

张璐,熊双丽,李安林,等.油炸温度和时间对小酥肉品质的影响[J].食品工业科技,2024,45(7):68-75. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050031

ZHANG Lu, XIONG Shuangli, LI Anlin, et al. Effect of Frying Temperature and Time on the Quality of Small Crispy Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(7): 68-75. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050031

· 研究与探讨 ·

油炸温度和时间对小酥肉品质的影响

张璐¹,熊双丽^{2,*},李安林²,熊得全³,唐丹³

(1.西南科技大学生命科学与工程学院,四川绵阳 621010;

2.四川旅游学院教务处,四川成都 610100;

3.成都武侯实验中学,四川成都 610100)

摘要:本文研究了不同的油炸时间和温度对小酥肉品质的影响。分析了 150、160、170、180、190 °C 条件下油炸 150、170、190、210 s 后小酥肉的含水率、含油率、质构、色泽、硫代巴比妥酸值 (TBARs 值),胃蛋白酶消化率的变化情况。结果表明,随着油炸温度的升高和油炸时间的延长,小酥肉整体水分含量显著降低 ($P<0.05$),而油脂含量显著升高 ($P<0.05$),硬度、咀嚼性、胶粘性、弹性均显著增加 ($P<0.05$),TBARs 值呈现逐渐增加的趋势,胃蛋白酶消化率随着油炸时间的延长呈现逐渐升高的趋势,随着油炸温度的升高呈逐渐降低的趋势。170 °C 条件下油炸 170 s 的小酥肉整体的含水率为 44.15%,肉芯的含水率为 64.19%,整体的含油率为 50.77%,肉芯的含油率为 28.97%,硬度适中,色泽金黄,外酥里嫩,口感最佳。

关键词:油炸温度,油炸时间,小酥肉,油脂氧化,蛋白质消化率

中图分类号:TS224.3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2024)07-0068-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050031



本文网刊:

Effect of Frying Temperature and Time on the Quality of Small Crispy Meat

ZHANG Lu¹, XIONG Shuangli^{2,*}, LI Anlin², XIONG Dequan³, TANG Dan³

(1.School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2.Sichuan Tourism College Academic Affairs Office, Chengdu 610100, China;

3.Chengdu Wuhou Experimental Middle School, Chengdu 610100, China)

Abstract: The paper investigated the effects of different frying times and temperatures on the quality of small crispy meat. The changes in moisture content, oil content, sensory characteristics, color, thiobarbituric acid value (TBARs value), and pepsin digestibility of small crispy meat were analyzed at 150, 160, 170, 180 and 190 °C for 150, 170, 190 and 210 s, respectively. The experimental results showed that with the increase of frying temperature and frying time, the moisture content of small crispy meat significantly decreased ($P<0.05$), while the oil content significantly increased ($P<0.05$). The hardness, chewiness, viscosity and elasticity significantly increased ($P<0.05$), and the value of thiobarbituric acid reactants showed a gradually increasing trend. The digestibility of gastric protease gradually increased with increasing frying time and decreased with increasing frying temperature. The overall moisture content of the small crispy meat for 170 s at 170 °C was 44.15%, the moisture content of the meat core was 64.19%, the overall oil content was 50.77%, and the oil content of the meat core was 28.97%. Under this condition, the small crispy meat had moderate hardness, golden color, crisp outside and tender inside, and the best taste.

Key words: frying temperature; frying time; small crispy meat; oil oxidation; protein digestibility

收稿日期: 2023-05-05

基金项目: 四川旅游学院科研团队项目 (21SCTUTY03)。

作者简介: 张璐 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品加工与安全, E-mail: 2799410675@qq.com。

* 通信作者: 熊双丽 (1977-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 功能性食品加工与安全, E-mail: lxberry225@163.com。

油炸是食品烹调中不可或缺的烹调方式, 因其在食品加工过程中操作简单, 制作迅速被广泛应用^[1-2], 油炸食品也以其美味、酥脆的特点而世界闻名^[3-4]。随着国民生活水平的提高, 低含油率和高食用品质的油炸食品引起人们的广泛关注^[5]。已有研究证明, 影响油炸产品品质的主要因素是油炸时间和温度^[6], 据报道, 不恰当的油炸时间、温度会引起过早起泡、过早吸油、过早变黑等现象^[7], 过高的油炸温度可能会降低原料中营养物质的含量^[8], 合理的油炸时间和温度对于生产出感官(如颜色、外观、质地和味道)评分高的食品以及保存营养丰富但不稳定的化合物(如维生素 C 和类胡萝卜素)至关重要^[5]。

近年来, 油炸时间、油炸温度对油炸食品品质的影响受到极大关注。翟嘉豪等^[9]研究发现油炸时间和温度能通过改变油炸过程中的水分蒸发和油脂的吸收影响油炸外裹糊鱼块的品质。陈康明等^[10]研究表明 180 °C 下油炸 180 s 的白公干鱼品质最好, 降低含油率的同时保留了油炸特有的风味。张亚楠等^[11]研究发现随着油炸时间的增加, 猪肉块硬度增加显著, 红度值和黄度值升高, 高温短时油炸下水分损失较少。Wang 等^[12]发现随着油炸时间和温度的增加, 烤猪肉的产量及剪切力显著降低, 杂环胺等的含量显著增加。石长波等^[13]研究表明油炸时间过长, 油炸温度过高均会导致鱼肉持水力降低。因此, 恰当的油炸时间和油炸温度对生产出品质良好, 色香味俱全的油炸食品尤为重要。

小酥肉作为一道中国的特色名菜, 目前还没有关于其最佳油炸工艺的研究。本文主要通过探究油炸时间和油炸温度对小酥肉品质变化、油脂氧化以及蛋白质消化率的影响, 进而确定小酥肉最佳的油炸工艺, 为小酥肉的工业化生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

