

# 大豆油体蛋糕的制作及品质分析

尹国友, 孙 婕\*, 孔敏雪, 赵花蕾

(河南城建学院生命科学与技术学院, 平顶山 467036)

**摘要:** **目的** 比较大豆油体、单甘脂和蔗糖酯 3 种成分对蛋糕烘焙学特征的影响。**方法** 将大豆油体、单甘脂和蔗糖酯分别添加到面粉中, 通过改变添加成分的种类、在面粉中所占的比例等制作成蛋糕面糊, 检测蛋糕面糊比重、黏度、蛋糕面糊表面气孔特征、蛋糕糊比容、质构等指标, 以及结合酸价、过氧化值和反式脂肪酸等理化指标, 并对蛋糕进行感官评定, 探讨大豆油体、单甘脂和蔗糖酯 3 种物质的添加对蛋糕面糊流变学、气泡结构和烘焙特性的影响。**结果** 大豆油体最适添加量为 4.5%。大豆油体能增加蛋糕的黏度, 有助于形成稳定的乳化体系, 并且大豆油体蛋糕的酸价、过氧化值和反式脂肪酸检测结果符合国家标准。**结论** 大豆油体和乳化剂能提高豆乳奶油蛋糕的比容、降低硬度, 从而改善蛋糕的品质特性。

**关键词:** 大豆油体; 乳化剂; 蛋糕; 烘焙学特性

## Production and quality analysis of soybean oil body cream cake

YIN Guo-You, SUN Jie\*, KONG Min-Xue, ZHAO Hua-Lei

(College of Life Science and Technology, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan 467036, China)

**ABSTRACT: Objective** To compare the effects of soybean oil body, monoglyceride and sucrose ester on cake baking characteristics. **Methods** Soybean oil, monoglyceride and sucrose ester were added to flour respectively, by changing the type of ingredients and the proportion into the flour, the indexes of the cake, such as the specific gravity, viscosity of the cake surface, the porosity of the cake surface, the specific volume and the texture of the cake, as well as the acid value, peroxide value and trans fat were tested, and the sensory evaluation of the cake was carried out. The effects of soybean oil, monoglyceride and sucrose ester on the rheology, bubble structure and baking properties of cake surface and cake were investigated. **Results** The optimum addition amount of soybean oil body was 4.5%. Soybean oil could increase the viscosity of the cake and contribute to the formation of a stable emulsifying system, and the detection results of acid value, peroxide value and trans fatty acid of the cake in soybean oil body met the national standard. **Conclusion** Soybean oil body and emulsifier can significantly increase the specific volume and decrease the hardness of the cake, so as to improve the quality and characteristics of the cake.

**KEY WORDS:** soybean oil body; emulsifier; cake; baking characteristics

基金项目: 平顶山市科技创新杰出人才计划项目[2017010(10.4)]、河南省百千万创新驱动助力工程项目

Fund: Supported by the Pingdingshan Science and Technology Bureau under Grant [2017010(10.4)], and the Henan Province Hundred Thousand Innovation-Driven Assistance Project

\*通信作者: 孙婕, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工及组分变化。E-mail: jiesunvip2019@outlook.com

\*Corresponding author: SUN Jie, Ph.D, Professor, College of Life Science and Technology, Henan University of Urban Construction, Daxiangshan Road, Xincheng District, Pingdingshan 467036, China. E-mail: jiesunvip2019@outlook.com

## 0 引言

蛋糕作为备受大众欢迎的烘焙食品, 即食性强、价格合理、种类多, 能够满足大部分人的需求<sup>[1]</sup>。然而随着人们生活水平的提高和大健康理念的提出, 传统蛋糕由于含脂和热量双高而引发的高血脂、高血压和肥胖等问题引起消费者的广泛忧虑<sup>[2]</sup>。乳化剂在蛋糕的加工过程中起到非常重要的作用, 主要是因为乳化剂的分子内具有亲水基和亲油基, 在水和油的界面易于形成吸附层, 使蛋糕中的奶油容易和面团结合<sup>[3]</sup>。大豆油体是一种天然的预乳化油, 富含多种对人体有益的生物活性物质, 如不饱和脂肪酸、维生素 E、植物甾醇以及生育酚等。而且大豆油体中的磷脂和油体蛋白具有很好的乳化性, 可以模拟奶油的乳化作用, 应用到焙烤食品中, 结合大豆油体本身特有的小分子生物活性物质, 以及对人体的益处, 在食品中的应用会拓展出更多的途径<sup>[4]</sup>。目前, 国内外对大豆油体在食品工业中的应用研究还处于起步阶段<sup>[5]</sup>, 如赵路莘<sup>[6]</sup>研究大豆油体富集物应用于食品体系的理论依据, 傅礼玮等<sup>[7]</sup>以大豆油体为主要原料, 研究乳化剂对大豆基搅打奶油的物理性质的影响, 为制造天然大豆基搅打稀奶油提供借鉴。并研究了预热处理对大豆油体组成、流变性质和物理稳定性的影响, 并考察了含有油体的咖啡的稳定性等<sup>[8]</sup>。大豆油体在焙烤食品中的应用鲜有见报道。因此, 本研究将大豆油体加入到蛋糕中, 比较其与传统乳化剂的作用效果, 并为大豆油体的进一步开发提供理论支持。

