

# 贮藏时间对预调理锅包肉品质的影响

方胥伟, 赵钜阳\*, 刘申

(哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 哈尔滨 150028)

**摘要:** 目的 通过优化锅包肉的保脆技术和工艺, 分析其在短期贮存过程中的脆性变化机制, 进而延缓其在贮存过程中的脆度劣变程度。方法 筛选锅包肉裹糊淀粉种类, 并优化锅包肉的油炸工艺, 对不同贮存条件下锅包肉内部肉质的水分含量和外壳脆性进行测定, 分析锅包肉在短期贮存过程中的脆性变化规律。结果 采用红薯淀粉裹糊, 当初炸温度为 190 °C, 初炸时间为 100 s, 复炸温度为 205 °C, 复炸时间为 45 s 时, 锅包肉具有良好的脆性和感官质量; 在短期贮存过程中 (0~8 h), 锅包肉内部水分含量先减少后上升, 外壳糊水分含量和脆度先下降后升高, 最终趋于稳定。结论 在贮存初期, 锅包肉外壳糊的水分向外扩散, 脆度升高, 之后吸收内部肉质的水分, 使脆度逐渐下降, 最终与外界环境趋于平衡, 说明其脆性劣变受到其自身水分迁移和外界环境的双重影响。

**关键词:** 锅包肉; 脆性; 油炸; 挂糊; 贮存

## The Effect of Storage Time on the Quality of Preconditioned Guobao Meat

Fang Xuwei, ZHAO Juyang\*, Liu Shen

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

**ABSTRACT:** The work aims to analyze the crispness change mechanism of pot-wrapped meat in short-term storage by optimizing the technology and process of preserving the crispness of pot-wrapped meat, so as to delay the crispness deterioration during storage. The types of starch were selected and the frying technology used in making pot-wrapped meat was optimized. Moreover, the moisture content of the meat and the shell crispness under different storage conditions were tested, and the changes in the crispness of the pot-wrapped meat were analyzed. When sweet potato starch was used to paste the meat, the initial frying temperature was 190 °C and the initial frying time was 100 s, including the refrying temperature of 205 °C and refrying time of 45 s respectively, the meat had good sensory quality and crispness protection. In the short-term storage process (0-8 h), the moisture inside the meat decreased firstly and then increased. Furthermore, the moisture and crispness of shell paste decreased firstly and then increased, and finally tended to be stable. In the initial storage period, the moisture of the shell paste of the pot-wrapped meat diffuses outwards with the crispness increasing, and then the moisture of the internal meat is absorbed, leading to the decline of the crispness. Finally, the crispness tends to balance with the external environment, indicating that the crispness of pot-wrapped meat is deteriorated by its own moisture migration and the external environment.

**KEY WORDS:** pot-wrapped meat; crispiness; deep-fried; paste; storage

**作者简介:** 方胥伟 (2000—), 男, 哈尔滨商业大学硕士生, 主攻烹饪科学。

**通信作者:** 赵钜阳 (1987—), 女, 博士, 哈尔滨商业大学讲师, 主要研究方向为大豆蛋白加工。

锅包肉起源于北京传统宫廷菜“焦炒肉片”，因其制作手段采用传统烹饪技法“爆”而命名为“锅爆肉”，后在哈尔滨口口相传为“锅包肉”而延用至今<sup>[1]</sup>。锅包肉具有口感酥脆、外焦里嫩的特点，其脆度由猪肉外表皮所包裹的淀粉糊经高温油炸而产生，会受裹糊原料淀粉和加热条件的影响，因此文中将从这2方面出发，对锅包肉短期贮藏中的脆性变化进行研究。

淀粉广泛存在于自然界食物中，因其结构功能属性被广泛应用于食品和菜肴烹制过程中，不同种类的淀粉会显著影响菜品的质构特性和感官质量<sup>[2]</sup>。Zhang等<sup>[3]</sup>研究了马铃薯、木薯、红薯、玉米、绿豆淀粉制糊对挂糊油炸猪肉片外壳脆度和硬度的影响，结果显示，豌豆淀粉制糊的样品硬度最高，木薯淀粉的脆性最低。Mohamed等<sup>[4]</sup>研究发现，油炸食品的吸油率和脆酥度与淀粉中直链和支链淀粉的比例相关。Fiszman等<sup>[6]</sup>研究发现，含有较多直链淀粉的改性淀粉可以通过形成保护膜来降低最终产品的吸油率，但太多的直链淀粉也会导致食品的硬度急剧上升，难以咀嚼。由此可见，淀粉种类的选择对烹饪菜品起着至关重要的作用。

除淀粉种类外，油炸工艺参数对菜品的感官和质构也起着决定性作用。当油为传热介质时，食品表面的温度迅速升高，水分子汽化，食物表面形成一层干燥的硬壳<sup>[7]</sup>。张令文等<sup>[8]</sup>研究表明，随着油炸时间和温度的改变，挂糊肉外壳颜色和硬度均会发生变化，外壳糊的硬度变大，易碎性、脆性也随之变高。脆性可理解为咬碎样品所需要的力，可通过测定样品的质构特性计算得出<sup>[9-11]</sup>，是影响油炸食品品质的重要因素。水分、淀粉、蛋白质、脂肪经高温油炸后结构会发生改变，在内部空间形成网格，从而影响产品的脆性<sup>[12]</sup>。Katz等<sup>[13]</sup>研究发现，食物脆性与其所含水分含量有关，食品在贮存过程中水分含量的上升会导致产品脆性下降。杨琴等<sup>[14]</sup>研究表明，将4种油炸食品放于40℃下贮藏，50 d后测定4种油炸食品的水分含量均显著增加，这表明长时间贮藏油炸食品会受外界环境的影响，存在吸潮的现象。郭希娟等<sup>[15]</sup>通过研究油炸挂糊肉片在贮藏过程中水分的动态变化，建立了油炸挂糊肉片的水分迁移动力学模型，发现在不同贮藏时间、温度和湿度下，油炸挂糊肉片水分首先以外壳蒸发的方式扩散，同时内部肉片中水分的移动使挂糊肉脆性发生改变。

