

刘树萍, 冯爽, 陆家慧, 等. 黑豆豆腐替代脂肪对肉丸品质特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(8): 41-49. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070214

LIU Shupin, FENG Shuang, LU Jiahui, et al. Effect of Replacing Fat with Black Bean Tofu on Quality Characteristics of Meatballs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(8): 41-49. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070214

· 研究与探讨 ·

黑豆豆腐替代脂肪对肉丸品质特性的影响

刘树萍, 冯爽, 陆家慧, 苏晓文, 张佳美, 石长波
(哈尔滨商业大学旅游烹饪学院, 黑龙江哈尔滨 150028)

摘要: 本文将黑豆豆腐作为脂肪替代品应用于肉丸的生产中, 通过测定肉糜蒸煮损失及乳化稳定性、肉丸感官评价、基本成分、电子鼻、质构、色泽、出品率、pH、微观结构等指标, 研究黑豆豆腐添加量 (0、4%、8%、12%、16%、20%) 对肉丸品质特性的影响, 从而为低脂黑豆豆腐肉丸产品的开发提供可行性建议。结果表明: 与对照组相比, 肉糜的蒸煮损失率、水分损失率、脂肪损失率随着黑豆豆腐添加量的增加逐渐降低。当黑豆豆腐添加量为 12% 时, 肉丸感官评分最高, 整体可接受性最好。随着黑豆豆腐添加量的增加, 肉丸的脂肪含量逐渐降低, 蛋白质、水分、灰分含量增加; 肉丸硬度、咀嚼性逐渐增大, 弹性、胶黏性呈先增大后减小的趋势; L^* 值、 a^* 值逐渐减小, b^* 值增加, 出品率和 pH 呈先上升后下降的趋势。当黑豆豆腐添加量为 12% 时, 肉丸出品率最高, pH 最大。电子鼻主成分分析结果显示: 不同黑豆豆腐添加量的肉丸样品间气味存在明显差异。扫描电镜结果表明: 加入黑豆豆腐能明显提高肉丸内部结构的均匀性, 改善整体品质。因此, 12% 的黑豆豆腐添加量制作的肉丸综合品质最佳。

关键词: 低脂肉丸, 黑豆豆腐, 脂肪替代, 品质特性

中图分类号: TS251.51

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)08-0041-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070214

本文网刊:



Effect of Replacing Fat with Black Bean Tofu on Quality Characteristics of Meatballs

LIU Shupin, FENG Shuang, LU Jiahui, SU Xiaowen, ZHANG Jiamei, SHI Changbo

(College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: In this paper, black bean tofu was used as a fat substitute in the production of meatballs, by measuring the cooking loss and emulsion stability of meat paste, sensory evaluation of meatballs, basic components, electronic nose, texture, color, yield, pH, microstructure, etc. The effect of black bean tofu addition (0, 4%, 8%, 12%, 16%, 20%) on the quality characteristics of meatballs was studied to provide feasibility suggestions for the development of low-fat black bean tofu meatball products. The results showed that compared with the control group, the cooking loss rate, water loss rate, and fat loss rate of meat paste gradually decreased with the increasing of black bean tofu addition. When the black bean tofu was added at 12%, the meatballs had the highest sensory scores and the best overall acceptability. With the increasing in the amount of black bean tofu added, the fat content of the meatballs gradually decreased, and the protein, moisture, and ash content increased. The hardness and chewiness of meatballs gradually increased with the increasing of black bean tofu, while the elasticity and stickiness first increased and then decreased. Meanwhile, the L^* value and a^* value gradually decreased, and the b^* value increased, and the yield and pH showed a trend of first rising and then falling. When the black bean tofu was added at 12%, the yield and the pH of meatballs was the highest. The principal component analysis results of the electronic nose showed that there were significant differences in the smell of meatballs under different amount of black bean tofu. The results of the microstructure measurement showed that adding black bean tofu could significantly improve

收稿日期: 2021-07-19

基金项目: 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目 (PRKX201906); 2019 年度哈尔滨商业大学“青年创新人才”支持计划学术骨干项目 (2019CX18, 2019CX05); 黑龙江省科学基金项目 (LH2021B015); 黑龙江省博士后科研启动金 (LBH-Q15072)。

作者简介: 刘树萍 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 传统烹饪工业化, E-mail: liusp201@163.com。

the uniformity of microstructure and the overall quality of meatballs. Therefore, the overall quality of meatballs would be the best under the condition of 12% black bean tofu addition.

Key words: low-fat meatballs; black bean tofu; fat substitution; quality characteristics

肉丸作为传统的家常必备菜肴,历史悠久,因其食用方便、营养美味而深受人们喜爱。肉丸品种类型众多,主要以猪肉丸、鱼肉丸、鸡肉丸、羊肉丸、牛肉丸等形式存在^[1]。肉丸在制作过程中往往需要添加一定比例的脂肪,从而改善肉丸质地、口感,使肉丸更具独特风味,提高肉丸的可接受性^[2-3]。相反,减少或消除肉丸中脂肪含量可能会降低产品的接受度,不利于肉丸的感官品质和相关特性。然而,越来越多的研究表明脂肪与健康问题息息相关,过多的食用高脂肪含量的食品会增加患多种疾病的风险,如心血管疾病、肥胖、糖尿病等^[4-5]。猪肉中富含饱和脂肪,以其为原料制作的肉丸往往存在脂肪含量过高的问题,长期食用不利于人体健康。因此,降低肉丸中脂肪含量,开发相应低脂肉丸产品成为肉制品行业亟待解决的问题。为了改善肉丸品质,增强肉丸功能特性,降低脂肪含量,生产符合人体健康需求的低脂肉丸产品,许多独具功能性的物质被广泛应用在肉制品领域,如黑麦麸、豌豆纤维^[6]、小麦纤维^[7]、燕麦麸等,一系列的新型脂肪替代品应运而生。张根生等^[8]以马铃薯膳食纤维作为脂肪替代物生产低脂肉丸,在改善肉丸品质的同时达到了降低肉丸脂肪含量的目的。汪倩^[9]将燕麦麸添加到肉丸中替代部分脂肪开发低脂肉丸,研究不同燕麦麸添加量对肉丸相关品质的影响,从而为低脂燕麦麸猪肉丸的开发提供可行性建议。Aukkanit 等^[10]将玉米穗须加入到肉丸中进行低脂肉丸的开发,研究发现随着玉米穗须用量的增加,肉丸的水分含量降低,且添加玉米穗须会降低肉丸亮度值和出品率。Haluk 等^[11]将土豆泥和面包糠添加到肉丸中制作低脂肉丸,并测定了相关指标探讨肉丸品质的变化情况。黑豆富含多种对人体有益成分,如蛋白质、脂类、微量元素、花青素、多酚等^[12],具有丰富的营养价值和独特的保健作用,是制作豆腐的理想原料,但以黑豆豆腐为载体替代肉丸中脂肪的相关研究鲜有报道。