麦芯多用途小麦粉 中粮国际(北京)有限公司; 红苕淀粉 成都达恒毛实业有限公司; 无铝害双效泡打粉 安琪酵母股份有限公司; 雅士享冷冻鸡大胸 山东雅士享肉类食品有限公司; 周氏纯葛根粉 桂林周氏顺发食品有限公司; 千禾特级酱油 千禾味业食品股份有限公司; 海天上等蚝油 佛山市海天(高明)调味食品有限公司; 道道全浓香菜籽油 道道全粮油岳阳有限公司; 三氯乙酸、乙二胺四乙酸二钠、硫代巴比妥酸 分析纯, 成都润泽本土化工有限公司; 胃蛋白酶(生物技术级, 10 U mg/L) 北京鸿润宝顺科技有限公司;

NR200 新型全自动测色色差仪 深圳市三恩时科技有限公司; GL224I-1SCN 电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; WL-02FG 水分测定仪 深圳冠亚水分仪科技有限公司; SOX606 脂肪测定仪 山东海能科学仪器有限公司; BGZ-140 电热恒温干燥箱、BSD-TX270 振荡恒温培养箱 上海博迅

医疗生物仪器股份有限公司; DF25A 油炸锅 中山市斯乐得电器有限公司; UV-6100S 紫外分光光度计 上海美普达仪器有限公司; TMS-pro 食品物性分析仪 美国 FTC 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 小酥肉制作工艺流程 小酥肉制作工艺流程如图 1 所示。

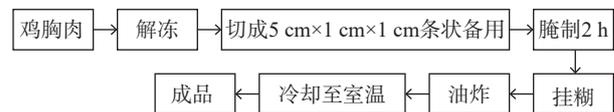


图 1 小酥肉制作工艺流程

Fig.1 Small crispy meat production process

操作要点:

- 解冻: 将冷冻鸡胸肉在流水下解冻 2 h;
- 切条: 用定制模具切成条状(5 cm×1 cm×1 cm), 并用吸水纸吸干表面水分;
- 腌制: 以鸡胸肉总重 100 g 为基准, 加入 5 g 酱油, 4 g 蚝油, 抓拌均匀后, 腌制 2 h;
- 挂糊: 以糊料总重为基准, 按照小麦粉添加量 20%、红苕淀粉 20%、葛根粉添加量 4%、泡打粉添加量 0.6%、水分添加量为 59% 的比例调配面糊, 面糊搅拌均匀后, 将切好的肉条放入面糊中, 保证肉条外侧与面糊全部接触, 将肉条展平浸没 10 s 缓慢取出, 取出后稍淋 2~5 s;
- 油炸: 待面糊不成股滴下, 放入菜籽油中油炸, 油炸过程中要不断翻动肉条, 使肉条受热均匀。

1.2.2 实验设计 传统油炸的油炸温度一般为 150~200 °C^[11], 根据预实验可知, 鸡胸肉油炸成熟时间为 150~210 s。因此, 本实验设置油炸温度为 150、160、170、180、190 °C, 油炸时间为 150、170、190、210 s, 在油炸锅中倒入 1 L 菜籽油, 挂糊完成后入锅油炸, 冷却后进行指标测定。

1.2.3 小酥肉品质测定

1.2.3.1 含油率 小酥肉制作完成之后, 迅速将外壳和肉芯进行分离, 将小酥肉的肉芯和整体分别用碎肉机制成粉末状后, 采用全自动脂肪测定仪测定脂肪含量, 进行 3 次平行测定取平均值。

$$X(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M} \times 100$$

式中: X 为样品含油率(%); M_1 为溶剂杯和脂肪的含量(g); M_0 为干燥溶剂杯的质量(g); M 为样品质量(g)。

1.2.3.2 含水率 将小酥肉的肉芯和整体分别用碎肉机制成粉末状后, 采用红外干燥的方式并用水分测定仪测定水分量, 进行 3 次平行测定, 取平均值。

1.2.3.3 质构 将小酥肉外壳与肉芯分离开, 因小酥肉整体为长方体形状, 在其上中下三个部位多次进行平行测定。质构仪参数为探头 R25, 测试程序 TPA, 测试速度 60 mm/min, 形变量 100%, 最小感应力

0.375 N, 停顿 2 s, 测定胶黏性、硬度、咀嚼性、弹性、感官弹性。重复测定 5 次取平均值。

1.2.3.4 色差 将小酥肉肉芯和外壳分离开来, 采用手持式色差仪, 用标准白板进行校正, 分别测定外壳和肉芯上、中、下部位的 L^* 、 a^* 、 b^* , 每个样品平行测定三次, 取平均值。

1.2.3.5 硫代巴比妥酸反应物值(TBARs) 参照国标 GB 5009.181-2016《食品中丙二醛的测定》中的分光光度法测定, 每组测定三次平行, 取平均值。

1.2.3.6 胃蛋白酶消化率 参考金锦华等^[14]的方法, 将小酥肉绞碎模拟牙齿咀嚼, 用 1 mol/L 盐酸将咀嚼后样品的 pH 调节至 2.0, 并将混合物与胃蛋白酶(10 U mg/L)在 37 °C 下在振荡(150 r/min)水浴中孵浴 1 h, 然后用 1 mol/L 氢氧化钠将 pH 调节至 8.0 以终止消化反应。参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》进行消化前后蛋白质含量测定, 每组测定三次平行, 取平均值。

$$\text{胃蛋白酶消化率}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

式中: M_1 、 M_2 分别代表消化前小酥肉中的蛋白含量和消化后小酥肉中的蛋白含量。

1.2.3.7 感官评价 参考张璐等^[15]的感官评分标准。由 8 人组成专业评定小组(男女比例 1:1), 评价每个样品后用清水漱口, 2 min 后再进行下一个样品的评定。综合文献^[16], 结合本实验实际情况, 制定小酥肉感官评分标准与细则(表 1)。

