

徐世杰, 赵钟, 符润颢, 等. 高压低温注射核桃油乳液对牛排品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 56–64. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040317

XU Shijie, ZHAO Zhong, FU Runhao, et al. Effect of High-pressure and Low-temperature Injection of Walnut Oil Emulsion on Steak Qualities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 56–64. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040317

· 研究与探讨 ·

高压低温注射核桃油乳液对牛排品质的影响

徐世杰¹, 赵 钟², 符润颢¹, 周 辉^{1,*}, 张文青¹, 周诗佳¹, 徐宝才^{1,*}

(1. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230009;

2. 六安胜缘食品有限公司, 安徽六安 237143)

摘 要: 牛霖肉脂肪含量较低, 煎烤后口感干硬。为提高其制作的牛排的汁液丰富度、促进形成软嫩口感, 本实验研究了高压低温注射核桃油乳液对牛排品质的影响。本实验通过高压低温注射结合真空滚揉技术, 成功制备了添加核桃油乳液的霖肉牛排, 并分别研究了不同谷氨酰胺转氨酶 (transglutaminase, TGase) 含量 (0%、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%) 的乳液对牛排结合乳液能力的影响和不同核桃油含量 (20%、30%、40%、50%) 的乳液对牛排理化指标和品质指标的影响。结果表明, 添加乳液的牛排的结合能力随着乳液中 TGase 含量的上升呈上升趋势, 在 TGase 含量达到 0.9% 后趋于平稳。向牛排中注射添加核桃油乳液使牛排水分含量升高了 1.44%~2.31%, pH 降低了 0.17~0.08, L^* 值升高后降低、 a^* 值和 b^* 值降低, 使牛排的剪切力降低了 26.62%~65.33%, 出品率提高了 3.43%~11.43%, 牛排产品的硬度和咀嚼性分别降低了 15.44%~77.06% 和 26.56%~77.52%。感官评价实验显示添加乳液提高了牛排产品的柔软度和汁液丰富度, 而对牛排的气味和滋味影响较小。通过比较不同 TGase 含量和核桃油含量的乳液对牛排工艺性能、理化性质和品质指标的影响, TGase 含量 0.9%、核桃油含量 40% 的乳液最适宜应用于生产实践。

关键词: 牛排, 核桃油, 谷氨酰胺转氨酶, 高压低温注射, 品质, 理化性质

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)03-0056-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040317

本文网刊:



Effect of High-pressure and Low-temperature Injection of Walnut Oil Emulsion on Steak Qualities

XU Shijie¹, ZHAO Zhong², FU Runhao¹, ZHOU Hui^{1,*}, ZHANG Wenqing¹, ZHOU Shijia¹, XU Baocai^{1,*}

(1. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Lu'an Shengyuan Food Co., Ltd., Lu'an 237143, China)

Abstract: Beef knuckle contains less amount of fat, which tastes dry and hard after being pan fried. In order to increase the richness of the juice of the steak made of that, promoting the formation of a soft and tender taste as well, this experiment studied the effect of injection of walnut oil emulsion under high-pressure and low-temperature on steak quality. In this experiment, beef knuckle steak added with walnut oil emulsion had been successfully prepared through injection under high-pressure and low-temperature followed vacuum tumbling technology, and the influence of emulsions with different transglutaminase (TGase) content (0%, 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2%) on the emulsion bonding capacity of steak and the influence of emulsion with different walnut oil content (20%, 30%, 40%, 50%) on the physicochemical indexes and quality indexes of steak were studied. The bonding capacity of steak adding emulsion increased with rising TGase contents in emulsions, and stabilized after TGase contents reached 0.9%. Injection walnut oil emulsions into steak increased its moisture contents by 1.44%~2.31%, and decreased pH value by 0.17~0.08, increased then decreased L^* value, decreased a^*

收稿日期: 2021-05-06

基金项目: 安徽省科技重大专项 (202003b06020023); 中央高校资助资金 (JZ2020HGQB0229); 安徽省科技重大专项 (201903b06020004); 安徽省青年自然基金 (2008085QC144); 中国博士后基金 (2020M671847)。

作者简介: 徐世杰 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: 1916942285@qq.com。

*** 通信作者:** 周辉 (1972-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: 469340665@qq.com。

徐宝才 (1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: baocaixu@163.com。

value and b^* value. The shear force of steak were reduced by 26.62%~65.33%, the yield were increased by 3.43%~11.43%, the hardness and chewiness of steak were reduced by 15.44%~77.06% and 26.56%~77.52%, respectively. Sensory evaluation experiments showed that the injection of emulsion improved the softness and juiciness of steak products, yet had little effect on the flavor and tastes. Through the comparison between influence of emulsions contain different amount of TGase and walnut oil on the process performances, physicochemical properties and quality indicators of steak, the emulsion with TGase content of 0.9% and walnut oil content of 40% was most suitable for production practice.

Key words: steak; walnut oil; transglutaminase; high pressure and low temperature injection; quality; physicochemical properties

牛肉具有高蛋白、低脂的特点,富含 B 族维生素、维生素 E 和钾、钙、磷、铁等各类矿物质,是人类膳食所需营养的极好来源^[1-2]。脂肪含量是评价牛肉等级的重要指标^[3-4],脂肪在牛肉加工过程中扮演着重要的角色,是牛肉产品柔软口感和牛肉特征性风味的重要来源^[5]。然而,在牛肉的脂肪酸组成中,硬脂酸、棕榈酸等饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)含量较高^[1]。SFA 的过量摄入与心血管疾病风险增加密切相关^[6],受到研究者的广泛关注。

利用植物油脂为主要成分的乳液来部分代替牛肉饼、重组牛排等重组肉制品中的动物脂肪,可以在保持产品口感、风味等品质的同时,降低产品中动物脂肪的含量^[6-7]。与通过饲喂营养强化饲料来调节畜产品中营养成分的高投入和低效率^[8]相比,这种直接添加的方法具有低成本、操作简便的优点,日益受到研究者的关注^[9-10]。这些用以部分代替肉制品中动物脂肪的植物油脂,主要来源于各类油料作物的种籽和坚果^[6-7,11]。Tomasz 等^[12]比较了添加花生、核桃等坚果和亚麻籽等油料作物种子对牛肉饼感官品质、脂肪酸组成的影响,发现核桃在对牛肉饼的口感、风味等品质特征负面影响较小的同时还具有最符合人类营养需求的脂肪酸组成。目前,在肉制品中利用植物油乳液作为动物脂肪替代物的研究和应用的对象主要集中于肉饼、乳化肠等重组体系^[6-11]。在牛排、风干羊羊肉等具有完整肌肉组织的肉制品中,类似的脂肪替代物的研究相对较少。