因此,本研究选取猪里脊肉为原料,并以一定比例的黑豆豆腐替代脂肪制作肉丸,研究黑豆豆腐添加量对肉丸品质特性的影响,探究其在不同条件下的变化规律,旨在为制备营养健康、品质优良的黑豆豆腐肉丸奠定基础,为低脂黑豆豆腐肉丸及相关产品的开发及加工提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

食用玉米淀粉、佐香园味精 辽宁帝华味精食品有限公司;白胡椒粉 江苏吉得利食品有限公司;精制低钠盐 中国盐业集团有限公司;料酒 镇江恒顺酒业有限责任公司;鲜鸡蛋 沈阳市田园山村绿

色生态农场;绵白糖 山东汇古糖业有限公司;黑豆

北京金禾绿源商贸有限公司(乌皮青仁豆);卤水豆腐凝固剂 安琪酵母股份有限公司;洋葱、生姜、猪里脊肉、猪背部脂肪 均购于哈尔滨世茂大道大润发超市;硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、无水乙醇、硫酸、浓盐酸、硼酸、石油醚、甲基红、溴甲酚绿、戊二醛、叔丁醇 均为分析纯,购于哈尔滨市南岗区百大实验室器具经销部。

SH220N 石墨消解仪、K9860 全自动凯氏定氮仪 山东海能科学仪器有限公司;S-3400N 扫描电子显微镜、ES-2030 冷冻干燥仪 日立科学系统有限公司;SZF-06A 索氏提取器 浙江托普仪器有限公司;BPG-9070A 精密鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;TA-XTPlus 物性测定仪 英国 SMS 公司;CM-600di 分光测色计 柯尼卡美能达办公系统(中国)有限公司;Inose 电子鼻 上海瑞玢国际贸易有限公司;FE28 pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;JD200-3 电子天平 沈阳天平仪器有限公司;HH-4 恒温水浴锅 上海力辰邦西仪器科技有限公司;HX-PB1058 料理机 佛山市海迅电器有限公司;H1850R 医用离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 黑豆豆腐制备

1.2.1.1 黑豆豆腐加工工艺流程 参考李刚凤等^[13]方法稍作修改:黑豆→筛选除杂→清洗→浸泡→磨浆→滤浆→煮浆→点浆→静置蹲脑→压制→成型→黑豆豆腐。

1.2.1.2 黑豆豆腐加工操作要点 黑豆预处理:选取颗粒饱满、新鲜无霉变的黑豆 200 g,用清水清洗干净,沥干水分后,加入黑豆干重 3 倍的水在室温下浸泡 8 h;磨浆:将经浸泡后的黑豆全部放入破壁机中,按照黑豆:水=1:8(g/mL)的比例混合磨浆;滤浆:将磨好的生豆浆倒入纱布中过滤,反复过滤 3 次,去除豆渣;煮浆:将过滤后的生豆浆倒入特定容器内,利用电磁炉加热煮制 10 min,豆浆煮沸后,继续煮制 1 min,同时去除豆浆因高温煮制产生的浮沫,待豆浆的温度保持在 95~100 ℃ 即可停止加热;点浆:煮制后的豆浆转移至特定容器中静置冷却,当豆浆的温度降至 78.8 ℃ 时,缓缓加入 3.06%(以黑豆干重计)的 $MgCl_2$ 凝固剂溶液 50 g,边冲浆边搅拌;静置蹲脑:将点浆后的豆浆置于恒温水浴锅中保温凝固 33 min;压制成型:将凝固的脑花倒入铺好纱布的模具内(14 cm×10 cm×9 cm),用纱布包好后在其上端放置 1.5 kg 重物压制 30 min 后,脱模即为制得的黑豆豆腐。

1.2.2 肉丸制备

1.2.2.1 肉丸加工工艺流程 猪里脊肉、猪肥膘、黑豆豆腐→预处理→绞肉→配料及调味→混合均匀斩拌→低温静置乳化→肉丸成型→煮制→冷却→成品。

1.2.2.2 肉丸加工操作要点 选取猪里脊肉 80 g、肥肉 20 g, 首先将瘦肉和肥肉清洗干净切成均匀的小块(3 cm×2 cm×1 cm), 然后将切好的肉块放入料理机中用高速档绞肉 2 次, 每次 1 min。根据肉重量的百分比, 即瘦肉 80 g、肥肉 20 g(共计 100 g), 依次加入其余非肉类成分, 蛋清 3%、料酒 2%、鲜洋葱 1.6%、鲜姜 1.2%、白糖 1.2%、味精 0.3%、白胡椒粉 0.3%、食盐 2.5%、淀粉 15.6%、水 17.8%, 将所有原料放入料理机中用低速档斩拌 2 次, 每次 1 min, 直到肉糜呈凝胶状, 然后依次加入 0、4%、8%、12%、16%、20% 的黑豆豆腐替代部分肥肉, 得到不同黑豆豆腐添加量条件下的 6 组肉丸样品。对于本实验肉丸, 黑豆豆腐是作为脂肪替代品加入到肉丸中的, 即加入一定量的黑豆豆腐则对应减少一定量的肥肉, 始终控制黑豆豆腐与肥肉总量占总肉重的 20%。将制作好的肉糜放置在 4 ℃ 冰箱中乳化 30 min 后, 手工制作成直径 2.5 cm、重量 20 g 的肉丸。

1.2.2.3 肉丸熟化 先将肉丸置于 85 ℃ 水浴中预煮 2 min 定型, 然后升温于 100 ℃ 水浴煮制 8 min, 待肉丸中心温度达到 85 ℃, 捞出后静置冷却 5 min 即为肉丸成品。

1.2.3 指标测定

1.2.3.1 基本成分的测定 参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》检测肉丸水分含量; 参照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》检测肉丸灰分含量; 参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》检测肉丸蛋白质含量; 参照 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》检测肉丸脂肪含量。

