

大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠配方的响应面优化及品质分析

刘芯钥, 何晓叶, 韩迪, 张婧婕, 武美杉, 王靖*

(农业农村部食物与营养发展研究所 北京 100081)

摘要 以大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠为研究对象,探究大豆-乳清双蛋白粉、复配胶体、复合发酵菌种、复合发色菌种的添加量对萨拉米香肠的 pH 值、剪切力值、弹性、内聚性、黏附性、回复性、咀嚼性等指标的影响。根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理,选取大豆-乳清双蛋白粉比例、复合发酵菌种添加量、复配胶体添加量为主要探究因素进行三因素三水平试验设计,并以剪切力和感官评分为响应值建立二次多项回归模型,验证模型的有效性,优化大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的配方。结果表明,当大豆-乳清双蛋白添加量 10%(其中大豆分离蛋白与乳清分离蛋白质量比为 4:1)、复配胶体添加量 2.6%、复合发酵菌种添加量 0.11%、复合发色菌种添加量 0.07% 时,可以得到感官评分较高、剪切力较好的高品质发酵香肠。本研究有助于更好地了解双蛋白对肉制品的适用性及应用价值,并为发酵香肠的开发提供一个新的方向。

关键词 双蛋白; 发酵香肠; 配方优化; 品质分析

文章编号 1009-7848(2023)05-0162-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.05.017

双蛋白是以大豆蛋白等植物蛋白和以牛奶蛋白等动物蛋白为代表的天然优质动植物蛋白,按照营养量效关系和精准互作获得的食用蛋白源^[1]。研究表明由大豆分离蛋白(Soybean protein isolate, SPI)及乳清浓缩蛋白(Whey protein isolation, WPC)混合成的双蛋白含有多种人体必需氨基酸和多种矿物质,其营养价值非常接近标准的氨基酸模式,因而人体消化率可以达到 96%,具有很容易被人体吸收利用的特点^[2-4]。课题组前期动物功效评价实验显示,双蛋白在增加骨骼肌力量,促进支链氨基酸释放,增强抗疲劳能力等方面显著优于单一蛋白^[5-8]。

萨拉米香肠是一种以猪肉或牛肉为原料,利用微生物发酵作用生产的具有工艺考究、色香浓郁、风味独特且保质期较长等特点的干制西式发酵香肠^[9]。萨拉米香肠的食用品质主要包括感官品质、营养价值和安全性等^[10-12]。调查研究表明,消费者在挑选萨拉米香肠时,主要由主观感觉决定,即萨拉米香肠的感官品质,例如外观、质构和风味等^[13-15]。其中,质构品质是构成食品品质的重要因素,也是评价香肠的重要依据。影响香肠质构品质

的因素很多,如加工工艺条件、原辅料种类和含量等,其中产品的 pH 值、蛋白质和淀粉类物质的种类及添加量等对质构品质有较大影响^[16-18]。香肠质构特性以及评定方法的相关研究在香肠制品的新品开发、生产加工、贮运流通等过程中的品质控制方面具有重要的意义。

本试验以大豆-乳清蛋白为原料结合传统萨拉米香肠加工工艺,采用单因素实验,分析双蛋白粉及其它成分对双蛋白萨拉米香肠发酵过程的影响。以质构数据、产品感官评分等为指标,采取响应面法,利用 Design Expert 11 统计软件建立数学模型,确定最佳的复配胶体、复合发酵菌种、复合发色菌种的添加量及大豆-乳清双蛋白粉添加量和比例,以期为该类产品的开发提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 原料 猪肉采购于上海麦德龙超市嘉定商场店;大豆-乳清双蛋白粉,实验室自制,由大豆分离蛋白粉与乳清浓缩蛋白粉以特定的质量比混合而成;复配胶体 TSC-M 3392 由丹尼斯克(中国)有限公司提供。

1.1.2 辅料 五香粉采购于上海麦德龙超市嘉定商场店;白砂糖、浓缩果蔬汁-501、钙盐、葡萄糖、D-异抗坏血酸钠和三聚磷酸钠均由杜邦营养食品配料(北京)有限公司提供;复合发酵菌种

收稿日期: 2022-05-25

基金项目: 中国农业科学院创新工程项目(CAAS-ASTIP-2022-IFND)

第一作者: 刘芯钥,女,硕士

通信作者: 王靖 E-mail: wangjing07@caas.cn

Dupont TEXEL LHP 和复合发色菌种 Dupont TEXEL LT100 均由丹尼斯克(中国)有限公司提供。

1.2 仪器与设备

YSP01SQP 型分析天平,赛多利斯(上海)贸易有限公司;SECURA513-1CN 型电子精密天平,赛多利斯(上海)贸易有限公司;FWD114 型绞肉机,北京希诺德科技有限公司;AV50 型真空搅拌机,Roser Construcciones 公司;HL120 型搅拌机,上海锦雪冷设备有限公司;RY-22 型灌肠机,镇江洋诚

机械有限公司;LX13-8 型扎线机,omet 欧米特公司;SCC101 型高温蒸煮箱,RATIONAL 莱欣诺有限公司;iCINAC pH 监测系统,上海泽权仪器设备有限公司;TA.XT Plus C 型质构分析仪,北京微讯超技仪器技术有限公司。

1.3 方法

1.3.1 大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的制备

1.3.1.1 工艺流程 大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的制备工艺见图 1。

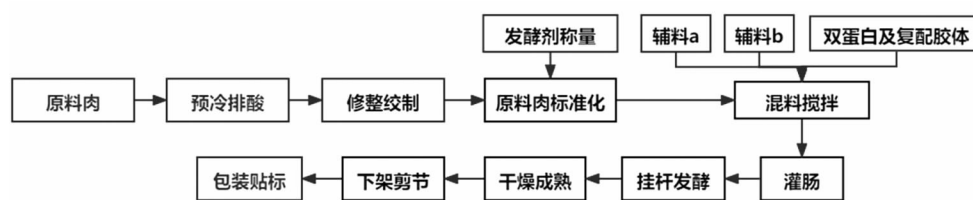


图 1 大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of soybean-whey dual-protein salami fermented sausage

1.3.1.2 操作要点

1) 原料肉及预冷排酸 猪后腿的脂肪应当控制在 10%~15%;无骨、毛、腱、鬃、异质肉或其它外来成分;在加工前保持 0~4 ℃。

2) 修整绞制 猪后腿肉肥瘦分开绞肉后进行混合真空搅拌,使原料肉肥瘦分布均匀。

3) 发酵剂称量及混合 将复合发酵菌种及复合发色菌种均匀分散在去离子水中形成菌种溶液,添加绞制好的猪后腿肉和所述菌种溶液到搅拌机中搅拌。

4) 混料搅拌 a. 添加复配胶体 TSC-M3392 和食用盐、浓缩果蔬汁、三聚磷酸钠、葡萄糖搅拌。b. 添加五香粉、白砂糖、异抗坏血酸钠、大豆-乳清双蛋白粉搅拌。

