

李树长, 黄诗洋, 方泽豪, 等. 艾草对猪肉丸品质和抗氧化特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 48–55. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040210

LI Shuchang, HUANG Shiyang, FANG Zehao, et al. Effect of *Artemisia argyi* on the Quality and Antioxidant Properties of Pork Balls[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 48–55. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040210

· 研究与探讨 ·

艾草对猪肉丸品质和抗氧化特性的影响

李树长^{1,2}, 黄诗洋¹, 方泽豪¹, 吴丽红¹, 石俊贤¹, 陈滢灵¹, 姚田莉^{1,2}, 曹媛媛^{1,2}, 蒋爱民^{1,2,*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642;

2. 畜禽产品精准加工与安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 广东广州 510642)

摘 要: 运用模糊数学感官评定法研究了添加 0.25%~1% 潮汕艾草对猪肉丸感官的影响, 同时分析了其对猪肉丸质构特性、抗氧化能力的影响。结果表明: 根据模糊数学模型判定, 添加艾草组别中, 有 84% 评价人员认为艾草添加量为 0.75% 时综合感官评分最佳 (4.18 分); 当艾草添加量由 0% 提高至 1%, 肉丸的硬度、咀嚼性和破裂力先降低后升高且变化显著 ($P<0.05$), L^* 值和 a^* 值显著降低、 b^* 值显著升高 ($P<0.05$); ABTS 自由基清除率从 28.37% 显著提高至 60.48% ($P<0.05$), 总还原力从 0.28 显著提高至 0.40 ($P<0.05$); 当艾草添加量提高至 0.75% 时, 肉丸的 DPPH 自由基清除率从 21.36% 显著提高至 90.49% ($P<0.05$); 综上所述, 艾草添加量为 0.75% 时, 不仅能够改善肉丸的质构和感官品质, 还能显著提高其抗氧化特性。本研究为艾草肉丸产品的开发提供了一定的理论依据。

关键词: 潮汕艾草, 猪肉丸, 模糊数学, 感官评定, 流变特性, 质构, 抗氧化特性

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)03-0048-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040210

本文网刊:



Effect of *Artemisia argyi* on the Quality and Antioxidant Properties of Pork Balls

LI Shuchang^{1,2}, HUANG Shiyang¹, FANG Zehao¹, WU Lihong¹, SHI Junxian¹, CHEN Yanling¹, YAO Tianli¹,
LONG Jiaoli^{1,2}, CAO Yuanyuan^{1,2}, JIANG Aimin^{1,2,*}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. National Local Joint Engineering Research Center for Precision Machining and Safety of Livestock and Poultry, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The sensory evaluation method of fuzzy mathematics was used to study the effect of adding 0.25%~1% Chaoshan *Artemisia argyi* on the senses of pork balls. At the same time, the effect on the texture characteristics and antioxidant capacity of pork balls was also analyzed. According to the judgment of the fuzzy mathematical model, 84% reviewers thought the comprehensive sensory score was the best (4.18 points) when the addition amount of *Artemisia argyi* was 0.75%. When the adding amount of *Artemisia argyi* increased to 1%, the TPA hardness, TPA chewiness and puncture breaking force of meatballs significantly decreased first and then increased ($P<0.05$). L^* and a^* values of meatballs reduced significantly, b^* values of meatballs increased significantly ($P<0.05$). ABTS radical scavenging activity were significantly enhanced from 28.37% to 60.48% ($P<0.05$), and the total reducing power were significantly enhanced from 0.28 to 0.40 ($P<0.05$). When the adding amount of *Artemisia argyi* reached 0.75%, DPPH radical scavenging activity were significantly enhanced from 21.36% to 90.49% ($P<0.05$). Generally, when the addition amount of *Artemisia argyi* was 0.75%, it could not only improve the texture and sensory quality of meatballs, but also significantly improve its antioxidant properties. The research would provide a certain theoretical basis for the development of *Artemisia argyi* meatballs products.

收稿日期: 2021-04-26

基金项目: 畜禽产品精准加工与安全控制技术国家地方联合工程研究中心 (发改高技 [2016] 2203 号); 2020 年华南农业大学大学生创新创业训练计划省级项目 (S202010564049)。

作者简介: 李树长 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工、保藏原理与技术, E-mail: 389490640@qq.com。

* 通信作者: 蒋爱民 (1957-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜禽产品加工与质量控制, E-mail: amjiang@scau.edu.cn。

Key words: Chaoshan *Artemisia argyi*; pork ball; fuzzy mathematics; sensory evaluation; rheological properties; texture properties; antioxidant properties

肉丸是我国一种营养美味的传统肉糜制品,因食用方便深受消费者的喜爱^[1-2]。肉丸加工的核心基础理论是肌肉凝胶形成机制,其生产中常加入淀粉等多糖类物质以提高其质构和保水特性^[3-4]。艾草是我国药食两用的特色资源,广泛分布于我国的东北、华北、华东、华南和西南等各省区^[5]。现代药理发现,艾草含有挥发油、多糖类、黄酮类和三萜类等物质^[6-7],其具有抗菌、抗氧化、消炎、抗过敏、抗溃疡、抗衰老、降血脂等多种生物活性^[8-12]。张振环^[13]的实验结果也表明,若将其应用于肉丸的生产中,将有利于改善肉糜的凝胶特性和肉丸的感官品质、代替肉丸生产中添加人工合成抗氧化剂等问题。