锅包肉是黑龙江哈尔滨市的特色菜肴，在东北餐厅和食堂随处可见，然而锅包肉至今很难形成工业化生产，其根本原因在于锅包肉外壳在短期贮藏过程中脆性劣变情况严重，使得锅包肉感官质量大大下降。目前关于脆性的研究主要集中在膨化食品和挂糊肉片上，涉及成品菜肴的研究还未见报道。由此，文中通过预优化锅包肉的挂糊、油炸工艺，通过分析贮存

条件对锅包肉的内部肉和外壳糊水分含量及外壳脆性的影响，以得出其在短期贮存过程中的脆性劣变机制，为后期研究长期贮存条件下锅包肉保脆技术提供理论支持。

## 1 实验

### 1.1 材料和仪器

主要材料：猪里脊肉，大庄园畜牧有限公司；红薯淀粉、马铃薯淀粉、玉米淀粉，南京甘汁园糖业食品有限公司；大豆油，哈尔滨九三集团惠康食品有限公司；醇酿米醋，李锦记食品有限公司；大葱、姜、胡萝卜、香菜、白糖、盐、料酒，哈尔滨家乐福超市。

主要仪器：ACS-A型电子计重器，上海友声衡器有限公司；TLE204型电子天平，梅特勒托利多仪器有限公司；TMS-Pro型质构仪，北京盈盛恒泰科技有限责任公司；鼓风干燥箱，上海一恒仪器科学有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品制备及工艺流程

取400 g猪里脊肉切成规格统一的肉片（6 cm×3 cm×0.5 cm），加入4 g食盐，4 g料酒腌制8 min备用。将200 g淀粉与1 kg水混合成水淀粉，静置一段时间倒去上层多余清水备用。锅包肉制作工艺流程：猪里脊肉片→挂淀粉糊→初炸→沥油→复炸→烹汁→成品。

#### 1.2.2 不同淀粉种类对锅包肉品质的影响

在初炸温度为180℃、初炸时间为110 s；复炸温度为195℃、复炸时间为45 s的条件下，选择不同淀粉种类（马铃薯淀粉、玉米淀粉、红薯淀粉）对经托盘包装的锅包肉进行感官评价、中心肉片质构特性和室温放置24 h后外壳糊脆性的测定。

#### 1.2.3 不同油炸工艺对锅包肉品质的影响

1) 油炸工艺单因素试验筛选。根据在1.2.2中确定的最优淀粉种类，改变初炸温度（165，175，185，195℃），固定初炸时间为110 s、复炸温度为195℃、复炸时间为45 s，通过感官评价和外壳糊的脆性分析，筛选出最佳的初炸温度。其次固定初炸温度为180℃、初炸时间为110 s、复炸时间为45 s，改变复炸温度（190，200，210，220℃）以筛选出最佳的复炸温度；固定初炸温度为180℃、复炸温度为195℃、复炸时间为45 s，改变初炸时间（85，95，105，115 s）以筛选出最佳的初炸时间。最后固定初炸温度为180℃、初炸时间为110 s、复炸温度为180℃，改变复炸时间（40，50，60，70 s）以筛选出最佳的初炸时间。

2) 油炸工艺正交实验筛选。在已有研究和单因素试验基础上,根据不同的条件因素(初炸温度、初炸时间、复炸温度、复炸时间)设计  $L_9(3^4)$  正交试验,见表 1。通过感官评价和外壳糊的脆性,分析并筛选出最佳的油炸工艺组合。

1.2.4 短期贮存对锅包肉脆性的影响

将成品锅包肉分别置于室温 25 °C、冷藏 4 °C、冷冻-18 °C的条件下进行贮存,并分别在贮存前和贮存 2, 4, 6, 8 h 时测定锅包肉内部肉的水分含量以及外壳糊的水分含量和脆性,分析挂糊肉片在贮存过程中水分含量的变化以及水分迁移对脆性的影响,探讨脆性劣变机制。

1.2.5 短期贮存对锅包肉菌落总数的影响

为保证经过贮存的锅包肉符合食用标准,对常温下贮存 24 h 后的锅包肉进行菌落数量的测定,以保证食用的安全性。

1.3 评价指标

1.3.1 感官评价

由 8 名专业人士组成感官品评小组,从 5 个方面分别打分,分值的高低代表样品的品质优劣和可接受程度的高低,感官评分标准见表 2。感官评价前,实验员将制作好的锅包肉随机编号,并分别盛装在相同的容器中,品鉴员在品尝各组样品间歇需饮用清水漱口。感官评价最终结果表示为平均值±标准差。