1.2.3.2 蒸煮损失和乳化稳定性的测定 参考杜方丽^[14] 和王亚娜^[15] 的方法测定肉糜的蒸煮损失和乳化稳定性并略作修改。在 50 mL 离心管中(重量 m_0) 中加入一定质量的肉糜, 称重记为 m_1 , 以 3000 r/min 转速离心 5 min, 然后在 70 ℃ 水浴条件下加热 30 min, 取出冷却, 再在 4000 r/min 速度下离心 10 min, 向烧杯(重量 m_2) 倒出游离出来的液体, 称量离心管和肉糜总重量 m_3 , 将收集到的液体置于 105 ℃ 下加热 8 h, 最后称量加热后的总重量 m_4 , 蒸煮损失率、水分损失率、脂肪损失率计算公式如下:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_0} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

$$\text{水分损失率}(\%) = \frac{m_1 + m_2 - m_3 - m_4}{m_1 - m_0} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

$$\text{脂肪损失率}(\%) = \frac{m_4 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

1.2.3.3 感官评价 以 10 位经过培训的烹饪专业人士组成感官评定小组, 对熟化肉丸分别从色泽、口感、滋气味、组织状态、总体可接受性 5 个方面对肉丸感官品质进行评定, 感官评分标准如表 1 所示:

1.2.3.4 电子鼻的测定 参考刘常园等^[16] 的方法对熟化后肉丸进行电子鼻分析并略作修改。称取 2.0 g 肉丸样品装入样品瓶中, 加盖密封, 平衡后测试。具体测试条件为: 传感器清洗时间 120 s, 样品间隔 5 s, 样品准备时间 10 s, 进样流量 1 L/min, 检测时间 60 s, 等待时间 10 s。

1.2.3.5 质构的测定 参考邓思杨等^[17] 的方法进行质构的测定, 并在此基础上进行适当修改。将冷却后的熟化肉丸切成 1 cm×1 cm×1 cm 的立方体, 采用质构仪 TPA 程序测定其硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性。采用 P50 探头, “2 次压缩”模式, 参数设置为 TPA 250 N, 回程距离 30 mm, 起始力 0.1 N, 测试速

表 1 黑豆豆腐肉丸感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation standard of black bean tofu meatballs

指标	评分标准	分值(分)
色泽	自然协调, 均匀一致	7~9
	自然协调性稍差, 稍有不均匀	4~6
	自然协调性较差, 完全不均匀	0~3
口感	咀嚼时爽口滑嫩有弹性, 细腻易嚼碎, 软硬适中	7~9
	咀嚼时稍有滑爽感, 弹性稍差, 比较软或不易嚼碎	4~6
	咀嚼时完全无滑爽感, 过软或过硬, 有明显渣感, 无韧性	0~3
滋气味	滋味鲜美, 咸淡适口, 浓郁的肉香与豆腐清香浑然一体, 无异味	7~9
	口味稍咸或稍淡, 肉香浓郁掩盖豆腐清香或豆腐味道过重掩盖肉香	4~6
	咸淡完全不适口, 无肉香或豆腐清香, 调味料味道过重, 稍有异味	0~3
组织状态	指压不裂开, 迅速恢复原状, 切面致密均一, 气孔细小均匀	7~9
	指压不裂开, 较快恢复原状, 切面较均一, 略有稍大气孔	4~6
	指压表面会破裂, 切面粗糙, 气孔较大, 分布不均匀	0~3
总体可接受性	可接受性高	7~9
	可接受性适中	4~6
	可接受性低	0~3

率 60 mm/s, 压缩形变量 40%。

1.2.3.6 色泽的测定 参考邹金等^[18]的方法, 并略作修改。将熟化后肉丸切成厚度为 1 cm 的薄片, 使用全自动色差仪测色(以 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值表示), 其中 L^* 值越大则表明肉丸越亮, 反之越暗。 a^* 值越大则表明肉丸越红, 反之越绿。 b^* 值越大则表明肉丸越黄, 反之越蓝。每次测定前进行白板校正, 每组样品重复 3 次, 结果取平均值。

1.2.3.7 出品率的测定 出品率测定参照程佳等^[19]方法, 记录肉丸熟化前质量(m_1)和成品质量(m_2), 黑豆豆腐肉丸出品率的计算公式如下:

$$\text{出品率}(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{式 (4)}$$

1.2.3.8 pH 的测定 参照张典等^[20]的方法对熟化肉丸的 pH 进行测定并稍作修改。取 3 g 熟化后肉丸, 切碎后加入 30 mL 蒸馏水, 使用均质仪均质 30 s, 静置 5 min, 测定其 pH, 每组进行 3 次平行实验, 取平均值。

1.2.3.9 微观结构的测定 参考计红芳等^[21]的方法测定熟化后肉丸微观结构并作适当修改。具体测量方法如下: 将样品用双面刀片切成 2×5 mm 的小条, 加入 2.5% 戊二醛(pH=6.8)固定并置于 4 ℃ 冰箱中固定 1.5 h 以上; 然后用 0.1 mol 磷酸缓冲液(pH=6.8)冲洗 3 次, 每次 10 min; 分别用浓度为 50%、70%、90% 的乙醇进行脱水各一次, 每次 10 min, 100% 乙醇脱水 2 次, 每次 10 min; 然后用 100% 乙醇: 叔丁醇=1:1, 纯叔丁醇置换各一次, 每次 15 min; 将样品放入-20 ℃ 冰箱冷冻室 30 min, 放入 ES-2030 (HITACHI)型冷冻干燥仪对样品进行干燥 4 h, 将样品观察面朝上, 用导电胶带粘在扫描电镜样品台上, 用离子溅射镀膜仪在样品表面镀上一层 100~150 Å 的金属膜, 最后将样品放入样品盒中待检。

1.3 数据处理

采用 Origin 8.0 软件绘图, 运用 IBM SPSS Statistics 23 软件进行数据统计及显著性分析, 不同小写字母表示差异达到 $P<0.05$ 水平, 每组实验重复 3 次, 结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 黑豆豆腐添加量对肉丸基本成分的影响

