

# 加工工艺和储藏温度对花生酱品质的影响研究

刘翔玖, 张华洋, 强壮壮, 渠琛玲, 陈亮  
(河南工业大学粮食和物资储备学院, 郑州 450001)

**摘要:**本研究通过优化花生酱的加工工艺,发现 160 °C 烘烤结合 30 s 研磨可使其在色度、感官及粒度方面达到最佳品质。进一步探讨了储藏温度(20、25、30 °C)对花生酱品质的影响。结果表明,30 °C 储藏可通过加速油脂氧化链式反应与两相分离,导致过氧化值在 60 d 后升至 0.324 g/100 g,超出安全标准,同时酸价、硫代巴比妥酸值显著上升,酱体硬化、结块并伴随颜色褐变。相比之下,20 °C 储藏能有效抑制氧化与水解进程,维持体系稳定性,使过氧化值保持在 0.213 g/100 g(未超标),油分离率仅为 6.90%,质构与色度保持良好。本研究从氧化动力学与相平衡角度阐释了温度影响花生酱品质的关键机制。

**关键词:**花生酱;储藏;氧化稳定性;油分离率;质构特性

DOI:10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.001300

中图分类号:TS255.6 文献标识码:A 文章编号:1003-0174(2026)01-0187-09

网络首发时间:2026-01-04 10:03:05

网络首发地址:<https://link.cnki.net/urlid/11.2864.TS.20260102.1018.002>

## Study on the effects of processing conditions and storage temperatures on peanut butter quality

Liu Xiangjiu, Zhang Huayang, Qiang Zhuangzhuang, Qu Chenling, Chen Liang

(School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001)

**Abstract:**In this study, the processing technology of peanut butter was optimized, and it was found that roasting at 160 °C combined with 30 s of grinding could achieve the best quality in terms of color, sensory attributes, and particle size. Furthermore, the effects of storage temperatures (20, 25, and 30 °C) on the quality of peanut butter were investigated. The results showed that storage at 30 °C accelerated the chain reaction of lipid oxidation and phase separation, leading to a peroxide value increasing to 0.324 g/100 g after 60 days, which exceeded the safety standard. Concurrently, significant increases in acid value and thiobarbituric acid value were observed, accompanied by hardening, clumping, and browning of the peanut butter paste. In contrast, storage at 20 °C effectively suppressed the oxidation and hydrolysis processes, maintained system stability, kept the peroxide value at 0.213 g/100 g (not exceeding the safety standard), and resulted in an oil separation rate of only 6.90%, while favorable texture and color were preserved. From the perspectives of oxidation kinetics and phase equilibrium, this study elucidated the key mechanisms by which temperature affects the quality of peanut butter, providing a theoretical basis for process optimization and low-temperature storage practices in peanut butter production.

**Key words:**peanut butter; storage; oxidative stability; oil separation rate; textural properties

基金项目:国家现代农业产业技术体系项目(CARS-13)

收稿日期:2025-09-02

第一作者:刘翔玖,男,2001年出生,硕士,粮食储藏与品质控制,852450548@qq.com

通信作者:渠琛玲,女,1982年出生,教授,粮食储藏与品质控制,quchenling@163.com

陈亮,男,1982年出生,教授,粮食微生物,chenliang@hau.edu.cn

花生酱作为花生深加工的重要产品,因保留花生中约质量分数40%~50%的油脂、20%的蛋白质及丰富的天然活性成分,成为广受消费者青睐的营养食品<sup>[1]</sup>。但加工中花生细胞结构被破坏,导致油脂暴露于颗粒表面,易引发氧化酸败和油脂分层,显著影响产品品质与货架期<sup>[2]</sup>。而加工工艺是决定花生酱品质的关键因素,烘烤温度、研磨时间等参数通过调控美拉德反应、脂质氧化等过程,直接影响产品的色度、风味及质构特性<sup>[3]</sup>。

储藏温度对其品质保持同样具有重要影响。李尤好等<sup>[4]</sup>指出,储藏温度等环境因素会加速油脂水解与氧化,导致出现酸价、过氧化值升高等劣变现象。Gong等<sup>[5]</sup>研究表明,不同花生品种中高油酸花生制作的花生酱因油酸含量高、亚油酸含量低,储藏时过氧化值、酸价和油分离率增长更慢,且储藏温度升高和时间延长会显著加剧花生酱劣变。Mohd Rozalli等<sup>[6]</sup>发现,储藏温度对无稳定剂天然花生酱品质影响最显著,低温(10℃)可延缓氧化以延长稳定期,较高温度(25、35℃)则加速过氧化值升高和油分离。本研究通过优化加工工艺,在不同的烘烤温度和研磨时间制备花生酱,并在20、25、30℃条件下进行60d储藏,分析其储藏特性变化,旨在为花生酱储藏过程中的品质保持提供参考。

## 1 实验材料与设备

### 1.1 原料与试剂

实验原料选用“四粒红”花生仁,产自河南省商丘市。该品种籽粒饱满均匀且具光泽,出油率高,蛋白质质量分数27.5%,脂肪质量分数44.6%。

试剂:无水乙醇、正丁醇、石油醚、酚酞、冰乙酸、异丙醇、正己烷、氢氧化钾、三氯甲烷、硫代巴比妥酸,均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

HWS-300 恒温恒湿培养箱、DQ-101 台式方形中药切片机、XM-ZJ100A 金豹花生磨酱机、AF224C 电子天平、RE2000A 旋转蒸发器、XMTD-204 恒温水浴锅、TGL-18MS 台式离心机、T700 紫外可见分光光度计、FX101-2 电热鼓风干燥箱、TA-AX plus 质构分析仪、CR-410 色彩色差仪。

