

# 油炸条件对小酥肉食用品质的影响及工艺优化

王纯<sup>1</sup>, 郑钧<sup>2</sup>, 林以琳<sup>1</sup>, 王玥<sup>1</sup>, 李盼<sup>1</sup>, 潘小欢<sup>1</sup>, 余以刚<sup>1\*</sup>

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(2. 广东省农业供给侧结构性改革基金管理有限公司, 广东广州 511457)

**摘要:** 为改善小酥肉的食用品质, 该研究以鸡胸肉为原料, 探究油炸过程中不同温度和时间对小酥肉水分含量、质量损失率、硫代巴比妥酸反应物 (TBARS) 值、色度、质构及感官评分的影响, 并对油炸条件和品质指标进行相关性分析。以油炸温度和时间为自变量, 以感官评分为响应值, 采用 Box-Behnken 响应面法优化小酥肉的油炸条件。结果表明: 油炸温度和时间与质量损失率、TBARS 值、 $a^*$  值、硬度和咀嚼性的相关性较强。小酥肉的最佳油炸条件为: 一次油炸温度 149 °C, 一次油炸时间 40 s, 二次油炸温度 178 °C, 二次油炸时间 107 s。该工艺条件下制作的小酥肉感官评分为 95.50 分, 与预测值相比误差为 0.54%, 说明响应面回归模型具有可靠性。与 3 种市售产品相比, 该小酥肉产品风味独特, 口感酥脆, 在满足食用品质的条件下, 质量损失率较低, 为 59.37%; 硬度处于适中水平, 为 26.29 N; TBARS 值为 0.41 mg MDA/kg, 与市售产品相比分别降低了 6.15%、3.29% 和 2.60%, 具有最佳的适口性与安全性。该研究为小酥肉产品的工业化生产提供了一定的理论依据。

**关键词:** 小酥肉; 油炸条件; 响应面; 品质; 工艺优化

文章编号: 1673-9078(2025)05-230-242

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.5.0530

## Effects of Frying Conditions on the Edible Quality of Crispy Meat and Process Optimization

WANG Chun<sup>1</sup>, ZHENG Jun<sup>2</sup>, LIN Yilin<sup>1</sup>, WANG Yue<sup>1</sup>, LI Pan<sup>1</sup>, PAN Xiaohuan<sup>1</sup>, YU Yigang<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science of Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Guangdong Province Agriculture Supply Side Structural Reform Fund Management Co. Ltd., Guangzhou 511457, China)

**Abstract:** In order to improve the edible quality of crispy meat, this study investigated the effects of different temperature and time during frying on the moisture content, rate of mass loss, thiobarbituric acid (TBARS) value, color, texture, and sensory evaluation scores of crispy meat using chicken breasts as raw material, and evaluated the correlation between the frying conditions and the quality of crispy meat. The Box-Behnken response surface method was used to optimize the temperature and time during frying of the crispy meat. The response factors were different temperature and time for primary and secondary frying processes, and the response value was sensory evaluation scores. The results indicated that frying temperature and time showed strong correlation with rate of mass loss, TBARS value,  $a^*$  value, hardness and chewiness. The optimal frying process conditions of crispy meat were: primary frying temperature was 149 °C, primary frying

引文格式:

王纯, 郑钧, 林以琳, 等. 油炸条件对小酥肉食用品质的影响及工艺优化[J]. 现代食品科技, 2025, 41(5): 230-242.

WANG Chun, ZHENG Jun, LIN Yilin, et al. Effects of frying conditions on the edible quality of crispy meat and process optimization [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(5): 230-242.

收稿日期: 2024-04-22

基金项目: 广东省农业农村厅农业科研类及技术推广示范类项目 (2023-440000-58010200-9645); 广州市科技计划项目 (202206010177)

作者简介: 王纯 (2000-), 女, 硕士, 研究方向: 食品质量与安全控制, E-mail: 2608618472@qq.com

通讯作者: 余以刚 (1968-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品质量与安全控制, E-mail: yuyigang@scut.edu.cn

time was 40 s, secondary frying temperature was 178 °C, and secondary frying time was 107 s. The sensory evaluation score of crispy meat produced by this process was 95.50, with an error of 0.54% compared with the predicted value, which demonstrated that the response surface regression model was reliable. Comparing the sale of the three products, the crispy meat had unique flavor and crispy texture; the rate of mass loss was 59.37% for crispy meat at the condition of edible quality and the hardness was 26.29 N, which was at a moderate level. The TBARS value was 0.41 mg MDA/kg, which was reduced by 6.15%, 3.29% and 2.60% compared with that of the other varieties. The results indicated that crispy meat under optimal frying condition improved palatability and safety. This study provided some theoretical basis for the processing of crispy meat products in industrialized production.

**Key words:** crispy meat; frying condition; response surface; quality; process optimization

鸡肉肉质嫩滑，味道鲜美，富含多种营养物质，如色氨酸、赖氨酸、维生素 A、维生素 B1 等，具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇等优点<sup>[1]</sup>。鸡肉预制菜是指鸡肉经过一系列处理，加工成全熟或半熟的菜肴，进入市场后可以进行简易烹调的产品，具有食用方便，风味损失小等优点<sup>[2]</sup>。小酥肉主要是以鸡肉为原料，经过腌制、挂糊、油炸等工艺制成的裹面油炸类食品，是常见的鸡肉预制菜之一，制作方式简单易行，口感外酥里嫩，色泽诱人，是中式菜肴的典型代表，深受各地人民的喜爱<sup>[3]</sup>。

裹面油炸类食品的油炸温度一般为 140~200 °C，在这一过程中，食品内部会发生氧化、水解、聚合和异构化等反应，从而生成游离脂肪酸、醛、醇、酮等物质，加速食品的氧化，影响食用品质<sup>[4]</sup>。因此，不恰当的油炸温度和时间会对小酥肉的色泽、风味和口感产生不良影响。过高的油炸温度和时间会使小酥肉水分含量过低，质量损失率较高，导致硬度增加，难以咀嚼，且油脂氧化程度加重，更易产生丙烯酰胺、多环芳烃等有害物质<sup>[5]</sup>。而过低的油炸温度和时间会使小酥肉表皮软烂，呈现浅黄色，口感软糯不酥脆，缺少油炸食品本身应有的外观和风味<sup>[6]</sup>。同时，油炸肉类食品工艺也是影响食用品质的主要原因，目前小酥肉的加工工艺主要为单次油炸，原料长时间处于高温环境，肉质较柴，内芯锁水性较差，难以达到外酥里嫩、内部多汁的口感。

本研究以冷鲜鸡胸肉为原料，采用先低温定型后高温加热的两次油炸工艺制作小酥肉，探究两次油炸过程中温度和时间对其品质指标和感官评分的影响，并运用响应面试验方法对其油炸温度和时间进行工艺优化，从而制备出一款相对健康、口味独特的小酥肉产品，为小酥肉产品的工业化生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

鸡胸肉，广州象鲜科技有限公司；食用调和油，益海嘉里金龙鱼粮油股份有限公司；食盐，四川乐山联峰盐化有限责任公司；酱油、料酒，广东美味鲜调味食品有限公司；鸡精，上海太太乐食品有限公司；十三香，驻马店市王守义十三香调味品集团有限公司；姜黄粉，临沂万嘉商贸有限公司；中筋面粉，广州福正东海食品有限公司；马铃薯淀粉，深圳市太港食品有限公司。

2-硫代巴比妥酸、三氯乙酸（分析纯），上海阿拉丁生化科技股份有限公司；氢氧化钠（分析纯），西陇科学股份有限公司；盐酸、无水乙醇、三氯甲烷（分析纯），广州试剂化学厂；2,6-二叔丁基对甲酚（分析纯），国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 主要仪器

FA2104 分析天平，上海舜宇恒平科学仪器有限公司；DHG-9023A 电热鼓风干燥箱，上海申贤恒温设备厂；WK2102T 电磁炉，广东美的生活电器制造有限公司；Cytation5 酶标仪，美国伯腾仪器有限公司；H1750R 高速冷冻离心机，长沙湘仪检测设备有限公司；TMS-PRO 食品物性分析仪，美国 FTC 公司；Ci60 便携式色差仪，爱色丽（上海）色彩科技有限公司；HH-4 数显恒温水浴锅，金坛市良友仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 小酥肉的制备

##### 1.3.1.1 工艺流程

参照王林<sup>[7]</sup>的方法并改进。以冷鲜鸡胸肉为原

料, 添加食盐、酱油、料酒等配料进行腌制后挂糊, 最后进行一次油炸和二次油炸制得小酥肉成品, 其工艺流程如下:

鸡胸肉→调味→腌制→挂糊→一次油炸→二次油炸→冷却→包装→成品

### 1.3.1.2 操作步骤

(1) 原料预处理: 选择冷鲜鸡胸肉, 切成  $5 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$  的条状, 备用。