表 2 列举了不同黑豆豆腐添加量条件下肉丸的

水分含量、蛋白质含量、脂肪含量以及灰分含量的变化情况。由表 2 可知, 与对照组相比, 随着黑豆豆腐添加量的增大, 肉丸的脂肪含量显著下降($P<0.05$), 当黑豆豆腐添加量为 20% 时, 肉丸脂肪含量最低, 为 9.29%, 说明加入黑豆豆腐替代脂肪能够有效降低肉丸的脂肪含量。随着黑豆豆腐添加量的增加, 肉丸水分含量和蛋白质含量逐渐增大, 当黑豆豆腐添加量为 16% 和 20% 时, 肉丸水分含量和蛋白质含量相比对照组显著增大($P<0.05$), 其余条件下肉丸样品组蛋白质含量虽略有升高但差异不显著($P>0.05$)。蛋白质含量的增加可能与非肉蛋白成分(大豆蛋白)有关, 对照组为不添加黑豆豆腐的肉丸, 此时蛋白质主要来源于原料中的肉类成分, 而豆腐中含有丰富的大豆蛋白, 是优质蛋白质的来源, 随着黑豆豆腐添加量的增加, 非肉蛋白成分的增加使肉丸的蛋白质含量增大^[22-24]。此外, 肉丸的灰分含量随着黑豆豆腐添加量的增加而增大, 豆腐中富含矿物质, 能够提供多种对人体有益的微量成分。因此, 黑豆豆腐添加到肉丸中替代一定比例的脂肪可以有效降低肉丸脂肪含量, 提高蛋白质、水分以及灰分含量, 提高肉丸营养价值, 改善肉丸整体品质。

2.2 黑豆豆腐添加量对肉糜蒸煮损失和乳化稳定性的影响

蒸煮损失和乳化稳定性是衡量肉丸品质和感官质量的重要指标, 其中, 蒸煮损失与加热过程中水分或脂肪结合能力有关, 乳化稳定性能够在一定程度上表征肉丸中蛋白质结合水分和脂肪的能力, 从而对肉丸的多汁性、营养价值和固有风味产生影响^[25-26]。由表 3 可知, 与对照组相比, 随着黑豆豆腐添加量的增加, 肉糜的蒸煮损失率、水分损失率明显降低。对比 4% 和 8% 黑豆豆腐添加量条件下的肉糜样品, 其各项指标均无显著差异($P>0.05$), 添加 20% 黑豆豆腐条件下的肉糜蒸煮损失率、水分损失率和脂肪损失率最低, 这可能是由于黑豆豆腐和肉中蛋白质微粒在斩拌过程中充分混合, 在后续加热过程中蛋白质与蛋白质之间发生相互作用, 形成更加致密稳定的三维网状结构, 增强了肉丸的热稳定性^[27]。当黑豆豆腐添加量达到或超过 12% 时肉糜脂肪损失率与对照组相比差异显著($P<0.05$), 当黑豆豆腐添加量为 20% 时, 相比对照组, 肉糜水分/脂肪损失比显著降低

表 2 黑豆豆腐添加量对肉丸基本成分的影响

Table 2 Effect of black bean tofu addition on basic components of meatballs

黑豆豆腐添加量(%)	水分含量(%)	蛋白质含量(%)	脂肪含量(%)	灰分含量(%)
0	62.47±0.87 ^d	11.06±0.39 ^b	31.42±0.62 ^a	1.68±0.28 ^c
4	63.51±0.21 ^d	11.34±0.57 ^{ab}	24.23±1.30 ^b	1.72±0.41 ^c
8	65.31±0.66 ^c	11.72±0.19 ^{ab}	20.86±1.25 ^c	1.72±0.24 ^c
12	66.22±0.75 ^c	11.98±0.43 ^{ab}	17.20±1.18 ^d	1.94±0.19 ^{bc}
16	71.22±0.64 ^b	12.20±0.65 ^a	12.25±1.36 ^e	2.47±0.26 ^{ab}
20	73.93±0.89 ^a	12.40±0.70 ^a	9.29±0.55 ^f	2.62±0.21 ^a

注: 所示的数值为三次重复的平均值±标准差, 同一列中小写字母不同表示样品间差异显著($P<0.05$); 表3~表6同。

表 3 黑豆豆腐添加量对肉糜蒸煮损失和乳化稳定性的影响

黑豆豆腐添加量(%)	蒸煮损失率(%)	水分损失率(%)	脂肪损失率(%)	水分/脂肪损失比(%/%)
0	3.97±0.79 ^a	3.58±0.72 ^a	0.39±0.07 ^a	10.40±0.82 ^a
4	2.75±0.31 ^b	2.48±0.28 ^b	0.26±0.02 ^{ab}	9.86±1.19 ^a
8	2.61±0.54 ^b	2.37±0.48 ^b	0.24±0.07 ^{ab}	9.36±0.28 ^{ab}
12	1.96±0.40 ^c	1.78±0.36 ^{bc}	0.17±0.05 ^{bc}	9.27±0.27 ^{ab}
16	1.53±0.40 ^{cd}	1.38±0.36 ^{cd}	0.16±0.04 ^{bc}	8.83±0.10 ^{ab}
20	0.86±0.52 ^d	0.76±0.48 ^d	0.09±0.04 ^c	7.82±1.34 ^b

($P<0.05$)。这可能是由于黑豆豆腐的添加改善了肉糜的持水性和持油性,并在很大程度上促进了水分和油滴在肉丸三维空间结构中的稳定,从而导致了肉丸的硬度增加。由此可见,黑豆豆腐的添加能够降低肉糜加热过程中的蒸煮损失,提高肉糜的乳化稳定性,从而改善肉丸的整体品质。

2.3 黑豆豆腐添加量对肉丸风味的影响

电子鼻主成分分析是将所提取的传感器多指标的信息进行数据转换和降维处理的一种分析方法,主成分贡献率越大,说明电子鼻越能较好地反映样品整体信息,一般总贡献率大于 85% 时说明区分有效,能够较好地反映样品全部特征^[28]。图 1 显示了不同黑豆豆腐添加量条件下肉丸电子鼻主成分分析结果,由图 1 可知,第一主成分贡献率为 99.3%,第二主成分贡献率为 0.3%,累计贡献率达到 99.6%,其中 DI 值为 97.1%,说明模型有效,不同条件下肉丸的气味之间存在差异。由图 1 可知,对照组肉丸(黑豆豆腐添加量 0%)在第一主成分相较于添加黑豆豆腐的其余各样品组分布较远,说明添加黑豆豆腐对肉丸气味产生一定影响,从而在一定程度上改善肉丸的风味特征,而 4% 和 8% 黑豆豆腐添加量条件下的样品之间分布区域较近,样品组气味差异较小,16% 和 20% 黑豆豆腐添加量条件下的样品分布在相同区域,说明其整体风味接近。