表 1 小酥肉感官评分标准与细则
Table 1 Sensory scoring standards and rules for small crispy meat

指标	评分标准	分
色泽(20分)	外表呈现焦黄或棕色	0~5
	外表呈现浅黄色	6~10
	外表呈现黄色	11~15
	外表呈现金黄色	16~20
外观(25分)	表面较规整, 有较多气泡, 轻微脱糊现象	0~5
	表面较规整, 有较少气泡, 无脱糊现象	6~11
	表面规整, 有个别气泡, 无脱糊现象	12~18
	表面规整, 无气泡, 无脱糊现象	19~25
气味(30分)	单一肉香味油炸气味弱	0~7
	协调的熟肉葛根味道	8~15
	协调的油炸肉制品葛根香味	16~23
	浓郁协调的油炸葛根香气	24~30
口感(25分)	硬度适中, 油炸感较弱, 汁液不丰富	0~5
	硬度适中, 油炸感强烈, 汁液不丰富	6~11
	硬度适中, 油炸感较弱, 汁液丰富	12~18
	硬度适中, 油炸感强烈, 汁液丰富	19~25
总分		100

1.3 数据处理

每组实验均取 3 次平行值, 数据结果均以平均值±标准偏差表示。采用 Microsoft Excel 2016 整理

数据, Origin 2023 软件绘图, SPSS 17.0 对数据进行主成分分析及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 油炸时间和温度对小酥肉含油率的影响

油炸时间和温度对小酥肉整体和肉芯的含油率的影响变化规律如图 2 所示, 从图 2A 中可以看出, 随着油炸温度的升高, 油炸时间的延长, 小酥肉整体的含油率呈现显著增加的趋势($P<0.05$), 这与翟嘉豪等^[9]的研究结果一致, 主要是因为随着油炸温度和时间增加, 小酥肉整体的水分蒸发速率加快, 水油置换速率^[16]增加, 导致含油率显著增加。肉芯含油率明显低于整体含油率, 主要是因为淀粉糊在一定温度下会发生糊化作用, 糊化后的淀粉会在原料外层形成保护膜, 从而有效阻止了油脂的渗入^[17]。从图 2B 中可以看出, 肉芯的含油率随油炸温度的增加有显著差异($P<0.05$), 随油炸时间的增加呈现先降低后增加的趋势, 油炸 150 s 时肉芯含油率高于 170 s 油炸时的含油率, 可能是 150 s 时淀粉糊化不够完全, 淀粉成膜性能不好, 导致油脂迅速渗透, 而在油炸时间为 170 s 时肉芯的含油率最低, 超过 170 s 之后又显著增加, 可能因为油炸时间过长, 外壳承受不住压力差导致破裂, 致使肉条直接暴露在油中, 使得含油率显著增加。总体来看, 肉芯含油率明显低于整体含油率, 且油炸小酥肉产品中含油率过高或者过低均会导致口感下降, 含油率过高油腻感过重, 含油率过低导致口感欠佳。

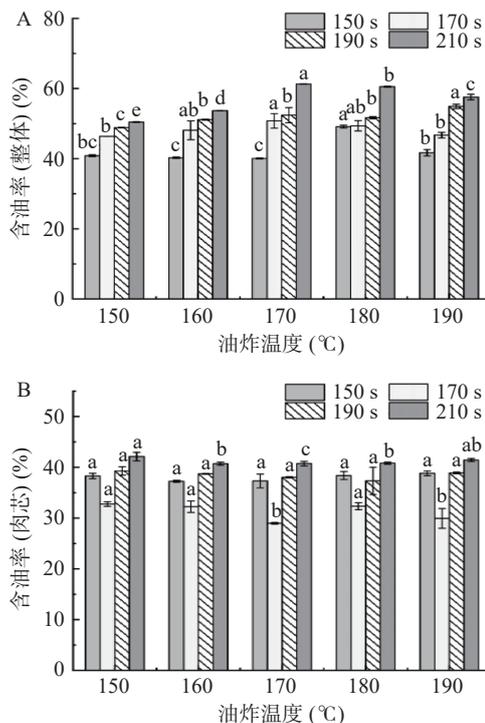


图 2 油炸时间和温度对小酥肉含油率的影响

Fig.2 Effect of frying time and temperature on the oil content of small crispy meat

注: 图中不同字母表示相同油炸时间、不同油炸温度之间差异显著($P<0.05$); 图 3~图 5 同。

2.2 油炸时间和温度对小酥肉含水率的影响

油炸时间和温度对小酥肉整体肉芯的含水率的影响变化规律如图 3 所示,从图 3A 中可以看出,随着油炸时间的增加,整体含水率呈显著降低的趋势($P<0.05$),主要是因为油炸过程中,水分从食品表面迅速蒸发。油炸时间越长,水分蒸发速率减缓,因为水分通过多分子吸附和毛细管凝聚在食品中,且油炸

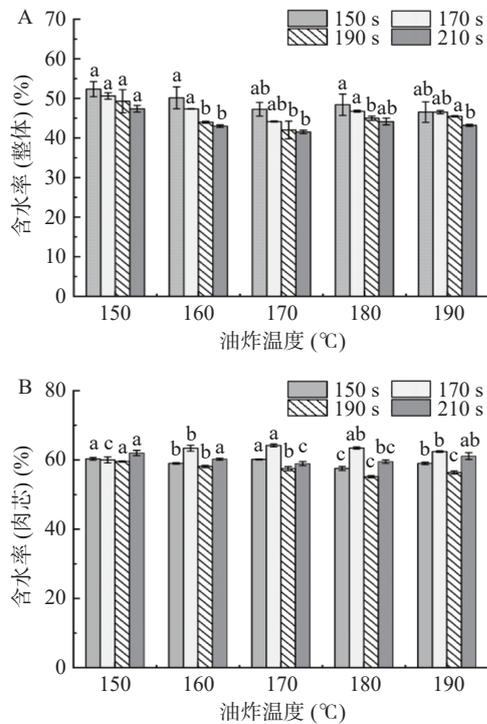


图 3 油炸时间和温度对小酥肉含水率的影响

Fig.3 Effect of frying time and temperature on the moisture content of small crispy meat