5) 灌肠 用 3~8 mm 孔板绞制肉馅,填充至胶原蛋白肠衣中。

6) 挂杆发酵 将灌肠后的香肠挂入架子车的挂杆上,并将架子车移入烟熏房进行热加工(pH<5,中心温度=73 ℃)。

7) 干燥成熟 将发酵后的香肠移至干燥间保持过夜,干燥到水分活度为 0.85 即可。

8) 下架剪节 将干燥好的香肠移入包装间,

并将发酵香肠串从挂杆上取下,在串节处剪切开成为单个发酵香肠。

9) 包装及贮藏 将剪节后的香肠及食品脱氧剂放入避光铝箔蒸煮袋中,半真空包装后,置于 68~72 ℃热水中浸泡 30~45 min,浸泡过后将成品置于低温条件下的储藏箱中储藏。

1.3.2 感官评分方法 以接受过食品感官评分训练的 10 位专业人士组成感官评分小组,对发酵香肠的色泽、肠衣易剥离度、肠体切面平滑度、发酵气味、弹性、硬度、酸味、发酵香味进行感官评分。发酵香肠感官评分方法见表 1。

1.3.3 pH 值监测方法 使用 iCINAC pH 值监测系统同时观测多个大豆-乳清萨拉米香肠的实时信息,包括 pH 值、温度、时间和氧化还原电位变化,监测样品酸化发酵情况。

1.3.4 质构数据测定 使用 TA.XT Plus C 质构分析仪对大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠进行质构分析(Texture profile analysis,TPA),测定指标见表 2,测定条件见表 3。

1.3.5 单因素实验设计

1.3.5.1 双蛋白添加量对萨拉米香肠 pH 值及质构指标的影响 选择大豆-乳清双蛋白添加量分

表1 大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠感官评分表

Table 1 Sensory score sheet of soybean-whey dual-protein salami sausage

项目	属性	详述	程度
外观(60)	色泽	观察样品色泽,评价色度深浅	色浅—色深
	肠衣易剥离度	体会肠衣剥离难易程度,观察肠衣表面洁净程度	难—易、有—无
	切面平滑度	切一段4 cm的香肠,观察切面平滑度	粗糙—平滑
气味(10)	发酵气味	将香肠凑近鼻子闻,评价发酵气味强弱	弱—强
质构(10)	弹性	捏住样品,来回挤压样品2~3次,感受样品弹性强弱	弱—强
	硬度	咀嚼样品2~3次,感受样品硬度强弱	弱—强
风味(20)	酸味	评价样品酸味强弱	弱—强
	发酵香味	咀嚼样品,感受口腔中发酵风味强弱	弱—强

表2 质构分析检测指标

Table 2 Test indicators of texture profile analysis

指标	含义	单位
咀嚼度	只用于描述固态测试样品,表示将固体样品咀嚼成吞咽时的稳定状态所需的能量,数值上用胶着性和弹性的乘积表示(硬度×内聚性×弹性)	力的单位或不使用单位
弹性	第2次压缩中所检测到的样品恢复高度和第1次的压缩变形量之比值	-
回复性	第1次压缩过程中返回时样品所释放的弹性能与压缩时探头的耗能之比,用面积的比值来表示	-
黏附性	第1次压缩曲线达到力量零点时,到第2次压缩曲线开始之间的曲线的负面积	力与时间的乘积,g·s
内聚性	第1次压缩变形后与第2次压缩变形后的相对抵抗能力,在曲线上表现为两次压缩所做正功之比	-
剪切力值	剪切力值是表示嫩度的1个指标,测试仪器的刀具切断被测肉体时所用的力,即测定的力的峰值	N

表3 质构测定参数设置

Table 3 Parameter setting of texture measurement

	剪切方法	压缩方法 I	压缩方法 II
测前速度/mm·s ⁻¹	1.5	2.0	2.0
测中速度/mm·s ⁻¹	1.5	5.0	5.0
测后速度/mm·s ⁻¹	10.0	10.0	10.0
下压距离/mm	20.0	25.0	25.0
两次下压间隔	-	5.0	5.0
负重/g或压力/N	100 N	20.0 g	20.0 g
探头类型	BSG blade	P10 10 mm	P50 50 mm
数据收集率	200	200	200
样品规格/mm	33.0/5.0(直径/高度)	33.0/5.0(直径/高度)	33.0/5.0(直径/高度)
环境温度/°C	25	25	25

别为4.00%、6.00%、8.00%、10.00%、12.00%，控制SPI与WPC的质量比为4:1、复合发酵菌种添加量为0.08%、复合发色菌种添加量为0.01%、复配

胶体添加量为2.00%。对大豆-乳清萨拉米香肠的pH值、剪切力值、弹性、内聚性、黏附性、回复性、咀嚼性进行检测。

1.3.5.2 复配胶体添加量对萨拉米香肠 pH 值及质构指标的影响 选择复配胶体加入量分别为 1.00%, 1.50%, 2.00%, 2.50%, 3.00%, 控制双蛋白添加量为 6.00%, 其它变量同 1.3.5.1 节。对大豆-乳清萨拉米香肠的 pH 值、剪切力值、弹性、内聚性、黏附性、回复性、咀嚼性进行检测。

1.3.5.3 复合发酵菌种添加量对萨拉米香肠 pH 值及质构指标的影响 选择复合发酵菌种添加量为 0.02%, 0.05%, 0.08%, 0.11%, 0.14%, 控制复配胶体添加量为 2.00%, 其它变量同 1.3.5.2 节。对大豆-乳清萨拉米香肠的 pH 值、剪切力值、弹性、内聚性、黏附性、回复性、咀嚼性进行检测。

1.3.5.4 复合发色菌种添加量对萨拉米香肠 pH 值及质构指标的影响 选择复合发色菌种添加量为 0.01%, 0.04%, 0.07%, 0.10%, 0.13%, 控制复合发酵菌种添加量为 0.08%, 其它变量同 1.3.5.3 节。对大豆-乳清萨拉米香肠的 pH 值、剪切力值、弹性、内聚性、黏附性、回复性、咀嚼性进行检测。

1.3.6 响应曲面试验设计 响应曲面试验设计通过软件 Design Expert 11 中的 Box-Behnken 程序实现, 以大豆-乳清双蛋白添加比例、复配胶体添加量和复合发酵菌种添加量 3 个因素作为自变量 (以 A、B、C 表示), 以感官评分作为响应值, 综合单因素实验结果, 确定各单因素的 3 个水平 (表 4)。模型通过最小二乘法拟合二次多项方程可表达为:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j$$

式中, $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}$ 和 β_{ij} 是回归系数; X_i 和 X_j 代表不同的自变量; Y 代表响应变量。

1.3.7 数据统计分析 试验数据采用 Microsoft Excel 2010 进行统计处理, 利用 Design Expert 11 统计分析软件对所得数据进行 ANOVA 分析, 不同平均值之间利用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果与分析

2.1.1 大豆-乳清双蛋白不同添加量对萨拉米香肠 pH 值和质构的影响 图 2 为随着发酵时间的延长大豆-乳清双蛋白添加量对萨拉米香肠 pH 值的影响结果。从图中可知, 在 4~10 h 内萨拉米香肠的 pH 值快速降低, 其中单一大豆蛋白萨拉

表 4 Box-Behnken 试验设计因子及编码值
Table 4 Box-Behnken experimental design factors and coding values