在食品加工的评价体系中,感官评价有至关重要的作用,但是一般的感官评价极易受主观因素的影响,评价结果误差较大^[14]。为了弱化主观因素对食品感官评价的影响,得到较客观的评价结果,常将模糊数学感官评价法运用在食品加工领域^[15]。模糊数学感官评价法能够模拟人判断问题的逻辑思维方式,可以用定量的数字来处理比较复杂、无法用数字定量描述的模糊概念^[14,16]。国内外很多学者运用模糊数学评定法评价黄花菜粉牛肉丸^[17]、蛋清糊^[18]、复合茯砖茶饮料^[19]、驴乳奶啤^[20]、油茶汤^[21]等产品的品质,优化红柚汁果冻^[22]、毛霉型豆豉^[23]、口水鸡调理食品^[24]、太子参保健酒^[25]、婴幼儿磨牙饼干^[26]等产品的工艺。

艾草具有独特的草本香味,药食兼用,同时其功能成分具有抑菌、抗氧化等作用。目前,未有相关文章报道艾草运用于中式肉制品——肉丸,所以本研究选取潮汕地区的艾草,按其不同比例质量添加于猪肉丸的加工过程中,结合模糊数学法探讨艾草添加量与肉丸感官品质因素的关系,同时测定艾草肉糜的流变特性、艾草肉丸的质构特性和抗氧化性,拟开发一种具有良好品质的艾草猪肉丸,满足人们对营养、健康、美味的肉类消费需求。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪肉、食盐、味精、玉米淀粉、鸡粉、小苏打等配料 华南农业大学三角市场;艾草 潮汕普宁农贸市场;氯化钾、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、铁氰化钾、三氯乙酸、三氯化铁等试剂 天津富宇精细化工有限公司;DPPH 梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;ABTS 合肥博美生物技术有限公司。

双晓 22 型高速肉丸打浆机 双晓食品机械厂;美的电磁炉 美的集团股份有限公司;中药粉碎机 温岭市林大机械有限公司;VPJ-500TS 真空包装机 中国艾博公司;TA.XT plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems;SP62-162 型色差仪 美国 X-RITE

公司;5804R 冷冻高速离心机 德国艾本德仪器公司;RE-5203 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;UV-1800 紫外可见分光光度计 日本岛津仪器有限公司;MCR101 流变仪 奥地利安东帕有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 艾草的处理 参考张早行^[27]的方法,将新鲜艾草洗净,在适量的沸水中添加 3~5 g 小苏打,100 ℃ 高温水漂烫 1 min,捞起过水冷却、挤干、摊平装盘,置于烘箱中 50 ℃ 条件下干燥 8 h,使用中药粉碎机粉碎干燥后艾草 5 min,并过 50 目筛,用自封袋装好后置于干燥处保存。

1.2.2 艾草提取液的制备 参考曹媛媛等^[28]的方法,略作修改。取适量艾草粉按 1:20(w/v)的比例与蒸馏水混合,浸泡 30 min,煮沸后转文火煮制 20 min,用 200 目滤布过滤,滤液于 5000 r/min 条件下离心 20 min,收集上清液,真空浓缩至原体积的二分之一,所得即为艾草提取液。

1.2.3 艾草肉丸的加工工艺

1.2.3.1 工艺流程 参考栗俊广等^[3]、程伟伟等^[4]肉丸制作工艺,并稍作修改。工艺流程如下:选料→猪肉预处理→绞肉→加入艾草等辅料→打浆乳化→挤丸成型→煮丸→冷却→包装→成品。

1.2.3.2 操作要点 参考龙潭^[29]的牛肉丸制作工艺,稍作修改。选料:选择屠宰后 6 h 内的新鲜猪肉后腿肉;原料肉预处理:猪肉剔除筋膜,然后切块通过直径为 6 mm 的绞肉机孔板绞制,经绞制后放在 4 ℃ 的低温环境中备用;打浆乳化:将绞碎的肉糜倒入打浆机中,添加辅料后进行打浆乳化,其中不同组别添加不同比例质量的艾草;挤丸成型、煮制:乳化完成后手工挤丸,注意控制肉丸直径为 3 cm 左右,将肉丸浸入恒温水槽中成型,再继续煮制。

1.2.4 实验设计 肉丸基础配方:瘦肉 1 kg,辅料以原料肉总量计,食盐 1.4%,味精 1.4%,玉米淀粉 1.4%,鸡粉 0.7%,冰 10%。基础配方的基础上加入以下添加物,对照组(C):冰 10%;第 1 组(G1):冰 10%+艾草粉 0.25%;第 2 组(G2):冰 10%+艾草粉 0.5%;第 3 组(G3):冰 10%+艾草粉 0.75%;第 4 组(G4):冰 10%+艾草粉 1%;第 5 组(G5):冰 10%(艾草提取液冻结而成);第 6 组(G6):冰 10%+0.02% 2,6-二叔丁基对甲苯酚甲苯(Butylated Hydroxy Toluene, BHT),BHT 仅作为评价肉丸抗氧化活性的阳性对照组,对感官、质构和流变结果并不产生影响,故 G6 组别实验结果仅在抗氧化性部分指出。除第 5 组外的冰成分均为饮用蒸馏水。

1.2.5 感官评价 猪肉丸经过二次热处理后用于感官评价。挑选食品学院 10 名食品专业的研究生

(5名男性、5名女性)组成感官评定小组,经过培训的评审员评估猪肉丸的感官品质,以色泽、弹性、脆性、滋气味、总体可接受程度共5项作为肉丸感官评价指标,参考殷俊等^[2]、程伟伟等^[4]的方法制定感官评定标准表,评价标准采取5分制,具体评分标准参照表1肉丸感官评定标准。

表1 肉丸感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation criteria of meatballs