## 2 实验方法

### 2.1 花生酱制备及储藏

花生酱制备工艺流程参考葛毅强等<sup>[7]</sup>的方法并

稍作修改。称取500g花生仁平铺于烤盘,置于预热至设定温度(130、145、160、175℃)的烤箱内烘烤30min。烘烤后的花生仁冷却至室温,使用花生切片机将其破碎为小瓣花生碎后风选脱除红衣,再使用花生磨酱机研磨不同时间(30、60、90s),研磨完成后冷却装瓶。

将制得花生酱装入直径8.5cm,高10cm的聚对苯二甲酸乙二酯(PET)材质带盖透明食品密封罐中(无真空处理),每罐装样量为300g,密封后分别放入(20±1)、(25±1)、(30±1)℃恒温恒湿箱中储藏,恒温恒湿箱的相对湿度均控制为60%±5%,储藏期为60d,每15d取样测定1次品质。

### 2.2 花生酱色度测定

采用色彩色差仪对花生酱的色度进行测定。

### 2.3 花生酱感官评价

花生酱感官评价参考巩阿娜等<sup>[8]</sup>的方法并略作修改。评价小组由12名食品专业人员组成,评价前均完成食品感官评价的理论与实践培训并通过考核。评价标准见表1,评价维度包括色泽、香气、组织状态、口感及总体接受度等5个方面,采用9分制评分。每位评价人员单独对样品进行品尝评分,样品间隔使用清水漱口以避免样品间的互相影响。

表1 花生酱感官评分表

指标	评分标准	分值
色泽	棕黄色,颜色鲜亮有光泽	7~9
	浅黄色,颜色光泽不均匀	5~7
	颜色过深过浅,不光泽	3~4
	颜色不均,有异色	1~2
香气	纯正烤花生味,香味浓郁无异味	7~9
	烘烤香味较纯正,无异味	5~7
	香味一般,稍带腥味或焦糊味	3~4
	无香味,有明显异味	1~2
组织状态	表面光滑,黏稠适中,酱体均匀	7~9
	稍显光滑,稠度较适,较为均匀	5~7
	表明较粗糙,涂抹不均,部分结块	3~4
	表明粗糙,涂抹困难,结块	1~2
口感	口感细腻协调,味道纯正	7~9
	口感较细腻,轻微颗粒感	5~7
	口感较粗糙,口味一般,颗粒感较重	3~4
	口感粗糙,味道怪异,难以下咽	1~2
总体接受度	总体感觉较好	7~9
	总体感觉良好	5~7
	总体感觉一般	3~4
	总体感觉较差	1~2

### 2.4 花生酱粒度测定

参考刘素慧<sup>[9]</sup>的方法,取1g花生酱置于50mL离心管,加入5mL正己烷搅拌均匀溶解,再加入35mL蒸馏水后涡旋均匀,使用激光粒度分析仪对样品进行粒度测定。

### 2.5 花生油提取

称取100g花生酱,加入200mL正己烷搅拌均

匀后密封浸提 12 h;抽滤后收集滤液,随后使用旋转蒸发仪 60 ℃ 旋蒸去除正己烷,得到花生酱中油脂,留为待测样。

## 2.6 花生酱油分离率测定

花生酱油分离率(CR)测定参考 Gong 等<sup>[5]</sup>的方法并略作修改。取 5 mL 离心管称重测得离心管质量  $m_1$ 。取约 3 mL 花生酱置于 5 mL 离心管中称重得总质量  $m_2$ 。将装有花生酱的离心管在 20 ℃ 下 4 500 r/min 离心 10 min,去除析出的油脂,称重测得离心后总质量  $m_3$ 。

花生酱油分离率(Y),计算公式见式(1):

$$Y = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:Y表示花生酱油分离率/%; $m_1$ 为空离心管质量/g; $m_2$ 为离心前花生酱及离心管总质量/g; $m_3$ 为离心后花生酱及离心管总质量/g。

## 2.7 花生酱酸价测定

花生酱酸价参照 Huang 等<sup>[1]</sup>的方法并略作修改。取 2 g 花生油,加入 50 mL 异丙醇和 5 滴酚酞,使用 0.1 mol/L KOH 滴定溶液进行滴定,滴定至溶液颜色变为粉红色且持续 30 s 不变色为止。

花生酱酸价( $X_{AV}$ ),计算公式见式(2):

$$X_{AV} = \frac{(v - v_0) \times c \times 56.1}{m} \quad (2)$$

式中: $X_{AV}$ 为花生酱酸价/mg KOH/g 油; $v$ 为用于滴定样品的 KOH 滴定溶液的体积/mL; $v_0$ 是用于滴定空白的 KOH 滴定溶液的体积/mL; $c$ 是 KOH 滴定溶液的浓度/mol/L; $m$ 为花生酱油脂样品的质量/g。

## 2.8 花生酱过氧化值测定

参照 GB 5009. 227—2016《食品安全国家标准食品中过氧化值的测定》,取 2.5 节描述的从花生酱中提取的油脂进行测定。

## 2.9 花生酱硫代巴比妥酸值测定

参照 GB/T 35252—2017《动植物油脂 2-硫代巴比妥酸值的测定 直接法》,取 2.5 节描述的从花生酱中提取的油脂进行测定。

## 2.10 花生酱质构特性测定

花生酱质构特性测定参考叶建芬等<sup>[10]</sup>的方法并略作修改。使用质构分析仪对花生酱质构特性进行测定,取约 5 g 花生酱置于质构仪样品测定区,选用直径 30 mm 的铝制探头 P-30 对花生酱进行测定。测定模式选择纵向 2 次循环压缩,测定参数为:压缩样品高度 50%,触发力 5 g,测前、测中、测后速率为 1.0、1.0、5.0 mm/s。