1.3.2 脆性的测定

将锅包肉外壳与内部肉分离,对外壳进行脆性检测。用剪刀将锅包肉外壳修剪为长宽统一(30 mm×30 mm)的正方形薄片,利用质构仪测定其脆性。测定条件:p50 探头,测试速度为 60 mm/min,起始力为 1 N,变形量为 40%。参照高琦等<sup>[16]</sup>测算脆性的方法,根据式(1)计算得出。为保证脆性实验结果的科学性,各组样品测定 18 组平行,结果取其平均值。

$$C = H / H_{AN} \quad (1)$$

式中: $C$  为脆度; $H$  为测试过程中出现的最大峰为样品硬度; $H_{AN}$  为得到的所有峰值平均值。

1.3.3 水分含量的测定

将锅包肉外壳与中间肉分离,参照 GB 5009.3—

2006《食品安全国家标准食品中水分的测定》<sup>[17]</sup>,分别测定外壳和中间肉的水分含量。

1.3.4 菌落总数的测定

为保证锅包肉的食用安全性,参照 GB 4789.2—2016《食品微生物菌落总数的测定》<sup>[18]</sup>测定贮藏 24 h 后锅包肉的菌落总数。

2 结果与分析

2.1 不同淀粉种类对锅包肉品质的影响

2.1.1 锅包肉感官品质

依据感官评价标准,不同淀粉种类对锅包肉感官品质的评定结果见表 3,其中总体可接受度主要指锅包肉的整体评价,包含口感、滋味、质地等没有单独列项的感官质量。感官总评分为感官评价中的酥脆度、膨胀度、色泽、气味、总体可接受度等 5 项感官质量的总分,表示该实验对于锅包肉的综合评价。

结果显示,马铃薯淀粉裹糊制作锅包肉样品的总体接受度及感官总评分最高,其次是红薯淀粉组,玉米淀粉组感官评分最低。使用马铃薯淀粉挂糊油炸后的肉片形状规则,外壳色泽金黄,肉片个体外形饱满,口感酥脆膨松,有浓郁的油炸香味,这是由于马铃薯淀粉受热后膨胀度高,在高温下形成保护膜,避免了肉中水分的流失;使用红薯淀粉挂糊油炸后的肉片整体酥脆度、外壳膨胀度及口感较好,仅次于马铃薯淀粉组;玉米淀粉组形状不规则,外壳较硬膨胀度低,对肉片粘黏性较差,使得肉片在炸制过程中没有很好地被淀粉糊包裹,致使肉质较硬,挂糊效果不理想。综上所述,使用马铃薯淀粉挂糊制作的锅包肉其感官品质最佳,其次是红薯淀粉组,玉米淀粉组感官品质最差。

2.1.2 锅包肉内部肉质嫩度

锅包肉具有外酥里嫩的特点,剪切力的高低可直接反应其内部肉质嫩度。由图 1 可知,使用马铃薯淀粉挂糊的锅包肉剪切力最小,肉质最嫩;其次是使用红薯淀粉挂糊的肉片,且与红薯淀粉组之间无显著差异;玉米淀粉组剪切力最大,样品肉质发柴,肉片表面干硬。

表 1 正交试验影响因素及水平  
Tab.1 Factors and levels of orthogonal experiment

| 编号 | 初炸温度 A/°C | 初炸时间 B/s | 复炸温度 C/°C | 复炸时间 D/s |
|----|-----------|----------|-----------|----------|
| 1  | 180       | 100      | 195       | 45       |
| 2  | 185       | 105      | 200       | 50       |
| 3  | 190       | 110      | 205       | 60       |

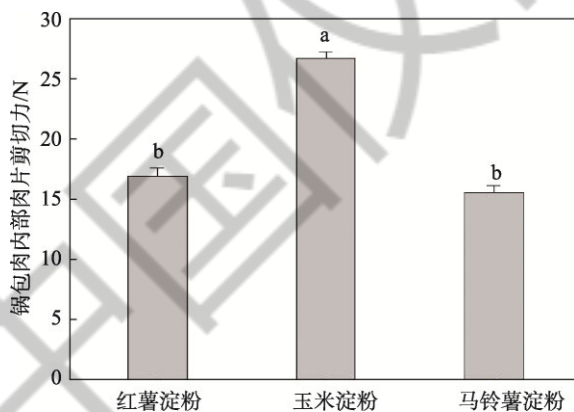
表2 感官评价标准  
Tab.2 Sensory evaluation criteria

| 指标        | 评分标准                | 得分    |
|-----------|---------------------|-------|
| 酥脆度（40）   | 外壳酥脆咀嚼清爽；肉质鲜嫩，容易下咽  | 28~40 |
|           | 外壳软塌，咀嚼偏软；肉质较软，吞咽顺畅 | 14~27 |
|           | 外皮较硬，咀嚼困难，肉质发柴，难以下咽 | 0~13  |
| 膨胀度（20）   | 表面适度膨胀，表面光滑，形状规则    | 13~20 |
|           | 产品有所膨胀，表面较光滑，形状较规则  | 7~13  |
|           | 不膨胀或过度膨胀            | 0~6   |
| 气味（15）    | 浓郁油炸食品香味，无异味        | 11~15 |
|           | 有油炸食品 香味，无异味        | 6~10  |
|           | 无油炸食品的香味，且带有焦糊味或夹生味 | 0~5   |
| 色泽（10）    | 表面呈诱人的金黄色泛微红        | 8~10  |
|           | 表面呈浅黄色或白色           | 4~7   |
|           | 表面呈微褐色或黄褐色          | 0~3   |
| 总体接受度（15） | 高（喜欢）               | 11~15 |
|           | 锅包肉质、口感、滋味等感官质量适中   | 6~10  |
|           | 感官质量低（不可接受）         | 0~5   |

