

龙钰婷, 柴秀航, 李生花, 等. 广式月饼加工工艺及品质评价研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 452–460. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030312

LONG Yuting, CHAI Xiuhang, LI Shenghua, et al. The Processing Technology and Quality Evaluation of Cantonese-style Moon Cakes: A Review[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 452–460. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030312

· 专题综述 ·

广式月饼加工工艺及品质评价研究进展

龙钰婷¹, 柴秀航¹, 李生花², 刘禹志², 王和森², 王安石³, 刘元法^{1,*}, 李志成^{2,*}

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214000;

2. 广州酒家集团利口福食品有限公司, 广东广州 511442;

3. 广州酒家集团(湘潭)利口福食品有限公司, 湖南湘潭 411100)

摘要: 广式月饼是我国传统焙烤类食品, 具有皮薄馅大、色泽金黄、口感细腻等特点, 深受消费者喜爱。然而, 在加工和储存过程中, 广式月饼很容易受原料、烘焙条件、微生物等因素的影响, 导致品质下降, 从而造成经济损失及食品安全等问题。本文首先总结了广式月饼的分类及营养价值, 在此基础上对广式月饼的加工工艺进行了系统阐述, 主要从原料(面粉、油脂、转化糖浆、馅料), 烘焙条件以及冷却包装三个方面进行了总结和分析; 并从广式月饼的食用品质、理化特性、安全性三个方面重点综述了其品质评价指标及方法, 最后对广式月饼存在的问题及重点研究方向进行了总结和展望。

关键词: 广式月饼, 加工工艺, 品质评价, 烘焙

中图分类号: TS291

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)03-0452-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030312

本文网刊:



The Processing Technology and Quality Evaluation of Cantonese-style Moon Cakes: A Review

LONG Yuting¹, CHAI Xiuhang¹, LI Shenghua², LIU Yuzhi², WANG Hesen², WANG Anshi³,
LIU Yuanfa^{1,*}, LI Zhicheng^{2,*}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214000, China;

2. Guangzhou Restaurant Group Likoufu Food Co., Ltd., Guangzhou 511442, China;

3. Guangzhou Restaurant Group (Xiangtan) Likoufu Food Co., Ltd., Xiangtan 411100, China)

Abstract: Cantonese-style moon cakes are traditional Chinese baked foods, which are deeply loved by consumers due to their characteristics of thin skin with plump stuffing, golden color and delicate taste. However, during the processing and storage process, Cantonese-style moon cakes are easily affected by raw materials, baking conditions, microorganisms and other factors, which will reduce the product quality, and eventually cause economic losses and food safety issues. In this paper, the classification and nutritional value of Cantonese-style moon cakes are firstly summarized. In addition, the processing technology of Cantonese-style moon cakes is systematically expounded, mainly from the raw materials (flour, oil, converted syrup, filling), baking conditions and cooling packaging. Furthermore, the quality evaluation indicators and methods of Cantonese-style moon cakes are reviewed from three aspects: edible quality, physicochemical properties and security. Finally, the existing problems and key research directions of Cantonese-style moon cakes are summarized and prospected.

Key words: Cantonese-style moon cake; processing technology; quality evaluation; baking

月饼是我国传统焙烤类食品。伴随着国民消费水平的提高, 以及人们对传统节日越来越重视, 月饼

收稿日期: 2022-03-25

基金项目: 国家重点研发计划资助(2021YFD2100300); 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)(No. 2021CXGC010808); 国家自然科学基金(32172136)。

作者简介: 龙钰婷(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 油脂营养安全与绿色制造, E-mail: LYT727498@163.com。

* 通信作者: 刘元法(1974-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 油脂营养安全与绿色制造, E-mail: yfliu@jiangnan.edu.cn。

李志成(1968-), 男, 专科, 副高级工程师, 研究方向: 中式点心研发, E-mail: lizhicheng201910@163.com。

市场迅速壮大,销售额逐年攀升,据艾媒数据显示(<https://www.iimedia.cn/c400/80995.html>),到 2020 年月饼销售额已达到 205.2 亿元。我国月饼种类繁多,其中广式月饼是目前产量最大的一类月饼。但通常传统广式月饼制作过程中会加入大量的油脂和糖类,因此不适合“三高”以及肥胖患者食用。

目前对于广式月饼的研究主要集中在新型馅料的开发,以及制备低糖、低脂、功能型的广式月饼方面。而对广式月饼加工工艺的研究报道比较欠缺。此外,虽然我国广式月饼消费量不断提升,但对广式月饼品质评价方面的研究进展缓慢。

基于此,本文总结了近年来有关广式月饼加工工艺的研究报道,从原料、烘焙条件、冷却包装等方面进行详细阐述,并对广式月饼品质评价方法进行汇总。旨在为广式月饼以及其他中式糕点的发展及品质提升提供理论指导。

1 广式月饼分类及营养价值

广式月饼起源于广东及其周边地区,并从广东一带逐渐流行至全国各地,是中秋节的必备佳品之一。据艾媒数据网(<https://www.iimedia.cn/c400/80995.html>)2021 年中国月饼消费市场调研报告显示,消费者对广式月饼喜好占比超过五成,其在华南地区更是占到 73%。广式月饼根据饼皮的不同可分为糖浆皮月饼、水晶皮月饼、冰皮月饼、奶酥皮月饼。根据馅料的差异广式月饼又可划分为蓉沙类广式月饼、果仁类广式月饼、蛋黄类广式月饼等^[1]。广式月饼配方中含有油脂、淀粉、糖类以及各种馅料,可为人体提供大量的能量、碳水化合物、蛋白质等,同时,一些馅料还可为人体提供维生素、膳食纤维等,营养丰富、风味多样。蔡佳梓等^[2]对八种广式月饼的营养成分进行测定,发现碳水化合物及脂肪含量占比最高,因此可为人体提供大量能量,而相较于传统广式月饼,冰皮月饼的能量值及碳水化合物含量较低,适合减脂人群。陈荣凯^[3]测定了无糖红豆沙绿茶月饼和无糖五仁绿茶月饼的相关营养指标,发现其中脂肪含量最高,其次是膳食纤维,同时作者还在两种无糖月饼中检测到了许多微量成分,如胡萝卜素、维生素 E、茶多酚、咖啡碱、茶多糖等。此外,唐晓凤等^[4]对柿子馅广式月饼营养成分分析,结果表明,其中含有大量还原糖、膳食纤维、多酚等物质,对氨基酸测定发现共有 17 种氨基酸,其中必须氨基酸占到 31.4%。可见,广式月饼可为人体提供能量和必需营养素,但传统广式月饼中糖和油脂含量过高,因此不宜于糖尿病、心脑血管等疾病的患者食用。基于此,近年来的研究更多地集中于低热量、低脂肪、低钠盐的广式月饼研制^[5-7],消费者在购买广式月饼时可根据自身情况挑选适合自身的广式月饼品类。