## 2.11 数据处理

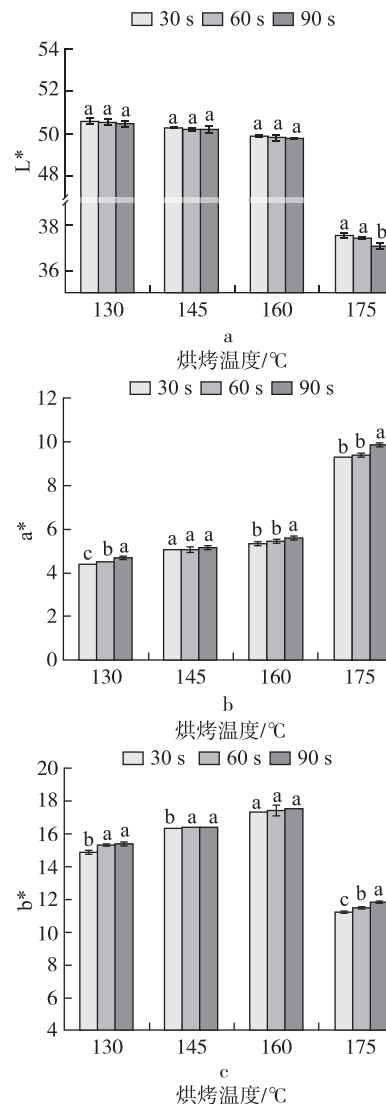
每个实验至少进行 3 次平行。采用 SPSS Statistics 24 和 Origin 2022 对实验结果进行统计分析及图表绘制。

## 3 结果与分析

### 3.1 加工工艺对花生酱品质的影响

#### 3.1.1 色度

花生在烘烤过程中,氨基酸、还原糖和脂质氧化产物会发生美拉德反应和部分焦糖化反应,生成深色的类黑精,使产品颜色加深,且不同烘烤温度-时间组合会导致产品颜色深浅不同<sup>[11]</sup>。图 1 为不同加



注:同一对比组不同字母表示同一烘烤温度不同研磨时间下花生酱色值的差异显著( $P < 0.05$ );图中 30、60、90 s 表示不同的花生酱研磨时间。

图 1 不同加工工艺对花生酱色值的影响  
(a)  $L^*$  值; (b)  $a^*$  值; (c)  $b^*$  值

工工艺条件下所制备花生酱的颜色,其中 $L^*$ 表示颜色的亮度, $L^*$ 与酱体明亮程度呈正相关; $a^*$ 表示颜色的红绿色对比度, $a^*$ 越大,酱体红色越明显; $b^*$ 表示颜色的黄蓝色对比度, $b^*$ 越大,酱体黄色越明显。

由图1可见,烘烤温度是主导性影响因素,研磨时间为次要因素但仍具显著性( $P < 0.05$ )。130~160℃烘烤时,花生中还原糖与游离氨基酸发生美拉德反应<sup>[11]</sup>,生成吡嗪类特征烘烤风味物质<sup>[12]</sup>,因此 $L^*$ 值和 $b^*$ 值维持较高水平,酱体呈淡黄色或棕黄色,且光泽适中;当温度升至175℃时,高温导致发生焦糖化反应<sup>[13]</sup>,类黑精大量生成,使 $L^*$ 值与 $b^*$ 值显著下降、 $a^*$ 值大幅提升,酱体呈深褐色且光泽度下降。

### 3.1.2 感官评价

花生酱的加工工艺会对产品的色泽、形态、风味产生影响,感官评分能够直观表现花生酱的品质。不同工艺条件下花生酱感官评价得分由图2可见。

结果表明,在130~160℃范围内,随着烘烤温度的升高,花生酱的色泽、香气、口感及总体接受度等感官指标评分均呈上升趋势。这是由于不同的烘烤温度会导致不同的挥发性物质产生,较低温度时,挥发性成分以醛类为主,赋予花生酱甜香味;随着温度升高,吡嗪类物质含量显著增加,使花生酱呈现浓郁的烘烤花生风味,无焦糊味,从而提升了感官评分<sup>[13]</sup>。在烘烤温度升高至170℃时,花生酱出现焦糊味及苦味,色泽、香气、口感、总体接受度等指标剧烈下降,而组织状态评分有所上升,这可能是由于高温导致花生内油脂渗出,进而使得酱体研磨过程更加顺滑<sup>[14]</sup>。

在130℃及145℃等较低烘烤温度下,研磨时间的增加会使花生酱的各项感官评分有所提高,这可能是由于研磨过程产生的热量促进了美拉德反应或焦糖化反应,增加了风味物质的生成与积累<sup>[15]</sup>。而在160℃及175℃等较高烘烤温度下,研磨时间的增加对于花生酱色泽、香气及组织状态无显著影响,且口感及总体接受度轻微下降,这可能是由于研磨使得酱体中的花生细胞碎片分布更加均匀,进而导致咀嚼性下降<sup>[16]</sup>。

### 3.1.3 粒度

粒度作为表征样品颗粒大小及分布特征的关键指标,直接影响花生酱的质地、口感及酱体稳定性<sup>[17]</sup>。前期色度及感官评价结果表明,160℃为花生酱品质较优的烘烤温度,因此本研究选取160℃烘烤条件,对不同研磨时间制备的花生酱粒度进行表征,结果由表2可见。