形成的脆皮进一步阻碍了水分的蒸发,从而导致蒸发速率下降^[11]。从图 3B 中可以看出,随着油炸温度的增加,油炸 150、170 s 时肉芯的含水率总体呈先增加后降低的趋势,190 s 时出现降低的趋势,210 s 时呈增加的趋势,主要原因是不同油炸时间造成小酥肉外壳不同包裹性,以及与挂糊完整性有关。总体而言,所有组肉芯的含水率始终明显高于整体含水率,且油炸 170 s 时油炸小酥肉肉芯含水率高于其他组,可能是因为 170 s 油炸时淀粉糊化完全,在油炸过程中面粉糊能迅速成膜,从而迅速形成坚硬外壳,有效减少水分损失作用,这与康海霞等^[18]的研究结果一致。

2.3 油炸时间和温度对小酥肉质构的影响

油炸时间和温度对小酥肉质构的影响变化规律如表 2 所示,由表 2 可知,随着油炸时间的延长,油炸温度的升高,小酥肉的硬度总体均呈显著增加的趋势($P<0.05$),可能因为在油炸过程中,肌纤维受热紧密,组织失水,导致硬度增加^[11],同时,蛋白质溶解度受到蛋白质氧化的影响,交联反应也会导致蛋白聚合以及一些络合物的产生进而导致硬度的增加^[19]。随油炸时间的延长,油炸温度的升高,小酥肉的弹性、咀嚼性也均总体呈现增加的趋势,原因可能是较高温下,糊中的淀粉颗粒膨胀,油炸时间越长,淀粉颗粒膨胀度增加,小酥肉表面形成不同形态的保护壳,内部肉条逐渐失水,肌肉组织变得紧实所致^[18,20]。随着油炸温度的升高,小酥肉的胶粘性整体呈现逐渐增大的趋势,小酥肉的胶粘性主要是因为蛋白质的热变性和淀粉质的凝胶化作用导致的。主要原因可能是当油炸温度达到一定阈值时,蛋白质分子间的吸引力增强,导致蛋白质固化并具有黏性。另一方面,当淀粉

表 2 油炸时间和温度对小酥肉质构的影响

Table 2 Effect of frying time and temperature on the texture of small crispy meat

时间(s)	温度(°C)	硬度(N)	弹性(mm)	感官弹性(%)	胶粘性(N)	咀嚼性(mJ)
150	150	11.09±3.12 ^c	3.40±0.42 ^c	13.30±0.59 ^c	0.59±0.04 ^c	1.65±0.42 ^{bc}
	160	11.76±3.96 ^c	4.56±0.42 ^{ab}	14.42±2.26 ^b	1.28±0.05 ^b	1.70±0.32 ^{bc}
	170	16.20±1.01 ^c	5.85±0.04 ^{ab}	15.06±0.55 ^b	1.64±0.09 ^b	1.82±0.34 ^b
	180	24.28±1.23 ^b	7.51±1.37 ^a	18.51±0.37 ^a	1.94±0.15 ^b	1.86±0.44 ^b
	190	34.69±1.34 ^a	8.39±0.59 ^a	19.86±1.90 ^a	2.55±0.43 ^a	2.29±0.03 ^a
170	150	11.22±0.97 ^c	3.77±0.97 ^c	14.09±5.89 ^c	0.61±0.17 ^{ab}	2.40±0.30 ^b
	160	13.00±4.20 ^{ab}	4.82±0.31 ^c	16.19±2.86 ^b	1.42±0.21 ^c	2.53±0.32 ^b
	170	18.20±1.52 ^{bc}	6.45±0.42 ^{bc}	17.81±2.78 ^{ab}	1.65±0.25 ^c	2.72±0.43 ^b
	180	30.7±6.56 ^{ab}	7.97±1.09 ^b	19.31±6.30 ^a	1.96±0.27 ^b	4.65±0.35 ^a
	190	35.31±5.02 ^a	9.31±1.09 ^a	21.82±6.03 ^a	2.80±0.25 ^a	4.74±0.23 ^a
190	150	11.89±0.54 ^b	4.45±1.21 ^c	18.43±6.29 ^c	1.47±0.19 ^c	3.94±3.31 ^c
	160	17.41±0.14 ^b	5.44±0.99 ^c	20.72±2.81 ^b	1.80±0.26 ^c	5.01±7.97 ^{bc}
	170	22.07±0.33 ^b	7.40±1.00 ^b	20.74±3.18 ^b	2.43±1.61 ^b	5.72±2.07 ^b
	180	34.49±1.69 ^b	8.09±1.33 ^b	21.91±2.19 ^b	2.58±0.10 ^b	6.75±3.00 ^{ab}
	190	37.06±0.32 ^a	10.03±1.01 ^a	24.38±5.74 ^a	3.01±1.93 ^a	7.75±3.58 ^a
210	150	19.37±7.30 ^c	4.48±0.37 ^c	21.39±1.83 ^a	1.79±0.31 ^d	4.78±0.64 ^d
	160	24.83±2.07 ^c	6.49±0.14 ^b	22.21±1.31 ^b	2.03±0.17 ^c	6.93±0.44 ^c
	170	25.35±4.35 ^c	7.38±0.32 ^b	22.97±0.09 ^b	2.75±0.10 ^b	11.23±0.32 ^b
	180	36.34±3.61 ^b	9.01±0.52 ^a	23.80±1.65 ^b	2.78±0.14 ^b	11.93±0.88 ^b
	190	46.50±2.89 ^a	10.81±0.44 ^a	25.97±2.29 ^a	3.34±0.15 ^a	17.75±1.16 ^a