2 广式月饼加工工艺

广式月饼加工工艺主要包括饼皮加工和馅料加工。其工艺流程如图 1 所示。广式月饼从原料选择

到最终产品制备完成,其中的每个步骤都对月饼的品质和特性都有着直接影响,因此,为了满足市场和消费者的需求,研究人员对广式月饼加工工艺进行了不断的优化。

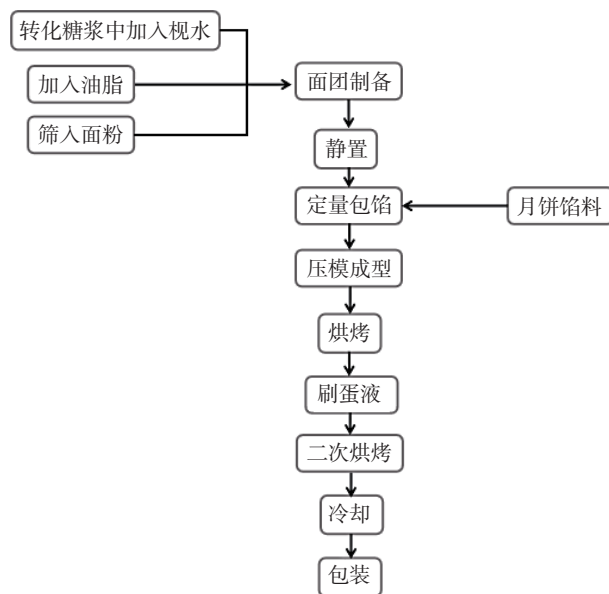


图 1 广式月饼加工工艺流程图

Fig.1 The process flow diagram of Cantonese-style moon cakes

2.1 原料

广式月饼原料的好坏决定着最终产品的品质,因此,原料对广式月饼的加工尤为重要。

2.1.1 面粉 面粉是广式月饼饼皮的重要原料之一,主要由淀粉和面筋组成,烘焙过程中淀粉发生不可逆膨胀,直链淀粉从淀粉颗粒中浸出并破坏弱膨胀的淀粉颗粒^[8],面筋在水合后形成聚合蛋白网络,并在烘焙过程中经历变性过程,淀粉凝胶化和面筋变性都有助于产品的最终质地^[9]。由于淀粉和面筋形成的独立网络及相互作用会影响面团的流变学特性^[10],并最终影响广式月饼的品质,因此选择合适的面粉对月饼品质至关重要^[11]。陈婷婷^[12]研究表明面粉特性会对广式月饼感官、色泽、质构等方面产生影响,面粉中直链淀粉含量增加会降低广式月饼硬度,直链淀粉与支链淀粉含量与广式月饼的感官得分呈极显著正相关,而面粉蛋白特性中除了剩余蛋白和 SDS-沉降值与感官得分无相关性外,其余均与感官得分呈显著负相关。此外,为满足广式月饼营养方面的需求,叶韬等^[13]用豆渣粉部分替代面粉,以制作高膳食纤维广式月饼,研究指出当替代量为 16% 时,广式月饼油腻感降低,红值 a^* 增加,豆香味浓郁且感官得分最高;类似的,赵旭等^[14]用米糠粉替代小麦粉以制作富含膳食纤维的广式月饼,发现当米糠粉添加量为 40% 时制作的广式月饼在风味、口感、质构等方面表现最好;贾春利^[15]在饼皮配方中添加加州杏仁粉,发现杏仁粉不仅可以增加月饼营养价值和挥发性风味成分,还可促进月饼回软,通过测定广式月饼贮藏

期间饼皮水分含量及饼皮玻璃态相变温度,发现水分含量随时间的变化规律和饼皮玻璃态相变温度随时间的变化规律相符,因此可以用玻璃态相变理论解释月饼回软过程。

2.1.2 转化糖浆 转化糖浆是蔗糖在酸或酶的作用下转化制得的浓糖液,其品质对广式月饼饼皮色泽、回油回软速率以及质地方面起着重要作用。张卫东等^[16]指出糖浆的蔗糖转化率越高,月饼回油回软速度越快,硬度越小,粘聚性和咀嚼性越大。但当前转化糖浆依旧存在熬制工艺不科学、配比不合适、成本过高等问题。在实际生产中,常出现熬制的糖浆前后质量不一致,从而导致月饼质量不稳定的情况。为改善这些问题,目前的研究主要围绕熬制工艺的优化,即转化剂的种类及用量、糖水比例、熬制温度和时间。胡晓文等^[17]通过评价糖浓度和转化率,指出柠檬酸添加量和熬制时间是影响转化糖浆品质的关键性因素。在此基础上,刘传富等^[18]研究指出柠檬酸添加量主要影响糖转化率,熬制时间是决定糖浆质量的关键因素,加水量则会影响糖浆浓度。

此外,有研究用果葡糖浆替代蔗糖制备月饼专用糖浆^[19],发现菠萝汁与果葡糖浆熬制的糖浆对月饼回软有促进作用,而蔗糖的添加则会减慢回软速度,这是由于果糖和葡萄糖的吸湿性相比于蔗糖更大。通过这种方法制备的转化糖浆解决了在高温高酸条件下蔗糖易降解转化为非糖成分及成本高的问题。虽然目前对于转化糖浆的研究已基本实现熬制工艺的优化,但仅局限于实验室阶段,大批量的生产实践仍有待进行检验。

2.1.3 油脂 油脂作为月饼生产的主要原料之一,除了具有营养方面的作用^[20],还可控制面筋形成,在淀粉和面筋之间形成薄膜,阻止二者之间的粘连^[21],增加面团可塑性;与其他原料相互作用,改善月饼最终的质地、风味和色泽。因此油脂用量和种类与广式月饼品质之间具有密切联系。目前广式月饼生产所用的油脂主要包括花生油和液态起酥油^[22]。由于花生油富含不饱和脂肪酸^[23],因此容易发生油脂氧化酸败,影响广式月饼货架期内的感官品质,另外由花生油制作的饼皮面团在醒发过程中也常出现发硬、干燥等情况,从而使饼皮的延展性降低,且花生油中缺乏天然乳化剂,会影响烘烤后月饼的回软速度^[24]。而液态起酥油虽然在稳定性上较花生油有所提升,但价