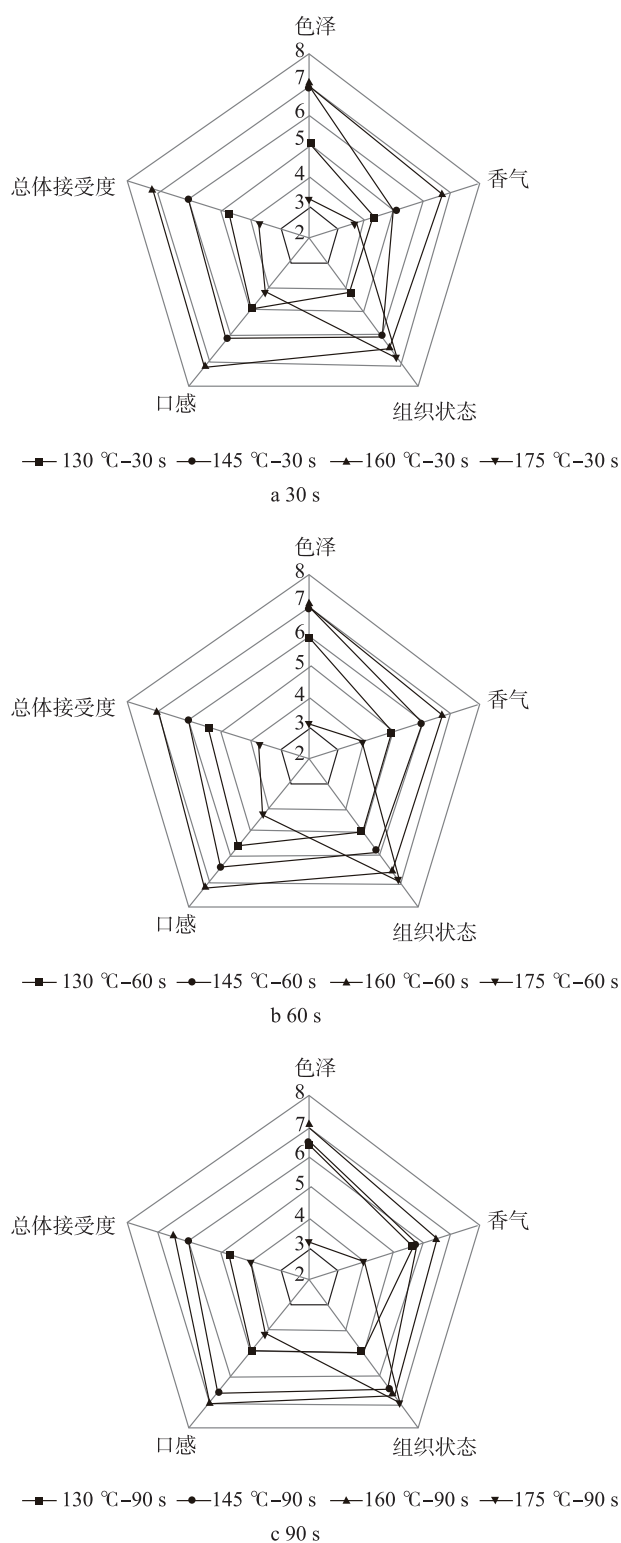


图2 不同研磨时间对花生酱感官评分的影响

中位径 $D_x(50)$ 是表征样品平均粒径的常用指标,在本研究中随研磨时间延长呈轻微下降趋势;体积平均径( $D[4,3]$ )略呈上升趋势,面积平均径( $D[3,2]$ )略呈下降趋势,但各粒度指标的变化均未达到显著性水平( $P > 0.05$ )。

表2 不同研磨时间花生酱粒度的变化

样品编号	$D_x(50)/\mu\text{m}$	$D_x(10)/\mu\text{m}$	$D_x(90)/\mu\text{m}$	$D[4,3]/\mu\text{m}$	$D[3,2]/\mu\text{m}$
160 °C - 30 s	32.97 ± 0.45a	8.68 ± 0.12a	93.80 ± 1.13a	45.75 ± 1.34a	19.80 ± 0.17a
160 °C - 60s	32.40 ± 0.35a	8.55 ± 0.11a	93.75 ± 4.45a	43.50 ± 1.84a	19.95 ± 0.35a
160 °C - 90s	31.90 ± 0.42a	8.60 ± 0.23a	54.55 ± 6.15b	42.95 ± 3.04a	20.30 ± 0.14a

注:上表数据用平均值 ± 标准差表示,同列下不同字母表示不同研磨时间对花生酱粒度差异显著( $P < 0.05$ )。

研磨时间的增加对花生酱的粒度无显著性影响,结合色度、感官评价的研究结果,160 °C 烘烤、研磨 30 s 工艺条件下所制备的花生酱具有最佳的综合品质。因此,本文选取此工艺条件制备的花生酱进行后续储藏特性研究。

### 3.2 花生酱储藏特性研究

#### 3.2.1 色度

在花生酱储藏过程中,储藏温度与时间会影响花生酱的颜色变化。由图 3 可见,随储藏时间延长,花生酱的色度参数呈现  $L^*$  值下降、 $a^*$  值上升及  $b^*$  值上升的变化趋势,表明酱体颜色逐渐向暗黄方向变化,且储藏温度越高,其变化速率越快。

$L^*$  值下降可能是由于花生酱在储藏过程中,固形物聚集沉降,增加了酱体的密度,影响了光的吸收程度,导致亮度降低<sup>[18]</sup>。结合花生酱油分离率的变化趋势,较高的储藏温度会加速花生酱体系两相分离,促使固形物更快沉降,因此  $L^*$  值下降趋势较大。 $a^*$  值及  $b^*$  值上升可能与储藏过程中花生酱持续发生的氧化酸败及美拉德反应有关,反应过程中醛类、酮类等氧化产物通过共轭结构形成有色物质<sup>[19]</sup>。此外,有研究表明,油脂与蛋白质乳化体系的破坏会引发油脂分离,而油脂分离可能进一步导致色素沉积<sup>[20]</sup>。结合花生酱氧化指标及油分离率的变化特征可知,较高的储藏温度会促进油脂分离及氧化酸败,从而加剧酱体颜色的变化。