牛排是块状的牛肉,具有完整的肌肉组织结构。与向重组体系中添加植物油乳液可在配料过程中直接加入不同,向牛排中添加乳液的操作存在受乳液在牛排中的扩散、乳液中的水溶性和脂溶性组分与肌纤维的结合、添加乳液的产品在加工、储藏过程中的稳定性等一系列具体工程问题^[13]。注射是较常用的腌制方法,有研究通过注射向牛排中添加不饱和脂肪酸油,效果较好^[8]。牛霖肉制作的牛排脂肪含量较低,口感较粗硬。能否利用核桃油乳液作为动物脂肪的替代物,注射添加到牛排中,以此改善霖肉牛排的口感、风味等感官品质,具有一定的研究意义。就此,本实验应用高压低温注射、呼吸式真空滚揉和酶促蛋白质交联等食品工艺手段,成功制备了注射添加核桃油乳液的牛排产品。并进一步地,对注射后的牛排产品相较于作为原料的霖肉牛排在工艺性能、理

化性质和品质特征等方面的差异进行评估,以期对相关理论研究和工艺实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

牛霖肉 安徽光正食品有限公司,年龄、体重、发育状况相近的健康西门塔尔杂交牛电击后宰杀,经 0~4 ℃ 预冷排酸 48 h、排酸后分割、-30 ℃ 鼓风速冻至中心温度达到-18 ℃,取牛霖肉冷冻运输至实验室,切割、分装后真空包装,-40 ℃ 储藏备用;核桃油 河北家丰植物油有限公司;谷氨酰胺转氨酶(transglutaminase, TGase) 酶活力 130 U/g,江苏一鸣生物股份有限公司;木瓜蛋白酶(10⁶ U/g) 浙江一诺生物科技有限公司;甲基纤维素 A4M,美国 Ashland 公司;大豆磷脂 PLW,河南华悦公司;三聚磷酸钠、六偏磷酸钠 上海大立食品添加剂有限公司;全脂乳粉 双城雀巢有限公司;维生素 E 风华食品生物科技有限公司;D-异抗坏血酸 江西百勤异 VC 钠有限公司;正己烷 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

BSA1245 电子天平 德国 Satorius 公司;FA25 高剪切分散乳化机 上海弗鲁克(FLUKO)公司;T60 小型注射腌制机 丹东五淘食品机械公司;TM-20 真空滚揉机 德国 PROMAX 公司;205pH 计 德国 Testo 公司;WSF 分光测色仪 上海仪电物理光学仪器公司;DHG-9070A 电热鼓风干燥箱 上海右一仪器有限公司;DZ-260T 真空包装机 深圳晟枫包装机械有限公司;TA—XT plus 物性测试仪 美国 ISENCO 公司;CT818-B 电扒炉 赤兔西厨设备公司;PT100 热电阻 杭州铭泽线缆公司;MIK-R200D 数据记录仪 杭州美控公司。

1.2 实验方法

1.2.1 牛排产品的制作

1.2.1.1 工艺流程 添加核桃油乳液牛排产品的制作工艺^[14]如图 1 所示。

1.2.1.2 核桃油乳液的制备 梯度 TGase 含量核桃油乳液的制备:称取核桃油 400 g,向其中加入复合磷酸盐 0.04%(以各组分重量占 10 kg 原料肉的百分比计, m/m,下同)、大豆磷脂 0.08%、木瓜蛋白酶 0.04%、全脂乳粉 0.8%、维生素 E 0.05%、D-异抗坏血酸钠 0.05%、甲基纤维素 0.25%,混合均匀。再分

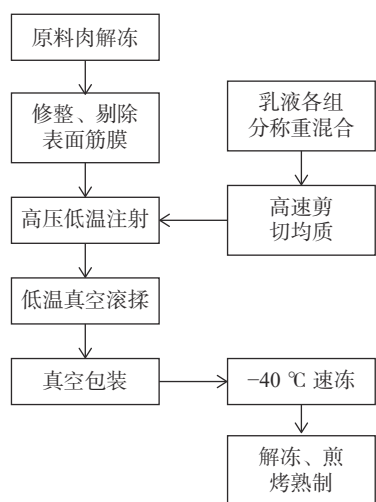


图1 添加核桃油乳液牛排产品的制作工艺流程

Fig.1 Production process of steak products adding walnut oil emulsion

别加入 TGase 0%、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%，分散均匀，制得核桃油悬液。在高速均质机 10000 r/min 搅拌下缓慢将核桃油悬液加入水中，水的重量依次为 1469、1439、1409、1379 和 1349 g（分别为各浓度下将乳液重量补足至 2000 g 所需的水的重量），10000 r/min 下高速剪切均质 10 min，形成乳液，即制成梯度 TGase 含量核桃油乳液。制得的乳液用于筛选 TGase 的添加量，所用指标为牛排产品保水性和保油性。将添加含有 0%、0.3%、0.6%、0.9%、1.2% 的 TG 酶的牛排样品分别简称为 TG0、TG3、TG6、TG9、TG12。

梯度核桃油含量乳液的制备：分别称取核桃油 400、600、800、1000 g，向其中加入大豆磷脂 0.08%、木瓜蛋白酶 0.04%、全脂乳粉 0.8%、维生素 E 0.05%、D-异抗坏血酸钠 0.05%、甲基纤维素 0.25%、TGase（重量通过保水性和保油性测试选出效果最优者确定），混合均匀，制得核桃油悬液。在高速均质机的搅拌下将核桃油悬液缓慢加入水中，水的重量为乳液总重量 2000 g 与前文所述核桃油和所有配料总重量之差，10000 r/min 下高速剪切均 10 min，形成乳液。即制成 20%（核桃油重量占乳液重量的百分比，下同）、30%、40%、50% 梯度核桃油含量乳液。制得的乳液通过注射添加到牛排中，用于后续水分含量、pH、色泽、出品率、剪切力等指标的测定和感官评价实验。

1.2.1.3 高压低温注射 在 0~4℃ 步入式冷库中将核桃油乳液注入盐水注射机料罐，注射针采用对称均分的 4 孔，孔直径 4 mm。根据牛排尺寸和形状选取 240 个分布均匀的注射点位，调节注射机注射压力至 0.8 MPa，高压注射。注射率 20%（以待注射的原料牛肉重量计，m/m）。