格也相对更高,从而增加了广式月饼的生产成本。因此,目前关于广式月饼所用油脂的研究主要围绕改善花生油乳化性能,降低原料油成本两方面开展。李增利^[25]在饼皮配方中添加复合乳化剂,发现乳化剂的添加可明显提高广式月饼饼皮回软回油速率,并指出这是由于乳化剂具有乳化分散以及抗老化的作用。罗银倩^[22]则将大豆油与棕榈硬脂混合制备广式月饼专用油,发现此方法不仅可以优化油脂的脂肪酸组成,还可满足其流态要求,同时作者还在油基中添加乳化剂和抗氧化剂,改善月饼的回软以及抗氧化性能。由于广式月饼配方中添加了大量的油脂,因此在广式月饼油脂用量方面,目前的研究则主要集中于减少油脂用量以及寻找脂质替代物。文波^[26]将菊粉、Simplex、蔗糖酯三种油脂替代品复配用以替代广式月饼饼皮中的花生油,发现当替代量为 30% 时,月饼质构参数变化不显著,月饼品质稍有提升。此外,作者还将菊粉、麦芽糊精、蔗糖酯复配,以替代馅料中的油脂,指出当替代量为 20% 时,月饼硬度、回复性、凝聚性变化均不显著。陈文等^[27]用奇亚籽凝胶部分替代饼皮中的花生油,发现当替代比例为 26.7% 时,广式月饼能量降低 22.7%,感官得分高。汪师帅等^[28]用魔芋凝胶替代广式月饼饼皮中的花生油,指出替代率为 33.3% 时,广式月饼色泽金黄,硬度适中,感官评价较好且能量减少了 11%。

2.1.4 馅料 馅料也是月饼的重要原料之一,且广式月饼具有皮薄馅大的特点,馅料的质量很大程度上影响着广式月饼的最终品质。目前市场上月饼馅料种类繁多,有包括蛋黄、莲蓉、豆沙等在内的 80 多种。如表 1 所示,总结了几种典型的月饼馅料种类及其主要原辅料。然而,月饼馅料普遍存在储存期间水分、油脂流失,淀粉老化,色泽、组织状态等感官品质下降等问题。姚丽丽等^[29]发现在馅料配方中添加乳化稳定剂可以提高馅料的保油效果。姚鑫森^[30]研究发现糖酯对月饼冷藏期间的质构变化具有显著影响,指出糖脂的添加可以有效抑制馅料变硬和老化,并证明是由于糖酯与淀粉形成了对热稳定的复合物,阻碍了淀粉的糊化进程。张晶^[31]利用持水能力强的麦芽糖部分替代蔗糖,利用物理改性的预糊化淀粉替代普通淀粉,研制了一种保水性好的红豆馅料。总之,针对馅料储存期间存在的问题,可以通过添加外源性的乳化剂、抗老化剂,或调整馅料原料的配方等方法来

表 1 月饼馅料分类及成分分析

Table 1 Classification and composition analysis of moon cake fillings

种类	原料	代表产品	参考文献
蓉沙类	植物油(视原料不同,有时会添加猪油)、砂糖、饴糖、各种含淀粉原料(赤豆、绿豆、莲子、板栗)	豆沙月饼、莲蓉月饼	[32]
果蔬类	新鲜水果蔬菜、砂糖、亲水胶体、生油等	紫苏月饼、榴莲月饼	[33]
果仁类	白糖、花生油、猪肥膘丁、各种果仁(核桃仁、瓜子仁、杏仁)、蜜饯(冬瓜丁、金桔丁)	五仁月饼	[34]
蛋黄类	咸蛋黄、砂糖、植物油及其他各种辅料	流心奶黄月饼	[35]
水产与肉类	各种肉类、葱、姜、味精、白砂糖、熟面、植物油、其他各种辅料(果仁、蜜饯、玫瑰花等)	金腿月饼	[36]

加以改善,但目前对于这些添加剂或原料配方改善馅料品质的机理尚不清楚,需要进一步研究,且馅料是一个淀粉、蛋白、脂肪共同存在的复杂体系,各组分对其品质的影响,也需要进一步系统地探索。

2.2 烘焙条件

2.2.1 烘焙设备 广式月饼所用到高温烘焙条件不仅能杀灭感染的食品微生物,还决定着最终产品的营养和感官特性。根据烤炉特性、烤盘材质、广式月饼规格、馅料品种的不同,烘烤条件也有一定差异^[37]。目前广式月饼用到的烘烤设备按传动形式大致分为四类^[38]: a. 小型柜式烤箱,不适合大规模生产; b. 旋转式烤炉,月饼受热均匀,但烤盘进出不便; c. 隧道式烤炉:有控温区,烤盘在炉内平移,易操作; d. 风车式烤炉:受热均匀,但人力消耗大。

广式月饼最初用到的烘烤设备为电热旋转式烤炉,可使月饼受热均匀并保证产品色泽一致;后期为满足小型生产需要,制造了轻巧、可移动的柜式烤炉;之后又制造了立式电热恒温旋转烤炉,其产量较柜式烤炉高,且占地面积少;而目前广式月饼生产企业用到较多的设备为隧道式烤炉,这种烤炉具有三个温区,且每个温区都能实现自动恒温,烘烤过程是呈连续式的进炉和出炉,大大提升了生产效率^[39]。王玉牛^[40]通过对比隧道式燃气烤炉、隧道式电热烤炉以及柜式烤箱对月饼品质的影响,发现采用隧道式燃气烤炉和柜式烤箱进行烘焙后,广式月饼馅料和饼皮的水分活度均降到 0.8 以下,而经隧道式电热烤炉烘烤后,馅料水分活度依旧大于 0.8,因此,在储存过程中不能抑制霉菌生长。此外,作者还对比了三种烘焙方式对广式莲蓉月饼质构的影响,发现采用隧道式电热烤炉烘烤的月饼硬度最小、弹性最大,而使用隧道式燃气烤炉烘烤后的月饼其耐咀嚼性和回复性都要明显高于其他两种烘焙方式烤制的月饼。可见,不同烤炉对广式月饼最终品质具有重要影响,而在众多广式月饼烘焙用设备中隧道式烤炉结构科学,操作简单,产量大,且烘烤后月饼质量好,是较为理想的选择。但在实际生产中还需考虑生产规模、资金、耗能等问题,因此应根据现实情况选择最适的烘烤设备。