注:表中标注的是相同油炸时间,不同油炸温度之间的差异性,同一表中标注不同字母表示有显著性差异($P<0.05$);表3同。

质受热时,膨胀并形成一系列凝胶化反应^[21-22],因此,随着油炸温度的升高,油炸时间的延长,蛋白质和淀粉质的结构改变和凝聚作用增强使得小酥肉的胶粘性增大^[23-24]。

2.4 油炸时间和温度对小酥肉色差的影响

油炸时间和温度对小酥肉色差的影响变化规律如表3所示,油炸过程中,食品表面的色泽与美拉德反应和焦糖化反应有关^[25],表面色泽直接影响消费者对食品的选择。 L^* 值代表亮度, a^* 值、 b^* 值分别代表红度值和黄度值。由表3可知,随着油炸时间温度的增加,小酥肉整体表面的亮度呈现逐渐降低的趋势,红度值显著增加($P<0.05$),黄度值有明显降低的趋势,这与陈美花等^[26]的研究结果一致。随着油炸时间的延长,油炸温度的升高,小酥肉的亮度值减小,一方面,可能是油炸过程中的高温会促进产品水分的蒸发,而水分含量的减小会通过减弱光反射来降低产品的亮度。另一方面,可能与高温促进了产品炸制过程中的美拉德反应和焦糖化反应有关^[27]。 a^* 值主要受肌肉色素含量以及光反射和氧化的影响, a^* 值的增加可能是由于肌红蛋白氧化变性为含氧肌红蛋白^[28-29]。随着油炸时间温度的增加,肉芯亮度值减小,红度值、黄度值增加,原因是面糊在油炸过程中迅速硬化,形成致密的外壳,能有效阻隔肉芯和炸油的接触,红度值、黄度值增加可能是随着油炸时间的增加,外壳出现裂缝,导致油脂渗入。随着油炸温度的升高, b^* 值降低可能是因为以下两个原因:一是随着油炸温度升高,食物中的色素分子可能发生分解反应,导致色素的分子结构发生变化,光的吸收和反射特性发生改变,从而导致食物的颜色变浅,黄度值降低^[30]。二是在油炸食物时,空气中的氧气会被吸收到油中,导

致油中的脂肪酸氧化。脂肪酸氧化时产生的化合物中,一些具有色素分子结构的化合物也可能被分解或氧化,导致食物的颜色变淡,黄度值降低。而肉芯 b^* 值升高,表明肉芯的黄蓝色比值增加,即黄色加重,可能是随着油炸时间延长,外壳的致密性被破坏,导致少量油脂的渗入,使肉芯黄色加重。

2.5 油炸时间和温度对小酥肉硫代巴比妥酸反应物(TBARs)值的影响

油炸时间和温度对小酥肉硫代巴比妥酸反应物值的影响变化规律如图4所示,TBARs值反映的是不饱和脂肪酸氧化生成的丙二醛含量^[31],由图4可知,随着油炸温度的升高,油炸时间的延长,小酥肉的硫代巴比妥酸反应物值呈现显著增加的趋势($P<0.05$),可能是因为当油的温度升高到一定程度时,油中的脂肪酸会开始分解产生不饱和脂肪酸和游离脂肪酸,这些化合物可以被氧化,生成丙二醛等致癌物质。丙二醛的含量随着油温的升高而增加,并且在超

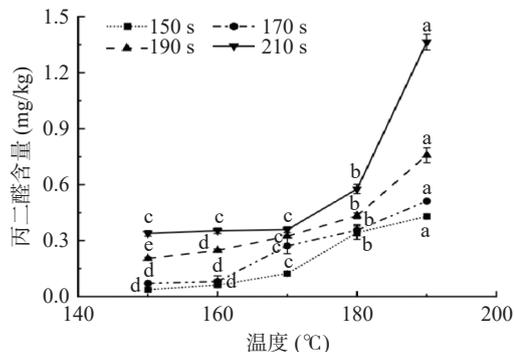


图4 油炸时间和温度对小酥肉硫代巴比妥酸反应物值的影响

Fig.4 Effect of frying time and temperature on thiobarbituric acid reactant values of small crispy meat

表3 油炸时间和温度对小酥肉色差的影响

Table 3 Effect of frying time and temperature on color difference of small crispy meat