因素	水平		
	-1	0	1
大豆-乳清双蛋白比例(A)	3:2	3:1	9:1
发酵菌种添加量(B)/%	0.08	0.11	0.14
复配胶体添加量(C)/%	1.50	2.25	3.00

注:大豆-乳清双蛋白比例是指 SPI 与 WPC 的比例,大豆-乳清双蛋白整体的添加量为 10%。

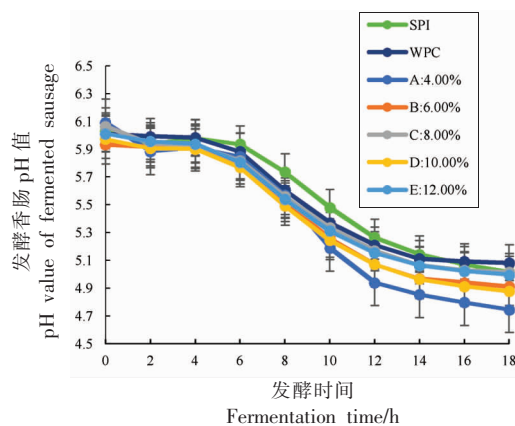


图 2 大豆-乳清双蛋白不同添加量对萨拉米香肠 pH 值的影响

Fig.2 Effect of different soybean-whey dual-protein addition amount on pH value of salami sausage

米香肠的 pH 值降低的速率相对于其它组较小, 随着大豆-乳清双蛋白添加量的增多, 发酵香肠的 pH 值下降速率增大。结合成本核算综合考虑发酵时间在 18 h 左右最为合理, 其中 4%~12% 大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠实验组在发酵 18 h 后 pH 值皆达到了 5.0 以下。从表 5 中可看出, 单一大豆蛋白萨拉米香肠的剪切力、黏附性及咀嚼性较大; 单一乳清蛋白的萨拉米香肠的剪切力、黏附性及咀嚼性相对于其它组较小; 随着双蛋白添加量的增多, 产品剪切力、黏附性及咀嚼性随之增大。当双蛋白添加量为 12% 时, 其加工性能受到影响, 同时具有较大的剪切力和咀嚼性, 较差的弹性、内聚性及回复性。萨拉米香肠是一类发酵干制香肠, 产品具有水分活度小, 咀嚼性、黏附性、内聚性好的特点。结合图 2 及表 5 的结果, 即双蛋白的最佳添加量在 10%~12% 之间。因此, 根据成本核算, 双蛋白的添加量选用 10%, 且对比 SPI 组香肠及 WPC

组香肠的质构特点,大豆蛋白的比例应高于乳清蛋白的比例,因此选择SPI:WPC为9:1,3:1,3:2

3个比例进行响应面优化。

表5 大豆-乳清双蛋白不同添加量对萨拉米香肠质构的影响

Table 5 Effects of different soybean-whey dual-protein addition amount on the texture of salami sausage

添加量/%	剪切力/N	弹性	内聚性	黏附性/g·s	回复性	咀嚼性
SPI	5.310 ± 0.110 ^f	0.849 ± 0.001 ^a	0.771 ± 0.030 ^a	10 737.140 ± 192.970 ^f	0.409 ± 0.022 ^b	10 093.180 ± 223.770 ^f
WPC	4.210 ± 0.240 ^a	0.942 ± 0.004 ^e	0.798 ± 0.004 ^b	5 754.430 ± 112.550 ^a	0.459 ± 0.004 ^f	5 416.340 ± 120.330 ^a
4.00	4.230 ± 0.110 ^b	0.916 ± 0.006 ^d	0.808 ± 0.001 ^c	7 224.780 ± 213.590 ^b	0.426 ± 0.005 ^e	6 831.580 ± 213.830 ^b
6.00	4.760 ± 0.250 ^d	0.904 ± 0.003 ^{cd}	0.813 ± 0.006 ^d	7 466.700 ± 395.260 ^c	0.419 ± 0.008 ^{cd}	7 049.710 ± 345.420 ^c
8.00	4.730 ± 0.150 ^d	0.898 ± 0.002 ^c	0.815 ± 0.005 ^d	8 292.490 ± 137.000 ^d	0.419 ± 0.006 ^{cd}	7 840.400 ± 93.750 ^c
10.00	4.840 ± 0.210 ^{cd}	0.892 ± 0.007 ^c	0.814 ± 0.018 ^d	9 219.390 ± 309.240 ^e	0.411 ± 0.014 ^c	8 648.470 ± 284.620 ^d
12.00	5.240 ± 0.210 ^e	0.849 ± 0.003 ^a	0.801 ± 0.003 ^{bc}	10 336.890 ± 326.070 ^f	0.386 ± 0.003 ^a	9 768.170 ± 337.63 ^e

注:数据为3次平行试验的平均值±标准差,不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 复配胶体不同添加量对双蛋白萨拉米香肠

pH值和质构的影响 复配胶体是由菊粉、燕麦粉及圆苞车前子粉混合而成,其富含膳食纤维、糖类及淀粉,可以起到提高发酵速度、赋予食品更多的营养物质及风味、降低产品的自由水含水量、加快发酵及干燥时间的作用^[19-21]。菊粉所形成的凝胶可增强香肠各组元间的作用力,当菊粉以粉末状加入肉制品会使香肠的剪切力及硬度增加^[22];燕麦粉可提高产品内聚性,赋予产品良好的弹性及多汁感,且燕麦粉含有大量抗氧化物质,加入香肠中达到防止香肠油脂氧化酸败的作用^[23];圆苞车前子粉^[24]可促进肉制品中油水乳化稳定性,改善产品的保油性,提高产品的弹性及回复性。从图3中可以看出,随着复配胶体的添加量变多,双蛋白萨拉米香肠pH值的下降速率变快,酸度变高。因此,复配胶体的添加量的增多有利于双蛋白萨拉米香肠的快速发酵。从表6可知,随着复配胶体添加量的增多双蛋白萨拉米香肠的内聚性呈现下降趋势;剪切力、黏附性及咀嚼性具有上升的趋势;弹性、回复性出现先上升后下降的趋势,复配胶体添加量为3.00%时回复性最小。当复配胶体添加量为1%时,可在一定程度上抑制了发酵香肠中发酵剂的生长繁殖,这与段艳等^[25]的研究一致。当复配胶体添加量为1.5%~2.5%时,复配胶体可以均匀分布在体系中,起到填充作用,增强香肠的剪切力、使香肠的弹性、咀嚼性上升,改善香肠的质构特性。然而,当复配胶体添加量增加至3.0%时,由于复配胶体强吸水性,阻碍了油水乳化,导致发酵

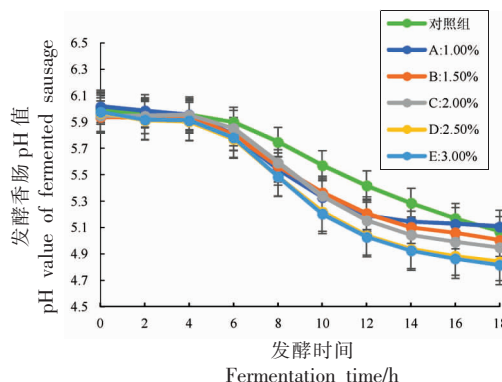


图3 复配胶体不同添加量对双蛋白萨拉米香肠pH值的影响

Fig.3 Effect of different addition amount of compound colloid on pH value of dual-protein salami sausage