2.4 黑豆豆腐添加量对肉丸质构的影响

表 4 列举了不同黑豆豆腐添加量条件下肉丸的质构变化情况。由表 4 可知,硬度、咀嚼性随着黑豆豆腐添加量的增加逐渐上升,弹性、胶黏性呈先上升后下降的趋势。与对照组相比,黑豆豆腐添加量为 4% 和 8% 时肉丸的硬度、弹性和胶黏性无显著差异($P>0.05$),12%、16%、20% 黑豆豆腐添加量条件下肉丸的硬度和咀嚼性显著高于其他条件下的肉丸样

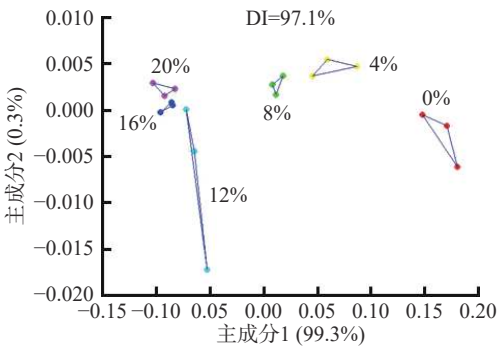


图 1 黑豆豆腐添加量对肉丸 PCA 的影响

Fig.1 Effect of black bean tofu addition on PCA of meatballs

品($P<0.05$)。肉丸的结构特性与其中的蛋白质、基质蛋白含量和非肉类成分密切相关,当黑豆豆腐添加量为 16% 和 20% 时肉丸的硬度和咀嚼性较高,这可能是因为过高的黑豆豆腐添加量提高了肉丸蛋白质含量,致使肉丸在煮制过程中蛋白质充分变性,形成更稳定结构,改善肉丸的硬度和咀嚼性^[29]。就弹性和胶黏性而言,相比对照组,添加黑豆豆腐对肉丸弹性无显著影响($P>0.05$),当黑豆豆腐添加量为 12% 和 16% 时,相比对照组,肉丸的胶黏性显著增大($P<0.05$)。质构分析结果表明:当黑豆豆腐添加量达到 12% 时能够在一定程度上改善肉丸品质,提高其质构特性。

2.5 黑豆豆腐添加量对肉丸色泽的影响

色泽作为评价食品品质的重要感官指标,在一定程度上能够反映食品的整体品质,影响其可接受性^[30],表 5 列举了不同黑豆豆腐添加量条件下肉丸 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值变化。由表 5 可知,添加黑豆豆腐的肉丸与对照组相比能够显著降低 L^* 值、 a^* 值($P<0.05$)。随着黑豆豆腐添加量的增大,肉丸的 L^* 、 a^* 值逐渐减小, b^* 值逐渐增大,4% 黑豆豆腐添加量条件下肉丸的 b^* 值与对照组相比无显著差异($P>0.05$),当添加

表 4 黑豆豆腐添加量对肉丸 TPA 的影响

黑豆豆腐添加量(%)	硬度(N)	弹性(mm)	胶黏性(N)	咀嚼性(mJ)
0	21.95±1.14 ^c	4.87±0.27 ^{ab}	14.81±1.39 ^b	71.63±2.77 ^d
4	22.16±0.98 ^c	4.96±0.08 ^{ab}	15.03±2.03 ^b	78.43±2.84 ^d
8	22.26±1.26 ^c	4.97±0.15 ^{ab}	16.15±1.43 ^b	86.37±2.19 ^c
12	27.66±1.09 ^b	5.22±0.02 ^a	20.92±2.45 ^a	94.73±2.11 ^b
16	31.15±1.70 ^{ab}	4.83±0.08 ^b	22.29±2.38 ^a	103.90±3.65 ^a
20	31.53±3.36 ^a	4.70±0.28 ^b	18.77±2.06 ^{ab}	110.47±3.31 ^a

表 5 黑豆豆腐添加量对肉丸色泽的影响

Table 5 Effect of black bean tofu addition on the color of meatballs

黑豆豆腐添加量(%)	L^*	a^*	b^*
0	73.13±0.46 ^a	0.33±0.04 ^a	13.58±0.28 ^d
4	71.72±0.47 ^b	-0.29±0.13 ^b	14.18±0.17 ^{cd}
8	69.46±0.09 ^c	-0.75±0.06 ^{bc}	15.30±0.96 ^{bc}
12	69.24±0.08 ^c	-1.03±0.19 ^{bc}	15.94±0.34 ^{ab}
16	68.92±0.22 ^c	-1.09±0.17 ^c	16.05±0.51 ^{ab}
20	68.19±0.16 ^d	-1.18±0.61 ^c	17.29±0.64 ^a

量超过 4% 以后,肉丸 b^* 值相比对照组显著增大 ($P<0.05$),可能是由于黑豆豆腐本身的颜色对肉丸色泽产生影响,随着黑豆豆腐添加量的增加,亮度值、红度值降低,黄度值增加,肉丸更显暗沉。

2.6 黑豆豆腐添加量对肉丸出品率的影响

由图 2 可知,黑豆豆腐添加量对肉丸出品率影响不显著 ($P>0.05$)。肉丸的出品率随着黑豆豆腐添加量的增大呈现先升高后降低的趋势,相比对照组,黑豆豆腐的添加提高了肉丸的出品率 ($P>0.05$)。当黑豆豆腐添加量为 12% 时肉丸的出品率最高,此时出品率达到 96.55%,若进一步增大黑豆豆腐添加量,则会导致肉丸的出品率下降。

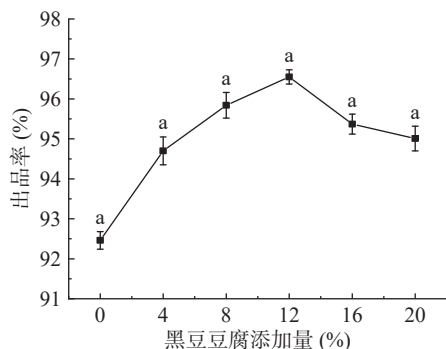


图 2 黑豆豆腐添加量对肉丸出品率的影响

Fig.2 Effect of black bean tofu addition on the yield of meatballs

2.7 黑豆豆腐添加量对肉丸 pH 的影响

由图 3 可知,与对照组相比,添加黑豆豆腐使肉丸的 pH 显著增大 ($P<0.05$),肉丸的 pH 随着黑豆豆腐添加量的增大呈现先升高后降低的趋势。不同黑豆豆腐添加量条件下肉丸 pH 在 6.62~6.93 之间,当黑豆豆腐添加量为 12% 时,肉丸的 pH 最大,且与 8%