2.2.2 烘焙温度与时间 烘焙是一种通过在导热和对流模式的烤箱中加热混合原料的食品加工方式^[41],在烘焙过程中热量从月饼表面向中心渗透^[42],使烤制出的月饼具有独特的颜色、香气和质地。而在此过程中影响月饼质量的因素有烘焙温度和时间、相对湿度、加热方式等。其中,烘焙时间和温度是影响最显著的因素之一。

夏雨等^[5]研究了烘焙时间和温度对低糖桑果广式月饼品质的影响,发现在上火温度为 200℃、下火温度为 170℃、时间为 18 min 的条件下烤制的广式月饼在风味、色泽、质地等方面都有较好的表现,并指出烘焙时间对月饼感官品质的影响大于温度。

烘焙会促进热反应及基质间的相互作用,使产

品基质内发生许多变化^[43],如质构的形成^[44]、结构的增强以及感官属性的变化,尤其是风味和色泽的形成。而风味和色泽的产生又与许多化学反应有关,这些反应包括美拉德反应^[45]、焦糖化反应、脂质氧化^[46]、食品组分热降解等^[47]。刘军等^[48]对比了烘烤前后广式月饼中的挥发性化合物,发现烘烤前检测出的风味化合物种类较少,而经高温烘焙后风味成分明显增多,其中,2-戊基呋喃、4-甲基辛烷、正己烷等物质仅在烘焙结束后才被检测到,可见烘焙对广式月饼风味的形成具有重要贡献。此外,研究发现温度是影响风味形成的关键因素,其中美拉德反应产物吡嗪类物质受温度影响最大^[49]。高温会促进脂质氧化^[50],并产生许多挥发性的醛酮类物质。而当温度大于 120℃时,体系内会发生焦糖化反应,并使产品产生棕色以及“焦糖”气味^[51]。曾惠琴等^[33]对比了不同温度和时间对紫苏馅广式月饼色泽的影响,发现 200/180℃是最适烘烤温度,当温度较低时间较短时月饼色泽较淡,温度较高时间过长时月饼颜色偏黑。蔡卓^[52]则发现当温度为 210/140℃时月饼色泽得分最高,当温度为 230/160℃时月饼风味得分最高。因此,可以看出烘焙温度和时间对广式月饼品质具有一定影响,但目前的研究仅停留在简单的感官属性表征,对其作用机理还需要进一步的探究。

虽然高温烘焙有助于广式月饼形成良好的风味和口感,但一些有害物质也随之产生。蔡卓^[52]比较了在不同烘烤温度下广式月饼中 5-羟甲基糠醛(5-HMF)的含量,发现当面火温度低于 210℃时,月饼中 5-HMF 含量增长缓慢,当高于 210℃时,5-HMF 含量显著增加,说明当温度达到某个温度点后,高温会促进有害物质的产生,且温度越高其生成速率越快。因此可以通过控制烘焙温度来减少广式月饼中危害伴随物的产生。

综上所述,可以看出烘焙时间和温度对于广式月饼最终品质具有重要影响,在实际生产过程中应根据具体的广式月饼品种、规格、烘烤设备等对烘焙时间和温度做出相应调整。此外还应考虑危害伴随物的产生,做到在保证产品品质的前提下,尽可能减少有害物质的产生。

2.3 冷却包装

通常来说,月饼烘烤结束后需冷却一段时间再包装,这是由于高温包装时部分热气会进入包装内,当温度下降,热气冷却变为液态,并留在月饼表面,使月饼更易发霉。但在冷却过程中广式月饼同样会受到微生物的污染,因此选择一个合适的温度范围进行月饼包装,对保障货架期内月饼品质至关重要。王蓝天^[53]通过对比不同包装温度对广式月饼保质期的影响,发现包装温度越高,月饼酸价也会随之升高,这是由于高温会使包装袋内形成一部分水分,在高温高湿条件下油脂易发生水解,导致酸价升高。此外,作者还探究了不同包装温度对月饼过氧化值、发霉情况以

及感官品质的影响,发现当包装温度为 50~55 ℃ 时,月饼品质较好,并可延长其货架期。

除了包装温度的作用,包装方式也会对产品质量造成影响。目前广式月饼常用的包装方式有脱氧包装和真空包装。脱氧包装是通过脱氧剂除去包装环境中的氧气,以防止广式月饼氧化,从而达到保持月饼感官品质、营养价值以及延长货架期的目的^[54],脱氧剂按照是否可以直接添加到食品中可分为两类:一类如活性铁粉、亚硫酸盐等,不可直接添加,一类可以直接添加到食品中,如维生素 C、抗坏血酸棕榈酸酯等。真空包装则是通过真空包装机抽去包装袋中的空气,使广式月饼处于真空环境中,减少其与氧气的接触,从而抑制油脂氧化酸败^[55]。杨柳青等^[56]比较了脱氧、真空、普通包装对广式蓝莓月饼品质的影响,发现脱氧和真空包装可减少广式蓝莓月饼营养成分的消耗,避免水分含量增加,同时在保质期方面,使用脱氧包装的产品保质期比普通包装的延长了 20 d,其感官得分也最高。贾春利等^[57]对比了脱氧、真空以及普通包装对添加了杏仁粉的广式月饼中两种主要的挥发性化合物乙酸和己醛的影响,发现在 5 d 的储存期内,乙酸含量先增加后减少,己醛则是先减少后增加,但不同包装方式对两种化合物相对含量的影响基本无规律,这可能是由于储存时间太短,而风味化合物变化又十分复杂。此外,王勃等^[58]通过脉冲强光对包装后的广式月饼表面进行杀菌,发现与未处理的空白组相比,广式月饼的保质期延长了 30 d。因此,广式月饼在包装后还可采用紫外杀菌、Co 照射、脉冲强光杀菌等方法进行处理,以保证食用安全和延长月饼保质期。

3 广式月饼品质评价

广式月饼品质评价指标的选择,对于评判月饼质量好坏至关重要。目前对其品质评价主要是通过风味、色泽等指标进行食用品质评价,通过油脂酸败程度、水分迁移等指标进行理化特性评价,通过菌落总数、黄曲霉毒素、危害因子等指标进行安全性评价。