香肠保油性保水性降低,弹性及回复性较差,产品得率损失。因此,选择复配胶体添加量为1.5%~3.0%这个数据范围进行响应拟合探究最佳取值。

2.1.3 复合发酵菌种不同添加量对双蛋白萨拉米

香肠pH值和质构的影响 复合发酵菌种是由乳酸片球菌和戊糖片球菌按照一定比例配制而成的发酵菌种。从图4中可以看出,随着复合发酵菌种添加量的增加,双蛋白萨拉米香肠的发酵速度整体呈现加快的趋势。原因是复合发酵剂有助于促进糖酵解进程和乳酸等有机酸积累,加速香肠酸化速率,快速降低香肠pH值并缩短香肠发酵周期^[26-27]。由表7可知,随着复合发酵菌种添加量的增多双蛋白萨拉米香肠的剪切力及咀嚼性随之增大,弹性随之减小,内聚性、黏附性指标呈现先上

表 6 复配胶体不同添加量对双蛋白萨拉米香肠质构的影响

Table 6 Effect of different amount of compound colloid on the texture of dual-protein salami sausage

添加量/%	剪切力/N	弹性	内聚性	黏附性/g·s	回复性	咀嚼性
对照组	4.830 ± 0.110 ^b	0.936 ± 0.002 ^a	0.824 ± 0.004 ^d	7 706.950 ± 464.990 ^b	0.437 ± 0.009 ^e	9 183.780 ± 374.203 ^b
1.00	4.600 ± 0.130 ^a	0.942 ± 0.004 ^{bc}	0.821 ± 0.005 ^{cd}	7 604.290 ± 144.190 ^a	0.436 ± 0.003 ^{bc}	8 950.660 ± 75.051 ^a
1.50	4.880 ± 0.250 ^b	0.946 ± 0.007 ^c	0.816 ± 0.002 ^e	7 729.290 ± 155.380 ^b	0.441 ± 0.003 ^c	9 471.985 ± 321.026 ^c
2.00	4.930 ± 0.110 ^c	0.949 ± 0.001 ^d	0.805 ± 0.001 ^b	7 814.560 ± 152.680 ^c	0.429 ± 0.005 ^{cd}	9 647.380 ± 69.703 ^d
2.50	4.940 ± 0.310 ^c	0.951 ± 0.001 ^{de}	0.807 ± 0.003 ^b	7 829.510 ± 139.430 ^c	0.421 ± 0.002 ^d	9 714.950 ± 241.074 ^{de}
3.00	5.020 ± 0.630 ^d	0.934 ± 0.003 ^a	0.793 ± 0.006 ^a	7 913.450 ± 604.460 ^d	0.393 ± 0.005 ^a	9 818.510 ± 46.805 ^e

注:数据为 3 次平行试验的平均值±标准差,不同字母代表差异显著(P<0.05)。

升后下降的趋势。0.02%和 0.05%两组因接种量较低,发酵 16 h 后 pH 值降至 5.3 以下,相对 0.08%~0.14%试验组存在发酵不充分、产酸速度较慢等,不能较好地确保安全性,并且发酵香肠缺乏固有的酸味。当接种量为 0.14%时,大量的乳酸菌产酸

使得 pH 值下降的过低,致使香肠酸味过于浓烈,同时双蛋白萨拉米香肠的弹性、内聚性指标相对于 0.08%及 0.11%组较差,因此接种量为 0.08%~0.14%较为合适,这与曹辰辰^[28]研究结果一致。

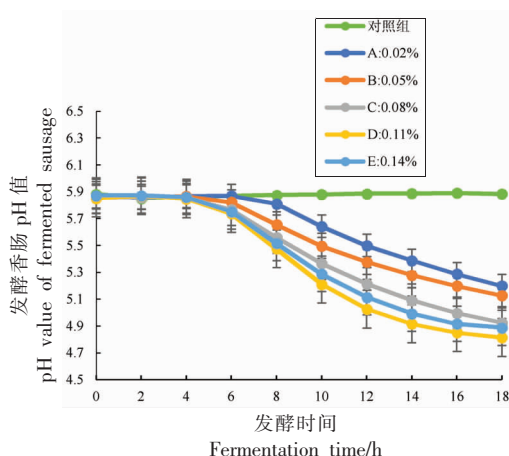


图 4 复合发酵菌种不同添加量对双蛋白萨拉米香肠 pH 值的影响

Fig.4 Effect of different compound fermentation strains on pH value of dual-protein salami sausage

表 7 复合发酵菌种不同添加量对双蛋白萨拉米香肠质构的影响

Table 7 Effect of different compound fermentation strains on the texture of dual-protein salami sausage

添加量/%	剪切力/N	弹性	内聚性	黏附性/g·s	回复性	咀嚼性
对照组	3.100 ± 0.140 ^a	0.939 ± 0.001 ^e	0.806 ± 0.012 ^a	6 336.000 ± 160.640 ^a	0.401 ± 0.009 ^a	7 823.510 ± 120.080 ^a
0.02	3.430 ± 0.140 ^b	0.933 ± 0.007 ^d	0.810 ± 0.002 ^b	6 853.540 ± 606.140 ^b	0.403 ± 0.003 ^a	8 008.310 ± 894.580 ^b
0.05	3.710 ± 0.080 ^c	0.931 ± 0.001 ^{cd}	0.812 ± 0.006 ^{bc}	6 876.730 ± 161.940 ^b	0.415 ± 0.003 ^b	8 108.280 ± 157.800 ^b
0.08	4.720 ± 0.180 ^d	0.928 ± 0.004 ^c	0.823 ± 0.002 ^c	7 886.460 ± 560.790 ^c	0.438 ± 0.007 ^c	8 785.410 ± 667.330 ^c
0.11	4.930 ± 0.210 ^{de}	0.919 ± 0.003 ^b	0.819 ± 0.040 ^c	8 054.210 ± 366.100 ^d	0.455 ± 0.034 ^d	9 989.890 ± 432.530 ^d
0.14	6.350 ± 0.130 ^f	0.910 ± 0.003 ^a	0.817 ± 0.004 ^c	7 931.991 ± 359.340 ^d	0.439 ± 0.002 ^c	10 014.720 ± 408.400 ^e

注:数据为 3 次平行试验的平均值±标准差,不同字母代表差异显著(P<0.05)。

2.1.4 复合发色菌种不同添加量对双蛋白萨拉米香肠 pH 值和质构的影响 复合发色菌种是用葡

萄球菌、小牛球菌及肉葡萄球菌按比例复配而成,其主要作用是起到发色保色的作用^[29]。从图 5 可

以看到,双蛋白萨拉米香肠的发酵速度呈现先加快后减慢的趋势,这是复合发酵菌种的作用结果,复合发色菌种添加量的增加对双蛋白萨拉米香肠的发酵速度无显著影响。由表8可知,复合发色菌种添加量的不同对双蛋白萨拉米香肠各质构指标亦无显著影响。空白对照组产品呈现暗沉棕色,表面无光泽;0.01%与0.04%两组产品色泽颜色呈白粉色;0.07%与0.10%两组产品瘦肉色泽颜色呈鲜艳的玫红色,脂肪呈乳白色,色彩分明,表面光泽性好;0.13%试验组产品色泽过深,整体呈现暗红色(如图6所示)。因此,结合成本核算综合考虑选择添加量0.07%为最佳添加量。