1.2.1.4 低温真空滚揉 在 0~4℃ 步进式冷库将注射乳液结束的牛肉置于滚揉机中，总滚揉时间为 2 h，每次运行时长 20 min，暂停 10 min，转速 7~8 r/min。真空度控制在 0.08 MPa。

1.2.1.5 牛排熟制 参照郎玉苗等^[14]的方法并稍加修改，将添加乳液的牛排产品在 0~4℃ 下解冻 24 h，解冻后切成 6 cm×6 cm×1.5 cm 大小的片状牛肉排。在预热至 220℃ 的电扒炉上将牛肉排加热至中心温度达到 72℃，煎烤过程中牛排的内部温度变化使用配有 PT100 热电阻的数据记录仪进行监控。熟制后的牛排进行嫩度等品质指标测定和感官评价。

1.2.2 指标检测

1.2.2.1 添加梯度 TGase 含量核桃油乳液牛排保油性的测定 参照汪岩等^[15]的方法并稍作修改。室温（25℃）下，将样品切成 10 mm×10 mm×50 mm 大小（5±0.5）g 的肉条，称重后记为 m_0 ，放入具塞试管中。向试管中移入 20 mL 正己烷，使正己烷浸没样品，盖上塞子。每隔 20 min 取出样品，用吸水纸吸去表面正己烷，称重，记为 m_i 。如下式样品计算每隔 20 min 的重量保留率，绘制油脂流失曲线。

$$\text{重量保留率}(\%) = \frac{m_i}{m_0} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.2.2 添加梯度 TGase 含量核桃油乳液牛排保水性的测定 参照汪岩等^[15]的方法并稍作修改。将样品切成肉条，置于已恒重的重量瓶中，称重，记为 m_0 。放入 60℃ 恒温烘箱烘 6 h，称重，记为 m_i 。如 1.2.2.1 中公式计算重量保留率。

1.2.2.3 添加梯度核桃油含量乳液牛排水分含量的测定 参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》的方法进行测定^[16]。

1.2.2.4 添加梯度核桃油含量乳液牛排 pH 的测定 参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》的方法进行测定^[17]。

1.2.2.5 添加梯度核桃油含量乳液牛排色泽的测定 参照孙金龙等^[18]的方法并稍作修改。牛肉整形，剔除表面筋膜、脂肪。使用直径 1.27 cm 的圆形取样器沿与肌纤维平行的方向钻切肉样。用滤纸擦拭干肉样表面的汁液。使用色差仪测定色度 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值，每个样品重复测定 3 次，取平均值为最终色度值。

1.2.2.6 添加梯度核桃油含量乳液牛排出品率的测定 参照周亚军等^[19]的方法并稍作修改。在牛排熟制前后称取肉块重量，分别记为 m_0 、 m_1 。如下式计算牛排出品率。

$$\text{出品率}(\%) = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.2.7 添加梯度核桃油含量乳液牛排嫩度的测定 参照 NY/T 1180-2006《肉嫩度的测定剪切力测定法》^[20]进行测定。

1.2.2.8 添加梯度核桃油含量乳液牛排质构剖面分析的测定 参照孙金龙等^[18]的方法并稍作修改。将熟制后的牛排样品沿平行肌纤维方向切成 2.5 cm×2.5 cm×1.0 cm 的小块，使用质构仪测定。测定条件：

探头型号为 P35 探头,测试前速度为 2.0 mm/s,测试中速度为 1.0 mm/s,测试后速度为 2.0 mm/s,压缩距离为 50%。

1.2.2.9 添加梯度核桃油含量乳液牛排的感官评价

参照 GB/T 22210-2008《肉与肉制品感官评定规范》^[21] 和郎玉苗等^[14] 的方法开展牛排产品的感官评价。添加梯度核桃油含量乳液牛排熟制后进行感官评价。感官评价小组由 12 名食品科学与工程专业教师和研究生组成。感官评价小组年龄组成为 22~50 岁之间,其中男性和女性评价员各 6 人。感官评价的指标包括风味、嫩度、多汁性、滋味和总体可接受度 5 项,评价标准分为 9 个等级。感官评价标准见表 1。评价在光照充足、安静、洁净的独立房间中进行。待品评的样品代码按照随机数表随机排列,样品采用正六边形摆放。在感官评价员评价一个样品后,使用苏打水进行漱口,间隔 2 min 后再进行下一个样品的评价。待全部评价完后收集评定表。

1.3 数据处理

实验重复进行三次。数据采用 SPSS 26(SPSS Inc., USA)统计软件进行显著性分析和标准偏差(±SE)计算,用 Origin 2017 作图。

2 结果与方法

2.1 添加梯度 TGase 含量核桃油乳液对牛排保油性和保水性的影响

2.1.1 添加梯度 TGase 含量核桃油乳液对牛排保油性的影响 图 2 为注射添加不同 TGase 含量的核桃油乳液的牛排在正己烷浸提条件下的脂肪流失曲线。如图所示,在整个浸提过程中,所有添加含 TGase 乳液的实验组牛排产品的平均重量保留率均大于对应时刻添加不含 TGase 乳液的空白对照的平均重量保留率。其中,在第 20、40、80 和 100 min 时,所有实验组的平均重量保留率均显著大于($P<0.05$)对应时刻的对照组。在整个实验过程中, TG9 和 TG12 的重量保留率始终大于其他所有实验分组。在实验开始后的前 20 min 内,重量保留率变化最大,油脂流失最快。平均重量保留率由大到小的顺序为 TG9>TG12>TG6>TG3>TG0,分别为 96.97%、96.92%、95.85%、94.95%、93.97%。而在此后的 60 min 内, TG12 的平均重量保留率持续大于 TG9,二者无显著性差异($P>0.05$)。在实验开始 100 min 后, TG9 的重量保留率再次超过 TG12。在整个实验

过程中, TG9 与 TG12 的重量保留率无显著性差异($P>0.05$)。

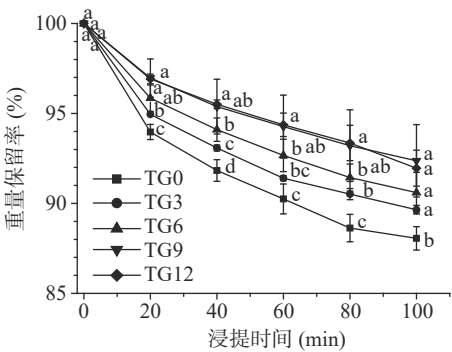


图 2 添加梯度 TGase 含量核桃油乳液牛排的油脂流失曲线
Fig.2 Oil loss curve of steak adding walnut oil emulsion with gradient TGase content