## 1 材料与方

### 1.1 主要材料与试剂

低筋面粉、白砂糖、香精、奶粉、泡打粉(河南平顶山明园化工厂); 鸡蛋、色拉油、大豆(河南平顶山德信泉超市); 无水乙醇、石油醚、乙醚、异丙醇、无水硫酸钠、三氯甲烷、冰乙酸、碘化钾、硫代硫酸钠(分析纯, 洛阳化学化工厂); 酚酞(>98%)、可溶性淀粉(98%)(洛阳化学化工厂)。

### 1.2 主要仪器与设备

DC10-K10 型超级恒温水浴锅(德国 HAAKE 公司); T3-L323D 型远红外烤箱(厦门建松电器有限公司); DS-1 型高速组织捣碎机(上海精科实业有限公司); MS-H280-Pro 型手持式搅拌机(飞利浦电子香港有限公司); NDJ-8S 型黏度计(上海微川精密仪器有限公司); MF53 型荧光倒置显微镜(德国 Carl Zeiss 公司); GL-10MD 型大容量高速冷冻离心机(湖南湘仪有限公司); JMTY 型面包体积测量仪(杭州大吉光电仪器有限公司); CT3 1000 230 型质构仪(美国 Brookfield 公司); RF-02 型旋转蒸发仪(上海况胜实业发展有限公司)。

### 1.3 蛋糕制作工艺

蛋糕配方: 全蛋液: 100 g, 蔗糖: 50 g, 色拉油: 10 g, 奶粉: 10 g, 低筋面粉: 80 g, 泡打粉: 3.5 g, 采用肖崇俊等<sup>[9]</sup>的“二步法”制作蛋糕, 先打发蛋、糖混合液, 至最大体积时再加入面粉慢速搅拌混匀。所有实验均重复 5 次。其中单甘脂组蛋糕: 单甘脂添加量分别为 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%, 不添加大豆油体和蔗糖酯; 蔗糖酯组蛋糕: 蔗糖酯添加量分别为 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%, 不添加大豆油体和单甘脂; 大豆油体蛋糕组: 大豆油体添加量为 3.5%、4.0%、4.5%、5.0%、5.5%, 不添加单甘脂和蔗糖酯; 空白组: 不添加单甘脂、蔗糖酯以及大豆油体。

### 1.4 蛋糕面糊测定

#### 1.4.1 蛋糕面糊比重测定

参照王强毅<sup>[10]</sup>的方法对面糊比重进行测定。面糊比重测定方法如式(1)。

$$W = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \quad (1)$$

式中  $W$  为蛋糕面糊比重, g/mL;  $M_1$  为比重杯质量, g;  $M_2$  为装满蒸馏水的比重杯质量, g;  $M_3$  为装满面糊的比重杯质量, g。

#### 1.4.2 蛋糕面糊黏度测定

参考王家宝等<sup>[11]</sup>的检测方法测定面糊黏度。黏度测试参数: 转速 6 r/min, 最大量程 100 pa·s。

#### 1.4.3 蛋糕面糊表面气孔特征测定

参照王家宝等<sup>[12]</sup>的方法。将蛋糕面糊放置在倒置荧光显微镜上, 10 倍放大倍数拍照。并将图片裁剪为 270  $\mu\text{m}$ ×270  $\mu\text{m}$  尺寸大小, 进行气泡计数、气泡直径分布与气泡面积分数的计算。