项目	评分标准	分值(分)
色泽	艾草绿色,清新,色泽均匀	4~5
	艾草绿色,较清新,色泽较均匀	2~3
	艾草绿色褐变,色泽不均匀	1
弹性	样品有弹性,用力捏表面不裂开,迅速恢复原状	4~5
	样品稍有弹性,用力捏表面不裂开,较慢恢复原状	2~3
	样品弹性较差,用力捏表面极易破裂,不恢复原形	1
脆性	样品富于脆性	4~5
	样品比较脆	2~3
	样品脆性差,无脆性	1
滋气味	清香柔和,具有猪肉的鲜味和艾草独特香味	4~5
	较清香,猪肉和艾草的香味不够浓	2~3
	味道不好,无猪肉和艾草的香味,甚至有异常味	1
总体可接受度	综合感觉好,易于被接受	4~5
	综合感觉较好,能够被接受	2~3
	综合感觉一般,不易被接受	1

1.2.6 模糊数学感官评价分析 参考朱由珍等^[14]、孔祥佳等^[15]、王哲铭等^[30]方法,略作修改。

1.2.6.1 因素集的建立 评审员分别对肉丸样品的色泽(X_1)、弹性(X_2)、脆性(X_3)、滋气味(X_4)、总体可接受度(X_5)这五个感官特性进行评分,得到样品的因素集为 $X=(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ 。

1.2.6.2 评语集的建立 确定肉丸的评价等级为优秀(V_1)、良好(V_2)、较差(V_3),得到评语集 $V=(V_1, V_2, V_3)$ 。以5分为标准,感官评定得分4~5分为优秀,得分2~3分为良好,得分1分为较差。

1.2.6.3 权重集的确定 影响肉丸感官品质的指标主要包括色泽、弹性、脆性、滋气味、总体可接受度,采用强制决定法得到权重集 $L=(0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2)$ 对应的指标分别为色泽、弹性、脆性、滋气味、总体可接受度。

1.2.6.4 模糊矩阵的确立 请10位感官评定员根据评语集 V 对各个样品做出评判,统计各因素指标所得评语次数并绘制成表,再将表中各数除以 R 值($R=10$),以获得5个因素对3项评语的隶属度 A ,按因素为行排列即得隶属度矩阵。依据模糊变换原理,得到模糊关系评价集 $Y=LA$ 。为了将最终评判结果量化为分数,取每个感官评价指标的评分等级对应分值段的中间值构成评价集赋值向量 $D=(4.5, 2.5, 1)$,模糊关系评价集与评价集赋值向量的转置相乘即得到模糊综合评分,即 $H=YD^T$ 。

1.2.7 艾草肉丸色泽的测定 将肉丸切片置于表面皿中,用校正后色差仪测定猪肉丸 L^* 值(亮度值)、 a^* 值(红度值,正值表示颜色向红色靠近,负值表示偏向绿色)和 b^* 值(黄度值,正值表示颜色偏向黄色,负值表示颜色靠近蓝色)。

1.2.8 艾草肉糜流变特性的测定 参考曹媛媛等^[28]的方法,略作修改。将样品均匀涂抹在测试平台上,采用50 mm平板进行温度扫描测试,用液体石蜡密封平行板周围缝隙,防止水分蒸发影响实验结果。测试参数:应变为1%;频率为0.1 Hz;上下狭缝1 mm;温度以2 °C/min从20 °C升至80 °C。

1.2.9 质构测定 肉丸质构的仪器分析采用TA.XT plus型质构仪的质构剖面分析法和穿刺试验法2种分析模式进行。

1.2.9.1 质构剖面分析法 测定条件参考殷俊等^[1]、栗俊广等^[3]、李丽娜等^[31],略作修改。质构剖面分析法(texture profile analysis, TPA)测定参数:选用P/50探头,样品为直径3 cm,厚度15 mm的鼓状,测定条件为:测前速率1.00 mm/s;测试速率5.00 mm/s;测后速率5.00 mm/s;压缩程度60%;2次压缩之间停留时间5 s;触发类型自动;触发力5.0 g。通过分析力量-时间曲线获得硬度(Hardness, HN)、弹性(Springiness, SN)和咀嚼性(Chewiness, CN)3个TPA参数。

1.2.9.2 穿刺测试法 测定条件参考殷俊等^[1],略作修改。穿刺模式测定参数:选用P/5探头,样品为直径3 cm,厚度25 mm的大割圆状,测定条件为:测前速率1.00 mm/s;测试速率1.00 mm/s;测后速率10.00 mm/s;测试距离为20.00 mm;触发类型自动;触发力5.0 g。通过分析力量-时间曲线获得破裂力(Breaking force, BF)参数。

1.2.10 艾草肉丸抗氧化性的测定

1.2.10.1 ABTS自由基清除活性的测定 根据文献^[32]中的方法修改如下:准确称取10 g样品,加入50 mL乙醇,均质2 min,于50 °C恒温振荡1 h,过滤后取滤液。将样液稀释4倍后与ABTS溶液按1:4比例充分混合,黑暗中反应6 min,测定其在734 nm处的吸光度。

$$R(\%) = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中: R 表示ABTS自由基清除率,%; A_0 表示ABTS溶液的吸光度; A_s 表示样液与ABTS混合溶液的吸光度。

1.2.10.2 DPPH自由基清除活性的测定 根据文献^[33]中的方法修改如下:准确称取10 g样品,加入50 mL乙醇,均质2 min,于50 °C恒温振荡器1 h,过滤后取滤液。取2 mL样液与2 mL浓度为0.1 mmol/L的DPPH溶液充分混合,黑暗中放置30 min,测定其在517 nm处的吸光度。

$$R(\%) = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100$$

式 (2)

