

# 桑叶健康月饼焙烤前后品质变化的研究

刘军, 廖森泰, 邹宇晓, 施英, 刘凡, 穆利霞, 沈维治

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

**摘要:** 以雪皮莲蓉月饼为代表, 比较了桑叶粉的添加量对月饼焙烤前后的外观色泽、营养活性成分、质构和风味成分的影响。结果表明: 高温焙烤能明显增加月饼饼皮的亮度、绿色和黄色, 引起桑叶皮中的叶绿素损失从 203.88  $\mu\text{g/g}$  降到 101.70  $\mu\text{g/g}$ , 但表皮的绿色进一步加深定型; 桑叶粉的添加能明显增加月饼中酚类物质含量, 经高温焙烤后还能保留更多的活性成分; 质构分析 (TPA) 确定桑叶粉的添加 (特别是在皮料中) 有利于增加月饼的硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性和回复性, 降低其粘着性; 采用固相微萃取-气相色谱-质谱 (SPME-GC-MS) 联用技术分析发现, 焙烤导致月饼的挥发性风味物质种类逐渐增加, 其中以烷烃类和呋喃类为主, 而 2,4-二甲基庚烷、3,6-二甲基癸烷很可能为桑叶馅月饼的特征性风味物质。

**关键词:** 桑叶; 月饼; 焙烤; 品质变化

**文章编号:** 1673-9078(2014)2-204-208

## Quality Changes of Mulberry Leaf Health Moon Cake before and after Baking

LIU Jun, LIAO Sen-tai, ZOU Yu-xiao, SHI Ying, LIU Fan, MU Li-xia, SHEN Wei-zhi

(Sericulture&Farm Produce Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Key laboratory of Agricultural Product processing, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** Effects of mulberry leaf superfine powder on colour, nutritional active ingredients, texture and flavor compositions of snow skin and lotus-paste moon cakes before and after baking were compared. The results showed that high baking temperature significantly increased the luminosity, green, and yellow of the crust. The chlorophyll lost in skins of mulberry leaf from 203.88  $\mu\text{g/g}$  to 101.70  $\mu\text{g/g}$  but the green deepened further. The addition of mulberry leaf superfine powder significantly increased the phenolics contents in moon cake and retained more active ingredients after baking. Mulberry leaf powder helped to increase the hardness, elasticity, cohesiveness, chewiness, resilience and lower viscosity of the moon cakes, especially for the crust. Head space solid phase microextraction (SPME) technique combined with GC-MS was employed to analyze volatile flavor, showing that the types of volatile flavor increased gradually. The main volatile flavor was alkane and furan after baking. And 2,4 - dimethyl heptane and 3,6 - dimethyl decane may be the two characteristic flavor components of mulberry leaf filling moon cake.

**Key words:** mulberry leaf; moon cake; baking; quality changes

近年来, 食品基料发展迅速, 种类也越来越细化, 应用在功能性食品中具有多种保健功能的基料称为功能性食品基料, 其中尤以天然的最受青睐。叶类功能性食品基料 (叶类基料) 是叶类功能性食品素材转化为叶类功能性工程食品 (叶类食品) 过程中的再制品, 通过现代食品加工的高新技术, 将叶加工成具有良好加工性能、贮藏性能、适口性和食用安全性的微粉体, 最大限度地保持了叶中所含对人体生理机能有用、有

收稿日期: 2013-10-16

基金项目: 现代农业产业技术体系专项 (No. CARS-22); 广东省教育部产学研结合项目 (2012B091000127); 广州市科技计划重大专项 (2011Y2-00009)  
作者简介: 刘军 (1981-), 男, 助理研究员, 主要从事蚕桑资源综合利用研究