(2) 腌制: 加入质量分数为 1.5% 的食盐、1% 的酱油、5% 的料酒、0.8% 的鸡精、0.2% 的十三香和 0.3% 的姜黄粉 (以冷鲜鸡胸肉的质量计), 搅拌均匀后置于  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  冰箱腌制 15 min。

(3) 挂糊: 加入中筋面粉、马铃薯淀粉和水 (质量比为 1:1:2) 搅拌均匀制糊, 其中糊料与冷鲜鸡胸肉的质量比为 5:2, 将腌制好的鸡胸肉置于糊中充分浸没 15 s。

(4) 一次油炸: 设置油炸温度分别为 130、140、150、160 和  $170 \text{ }^\circ\text{C}$ , 将挂糊的鸡胸肉逐个放入锅内油炸, 设置油炸时间分别为 20、30、40、50 和 60 s, 定型后捞出。

(5) 二次油炸: 设置油炸温度分别为 160、170、180、190 和  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 将挂糊的鸡胸肉逐个放入锅内油炸, 设置油炸时间分别为 90、100、110、120 和 130 s, 油炸后捞出沥干表面油脂。

(6) 冷却和包装: 将制备好的小酥肉冷却至室温, 封口包装, 即得成品。

## 1.3.2 单因素试验设计

### 1.3.2.1 一次油炸温度对小酥肉品质的影响

设定一次油炸时间 30 s、二次油炸温度  $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 、二次油炸时间 100 s, 考察一次油炸温度 (130、140、150、160、 $170 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 对小酥肉品质的影响。

### 1.3.2.2 一次油炸时间对小酥肉品质的影响

设定一次油炸温度  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 、二次油炸温度  $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 、二次油炸时间 100 s, 考察一次油炸时间 (20、30、40、50、60 s) 对小酥肉品质的影响。

### 1.3.2.3 二次油炸温度对小酥肉品质的影响

设定一次油炸温度  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 、一次油炸时间 30 s、二次油炸时间 100 s, 考察二次油炸温度 (160、170、180、190、 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 对小酥肉品质的影响。

### 1.3.2.4 二次油炸时间对小酥肉品质的影响

设定一次油炸温度  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 、一次油炸时间 30 s、二次油炸温度  $170 \text{ }^\circ\text{C}$ , 考察二次油炸时间 (90、100、110、120、130 s) 对小酥肉品质的影响。

## 1.3.3 响应面试验设计

在单因素试验的基础上, 根据 Box-Behnken 模型中心组合试验设计原理, 进行四因素三水平响应面试验, 以感官评分为响应值, 优化小酥肉油炸工艺参数, 响应面因素水平见表 1。

表 1 响应面因素水平

因素	水平		
	-1	0	1
A 一次油炸温度/ $^\circ\text{C}$	140	150	160
B 一次油炸时间/s	30	40	50
C 二次油炸温度/ $^\circ\text{C}$	170	180	190
D 二次油炸时间/s	100	110	120

## 1.3.4 水分含量的测定

参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》<sup>[8]</sup>测定小酥肉的水分含量。

## 1.3.5 质量损失率的测定

参考王淑玲等<sup>[9]</sup>的方法。油炸前称量小酥肉的质量, 取出经油炸后的小酥肉, 用滤纸吸干表面油脂, 冷却后称量。按式 1 计算质量损失率:

$$A = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$A$ ——质量损失率, %;

$m_0$ ——油炸前小酥肉的质量, g;

$m_1$ ——油炸后小酥肉的质量, g。

## 1.3.6 TBARS值的测定

参考 Wang 等<sup>[10]</sup>的方法并作修改。称取 2 g 样品, 与 3 mL 质量分数为 1% 的硫代巴比妥酸 (TBA) 溶液 (溶解在 0.075 mol/L NaOH 中) 和 17 mL TCA-HCl 溶液 (体积分数为 2.5% 的 TCA, 0.04 mol/L HCl) 混合, 加入 3 滴质量分数为 0.01% 的 2,6-二叔丁基对甲酚-乙醇溶液, 在沸水浴中反应 30 min 后, 冷却至室温。将 2 mL 混悬液与 2 mL 氯仿混匀后涡流 1 min, 然后在 8 000 r/min、 $4 \text{ }^\circ\text{C}$  的条件下离心 10 min, 在 532 nm 处读取吸光值。TBARS 值以每升样品溶液中丙二醛的毫克数表示, 计算方法见式 2:

$$B = \frac{A_{532}}{W} \times 9.48 \quad (2)$$

式中:

$B$ ——TBARS 值, mg MDA/kg;

$A_{532}$ —上清液在 532 nm 处测定的吸光值;

$W$ —样品质量, g。

### 1.3.7 色度的测定

参考鱼喆喆等<sup>[11]</sup>的方法。使用便携式色差仪测定小酥肉的色度值。光源/视角选择 D65/10°, 测量模式选择 QA, 测定小酥肉的  $L^*$  (亮度值)、 $a^*$  (红度值) 和  $b^*$  (黄度值), 每种样品测 5 次取平均值。

### 1.3.8 质构的测定

参考 Li 等<sup>[12]</sup>的方法并作改进。利用食品物性分析仪对小酥肉的质地进行测定, 选取硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性和内聚性作为评价指标。选用 75 mm 圆盘探头, 力量感应元为 100 N, 测前、测中、测后的速度均为 0.5 mm/s, 压缩比例 50%, 起始力为 0.15 N, 停留时间 5 s, 平行测定 5 次取平均值。

### 1.3.9 感官评价

根据 GB 2726-2016《食品安全国家标准 熟肉制品》<sup>[13]</sup>和杨爽等<sup>[14]</sup>的方法并作改动。选取 10 名经专业训练的食品科学与工程专业的学生 (男女比例为 1:1) 组成感官评价小组, 按照表 2 对小酥肉的外观、色泽、气味和口感进行评分, 评价完成一个样品后用清水漱口, 再进行下一次感官评价。

表 2 小酥肉的感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of crispy meat		
项目	评分标准	得分
外观 (25分)	外观完整, 形状规则, 膨胀度较好, 无脱糊现象	18~25
	外观完整, 形状规则, 膨胀度一般, 无脱糊现象	8~17
	外观较完整, 形状不规则, 膨胀度较差, 部分脱糊	0~7
色泽 (25分)	呈金黄色, 有光泽	18~25
	呈淡黄色或焦黄色, 有一定光泽	8~17
	呈暗黑色, 无光泽	0~7
气味 (25分)	有浓郁的油炸食品风味, 无焦糊味或异味	18~25
	有油炸食品风味, 有焦糊味, 无异味	8~17
	油炸食品风味较弱, 有焦糊味和异味	0~7
口感 (25分)	外壳酥脆, 硬度适中, 汁液丰富	18~25
	外壳酥脆, 硬度较大或较小, 汁液较少	8~17
	外壳柔软, 硬度过硬或过软, 几乎无汁液	0~7

### 1.3.10 数据处理

除色度、质构的测定和感官评价外, 其余试验数据测定 3 次平行, 表示形式为“平均值 ± 标准差”; 采用 SPSS 18.0 软件中 Duncan 新复极差法进行差异显著性分析, 不同字母表示数据具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 采用 Design-Expert 13 软件进行响应面试验设计与结果分析; 采用 Origin 2021 软件作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 油炸条件对小酥肉水分含量的影响

油炸条件对小酥肉水分含量的影响如图 1 所示。经前期试验可知, 生肉的水分含量为 74.61%, 随着油炸温度和时间的增加, 小酥肉水分含量的变化显著下降 ( $P < 0.05$ ), 但是一次油炸温度和时间对小酥肉水分含量的影响较小, 这是因为一次油炸的目的是将挂糊的小酥肉进行定型, 时间较短, 水分蒸发速率较低。二次油炸是小酥肉的主要烹饪过程, 随着温度和时间的增加, 小酥肉的水分快速蒸发, 当油炸温度高于 190 °C, 时间长于 110 s 时, 水分含量低于 58% 且变化较小。Wang 等<sup>[15]</sup>的研究表明, 随着油炸时间的增加, 鸡肉肌纤维网络中的固定水转化为细胞间隙的自由水, 水分梯度不断增加, 进而导致更多水分流失。但是温度和时间增加至一定值时, 小酥肉表面形成较坚硬的多孔网状外壳, 且表面附着较多脂肪, 阻碍水分的蒸发<sup>[16]</sup>, 因此水分含量变化较小。