时间(s)	温度(°C)	L^* (整体)	L^* (肉芯)	a^* (整体)	a^* (肉芯)	b^* (整体)	b^* (肉芯)
150	150	67.67±3.69 ^a	75.69±1.75 ^a	5.26±0.95 ^c	7.07±0.46 ^b	23.16±1.35 ^a	17.98±0.52 ^c
	160	62.81±3.82 ^b	71.61±3.80 ^b	6.77±0.22 ^c	8.23±0.80 ^{ab}	22.32±2.28 ^{ab}	19.69±0.73 ^b
	170	62.36±5.70 ^b	71.32±0.82 ^b	9.45±1.93 ^b	8.25±0.62 ^{ab}	21.67±1.07 ^b	20.38±2.28 ^{ab}
	180	62.32±0.44 ^b	71.29±1.45 ^b	10.90±0.61 ^{ab}	8.29±0.13 ^{ab}	21.60±0.91 ^b	20.75±0.27 ^{ab}
170	190	62.24±2.66 ^b	70.41±1.81 ^{bc}	11.70±0.87 ^a	8.55±1.08 ^a	19.97±2.47 ^c	22.05±1.50 ^a
	150	66.72±2.68 ^a	75.19±0.24 ^a	7.08±1.59 ^c	7.24±0.24 ^b	23.06±1.07 ^a	18.06±0.75 ^c
	160	62.70±3.08 ^b	71.53±0.30 ^b	7.51±1.37 ^c	8.24±0.17 ^{ab}	22.28±4.31 ^{ab}	20.51±0.67 ^b
	170	62.26±2.01 ^b	71.29±2.05 ^b	9.54±0.68 ^{ab}	8.30±0.85 ^{ab}	21.54±3.91 ^b	20.59±1.26 ^b
190	180	62.13±4.93 ^b	71.05±2.47 ^b	10.91±0.77 ^{ab}	8.35±0.25 ^{ab}	21.31±2.04 ^b	20.76±1.26 ^b
	190	61.38±1.82 ^{bc}	69.62±0.97 ^{bc}	11.80±0.57 ^a	8.79±0.34 ^a	19.87±2.90 ^c	22.06±1.17 ^a
	150	66.26±0.99 ^a	75.09±4.05 ^a	7.11±1.31 ^c	7.32±0.47 ^b	22.55±1.30 ^a	18.63±1.66 ^c
	160	62.57±2.83 ^b	71.42±1.31 ^b	7.58±1.38 ^c	8.64±0.21 ^a	22.12±1.29 ^a	20.79±1.57 ^b
210	190	62.15±1.64 ^b	71.18±2.25 ^b	9.55±0.55 ^b	8.68±0.34 ^a	21.28±0.67 ^{ab}	20.93±1.64 ^b
	180	61.95±1.80 ^{bc}	70.5±2.49 ^{bc}	10.93±0.74 ^{ab}	8.84±0.35 ^a	21.07±1.00 ^{ab}	21.25±0.75 ^{ab}
	190	60.83±2.59 ^c	69.49±1.62 ^c	11.81±2.71 ^a	8.85±0.59 ^a	19.72±1.09 ^b	22.15±0.35 ^a
	150	66.19±5.20 ^a	74.39±1.90 ^a	7.82±0.70 ^b	7.39±1.65 ^b	21.14±4.26 ^a	19.56±1.53 ^{bc}
210	160	61.86±1.92 ^b	71.02±5.86 ^b	8.82±0.26 ^b	8.72±0.74 ^{ab}	21.07±0.54 ^a	20.83±2.02 ^b
	170	60.29±1.61 ^b	70.69±5.65 ^b	10.40±3.12 ^a	8.75±1.45 ^{ab}	21.06±2.21 ^a	21.00±4.19 ^{ab}
	180	58.04±3.86 ^c	68.48±3.25 ^c	11.20±0.12 ^a	9.07±0.60 ^a	20.95±3.04 ^{ab}	21.46±0.90 ^{ab}
	190	57.99±1.63 ^c	68.41±0.82 ^c	11.90±1.77 ^a	9.39±0.78 ^a	19.62±1.05 ^b	22.49±1.45 ^a

过一定温度后,丙二醛的增加速度会加快。在高温条件下,不饱和脂肪酸发生氧化反应使油脂中过氧化物增加。油炸过程中,小酥肉中的油脂与菜籽油中的油脂相互转移,菜籽油向小酥肉中不断渗入,导致小酥肉中的硫代巴比妥酸反应物值显著增加^[32]。

2.6 油炸时间和温度对小酥肉胃蛋白酶消化率的影响

油炸时间和温度对小酥肉胃蛋白酶消化率的影响变化规律如图 5 所示,蛋白质消化率是评价肉品蛋白生物利用率和营养价值的重要指标^[14]。由图 5 可知,随着油炸温度的升高,小酥肉的胃蛋白酶消化率呈逐渐降低的趋势,可能是因为挂糊处理使得油炸过程中在小酥肉表面形成了坚硬的外壳,油炸温度越高,油炸外壳越坚硬,阻碍了胃蛋白酶与鸡胸肉蛋白质酶切位点的结合,从而导致胃蛋白酶消化率下降^[33]。随着油炸时间的延长,小酥肉的胃蛋白酶消化率呈逐渐增加的趋势,可能是随着油炸时间的延长,食物表面的水分会蒸发得更多,食物内部的温度也会上升,这可能会导致蛋白质部分变性并暴露出更多的消化位点,使得胃蛋白酶更容易进入蛋白质分子内部进行消化。此外,油炸过程中食物表面的痕迹和凹凸不平的部分也会变得更加均匀,因为热会使食物膨胀和变形。这种均匀的表面可能会使得胃蛋白酶更容易接触到食物,从而提高消化率。但是,需要注意的是,过度油炸可能会破坏食物的营养成分,并带来其他的健康风险^[34]。

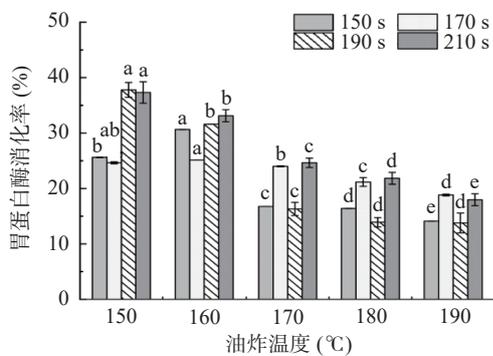


图 5 油炸时间和温度对小酥肉胃蛋白酶消化率的影响
Fig.5 Effect of frying time and temperature on pepsin digestibility of small crispy meat

2.7 油炸时间和温度对小酥肉感官评分的影响

油炸时间和温度对小酥肉的感官评分的影响变化规律如图 6 所示,由图 6 可知,随着油炸温度的增加,小酥肉的感官评分呈现先增加后降低的趋势,在油炸温度为 170 °C 时感官评分均达到最大,当油炸温度过低时,食材不会迅速形成脆皮,导致炸出的食物口感较为油腻,没有酥脆感,同时食物表面焦糖化反应不充分,不够金黄诱人,影响人的食欲。另一方面,当油炸温度过高时,食材表面可能会迅速糊化,形成过厚的外皮,内部却未完全熟透。这样炸制出的小酥肉会有焦糊的味道和硬度,口感不好,也会使食材损失天然的鲜味和嫩滑口感。因此,要炸制出美味的小