### 1.5 蛋糕胚测定

#### 1.5.1 蛋糕比容测定

使用面包体积仪对蛋糕体积进行测定, 然后对蛋糕质量进行测定, 即可得到蛋糕比容。比容测定见公式(2)。

$$D = \frac{M}{V} \quad (2)$$

式中:  $D$  为比容, g/mL;  $M$  为蛋糕质量, g;  $V$  为蛋糕体积, mL。

#### 1.5.2 蛋糕感官评定

蛋糕的感官评定参照鲁静等<sup>[13]</sup>的方法。具体见表 1。

#### 1.5.3 蛋糕质构测定

将蛋糕切成 20 mm 的厚薄片, 进行连续 2 次压缩测试, 实验参数设定为: p/35 探头, 测试速率 1.0 mm/s, 2 次压缩间隔时间 15 s。

#### 1.5.4 蛋糕酸价检测

参考 GB 5009.229—2016 《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》第二法。

表 1 蛋糕感官评分标准  
Table 1 Standard of cake sensory score

项目	满分	评分标准	
表面状况	20	表面光滑无斑点、环纹，且上部有较大弧度	16~2 分
		表面略有气泡、环纹，稍有收缩变形	12~15 分
		表面有深度环纹，收缩变形且凹陷	6~11 分
内部结构	20	亮黄、淡黄有光泽，气孔较均匀，光滑细腻	16~20 分
		黄、淡黄无光泽，气孔略大稍粗造，不均匀	12~15 分
		暗黄，气孔较大且粗糙，底部气孔紧密	6~11 分
弹性	20	柔软有弹性，按下去后复原很快	16~20 分
		柔软较有弹性，按下去后复原较快	12~15 分
		柔软性、弹性很差，按下去很难复原	6~11 分
口感	20	味纯正、绵软、细腻稍有潮湿感	16~20 分
		绵软略有坚韧感、稍干	12~15 分
		松散发干、坚韧、粗糙或较粘牙	6~11 分
整体可接受程度	20	非常喜欢	16~20 分
		可以接受	12~15 分
		不可以接受	6~11 分

### 1.5.5 蛋糕过氧化值检测

参考 GB 5009.227—2016 第一法。

### 1.5.6 蛋糕反式脂肪酸检测

参考 GB/T 22110—2008《食品中反式脂肪酸的测定气相色谱法》。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛋糕面糊分析

#### 2.1.1 蛋糕面糊比重分析

面糊比重是蛋糕的重要物理特性之一，是一种复杂的水包油(oil in water, O/W)型乳状液，代表搅拌过程中混入面糊中气泡的保存率<sup>[14]</sup>，主要由气泡组成的不连续相，鸡蛋-糖-水-脂肪混合物组成的连续相及分散的面粉颗粒组成。由图 1 可以看出，单甘脂和蔗糖酯对蛋糕糊比重影响较大，大豆油体对蛋糕糊比重影响较小。单甘脂与蔗糖酯的最佳效果优于大豆油体，但大豆油体整体添加的效果优于蔗糖酯与单甘脂。大豆油体具有乳化效果，但随浓度变化乳化效果变化不大。对同一种乳化剂而言，随着使用量的改变，蛋糕面糊的比重也发生变化，即乳化剂的加入，使得面糊中充入的气体越多，相同体积下的面糊比重越小，蛋糕内部组织结构越松软<sup>[15-16]</sup>。

#### 2.1.2 蛋糕面糊黏度分析

面糊黏度随大豆油体添加量的增加而增加，呈正相关，见图 2。添加单甘脂与蔗糖酯的蛋糕面糊黏度存在波

动，但基本也呈正相关。合适的面糊黏度可以增加面糊倾倒的方便性，而且能保证面糊不发生持气性下降<sup>[11,17]</sup>。在蛋糕制作过程中，面糊黏度大会产生气泡扩散和迁移速度较慢的现象，因此维持较高的面糊黏度十分重要<sup>[18]</sup>。邹奇波等<sup>[19]</sup>的研究结果也同样证实了黏度的增加可以提高乳化体系的稳定性，这与本实验的结果相符合。图 2 还表明单甘脂对蛋糕面糊的改善效果最好，蔗糖酯的效果最差，大豆油体的改善效果虽处于中间，但大豆油体的增长曲线几乎呈一条直线，表明大豆油体对蛋糕面糊黏度的改善效果比较稳定。

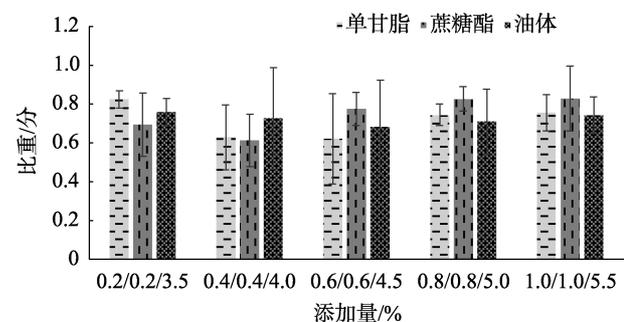


图 1 各成分不同添加量对蛋糕糊比重的影响(n=5)

Fig.1 Effects of different addition amount of each component on the weight of cake (n=5)