3.1 食用品质评价

食用品质是衡量广式月饼品质的重要指标之一,目前广式月饼的食用品质主要是通过感官评价来实现的^[13, 32, 59]。通过从外形、风味、组织状态、口感等多方面构建全面的感官评价标准,并由专业的感官评价员对其进行打分。但这种方法存在主观性强,过程繁琐等问题,对评价人员要求较高,且不同的感官测评设计方案可能会得到不同的结果^[60]。基于此,一些感官仿生仪器被应用到广式月饼感官特性评价中,如孔欣欣等^[7]通过物性分析仪测定低糖低脂广式月饼的硬度、回复性、咀嚼性和凝聚性四个质构指标,实现了对配方的优化。刘冬青等^[61]利用分光色差仪测定广式月饼的色泽参数(a^* 值、 b^* 值、 L^* 值、色调角 h°),利用电子鼻、电子舌分别测定广式月饼的气味和滋味,并将测定结果与广式月饼理化指标进行相

关性分析,最终建立了广式月饼保质期预测模型。刘军等^[48]采用固相微萃取方法对广式月饼风味物质进行提取,并用气相色谱-质谱联用仪鉴定其中的挥发性风味物质种类,同时采用色差仪和物性分析仪测定广式月饼的色泽及质构,指出桑叶或桑葚粉的加入对广式月饼色泽、质构和风味具有重要贡献。由于仪器测得的广式月饼感官指标具有重复性好、准确性高、灵敏度高等优势,因此,在未来广式月饼食品品质评价中有很好的发展潜力。

3.2 理化特性评价

广式月饼理化指标主要包括蛋白质含量、脂肪含量、总糖含量、干燥失重、酸价、过氧化值、羰基价、水分迁移等方面,在广式月饼品质评价中具有重要的意义。目前针对广式月饼理化指标主要采用国标或行标的方法进行测定。钟少文等^[62]对比了四种广式月饼理化指标随时间的变化情况,发现随时间延长月饼总糖、粗脂肪以及干燥失重没有显著性变化,而酸价随时间呈缓慢增加。同样的,白卫东等^[63]探究了温度和时间对广式月饼酸价及过氧化值的影响,指出油脂劣变与温度有密切关系,随温度升高,脂解酶活性温度提高,促进油脂酸败,同时加快氢过氧化物的生成速度,使其对碘离子的氧化反应加强,最终导致过氧化值显著增加。陈弦^[6]测定了广式月饼不同部位水分及油脂含量,发现回软过程中水分和油脂逐渐从馅料向饼皮迁移,并最终使广式月饼的质构发生改变。

此外,低场核磁共振技术(low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)^[64]因具有无损检测、无污染、样品用量少等优点,目前被广泛应用在广式月饼理化指标检测。董海鹏等^[65]利用 LF-NMR 对广式月饼水分及油脂含量进行检测,发现水和油的质量分数随时间的变化情况可由横向弛豫时间很好地反映,并构建了广式月饼的理化指标定量模型。张卫东等^[16]利用核磁共振成像技术,发现随着时间的延长,月饼成像图更亮,质子密度更高,说明在这期间水分发生了迁移。可见,广式月饼理化指标的评价未来将更多地通过仪器设备与传统指标相结合的方式,实现对月饼品质更加综合、全面的评价。

3.3 安全性评价

微生物是引发许多重大食品安全事故的主要原因之一^[66],广式月饼微生物评价主要涉及菌落总数、大肠菌群以及霉菌。由于广式月饼营养丰富,且水分活度适合微生物生长,因此很容易出现储存期间月饼发霉变质的情况。陈盼^[67]对广式月饼中的微生物进行分离鉴定,发现月饼中的优势菌群为细菌、霉菌以及酵母菌。黄恺婷等^[68]通过对腐败广式月饼的霉菌进行分离纯化,发现其中主要的腐败霉菌是曲霉菌和青霉菌。基于此,可更加有针对性地对月饼微生物进行防控。此外,Annalisa 等^[69]指出热加工食品,在热处理后,应尽快通过“温度危险区”,因为与更低温度

相比,微生物在 51~21 °C 温度范围内生长速度更快。目前广式月饼微生物评价主要集中于检测代表性菌落数量,其具有准确性高的优点,但同时也存在操作复杂、耗时长、样品预处理影响实验结果等问题,因此,未来对于广式月饼微生物指标的评价可更多关注致腐机制的研究,基于仪器测量法,如高光谱成像技术^[70]、高通量 16S 核糖体 RNA 基因测序^[71]、滚环扩(RCA)增技术^[72],对微生物指标进行评价可能会具有更加广阔的应用空间及现实价值。

广式月饼热加工过程中除了产生香气、色泽外,还会产生潜在的诱变和致癌副产物^[73],如丙烯酰胺、羟甲基糠醛、晚期糖基化终末产物等,当人体过多摄入这些危害物后会诱发机体产生氧化应激和炎症反应,并最终导致动脉粥样硬化、肝癌、结肠癌等疾病^[74]。因此,研究月饼加工过程中有害物质的形成机理并找出其控制方法是月饼行业首要解决的问题。蔡卓^[52]研究发现,月饼中 5-HMF 含量相较其他烘焙食品更高,含量在 47~50 mg/kg 之间且刚烘烤完的月饼饼皮中 5-HMF 含量较高,随着时间的推移 5-HMF 逐渐迁移至内部,最终饼皮和馅料的含量基本一致。宋小莉等^[75]研究指出在烘焙配方中增加淀粉的含量可在一定程度上减少美拉德反应中间产物和晚期糖基化终末产物的生成,从而可以通过调整烘焙配方来减少有害物质的产生。虽然目前关于广式月饼中加工过程产生的有害物质的报道较少,但有大量研究报道热加工过程中有害物质的产生途径、检测方法与控制措施^[73],这对防止广式月饼加工过程有害物质的产生具有重要的指导意义。

4 结论与展望

综上所述,随着生活水平的提高及人们对传统节日的重视,广式月饼品质提升成为月饼行业首要关注的问题。广式月饼加工工艺作为其品质的主要影响因素,对最终产品品质起着关键作用。然而目前广式月饼加工工艺仍存在一些挑战,从现有文献研究来看,加工条件、配料等因素会对月饼品质造成一定影响,但其产生影响的具体原因尚不明确,因此,有必要进一步探究月饼各组分在加工过程的相互作用与月饼品质之间的关系,以及各种环境条件对月饼品质产生影响的作用途径,从而更好地对月饼品质进行调控,实现整体质量的提升。

此外,在广式月饼品质评价方面,目前的研究多停留在感官层面,且品质指标考虑不全面。因此,在今后的研究中,应多关注广式月饼品质评价模型的构建,实现对月饼品质的综合评价,同时借鉴更多快速、可靠和灵敏的技术手段,从而使评价结果更加客观、全面。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 19855-2015 月饼[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration. GB 19855-2015 Moon cake [S]. Beijing: China Standards Press.]