式中: R 表示 DPPH 自由基清除率, %; A_0 表示 2 mL DPPH 溶液与 2 mL 蒸馏水的吸光度; A_i 表示 2 mL 样液与 2 mL DPPH 溶液的吸光度; A_j 表示 2 mL 样液与 2 mL 无水乙醇的吸光度。

1.2.10.3 总还原力的测定 根据文献 [28] 中的方法修改如下: 准确称取 10 g 样品, 加入 50 mL 乙醇, 均质 2 min, 于 50 ℃ 恒温振荡器 1 h, 过滤后取滤液。取 1 mL 样液, 加入 2.5 mL pH 为 6.6 的 0.2 mol/L 磷酸钠缓冲液和 2.5 mL 0.1% 铁氰化钾, 混匀后于 50 ℃ 放置 20 min。加入 2.5 mL 质量分数为 10% 三氯乙酸溶液, 充分混合后于 5000 r/min 条件下离心 10 min。取 2.5 mL 上清液、2.5 mL 蒸馏水和 2.5 mL 质量分数为 0.1% 氯化铁混合, 静置 10 min, 测定其在 700 nm 处的吸光度(A_0)。吸光度(A_0)越大表示还原力越强。

1.3 数据处理

所有实验均重复三次, 使用 Excel 2019 进行数据计算及 Origin 2021b 作图, 实验数据以平均值±标准差(Mean±SD) 表示, 采用 SPSS 20.0 软件进行显著性差异分析, $P<0.05$ 表示具有显著性差异, $P>0.05$ 表示无显著性差异。

2 结果与分析

2.1 模糊数学综合感官评价分析

本研究选取了 5 项感官指标(色泽、弹性、脆性、滋味、总体可接受度)对各组别进行评定, 评定结果如图 1 所示。添加艾草组别中, 艾草添加量为 0.75% 时, 肉丸的总体可接受度得分最高, 此时的肉丸具有良好的色泽、弹性, 较好的脆性以及滋味, 这是由于艾草中含有天然色素和挥发油、黄酮类物质等天然成分, 赋予了肉丸独特的艾草滋味和植物绿色, 中和了肉丸的油腻感和肉腥味, 易于被消费者接受。艾草添加量为 0.25%、0.5%、1% 的肉丸组别总体可接受度得分较低, 这主要是因为艾草的添加量过多或过少直接影响了肉丸整体的色泽和滋味, 对脆性也有产生了一定的影响。结果表明, 随着艾草的添加量增加, 肉丸的脆性是先降低后升高, 添加艾草会一定程度降低肉丸的脆性, 但弹性影响程度小。总

体来说, 添加适量的艾草能够改善猪肉丸的感官综合品质。

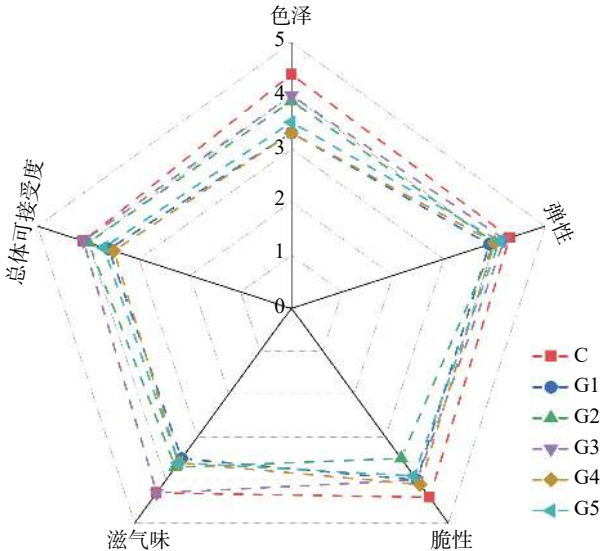


图 1 艾草添加量对肉丸感官品质的影响
Fig.1 Effect of adding amount of *Artemisia argyi* on sensory quality of meatballs

10 名感官评定员对 6 组样品按肉丸的色泽、弹性、脆性、滋味和总体可接受度 5 个因素进行逐一评价, 对应的等级票数分布情况见表 2。由表 2 可知, 6 组样品对应的模糊矩阵分别为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} \quad A_4 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \quad A_6 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_1 = L \times A_1 = (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2) \times \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} = (0.92, 0.08, 0)$$

由此可知, 添加艾草的组别中, 组别 G3 有 84%

表 2 肉丸的感官评定票数分布

Table 2 Vote distribution of sensory evaluation of meatballs

组别	色泽 X_1			弹性 X_2			脆性 X_3			滋味 X_4			总体可接受度 X_5		
	V ₁ 优秀	V ₂ 良好	V ₃ 较差	V ₁ 优秀	V ₂ 良好	V ₃ 较差	V ₁ 优秀	V ₂ 良好	V ₃ 较差	V ₁ 优秀	V ₂ 良好	V ₃ 较差	V ₁ 优秀	V ₂ 良好	V ₃ 较差
C	9	1	0	9	1	0	10	0	0	10	0	0	8	2	0
G1	3	7	0	8	2	0	9	1	0	4	6	0	6	4	0
G2	8	2	0	8	2	0	5	5	0	5	5	0	8	2	0
G3	8	2	0	9	1	0	9	1	0	9	1	0	7	3	0
G4	5	5	0	8	2	0	9	1	0	4	6	0	5	5	0
G5	5	5	0	9	1	0	8	2	0	6	4	0	7	3	0

注: V₁: 优秀(4~5分); V₂: 良好(2~3分); V₃: 较差(1分)。

的感官评定员认为优秀, 16% 认为良好。同理可得, 其他组别的综合评价结果见表 3, 并制作样品隶属频率分布图见图 2, 其中优秀隶属频率达最大的组别可认为样品感官品质最佳。