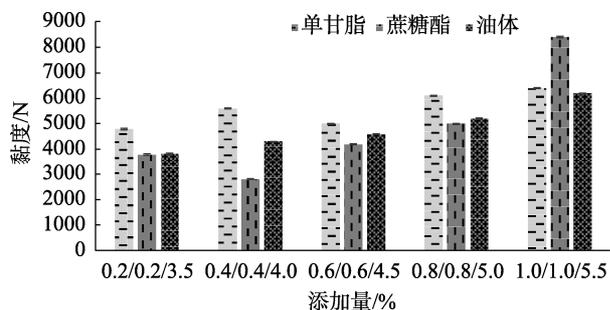


图 2 各成分不同添加量对蛋糕面糊黏度的影响(n=5)  
Fig.2 Effects of different content of each ingredient on the viscosity of cake (n=5)

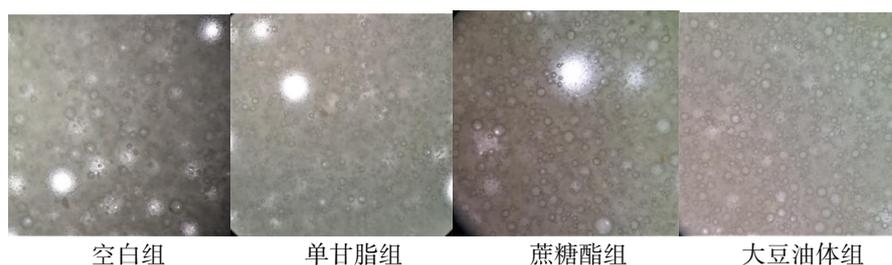


图 3 不同添加物对蛋糕面糊表面气孔影响(×10)  
Fig.3 Effects of different additives on the surface porosity of cake (×10)

## 2.2 蛋糕胚分析

### 2.2.1 蛋糕比容测定

部分研究表明蛋糕的比容与烘焙过程中面糊持气能力有关<sup>[11,23]</sup>。由图 4 可以发现, 单甘脂、蔗糖酯和大豆油加入量分别为 0.6%、0.4%和 4.5%时蛋糕比容效果最好, 这也说明大豆油体的加入会使面糊在搅拌过程中形成更多更加细密的大小均匀的气泡。刘秉杰等<sup>[24]</sup>的研究结果也表明比容得分高的蛋糕, 膨胀能力好。

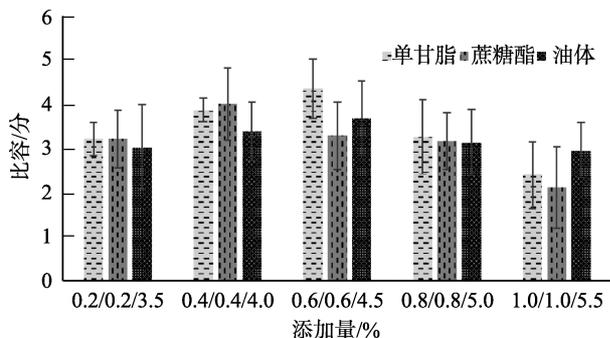


图 4 不同添加物对蛋糕比容的影响(n=5)  
Fig.4 Effects of different additives on specific volume of cake (n=5)

### 2.2.2 蛋糕感官评价

根据不同乳化剂最适添加量感官评分比较发现, 大

### 2.1.3 蛋糕面糊表面气孔特征分析

不同添加物对蛋糕面糊表面气孔影响见图 3, 表面气孔最糟糕的是空白组, 气泡数量少且具有大量大面积的气泡, 分布及其不均匀; 其次是蔗糖酯组, 虽然低面积气泡明显增多, 但依旧存在气泡大小分布不均的现象, 而单甘脂和大豆油体的蛋糕气泡细密、均匀, 数量也远远高于空白组。说明添加大豆油体会对面糊的消泡能力有减弱作用, 这种作用产生的原因可能是通过降低液相和气相之间的表面张力, 降低产生界面区域所产生的能量<sup>[20-21]</sup>, 也可能是大豆油体进入到气泡蛋白表面, 而使面糊的气泡厚度和刚性都增加, 从而面糊气泡的稳定性也得到了加强<sup>[22]</sup>。

大豆油体蛋糕的表面结构、弹柔性与添加单甘脂以及蔗糖酯的评分一致都为 18, 这几种蛋糕均表面光滑无斑点、环纹, 且上部有较大弧度, 而且柔软有弹性, 按下去后复原很快。添加大豆油体蛋糕的内部结构和口感评分明显优于添加单甘脂与蔗糖酯组。由图 5 可知, 添加大豆油体的蛋糕总体评分优于添加单甘脂和蔗糖酯的蛋糕, 与空白组的对比发现, 添加了单甘脂、蔗糖酯和大豆油体的蛋糕表面状况差距不大, 但内部结构、弹柔性和口感都优于空白组, 表明蛋糕中添加大豆油体替代普通乳化剂的可能性。