注: 不同字母表示同一时间不同分组间差异显著($P<0.05$),图 3 同。

2.1.2 添加梯度 TGase 含量核桃油乳液对牛排保水性的影响

图 3 为注射添加不同 TGase 含量核桃油乳液的牛排在 60 ℃ 热风干燥条件下烘干 6 h 后与其原始重量的比值,即重量保留率。一定时间内重量保留率越高,则保水性越好。如图所示,添加含 TGase 乳液的实验组的重量保留率分别为 97.32%、97.46%、97.53% 和 97.51%,均显著大于($P<0.05$)空白对照的 97.02%。所有添加含 TG 酶乳液的实验组间均无显著差异($P>0.05$)。结合添加梯度 TGase 含量核桃油乳液对牛排保油性的影响,选择含有 0.9% TGase 的乳液为注射液,进行下一步实验。

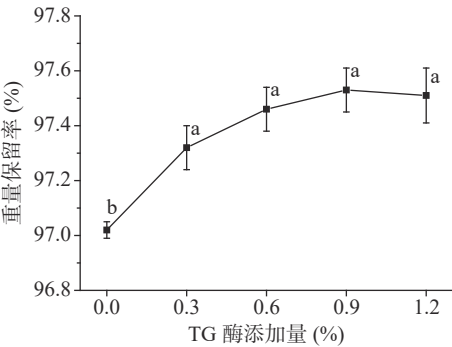


图 3 添加梯度 TGase 含量核桃油乳液牛排的重量保留率变化
Fig.3 Changes in the weight retention ratio of steak adding walnut oil emulsion with gradient TGase content

表 1 牛排产品感官评价表
Table 1 Sensory evaluation on steak products

指标	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分
风味	极不喜欢	非常不喜欢	很不喜欢	比较不喜欢	一般	比较喜欢	很喜欢	非常喜欢	极喜欢
嫩度	极硬	非常硬	很硬	比较硬	一般	比较软嫩	很软嫩	非常软嫩	极软嫩
多汁性	极干燥	非常干燥	很干燥	比较干燥	一般	汁液比较丰富	汁液很丰富	汁液非常丰富	汁液极丰富
滋味	极不喜欢	非常不喜欢	很不喜欢	比较不喜欢	一般	比较喜欢	很喜欢	非常喜欢	极喜欢
总体可接受度	极不喜欢	非常不喜欢	很不喜欢	比较不喜欢	一般	比较喜欢	很喜欢	非常喜欢	极喜欢

牛肉的保油性和保水性是牛肉的重要品质属性,对牛肉产品的出品率 and 多汁性有较大影响^[22]。在牛肉产品生产中,添加 TGase 是一种常用的增加牛肉保水性的方法。TGase 是一种酰基转移酶, TGase 能够催化牛肉中蛋白质的谷氨酰胺残基的 γ -羧基和赖氨酸残基的 ζ -氨基进行转酰胺基反应,生成 ζ -(γ -Glu)Lys 共价键^[23]。在注射液中添加 TGase 后,牛肉的保油性和保水性随着 TGase 添加量的上升而上升。这可能是因为 TGase 催化的酰胺基发生转移反应能够促进蛋白质分子间的聚合,增强蛋白质分子内、分子间的共价交联,从而提高了牛肉的保水性。添加的 TGase 含量达 0.9% 后,再提升 TGase 的浓度,牛肉的保水性和保油性没有显著性变化($P>0.05$),这可能是因为酶促反应的底物蛋白质浓度达到饱和,再提升酶浓度已无法进一步加强肉中蛋白质的交联作用。这与施源德等^[24]在罗非鱼肉凝胶中发现的类似 TGase 浓度饱和的现象一致。

2.2 添加梯度核桃油含量乳液对牛排品质的影响

2.2.1 添加梯度核桃油含量乳液对牛排水分含量的影响 图 4 显示了添加乳液牛排的水分含量随乳液中核桃油含量的变化情况。从图中可以看出,添加乳液引起了牛排中水分含量的上升。添加含核桃油乳液的实验组样品的水分含量依次分别 75.24%、74.62%、74.63% 和 75.49%, 相对于未添加乳液的空白对照的 73.18% 均有显著上升($P<0.05$)。而添加乳液的各实验组间无显著性差异($P>0.05$)。

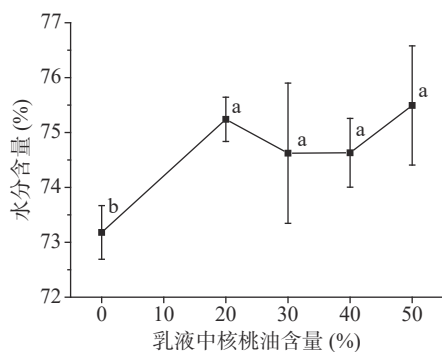


图4 添加梯度核桃油含量乳液对牛排水分含量的影响

Fig.4 Effect of adding emulsion with gradient walnut oil content on the moisture content of steak

注: 不同字母代表不同分组间差异显著($P<0.05$), 横坐标“0”代表未注射乳液的鲜肉空白对照; 图5~图10同。

添加乳液引起了牛排产品中水分含量的显著上升,这可能是因为添加的乳液中存在较多的水分。同时,牛的肌肉组织呈现以水分为主要成分的极性环境^[2],核桃油乳液中的水分相较于油脂更易与肌肉组织结合;这可能是乳液中水分含量较低实验组依然引起牛排产品水分含量上升的原因。水分是牛肉中的主要成分,占牛肉鲜重的 72%~78%^[2]。水分含量是评价牛肉品质的基本指标之一,对牛肉的品质影响较大。添加乳液的牛肉水分含量有所升高,并且乳液中易氧化的多不饱和脂肪酸含量较高^[25],这对牛肉产

品的储藏条件提出了更加苛刻的要求^[26-28]。

2.2.2 添加梯度核桃油含量乳液对牛排 pH 的影响

图 5 为添加乳液牛排的 pH 随乳液中核桃油含量变化情况。如图所示,添加乳液引起了牛排 pH 的下降。添加核桃油乳液的牛排 pH 依次分别为 5.62、5.53、5.58 和 5.62。随着乳液中核桃油含量的上升,牛排的 pH 呈现先下降后上升的趋势,但是变化趋势不显著($P>0.05$)。添加乳液的各实验组样品的 pH 相对于未添加乳液的空白对照的 pH(5.70)均有显著下降($P<0.05$)。添加乳液的各实验组间无显著性差异($P>0.05$)。添加乳液后牛肉的 pH 下降,这可能是由于乳液中的脂肪酸在牛肉的极性环境下解离出 H^+ ^[29]。