[2] 蔡佳梓,何新,丁敏,等. 8 种广式月饼营养成分分析[J]. 现代农业科技, 2016(20): 252-253. [CAI J Z, HE X, DING M, et al. Analysis on nutritional components of eight kinds of Cantonese-style moon cakes[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2016(20): 252-253.]

[3] 陈荣凯. 无糖绿茶月饼配方及营养价值研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013. [CHEN R K. Study on formula and nutritional value of sugar free green tea moon cake[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2013.]

[4] 唐晓凤,谢笔钧,孙智达. 柿子全果馅的研制和营养成分分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 86-92, 97. [TANG X F, XIE B J, SUN Z D. Development of the whole persimmon filling and the analysis of its nutritional components[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(1): 86-92, 97.]

[5] 夏雨,吕瑶瑶,孟媛,等. 低糖桑果月饼生产工艺优化的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(4): 67-70. [XIA Y, LÜ Y Y, MENG M, et al. Process optimization of low-sugar mulberry moon cake[J]. Food Research and Development, 2016, 37(4): 67-70.]

[6] 陈弦. 基于 TPA 参数的低热量广式月饼冬瓜蓉配方优化及其品质评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. [CHEN X. Formula optimization of low-calorie white gourd stuffing in Cantonese-style moon cake based on TPA parameters and evaluation on its quality[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013]

[7] 孔欣欣,张杰. 基于质构分析的低糖低脂广式月饼配方优化[J]. 美食研究, 2021, 38(4): 61-66. [KONG X X, ZHANG J. Formula optimization of Cantonese style moon cake with low sugar and fat based on texture profile analysis[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2021, 38(4): 61-66.]

[8] LASCOMBES C, AGODA-TANDJAWA G, BOULENGUER P, et al. Starch-carrageenan interactions in aqueous media: Role of each polysaccharide chemical and macromolecular characteristics[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 66: 176-189.

[9] HUANG M, THENG A H P, YANG D, et al. Influence of κ-carrageenan on the rheological behaviour of a model cake flour system[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 136: 110324.

[10] FEN X, WEI L, LIANG Z, et al. Prediction of the rheological properties of wheat dough by starch-gluten model dough systems: Effect of gluten fraction and starch variety[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2022, 57(4): 2126-2137.

[11] 莫茹茵. 面点制作中的面筋处理分析[J]. 现代食品, 2020(13): 7-8, 11. [MO R Y. Analysis of gluten processing in pastry making[J]. Modern Food, 2020(13): 7-8, 11.]

[12] 陈婷婷. 面粉特性对广式月饼加工品质的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017. [CHEN T T. Effect of characteristic of flour on Cantonese-style mooncake[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017.]

[13] 叶韬,陈志娜,尹琳琳,等. 超微豆渣部分替代面粉对广式月饼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 256-260. [YE T, CHEN Z N, YIN L L, et al. Effect of partial substitution of wheat flour with okara flour on the quality of Guang-style moon cake[J].

- Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(6): 256-260.]
- [14] 赵旭, 张家成, 孙小惠, 等. 米糠粉在广式月饼中的应用研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2015, 31(5): 598-602. [ZHAO X, ZHANG J C, SUN X H. Research and application of Cantonese-style moon cake made of rice bran[J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2015, 31(5): 598-602.]
- [15] 贾春利. 加州杏仁粉在广式月饼饼皮中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005. [JIA C L. Studies on the use of California almond flour in dough and moon cake of Guangdong style[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005.]
- [16] 张卫东, 马晓军. 转化糖浆组成对月饼质量的影响研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19): 132-136. [ZHANG W D, MA X J. Effect on invert syrup on quality of guang-style moon-cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(19): 132-136.]
- [17] 胡晓文, 张永明, 王娜. 广式月饼工艺条件的优化[J]. 中国食物与营养, 2008(7): 45-47. [HU X W, ZHANG Y M, WANG N. Optimization of processing conditions for Cantonese style moon cakes[J]. Food and Nutrition in China, 2008(7): 45-47.]
- [18] 刘传富, 董海洲, 张绪霞, 等. 月饼糖浆熬制工艺条件对其质量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(2): 89-91. [LIU C F, DONG H Z, ZHANG X X, et al. Optimization of preparation conditions for moon cake syrup[J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(2): 89-91.]
- [19] 张卫东. 月饼用糖浆的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014. [ZHANG W D. Study on syrup used in moon cake[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.]
- [20] E H, L G, I P J, et al. Plant sterols from rapeseed and tall oils: Effects on lipids, fat-soluble vitamins and plant sterol concentrations[J]. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases, 2010, 20(4): 258-265.
- [21] 柴秀航, 张帅, 刘元法. 结构化油脂及其在烘焙产品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(15): 336-344. [CHAI X H, ZHANG S, LIU Y F. structured oil and its application in bakery products: A review[J]. Food Science, 2022, 43(15): 336-344.]
- [22] 罗银倩. 月饼专用油脂制备关键技术研究及其应用[D]. 合肥: 安徽大学, 2013. [LUO Y Q. Study and application of the key technologies for manufacturing special oil used in moon cake[D]. Hefei: Anhui University, 2013.]
- [23] TINGJING Z, ERQI G, YULING Y, et al. Fatty acid profiles of vegetable oils from four different plant sources and their effects on dough rheology and chinese steamed bread quality[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2020, 56(5): 2407-2414.
- [24] 曾洁. 月饼生产工艺与配方[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 148-167. [ZENG J. Production technology and formula of moon cake[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009: 148-167.]
- [25] 李增利. 乳化剂改进广式月饼回软回油性性能的研究[J]. 食品工业, 2001, 22(6): 25-27, 13. [LI Z L. Reserch on emulsifier to improve softening and oil-return for Guangdong mooncake[J]. The Food Industry, 2001, 22(6): 25-27, 13.]
- [26] 文波. 低脂广式莲蓉月饼中油脂替代品的筛选与复合配方优化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011. [WEN B. Selection and composition formula optimization of the fat replaces in low-fat Cantonese-style lotus seed paste moon cake[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.]
- [27] 陈文, 杜欣雨, 范立鹏, 等. 低脂奇亚籽月饼的工艺设计[J]. 农产品加工, 2020(2): 28-30. [CHEN W, DU X Y, FAN L P, et al. Process design of low fat chia moon cake[J]. Farm Products Processing, 2020(2): 28-30.]
- [28] 汪师帅, 郑芄元, 淡然. 低脂魔芋月饼的工艺设计[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17): 59-63. [WANG S S, ZHENG P Y, DAN R. Process design of low fat konjac moon cake[J]. Food Research and Development, 2018, 39(17): 59-63.]
- [29] 姚丽丽, 林丽军, 严蓓蓓. 月饼豆沙馅料乳化性能改良与物性品质的评价[J]. 食品工业, 2011(8): 13-16. [YAO L L, LIN L J, YAN B B. Improvement of emulsifying and physical properties of stuffed red bean moon cake[J]. The Food Industry, 2011(8): 13-16.]
- [30] 姚鑫森. 红豆粒馅加工特性、品质及工艺研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015. [YAO X M. Study on processing characteristic, quality and technology of adzuki an (with bean coat)[D]. Haerbin: Northeast Agricultural University, 2015.]
- [31] 张晶. 一种保水性好的红豆馅料: 中国 CN103783352A[P]. 2014-05-14. [ZHANG J. A kind of red bean filling with good water retention: China CN103783352A[P]. 2014-05-14.]
- [32] 钟细娥. 甘油在广式月饼饼皮、莲蓉馅料中的应用研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020. [ZHONG X E. Research on the application of glycerol in Cantonese mooncake crust and lotus seed paste filling[D]. Guangzhou: Jinan University, 2020.]
- [33] 曾惠琴, 康婧, 金辉. 紫苏馅广式月饼的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 146-149. [ZENG H Q, KANG J, JIN H. Technology optimization of Cantonese mooncake with perilla fillings[J]. Food Research and Development, 2017, 38(2): 146-149.]
- [34] 方伟, 朱婷, 陈慧芳, 等. 一种新型无糖五仁月饼馅料工艺研究[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(17): 140-143. [FANG W, ZHU T, CHEN H F, et al. Technology research of a new sugar-free five-kernel mooncake stuffing[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(17): 140-143.]
- [35] 张永清, 刘玲, 田水泉. 冰皮月饼奶黄馅配方的优化[J]. 食品工业, 2015, 36(6): 124-127. [ZHANG Y Q, LIU L, TIAN S Q. Formula optimization research on custard stuffing for snow skin moon cake preparation[J]. The Food Industry, 2015, 36(6): 124-127.]
- [36] 张俊祥, 陆王惟, 崔芮, 等. 马铃薯云腿月饼加工工艺的响应面法优化[J]. 农产品加工, 2020(9): 27-30, 35. [ZHANG J X, LU W W, CUI R. Optimization of baking technology of potato ham cake by response surface methodology[J]. Farm Products Processing, 2020(9): 27-30, 35.]
- [37] IBRAHIM U K, RAHMAN N A A, SUZIHAQUE M U H, et al. Effect of baking conditions on the physical properties of bread incorporated with green coffee beans (gcb)[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 6: 736.
- [38] 张延杰. 广式月饼生产设备综述[J]. 食品科技, 2001(5):