表3 不同淀粉对锅包肉成品感官评定结果  
Tab.3 Sensory evaluation results of finished pot-wrapped meat with different starches

| 评价标准       | 红薯淀粉                    | 玉米淀粉                    | 马铃薯淀粉                   |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 酥脆度（40）    | 33.65±0.60 <sup>b</sup> | 32.5±0.15 <sup>c</sup>  | 34.75±0.45 <sup>a</sup> |
| 膨胀度（20）    | 15.8±0.33 <sup>a</sup>  | 11.85±0.42 <sup>b</sup> | 16.5±0.36 <sup>a</sup>  |
| 色泽（15）     | 8.56±0.21 <sup>a</sup>  | 10.04±0.65 <sup>a</sup> | 10.95±0.22 <sup>a</sup> |
| 气味（10）     | 7.92±0.85 <sup>b</sup>  | 8.2±0.77 <sup>a</sup>   | 8.1±0.89 <sup>b</sup>   |
| 总体可接受度（15） | 13.45±0.55 <sup>a</sup> | 11.68±0.90 <sup>b</sup> | 13.87±1.22 <sup>a</sup> |
| 感官总评分（100） | 78.38±1.07 <sup>b</sup> | 74.27±1.20 <sup>c</sup> | 84.62±2.14 <sup>a</sup> |

注：表内数据为平均值±标准差，同列肩标字母不同表示差异显著（ $P<0.05$ ）



注：图中字母不同表示差异显著（ $P<0.05$ ）

图1 不同淀粉种类对锅包肉内部肉片剪切力的影响  
Fig.1 Effect of different starch types on shearing force of pot-wrapped meat

### 2.1.3 贮存后锅包肉的外壳糊脆性

使用质构仪对锅包肉外壳糊的脆性进行测定，结果见表4。室温放置24 h后比较锅包肉外壳糊硬度大小为红薯淀粉组>玉米淀粉组>马铃薯淀粉组，且红薯淀粉组的外壳脆性值最大。结合前面的实验结果，马铃薯淀粉制作的锅包肉其感官评分最高（84.62分），肉片最嫩（14.54 N），但常温贮存24 h后其外壳在硬度和脆性上不及红薯淀粉组。使用红薯淀粉挂糊的锅包肉总体可接受度与马铃薯淀粉组无显著差异，且贮存后红薯淀粉组样品脆性最高（1.0799 N/N）。使用玉米淀粉挂糊的锅包肉其感官评分最低，且脆性较差，这可能是由于玉米淀粉糊黏度较差，挂糊效果不理想，使肉片直接与热油接触、水分散失较多有关<sup>[2]</sup>。

表 4 不同淀粉对贮存后锅包肉外壳脆性的影响结果 Tab.4  
Effects of different starches on the crispness of the pot-wrapped meat after storage

| 淀粉种类  | 硬度/N                       | 脆性/(N·N <sup>-1</sup> )   |
|-------|----------------------------|---------------------------|
| 红薯淀粉  | 46.271±30.242 <sup>a</sup> | 1.079±0.033 <sup>a</sup>  |
| 玉米淀粉  | 43.201±21.063 <sup>a</sup> | 1.0564±0.019 <sup>b</sup> |
| 马铃薯淀粉 | 27.497±14.603 <sup>b</sup> | 1.030±0.011 <sup>c</sup>  |

注：表内数据为平均值±标准差，同列肩标字母不同者表示差异显著（ $P<0.05$ ）

综上所述，使用红薯淀粉挂糊的锅包肉其整体可接受度与马铃薯淀粉组无明显差异，且在保脆性方面显示出明显的优势，因此，后续实验选用红薯淀粉作为制作锅包肉的最佳挂糊淀粉。

2.2 油炸工艺对锅包肉外壳脆性的影响

油炸工艺与锅包肉外壳脆性有着密切关系，脆性是决定其感官品质的重要因素。文中实验通过单因素以及正交试验方法，研究了不同油炸温度和时间对锅包肉外壳脆性的影响。

2.2.1 油炸温度和油炸时间对外壳糊脆性的影响

油炸工艺对锅包肉外壳脆性影响的实验结果见图 2。由图 2a 可知，当初炸温度为 165 °C 时，锅包肉外壳糊的脆度极低，随着温度的升高，外壳糊中水分的挥发速度加快，脆性逐渐增大，且在 185 °C 时达到最大值。随着初炸油温继续升高，外壳糊脆度反而降低，这可能是由于过高的油炸温度使淀粉糊韧性下降，在进行质构测量时，剪切力降低，外壳脆性值减小。由图 2b 可知，复炸温度对外壳糊脆性的影响呈现相同的趋势，当复炸温度升高至 200 °C 时，锅包肉外壳脆性达到最大值。由图 2c—d 可知，当初炸时间为 105 s、复炸时间为 50 s 时，所烹制的锅包肉外壳脆性值最大，过短的油炸时间不能较好地释放外壳中的淀粉水分，而过长的油炸时间易使其外壳糊韧性降低，脆性值减小，口感偏酥。综上可知，当初炸油温为 185 °C、初炸时间为 105 s、复炸温度为 200 °C、复炸时间为 50 s 时，锅包肉外壳糊的脆性较优。为了获取在锅包肉制作过程中的最佳油炸工艺，需在单因素试验结果的基础上进行对锅包肉制作最佳油炸工艺筛选的正交实验。