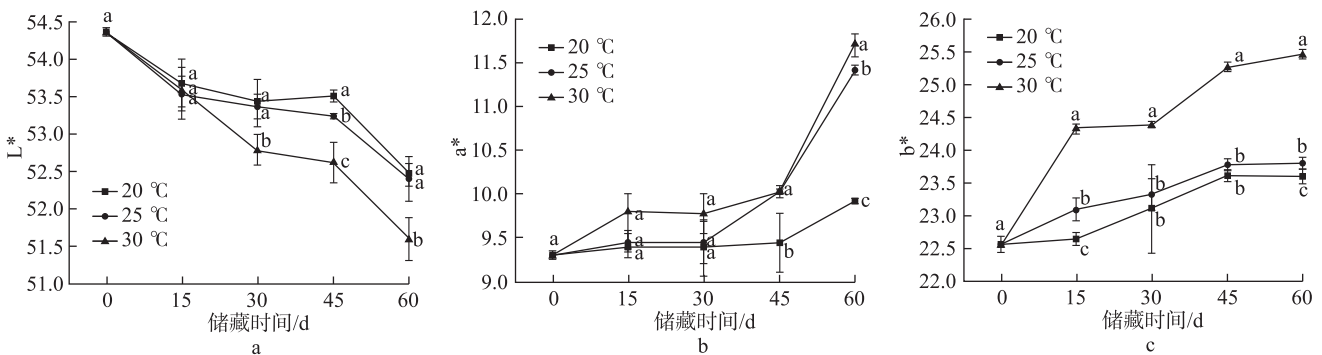
#### 3.2.2 油分离率

花生酱中油脂通常吸附于花生颗粒表面或保留于细胞体内,通过高离心力分离出的油被视为花生酱储藏过程中能够分离的最大油量,油分离率能够体现花生酱的稳定性<sup>[5]</sup>。由图 4a 可见,在 20、25、30 °C 储藏温度下,油分离率整体均随储藏时间延长而升高,且温度越高,油分离率的上升速率越快。这种变化情况可能与花生酱油固两相的热力学不稳定性相关<sup>[21]</sup>。而高温显著加剧了这种不稳定性,促进固形物颗粒聚集沉降和油脂网络破坏,从而加速油脂析出<sup>[6]</sup>。

#### 3.2.3 酸价

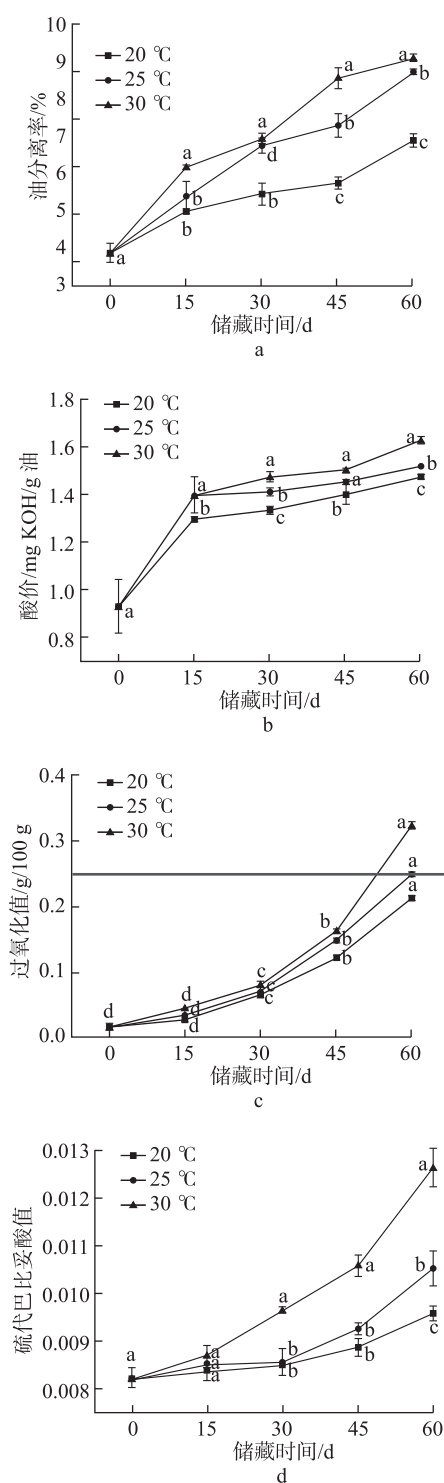
酸价被定义为滴定 1 g 油脂中游离脂肪酸所消耗的氢氧化钾质量,能够有效表示油脂中的游离脂肪酸含量,进而表征油脂的酸败程度<sup>[22]</sup>。由图 4b 可见,在花生酱储藏过程中,酸价随储藏时间的延长呈现持续上升趋势,且同一储藏时间下,温度越高,酸价越高。

这一变化规律与油脂在储藏过程中的水解及氧化劣变特性密切相关<sup>[23,24]</sup>。储藏温度作为关键环境因素,可通过加速油脂的水解与氧化进程,促使游离脂肪酸在体系中不断积累,进而导致酸价升高<sup>[4]</sup>。高温条件不仅能增强脂肪酶的活性,促进油脂的酶促水解,还能加剧非酶促氧化反应的进行,使得花生酱中甘油三酯更易分解为游离脂肪酸<sup>[22]</sup>。刘剑等<sup>[24]</sup>关于植物油脂脂肪酸高温氧化特性的研究表明,较高温度会加快脂肪酸碳链的断裂与降解,进一步增加游离脂肪酸的生成量。