#### 2.1.2 油炸条件对小酥肉质量损失率的影响

油炸条件对小酥肉质量损失率的影响如图 2 所示。质量损失率随油炸温度和时间的增加而显著增加 ( $P < 0.05$ ), 油炸过程中同时进行水分蒸发和油脂吸收的过程, 且水分损失的质量通常大于油脂吸收的质量<sup>[17]</sup>。油炸温度对小酥肉质量损失率的影响大于油炸时间的影响, 二次油炸温度从 160 °C 升至 200 °C 时, 质量损失率增加了 7.61%, 而一次油炸时间从 20 s 延长至 60 s 时, 质量损失率仅提高了 3.29%, 当二次油炸温度从 190 °C 升至 200 °C 时, 质量损失率无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 可能因为小酥肉表面形成一定厚度的硬壳, 阻碍水分和油脂的流动。

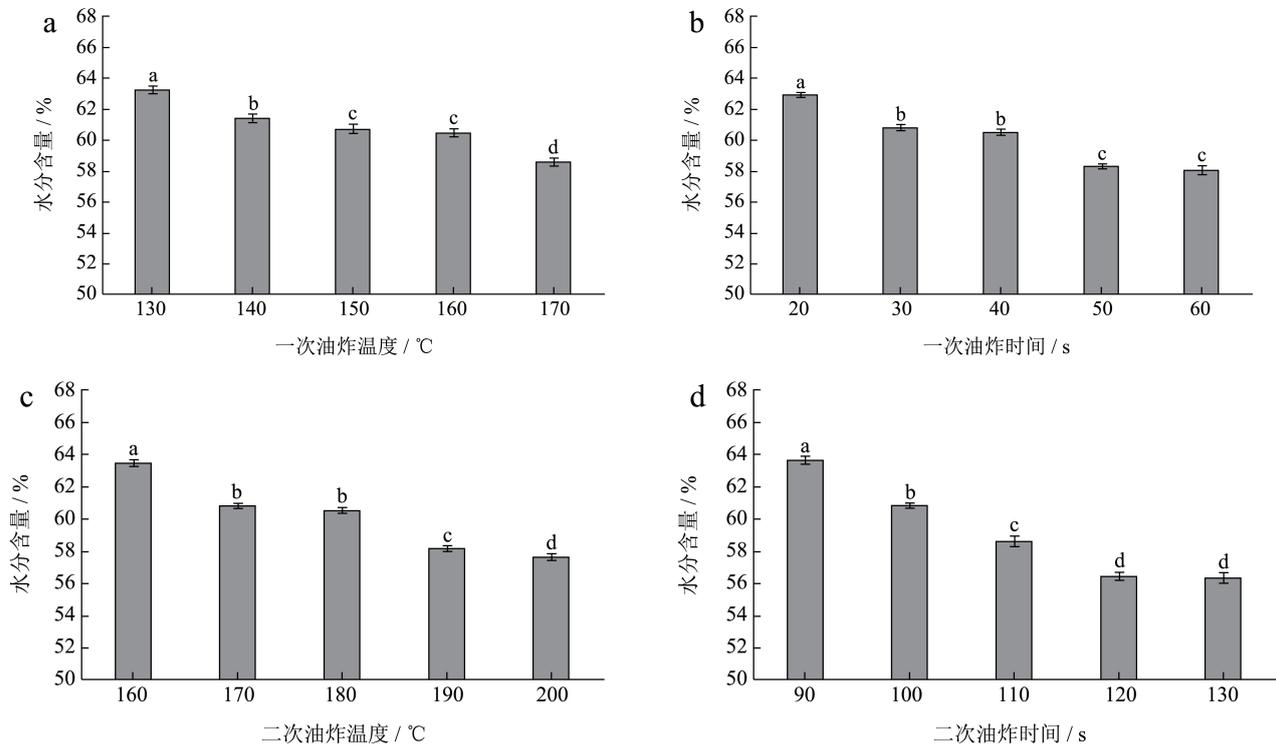


图1 不同油炸条件对小酥肉水分含量的影响

Fig.1 Effect of different frying conditions on the moisture content of crispy meat

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。图2、3同。

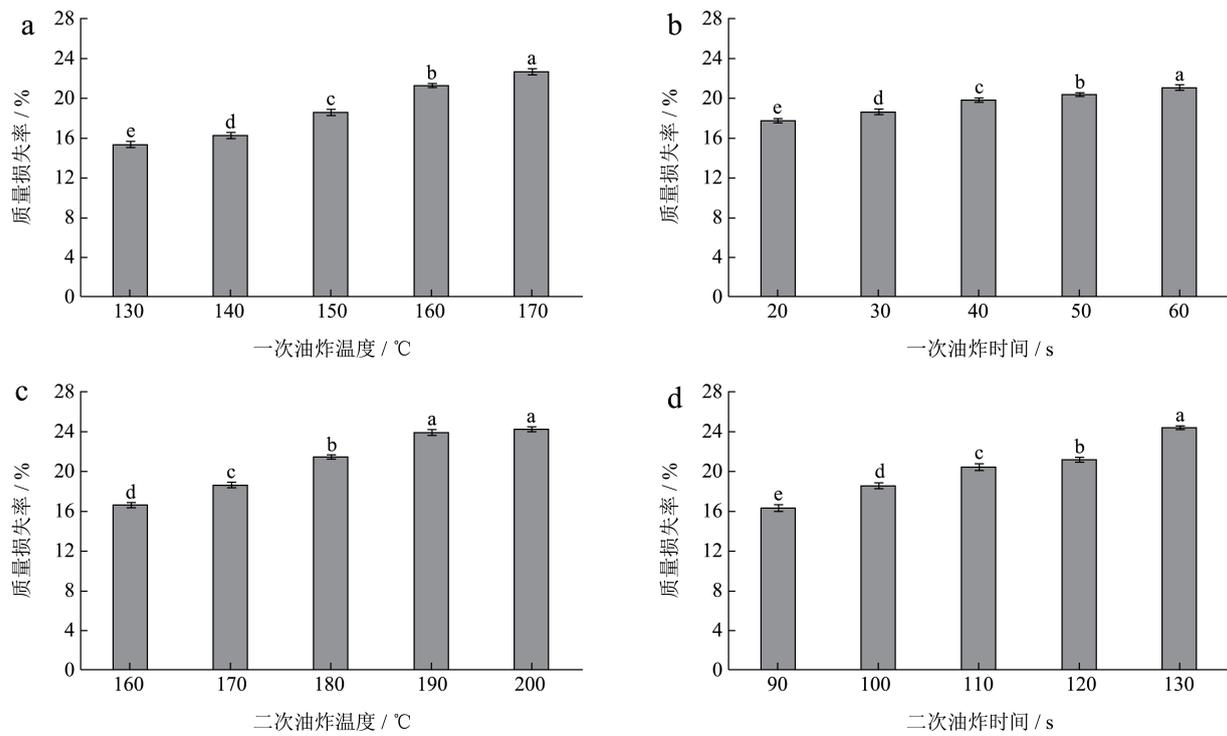


图2 不同油炸条件对小酥肉质量损失率的影响

Fig.2 Effect of different frying conditions on the rate of quality loss of crispy meat