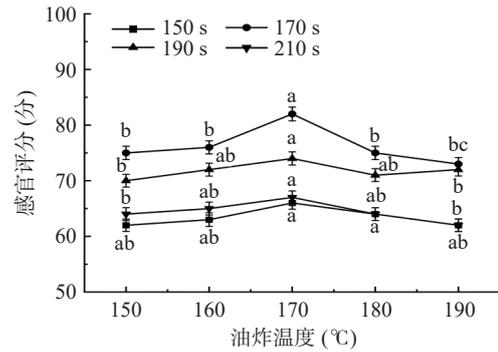


图 6 油炸时间和温度对小酥肉感官评分的影响

Fig.6 Effect of frying time and temperature on sensory scores of small crispy meat

酥肉,需要掌握适当的油炸温度和时间,以保证其外脆内嫩、金黄酥脆的效果。综合本文实验结果,在 170 °C 下油炸 170 s 时效果理想,口感最佳。

3 结论

本实验研究了油炸温度和油炸时间对小酥肉品质的影响,随着油炸温度的升高,油炸时间的延长,小酥肉含水率会降低,含油率会逐渐增加,小酥肉的水分流失严重导致其硬度、咀嚼性、胶粘性增大,非酶促褐变等反应的发生导致小酥肉的亮度值、黄度值明显降低,红度值显著增加,油炸过程中过氧化物的产生量增多导致硫代巴比妥酸反应物值显著增高,经体外消化模型研究发现,油炸温度升高会导致胃蛋白酶消化率减小,而随着油炸时间的延长,小酥肉的胃蛋白酶消化率显著增大。总体而言,170 °C 下油炸 170 s 能使小酥肉获得较高含水率的同时,含油率较低,且硬度适中,色泽较好,此研究结果可为小酥肉的加工提供数据支持和理论参考。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] ZAGHI A N, BARBALHO S M, GUIGUER E L, et al. Frying process: From conventional to air frying technology[J]. *Food Reviews International*, 2019, 35(8): 763-777.
- [2] MOHAMMAD F, IBRAHIM K, ROKKAYA S, et al. Optimization of the frying temperature and time for preparation of healthy falafel using air frying technology[J]. *Foods*, 2021, 10(11): 2567.
- [3] HEREDIA A, CASTELLÓ M L, ARGÜELLES A, et al. Evolution of mechanical and optical properties of French fries obtained by hot air-frying[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 57(2): 755-760.
- [4] YU X N, LI L Q, 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(C): 102305.
- [5] 张令文, 计红芳, 马汉军, 等. 油炸过程中挂糊油炸猪肉片外壳食用品质的变化[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(5): 180-185.