注:同一对比组不同字母表示同一储藏时间下不同储藏温度对花生色度的差异显著( $P < 0.05$ );图中 20、25、30 °C 表示不同的储藏温度。

图3 储藏过程中花生酱色度的变化(a)  $L^*$  值;(b)  $a^*$  值;(c)  $b^*$  值



注:同一对比组不同字母表示同一储藏时间下不同储藏温度对花生酱的各项储藏特性的差异显著( $P < 0.05$ );图中 20 °C、25 °C、30 °C 表示不同的储藏温度。

图4 储藏过程中花生酱储藏特性变化 a 油分离率; b 酸价; c 过氧化值; d 硫代巴比妥酸值

### 3.2.4 过氧化值

过氧化值被用于表征油脂中的氢过氧化物含量,能够在氧化初期有效衡量油脂氧化程度<sup>[25]</sup>。由

图 4c 可见,花生酱过氧化值随储藏时间延长呈现持续上升趋势,且上升速率与储藏温度呈正相关,其中 30 °C 条件下过氧化值增长最为显著,20 °C 条件下上升最为平缓。且在 30 °C 条件下储藏后期的过氧化值超出行业标准,而 20、25 °C 储存条件下始终处于安全范围内。

这一变化规律可能是由于花生富含的不饱和脂肪酸易受温度、氧气等因素影响发生氧化,而低温储藏可降低氧化链式反应速率,抑制氢过氧化物积累,从而有效控制花生酱过氧化值的上升<sup>[25]</sup>。高温会加速过氧化值的升高,而低温可延缓这一进程<sup>[26]</sup>。此外,Liu 等<sup>[27]</sup>表明,花生油脂富含饱和脂肪酸,在储藏过程中易发生初级氧化生成氢过氧化物,而过氧化值作为初级氧化的特征指标,其升高速率与氧化反应的剧烈程度直接相关,高温通过加速氧化链式反应促进氢过氧化物积累,从而导致过氧化值快速上升。

### 3.2.5 硫代巴比妥酸值

油脂氧化进程分为初级氧化及次级氧化,初级氧化产生的氢过氧化物能够与氧气发生次级氧化反应,其生成的丙二醛等产物是导致油脂酸败哈喇味的主要成分之一<sup>[28]</sup>。丙二醛能够与硫代巴比妥酸反应生成粉色化合物,因此,通过测定硫代巴比妥酸值,能够反应花生酱中丙二醛含量,进而衡量花生酱中油脂的氧化程度<sup>[29,30]</sup>。由图 4d 可见,随着储藏时间的延长,各温度下硫代巴比妥酸值均呈上升趋势,且储藏温度越高,上升速率越快。其中,在 30 °C 储藏条件下储藏 30 d 后,硫代巴比妥酸值已与 20、25 °C 储藏后的结果产生显著差异,表明高温加速油脂次级氧化,促进丙二醛等致哈喇味物质生成,而低温可有效抑制该进程<sup>[31]</sup>。

### 3.2.6 质构特性

质构参数是表征花生酱质地、涂抹性等感官指标的重要手段,主要包括硬度、黏性、弹性、黏聚性及弹性恢复力等指标<sup>[9]</sup>。其中硬度表示花生酱发生形变所需要的力,黏性体现酱体流动性以及涂抹难度,黏聚性反映其内部组分的交织内聚力,弹性表示花生酱受到外力发生形变后恢复原有形态的能力,弹性恢复力则反映多次外力作用下弹性的保持能力。由表 3 可见,硬度、黏性、黏聚性及弹性均随储藏时间增加而上升,弹性恢复力则呈下降趋势,最终表现为酱体变硬、结块,涂抹性降低。且储藏温度越高,各项指标的变化幅度越显著,其中 30 °C 储藏 60 d 时的质构劣变程度明显高于 20 °C 和 25 °C 储藏。

表3 储藏过程中花生酱质构特性的变化

储藏时间/d	温度/℃	硬度/g	黏性/g·sec	黏聚性	弹性	弹性恢复力
0	20	91.16 ± 4.64a	-153.36 ± 2.25a	154.30 ± 5.57a	0.62 ± 0.01a	0.056 ± 0.004a
	25	91.16 ± 4.64a	-153.36 ± 2.25a	154.30 ± 5.57a	0.62 ± 0.01a	0.056 ± 0.004a
	30	91.16 ± 4.64a	-153.36 ± 2.25a	154.30 ± 5.57a	0.62 ± 0.01a	0.056 ± 0.004a
15	20	199.59 ± 7.75a	-206.55 ± 36.46a	166.18 ± 12.20a	0.71 ± 0.04a	0.035 ± 0.002a
	25	220.06 ± 8.36a	-200.31 ± 24.84a	174.67 ± 5.02a	0.74 ± 0.01a	0.034 ± 0.003a
	30	238.00 ± 8.87a	-215.52 ± 36.46a	175.75 ± 1.09a	0.77 ± 0.01a	0.030 ± 0.000b
30	20	342.27 ± 22.50a	-285.81 ± 35.76b	173.79 ± 7.32a	0.81 ± 0.01a	0.033 ± 0.000a
	25	350.21 ± 11.71a	-367.61 ± 29.24ab	174.58 ± 4.82a	0.82 ± 0.04a	0.033 ± 0.002a
	30	377.75 ± 7.32a	-426.99 ± 35.76a	180.73 ± 13.39a	0.81 ± 0.02a	0.026 ± 0.001b
45	20	409.37 ± 13.42c	-486.88 ± 56.56a	167.26 ± 9.11b	0.88 ± 0.02a	0.021 ± 0.004a
	25	473.43 ± 10.74b	-467.55 ± 2.91a	179.29 ± 4.23b	0.87 ± 0.07a	0.020 ± 0.000a
	30	540.43 ± 17.88a	-460.14 ± 56.56a	196.94 ± 10.78a	0.88 ± 0.02a	0.021 ± 0.001a
60	20	463.08 ± 14.21c	-433.44 ± 9.33b	165.16 ± 3.83c	0.88 ± 0.03a	0.019 ± 0.001a
	25	558.53 ± 17.89b	-516.72 ± 4.29a	197.63 ± 9.52b	0.87 ± 0.01a	0.017 ± 0.000a
	30	657.53 ± 6.89a	-563.65 ± 9.33a	232.71 ± 7.45a	0.87 ± 0.02a	0.017 ± 0.003a