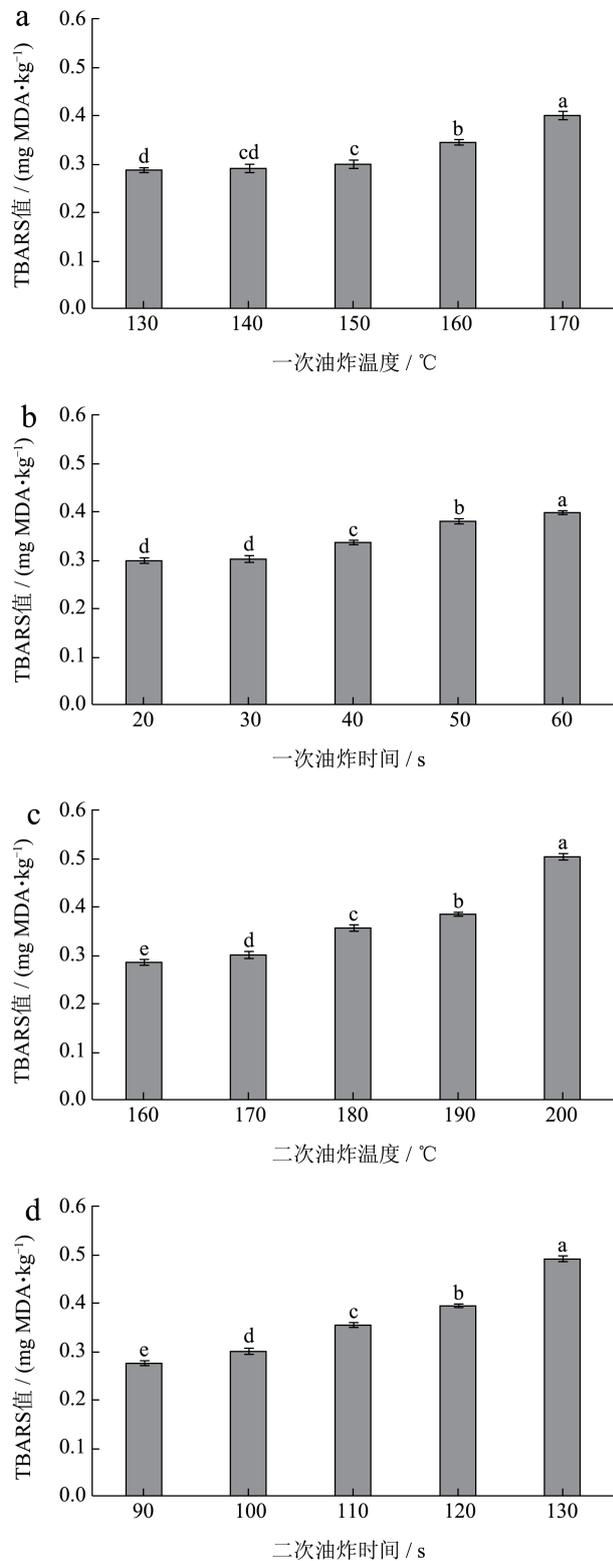


图3 不同油炸条件对小酥肉 TBARS 值的影响

Fig.3 Effect of different frying conditions on the TBARS value of crispy meat

2.1.3 油炸条件对小酥肉TBARS值的影响

丙二醛 (MDA) 是脂质氧化的二级产物, TBARS 值已被广泛用于表示游离丙二醛的含量,

进而表示脂质氧化和风味劣变的程度<sup>[18]</sup>。Ripoll 等<sup>[19]</sup>认为 TBARS 值达到 2.5 mg MDA/kg 时, 肉类食品会出现腐败酸味的现象。经前期试验可知, 生肉的 TBARS 值为 0.10 mg MDA/kg。由图 3 可以看出, 经油炸后 TBARS 值显著上升 ( $P < 0.05$ ), 均未发生风味劣变, 在一次油炸过程中较低的温度对 TBARS 值影响较小, 温度从 130 °C 上升至 150 °C 时, TBARS 值稳定在 0.29 mg MDA/kg 附近。在二次油炸过程中, 随着温度和时间的增加, TBARS 值显著增加 ( $P < 0.05$ ), 温度从 160 °C 升至 200 °C 时, TBARS 值由 0.29 mg MDA/kg 增加至 0.50 mg MDA/kg, 油炸后期, 大量食用油进入小酥肉内部, 不饱和脂肪酸氧化生成过氧化物中间体, 很快转化为醇、醛、酮、酸和环氧化合物等物质, 且超过一定温度后, 丙二醛产生速率加快<sup>[20]</sup>。

2.1.4 油炸条件对小酥肉外观和色度的影响

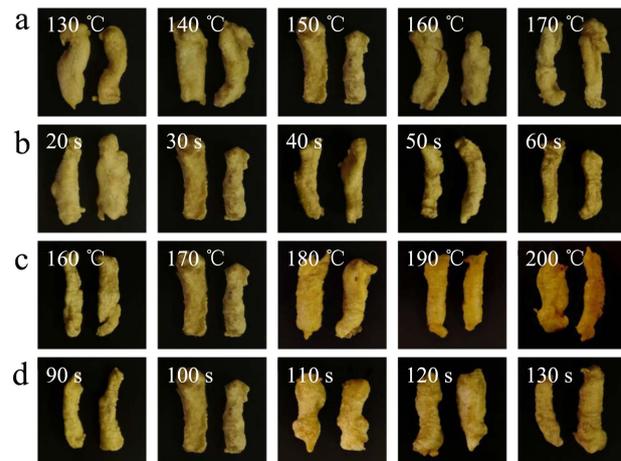


图4 不同油炸条件下小酥肉的直观图

Fig.4 Appearance of crispy meat under different frying conditions

注: (a)、(b)、(c)、(d) 分别为不同一次油炸温度、一次油炸时间、二次油炸温度、二次油炸时间下小酥肉的直观图。

不同油炸条件下小酥肉的直观图如图 4 所示。由图 4 可知, 小酥肉表皮随着一次油炸温度和时间的增加逐渐呈现出金黄色, 但是差异较小。当二次油炸温度和时间增加至 160 °C 和 110 s 时, 小酥肉表皮呈金黄色且富有光泽, 具有一定的膨胀度, 然而, 过高的温度和时间会导致小酥肉表皮呈焦黄色甚至边缘处呈黑色。不同油炸条件对小酥肉色度的影响如表 3 所示。由表 3 可知, 随着油炸温度和时

间的增加,亮度  $L^*$  值显著降低 ( $P < 0.05$ ), 红度  $a^*$  值显著增加 ( $P < 0.05$ ), 黄度  $b^*$  值变化较小。一次油炸时间由 20 s 延长至 60 s 时,  $L^*$  值由 67.44 下降至 57.87,  $a^*$  值增加了 7.00, 二次油炸温度由 160 °C 升至 200 °C 时,  $L^*$  值下降了 33.21%,  $a^*$  值增加了 2.69 倍, 表明油炸温度和时间对  $L^*$  值和  $a^*$  值的影响较大。这是因为油炸过程中还原糖和氨基酸发生美拉德反应和焦糖化反应, 产生棕色或黑色的拟黑素, 使小酥肉表皮颜色加深, 光泽感降低<sup>[21]</sup>。结合小酥肉外观和色泽得分可以看出, 小酥肉的  $L^*$  值介于 55~65 之间,  $a^*$  值介于 5~10 之间,  $b^*$  值介于 35~40 之间时消费者接受度较高。

### 2.1.5 油炸条件对小酥肉质构的影响

油炸条件对小酥肉质构的影响如表 4 所示。小酥肉的硬度、胶粘性和咀嚼性均随油炸温度和时间增加而显著增加 ( $P < 0.05$ )。二次油炸温度

由 180 °C 升至 200 °C 时, 硬度、咀嚼性和胶粘性分别增加了 53.48%、76.61% 和 84.25%, 二次油炸时间由 110 s 升至 130 s 时, 硬度、咀嚼性和胶粘性分别增加了 53.92%、56.00% 和 45.90%。可能是由于油炸过程中, 小酥肉内部水分迅速蒸发, 肌纤维蛋白变性, 结构更加致密, 导致其硬度和咀嚼性增加; 淀粉糊化, 凝胶强度增加, 使其胶粘性逐渐增加<sup>[22,23]</sup>。随着油炸温度和时间增加, 弹性整体呈先上升后下降的趋势, 可能因为较高的油炸温度和时间下, 细胞结构受到破坏, 导致细胞分离, 弹性略有下降<sup>[24]</sup>。油炸条件对内聚性的影响较小, 均稳定在 0.60 左右, 表明小酥肉在口腔内易结成食团, 不易分散。Yu 等<sup>[25]</sup>的研究结果表明, 随着空气油炸温度和时间增加, 鱼糜硬度逐渐增大, 在 200 °C 油炸 15 min 时达到最大值, 为 10.92 N, 鱼糜的弹性也随温度的升高而增大, 在 160 °C 时达到最大值 (9.28 mm)。

