of pale, soft and exudative pork[J]. LWT-Food Science and Technology, 2025, 216: 117349.
- [16] 王颂博, 马传国, 司天雷, 等. 不同玉米油凝胶作为火腿肠中脂肪替代品[J]. 中国油脂, 2021, 46(7): 121-126.
- WANG S B, MA C G, SI T L, et al. Different corn oil gel as a substitute for ham sausage fat[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(7): 121-126.
- [17] ZHU L T, WU W B. Artificial neural network for determining the hedonic score of texture of and distinguishing different grades of ham sausages[J]. Food Science and Technology, 2020, 40(1): 46-54.
- [18] 赵明月, 于颖颖, 周浩然, 等. 新型肉制品护色技术研究进展[J]. 食品科技, 2024, 49(5): 91-97.
- ZHAO M Y, YU Y Y, ZHOU H R, et al. Research progress of new color protection technology in meat products[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(5): 91-97.
- [19] 马利华, 尤敦学, 李念. 动物血糖基化产物对香肠品质的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(5): 113-118.
- MA L H, YOU D X, LI N. Effect of glycosylated products of animal blood on quality of sausage[J]. China Condiment, 2020, 45(5): 113-118.
- [20] 王钊, 张雪, 陈紫蕴, 等. 天然红色素部分替代亚硝酸钠在牛肉制品中的研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 30-37.

- WANG Z, ZHANG X, CHEN Z Y, et al. Study on partial substitution of natural red pigment for sodium nitrite in beef products[J]. Food Research and Development, 2021, 42(12): 30-37.
- [21] 袁玲, 诸葛斌, 于司达, 等. 牡丹提取物及乳酸菌替代低温火腿肠中亚硝酸盐的研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 19-23, 67.
- YUAN L, ZHUGE B, YU S D, et al. Study on replacement of nitrite by peony extract and lactic acid bacteria in low-temperature emulsion sausage[J]. Food & Machinery, 2018, 34(9): 19-23, 67.
- [22] 薛山, 林靖娟. 菊苣多糖对蓝圆鲈鱼丸质构与贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2024, 40(9): 106-115.
- XUE S, LIN J J. Effect of chicory polysaccharide on the texture and storage quality of round scad fish ball[J]. Food & Machinery, 2024, 40(9): 106-115.
- [23] 吴素娟, 刘战民, 王兆明, 等. 食品加工对血红蛋白结构和功能特性影响的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 256-262.
- WU S J, LIU Z M, WANG Z M, et al. Recent progress on understanding the effect of food processing on structural and functional properties of hemoglobin[J]. Food Science, 2021, 42(21): 256-262.
- [24] FANG Q, SHI L F, REN Z Y, et al. Effects of emulsified lard and TGase on gel properties of threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) surimi[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 146: 111513.
- [25] 马利华, 尤敦学, 沈石星. 糖基化修饰对血红蛋白在肉制品中稳定性的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(4): 103-106.
- MA L H, YOU D X, SHEN S X. Effect on glycosylated modification on stability of hemoglobin in meat products[J]. China Condiment, 2020, 45(4): 103-106.
- [26] LEI Y C, ZHAO X, LI D, et al. Effects of κ -carrageenan and guar gum on the rheological properties and microstructure of phycocyanin gel[J]. Foods, 2022, 11(5): 734.
- [27] 朱林韬, 吴文标. 基于显微图像的测定值与火腿肠中蛋白质、脂肪、淀粉含量及感官评分间的相关性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 20-24.
- ZHU L T, WU W B. Study on correlation between content of protein, fat, starch and hedonic score of ham sausage and measurement based on microphotography[J]. Food & Machinery, 2019, 35(1): 20-24.
- [28] 张红涛, 李沛军, 孔保华, 等. 糖化亚硝基血红蛋白制备工艺的优化及在肉糜中的应用[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 94-97.
- ZHANG H T, LI P J, KONG B H, et al. Preparation of glycosylated nitrosyl hemoglobin and application in meat batter[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(12): 94-97.
- [29] 苟梦星, 段冰潮, 李瑞, 等. 肉制品中亚硝酸盐替代的研究现状及作用机制[J]. 食品科技, 2023, 48(5): 127-132.
- GOU M X, DUAN B C, LI R, et al. A review of the current research status and mechanism of nitrite substitution in meat products[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(5): 127-132.
- [30] 马晓庆, 刘洋, 孙杨赢, 等. 磷酸化亚硝基猪血红蛋白代替亚硝酸盐部分作用及其对乳化肠品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 46-52.
- MA X Q, LIU Y, SUN Y Y, et al. Effect of phosphorylated nitroso porcine hemoglobin as partial nitrite substitute on the quality of emulsified sausage[J]. Food Science, 2022, 43(4): 46-52.
- [31] 高雪琴, 刘燕, 冯春梅, 等. 复合蔬菜汁部分替代亚硝酸盐对鲜烧鸡保质期影响[J]. 中国调味品, 2024, 49(4): 96-103.
- GAO X Q, LIU Y, FENG C M, et al. Effect of partially replacing nitrite with composite vegetable juice on shelf life of fresh braised chicken[J]. China Condiment, 2024, 49(4): 96-103.