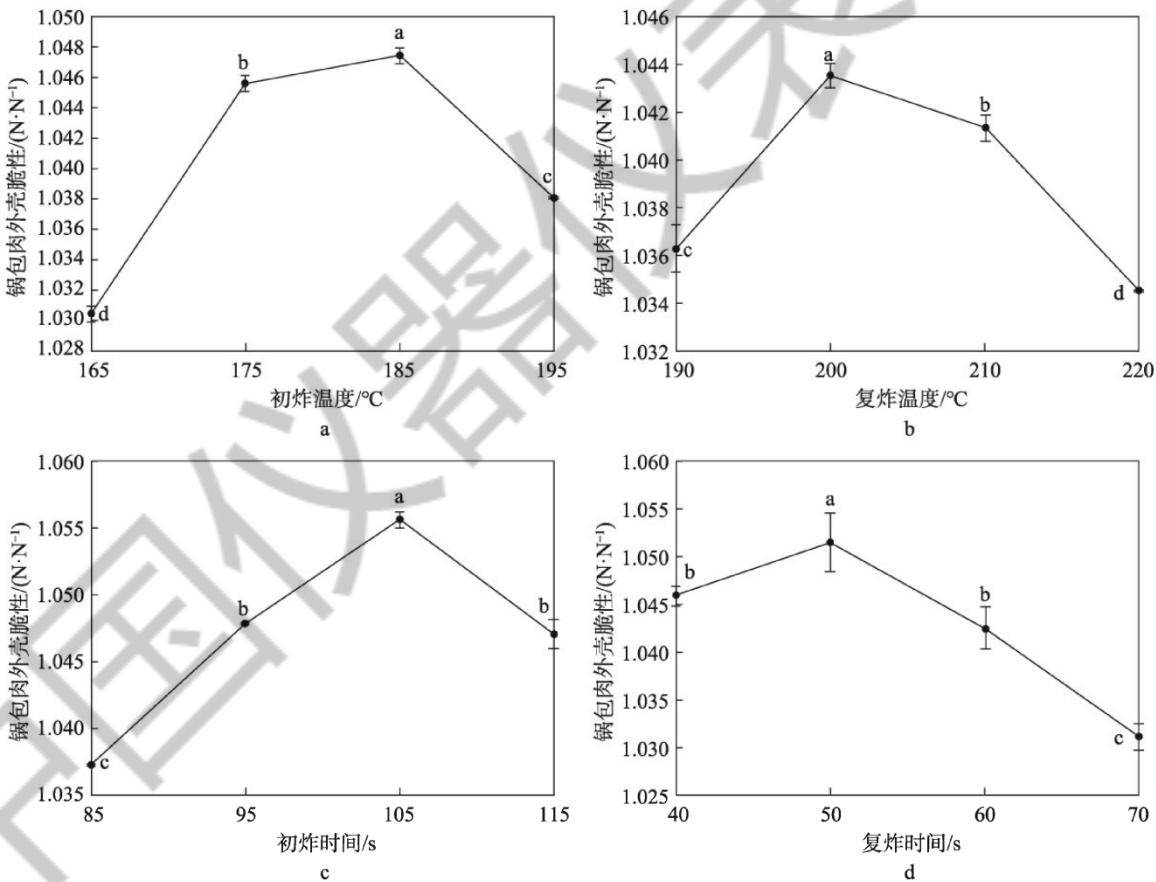


图 2 油炸工艺对锅包肉外壳脆性的影响

Fig.2 Effect of frying process on the crispiness of pot-wrapped meat

2.2.2 锅包肉脆性

在单因素试验的基础上，采用  $L_9(3^4)$  正交试验设计，结果见表 5。将正交试验结果进行极差分析，比较 4 个因素的  $R$  值大小，即  $B>D>A>C$ ，由此说明影响锅包肉外壳脆性的主次顺序为：初炸时间>复炸时间>初炸温度>复炸温度。以外壳脆性为最终评定标准，最优组合为  $A_3B_1C_3D_1$ ，即初炸温度为  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、初炸时间为  $100\text{ s}$ 、复炸温度为  $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、复炸时间为  $45\text{ s}$  时，使用红薯淀粉挂糊的锅包肉脆性最佳，该条件下所烹制出的锅包肉外壳脆性为  $(1.081\pm 0.015)\text{N/N}$ ，显著高于其他各处理组。

2.3 不同贮存条件对锅包肉水分含量及脆性的影响

2.3.1 锅包肉外壳水分含量

为探究锅包肉在短期贮存过程中脆性劣变机制，文中实验首先研究了不同贮存方式对锅包肉外壳和内部肉水分含量的影响，结果见图 3。由图 3a 可知，在常温 ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 贮存条件下，外壳糊的水分含量在贮存  $0\sim 2\text{ h}$  内逐渐降低，在贮存  $2\text{ h}$  时达到最小值，然后水分含量逐渐升高后开始趋于稳定。在冷藏

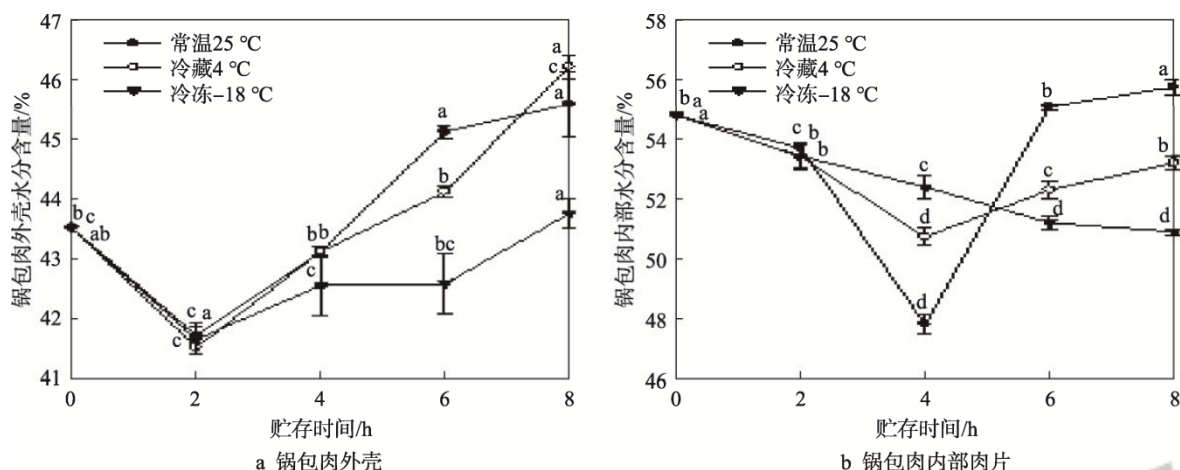
( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 贮存条件下，外壳糊的水分含量在贮存  $0\sim 2\text{ h}$  内降低，在贮存  $2\text{ h}$  后同样逐渐升高，在贮存  $8\text{ h}$  时达到最大值 ( $P<0.05$ )。在冷冻 ( $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 贮藏条件下外壳糊的水分含量先降低，在贮存  $2\text{ h}$  时降到最低值后开始逐渐上升。