表 3 综合评价的结果
Table 3 Results of comprehensive evaluation

Y_j	模糊关系评价集	综合得分(分)	排名
Y_C	(0.92, 0.08, 0)	4.34	
Y_{G1}	(0.60, 0.40, 0)	3.70	5
Y_{G2}	(0.68, 0.32, 0)	3.86	3
Y_{G3}	(0.84, 0.16, 0)	4.18	1
Y_{G4}	(0.62, 0.38, 0)	3.74	4
Y_{G5}	(0.70, 0.30, 0)	3.90	2

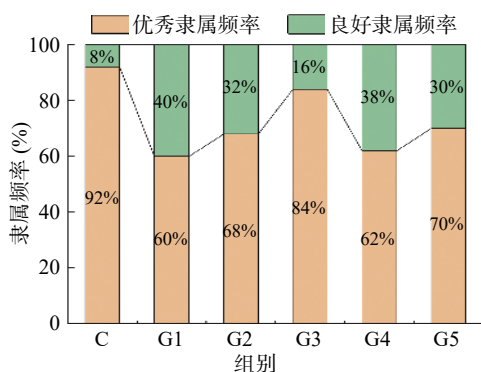


图 2 肉丸的优秀、良好及较差隶属频率

Fig.2 Outstanding, good and bad membership frequency of meatballs

由表 3 及图 2 可得, 艾草添加量为 0.75% 的组别 G3 优秀隶属频率最高为 84%, 良好隶属频率为 16%; 组别 G5、G2、G4、G1 优秀隶属频率依次降低, 分别为 70%、68%、62%、60%, 良好隶属频率分别为 30%、32%、38%、40%。结果表明, 大部分感官评价人员认为组别 G3 的肉丸品质优秀, 总体可接受度高, 其色泽好、弹性好、富有脆性、具有适宜的艾草滋气味。总体来说, 组别 G3 的综合感官评价最佳, 对应的艾草添加量为 0.75%。

2.2 色泽

食品的感官色泽直接影响消费者的购买选择性。表 4 中 L^* 值(亮度值)、 a^* 值(红度值)和 b^* 值(黄度值)结果表明, 未添加艾草的肉丸 L^* 、 a^* 、 b^* 值分别为 76.85、0.56 和 12.26。随着艾草添加量的增加,

表 4 艾草对肉丸颜色的影响

Table 4 Effect of *Artemisia argyi* on color of meatballs

组别	L^*	a^*	b^*
C	76.85±0.65 ^a	0.56±0.08 ^a	12.26±0.3 ^{bc}
G1	65.73±1.16 ^c	-0.23±0.12 ^b	11.93±0.23 ^c
G2	64.01±0.59 ^d	-2.06±0.31 ^d	12.25±0.49 ^{bc}
G3	63.12±0.95 ^d	-1.78±0.36 ^c	13.38±0.45 ^a
G4	60.34±0.94 ^e	-2.81±0.16 ^e	12.51±0.25 ^b
G5	70.72±0.52 ^b	0.75±0.09 ^a	13.78±0.48 ^a

注: 同列数值上标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

L^* 值和 a^* 值显著降低 ($P < 0.05$), 这是因为艾草中含有天然植物色素, 特别是绿色系色素, 使得肉丸的颜色变暗、红度值变为负值偏向绿色。 b^* 值显著升高 ($P < 0.05$), 这可能是因为艾草在肉丸蒸煮过程中受热发生一定的褐变逐渐变黄。

2.3 艾草对肉糜动态流变特性的影响

动态流变特性可以表征加热过程中肌原纤维蛋白性质的变化。由图 3 可知, 不同艾草添加量的肉糜体系其储能模量 (G') 在升温过程中具有相同的变化趋势图。升温过程: 储能模量在 20~32 °C 范围内小幅度上升, 在 32~56 °C 范围内下降, 直至达到一个极小值, 随后在 56~80 °C 迅速上升, 达到最大值。在 20~32 °C 期间 G' 值上升, 此阶段肉糜蛋白质与蛋白质的交联开始, 蛋白质会伴随着热能的变化而发生解聚折叠、二硫键的形成及疏水作用, 储能模量 G' 的增加说明结构的变化趋于有序聚集状结构的形成, 凝胶强度持续增加, 升温过程使具有黏性的肉糜溶胶转变成弹性凝胶。在 32~56 °C 期间 G' 值下降并在 56 °C 达到区域最低点, 这是由于肌球蛋白尾部发生展开变性, 造成临时的蛋白质网络结构破坏现象所导致的。56~80 °C 期间 G' 值迅速增加并逐渐趋于稳定, 表明乳化凝胶结构的形成, 肉糜从粘稠的溶胶结构转变为富有弹性的有序的三维网络凝胶结构^[34-36]。肉丸加工的核心基础理论是肌肉盐溶性蛋白的热诱导凝胶, 添加少量艾草会抑制肌肉蛋白凝胶的形成, 但随着艾草添加量的增加, 肉糜凝胶的储能模量持续增加, 促进肌肉蛋白凝胶的形成, 说明了艾草对肌肉蛋白凝胶形成的作用具有两面性, 添加适量的艾草时可以促进肉丸凝胶形成, 提高凝胶强度。

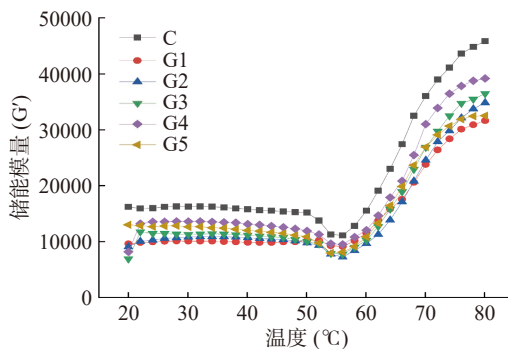


图 3 艾草添加量对肉糜储能模量 G' 的影响

Fig.3 Effect of adding amount of *Artemisia argyi* on the storage modulus G' of minced meat