- 17-18. [ZHANG Y J. Guangzhou style moon cake production equipment: A review[J]. *Food Science and Technology*, 2001(5): 17-18.]
- [39] 陈志航, 杨德望. 广式月饼生产关键技术及设备进展[J]. 现代食品科技, 2011, 27(7): 835-838. [CHEN Z H, YANG D W. Reviews on critical technology and equipment of Cantonese moon cakes production[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(7): 835-838.]
- [40] 王玉牛. 馅料制备和焙烤过程对广式莲蓉月饼品质影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011. [WANG Y N. Study on the effects of lotus-seed-paste preparing and baking process influencing the qualities of Cantonese lotus-seed-paste moon cakes[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.]
- [41] PATEL A S, KAR A, PRADHAN R C, et al. Effect of baking temperatures on the proximate composition, amino acids and protein quality of de-oiled bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) seed cake fortified biscuit[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 106: 247-253.
- [42] HEBA M, DIMITRIS D. Digital modeling of heat transfer during the baking process[J]. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2021, 2021: 8957148.
- [43] VERBAUWHEDE A E, LAMBRECHT M A, FIERENS E, et al. Impact of aqualysin 1 peptidase from thermus aquaticus on molecular scale changes in the wheat gluten network during bread baking[J]. *Food Chemistry*, 2019, 295: 599-606.
- [44] MUDGIL D, BARAK S, KHATKAR B S. Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 80: 537-542.
- [45] YU H, ZHONG Q L, XIE Y F, et al. Kinetic study on the generation of furosine and pyrraline in a maillard reaction model system of D-glucose and L-lysine[J]. *Food chemistry*, 2020, 317: 126458.
- [46] CHANG C, WU G C, ZHANG H, et al. Deep-fried flavor: Characteristics, formation mechanisms, and influencing factors[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(9): 1496-1514.
- [47] GARVEY E C, O'SULLIVAN M G, KERRY J P, et al. Factors influencing the sensory perception of reformulated baked confectionary products[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(7): 1160-1188.
- [48] 刘军, 廖森泰, 邹宇晓, 等. 焙烤对桑叶和桑椹月饼品质性状及风味形成的影响[J]. 蚕业科学, 2014, 40(3): 559-564. [LIU J, LIAO S T, ZOU Y X, et al. Effects of baking on quality characters and flavor formation of mulberry leaf and mulberry fruit mooncake[J]. *Acta Sericologica Sinica*, 2014, 40(3): 559-564.]
- [49] BASSAM S M, NOLETO-DIAS C, FARAG M A. Dissecting grilled red and white meat flavor: Its characteristics, production mechanisms, influencing factors and chemical hazards[J]. *Food Chemistry*, 2022, 371: 131139.
- [50] AHMED M R M. Simultaneous inhibition of acrylamide formation and fat oxidation in quinoa cakes using gum arabic supplementation coupled with fat reduction[J]. *International Journal of Food Properties*, 2021, 24(1): 749-763.
- [51] TAŞ N G, GÖKMEN V. Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: A multiresponse kinetic study[J]. *Food Chemistry*, 2017: 221.
- [52] 蔡卓. 广式月饼中 5-HMF 的形成规律与控制[D]. 广州: 华南农业大学, 2018. [CAI Z. The study of 5-HMF and its control technology in a Cantonese moon cake system[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.]
- [53] 王蓝天. 我国烘焙月饼的生产与保质研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2013. [WANG L T. The studies on production and quality of baked moon cake in China[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013.]
- [54] 姜云, 朱科学, 郭晓娜. 降低水分活度和脱氧包装对半干面常温货架期及品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 117-121. [JIANG Y, ZHU K X, GUO X N. Effect of reducing water activity and deoxygen packaging on shelf life and quality of semi-dried noodles[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(11): 117-121.]
- [55] REIS R S, VALLE G M, VENTURINI C M, et al. Effect of controlled atmosphere, vacuum packaging and different temperatures on the growth of spoilage fungi in shelled pecan nuts during storage[J]. *Food Control*, 2021, 128: 108173.
- [56] 杨柳青, 郑润敏, 王储炎, 等. 不同包装方式对蓝莓月饼储藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(7): 17-24. [YANG L Q, ZHENG R M, WANG C Y, et al. Different packaging methods on storage quality of blueberry moon cake[J]. *Storage and Process*, 2021, 21(7): 17-24.]
- [57] 贾春利, 黄卫宁, 袁永利, 等. 美国加州杏仁月饼挥发性风味物质研究[J]. 食品科学, 2005(9): 382-389. [JIA C L, HUANG W N, YUAN Y L, et al. Studies on the volatile flavor compounds of moon cakes containing california almond flour[J]. *Food Science*, 2005(9): 382-389.]
- [58] 王勃, 赵旭, 马涛, 等. 响应面法优化脉冲强光对月饼表皮霉菌的杀菌工艺[J]. 食品工业科技, 2015, 26(4): 255-259. [WANG B, ZHAO X, MA T, et al. Sterilizing effect of pulsed light on the mould which is on the moon cake surface[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 26(4): 255-259.]
- [59] 杜方敏, 吴锦源, 李生花, 等. 广式月饼莲蓉馅料感官评价描述词的构建[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(5): 122-128. [DU F M, WU J Y, LI S H, et al. Construction of sensory evaluation descriptors for Cantonese style lotus paste filling moon cake[J]. *China Food Additives*, 2022, 33(5): 122-128.]
- [60] YIZHEN H, YU L, ZHENG J, et al. Sensory evaluation of fresh/frozen mackerel products: A review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(4): 3504-3530.
- [61] 刘冬青, 陈朴, 臧鹏, 等. 月饼品质指标变化规律研究和保质期预测模型的建立[J]. 食品科学, 2021, 43(17): 221-230. [LIU D Q, CHEN P, ZANG P, et al. Quality variations and shelf life predictive modeling of moon cake[J]. *Food Science*, 2021, 43(17): 221-230.]
- [62] 钟少文, 叶盛权, 梁天蛟, 等. 广式月饼贮存过程中品质变化的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(7): 2175-2179. [ZHONG S W, YE S Q, LIANG T J, et al. Study on changes of quality of cantonese moon cake during the storage[J]. *Journal of Food Safety and*

Quality, 2014(7): 2175–2179.]

[63] 白卫东, 肖燕清, 钱敏, 等. 广式月饼储存过程中氧化问题的研究[J]. 食品工业科技, 2010(8): 67–69. [BAI W D, XIAO Y Q, QIAN M, et al. Study on oxidative problem of Cantonese moon cake during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010(8): 67–69.]

[64] LAN W Q, LIU J L, HU X Y, et al. Evaluation of quality changes in big-eye tuna (*Thunnus obesus*) based on near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) and low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR)[J]. Journal of Food Process Engineering, 2020, 44(2): 1–10.

[65] 董海胜, 臧鹏, 赵伟, 等. 月饼水分及油脂含量的无损检测方法[J]. 河北科技师范学院学报, 2018, 32(1): 50–57. [DONG H S, ZANG P, ZHAO W, et al. The research on nondestructive testing method of moisture and oil content of moon cake[J]. Journal of Hebei Normal University of Science & Technology, 2018, 32(1): 50–57.]

[66] VESNA Đ, MIRJANA R, LEKA M, et al. Chemical and microbial evaluation of biscuits made from wheat flour substituted with wheat sprouts[J]. Food Science and Technology International, 2020, 27(2): 172–183.

[67] 陈盼. 广式月饼中微生物区系的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009. [CHEN P. Study on the microbial flora in Guangdong moon cakes[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.]

[68] 黄恺婷, 许喜林, 麻云璐, 等. 广式月饼腐败霉菌的分离与控制[J]. 现代食品科技, 2012, 28(2): 142–146. [HUANG K T, XU X L, MA Y L, et al. Research of separation and inhibition of the spoilage moulds in Cantonese-style moon cake[J]. Modern Food

Science and Technology, 2012, 28(2): 142–146.]

[69] RICCI A, MARTELLI F, RAZZANO R, et al. Service temperature preservation approach for food safety: Microbiological evaluation of ready meals[J]. Food Control, 2020, 115: 107297.

[70] MARIATERESA F, AOIFE G, SÉAMUS F, et al. Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches.[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(6): 3106–3129.

[71] XU J, SONG R, DAI Y, et al. Characterization of zinc oxide nanoparticles-epoxy resin composite and its antibacterial effects on spoilage bacteria derived from silvery pomfret (*Pampus argenteus*) [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 22: 100418.

[72] XU X Y, SU Y, ZHANG Y Z, et al. Novel rolling circle amplification biosensors for food-borne microorganism detection[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2021, 141: 116293.

[73] AGNIESZKA K, ADRIANA N. Thermal processing food-related toxicants: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(22): 3579–3596.

[74] CRISTINA S, GABRIELA C G, ADRIANA D. Acrylamide in bakery products: A review on health risks, legal regulations and strategies to reduce its formation[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(8): 4332.

[75] 宋小莉, 李普, 张秋婷, 等. 烘焙配方对 1, 2-二羰基化合物及晚期糖基化终产物的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(21): 140–147. [SONG X L, LI P, ZHANG Q T, et al. Effect of main baking ingredients on 1, 2-dicarbonyl compounds and advanced glycation end products[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(21): 140–147.]