由图 3b 可看出，在常温贮存  $0\sim 4\text{ h}$  内，肉片水分含量降低，在贮存  $4\sim 6\text{ h}$  内升高至最大值，贮存  $6\text{ h}$  后，常温条件下肉片的水分含量再没有显著变化 ( $P\geq 0.05$ )。在冷藏条件下，肉片的水分含量与常温条件下肉片的水分含量呈现相似的趋势，但在冷藏贮存  $4\text{ h}$  后，肉片的水分含量上升趋势较为缓慢。在冷冻条件下肉片的水分含量整体呈下降趋势，在贮存  $6\text{ h}$  后不再显著变化。

根据图 3 中不同贮存条件对锅包肉水分含量影响的变化趋势，可以进一步分析出锅包肉在贮存过程中脆性劣变的机制。刚出锅的锅包肉自身温度较高，与外部环境存在较大的绝对蒸汽压差，锅包肉与外界环境将逐渐趋于平衡。贮存条件不同，外壳糊和内部肉质的水分含量的变化速率不同，常温条件下 ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 贮存  $0\sim 2\text{ h}$  内外壳糊和内部肉水分含量均有所降低，且外壳糊水分流失严重，这可能是由于当外壳糊温度较高时，其水分扩散到外部环境中，在贮存

表 5  $L_9(3^4)$ 正交试验安排与直观分析  
Tab.5 Orthogonal experiment schedule and intuitive analysis

| 编号    | 因素                                      |                          |                                         |                         | 脆性/( $\text{N}\cdot\text{N}^{-1}$ ) |
|-------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|       | 初炸温度 A / $^{\circ}\text{C}$             | 初炸时间 B /s                | 复炸温度 C / $^{\circ}\text{C}$             | 复炸时间 D /s               |                                     |
| 1     | 1 (180)                                 | 1 (100)                  | 1 (195)                                 | 1 (45)                  | 1.062                               |
| 2     | 1                                       | 2 (105)                  | 2 (200)                                 | 2 (50)                  | 1.047                               |
| 3     | 1                                       | 3 (110)                  | 3 (205)                                 | 3 (60)                  | 1.027                               |
| 4     | 2 (18)                                  | 1                        | 2                                       | 3                       | 1.038                               |
| 5     | 2                                       | 2                        | 3                                       | 1                       | 1.044                               |
| 6     | 2                                       | 3                        | 1                                       | 2                       | 1.030                               |
| 7     | 3 (190)                                 | 1                        | 3                                       | 2                       | 1.066                               |
| 8     | 3                                       | 2                        | 1                                       | 3                       | 1.032                               |
| 9     | 3                                       | 3                        | 2                                       | 1                       | 1.046                               |
| $K_1$ | 3.137                                   | 3.166                    | 3.125                                   | 3.152                   |                                     |
| $K_2$ | 3.112                                   | 3.123                    | 3.131                                   | 3.144                   |                                     |
| $K_3$ | 3.144                                   | 3.103                    | 3.137                                   | 3.098                   |                                     |
| $k_1$ | 1.046                                   | 1.055                    | 1.042                                   | 1.051                   |                                     |
| $k_2$ | 1.037                                   | 1.041                    | 1.044                                   | 1.048                   |                                     |
| $k_3$ | 1.048                                   | 1.034                    | 1.046                                   | 1.033                   |                                     |
| $R$   | 0.011                                   | 0.021                    | 0.004                                   | 0.018                   |                                     |
| 最优组   | $A_3$ ( $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) | $B_1$ ( $100\text{ s}$ ) | $C_3$ ( $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) | $D_1$ ( $45\text{ s}$ ) |                                     |



注：图中字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图3 不同贮存条件下内部肉与外壳糊水分含量的变化

Fig.3 Changes of the moisture content of the internal meat and shell paste under different storage conditions

2 h 后,随着中心肉片的水分迁移到外壳,使得原本外壳的水分含量开始增加;在贮存 6 h 后,锅包肉自身温度与外界环境温度达到平衡,随着自身温度的降低,绝对蒸汽压差逐渐降低,此时水分子在外壳糊与内部肉质之间来回流动,且逐渐趋于平衡;同时贮存 6 h 后,外壳糊和内部肉水分含量有所升高,这可能是由于在常温环境贮存条件下外壳糊依据环境湿度发生了吸潮现象。在冷藏(4 °C)条件下,贮存 0~6 h 内与常温条件下贮存 0~6 h 的锅包肉水分含量变化趋势一致,但在冷藏贮存 6 h 时,锅包肉外壳水分含量较小 ( $P < 0.05$ ),由此说明,在短时间变化温差较小不会影响锅包肉内部与外壳糊的水分子互换趋势,但长时间的低温会降低锅包肉内部与外界环境水分子交换的速率。在冷冻(-18 °C)贮存条件下,随着贮存时间的延长,外壳糊的水分含量变化趋势与常温条件下类似,但贮存 2 h 后水分含量增加速率相对较慢,内部肉水分含量逐渐降低后趋于稳定,这是由于此条件下内部肉自由水产生冰晶,并且此时脂肪呈固体状态(大豆油的凝固点为-18~-15 °C)<sup>[19]</sup>,油脂与水之间以物理形态的方式相结合,因此水分的迁移速度变换缓慢。