表 3 不同油炸条件对小酥肉色度的影响

Table 3 Effect of different frying conditions on the color of crispy meat

一次油炸温度/°C	一次油炸时间/s	二次油炸温度/°C	二次油炸时间/s	$L^*$	$a^*$	$b^*$
130				69.77 ± 1.71 <sup>a</sup>	2.97 ± 0.28 <sup>c</sup>	35.28 ± 1.16 <sup>b</sup>
140				66.11 ± 1.18 <sup>b</sup>	4.38 ± 0.33 <sup>d</sup>	33.10 ± 1.27 <sup>c</sup>
150	30	170	100	65.18 ± 1.15 <sup>b</sup>	5.73 ± 0.32 <sup>c</sup>	36.52 ± 1.06 <sup>ab</sup>
160				61.28 ± 1.32 <sup>c</sup>	8.33 ± 1.09 <sup>b</sup>	36.66 ± 1.33 <sup>ab</sup>
170				55.36 ± 1.63 <sup>d</sup>	11.07 ± 1.52 <sup>a</sup>	37.25 ± 0.70 <sup>a</sup>
-----						
	20			67.44 ± 1.37 <sup>a</sup>	3.79 ± 0.86 <sup>d</sup>	33.68 ± 1.35 <sup>b</sup>
	30			65.18 ± 1.15 <sup>b</sup>	5.73 ± 0.32 <sup>c</sup>	36.52 ± 1.06 <sup>a</sup>
150	40	170	100	61.18 ± 1.53 <sup>c</sup>	6.74 ± 1.04 <sup>c</sup>	34.05 ± 1.89 <sup>b</sup>
	50			60.01 ± 1.33 <sup>c</sup>	9.55 ± 0.82 <sup>b</sup>	36.72 ± 0.57 <sup>a</sup>
	60			57.87 ± 1.28 <sup>d</sup>	10.79 ± 0.82 <sup>a</sup>	35.78 ± 1.31 <sup>a</sup>
-----						
		160		72.35 ± 2.23 <sup>a</sup>	3.92 ± 0.53 <sup>c</sup>	35.32 ± 1.90 <sup>c</sup>
		170		65.18 ± 1.15 <sup>b</sup>	5.73 ± 0.32 <sup>d</sup>	36.52 ± 1.06 <sup>bc</sup>
150	30	180	100	61.98 ± 2.25 <sup>c</sup>	8.17 ± 0.65 <sup>c</sup>	38.06 ± 1.59 <sup>ab</sup>
		190		53.50 ± 1.73 <sup>d</sup>	10.01 ± 1.35 <sup>b</sup>	38.63 ± 1.37 <sup>a</sup>
		200		48.32 ± 1.64 <sup>e</sup>	14.48 ± 1.50 <sup>a</sup>	36.97 ± 0.99 <sup>abc</sup>
-----						
			90	69.43 ± 1.18 <sup>a</sup>	3.14 ± 0.64 <sup>d</sup>	36.59 ± 1.33 <sup>bc</sup>
			100	65.18 ± 1.15 <sup>b</sup>	5.73 ± 0.32 <sup>c</sup>	36.52 ± 1.06 <sup>bc</sup>
150	30	170	110	63.11 ± 1.33 <sup>b</sup>	6.47 ± 0.84 <sup>c</sup>	35.79 ± 1.64 <sup>c</sup>
			120	59.59 ± 2.09 <sup>c</sup>	7.82 ± 1.32 <sup>b</sup>	38.58 ± 1.80 <sup>ab</sup>
			130	50.27 ± 2.13 <sup>d</sup>	10.42 ± 0.76 <sup>a</sup>	39.23 ± 1.67 <sup>a</sup>

注: 每个单因素处理组内同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 4 不同油炸条件对小酥肉质构的影响

Table 4 Effect of different frying conditions on the texture of crispy meat

一次油炸 温度/°C	一次油炸 时间/s	二次油炸 温度/°C	二次油炸 时间/s	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mJ	内聚性
130				11.35 ± 1.16 <sup>d</sup>	4.78 ± 0.27 <sup>c</sup>	6.00 ± 1.09 <sup>c</sup>	28.84 ± 6.37 <sup>d</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>b</sup>
140				13.95 ± 0.92 <sup>c</sup>	4.92 ± 0.40 <sup>bc</sup>	8.04 ± 0.67 <sup>b</sup>	39.55 ± 4.70 <sup>c</sup>	0.58 ± 0.02 <sup>ab</sup>
150	30	170	100	15.67 ± 2.04 <sup>c</sup>	5.18 ± 0.29 <sup>abc</sup>	9.27 ± 1.59 <sup>b</sup>	47.78 ± 7.25 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.05 <sup>a</sup>
160				18.02 ± 1.42 <sup>b</sup>	5.49 ± 0.37 <sup>a</sup>	11.08 ± 0.81 <sup>a</sup>	60.63 ± 0.89 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>a</sup>
170				20.02 ± 1.26 <sup>a</sup>	5.28 ± 0.13 <sup>ab</sup>	12.00 ± 0.58 <sup>a</sup>	63.26 ± 2.74 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>a</sup>
	20			11.88 ± 1.36 <sup>d</sup>	4.84 ± 0.21 <sup>c</sup>	6.62 ± 0.76 <sup>d</sup>	32.11 ± 4.67 <sup>e</sup>	0.56 ± 0.04 <sup>c</sup>
	30			15.67 ± 2.04 <sup>c</sup>	5.18 ± 0.29 <sup>b</sup>	9.27 ± 1.59 <sup>c</sup>	47.78 ± 7.25 <sup>d</sup>	0.59 ± 0.05 <sup>c</sup>
150	40	170	100	18.51 ± 1.24 <sup>b</sup>	5.31 ± 0.17 <sup>ab</sup>	11.74 ± 1.00 <sup>b</sup>	62.36 ± 5.21 <sup>c</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>b</sup>
	50			20.76 ± 2.28 <sup>b</sup>	5.41 ± 0.28 <sup>ab</sup>	13.56 ± 1.85 <sup>b</sup>	72.99 ± 7.15 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.02 <sup>b</sup>
	60			23.69 ± 2.27 <sup>a</sup>	5.61 ± 0.23 <sup>a</sup>	16.59 ± 1.81 <sup>a</sup>	92.77 ± 7.90 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.03 <sup>a</sup>
		160		10.27 ± 1.97 <sup>e</sup>	4.68 ± 0.42 <sup>d</sup>	5.02 ± 0.94 <sup>e</sup>	23.64 ± 5.88 <sup>e</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>d</sup>
		170		15.67 ± 2.04 <sup>d</sup>	5.18 ± 0.29 <sup>c</sup>	9.27 ± 1.59 <sup>d</sup>	47.78 ± 7.25 <sup>d</sup>	0.59 ± 0.05 <sup>bc</sup>
150	30	180	100	22.96 ± 1.67 <sup>c</sup>	5.81 ± 0.26 <sup>b</sup>	12.70 ± 1.31 <sup>c</sup>	73.85 ± 9.38 <sup>c</sup>	0.55 ± 0.02 <sup>c</sup>
		190		28.56 ± 1.21 <sup>b</sup>	6.34 ± 0.42 <sup>a</sup>	17.55 ± 1.41 <sup>b</sup>	111.42 ± 13.38 <sup>b</sup>	0.61 ± 0.03 <sup>ab</sup>
		200		35.24 ± 1.87 <sup>a</sup>	6.06 ± 0.28 <sup>ab</sup>	22.43 ± 1.67 <sup>a</sup>	136.07 ± 12.96 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.02 <sup>a</sup>
			90	8.99 ± 0.57 <sup>e</sup>	4.48 ± 0.20 <sup>c</sup>	4.61 ± 0.41 <sup>e</sup>	20.61 ± 1.49 <sup>e</sup>	0.51 ± 0.02 <sup>b</sup>
			100	15.67 ± 2.04 <sup>d</sup>	5.18 ± 0.29 <sup>b</sup>	9.27 ± 1.59 <sup>d</sup>	47.78 ± 7.25 <sup>d</sup>	0.59 ± 0.05 <sup>a</sup>
150	30	170	110	25.15 ± 2.10 <sup>c</sup>	6.09 ± 0.29 <sup>a</sup>	15.34 ± 0.70 <sup>c</sup>	93.60 ± 8.12 <sup>c</sup>	0.61 ± 0.03 <sup>a</sup>
			120	32.39 ± 0.78 <sup>b</sup>	5.83 ± 0.33 <sup>a</sup>	19.11 ± 0.88 <sup>b</sup>	111.48 ± 7.78 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.02 <sup>a</sup>
			130	38.71 ± 0.93 <sup>a</sup>	5.70 ± 0.37 <sup>a</sup>	23.93 ± 1.24 <sup>a</sup>	136.56 ± 13.18 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>a</sup>

注: 每个单因素处理组内同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 2.1.6 油炸条件对小酥肉感官评分的影响

油炸条件对小酥肉感官评分的影响如图 5 所示。感官评价总分均随着油炸温度和时间增加呈先增加后减小的趋势, 这是因为温度和时间在较低的范围内增加时, 风味物质(如醇类、醛类和酮类)含量与种类增加<sup>[26]</sup>, 香气更加浓郁, 外皮从软糯变得酥脆, 感官评分逐渐增加, 温度和时间超过一定值后, 小酥肉的水分含量迅速降低, 肉质变老, 不易咀嚼, 影响消费者的接受度。由于二次油炸过程是小酥肉的主要烹饪过程, 温度高且持续时间长, 小酥肉表皮发生持续的美拉德反应和焦糖化反应, 表面坚硬且颜色焦黄, 故二次油炸温度和时间对色泽和口感得分影响较大。油炸温度对气味得分的影响程度明显高于油炸时间, 不同一次油炸温度和二次油炸温度下, 气味得分最大与最小值的差值分别为 6.50 分和 7.30 分。