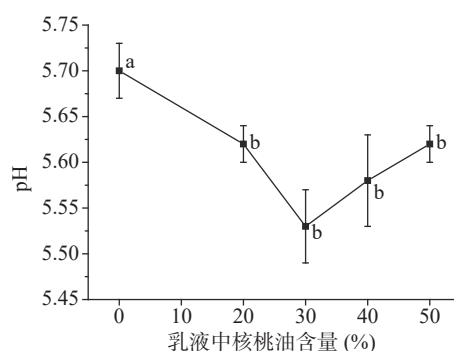


图5 添加梯度核桃油含量乳液对牛排 pH 的影响

Fig.5 Effect of adding emulsion with gradient walnut oil content on the pH value of steak

2.2.3 添加梯度核桃油含量乳液对牛排色泽的影响

图 6 反映了添加乳液牛排的 L^* 值随乳液中核桃油含量变化情况。从图中可以看出,添加核桃油乳液引起牛排 L^* 值的显著上升($P<0.05$)。随着乳液中核桃油含量的增加,牛排的 L^* 值显著下降($P<0.05$)。随着乳液中核桃油的含量由 20% 上升至 50%,牛排的 L^* 值也由 64.88 下降至 51.77,接近未添加乳液的空白对照的 47.52。添加乳液提高了牛排的 L^* 值,可能是因为注射添加的乳液使牛肉对光的反射增强。随着乳液中核桃油含量的上升,牛排的 L^* 值呈下降趋势,可能是由于乳液中油相和水相的比例改变引起了乳液对光反射能力的改变^[26]。

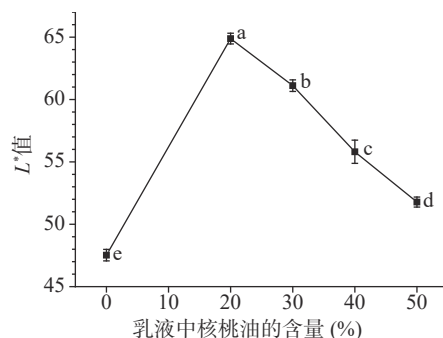


图6 添加梯度核桃油含量乳液对牛排的 L^* 值的影响

Fig.6 Effect of adding emulsion with gradient walnut oil content on the L^* value of steak

图 7 为添加乳液牛排的 a^* 值随乳液中核桃油含量变化情况。如图所示, 添加乳液引起了牛排 a^* 值的显著下降 ($P < 0.05$)。随着添加乳液中核桃油含量的上升, 牛排的 a^* 值呈先上升后下降的趋势。在乳液中核桃油含量为 30% 时达到最大值 16.35, 但仍显著小于 ($P < 0.05$) 未添加乳液的空白对照的 22.19。 a^* 值反映了牛肉的鲜红色泽, 对消费者选购牛肉时的购买欲望有较大影响^[27]。 a^* 值越大, 则牛肉色泽越鲜红。添加乳液引起了牛肉 a^* 值的显著下降 ($P < 0.05$), 这可能是由于乳液对牛肉中血红蛋白、肌红蛋白等色素蛋白质的稀释和掩盖作用^[28]。

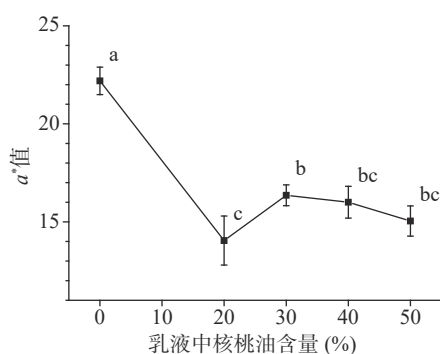


图 7 添加梯度核桃油含量乳液对牛排的 a^* 值的影响

Fig.7 Effect of adding emulsion with gradient walnut oil content on the a^* value of steak

图 8 显示了添加乳液牛排的 b^* 值随乳液中核桃油含量的变化情况。如图所示, 添加低浓度(20%)核桃油乳液首先引起了牛排 b^* 值的显著上升 ($P < 0.05$)。此后, 随着添加乳液中核桃油含量从 20% 上升至 50%, 牛排的 b^* 值呈现下降的趋势。在乳液中核桃油含量为 40% 时, 牛排 b^* 值为 52.07, 接近未添加乳液的空白对照的 51.49。随着乳液中核桃油含量的进一步上升, 牛排 b^* 值下降至 49.94, 小于空白对照, 二者无显著性差异 ($P > 0.05$)。 b^* 值反映了牛肉发黄的程度, b^* 值越高则牛肉的颜色越偏向黄色。添加乳液牛肉的 b^* 值呈上述先上升后下降的趋势, 可能与肌肉中色素蛋白与乳液中油脂的相互作用有关^[26]。

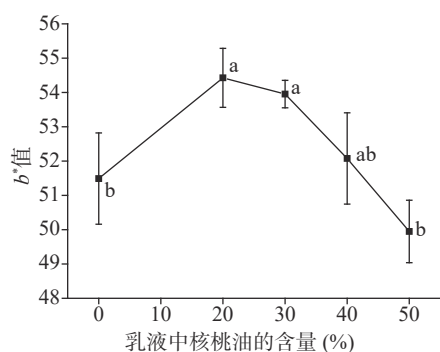


图 8 添加梯度核桃油含量乳液对牛排的 b^* 值的影响

Fig.8 Effect of adding emulsion with gradient walnut oil content on the b^* value of steak

2.2.4 添加梯度核桃油含量乳液对牛排出品率的影响 图 9 为添加乳液牛排的出品率随乳液中核桃油

含量变化情况。如图所示, 未添加乳液的空白对照出品率为 63.47%, 添加乳液后, 牛排的出品率有所提高: 添加含 20% 核桃油乳液的牛排出品率约为 66.90%, 与对照组差异不显著 ($P > 0.05$)。随着核桃油含量上升至 30% 和 40%, 牛排产品的出品率也随之分别上升至 69.37% 和 74.90%, 显著大于对照组 ($P < 0.05$)。当乳液中核桃油含量进一步上升至 50% 后, 牛排的出品率反而下降至 67.79%。添加乳液后牛排的出品率有所提高, 可能是因为 TGase 的保水作用^[30], 这与前期的保水性和保油性实验结果一致。而牛排产品的出品率随着乳液中核桃油含量的增加呈现先上升后下降的趋势, 这可能与乳液中水油比的改变对 TGase 与肌纤维结合的影响有关。