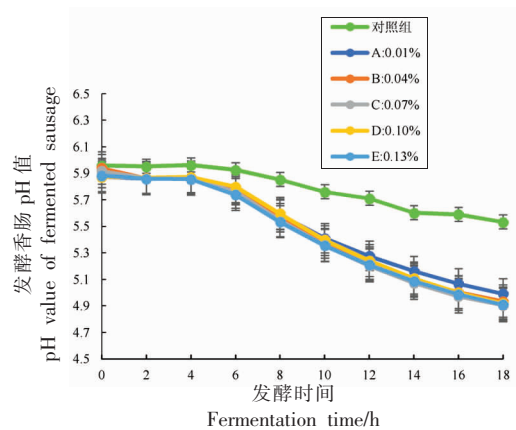


图5 复合发色菌种不同添加量对双蛋白萨拉米香肠 pH 值的影响

Fig.5 Effect of different compound chromogenic bacteria on pH of dual-protein salami sausage

表8 复合发色菌种不同添加量对双蛋白萨拉米香肠质构的影响

Table 8 Effect of different compound chromogenic bacteria on texture of dual-protein salami sausage

添加量/%	剪切力/N	弹性	内聚性	黏附性/g·s	回复性	咀嚼性
对照组	4.020 ± 0.630 ^d	0.950 ± 0.001 ^c	0.809 ± 0.002 ^a	8 320.640 ± 464.200 ^a	0.424 ± 0.001 ^a	9 992.280 ± 598.740 ^d
0.01	3.950 ± 0.110 ^c	0.948 ± 0.004 ^b	0.810 ± 0.003 ^a	8 370.520 ± 243.430 ^b	0.425 ± 0.003 ^a	9 986.410 ± 482.340 ^b
0.04	3.940 ± 0.020 ^c	0.949 ± 0.004 ^b	0.812 ± 0.004 ^a	8 413.080 ± 324.490 ^d	0.428 ± 0.004 ^b	9 899.730 ± 372.520 ^c
0.07	3.950 ± 0.350 ^c	0.949 ± 0.005 ^b	0.814 ± 0.005 ^b	8 394.630 ± 358.200 ^{bc}	0.430 ± 0.006 ^b	9 891.250 ± 294.560 ^b
0.10	3.740 ± 0.140 ^a	0.949 ± 0.005 ^b	0.814 ± 0.003 ^b	8 405.730 ± 379.850 ^c	0.430 ± 0.005 ^b	9 892.440 ± 481.920 ^b
0.13	3.730 ± 0.170 ^a	0.945 ± 0.009 ^a	0.813 ± 0.006 ^b	8 382.930 ± 232.880 ^b	0.426 ± 0.003 ^a	9 872.430 ± 334.020 ^a

注:数据为3次平行试验的平均值±标准差,不同字母代表差异显著(P<0.05)。

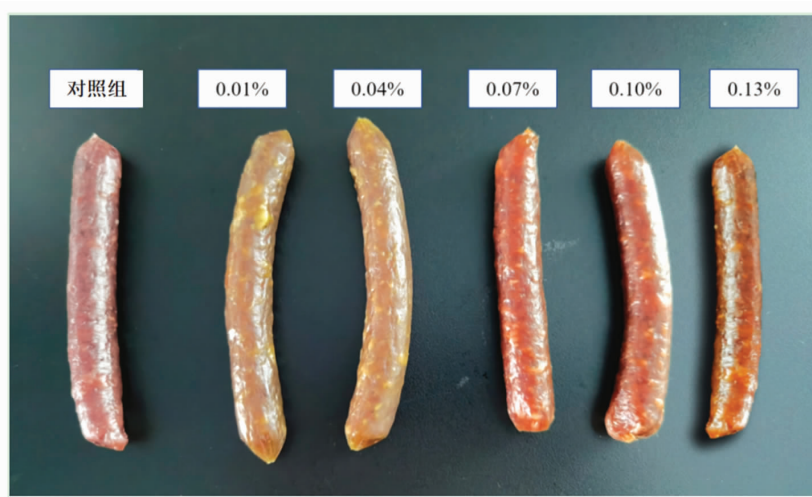


图6 复合发色菌种不同添加量对双蛋白萨拉米香肠外观的影响

Fig.6 Effect of different compound chromogenic bacteria on appearance of dual-protein salami sausage

2.2 响应曲面试验结果及分析

2.2.1 剪切力和感官评分试验结果 以剪切力和感官评分为响应值的试验结果见表9。

通过析因试验和中心试验,其中析因点为自变量取值A、B、C所构成的三维顶点,零点为区域的中心点,零点重复6次,用来估计试验误差。采

用 Design-Expert 11 软件对所得数据进行回归分析。

2.2.2 回归模型系数显著性检验及模型的建立

对表 9 中大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的剪切力进行多元回归分析, 回归模型系数的显著性检验结果见表 10。

表 9 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 9 Box-Behnken experimental design and results

试验次数	大豆-乳清双蛋白比例(A)	发酵菌种添加量(B)/%	复配胶体添加量(C)/%	Y ₁ (剪切力)/N	Y ₂ (感官评价)
1	3:2	0.08	1.50	3.80 ± 0.07 ^{cd}	87.99 ± 0.27 ^b
2	3:1	0.11	2.25	3.98 ± 0.18 ^e	87.95 ± 0.05 ^b
3	3:1	0.11	2.25	3.98 ± 0.23 ^e	87.95 ± 0.18 ^b
4	9:1	0.08	3.00	4.49 ± 0.02 ^b	83.44 ± 0.21 ^e
5	9:1	0.14	3.00	4.66 ± 0.20 ^a	83.14 ± 0.09 ^e
6	9:1	0.11	2.25	4.67 ± 0.09 ^a	84.56 ± 0.29 ^e
7	3:2	0.11	2.25	3.79 ± 0.28 ^{de}	87.90 ± 0.34 ^b
8	3:1	0.11	2.25	4.02 ± 0.15 ^e	87.95 ± 0.30 ^b
9	3:1	0.16	2.25	4.12 ± 0.07 ^{bc}	87.26 ± 0.16 ^b
10	3:1	0.11	2.25	4.01 ± 0.23 ^e	87.95 ± 0.24 ^b
11	3:2	0.14	3.00	3.71 ± 0.01 ^e	86.84 ± 0.06 ^d
12	3:1	0.11	2.25	3.99 ± 0.12 ^{cd}	87.95 ± 0.35 ^b
13	9:1	0.08	1.50	4.01 ± 0.03 ^e	84.57 ± 0.30 ^d
14	9:1	0.14	1.50	4.25 ± 0.04 ^b	87.69 ± 0.22 ^b
15	3:1	0.11	2.25	4.00 ± 0.18 ^e	87.95 ± 0.15 ^b
16	3:2	0.14	1.50	3.72 ± 0.25 ^e	87.25 ± 0.27 ^b
17	3:1	0.11	0.98	3.99 ± 0.32 ^e	91.77 ± 0.11 ^a
18	3:1	0.08	2.25	3.88 ± 0.11 ^e	87.14 ± 0.32 ^b
19	3:2	0.08	3.00	3.91 ± 0.07 ^{cd}	88.61 ± 0.14 ^{ab}
20	3:1	0.11	3.51	4.03 ± 0.09 ^e	86.20 ± 0.06 ^d