[ZHANG L W, JI H F, MA H J, et al. Changes in the edible quali-

- ty of fried pork shells with batter during deep-frying[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(5): 180–185.]
- [6] SANGAMITHRA A, JOHN S G, HASEENA H. Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(20): 3400–3413.
- [7] DIAMANTE L M, SAVAGE G P, VANHANEN L. Optimisation of vacuum frying of gold kiwifruit slices: Application of response surface methodology[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2012, 47(3): 518–524.
- [8] FITRIYONO A, ELISE V G, JOANA V, et al. Nutritional and physicochemical quality of vacuum-fried mango chips is affected by ripening stage, frying temperature, and time.[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2020, 7: 95.
- [9] 翟嘉豪, 陈季旺, 陈超凡, 等. 油炸温度和时间对油炸外裹糊鱼块品质及产量的影响[J]. *武汉轻工大学学报*, 2022, 41(3): 1–7, 21. [ZHAI J H, CHEN J W, CHEN C F, et al. Effect of frying temperature and time on the quality and yield of deep-fried battered fish pieces[J]. *Journal of Wuhan Light Industry University*, 2022, 41(3): 1–7, 21.]
- [10] 陈康明, 刘晓丽, 许艳顺, 等. 油炸温度与时间对白公干鱼传质特性及品质的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(2): 25–31. [CHEN K M, LIU X L, XU Y S, et al. Effect of frying temperature and time on the mass transfer characteristics and quality of dried white male fish[J]. *Food and Machinery*, 2020, 36(2): 25–31.]
- [11] 张亚楠, 包香香, 樊玉霞, 等. 油炸温度和时间对猪肉块品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(13): 19–24. [ZHANG Y N, BAO X X, FAN Y X, et al. Effect of frying temperature and time on the quality of pork cubes[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2018, 39(13): 19–24.]
- [12] WANG B, LI H J, HUANG Z B, et al. Dynamic changes in the qualities and heterocyclic aromatic amines of roasted pork induced by frying temperature and time[J]. *Meat Science*, 2021, 176: 108457.
- [13] 石长波, 王萌, 赵钜阳. 油炸温度与时间对预调理清炸大麻哈鱼品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 49(17): 142–147. [SHI C B, WANG M, ZHAO J Y, et al. Effect of frying temperature and time on the quality of preconditioned fried cannabis salmon [J]. *Food Research and Development*, 2019, 49(17): 142–147.]
- [14] 金锦华, 刘剑, 金丹莉, 等. 中餐烹制工艺对鸡胸肉理化品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(16): 111–118. [JIN J H, LIU J, JIN D L, et al. Effect of Chinese cooking process on the physicochemical quality of chicken breast meat[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2022, 43(16): 111–118.]
- [15] 张璐, 熊双丽, 李安林, 等. 响应面-主成分分析法优化小酥肉糊料配方[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(4): 133–141. [ZHANG L, XIONG S L, LI A L, et al. Response surface-principal component analysis for optimization of small crispy meat paste formulation[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2024, 45(4): 133–141.]
- [16] PEDRESCHI F, HERANADEZ P, FIGUEROA A C, et al. Modeling water loss during frying of potato slices[J]. *International Journal of Food Properties*, 2005, 8(2): 289–299.
- [17] 杨雪欣, 陈可靖. 降低挂糊油炸制品含油量的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(22): 376–382. [YANG X X, CHEN K J. Research progress in reducing the oil content of hung batter fried products[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021, 42(22): 376–382.]
- [18] 康海霞, 宋晓燕, 杨晓明, 等. 自加热茄汁酥肉加工工艺的研究[J]. *食品科技*, 2022, 47(1): 152–158. [KANG H X, SONG X Y, YANG X M, et al. Study on the processing of self-heated ketchup puffed meat[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(1): 152–158.]
- [19] DAI Y, LU Y, WU W, et al. Changes in oxidation, color and texture deteriorations during refrigerated storage of ohmically and water bath-cooked pork meat[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2014, 26: 341–346.
- [20] LI Y, BAI X, ZHAO M N, WANG H, et al. Sodium alginate edible coating to reduce oil absorption of French fries with maintaining overall acceptability: Based on a water replacement mechanism [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 236: 124042.
- [21] 李祉贤, 奉思思, 孙佳颖, 等. 高温烘烤对葛根淀粉物化、结构及消化特性的影响[J/OL]. *中国粮油学报*: 1–10[2023-05-31]. <https://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.000238>. [LI Z X, FEN S S, SUN J Y, et al. Effect of high temperature roasting on the physical, structural and digestive properties of *Pueraria lobata* starch[J/OL]. *Chinese Journal of Cereals and Oils*: 1–10[2023-05-31]. <https://doi.org/10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.000238>.]
- [22] 徐建国, 张森旺, 徐刚, 等. 莲子热风干燥过程对其淀粉热特性及凝胶化的影响[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(17): 298–303. [XU J G, ZHANG S W, XU G, et al. Influence of hot air drying process on the thermal properties and gelation of starch in lotus seeds[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2017, 33(17): 298–303.]
- [23] 张旭东, 刘瑞, 曾睿, 等. 不同热处理条件下羊血浆蛋白体外模拟消化研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(18): 6049–6056. [ZHANG X D, LIU R, ZENG R, et al. *In vitro* simulated digestion of sheep plasma proteins under different heat treatment conditions[J]. *Journal of Food Safety and Quality Testing*, 2022, 13(18): 6049–6056.]
- [24] 蔺博燕. 臭氧水处理对草鱼肌原纤维蛋白氧化及凝胶特性的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2020. [LIN B Y. Effect of ozone water treatment on oxidation and gelation properties of myogenic fibronectin in grass carp [D]. Jinzhou: Bohai University, 2020.]
- [25] 黄优生, 陆静楠, 李明宇, 等. 油炸工艺对薯条中丙烯酰胺和5-羟甲基糠醛形成的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(15): 49–56. [HUANG Y S, LU J N, LI M Y, et al. Effect of frying process on the formation of acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural in French fries[J]. *Food Science*, 2023, 44(15): 49–56.]
- [26] 陈美花, 潘佳丽, 翁文治. 油炸温度和时间对外裹糊牡蛎品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(12): 124–129. [CHEN M H, PAN J L, WEN W Z. Effect of frying temperature and time on the quality of externally battered oysters[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2017, 43(12): 124–129.]
- [27] 武润琳, 刘曼曼, 秦瑞珂, 等. 空气炸制条件对鱼浆猪肉复合凝胶品质的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(6): 59–66. [WU R L, LIU M M, QIN R K, et al. Effect of air frying conditions on the quality of fish paste pork composite gel[J]. *Journal of Central China Agricultural University*, 2020, 39(6): 59–66.]
- [28] WANG Y, ZHANG W G, ZHOU G H. Effects of ultrasound-assisted frying on the physicochemical properties and microstructure of fried meatballs[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2019, 54(10): 2915–2926.
- [29] 应桦, 陈枫. 油炸工艺对牛肉饼营养品质特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(10): 61–65. [YING H, CHEN F. Effect of frying process on the nutritional quality characteristics of beef pat-

- ties[J]. *Grain and Fats*, 2018, 31(10): 61–65.]
- [30] 任云, 胡俊平, 于虹, 等. 核桃壳色素提取工艺及其应用性能表征[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(16): 157–162. [REN Y, HU J P, YU H, et al. Extraction process of walnut shell pigments and characterization of their application properties[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(16): 157–162.]
- [31] 张亚蓉, 康娇, 薛桥丽, 等. 油炸时间对云南牛干巴煎炸过程中理化特性的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(6): 58–63. [ZHANG Y R, KANG J, XUE Q L, et al. Effect of frying time on the physicochemical properties of Yunnan beef dried barley during frying[J]. *Meat Research*, 2020, 34(6): 58–63.]
- [32] 李新, 汪兰, 乔宇, 等. 油炸过程中淡水小龙虾理化性质与品质变化[J]. *肉类研究*, 2021, 35(9): 1–6. [LI X, WANG L, QIAO Y, et al. Physicochemical properties and quality changes of freshwater crayfish during deep-frying[J]. *Meat Research*, 2021, 35(9): 1–6.]
- [33] AMIRYOUSEFI M R, MOHEBBI M, KHODAIYAN F. Applying an intelligent model and sensitivity analysis to inspect mass transfer kinetics, shrinkage and crust color changes of deep-fat fried ostrich meat cubes[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 172–178.
- [34] LIU F, DONG X, SHEN S, et al. Changes in the digestion properties and protein conformation of s-turgeon myofibrillar protein treated by low temperature vacuum heating during *in vitro* digestion[J]. *Food & Function*, 2021, 12(15): 6981–6991.