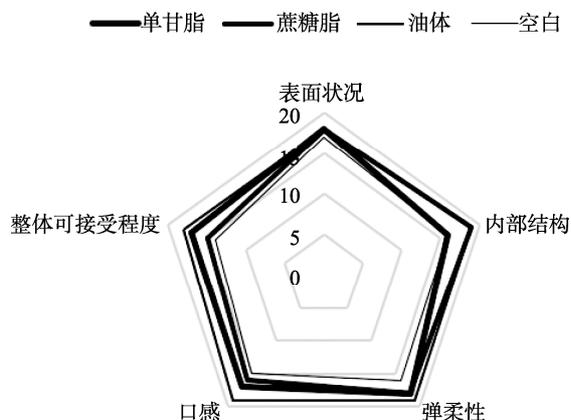


图 5 不同添加物最佳添加量制作蛋糕感官评价  
Fig.5 Sensory evaluation of cake making with the optimum amount of different additives

### 2.2.3 蛋糕质构分析

硬度值低,说明蛋糕柔软口感好<sup>[25-26]</sup>。图6表明,添加大豆油体的蛋糕硬度值最小。蛋糕内聚性与蛋糕品质呈正相关<sup>[27]</sup>,当内聚性越大时,说明蛋糕越绵密,不容易松散,内部结构更完整。内聚性最好的是添加大豆油体的蛋糕,而添加了单甘脂和蔗糖酯的蛋糕内聚性低于大豆油体,各组数据相差不大,但从蛋糕的内部结构感官评分可以看出乳化剂对蛋糕内聚性的改善效果。蛋糕的咀嚼性与蛋糕品质呈负相关,当咀嚼性越大时,说明蛋糕越不容易嚼碎,口感较差<sup>[28]</sup>。根据图6可知,与空白组相比,添加大豆油体的蛋糕的咀嚼性最好,其次是单甘脂组,表明乳化剂可以明显改善蛋糕的咀嚼性,并且大豆油体的改善效果优于单甘脂与蔗糖酯。蛋糕的胶粘性跟蛋糕品质呈正相关,当胶粘性越大时,说明蛋糕内部结构越紧密,气孔更细密,蛋糕不易松散、碎裂<sup>[29]</sup>。由图6可知,与空白组相比,胶粘性最好的是添加蔗糖酯组,其次是添加大豆油体组。乳化剂可以改善蛋糕的胶粘性,大豆油体组在3组中效果不是最优的,但大豆油体存在改善蛋糕胶粘性的作用,可以替代乳化剂应用于蛋糕中。弹性指蛋糕受压缩后回复的能力<sup>[30]</sup>。弹性越大,蛋糕受到挤压后迅速恢复变形的能力越强<sup>[31]</sup>。图6中的数据显示各组蛋糕的弹性较为接近,蔗糖酯改善蛋糕弹性的效果最好,大豆油体同样对改善蛋糕弹性具有良好的效果。在实验过程中发现,乳化剂的用量过高,蛋糕瓢容易散、碎。单甘脂可以改善蛋糕弹性的添加范围仅为0.4%,蔗糖酯可以改善蛋糕弹性的添加范围为0.2%~0.8%,大豆油体可以改善蛋糕弹性的添加范围为4.0%~4.5%。综合各数据,大豆油体改善蛋糕品质效果最佳。

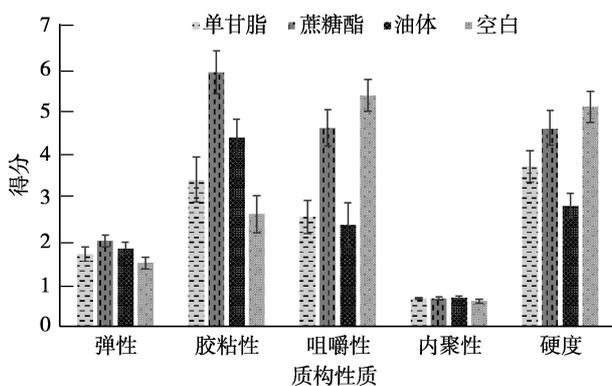


图6 蛋糕质构分析(n=5)

Fig.6 Texture analysis of cake (n=5)

### 2.2.4 蛋糕酸价分析

酸价是评价油脂品质的重要指标,植物油中的酸价过高则代表食物油脂发生氧化酸败,长期使用酸败油脂会破坏人体机能平衡,严重损害人体健康<sup>[32]</sup>。根据图7可以看出,添加大豆油体蛋糕的整体酸价明显低于添加