益、有效的必需成分和生理成分, 以满足不同消费群体对营养的需求和色、香、味、形及饮食文化的享受<sup>[1]</sup>。

桑叶是国家卫生部公布的“药食两用”食物, 营养丰富, 具有疏风清热、清肝明目等功效和降血压、降血糖、抗衰老、增加耐力等多种保健功能。长期以来, 蚕桑生产逐渐形成了以“种桑养蚕”的传统缫丝产业思维模式, 但从物质资源高效利用和经济效益最大化的理念来看, 蚕桑资源综合利用开发还缺乏深度, 未达到物尽其用<sup>[2]</sup>。传统焙烤食品一直以高糖、高脂、高热量著称, 利用桑叶的天然色素、独特的风味和营养功能成分开发新型的功能性食品基料粉体, 具有很大的市场优势。桑叶颜色鲜绿, 是很好的天然色素,

烘烤后不褪色, 风味独特, 另外桑叶含有丰富的膳食纤维, 添加在焙烤食品馅料中能部分替代高糖、高脂配料, 消除油腻感, 既能满足现代年轻人追求时尚的特点, 还能为老年人提高保健功能, 可谓老少皆宜。本研究选取广式月饼中的雪皮莲蓉为传统焙烤食品的代表, 在前期试验基础上确定配方工艺, 探讨桑叶基料(超微粉)的添加对月饼焙烤前后的色泽、营养活性成分、质构和风味成分的影响, 旨在为桑叶健康焙烤基料应用于广式月饼提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料与设备

#### 1.1.1 试验材料

桑叶超微粉: 实验室自制, 新鲜桑叶采摘后清洗, 送入热泵干燥机干燥至水分在 10% 以下, 用多功能粉碎机将干燥后的桑叶粉预粉碎至 40 目左右的桑叶粗粉, 再置入超微粉碎机粉碎至 100 目。其中水分 8.51%、灰分 10.29%、粗蛋白 27.13%、粗纤维 17.6%、总酚 1.72%、总黄酮 0.66%、叶绿素 0.21%。

雪皮莲蓉月饼的皮料和莲蓉馅料: 咀香园健康食品(中山)有限公司提供。

#### 1.1.2 主要试剂

儿茶素和没食子酸标品购自美国 Sigma 公司, 其余试剂均为分析纯。

#### 1.1.3 主要仪器和设备

UltraScan VIS 色差仪, 美国 HunterLab 公司; 6890N/5975B 型气相色谱质谱联用仪, 美国安捷伦科技有限公司; 固相微萃取手动进样器、纤维头、萃取瓶, 美国 SUPELCO 公司; TA.XTplus 物性测试仪, 英国 Stable Micro System 有限公司; UV-1800 紫外分光光度计: 日本岛津公司; TD6 高速离心机, 长沙湘智离心机仪器有限公司; SB25-12DTD 超声波清洗机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; 远红外电热食品烤炉, 温州一喜商用机械有限公司; MJ-25BM03A 搅拌机, 广东美的精品电器制造有限公司; XS-10B 多功能粉碎机, 上海兆申科技有限公司; XDW-6B1 振动式细胞级超微粉碎机, 济南达微机械有限公司; CHRH-20 热泵干燥机, 广东省农业机械研究所。

### 1.2 测定方法

#### 1.2.1 叶绿素测定

采用 80% 的丙酮浸提法, 利用分光光度计测定叶绿素含量, 具体方法见文献<sup>[3-4]</sup>。

#### 1.2.2 色泽测定

用测色色差仪 LAB 测定月饼表面的色差。L\*表示照度(Luminosity), 相当于亮度, a\*表示从洋红色至绿色的范围, b\*表示从黄色至蓝色的范围。L 的值域由 0 到 100, L=50 时, 就相当于 50% 的黑; a 和 b 的值域都是由 +127 至 -128, 其中 +127 a 就是洋红色, 渐渐过渡到 -128 a 的时候就变成绿色; 同样原理, +127 b 是黄色, -128 b 是蓝色。

#### 1.2.3 总酚测定

参照文献<sup>[5]</sup>的方法。月饼样品用 70% 乙醇溶液超声提取 30 min, 定容。125  $\mu$ L 提取液加入 0.5 mL 蒸馏水和 125  $\mu$ L Folin Ciocatieu's 试剂, 6 min 后加入 1.25 mL 质量分数为 7% 碳酸钠溶液和 1 mL 蒸馏水, 暗室反应 90 min 后测定 D(760 nm)。以没食子酸为标准物质计, 得到曲线回归方程:  $Y=0.0046x-0.0219$  ( $R^2=0.9969$ ), 其中 Y 为吸光值, X 为没食子酸质量浓度 ( $\mu$ g/mL)。