注:上表数据用平均值 ± 标准差表示,同一储藏时间下不同字母表示不同储藏温度对花生酱各项花生酱质构指标差异显著( $P < 0.05$ )。

硬度与黏聚性呈上升趋势反映其内部组分聚集堆积程度增加,直接导致涂抹分散能力降低<sup>[9]</sup>,这可能是由于较高温度的储藏促进了花生酱中油脂的分离,导致酱体中固形物发生了聚集沉降,进而促使硬度与黏聚性更快速率的上升<sup>[32]</sup>;黏性随储藏时间延长及温度升高呈增加趋势,体现酱体内聚力增强、流动阻力增大<sup>[9,16]</sup>;弹性上升但弹性恢复力下降,表明酱体抗挤压形变能力增强,却因多次外力作用下难以恢复原有形态,最终导致咀嚼性降低<sup>[17,32]</sup>。

#### 4 结论

本研究通过对花生酱色度和感官的研究,选取160℃烘烤温度结合30s研磨时间作为最佳花生酱加工工艺。储藏实验结果表明,温度是调控花生酱品质稳定性的关键因素。30℃储藏显著加速油脂的氧化酸败与体系相分离,导致过氧化值、酸价及硫代巴比妥酸值快速上升,油分离率增加,酱体硬度显著提高并出现结块与褐变现象,这些变化主要源于高温促进的脂质自由基链式反应、美拉德反应及固形物聚集沉降。相反,20℃储藏通过降低氧化反应速率,有效延缓了油脂水解和氧化,从而使花生酱在60d储藏期内保持良好的感官特性、质构与氧化稳定性。

本研究从氧化动力学与多相体系稳定性角度,阐明了温度影响花生酱品质的内在机制,为产业中花生酱的加工工艺选择与储藏条件控制提供参考,建议在实际生产中采用≤20℃的储藏环境,以延长产品货架期和保障食用品质。

#### 参考文献

- [1] Huang Z, Guo B, Deng C, et al. Stabilization of peanut butter by rice bran wax[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(6):1793-1798
- [2] 曹晓雨, 赵庚九, 张慧丽, 等. 油炸工艺对高油酸花生品质与微观结构的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(8):200-206  
Cao X, Zhao G, Zhang H, et al. Effects of frying process on quality and microstructure of high oleic acid peanuts [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(8):200-206
- [3] Liu X, Zhu X, Han Z, et al. Recent advances in the mechanisms of quality degradation and control technologies for peanut butter: a literature review[J]. Foods, 2025, 14(1):105
- [4] 李尤好, 刘潇, 沈飞, 等. 高温储藏条件对花生油脂和蛋白质品质劣变的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(13):105-111  
Li Y, Liu X, Shen F, et al. Effects of high-temperature storage on quality deterioration of peanut oil and protein[J]. Food Science, 2023, 44(13):105-111
- [5] Gong A, Shi A, Liu H, et al. Relationship of chemical properties of different peanut varieties to peanut butter storage stability[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(5):1003-1010
- [6] Mohd Rozalli N H, Chin N L, Yusof Y A, et al. Quality changes of stabilizer-free natural peanut butter during storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(1):694-702
- [7] 葛毅强, 孙爱东, 倪元颖, 等. 脱脂麦胚花生酱的研制