单甘脂和蔗糖酯的蛋糕。综上,大豆油体脂肪质量较好,普通乳化剂对于改善脂肪效果不明显,而大豆油体却存在天然优势。

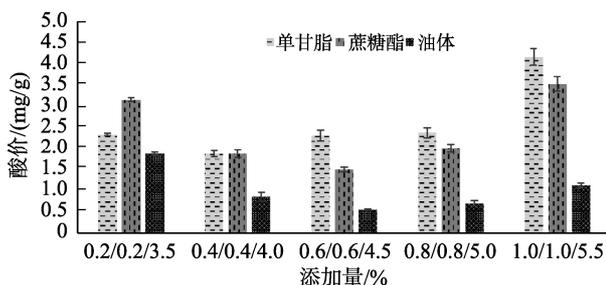


图7 蛋糕酸价分析(n=5)

Fig.7 Analysis of acid value of cake (n=5)

### 2.2.5 蛋糕过氧化值分析

在自由基链式反应的增长阶段,油脂被氧化成过氧化物如 $\text{LOO}\cdot$ 、 $\text{LOOH}$ ,通过测定过氧化物含量可以判断油脂被氧化的程度,是油脂氧化的初期指标<sup>[33]</sup>,一般来说过氧化值越高,其酸败越严重。根据蛋糕过氧化值分析可知(图8),单甘脂在0.4%添加量时过氧化值最低为0.09 g/100 g,蔗糖酯在0.6%添加量时过氧化值最低为0.141 g/100 g,大豆油体在4.5%添加量时过氧化值最低为0.04 g/100 g。表明大豆油体的添加并不会引起蛋糕的氧化酸败而危及人体健康。

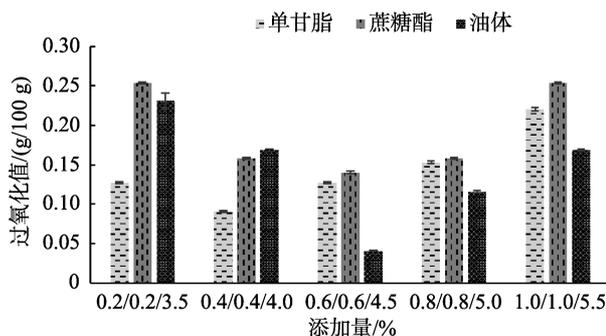


图8 蛋糕过氧化值分析(n=5)

Fig.8 Analysis of peroxide value of cake (n=5)

### 2.2.6 蛋糕反式脂肪酸分析

反式脂肪酸是所有含反式双键的不饱和脂肪酸的总称<sup>[34]</sup>。研究表明,反式脂肪酸的摄入能增加人体血液中低密度脂蛋白胆固醇含量,减少高密度脂蛋白胆固醇的含量,会对健康产生不利影响<sup>[35]</sup>。通过对大豆油体蛋糕(大豆油体添加量为4.5%)的检测发现,添加大豆油体的蛋糕反式脂肪酸含量以样品计为0.091%,以脂肪计为0,而国家标准中要求反式脂肪酸含量需小于0.3%。因此,研究结果表明,添加大豆油体的蛋糕中反式脂肪酸的检测完全符合国家标准。

### 3 结 论

大豆油体在蛋糕中的应用具有明显的优良特性, 其中 4.5%大豆油体添加量为最优组。大豆油体的添加可以保护气泡不受到油脂消泡的影响, 改善面糊乳化特性, 蛋糕比容明显增大, 面糊比重明显降低。在质构分析中发现, 大豆油体仅在胶粘性弹性 2 项中排第 2, 其他 3 项指标均为最优, 因此, 大豆油体改善蛋糕品质效果最佳。最重要的是通过对蛋糕酸价以及过氧化值的检测, 发现大豆油体的添加明显改善了蛋糕脂肪质量和蛋糕的口感。同时, 添加大豆油体的蛋糕中反式脂肪酸的检测完全符合国家标准。综上所述, 大豆油体有作为乳化剂添加到蛋糕中应用的可行性。