2.4 质构评价

硬度、咀嚼性、弹性和破裂力是衡量肉丸质构的重要指标。硬度定义为将样品放在臼齿间或舌头与上腭间并均匀咀嚼, 评价压迫食品所需的力量; 咀嚼性定义为将样品放入口腔中咀嚼, 评价当可将样品吞咽时所咀嚼次数或能量; 弹性定义为将样品放在臼齿间并进行局部压迫, 取消压迫并评价样品恢复变形的速度和程度; 破裂力定义为样品被牙齿刺破时所需要的

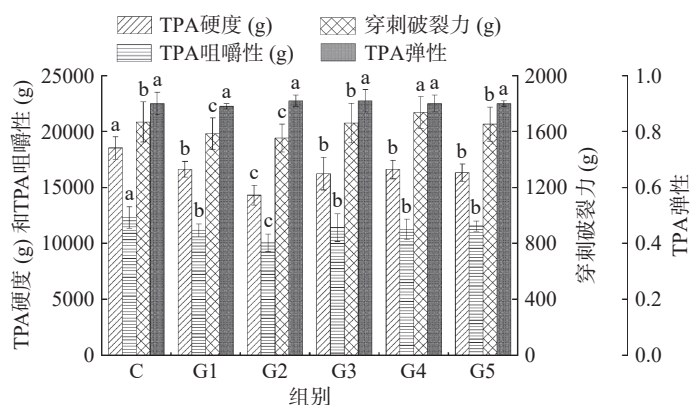


图 4 艾草添加量对肉丸质构特性的影响

Fig.4 Effect of adding amount of *Artemisia argyi* on texture properties of meatballs注: 同一指标上标不同字母表示差异显著($P < 0.05$); 图 5 同。

力量。由图 4 可知, 添加艾草会显著影响肉丸的硬度、咀嚼性和破裂力($P < 0.05$), 随着艾草添加量的增加, 肉丸的硬度、咀嚼性和破裂力呈先降低后升高趋势, 对肉丸的弹性无显著性影响($P > 0.05$)。当艾草添加量为 1% 时, 样品的硬度和破裂力达到最大值, 分别为 16597.59 和 1736.46 g; 当艾草添加量为 0.75% 时, 样品的咀嚼性达到最大值 11401.62 g。这与肉糜动态流变学特性的结果一致, 说明艾草具有抑制和促进凝胶形成的两面性, 表明实际生产可以通过添加适量的艾草来改善肉丸的质构特性, 从而改善其口感。

2.5 抗氧化活性

如图 5 所示, 随着艾草添加量的增加, 肉丸的 DPPH、ABTS 自由基清除能力及总还原力均显著提高($P < 0.05$), 说明添加艾草能够显著提高肉丸的抗氧化能力。当艾草的添加量由 0% 增加至 0.75% 时, 肉丸的 DPPH 自由基清除率从 21.36% 提高至 90.49%, 高于 0.02% BHT 阳性对照组的 66.00%。当艾草的添加量由 0% 增加至 1% 时, 肉丸的 ABTS 自由基清除率从 28.37% 提高至 60.47%, 0.02% BHT 阳性对照组的 ABTS 自由基清除率为 70.71%。抗氧化剂是通过自身的还原作用使自由基转变成稳定的分子, 从而失去活性, 总还原力越大, 抗氧化性就越强。本文通过测定样品在 700 nm 处的吸光度来评价总

抗氧化活性的强弱, 吸光度越大表示样品的总还原力越强。由图 5 可知, 当艾草添加量由 0% 增加至 1% 时, 样品的吸光度值从 0.28 增加至 0.40, 最大总还原力与 0.02% BHT 阳性对照组一样, 说明添加艾草不仅能有效改善肉糜的凝胶特性, 而且增强了肉丸的抗氧化活性。

3 结论

探讨了不同艾草添加量对猪肉丸的质构、感官和抗氧化能力的影响。通过测定肉丸的理化和品质指标发现, 当艾草添加量由 0% 提高至 1%, 肉丸的硬度、咀嚼性和破裂力先降低后升高且变化显著($P < 0.05$), L^* 值和 a^* 值显著降低、 b^* 值显著升高($P < 0.05$); ABTS 自由基清除率从 28.37% 显著提高至 60.48%, 总还原力从 0.28 显著提高至 0.40($P < 0.05$); 当艾草添加量提高至 0.75% 时, 肉丸的 DPPH 自由基清除率从 21.36% 显著提高至 90.49%($P < 0.05$), 说明添加适量的艾草能够改善肉丸的色泽、滋气味和质构特性, 同时还能够显著提高肉丸的抗氧化特性, 表明艾草作为一种天然抗氧化剂在肉制品保鲜方面也具有很大的应用前景。本文将为艾草肉丸新产品的开发提供一定的理论依据。