综上所述,锅包肉在贮存过程中的脆性产生劣变。贮存初期,外壳糊因其温度较高水分逐渐散失,随后锅包肉内部肉水分子迁移到外壳,使内部水分逐渐下降,外壳水分略微上升,随着时间的延长,锅包肉整体水分含量趋于平缓并与外界环境达到平衡。较小的温差不会影响水分含量的变化趋势,但会影响其在内部的迁移速率。在温度过低时,锅包肉内部自由水快速凝结成冰晶,当外壳糊水分子散失时,内部肉质的水分子不能及时补给到外壳糊,最终导致外壳糊水分含量降低。

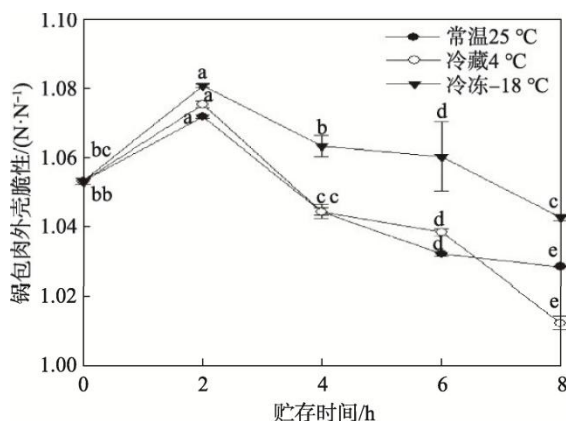
### 2.3.2 不同贮存条件对锅包肉外壳脆性的影响

锅包肉外壳脆性结果分析见图 4。常温贮存条件下,0~2 h 内锅包肉外壳脆性略微升高,在 2 h 时达到最高后开始缓慢降低,结合 2.3.1 节外壳水分含量的结果可知,水分含量增加则脆性降低,这是因为贮存初期外壳糊温度较高,促使水分子向外界环境扩散,内部肉中的水分子也会持续向外壳迁移;贮存 4 h 后,脆性继续下降,但下降速率相对缓慢,这是由于锅包肉因环境湿度的影响会发生吸潮现象,致使脆性下降,一定时间后外壳糊与内部水分含量逐渐趋于平衡,脆性下降程度趋于平缓。该结果与王茹等<sup>[20]</sup>的研究结果一致,香酥鸭制品在贮运过程中,其外皮水分含量的增加会破坏香酥鸭腿的微观结构,脆性发生劣变。

冷藏条件和冷冻条件下的锅包肉外壳糊脆性与常温条件下呈现出相同的趋势,但与常温贮藏下锅包肉外壳的脆性相比,冷冻条件下的外壳脆性下降速度缓慢。结合前面水分含量的测定结果分析可知,外界环境温度和湿度会影响水分子的流动性,冷藏条件下主要受外界湿度的影响,使锅包肉“吸潮”导致脆性劣变;冷冻条件下主要受外界环境温度影响,较低的温度使外壳糊气孔收缩变小,抑制水分子流动,可在一定时间内有效保持锅包肉脆性。

## 2.4 短期贮存后锅包肉的菌落总数

在贮存过程中,油炸肉类制品会因微生物的大量繁殖致使蛋白质分解、脂肪氧化,从而导致食品出现变质腐败的现象,各个国家均对肉类食品中微生物进行了分析和研究,由于肉制品加工方式(油炸、蒸制、炒制等)和肉类理化性质的不同,导致在不同贮藏条件下肉制品变质腐败程度均不相同。根据 GB



注：图中字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 4 不同贮藏条件下锅包肉外壳糊的脆性  
Fig.4 Crispiness of pot-wrapped meat shell paste under different storage conditions

4789.2—2016《食品安全国家标准熟肉制品》的要求<sup>[21]</sup>，常温条件下贮藏 24 h 后的油炸挂糊肉片中菌落总数为  $1.7 \times 10^4$  CFU/g，计算数据显示菜品的微生物状况良好，在微生物限量标准内，符合安全食用标准要求。

### 3 结语

为探究锅包肉在贮存过程中的脆性劣变机制，文中采用单因素试验并结合感官评价和脆度筛选出能够有效保持短期贮藏内锅包肉脆性的裹糊淀粉——红薯淀粉，并利用单因素和正交试验确定了最佳的油炸工艺（初炸温度为 190 °C、初炸时间为 100 s、复炸温度为 205 °C、复炸时间为 45 s）。其次对不同贮存条件下锅包肉脆性劣变的原因进行了分析，结果表明，刚出锅的锅包肉外壳温度较高，水分子向外界迁移，水分子逐渐从锅包肉内部迁移至表面外壳糊并逐渐趋于平衡。此外锅包肉外壳糊脆性变化还受到环境中的温度和湿度的影响，在常温和冷藏条件下，锅包肉极易发生吸潮现象，致使外壳发生脆性劣变。这主要是因为是在贮藏过程中，锅包肉内部水分向外壳不断迁移，外壳糊水分含量增加，导致挂糊肉片外壳间的孔隙增大，脆性劣变；在冷冻条件下，水分子存在相似的迁移规律，但迁移速率较低，脆性劣变延缓，有利于锅包肉短期贮藏的脆度保持。该实验为锅包肉调理食品贮藏品质的保持提供一定理论依据和技术支持。

#### 参考文献：

[1] 尹英杰, 郑树国. 从文化认同的角度解析老厨家的“锅包肉”[J]. 牡丹江大学学报, 2017, 26(5): 100—102.  
YIN Ying-jie, ZHENG Shu-guo. Analysis of the “Pot

Roast Meat” of the Old Kitchen from the Perspective of Cultural Identity[J]. Journal of Mudanjiang University, 2017, 26(5): 100—102.