### 参考文献

- [1] KHAWLA BJ, FATMA B. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein [J]. *Food Chem*, 2017, (217): 668–677.
- [2] LEAN M. Management of obesity and overweight [J]. *Medicine*, 2003, 31(4): 12–17.
- [3] 梁庆华, 余春槐. 乳化剂在蛋糕加工中的应用优势[N]. *中国食品报*, 2010-05-04.  
LIANG QH, YU CH. Application advantages of emulsifier in cake processing [N]. *China Food News*, 2010-05-04.
- [4] FISK ID, GRAY DA. Soybean (glycine max) oil bodies and their associated phytochemicals [J]. *J Food Sci*, 2011, (76): 1349–1354.
- [5] 吴娜娜, 杨晓泉, 郑二丽, 等. 大豆油体乳液稳定性和流变性分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(S1): 369–374.  
WU NN, YANG XQ, ZHENG EL, *et al.* Analysis of stability and rheology of soybean oil body emulsions [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2012, 28(S1): 369–374.
- [6] 赵路苹. 大豆油体富集物的蛋白质组成及其对油体乳液性质的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.  
ZHAO LP. Studies on protein composition of soybean oil body concentrate and effect on properties of oil boy emulsion [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [7] 傅礼玮, 曾茂茂, 何志勇, 等. 不同乳化剂对大豆基搅打稀奶油的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(12): 96–100, 162.  
FU LW, ZENG MM, HE ZY, *et al.* Effects of different emulsifiers on soy whipped cream [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(12): 96–100, 162.
- [8] FU LWE, HE ZY, ZENG MM, *et al.* Effects of preheat treatments on the composition, rheological properties, and physical stability of soybean oil bodies [J]. *J Food Sci*, 2020, 85(10): 3150–3159.
- [9] 肖崇俊, 钟志惠, 何成, 等. 乳化蛋糕一步法与二步法的比较研究[J]. *郑州粮食学院学报*, 1998, (2): 3–5.  
XIAO CJ, ZHONG ZH, HE C, *et al.* Comparison between direct and secondary method of emulsifying cake [J]. *J Zhengzhou Grain Coll*, 1998, (2): 3–5.
- [10] 王强毅. 葛粉蛋糕生产工艺条件的探讨[J]. *闽西职业技术学院学报*, 2019, 21(1): 117–119.  
WANG QY. Study on processing condition of *Pueraria* starch cake [J]. *Minxi Vocational Tech Coll*, 2019, 21(1): 117–119.
- [11] 王家宝, 陈诚, 王凤, 等. 含丙二醇酯低脂蛋糕的流变学、气泡微结构和烘焙特性研究[J]. *食品与机械*, 2019, 35(5): 1–7.  
WANG JB, CHEN C, WAGN F, *et al.* Studies on the rheological, bubble microstructure and baking properties of the low-fat cake with propylene glycol esters [J]. *Food Mach*, 2019, 35(5): 1–7.
- [12] 王家宝, 陈诚, 王凤, 等. 搅拌时间和乳化剂对海绵蛋糕表面气泡的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(10): 8–13, 70.  
WANG JB, CHEN C, WANG F, *et al.* Effects of different whipping times and emulsifiers on surface bubbles formation of sponge cake [J]. *Food Mach*, 2018, 34(10): 8–13, 70.
- [13] 鲁静, 张玉鑫, 向萍, 等. 添加红茶菌对海绵蛋糕品质的影响研究[J]. *福建农业科技*, 2018, (9): 52–55.  
LU J, ZHANG YX, XIANG P, *et al.* Effect of adding tea fungus on the quality of sponge cake [J]. *Fujian Agric Sci Technol*, 2018, (9): 52–55.
- [14] 孙玉清, 田文静, 杨新建. 马铃薯全粉对海绵蛋糕品质的影响[J]. *中国食物与营养*, 2020, (9): 31–36.  
SUN YQ, TIAN WJ, YANG XJ. Effect of potato powder on the quality of sponge cake [J]. *Food Nutr China*, 2020, (9): 31–36.
- [15] 陈泗林, 易碧清, 周航, 等. 结晶果糖对戚风蛋糕品质的影响研究[J]. *农产品加工*, 2020, (13): 14–16, 22.  
CHEN SL, YI BQ, ZHOU H, *et al.* Study on the effect of crystalline fructose on chiffon cake quality [J]. *Farm Prod Process*, 2020, (13): 14–16, 22.
- [16] 谢苒萸, 杨晓波, 陶佳丽. 乳化剂对戚风蛋糕品质的影响研究[J]. *食品工业*, 2010, 31(1): 34–36.  
XIE RY, YANG XB, TAO JL. The research on effect of emulsifiers in chiffon cake [J]. *Food Ind*, 2010, 31(1): 34–36.
- [17] 陈诚, 张宾乐, 王家宝, 等. 蔗糖酯与淀粉酶改善海绵蛋糕品质特性[J]. *食品科学*, 2018, 39(24): 1–6.  
CHEN C, ZHANG BL, WAGN JB, *et al.* Effect of different sucrose esters and amylases on improving the quality of sponge cake [J]. *Food Sci*, 2018, 39(24): 1–6.
- [18] HICSASMAZ Z, YAZGAN Y, BOZOGLU F, *et al.* Effect of polydextrose-substitution on the cell structure of the high-ratio cake system [J]. *Swiss Soc Food Sci Technol*, 2003, 36: 441–450.
- [19] 邹奇波, 王家宝, 陈诚, 等. 乳化剂和保泡型流态起酥油对海绵蛋糕面糊及其烘焙特性的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(11): 28–33, 151.  
ZOU QB, WAGN JB, CHEN C, *et al.* Effect of different emulsifiers and bubble-retaining type liquid shortening on batter and baking characteristics of sponge cake [J]. *Food Mach*, 2019, 35(11): 28–33, 151.
- [20] ROBIN CE, SARABJIT SS. Application of a lipase in cake manufacture [J]. *J Sci Food Agric*, 2006, 86: 1679–1687.
- [21] BRENT SM. Interfacial rheology of food emulsifiers and proteins [J]. *Curr Opin Coll Interface Sci*, 2002, 7(5): 426–431.
- [22] CHESTERTON AKS, DE ABREU DAP, MOGGRIDGE GD, *et al.* Evolution of cake batter bubble structure and rheology during planetary mixing [J]. *Food Bioprod Process*, 2013, 91(3): 192–206.
- [23] KALINGA D, MISHRA VK. Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal  $\beta$ -glucan concentrates [J]. *J Food Process Preserv*, 2008, 33: 384–400.
- [24] 刘秉杰, 杨炳坤, 徐阳, 等. 酸乳海绵蛋糕的品质研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(6): 150–155.