参考文献

- [1] 殷俊, 李汴生. 潮州牛肉丸质构的感官评定与仪器分析[J]. 食品科技, 2012, 37(5): 112-116. [YIN Jun, LI Bianheng. Sensory and instrumental measurement of Chaozhou beef meatballs[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(5): 112-116.]
- [2] 殷俊, 梅灿辉, 陈斌, 等. 肉丸品质的质构与感官分析[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 50-55. [YIN Jun, MEI Canhui, CHEN Bin, et al. Sensory evaluation and instrumental measurement of meatballs[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(1): 50-55.]
- [3] 栗俊广, 李增, 蒋爱民, 等. 仙草提取物对贡丸质构特性、食用品质和抗氧化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(3): 76-80. [LI Junguang, LI Zeng, JIANG Aimin, et al. Sensory quality and antioxidant activity of Chinese-style meatball[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 76-80.]
- [4] 程伟伟, 栗俊广, 蒋爱民, 等. 仙草胶对贡丸的流变特性、感

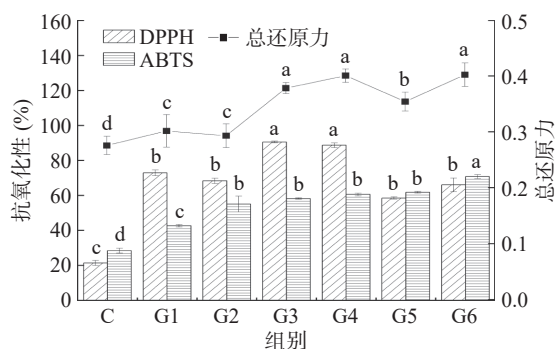


图 5 艾草对猪肉丸抗氧化能力的影响

Fig.5 Effect of *Artemisia argyi* on antioxidant capacity of meatballs

- 官品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 282-286. [CHENG Weiwei, LI Junguang, JIANG Aimin, et al. Effects of Hsian-tsao gum on rheological property, sensory quality and antioxidant activity of Chinese-style meatball[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(2): 282-286.]
- [5] 蒋志惠, 常雪梅, 张照然, 等. 艾草的化学成分和药理作用研究进展[J]. 中国兽药杂志, 2019, 53(2): 76-85. [JIANG Zhihui, CHANG Xuemei, ZHANG Zhaoran, et al. Advances in the phytochemistry and pharmacology of *Artemisia argyi*[J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2019, 53(2): 76-85.]
- [6] 熊曼萍. 超声波-酶法提取艾叶多糖的条件研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 330-331. [XIONG Manping. Study on extraction conditions of polysaccharide from argy wormwood leaves by ultrasonic-assisted enzymatic methods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(9): 330-331.]
- [7] SHI X, MENG L, LI X, et al. Polyketides and terpenoids with potent antibacterial activities from the *Artemisia argyi*-derived fungus *Trichoderma koningiopsis* QA-3[J]. Chemistry & Biodiversity, 2020.
- [8] 梅全喜, 高玉桥. 艾叶化学及药理研究进展[J]. 中成药, 2006(7): 1030-1032. [MEI Quanxi, GAO Yuqiao. Advances in chemistry and pharmacology of *Artemisia argyi* leaves[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2006(7): 1030-1032.]
- [9] KONG J, WANG Y, XIA K, et al. New insights into the antibacterial and quorum sensing inhibition mechanism of *Artemisia argyi* leaf extracts towards *Pseudomonas aeruginosa* PAO1[J]. 3 Biotech, 2021, 11(2): 97.
- [10] WU Gang, HUANG G W. Active components of *Artemisia argyi* lev. et van and their application in cosmetics[J]. International Core Journal of Engineering, 2021, 7(1): 431-437.
- [11] ZHANG Q, GAO W B, GUO Y, et al. Aqueous enzyme-ultrasonic pretreatment for efficient isolation of essential oil from *Artemisia argyi* and investigation on its chemical composition and biological activity[J]. Industrial Crops and Products, 2020, 158: 113031.
- [12] TAO X, SUN Y Q, MEN X M, et al. A compound plant extract and its antibacterial and antioxidant properties *in vitro* and *in vivo*[J]. 3 Biotech, 2020, 10(12): 532.
- [13] 张振环. 艾草火腿肠的加工工艺研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012. [ZHANG Zhenhuan. Study on processing technology of pork meat sausage with wormwood leaf powder[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.]
- [14] 朱由珍, 吉薇, 吉宏武, 等. 基于模糊数学评价法优化木瓜脆片真空油炸工艺[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 183-188. [ZHU Youzhen, JI Wei, JI Hongwu, et al. Optimization on vacuum frying technology of papaya chips based on fuzzy mathematics sensory evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(18): 183-188.]
- [15] 孔祥佳, 苏婉莹, 吴水生. 模糊数学感官评价法结合响应面法优化即食莲子片的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 158-164. [KONG Xiangjia, SU Wanying, WU Shuisheng. Study on optimization of instant lotus seed slices processing by fuzzy mathematical evaluation method and response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(1): 158-164.]
- [16] VIVEK K, SUBBARAO K V, ROUTRAY W, et al. Application of fuzzy logic in sensory evaluation of food products: A comprehensive study[J]. Food and Bioprocess Technology, 2020, 13(1): 1-29.
- [17] 李应兰, 李海峰, 贺晓光, 等. 基于模糊数学感官评价法研究不同黄花菜粉添加量对牛肉丸品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(5): 112-119. [LI Yinglan, LI Haifeng, HE Xiaoguang, et al. Effect of day lily powder addition on the quality of beef meatballs based on fuzzy mathematics sensory evaluation methodology[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(5): 112-119.]
- [18] 杨雪欣, 陈可靖. 基于模糊数学评价法优化蛋清糊配方设计[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 147-153. [YANG Xuexin, CHEN Kejing. Optimization of egg white batter formulation design based on fuzzy mathematics evaluation method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 147-153.]
- [19] 钟凯, 罗易萍, 张天天, 等. 基于模糊数学法复合茯砖茶饮料配方优化及其香气品质分析[J]. 茶叶通讯, 2021, 48(1): 114-123. [ZHONG Kai, LUO Yiping, ZHANG Tiantian, et al. Formulation optimization and aroma quality analysis of compound fuzhuan brick tea beverage based on fuzzy mathematics[J]. Journal of Tea Communication, 2021, 48(1): 114-123.]
- [20] 张剑林, 殷娜, 陈言谔, 等. 模糊数学评价法优化驴乳奶啤稳定性的预处理参数及香气成分分析[J]. 中国酿造, 2021, 40(1): 75-81. [ZHANG Jianlin, YIN Na, CHEN Yanrong, et al. Optimization of pretreatment parameters of donkey milk beer stability and aroma components analysis with fuzzy mathematics evaluation[J]. China Brewing, 2021, 40(1): 75-81.]
- [21] LIAO F, WEN R, YANG L, et al. Oil tea soup formula optimization based on orthogonal test and fuzzy mathematics sensory evaluation[J]. Food Science and Engineering, 2017, 7(10): 435-442.
- [22] 刘艳红, 童慕贤, 吴静静, 等. 基于模糊综合评价红袖汁果冻工艺优化[J]. 阜阳师范大学学报(自然科学版), 2021, 38(1): 38-43. [LIU Yanhong, TONG Muxian, WU Jingjing, et al. Optimization of red pomelo juice jelly technology based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Journal of Fuyang Normal University(Natural Science), 2021, 38(1): 38-43.]
- [23] 邵良伟, 邹强, 张弛松, 等. 基于模糊数学评定与响应面法优化毛霉型豆豉制曲工艺[J]. 中国调味品, 2021, 46(3): 18-23. [SHAO Liangwei, ZOU Qiang, ZHANG Chisong, et al. Optimization of Koji making process of Mucor-type Douchi by fuzzy mathematical evaluation and response surface methodology[J]. China Condiment, 2021, 46(3): 18-23.]
- [24] 毕继才, 李洋, 林泽原, 等. 基于模糊数学综合评价法优化口水鸡调理食品的开发[J]. 中国调味品, 2021, 46(3): 100-103. [BI Jicai, LI Yang, LIN Zeyuan, et al. Optimization of development of prepared food of steamed chicken with chili sauce by fuzzy mathematics comprehensive evaluation method[J]. China Condiment, 2021, 46(3): 100-103.]
- [25] 方文清. 模糊数学评价法优化太子参保健酒加工工艺及其