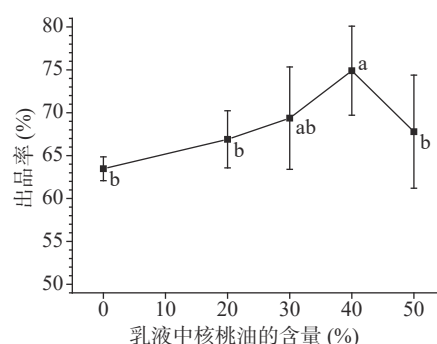


图 9 添加梯度核桃油含量乳液对牛排出品率的影响

Fig.9 Effect of adding emulsion with gradient walnut oil content on the yield of steak

2.2.5 添加梯度核桃油含量乳液对牛排嫩度的影响

图 10 反映了添加乳液牛排的嫩度随乳液中核桃油含量的变化情况。嫩度以嫩度仪刀具切割一定尺寸熟制牛排样品过程中用力的最大值表示。切割过程中仪器用力称为剪切力, 剪切力越大, 切割样品就越费力, 样品的嫩度也就越小。添加核桃油对牛排产品的嫩度的影响如图所示: 随着添加到牛排中的乳液中核桃油含量的上升, 牛排的剪切力值呈现显著下降 ($P < 0.05$) 的趋势。当乳液中核桃油含量达到 40% 时, 牛排剪切力降低至 5636.20 gf, 约为空白对照 15138.16 gf 的 37.23%。当乳液中核桃油含量进一步上升至 50% 时, 牛排的剪切力值进一步下降至

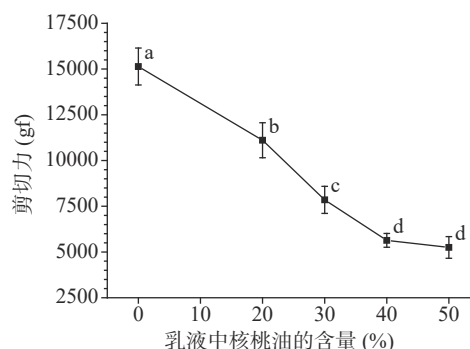


图 10 添加梯度核桃油含量乳液对牛排嫩度的影响

Fig.10 Effect of adding emulsion with gradient walnut oil content on the tenderness of steak

5249.80 gf, 与添加含有 40% 核桃油乳液的牛排样品差异不显著($P>0.05$)。添加乳液引起了牛排剪切力值的显著下降($P<0.05$), 在较大程度上提高了牛排产品的嫩度, 改善了牛排产品的口感。添加核桃油乳液对牛排产品的感官品质有较大的提升。这可能是因为核桃油乳液在牛肉中发挥类似脂肪在高等级牛排中的作用^[31]。

2.2.6 添加梯度核桃油含量乳液对牛排质构剖面分析的影响 表 2 为添加乳液牛排的质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)结果。分析表中数据可知, 添加乳液对牛排的硬度、内聚性和咀嚼性影响较大。

添加乳液对牛排硬度的影响最为明显。未添加乳液的空白对照的牛排样品的硬度为 18609.96 gf, 添加核桃油乳液显著降低($P<0.05$)牛排的硬度。随着乳液中核桃油含量增加, 牛排样品的硬度呈显著下降趋势($P<0.05$)。当乳液中核桃油含量达到 30% 时, 牛排样品的硬度下降至 8847.25 gf, 约为空白对照的 48.31%。当乳液中的核桃油含量进一步上升至 40%, 牛排的硬度随之下降至 4471.42 gf, 约为空白对照的 24.03%。添加含 40% 核桃油乳液与含 50% 核桃油乳液的硬度无显著性差异($P>0.05$), 这与对牛排嫩度测定的结果一致。

添加核桃油乳液对咀嚼性的影响与其对牛排硬度的影响相似。牛排的咀嚼性随着添加的乳液中核桃油含量的上升呈下降趋势。添加含 20% 核桃油的乳液即引起牛排咀嚼性的显著下降($P<0.05$), 随着乳液中核桃油的含量不断上升至 50%, 牛排产品的咀嚼性也随之下降至 2433.92, 约为空白对照的 22.49%。这与乳液对牛排硬度的影响一致。

对照组牛排产品的内聚性为 0.70, 添加核桃油乳液后, 牛排产品的内聚性呈现先下降后上升的趋势。随着乳液中核桃油含量上升, 分别为 0.60、0.52、

0.64 和 0.60, 以乳液中核桃油含量为 30% 时最低。

TPA 结果显示, 添加核桃油乳液减小了牛排的硬度和咀嚼性, 对牛排的内聚性有所影响, 极大改善了牛排的口感。这可能是由于如下几方面的原因: 首先, 乳液中的油脂发挥了类似高等级牛排中动物脂肪的作用, 提高了牛排的汁液丰富度; 其次, 核桃油乳液提供了润滑的口感, 提高了牛排产品的嫩度; 最后, 乳液中的 TGase 提高了产品的保水性和保油性, 对改善牛排产品的口感有促进作用^[32-33]。牛排硬度、内聚性和咀嚼性的变化即为上述影响在 TPA 中的反映。

2.2.7 添加梯度核桃油含量乳液对牛排的感官评价的影响 表 3 为牛排样品的感官评价结果。表中数据显示, 添加核桃油乳液主要对牛排的柔软度和多汁性产生影响, 进而对牛排的总体接受度产生较大影响。感官评价实验结果验证了对牛排的嫩度和 TPA 的测定结果, 即添加 20% 以上浓度的核桃油乳液均可以提高牛排嫩度, 改善牛排口感。随着乳液中核桃油含量的上升, 牛排的柔软度和多汁性随之上升, 在乳液中核桃油含量达到 40% 时达到最高, 分别为 9.28 和 7.65。

添加核桃油对牛排的风味和滋味的影响较小, 与 Florowski 等^[12]的结果一致, 这可能是因为本实验核桃油在牛排中的最终占比相对较小。此外, 核桃的主要风味物质为反, 反-2,4-庚二烯醛、苯甲醛、癸酸、辛酸、壬酸、2-乙基-5-甲基吡嗪和 2-戊基呋喃等, 其呈现良好的焙烤香气, 与煎烤牛排的香气较为协调^[34-35]。