注:数据为 3 次平行试验的平均值±标准差,不同字母代表差异显著(P<0.05)。

表 10 剪切力回归方程的系数显著性检验

Table 10 Test of significance of regression coefficients of variance of shear force

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1.37	9	0.1519	27.46	< 0.0001	**
A	1.05	1	1.05	189.65	< 0.0001	**
B	0.0209	1	0.0209	3.77	0.0809	NS
C	0.0819	1	0.0819	14.80	0.0032	*
AB	0.0595	1	0.0595	10.76	0.0083	*
AC	0.0780	1	0.0780	14.10	0.0037	*
BC	0.0045	1	0.0045	0.8158	0.3876	NS
A ²	0.0974	1	0.0974	17.60	0.0018	*
B ²	0.0002	1	0.0002	0.0414	0.8428	NS
C ²	0.000028	1	0.000028	0.0005	0.9822	NS
残差	5.840	5	1.168			
失拟项	0.0540	5	0.0108	38.40	0.1092	**
纯误差	2.59	2	0.0133			
总计	1.84	14				
R ²	0.9981					
R _{Adj} ²	0.9953					
CV/%	2.03					

注:**表示影响极显著(P<0.01);*表示影响显著(P<0.05);NS表示无显著性作用(P>0.05)。

通过模型的显著性、失拟性检验结果、模型决定系数等可评定回归模型的精确度。由表 10 可知,本回归模型的显著性检验结果为极显著($P < 0.0001$);失拟项检验结果不显著($P = 0.1092$);模型的校正决定系数 R_{Adj}^2 为 0.9953,说明该模型能解释 99.53%响应值的变化。综上可得,该模型的拟合效果良好,试验误差小,可信度高^[30]。

回归模型中各个因素的显著性检验表明:一次项 A、C 对于结果影响极为显著,其显著性检验结果分别为 $P_A < 0.0001$ 和 $P_C = 0.0032$,一次项 B 对于结果影响不显著 $P_B = 0.0809$;交互项 AB、AC 影响显著 ($P_{AB} = 0.0083, P_{AC} = 0.0037$),BC 影响不显著 ($P_{BC} = 0.3876$);二次项 A^2 影响显著 ($P_A^2 = 0.0018$), B^2 、 C^2 影响不显著 ($P_B^2 = 0.8428, P_C^2 = 0.9822$)。以上结果表明各个因素对于响应值的影响都是非线性的。

2.2.3 回归模型的建立 利用 Design-Expert 11 软件对表 9 中的试验数据进行多元回归拟合,得到 A、B、C 与大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠剪切力(Y)的二次多项回归方程分别为:

$$Y = 7.098 - 0.79A - 9.724B - 0.435C + 1.917AB + 0.088AC - 1.056BC + 0.0379A^2 - 4.425B^2 - 0.0007C^2$$

从图 7 中可以看出,模型预测值与实验测定值相吻合,说明该模型拟合效果较好。

2.2.4 响应曲面分析

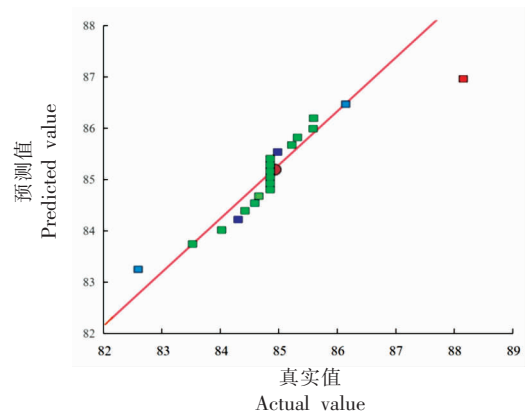


图 7 剪切力试验测定值与模型预测值之间的关系
Fig.7 Relation between actual value and model predicted value of shear force

2.2.4.1 大豆-乳清双蛋白比例与复合发酵菌种添加量对香肠剪切力的影响 图 8 为固定复配胶体添加量为 2.25%,大豆-乳清双蛋白比例与复合发酵菌种添加量对于双蛋白萨拉米香肠剪切力影响的二次拟合响应面图及等高线图。从近似圆的等高线可以断定大豆-乳清双蛋白比例与发酵菌种添加量对于双蛋白萨拉米香肠剪切力影响极显著,随着取值范围内大豆蛋白在双蛋白的占比的增多,剪切力呈现先上升后下降的趋势,复合发酵菌种添加量临界值也呈现上升趋势。在双蛋白比例为 8.088:1.912 时,出现最大值。

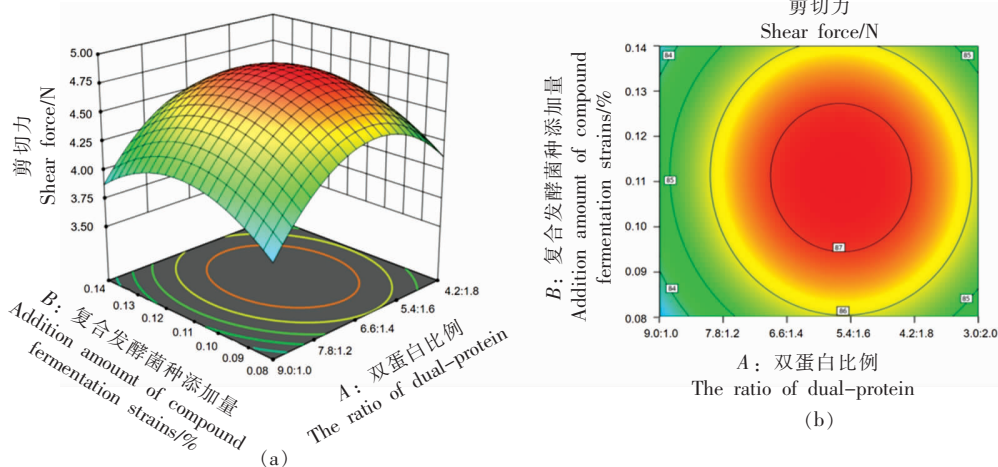


图 8 大豆-乳清双蛋白比例与复合发酵菌种添加量的响应面三维曲线面图和等高线图

Fig.8 Response surface and contour plot of ratio of soybean- whey dual-protein and the addition amount of compound fermentation strains

2.2.4.2 大豆-乳清双蛋白比例与复配胶体添加量对剪切力的影响 图 9 为固定复合发酵菌种添加量为 0.11%,大豆-乳清双蛋白比例与复配胶体添加量对于双蛋白萨拉米香肠剪切力影响的二次拟合响应面图及等高线图。从近似椭圆的等高线可以断定大豆-乳清双蛋白比例与复配胶体添加量对于双蛋白萨拉米香肠剪切力影响极显著,具体表现为剪切力随某一因素的增大呈先上升后下降的趋势。可能的原因是在一定的大豆-乳清双蛋