和 16% 黑豆豆腐添加量条件下的肉丸相比 pH 无显著差异 ($P>0.05$)。这可能是因为黑豆中存在多酚类化合物^[12],添加了黑豆豆腐的肉丸在一定程度上抑制了脂肪的酸败,因此提高了 pH。但同时黑豆豆腐的添加提高了肉丸的水分含量,因此过多的添加可能促进了微生物的生长,从而导致 pH 降低。

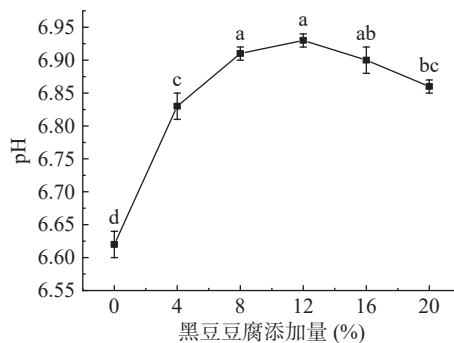


图 3 黑豆豆腐添加量对肉丸 pH 的影响

Fig.3 Effect of black bean tofu addition on the pH of meatballs

2.8 黑豆豆腐添加量对肉丸微观结构的影响

图 4 为不同黑豆豆腐添加量条件下肉丸的扫描电镜图片,每个条件下的肉丸样品分别在放大倍数 100 倍和放大倍数 1000 倍条件下观测。由图 4 可以看出,对照组肉丸(黑豆豆腐添加量 0%)表面疏松多孔,结构松散粗糙,此时肉丸内部凝胶网络结构不够细致紧密,孔径不均匀且形成了较多且相对较大的腔室结构^[31-32]。随着黑豆豆腐添加量的增大,肉丸表面观结构有所改善,整体变得均匀细腻,其内部凝胶网络结构也随之变得更加致密。当黑豆豆腐添加量为 12% 时,此时肉丸表面观结构相对均匀,表面略有孔洞,内部的凝胶网络相互缠绕交联程度较高且均匀致密。20% 黑豆豆腐添加量条件下的肉丸表面平坦,表面观结构最为细密均匀,此时肉丸内部形成的凝胶网络较粗。扫描电镜结果表明:添加黑豆豆腐能够明显改善肉丸结构的均匀性,使肉丸表面观结构变得细腻平整,同时使肉丸内部凝胶网络相互交联程度增强,有利于改善肉丸的整体结构。

2.9 黑豆豆腐添加量对肉丸感官品质的影响

由表 6 可知,肉丸色泽评分随着黑豆豆腐添加量的增加逐渐降低,其余各项指标评分均呈现先升高后降低的趋势。当黑豆豆腐添加量为 4% 时,相比于对照组,肉丸色泽评分差异不显著 ($P>0.05$)。适宜

表 6 黑豆豆腐添加量对肉丸感官品质的影响(分)

Table 6 Effect of black bean tofu addition on the sensory quality of meatballs(score)

黑豆豆腐添加量(%)	色泽	口感	滋味	组织状态	总体可接受性
0	8.32±0.11 ^a	6.66±0.12 ^d	7.01±0.10 ^d	6.24±0.20 ^d	7.36±0.10 ^d
4	8.10±0.08 ^a	7.41±0.11 ^c	7.30±0.17 ^c	6.92±0.14 ^c	7.87±0.14 ^c
8	7.74±0.12 ^b	7.90±0.19 ^b	7.88±0.07 ^b	7.75±0.24 ^b	8.30±0.11 ^b
12	7.48±0.06 ^b	8.63±0.09 ^a	8.50±0.25 ^a	8.56±0.13 ^a	8.75±0.15 ^a
16	7.02±0.13 ^c	7.67±0.18 ^{bc}	7.60±0.08 ^b	8.34±0.06 ^a	8.22±0.06 ^b
20	6.47±0.15 ^d	6.73±0.22 ^d	6.92±0.12 ^d	8.01±0.10 ^b	7.25±0.09 ^d