牛排在口腔中咀嚼过程的硬度、滋味、汁液的丰富程度等共同构成了食客的感官体验^[33]。通过对比不同核桃油含量乳液对品质指标的影响, 添加含 50% 核桃油乳液的牛排产品嫩度最高、硬度最小, 乳液对牛排的软嫩程度提升效果最佳; 核桃油含量 40% 的乳液与之在上述嫩度、硬度等方面的指标相

表 2 添加梯度核桃油含量乳液对牛排的质构剖面分析

Table 2 Texture profile analysis of steak adding emulsion with gradient walnut oil content

指标	对照	20%	30%	40%	50%
硬度(gf)	18609.96±460.67 ^a	15736.78±777.25 ^b	8847.25±1104.50 ^c	4471.42±445.42 ^d	4270.41±548.28 ^d
弹性	0.68±0.07 ^a	0.64±0.06 ^a	0.67±0.07 ^a	0.65±0.03 ^a	0.64±0.03 ^a
内聚性	0.70±0.08 ^a	0.60±0.07 ^b	0.52±0.05 ^c	0.64±0.02 ^{ab}	0.60±0.03 ^b
咀嚼性	10823.07±1444.26 ^a	7948.80±81.53 ^a	4637.80±245.64 ^b	4293.54±27.63 ^b	2433.92±437.40 ^c

注: 同行不同字母代表差异显著($P<0.05$); 表3同。

表 3 添加梯度核桃油含量乳液对牛排的感官评价

Table 3 Sensory evaluation of steak adding emulsion with gradient walnut oil content

指标	对照	20%	30%	40%	50%
气味	8.14±1.01 ^a	8.45±1.14 ^a	8.18±0.73 ^a	8.29±1.14 ^a	8.20±0.95 ^a
柔软度	4.26±0.55 ^c	7.12±0.86 ^b	8.43±0.65 ^{ab}	9.28±0.71 ^a	8.67±0.74 ^{ab}
多汁性	6.25±1.02 ^a	7.54±0.89 ^b	7.51±1.04 ^b	7.65±0.72 ^b	7.12±0.92 ^b
滋味	7.54±0.83 ^a	7.85±0.73 ^a	7.08±0.53 ^a	7.35±0.98 ^a	7.45±1.06 ^a
总体接受度	7.03±0.65 ^a	8.07±0.73 ^b	8.55±0.69 ^b	8.82±0.61 ^b	8.54±0.82 ^b

近,并且在感官评价试验中获得了最高的气味、柔软度和多汁性评分,最终的总体接受度评分最高。添加梯度核桃油乳液在本研究涉及的范围内没有对牛排的理化指标产生很大的负面影响。核桃油因其生产工艺采用冷榨法而价格较高^[36-37],应当在保证效果的前提下尽量减少其用量以节约成本。因此。综合比较实验结果,含 40% 核桃油乳液对牛排产品的嫩度、硬度等品质指标提升较高,成本相对较低,适合推广工艺、投入生产。

3 结论

本实验通过高压低温注射方式成功制备了添加核桃油乳液的牛排,并探究了不同 TGase 含量的乳液对牛排结合乳液能力的影响和不同核桃油含量的乳液对牛排水分含量、pH、色泽等理化指标和嫩度、出品率等品质指标的影响。结果显示,添加乳液的牛排的保油性和保水性随着乳液中 TGase 含量的上升呈先上升后稳定的趋势,在 TGase 含量为 0.9% 后趋于平稳,确定其为适宜的 TGase 添加量。向牛排中注射添加核桃油乳液引起牛排水分含量升高、pH 降低、 L^* 值升高后降低、 a^* 值和 b^* 值降低。

添加乳液对牛排理化性质的上述影响主要由乳液中的核桃油成分和不同核桃油含量的乳液的水油比变化引起的。向牛排中注射添加核桃油乳液使牛排的剪切力降低了最多约 65.33%,显著增加($P < 0.05$)了牛排产品的嫩度;出品率提高了最多约 11.43%,牛排产品的硬度和咀嚼性分别降低了最多约 77.06% 和 77.52%,提高了牛排产品的柔软度和汁液丰富度的感官评价得分,而对牛排的气味和滋味影响较小。通过对添加核桃油乳液对牛排上述指标的影响的测定和分析,本实验认为 TGase 含量 0.9%、核桃油含量 40% 的乳液最适宜添加到牛排中,用于提高牛排的软嫩程度和汁液丰富度。

参考文献

- [1] 刘亚娜,郎玉苗,包高良,等. 甘南牦牛肉与中国西门塔尔牛肉营养特性对比分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 360-364.
- [2] 赵改名,张桂艳,茹昂,等. 新疆褐牛不同部位肉品质特性差异分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 261-267, 137. [ZHAO G M, ZHANG G Y, RU A, et al. Analysis of differences in meat quality characteristics of different parts of Xinjiang Brown Cattle[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(2): 261-267, 137.]
- [3] GB/T 27643-2011 牛胴体及鲜肉分割[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. [GB/T 27643-2011 Beef carcass and fresh meat segmentation[S]. Beijing: China Standard Press, 2011.]
- [4] GB/T 29392-2012 普通肉牛上脑、眼肉、外脊、里脊等熟度划分[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [GB/T 29392-2012 Classification of upper brain, eye meat, outer spine, and loin of ordinary
- beef cattle[S]. Beijing: China Standard Press, 2012.]
- [5] DAMIAN F, KORNELIA K, JANET P, et al. Effect of marbling on volatile generation, oral breakdown and in mouth flavor release of grilled beef[J]. *Meat Science*, 2017, 133: 61-68.
- [6] MARTA A, ICIAR A, DIANA A, et al. Using canola oil hydrogels and organogels to reduce saturated animal fat in meat batters[J]. *Food Research International*, 2019, 122: 129-136.
- [7] MARYAM M, NAFISEH S, SAYED A H G. Production of sesame oil oleogels based on beeswax and application as partial substitutes of animal fat in beef burger[J]. *Food Research International*, 2018, 108: 368-377.
- [8] BAUBLITSA R T, POHLMANA F W, BROWN A H J R, et al. Injection of conjugated linoleic acid into beef strip loins[J]. *Meat Science*, 2007, 75(1): 84-93.
- [9] SIMONE M, GIOVANNA P, ALESSANDRO D B, et al. Modifications of fatty acids profile, lipid peroxidation and antioxidant capacity in raw and cooked rabbit burgers added with ginger[J]. *Meat Science*, 2017, 133: 151-158.
- [10] STINA C M B, ANDERS E, UKO B, et al. Lipid oxidation inhibition capacity of plant extracts and powders in a processed meat model system[J]. *Meat Science*, 2020, 162: 108033.
- [11] WANG X X, XIE Y Y, LI X M, et al. Effects of partial replacement of pork back fat by a camellia oil gel on certain quality characteristics of a cooked style Harbin sausage[J]. *Meat Science*, 2018, 146: 154-159.
- [12] TOMASZ F, ANNA F, MARTA C, et al. The effect of nuts and oilseeds enriching on the quality of restructured beef steaks[J]. *LWT*, 2019, 104: 128-133.
- [13] GIAMPIERO B, MONICA B, MARCO F, et al. Feasibility of addition of polyphenol-rich vegetable extracts in whole cooked products: Benefits and drawbacks[J]. *Meat Science*, 2018, 139: 1-6.
- [14] 郎玉苗, 谢鹏, 李敬, 等. 熟制温度及切割方式对牛排食用品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 317-325. [LANG Y M, XIE P, LI J, et al. Effect of cooking final temperature and cutting method on eating quality of pan-fried steak[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(1): 317-325.]
- [15] 汪岩, 赵百忠, 陈涛. 亚麻籽胶在高温火腿肠中应用性能的研究[J]. *肉类研究*, 2005(8): 43-46. [WANG Y, ZHAO B Z, CHEN T, et al. Study on the application performance of linseed gum in high temperature ham sausage[J]. *Meat Research*, 2005(8): 43-46.]
- [16] GB 5009.3-2016. 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [GB 5009.3-2016. National food safety standard determination of moisture in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [17] GB 5009.237-2016. 食品安全国家标准食品 pH 的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [GB 5009.237-2016. National food safety standard determination of food pH value[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [18] 孙金龙, 刘莉丹, 张春江, 等. 不同包装方式对土豆烧牛肉菜肴中牛肉贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(23): 203-208. [SUN J L, LIU L D, ZHANG C J, et al. The effect of dif-