- 抗氧化活性分析——评《果酒加工工艺学》[J]. 中国酿造, 2021, 40(1): 228. [FANG Wenqing. Optimization of processing technology of Taizishen health wine by fuzzy mathematics evaluation method and analysis of its antioxidant activity[J]. China Brewing, 2021, 40(1): 228.]
- [26] 谭沙, 翁盼, 常永春, 等. 基于模糊数学法的婴幼儿磨牙饼干加工工艺优化[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(9): 52-57. [TAN Sha, WENG Pan, CHANG Yongchun. Optimization of molar cookie processing technology for infant based on fuzzy mathematics[J]. Storage and Process, 2021, 21(9): 52-57.]
- [27] 张早行. 一种艾草粉的制作方法: 中国, 107007644A[P]. 2017-08-03. [ZHANG Zaoxing. A preparation method of wormwood powder: China, 107007644A[P]. 2017- 08-03.]
- [28] 曹媛媛, 周隼, 艾民珉, 等. 仙草提取物对猪肉脯贮藏期间品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 45-51. [CAO Yuanyuan, ZHOU Quan, AI Minmin, et al. Effects of Hsian-Tsao extract on the quality of pork jerky during storage[J]. Meat Research, 2020, 34(11): 45-51.]
- [29] 龙谭. 牛肉丸感官品质改良研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014. [LONG Tan. Improvement of sensory quality of beef balls[D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2014.]
- [30] 王哲铭, 王成财, 朱立宏, 等. 模糊数学结合响应面法优化啤酒鱼的煮制工艺[J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 161-168. [WANG Zheming, WANG Chengcai, ZHU Lihong, et al. Optimization of boiling process of beer fish by fuzzy mathematics combined with response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 161-168.]
- [31] 李丽娜, 赵武奇, 曾祥源, 等. 苹果的质构与感官评定相关性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 37-41. [LI Lina, ZHAO Wuqi, ZENG Xiangyuan, et al. Correlation between texture and sensory evaluation of apple[J]. Food & Machinery, 2017, 33(6): 37-41.]
- [32] NA J, BAOHUA K, QIAN L, et al. Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during chilled storage[J]. Meat Science, 2012, 91(4): 533-539.
- [33] STEFANOVIĆ O D, TEŠIĆ J D, ČOMIĆ L R. Melilotus albus and dorycnium herbaceum extracts as source of phenolic compounds and their antimicrobial, antibiofilm, and antioxidant potentials[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2015, 23(3): 417-424.
- [34] 杨慧娟. 超高压处理改善低脂低盐猪肉糜制品乳化凝胶特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017. [YANG Huijuan. High pressure processing alters the emulsifying and gel properties of pork meat batters with low-fat and low-salt[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.]
- [35] 孙路, 黄群, 唐道邦, 等. 锤打工艺对牛肉糜凝胶特性影响的机理[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 23-27. [SUN Lu, HUANG Qun, TANG Daobang, et al. Effect of hammering process on gel properties of beef gel[J]. Food & Machinery, 2020, 36(6): 23-27.]
- [36] 康壮丽. 斩拌和打浆工艺对猪肉肉糜凝胶特性影响及作用机理[D]. 南京: 南京农业大学, 2014. [KANG Zhuangli. Studies on effects of the chopping and beating on the characteristics of pork batters gel and mechanism[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.]