白比例及复配胶体添加量范围内,发酵作用降低香肠的 pH 值,降低到蛋白质等电点,而随着时间的延长,复配胶体在酸的作用下水解成为果糖,而表现出剪切力降低的趋势。双蛋白比例与复配胶体添加量之间的相互作用关系表现为:随着复配胶体添加量的增加,双蛋白比例的临界值不断下降。剪切力的临界值随复配胶体的增加呈先上升后下降的趋势,在复配胶体添加量为 2.4% 时有最大值。

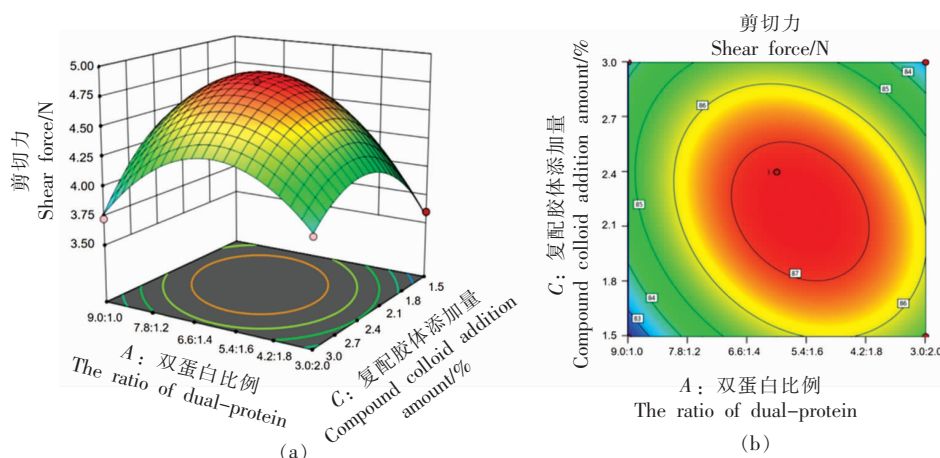


图 9 大豆-乳清双蛋白比例与复配胶体添加量的响应面三维曲面图和等高线图

Fig.9 Response surface and contour plot of ratio of soybean- whey dual-protein and compound colloid addition amount

2.2.5 验证试验及最优条件的确定 在大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠中,感官评分低于 65 分时,肉质就开始变软,脂肪有明显的酸败味,香肠会有不良酸味令消费者难接受。因此,在控制香肠感官评分大于 65 的同时,以追求香肠中剪切力最大值为目标,利用 Design-Expert 软件自带的结果优化程序对大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的配方进行优化得出最优添加量。该配方为大豆-乳清双蛋白的质量比为 8.088:1.912、复合发酵菌种添加量 0.11%、复配胶体添加量为 2.663%,此条件下制作出的大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的剪切力理论值达到最大为 4.33,感官评分高达 88.01。为检验响应曲面法的可靠性,采用该优化条件加工香肠依据实际生产稍微调整各指标为大豆-乳清双蛋白的质量比为 4:1、复合发酵菌种添加量为 0.11%、复配胶体添加量为 2.6%。测得的剪切力和感官评分分别为 4.3 和 88.5,因此采用响应曲面法优化得到的条件可靠,可应用于大豆-乳清双蛋

白萨拉米香肠的生产。

3 结论

本研究以大豆-乳清双蛋白粉为主要原料结合传统萨拉米香肠的生产工艺,在单因素实验的基础上用响应面法对大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的主要成分添加量进行了优化。结果表明,大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的发酵速度显著优于单一蛋白萨拉米香肠的发酵速度;大豆分离蛋白的加入能够抑制产品析油现象,乳清浓缩蛋白可以作为肉制品的乳化剂,使肉末和配料形成乳化体系。大豆-乳清双蛋白的加入使萨拉米香肠的剪切力、咀嚼性上升,稳定了产品的品质;复配胶体的加入提高了发酵速度,赋予食品更多的营养物质及风味,降低了产品的自由水含水量,加快了发酵及干燥时间。试验结果表明,大豆-乳清双蛋白萨拉米香肠的最佳配方为双蛋白添加量为 10% (SPI 与 WPC 质量比为 4:1)、复合发酵菌种添加

量为0.11%、复合发色菌种添加量为0.07%、复配胶体添加量为2.6%。

参 考 文 献

- [1] 谢晋. 双蛋白营养蛋糕的研制与营养分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
XIE J. The development and nutritional analysis of dual protein nutritional cake[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [2] 李傲辰. 大豆的主要营养成分及营养价值研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(23): 213-214, 218.
LI A C. Main nutritional components and values of soybean[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(23): 213-214, 218.
- [3] NIE X H, LIN S L, ZHANG Q L. Proteolytic characterisation in grass carp sausage inoculated with *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus pentosaceus* [J]. Food Chemistry, 2014, 145(2): 840-844.
- [4] 张鸿儒, 韩迪, 谢晋, 等. 大豆-牛奶双蛋白益生菌酸奶配方的确定及其营养分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 91-95.
ZHANG H R, HAN D, XIE J, et al. Formulation and nutritional analysis of soy-milk dual protein probiotic yogurt[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 91-95.
- [5] REN G X, ZHANG J J, LI M, et al. Protein blend ingestion before allogeneic stem cell transplantation improves protein-energy malnutrition in patients with leukemia[J]. Nutrition Research, 2017, 46(10): 68-77.
- [6] 王靖, 张婧婕, 韩迪, 等. 双蛋白营养干预促进肠-肝-脾轴免疫互作[J]. 中国食品学报, 2020, 20(9): 1-9.
WANG J, ZHANG J J, HAN D, et al. Dual protein nutritional intervention promotes immune interaction of intestine-liver-spleen axis [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(9): 1-9.
- [7] 武小亮. 双蛋白对转基因造血干细胞移植小鼠造血及免疫重建的功效评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
WU X L. Evaluation of the efficacy of double protein in hematopoietic and immune reconstitution of mice after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.
- [8] 任广旭, 伊素芹, 张鸿儒, 等. 动植物蛋白源协同增强 wistar 大鼠抗疲劳能力[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 65-69.
REN G X, YI S Q, ZHANG H R, et al. Effects of dual protein on anti-fatigue capacity during exercise of wistar rats[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(3): 65-69.
- [9] 刘英丽, 万真, 杨梓妍, 等. 乳酸菌对萨拉米香肠风味形成的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 273-282.
LIU Y L, WAN Z, YANG Z Y, et al. Research progress in understanding the contribution of lactic acid bacteria to flavor formation in salami: A review [J]. Food Science, 2020, 41(23): 273-282.
- [10] PISACANE V, CALLEGARI M L, PUGLISI E, et al. Microbial analyses of traditional Italian salami reveal microorganisms transfer from the natural casing to the meat matrix [J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 207(17): 57-65.
- [11] 袁冬雪, 殷永超, 常婧瑶, 等. 亲水胶体改善低脂乳化肉糜制品品质的研究进展[J/OL]. 食品工业科技, (2021-10-12)[2021-11-25]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=9-42U80qeFgMxJ4jUbfRNOSzWboBCDDR_sd3bCK5R02JcU6jnl675v15ESt0UwgI2SLBSWBeoM0l5w8BqGApKR8U4zDLpWbEzi0TLyM8y1hnhkJP9Jslgup7szH4VeYtlaa8AApLGeBs=&uniplatform=NZKPT&language=CHS&version=LYDG.
YUAN D X, YIN Y C, CHANG J Y, et al. Research development of the improvement of the quality of low-fat emulsified meat products by adding food hydrocolloids[J/OL]. Science and Technology of Food Industry, (2021-10-12)[2021-11-25]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=9-42U80qeFgMxJ4jUbfRNOSzWboBCDDR_sd3bCK5R02JcU6jnl675v15ESt0UwgI2SLBSWBeoM0l5w8BqGApKR8U4zDLpWbEzi0TLyM8y1hnhkJP9Jslgup7szH4VeYtlaa8AApLGeBs=&uniplatform=NZKPT&language=CHS&version=LYDG.
- [12] PAGLARINI C D S, MARTINI S, POLLONIO M A R. Using emulsion gels made with sonicated soy protein isolate dispersions to replace fat in frankfurters[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 99(6): 453-459.
- [13] GARCÍA -GARCÍA A B, LAMICHHANE S, CASTEJÓN D, et al. ¹H HR -MAS NMR -based