### 2.1.7 相关性分析

不同油炸温度和时间下, 小酥肉油炸条件

和品质指标的 Pearson 相关性分析热图如图 6 所示。一次油炸温度与质量损失率、 $a^*$  呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ); 一次油炸时间仅与内聚性呈极显著正相关 ( $r=0.645$ ), 而与其他品质指标均无相关性 ( $P > 0.05$ ); 二次油炸温度与质量损失率、TBARS、 $L^*$ 、 $a^*$ 、弹性、咀嚼性呈极显著相关性 ( $r$  分别为 0.60、0.57、-0.66、0.63、0.64、0.60,  $P < 0.01$ ); 二次油炸时间与水分含量、硬度和胶粘性均呈极显著相关性 ( $r$  分别为 -0.65、0.71、0.67、0.64,  $P < 0.01$ )。质量损失率与水分含量、 $L^*$  均呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ ), 与 TBARS、 $a^*$ 、 $b^*$ 、硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性和内聚性均呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 说明随着油炸温度和时间增加, 小酥肉的水分含量降低, 油脂氧化程度升高, 亮度变暗, 红度增加, 颜色逐渐变得焦黄, 硬度、弹性、胶粘性和咀嚼性增加, 小酥肉变得不宜咀嚼, 口感较差。

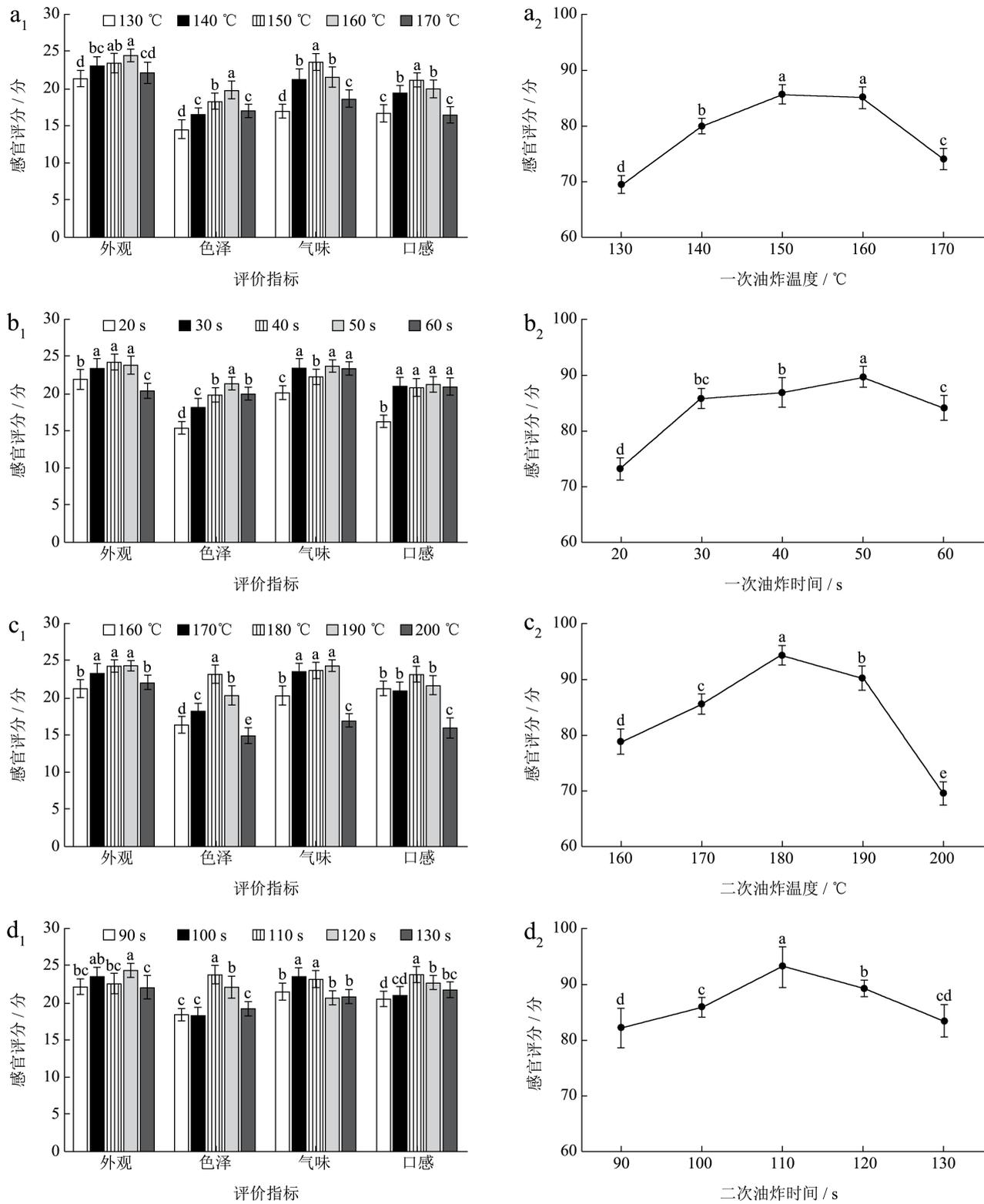


图 5 不同油炸条件对小酥肉感官评分的影响

Fig.5 Effect of different frying conditions on the sensory evaluation scores of crispy meat

注: (a<sub>1</sub>)、(a<sub>2</sub>) 分别为一次油炸温度对小酥肉各项感官指标分数和总分的影响; (b<sub>1</sub>)、(b<sub>2</sub>) 分别为一次油炸时间对小酥肉各项感官指标分数和总分的影响; (c<sub>1</sub>)、(c<sub>2</sub>) 分别为二次油炸温度对小酥肉各项感官指标分数和总分的影响; (d<sub>1</sub>)、(d<sub>2</sub>) 分别为二次油炸时间对小酥肉各项感官指标分数和总分的影响。不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

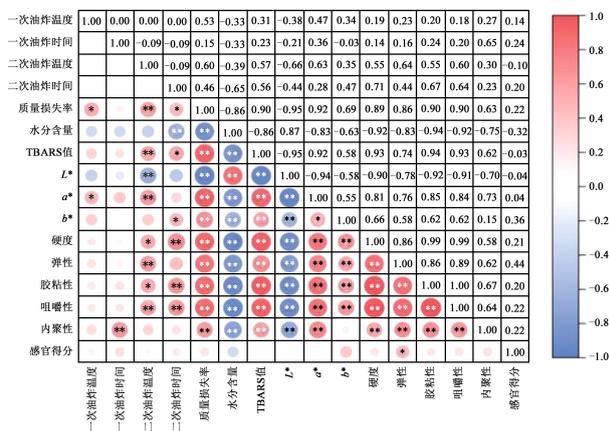


图 6 小酥肉油炸条件和品质指标 Pearson 相关性分析热图

Fig.6 Heat map of Pearson correlation analysis between frying conditions and quality indicators of crispy meat

注: \*\*表示在 0.01 水平(双尾)上显著相关, \*表示在 0.05 水平(双尾)上显著相关。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 响应面回归分析

由上述实验结果可知, 当一次油炸温度为 140~160 °C、一次油炸时间为 30~50 s、二次油炸温度为 170~190 °C、二次油炸时间为 100~120 s 时, 小酥肉的外观、色泽、气味、口感及感官总分较高; 质量损失率和水分含量处于较低值, 使小酥肉的肉质饱满, 鲜嫩多汁; 在满足食用品质的前提下, TBARS 值处于较低水平, 减少了小酥肉因高温油炸引起的油脂氧化, 提高了食品的安全性。由于消费者判断食品品质优劣最直接的方式是感官评价, 故感官评分可作为小酥肉的综合评价指标。因此, 根据表 1 进行 Box-Behnken 响应面试验设计, 研究各因素对小酥肉的感官评分的影响。响应面试验设计与结果如表 5 所示。

经回归拟合得出小酥肉感官评分(Y)对 A(一次油炸温度)、B(一次油炸时间)、C(二次油炸温度)、D(二次油炸时间)的二次多项回归模型为:  $Y=95.44-0.73A-0.41B-2.66C-2.03D-2.47AB-0.98AC-0.15AD-0.45BC-0.20BD-2.85CD-3.84A^2-1.65B^2-5.22C^2-2.34D^2$ 。根据表 6 方差分析结果可以看出, 模型检验极显著 ( $P<0.0001$ ), 失拟项不显著 ( $P=0.1555>0.05$ ), 说明该模型拟合度较高。该模型的决定系数为  $R^2=0.9251$ , 校正决定系数  $R^2_{Adj}=0.8502$ , 信噪比为 13.1356, CV 为 1.78%, 说明该模型具有统计学意义, 可信度和精确度较

高, 可用来进行小酥肉感官评分的预测。一次项 C、D, 交互项 AB 和 CD 及二次项  $A^2$ 、 $C^2$ 、 $D^2$  对小酥肉感官评分的影响极显著 ( $P<0.01$ ), 二次项  $B^2$  的影响显著 ( $P<0.05$ )。各因素的影响大小为二次油炸温度 (C)>二次油炸时间 (D)>一次油炸温度 (A)>一次油炸时间 (B)。