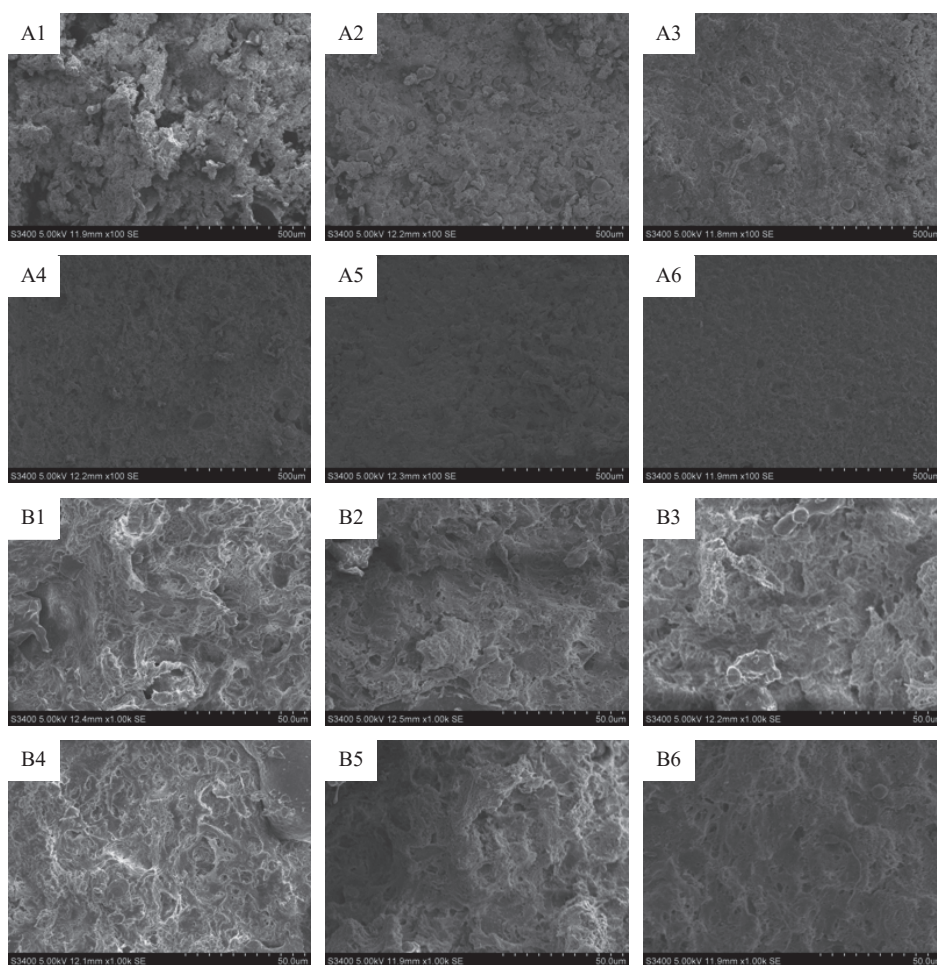


图 4 黑豆豆腐添加量对肉丸微观结构的影响

Fig.4 Effect of black bean tofu addition on the microstructure of meatballs

注: A 为放大 100 倍, B 为放大 1000 倍; 1: 黑豆豆腐添加量 0%; 2: 黑豆豆腐添加量 4%; 3: 黑豆豆腐添加量 8%; 4: 黑豆豆腐添加量 12%; 5: 黑豆豆腐添加量 16%; 6: 黑豆豆腐添加量 20%。

的黑豆豆腐添加量对肉丸口感和组织状态有积极影响, 对于改善肉丸的滋味和气味有积极作用。与对照组相比, 12% 黑豆豆腐添加量条件下的肉丸在口感、滋气味、组织状态和整体可接受性方面的得分均显著增大 ($P < 0.05$), 感官评分最高达到 41.92 分, 肉丸整体感官品质最佳。若继续增加黑豆豆腐添加量, 肉丸的相应指标评分逐渐降低, 当黑豆豆腐添加量为 20% 时, 肉丸的色泽、滋气味和整体可接受性都很差, 可能是因为黑豆豆腐添加量过大, 使肉丸原有色泽发生改变, 同时导致豆腐气味过重, 掩盖了肉丸原有的肉香味。感官评价结果显示: 12% 黑豆豆腐添加量条件下的肉丸感官质量最好。

3 结论

本文以黑豆豆腐代替脂肪, 探究不同黑豆豆腐添加量对肉丸相关品质的影响。结果表明: 添加黑豆豆腐可以降低肉丸的脂肪含量, 提高其蛋白质、水分和灰分含量, 改善肉丸营养品质; 还能够有效降低肉糜蒸煮物、水分及脂肪损失; 同时, 使肉丸的 L^* 值、 a^* 值降低, b^* 值升高, 提高了肉丸的 pH 值、出品率、硬度和咀嚼性。与对照组相比, 当黑豆豆腐添加量

为 12% 时, 肉丸的蒸煮损失率、水分损失、脂肪损失显著下降 ($P < 0.05$), 此时, 肉丸整体感官品质最佳, 肉丸弹性最高为 5.22 mm, 出品率最高为 96.55%, 肉丸色泽均匀、口感细腻滑嫩、伴随浓郁的肉香与豆腐清香。电子鼻分析结果表明: 不同黑豆豆腐添加量的肉丸样品间气味存在明显差异。扫描电镜图显示加入黑豆豆腐能够明显改善肉丸结构的均匀性, 增强肉丸凝胶网络结构, 因此, 肉丸整体品质得到改善。

目前, 由于消费者对低脂、低热量食品需求不断增长, 研究者们应致力于生产脂肪替代品, 不仅仅对脂肪外观、口感、质地和多汁性等特征进行模仿, 还应重点研究新型风味配方的开发, 以能够在低脂食品中重现其在含脂食品中的风味轮廓。此外, 进一步研究风味物质与食物成分间的相互作用, 从而改善低脂产品的风味释放, 对食品工业快速适应市场对营养、美味食品的需求具有重要意义。

参考文献

- [1] 林艳, 余阳, 张兴松, 等. 加工工艺对猪肉丸品质的影响及优化[J]. 肉类工业, 2017(9): 1-6. [LIN Y, YU Y, ZHANG X S, et al. Effect of processing technology on the quality of pork balls and