- [J]. 食品工业科技, 1999(4): 38-38
- Ge Y, Sun A, Ni Y, et al. Development of defatted wheat germ peanut butter[J]. Science and Technology of Food Industry, 1999(4): 38-38
- [8] 巩阿娜, 刘红芝, 刘丽, 等. 不同品种花生酱品质特性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 72-76
- Gong A, Liu H, Liu L, et al. Study on quality characteristics of different peanut varieties for peanut butter[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 72-76
- [9] 刘素慧. 复合芝麻酱制备技术研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019: 12
- Liu S. Study on preparation technology of compound sesame paste[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019: 12
- [10] 叶建芬, 仝艳军, 郑秀帅, 等. 单甘酯稳定的花生酱涂抹性的改善[J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 37-44
- Ye J, Tong Y, Zheng X, et al. Improvement of spreadability of peanut butter stabilized by monoglycerides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(23): 37-44
- [11] 乐仁思, 王世平. 美拉德反应对焙烤花生特征风味形成的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 76-80
- Le R, Wang S. Effect of Maillard reaction on formation of characteristic flavor of roasted peanuts[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(3): 76-80
- [12] 舒垚. 花生品种和烘烤条件及储存条件对花生酱综合品质的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020: 16
- Shu Y. Study on the effects of peanut varieties, roasting conditions and storage conditions on the comprehensive quality of peanut butter[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020: 16
- [13] Sithole T R, Ma Y X, Qin Z, et al. Technical aspects of peanut butter production processes: Roasting and grinding processes review[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(4): e16430
- [14] 卢映洁, 任广跃, 段续, 等. 热风干燥过程中带壳花生水分迁移特性及品质变化[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 86-92
- Lu Y, Ren G, Duan X, et al. Moisture migration characteristics and quality changes of shelled fresh peanuts during hot air drying[J]. Food Science, 2020, 41(7): 86-92
- [15] 王丹, 况丹妮, 刘若阳, 等. 焦糖化与美拉德反应中 DDMP、HMF 及糠醛的生成研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 100-107
- Wang D, Kuang D, Liu R, et al. Study on formation of DDMP, HMF and furfural in caramelization and Maillard reaction[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 100-107
- [16] Norazatul Hanim M R, Chin N L, Yusof Y A. Effects of grinding time on rheological, textural and physical properties of natural peanut butter stored at different temperatures[J]. Journal of Texture Studies, 2016, 47(2): 131-141
- [17] 谢放华. 改善芝麻酱稳定性的研究[J]. 食品研究与开发, 1994(1): 8-10
- Xie F. Study on improving stability of sesame paste[J]. Food Research and Development, 1994(1): 8-10
- [18] 金璐, 张丽霞, 孙强, 等. 不同品种花生加工花生酱的适宜性评价[J]. 食品科技, 2023, 48(12): 187-196
- Jin L, Zhang L, Sun Q, et al. Suitability evaluation of different peanut varieties for peanut butter processing[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(12): 187-196
- [19] 胡玫, 渠琛玲, 杨乾奎, 等. 氮气气调贮藏对花生品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(20): 51-57
- Hu M, Qu C, Yang Q, et al. Effect of nitrogen modified atmosphere storage on peanut quality[J]. Food Research and Development, 2022, 43(20): 51-57
- [20] 刘以晴, 黄亚伟, 王若兰, 等. 大豆储藏过程中浸油赤变的研究进展[J]. 食品科技, 2021, 46(11): 160-165
- Liu Y, Huang Y, Wang R, et al. Research progress on oil-soaked red discoloration of soybeans during storage[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(11): 160-165
- [21] 郑发英, 朱绪春, 韩朝玮, 等. 花生酱多相体系组分相互作用机理与储存稳定性调控技术研究进展[J/OL]. 中国油脂, 2025: 1-11[2024-12-09]. <http://doi.org/10.9902/j.cnki.zgyz.003-7069.240643>
- Zheng F, Zhu X, Han C, et al. Research progress on component interaction mechanism and storage stability regulation technology of peanut butter multiphase system[J/OL]. China Oils and Fats, 2025: 1-11[2024-12-09]. <http://doi.org/10.9902/j.cnki.zgyz.003-7069.240643>
- [22] 卢鹏. 储藏环境对花生脂质氧化的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023: 14
- Lu P. Study on the effect of storage environment on lipid oxidation of peanuts[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023: 14
- [23] 李徐. 加热和煎炸过程油脂极性物质组成的变化规律及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021: 4-8
- Li X. Study on changes of polar substances in oils during heating and frying and their application[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021: 4-8
- [24] 刘剑, 刘元法, 李进伟. 基于气相色谱的植物油特征脂肪酸高温热氧化特性研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(1): 35-40

- Liu J, Liu Y, Li J. Study on high - temperature thermal oxidation characteristics of characteristic fatty acids in vegetable oils based on gas chromatography[J]. *China Oils and Fats*, 2019, 44(1): 35 - 40
- [25] 许晓栋, 吴鹏飞, 周茂鑫, 等. 基于不同存储条件高油酸花生油过氧化值的变化规律[J]. *中国油脂*, 2023, 48(11): 45 - 51
- Xu X, Wu P, Zhou M, et al. Change law of peroxide value of high oleic acid peanut oil under different storage conditions[J]. *China Oils and Fats*, 2023, 48(11): 45 - 51
- [26] 于日照. 静置时间对烘烤花生过氧化值的影响研究[J]. *中国食品工业*, 2023, (9): 74 - 76
- Yu R. Study on the effect of standing time on peroxide value of roasted peanuts[J]. *China Food Industry*, 2023, (9): 74 - 76
- [27] Liu W, Zhao P, Shi Y, et al. Rapid determination of peroxide value of peanut oils during storage based on terahertz spectroscopy[J]. *Food Analytical Methods*, 2021, 14(6): 1269 - 1277
- [28] 李艳, 李迎秋. 牡丹籽蛋白水解物对猪油贮藏期间质量的保护作用研究[J]. *中国调味品*, 2023, 48(1): 14 - 17
- Li Y, Li Y. Protective effect of tree peony seed protein hydrolysate on lard quality during storage[J]. *China Condiment*, 2023, 48(1): 14 - 17
- [29] 黄潇漪, 贾利蓉, 孙玉鼎, 等. 天然香辛料对烘炒花生仁货架期品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(12): 285 - 293
- Huang X, Jia L, Sun Y, et al. Effect of natural spices on shelf - life quality of roasted peanut kernels[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(12): 285 - 293
- [30] Aguilar Diaz De Leon J, Borges C R. Evaluation of Oxidative Stress in Biological Samples Using the Thiobarbituric Acid Reactive Substances Assay[J]. *Journal of Visualized Experiments*, 2020, 159: e61122
- [31] 徐婷婷, 李静, 阚丽娇, 等. 不同脂肪酸组成的食用油热氧化稳定性研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(24): 93 - 97
- Xu T, Li J, Kan L, et al. Study on thermal oxidation stability of edible oils with different fatty acid compositions[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(24): 93 - 97
- [32] 王媛媛, 侯利霞, 汪学德. 花生酱稳定性的研究进展[J]. *中国调味品*, 2017, 42(11): 159 - 162
- Wang Y, Hou L, Wang X. Research progress on stability of peanut butter[J]. *China Condiment*, 2017, 42(11): 159 - 162.