表 5 响应面试验设计与结果

Table 5 Design and results of response surface experiment

序号	A	B	C	D	感官评分/分
1	140	30	180	110	88.10
2	160	30	180	110	90.80
3	140	50	180	110	93.10
4	160	50	180	110	85.90
5	150	40	170	100	86.70
6	150	40	190	100	89.60
7	150	40	170	120	90.90
8	150	40	190	120	82.40
9	140	40	180	100	93.40
10	160	40	180	100	91.80
11	140	40	180	120	88.70
12	160	40	180	120	86.50
13	150	30	170	110	92.90
14	150	50	170	110	92.40
15	150	30	190	110	87.30
16	150	50	190	110	85.00
17	140	40	170	110	88.50
18	160	40	170	110	90.20
19	140	40	190	110	83.80
20	160	40	190	110	81.60
21	150	30	180	100	94.30
22	150	50	180	100	93.60
23	150	30	180	120	89.00
24	150	50	180	120	87.50
25	150	40	180	110	96.10
26	150	40	180	110	95.80
27	150	40	180	110	96.40
28	150	40	180	110	95.10
29	150	40	180	110	93.80

表 6 响应面回归模型方差分析

Table 6 Variance analysis of regression equations of response surface experiment

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	441.91	14	31.57	12.35	<0.000 1	**
A	6.45	1	6.45	2.53	0.134 4	—
B	2.00	1	2.00	0.78	0.391 2	—
C	84.80	1	84.80	33.18	<0.000 1	**
D	49.61	1	49.61	19.41	0.000 6	**
AB	24.50	1	24.50	9.59	0.007 9	**
AC	3.80	1	3.80	1.49	0.242 7	—
AD	0.09	1	0.09	0.04	0.853 8	—
BC	0.81	1	0.81	0.32	0.582 4	—
BD	0.16	1	0.16	0.06	0.806 1	—
CD	32.49	1	32.49	12.71	0.003 1	**
A <sup>2</sup>	95.48	1	95.48	37.36	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	17.64	1	17.64	6.90	0.019 9	*
C <sup>2</sup>	177.03	1	177.03	69.27	<0.000 1	**
D <sup>2</sup>	35.42	1	35.42	13.86	0.002 3	**
残差	35.78	14	2.56			
失拟项	31.49	10	3.15	2.93	0.155 5	—
纯误差	4.29	4	1.07			
总和	477.69	28				

注: \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), \* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), — 表示差异不显著。

### 2.2.2 交互分析

两因素间的交互作用如图 7 所示。由图可知, AB、BC 的响应面图最陡峭, 等高线图呈椭圆形, 表明 AB、CD 交互作用对响应值的影响极显著 ( $P < 0.01$ ), 而 AC、AD、BC、BD 的响应面图较陡峭, 且等高线图接近圆形, 说明 AC、AD、BC、BD 交互作用对响应值的影响不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2.3 验证实验

通过回归方程可预测出小酥肉的最佳油炸工艺条件为: 一次油炸温度为 149.44 °C, 一次油炸时间为 39.60 s, 二次油炸温度为 178.45 °C, 二次油炸时间为 106.62 s, 感官评分为 96.02 分。考虑实际情况, 调整油炸工艺条件为: 一次油炸温度为 149 °C, 一次油炸时间为 40 s, 二次油炸温度为 178 °C, 二次油炸时间为 107 s, 感官评分为 95.50 分, 与预测值相比误差为 0.54%, 误差较小, 说明该模型可靠, 可用于小酥肉感官评分的预测。

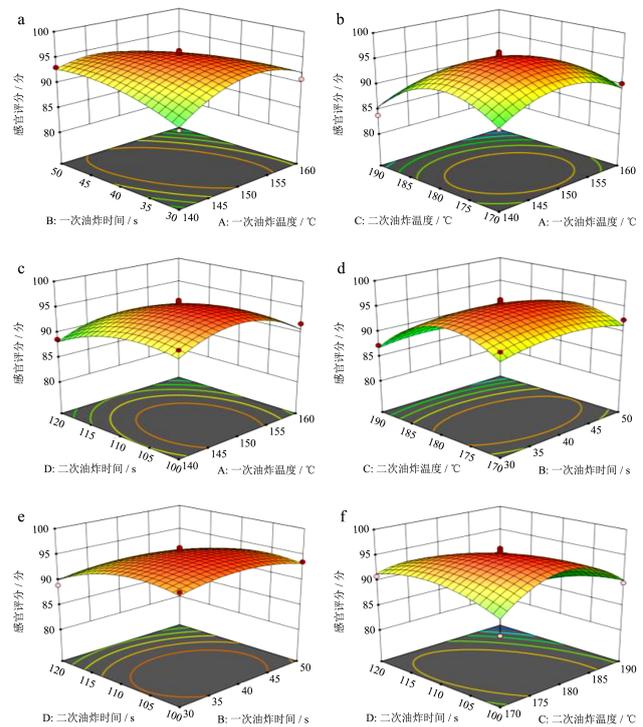


图 7 各因素交互作用对小酥肉感官评分的影响

Fig.7 Effect of interaction of factors on sensory evaluation scores of crispy meat

### 2.3 不同小酥肉产品的品质指标对比

不同小酥肉产品的感官评分和品质指标对比如图 8 和表 9 所示。油炸小酥肉为响应面优化后的最佳工艺制得的产品, 市售产品 1 为某炸鸡店的小酥肉产品, 市售产品 2 为某火锅店的小酥肉产品, 市售产品 3 为某石锅饭餐厅的小酥肉产品。由图 8 和表 7 可知, 油炸小酥肉颜色呈金黄色, 亮度较高, 外观完整, 在满足食用品质的前提下, 油炸小酥肉具有较低的质量损失率和水分含量, 硬度和弹性适中, 酥脆可口, 感官评分达到 95.50 分, 显著高于其他 3 种市售产品 ( $P < 0.05$ ), 且油炸小酥肉的油脂氧化程度相较于其他 3 种市售产品分别降低了 6.15%、3.29% 和 2.60%, 更加满足了消费者对食品安全的要求; 市售产品 1 的质量损失率、水分含量和硬度与油炸小酥肉相比增加了 2.91%、3.61% 和 2.22 N, 均处于最高值, 内芯多汁但是外皮较硬, 口感不协调; 市售产品 2 颜色金黄, 富有光泽, 但是与油炸小酥肉相比, 胶粘性增加了 0.75 N, 外皮较软易脱落; 市售产品 3 的  $a^*$  值为 6.00, 颜色呈浅黄色, 硬度、胶粘性和咀嚼性均最低, 口感软糯不酥脆, 整体口感较差。

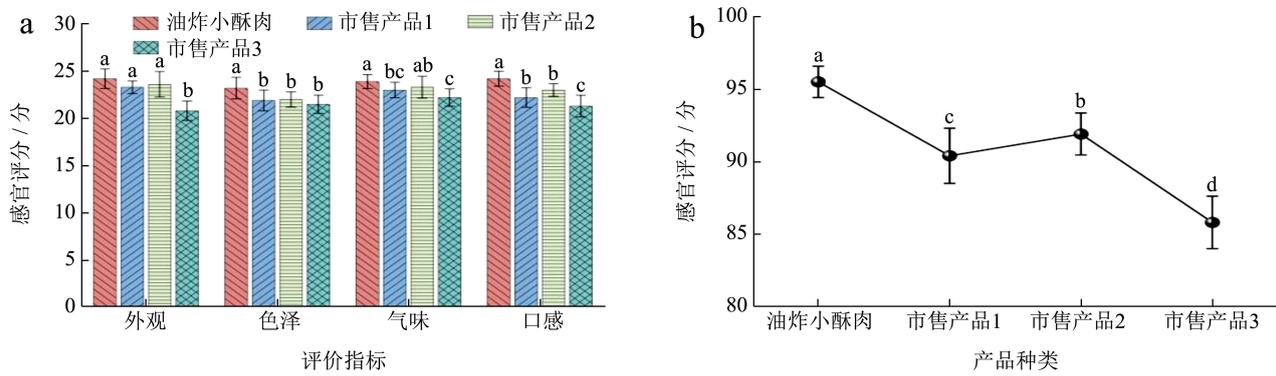


图8 不同小酥肉产品的感官评分对比

Fig.8 Comparison of sensory evaluation scores of different crispy meat products

注: (a)、(b) 分别为不同小酥肉产品各项感官指标分数和总分的对比; 同组不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表7 不同小酥肉产品的品质指标对比