- its technology optimization[J]. *Meat Industry*, 2017(9): 1-6.]
- [2] HU G H, YU W J. Effect of hemicellulose from rice bran on low fat meatballs chemical and functional properties[J]. *Food Chemistry*, 2015, 186: 239-243.
- [3] BARBUT S, WOOD J, MARANGONI A. Potential use of organogels to replace animal fat in comminuted meat products[J]. *Meat Science*, 2016, 122: 155-162.
- [4] 汤丹, 高红亮, 常忠义, 等. 改性魔芋胶改善肉丸品质的研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(21): 127-130. [TANG D, GAO H L, CHANG Z Y, et al. Improved quality of meatballs with modified konjac gel[J]. *Food Science*, 2012, 33(21): 127-130.]
- [5] FABEK H, MESSERSCHMIDT S, Brulport V, et al. The effect of *in vitro* digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 35: 718-726.
- [6] KEHLET U, PAGTER M, Aaslyng M D, et al. Meatballs with 3% and 6% dietary fibre from rye bran or pea fibre-effects on sensory quality and subjective appetite sensations[J]. *Meat Science*, 2017, 125: 66-75.
- [7] CARVALHO L T, PIRES M A, BALDIN J C, et al. Partial replacement of meat and fat with hydrated wheat fiber in beef burgers decreases caloric value without reducing the feeling of satiety after consumption[J]. *Meat Science*, 2019, 147: 53-59.
- [8] 张根生, 葛英亮, 聂志强, 等. 马铃薯膳食纤维低脂肉丸的工艺优化[J]. *肉类研究*, 2015, 29(8): 8-12. [ZHANG G S, GE Y L, NIE Z Q, et al. Optimization of the formulation of low-fat pork meatballs with potato dietary fiber[J]. *Meat Research*, 2015, 29(8): 8-12.]
- [9] 汪倩. 燕麦麸猪肉丸的配方优化及烹饪、储藏和复热对其品质影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2017. [WANG Q. Studies on the development of oat bran pork meatballs and the effects of cooking, storing and reheating to its qualities[D]. Hangzhou: Zhejiang university, 2017.]
- [10] AULLANIT N, KEMNGOEN T, PONHARN N. Utilization of corn silk in low fat meatballs and its characteristics[J]. *Procedia-social and Behavioral Sciences*, 2015, 197: 1403-1410.
- [11] HALUK E, TOLGA A, MELTEM S. The effects of potato puree and bread crumbs on some quality characteristics of low fat meatballs[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2014, 34(5): 561-569.
- [12] FERREIRA C D, ZIEGLER V, LINDEMANN I S, et al. Quality of black beans as a function of long-term storage and moldy development: chemical and functional properties of flour and isolated protein[J]. *Food Chemistry*, 2018, 246: 473-480.
- [13] 李刚凤, 严红波, 杨丽娟, 等. 响应面法优化豆腐柴叶液态酸奶的发酵工艺[J]. *食品工业*, 2020, 41(10): 27-32. [LI G F, YAN H B, YANG L J, et al. Optimization of the fermentation process of tofu and chai leaf liquid yogurt by response surface methodology[J]. *Food Industry*, 2020, 41(10): 27-32.]
- [14] 杜方丽, 郑金月, 宋立, 等. 生姜提取物对冷藏期间淘汰蛋鸡胸肉糜品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(19): 309-315, 331. [DU F L, ZHANG J Y, SONG L, et al. Effect of ginger extract on the quality characteristics of the spent hen breasts paste during cold storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(19): 309-315, 331.]
- [15] 王亚娜. 加工条件及乳化剂对肉糜乳化凝胶特性的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2017. [WANG Y N. Effect of processing condition and emulsifier on emulsifying and gelling properties of meat batter[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.]
- [16] 刘常园, 方东路, 张毅航, 等. 基于电子鼻和气质联用评价煮制方式对香菇汤挥发性风味物质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(20): 6-11, 19. [LIU C Y, FANG D L, ZHANG Y H, et al. Effect of cooking methods on volatile flavor compounds in lentinus edodes soups analyzed by electronic nose and SPME-GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(20): 6-11, 19.]
- [17] 邓思杨, 蒋悦, 乔雨, 等. 亚麻籽胶与变性淀粉对速冻猪肉丸品质影响的研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(11): 59-64. [DENG S Y, JIANG Y, QIAO Y, et al. Effect of flaxseed gum and compound starch on the quality of quick-frozen pork meatballs[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(11): 59-64.]
- [18] 邹金, 徐宝钗, 尚雪娇, 等. 添加大豆分离蛋白对鲜广椒肉丸品质的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(4): 27-32. [ZOU J, XU B C, SHANG X J, et al. Effect of soybean protein isolate addition on the quality of meatballs with zhaguangjiao, a Chinese traditional fermented chill product[J]. *Meat Research*, 2018, 32(4): 27-32.]
- [19] 程佳佳, 胡胜杰, 马汉军, 等. 成熟时间和斩拌时间对低盐牛肉丸品质的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(5): 9-14. [CHENG J J, HU S J, MA H J, et al. Effect of postmortem aging time and chopping time on the quality of low-salt beef meatballs[J]. *Meat Research*, 2018, 32(5): 9-14.]
- [20] 张典, 陈金玉, 张坤生, 等. 香蕉皮多酚的提取及其对肉丸贮藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(3): 23-30, 111. [ZHANG D, CHEN J Y, ZHANG K S, et al. Extraction of polyphenol from banana(*Musa nana* Lour.)peels and its effect on storage quality of meat balls[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(3): 23-30, 111.]
- [21] 计红芳, 李莎莎, 王雪菲, 等. 天然菊粉对鸡肉肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(2): 124-130. [JI H F, LI S S, WANG X F, et al. Effect of natural inulin on gel properties of chicken myofibrillar protein[J]. *China Food Additives*, 2019, 30(2): 124-130.]
- [22] GUO X F, SUN X H, ZHANG Y Y, et al. Interactions between soy protein hydrolyzates and wheat proteins in noodle making dough[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 500-507.
- [23] 孔保华, 刘迪迪, 刘骞, 等. 添加不同非肉蛋白对乳化肠品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(7): 145-150. [KONG B H, LIU D D, LIU Q, et al. Influence of non-meat proteins on quality characteristics of emulsion-type sausage[J]. *Food Science*, 2011, 32(7): 145-150.]
- [24] 杨扬, 张玲玲, 李永祥, 等. 蛋白质基质脂肪模拟物制备方法及其应用的研究进展[J]. *中国油脂*, 2017, 42(5): 28-33. [YANG Y, ZHANG L L, LI Y X, et al. Advance in preparation and application of protein-based fat mimetic[J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(5): 28-33.]
- [25] 姜帅, 牛海力, 刘骞, 等. 添加可得然胶对法兰克福香肠品

- 质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 218–226. [JI-ANG S, NIU H L, LIU Q, et al. Effect of curdlan addition on the quality of Frankfurt sausage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(19): 218–226.]
- [26] ALVAREZI D, CASTILLO M, PAYNE F A, et al. A novel fiber optic sensor to monitor beef meat emulsion stability using visible light scattering[J]. *Meat Science*, 2009, 81(3): 456–466.
- [27] 杨嘉琪, 宋春丽. 蛋白质和多糖的相互作用及对食品质构的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(1): 218–221. [YANG J Q, SONG C L. Protein-polysaccharide interactions and their effects on the food texture[J]. The Food Industry, 2019, 40(1): 218–221.]
- [28] 祝伦伟, 刘波, 朱文慧, 等. 基于电子鼻辅助的酸辣花蛤酱研制开发[J]. *中国调味品*, 2020, 45(5): 42–45, 62. [ZHU L W, LIU B, ZHU W H, et al. Development of sour and spicy clam sauce by electric nose[J]. *China Condiment*, 2020, 45(5): 42–45, 62.]
- [29] UZU I, OZ F. Effect of basil use in meatball production on heterocyclic aromatic amine formation[J]. *Journal of Food Science and Technology Mysore*, 2020(4): 1–9.
- [30] 王强, 邹金, 王玉荣, 等. 添加蛋清粉对鲈鱼广椒肉丸品质的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(7): 53–57. [WANG Q, ZOU J, WANG Y R, et al. Effect of egg white powder addition on the quality of pork meatballs with zhaguangjiao, a Chinese fermented food made with corn flour and chili[J]. *Meat Research*, 2020, 34(7): 53–57.]
- [31] LEE C H, CHIN K B. Changes in physicochemical properties of pork myofibrillar protein combined with corn starch and application to low-fat pork patties[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55(1): 157–164.
- [32] AMAN H, NATIS M F, THAM Y, et al. Bacteria contamination analysis on the hands and bowls of meatball cart vendors: An observational descriptive study[J]. *Gaceta Sanitaria*, 2021, 35(4): 71–75.