- [2] DONALDBEN N S, TANKO O O, HUSSAINA T O. Physico-chemical Properties of Starches from Two Varieties of Sweet Potato and Yam Tubers Available in Nigeria[J]. Asian Food Science Journal, 2020: 28—38.
- [3] ZHANG L, YANG M, JI H, et al. Some Physicochemical Properties of Starches and Their Influence on Color, Texture, and Oil Content in Crusts Using a Deep Fat Fried Model[J]. Cy TA-Journal of Food, 2014, 12(4): 347—354.
- [4] MOHAMED S, HAMID N A, HAMID M A. Food Components Affecting the Oil Absorption and Crispiness of Fried Batter[J]. Journal of Food Science and Agriculture, 1998, 78: 39—45.
- [5] GENNADIOS A, HANNA M A, KURTH L B. Application of Edible Coatings on Meats, Poultry and Seafoods: A Review[J]. LWT-food Science and Technology, 1997, 30(4): 337—350.
- [6] FISZMAN S, SALVADOR A. Recent Developments in Coating Batters[J]. Trends in Food Science and Technology, 2003, 14: 399—407.
- [7] 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 24—25.  
XIA Wen-shui. Food Technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009: 24—25.
- [8] 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 Ling-wen, JI Hong-fang, MA Han-jun, et al. Changes in the Edible Quality of the Shell of Fried Pork Slices in the Process of Frying[J]. Modern Food Science and Technology, 2016 32(5): 180—185.
- [9] UPASANA Y, RAM R B S, SHALINI A. Evaluation of Quality Changes in Nutritionally Enriched Extruded Snacks during Storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(10): 3939—3948.
- [10] PATCHIMAPORN U, BHUNDIT I. Effect of Pre-treatment Processes on Physicochemical Aspects of Vacuum-fried Banana Chips[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(8): 1—10.
- [11] 马雯雯, 李春花, 张建新, 等. 油炸食品在贮藏过程中水分和脆性变化研究[J]. 农产品加工, 2017(10): 11—14.  
MA Wen-wen, LI Chun-hua, ZHANG Jian-xin, et al. Study on Changes of Moisture and Brittleness of Fried Foods during Storage[J]. Agricultural Products Processing, 2017(10): 11—14.
- [12] KITA A. The Influence of Potato Chemical Composi-

- tion on Crisp Texture [J]. Food Chemistry, 2002, 76: 173—179.
- [13] KATZ E E, LABUZA T P. Effect of Water Activity on Sensory Crispness and Mechanical Deformation of Snack Food Products[J]. Journal of Food Science, 1981, 46: 403—409.
- [14] 杨琴. 几种油炸食品贮藏过程的品质劣变[D]. 无锡: 江南大学, 2013, 36—42.  
YANG Qin. Quality Deterioration of Several Fried Foods During Storage[D]. Wuxi: School of Food and Engineering, Jiangnan University, 2013, 36—42.
- [15] 郭希娟, 王瑞琦, 杨铭铎. 油炸挂糊肉片在贮藏过程中水分的动态变化[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 268—273.  
GUO Xi-juan, WANG Rui-qi, YANG Ming-duo. The Dynamic Changes of Moisture in the Fried Pork Paste during Storage[J]. Food Science, 2016, 37(20): 268—273.
- [16] 高琦, 李加恒, 韩昊廷, 等. 基于灰色关联分析法研究不同干燥方式对茼蒿脆片的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 95—101.  
GAO Qi, LI Jia-heng, HAN Hao-ting, et al. Study on the Effect of Different Drying Methods on Turnip Crisps Based on Grey Correlation Analysis Method[J]. Food Science, 2019, 40(5): 95—101.
- [17] GB 5009.3—2006, 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].  
GB 5009.3—2006, National Food Safety Standard Determination of Moisture in Food[S].
- [18] GB 4789.2—2016, 食品微生物菌落总数的测定[S].  
GB 4789.2—2016, Determination of the total number of food microbial colonies[S].
- [19] VAN N N H, TROMP R H, MITCHELL J R, et al. Relations between Sensorial Crispness and Molecular Mobility of Model Bread Crust and Its Main Components as Measured by PTA, DSC and NMR[J]. Food Research International, 2010, 43(1): 342—349.
- [20] 王茹, 陈季旺, 胡海, 等. 香酥鸭制品贮运过程中的脆性劣变机制[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 263—268.  
WANG Ru, CHENG Ji-wang, HU Hai, et al. The Mechanism of Brittleness Deterioration of Crispy Duck Products during Storage and Transportation[J]. Food Science, 2017, 38(23): 263—268.
- [21] GB 4789.2—2016, 食品安全国家标准 熟肉制品[S].  
GB 4789.2—2016, National Food Safety Standard for Cooked Meat Products[S].