- ferent packaging methods on the storage quality of beef in potato roast beef dishes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(23): 203–208.]
- [19] 周亚军, 杨永华, 李圣桡, 等. 定量卤制牛肉干的品质特性[J]. *食品科学*, 2020, 41(21): 7–14. [ZHOU Y J, YANG Y H, LI S N, et al. Quality characteristics of beef jerky produced by quantitative marination[J]. *Food Science*, 2020, 41(21): 7–14.]
- [20] NY/T 1180-2006. 肉嫩度的测定 剪切力测定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. [NY/T 1180-2006. Determination of meat tenderness shear force determination method[S]. Beijing: China Standard Press, 2006.]
- [21] GB/T 22210-2008. 肉与肉制品感官评定规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [GB/T 22210-2008. Code for sensory evaluation of meat and meat products[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.]
- [22] COLLEA M C, RICHARDA R P, SMITHB D M, et al. Dry potato extracts improve water holding capacity, shelf life, and sensory characteristics of fresh and precooked beef patties[J]. *Meat Science*, 2019, 149: 156–162.
- [23] LU X, HRYNETS Y, BETTI M, et al. Transglutaminase-catalyzed amination of pea protein peptides using the biogenic amines histamine and tyramine[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(8): 2436–2442.
- [24] 施源德, 杨琴, 黄迪惠, 等. 酶促交联罗非鱼肉重组工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(10): 64–68. [SHI Y D, YANG Q, HUANG D H, et al. Study on recombination technique of enzymatically cross-linked Tilapia meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(10): 64–68.]
- [25] GAO P, LIU R J, JIN Q Z, et al. Effects of processing methods on the chemical composition and antioxidant capacity of walnut (*Juglans regia* L.) oil[J]. *LWT*, 2021, 135: 109958.
- [26] 李欣, 鲁丁丁, 肖朝耿, 等. 甜橙油纳米乳的优化及其流变特性[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(3): 125–133. [LI X, LU D D, XIAO C G, et al. Optimization of the nanoemulsions for sweet orange oil and its rheology[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(3): 125–133.]
- [27] MAHBUBI A, UCHIYAMAA T, HATANAKAA K. Capturing consumer value and clustering customer preferences in the Indonesian halal beef market[J]. *Meat Science*, 2019, 156: 23–32.
- [28] LI X, ZANG D Q, IJAZ M, et al. Colour characteristics of beef longissimus thoracis during early 72 h postmortem[J]. *Meat Science*, 2020, 170: 108245.
- [29] KIM T, YONG H, JUNG S, et al. Effects of replacing pork fat with grape seed oil and gelatine/alginate for meat emulsions[J]. *Meat Science*, 2020, 163: 108079.
- [30] 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*, 2021, 146: 111513.
- [31] WALL K R, KERTHA C R, MILLERA R K, et al. Grilling temperature effects on tenderness, juiciness, flavor and volatile aroma compounds of aged ribeye, strip loin, and top sirloin steaks[J]. *Meat Science*, 2019, 150: 141–148.
- [32] MORGAN K F, KYLE R C, ASHLEY N A, et al. Palatability assessments of beef strip loin steaks portioned by weight or by thickness sourced from various carcass weight/ribeye area size combinations[J]. *LWT*, 2021, 172: 108319.
- [33] SUNS Q, FAITH D R, GEORGE A C, et al. Texture, color and sensory evaluation of sous-vide cooked beef steaks processed using high pressure processing as method of microbial control[J]. *LWT*, 2019, 103: 169–177.
- [34] 贾潇, 周琦, 杨旖旎. 3种坚果油的挥发性成分提取及关键风味成分分析[J]. *中国油脂*, 2020, 45(7): 35–41. [JIA X, ZHOU Q, YANG Y N, et al. Extraction of volatile flavors of three kinds of nut oils and their key flavor compounds[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(7): 35–41.]
- [35] 徐迅, 卜俊芝. 不同烹调方法对牛里脊营养和感官品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(22): 144–149. [XU X, BU J Z. Influence of different cooking methods on nutritional and sensory quality of beef tenderloin[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(22): 144–149.]
- [36] 袁超, 包杰, 朱天仪. 核桃油的理化性质及氧化稳定性研究[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(6): 27–30. [YUAN C, BAO J, ZHU T Y. Study on the physicochemical properties and oxidative stability of walnut oil[J]. *Grains and Fats*, 2018, 31(6): 27–30.]
- [37] GAO P, LIU R J, JIN Q Z, et al. Effects of processing methods on the chemical composition and antioxidant capacity of walnut (*Juglans regia* L.) oil[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 135: 109958.