- metabolomics analysis for dry-fermented sausage characterization[J]. *Food Chemistry*, 2017, 240(3): 514-523.
- [14] 师文添, 孙玲玲, 李坤, 等. 茶风味低脂开菲尔发酵香肠的加工工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(15): 191-197.
- SHI W T, SUN L L, LI K, et al. Processes of low-fat kefir fermented sausage with tea flavor[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(15): 191-197.
- [15] FLORES M, OLIVARES A, NAVARRO J L. Characterization of volatile compounds responsible for the aroma in naturally fermented sausages by gas chromatography-olfactometry[J]. *Food Science and Technology International*, 2015, 21(2): 110-123.
- [16] PEREA-SANZ L, LÓPEZ-DÍEZ J J, BELLOCH C, et al. Counteracting the effect of reducing nitrate/nitrite levels on dry fermented sausage aroma by *Debaryomyces hansenii* inoculation[J]. *Meat Science*, 2020, 164(7): 103-108.
- [17] GE Q F, PEI H J, CHEN L, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* NJAU-01 from Jinhua ham on the quality of dry-cured fermented sausage-ScienceDirect[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 101(19): 513-518.
- [18] MAJOU D, CHRISTIEANS S. Mechanisms of the bactericidal effects of nitrate and nitrite in cured meats[J]. *Meat Science*, 2018, 145(11): 273.
- [19] FELISBERTO M, GALV O M, PICONE C, et al. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(1): 148-155.
- [20] ALEJANDRE M, POYATO C, ANSORENA D, et al. Linseed oil gelled emulsion: A successful fat replacer in dry fermented sausages[J]. *Meat Science*, 2016, 121(11): 107-113.
- [21] 周扬. 圆苞车前子壳粉对肌原纤维蛋白凝胶和乳化特性影响[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- ZHOU Y. Effects of psyllium husk powder on the gel and emulsifying properties of myofibrillar protein [D]. Chongqing: Southwest University, 2021.
- [22] ROBERT P, ZAMORANO M, GONZALEZ E, et al. Double emulsions with olive leaves extract as fat replacers in meat systems with high oxidative stability[J]. *Food Research International*, 2019, 120(6): 904-912.
- [23] 刘蒙佳, 周强, 许美纯, 等. 不同配料及发酵剂对发酵香肠品质特性的影响[J]. *中国调味品*, 2018, 43(1): 17-25.
- LIU M J, ZHOU Q, XU M C, et al. Effects of different ingredients and mixed culture starters on quality characteristics of fermented sausage[J]. *China Condiment*, 2018, 43(1): 17-25.
- [24] RIPOLLÉS S, CAMPAGNOL P C, ARMENTEROS M, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl, CaCl₂ and MgCl₂ on proteolysis, lipolysis and sensory properties during the manufacture of dry-cured lacón[J]. *Food Control*, 2015, 55(9): 90-96.
- [25] 段艳, 杨扬, 翟钰佳, 等. 燕麦粉及低聚果糖对发酵香肠品质特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(18): 92-98.
- DUAN Y, YANG Y, ZHAI Y J, et al. Effects of oat flour and oligosaccharide on characteristics of fermented sausage[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(18): 92-98.
- [26] 王德宝, 胡冠华, 苏日娜, 等. 发酵剂对羊肉香肠中蛋白、脂质代谢与风味物质的影响[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(3): 336-344.
- WANG D B, HU G H, SU R N, et al. Effects of artificial starter cultures on lipolysis, proteolysis and flavor formation in mutton sausages[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural*, 2019, 50(3): 336-344.
- [27] FLORES M, CORRAL S, CANO-GARCÍA L, et al. Yeast strains as potential aroma enhancers in dry fermented sausages[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2015, 212(21): 16-24.
- [28] 曹辰辰, 冯美琴, 孙健, 等. 响应面法优化益生发酵剂接种发酵香肠工艺[J]. *食品科学*, 2019, 40(6): 69-76.
- CAO C C, FENG M Q, SUN J, et al. Process optimization for the production of fermented sausages inoculated with probiotic starter cultures using response surface analysis[J]. *Food Science*, 2019, 40(6): 69-76.
- [29] SLIMA S B, KTARI N, TRIKI M, et al. Effects of probiotic strains, *Lactobacillus plantarum* TN8 and *Pediococcus acidilactici*, on microbiological and physico-chemical characteristics of beef sausages[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 92(36):

- 195–203.
- [30] ALMEIDA M A, PINTO A, RIBERIRO A, et al. Aldehyde concentration by SPME–HRGC/MS as a discriminating factor in salami formulations with low NaCl content correlated with sensory analysis [J]. *Meat Science*, 2016, 112(31): 126–127.

Formulation Optimization and Quality Analysis of Soybean–whey Dual–protein Salami Sausage

Liu Xinyue, He Xiaoye, Han Di, Zhang Jingjie, Wu Meishan, Wang Jing*

(*Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081*)

Abstract The effects of the addition of soybean–whey dual–protein powder, compound colloid, compound fermentation strain and compound chromogenic strain on the pH value, shear force, elasticity, cohesion, adhesion, resilience and chewiness of soybean–whey dual–protein salami sausage was explored in this paper. According to the design principle of Box–Behnken center combination experiment, the proportion of soybean–whey dual–protein powder, the addition amount of compound fermentation strain and compound colloid were selected as the main exploration factors for the three factor and three–level experimental design. And a quadratic multiple regression model was established with shear force and sensory score as the response values to verify the effectiveness of the model. The formula of dual–protein fermented sausage was optimized. The results showed that high–quality fermented sausage with high sensory score and good shear force could be obtained when the addition amount of dual–protein, compound colloid, fermentation strain, compound chromogenic strain was 10%, 2.6%, 0.11%, 0.07%, respectively, and the mass ratio of soybean protein isolate to whey protein isolation was 8:2. This study is helpful to better understand the applicability and application value of dual–protein to meat products, and provides a new direction for the development of fermented sausage.

Keywords dual–protein; fermented sausage; formulation optimization; quality analysis