Table 7 Comparison of quality indicators of different crispy meat products

指标	油炸小酥肉	市售产品1	市售产品2	市售产品3
质量损失率/%	22.41 ± 0.15 <sup>c</sup>	25.32 ± 0.34 <sup>a</sup>	23.71 ± 0.15 <sup>b</sup>	21.10 ± 0.13 <sup>d</sup>
水分含量/%	59.37 ± 0.27 <sup>c</sup>	62.98 ± 0.65 <sup>a</sup>	60.87 ± 0.56 <sup>b</sup>	59.90 ± 0.31 <sup>c</sup>
TBARS 值/(mg MDA/kg)	0.41 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>bc</sup>
$L^*$	61.67 ± 1.46 <sup>a</sup>	60.85 ± 1.21 <sup>a</sup>	58.33 ± 0.97 <sup>b</sup>	55.68 ± 0.85 <sup>c</sup>
$a^*$	8.35 ± 0.68 <sup>a</sup>	8.64 ± 0.99 <sup>a</sup>	8.79 ± 0.49 <sup>a</sup>	6.00 ± 0.78 <sup>b</sup>
$b^*$	36.35 ± 1.45 <sup>c</sup>	38.97 ± 0.85 <sup>b</sup>	36.92 ± 1.28 <sup>c</sup>	40.50 ± 0.69 <sup>a</sup>
硬度/N	26.29 ± 0.80 <sup>b</sup>	28.51 ± 1.27 <sup>a</sup>	25.75 ± 1.36 <sup>b</sup>	22.96 ± 1.67 <sup>c</sup>
弹性/mm	5.71 ± 0.22 <sup>a</sup>	5.44 ± 0.42 <sup>ab</sup>	4.98 ± 0.42 <sup>b</sup>	5.40 ± 0.40 <sup>ab</sup>
胶粘性/N	14.51 ± 0.58 <sup>ab</sup>	13.92 ± 0.87 <sup>b</sup>	15.26 ± 1.10 <sup>a</sup>	12.29 ± 0.65 <sup>c</sup>
咀嚼性/mJ	82.78 ± 2.68 <sup>a</sup>	75.41 ± 1.71 <sup>b</sup>	75.60 ± 3.52 <sup>b</sup>	66.25 ± 2.60 <sup>c</sup>
内聚性	0.55 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.49 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.59 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>b</sup>

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

通过咨询商家可知, 市售产品1采用直接油炸工艺, 小酥肉持续处于高温条件下, 外皮较硬但内芯软糯, 外皮脂肪氧化程度较高, 口感较差, 且易产生丙烯酰胺、5-羟甲基糠醛等有害物质<sup>[27]</sup>, 长时间食用会损害身体健康; 市售产品2和3采用先油炸后蒸汽加热的工艺, 这使得小酥肉长时间处于高温蒸汽下, 外皮软糯, 削弱了其酥脆的口感, 且加重了脂肪氧化程度。故经响应面优化工艺制备的小酥肉产品同时满足了消费者的感官需求和健康需求, 接受程度较高。

### 3 结论

本实验探究了不同油炸温度和时间对小酥肉品质的影响, 并运用响应面法优化油炸工艺条件。结果表明, 油炸温度和时间与质量损失率、TBARS

值、 $a^*$  值、硬度和咀嚼性的相关性较强。通过建立回归拟合方程可得小酥肉的最佳油炸条件为: 一次油炸温度 149 °C, 一次油炸时间 40 s, 二次油炸温度 178 °C, 二次油炸时间 107 s, 在该条件下小酥肉的感官评分为 95.50 分, 达到优秀等级, 与预测值相比误差小于 1%, 说明该模型具有可靠性。各因素的影响大小为二次油炸温度 > 二次油炸时间 > 一次油炸温度 > 一次油炸时间。根据交互分析可知, 二次油炸温度和二次油炸时间、一次油炸温度和一次油炸时间的交互作用对响应值的影响极显著 ( $P < 0.01$ ), 其他两因素间均无交互作用。相较于采用直接油炸工艺和先油炸后高温蒸汽加热工艺的市售产品, 采用二次油炸方式制作的小酥肉, 色泽金黄, 外酥里嫩, 在满足食用品质的前提下, 具有较低的质量损失率和水分含量, TBARS 值相较于其

他3种市售产品分别降低了6.15%、3.29%和2.60%，油脂氧化程度较低，更加满足了消费者对食品质量安全的要求。

### 参考文献

- [1] 谢静,薛盼盼,章海风,等.传统与新式烹饪工艺对鸡肉品质的影响[J].中国调味品,2020,45(10):68-71.
- [2] 金柯男,朱广潮,程代,等.肉类预制菜的安全与控制研究进展[J].现代食品科技,2023,39(2):110-118.
- [3] 张欢,董福家,陈倩,等.面糊组分对预油炸微波复热鸡米花品质及水分分布特性的影响[J].食品科学,2018,39(6):57-62.
- [4] FANG M C, CHIN P S Y, SUNG W C, et al. Physicochemical and volatile flavor properties of fish skin under conventional frying, air frying and vacuum frying [J]. *Molecules*, 2023, 28(11): 4376.
- [5] BELKOVA B, HRADECKY J, HURKOVA K, et al. Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil [J]. *Food Chemistry*, 2018, 241: 51-59.
- [6] YOUNG S P, YOUNG H K. Effect of lyophilized chive (*Allium wakegi* Araki) supplementation to the frying batter mixture on quality attributes of fried chicken breast and tenderloin [J]. *Food Chemistry: X*, 2022, 13:100216.
- [7] 王林.微波复热对预调理小酥肉食用品质的影响[J].中国调味品,2021,46(4):124-128.
- [8] GB 5009.3-2016,食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [9] 王淑玲,史翠平,王宝维,等.高压静电油炸对花生油及鸡胸肉食用品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(8):21-25,36.
- [10] WANG B, LI F, PAN N, et al. Effect of ice structuring protein on the quality of quick-frozen patties subjected to multiple freeze-thaw cycles [J]. *Meat Science*, 2021, 172: 108335.
- [11] 鱼喆喆,付尚辰,朱丽,等.冷冻贮藏对喷雾干燥羊乳粉品质特性的影响[J].食品与生物技术学报,2023,42(9):66-73.
- [12] LI F, ZHONG Q, KONG B, et al. Deterioration in quality of quick-frozen pork patties induced by changes in protein structure and lipid and protein oxidation during frozen storage [J]. *Food Research International*, 2020, 133: 109142.
- [13] GB 2726-2016,食品安全国家标准 熟肉制品[S].
- [14] 杨爽,徐琳,黄锐函,等.不同真空油炸时间对猪肉丝品质的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(1):214-221.
- [15] WANG Y, ZHANG H, CUI J, et al. Dynamic changes in the water and volatile compounds of chicken breast during the frying process [J]. *Food Research International*, 2023, 175: 113715.
- [16] WANG X, CHEN L, MCCLEMENTS D J, et al. Recent advances in crispness retention of microwaveable frozen pre-fried foods [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 132: 54-64.
- [17] LALAM S, SANDHU J S, TAKHAR P S, et al. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 50(1): 110-119.
- [18] MA L, HE Q, QIU Y, et al. Food matrixes play a key role in the distribution of contaminants of lipid origin: A case study of malondialdehyde formation in vegetable oils during deep-frying [J]. *Food Chemistry*, 2021, 347: 129080.
- [19] RIPOLL G, ALCALDE M, HORCADA A, et al. Effect of slaughter weight and breed on instrumental and sensory meat quality of suckling kids [J]. *Meat Science*, 2012, 92(1): 62-70.
- [20] SHEN J, ZHANG M, ZHAO L, et al. Schemes for enhanced antioxidant stability in frying meat: A review of frying process using single oil and blended oils [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, 63(21): 5414-5429.
- [21] 吕款款,林慧敏,邓尚贵,等.预炸-复炸工艺对大黄鱼排品质和风味的影响[J].中国食品学报,2023,23(5):213-226.
- [22] SONG Y, ZHANG H, HUANG F, et al. Changes in eating quality and oxidation deterioration of pork steaks cooked by different methods during refrigerated storage [J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2022, 29: 100576.
- [23] 曾琼,成健,李丛冠,等.苹果果胶改善马铃薯淀粉的糊化和流变特性[J].现代食品科技,2023,39(7):75-81.
- [24] ABHIPRIYA P, ARUN V P, PRAKASH P S, et al. Evaluation of effect of vacuum frying on textural properties of food products [J]. *Food Research International*, 2022, 162: 112074.
- [25] YU X, LI L, XUE J, et al. Effect of air-frying conditions on the quality attributes and lipidomic characteristics of surimi during processing [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2020, 60: 102305.
- [26] 吴坤龙,李彦坡,刘标,等.干燥方式对大球盖菇品质及挥发性风味成分的影响[J].食品与机械,2024,40(2):168-176.
- [27] WU R, JIANG Y, QIN R, et al. Study of the formation of food hazard factors in fried fish nuggets [J]. *Food Chemistry*, 2022, 373: 131562.