- LIU BJ, YANG BK, XU Y, *et al.* Quality of yogurt sponge cake [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(6): 150–155.
- [25] 赵谢, 甘巧, 汤思忆, 等. 黑芝麻蛋糕配方优化及质构特性研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(1): 105–110.
- ZHAO X, GAN Q, TANG SY, *et al.* Optimization of formulation and textural properties study of black sesame cake [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(1): 105–110.
- [26] 汤晓娟, 王凤, 贾春利, 等. 含 Olestra 低脂休闲蛋糕体系的流变学、微结构及烘焙特性[J]. *食品科学*, 2013, 34(1): 1–7.
- TANG XJ, WAGN F, JIA CL, *et al.* Effect of olestra on microstructure, rheological properties and baking properties of snack cake [J]. *Food Sci*, 2013, 34(1): 1–7.
- [27] CHESTERTON AKS, PEREIRA DEADA, MOGGRIDGE GD, *et al.* Evolution of cake batter bubble structure and rheology during planetary mixing [J]. *Food Bioprod Process*, 2013, 91(3): 102–110.
- [28] 高瑾, 蔡敏. 菠萝风味戚风蛋糕的研制及质构分析[J]. *湖北工程学院学报*, 2018, 38(6): 47–50.
- GAO J, CAI M. Preparation and texture analysis of pineapple-flavored chiffon cake [J]. *J Hubei Eng Univ*, 2018, 38(6): 47–50.
- [29] 王雪, 李冰, 李琳, 等. 羟丙基甲基纤维素对 Par-baking 戚风蛋糕品质改善的研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(6): 276–282.
- WANG X, LING B, LI L, *et al.* Effect of HPMC on improving the quality of the Par-baking chiffon cake [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(6): 276–282.
- [30] JANG S, SHIN WK, KIM Y. Texture of steamed rice cake prepared via soy residue and hydroxypropyl methylcellulose supplementation [J]. *Cereal Chem*, 2019, 96(1): 108–120.
- [31] KOCER D, HICSASMAZ Z, BAYINDIRLI A, *et al.* Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer [J]. *J Food Eng*, 2007, 78(3): 953–964.
- [32] 王关烽, 朱豪彬, 蒋涛, 等. 食品中酸价检测方法的研究[J]. *现代食品*, 2019, (17): 138–140.
- WANG GF, ZHU HB, JIAGN T, *et al.* Study on the determination method of acid value in food [J]. *Mod Food*, 2019, (17): 138–140.
- [33] 徐志祥. 大豆磷脂油对保育猪浓缩料中油脂氧化的影响[J]. *饲料工业*, 2017, 38(8): 51–54.
- XU ZX. Effect of soy phospholipid on fat oxidization in feed concentration for nursery pig [J]. *Feed Ind*, 2017, 38(8): 51–54.
- [34] 鞠香, 李洁, 陈克云, 等. 蛋黄派中脂肪酸及反式脂肪酸含量的分析[J]. *食品工业*, 2018, 39(10): 306–309.
- JU X, LI J, CHEN KY, *et al.* Analysis of fatty acid composition and trans-fatty acids content in egg pie [J]. *Food Ind*, 2018, 39(10): 306–309.
- [35] 谢明勇, 谢建华, 杨美艳, 等. 反式脂肪酸研究进展[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(4): 14–26.
- XIE MY, XIE JH, YANG MY, *et al.* A review of the research progress on trans fatty acids [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2010, 10(4): 14–26.

(责任编辑: 王欣 韩晓红)

## 作者简介

尹国友, 博士, 讲师, 主要研究方向为生物化学与分子生物学。  
E-mail: yinguoyou@163.com

孙 婕, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工及组分变化。  
E-mail: jiesunvip2019@outlook.com