#### 1.2.4 总黄酮测定

参照文献<sup>[6]</sup>的方法。300  $\mu$ L 提取液加入 1.5 mL 蒸馏水和 90  $\mu$ L 5% 亚硝酸钠溶液, 反应 6 min 后加入 180  $\mu$ L 质量分数为 10% 的  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$  溶液, 5 min 后加入 0.6 mL 1 mol/L NaOH 溶液, 最后用蒸馏水补足至 3 mL, 测定 D(510 nm)。以儿茶素为标准物质计, 得到曲线回归方程:  $Y=0.0037x-0.0182$  ( $R^2=0.9935$ ), 其中 Y 为吸光值, X 为儿茶素质量浓度 ( $\mu$ g/mL)。

#### 1.2.5 TPA 测试方法

TPA (Texture Profile Analysis) 测试是通过模拟牙齿的咀嚼行为即牙齿在二次咀嚼过程中时间和力的变化规律, 从而得出食品在受力过程中的变形情况<sup>[7-8]</sup>。使用质构仪对烘烤回软后的月饼进行 TPA 测试, 测定其硬度 (Hardness)、粘着性 (Adhesiveness)、弹性 (Springiness)、凝聚性 (Cohesiveness)、咀嚼性 (Chewiness) 和回复性 (Resilience) 6 种 TPA 参数<sup>[9]</sup>。由于 TPA 参数受测试条件的影响, 不同的样品都要选择各自合适的测试条件, 本实验固定探头型号 P/50、测前速度 1 mm/s 和测后速度 5 mm/s。

#### 1.2.6 挥发性风味物质的测定

将萃取头插入 GC/MS 进样口中, 于 280  $^{\circ}$ C 老化 1 h, 取切碎样品 5 g 放置于 15 mL 密封顶空样品瓶中, 将萃取头通过瓶盖的橡皮垫插入到顶空瓶中, 推出纤维头, 于 42  $^{\circ}$ C 下顶空萃取 20 min, 随后抽回纤维头, 从顶空瓶上拔出萃取头, 再将萃取头迅速插入 GC/MS 汽化室, 于 280  $^{\circ}$ C 解析 5 min, 解析后立即启动采集数据程序。

##### 1.2.6.1 气质联用色谱检测方法

色谱条件: 色谱柱为 DB-5MS 弹性毛细管柱 30

m×0.25 mm×0.25 μm。升温程序为初始温度 35 ℃, 保持 6 min, 以 5 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 3 min, 汽化温度为 280 ℃。载气 (He) 流量为 20.0 mL/min。质谱条件: 电子轰击(EI)离子源; 离子源温度 250 ℃; 电子能量为 70 eV; 接口温度为 280 ℃; 质量扫描范围为 30 m/z~450 m/z。

### 1.2.6.2 挥发性风味物质定性和定量方法

GC-MS 分析图谱通过 MSD ChemStation D.03.00.611 化学工作站数据处理系统, 检索 Nist 2005 谱图库, 当匹配度>80%(最大值为 100%)时, 予以初步确认并记录该组分, 再结合保留指数来确定未知化合物, 本实验以测定的保留指数与文献差异 1%为检索尺度。化合物定量: 按峰面积归一化法计算相对百分含量。

### 1.2.7 数据处理分析

采用软件Excel 2010进行数据处理, 采用软件SPSS 16.0进行差异显著性分析。

## 1.3 试验方法

### 1.3.1 雪皮莲蓉月饼制作工艺

按照每个月饼60 g (其中皮馅比为1:4) 进行称重分割、包馅、入模成型, 以底火160 ℃、面火180 ℃烘烤15 min, 最后冷却回软24 h。

### 1.3.2 桑叶月饼制作工艺

在雪皮中加入3%的桑叶粉即为桑叶皮, 在馅料中加入3%的桑叶粉即为桑叶馅。桑叶皮搭配莲蓉馅制作成桑叶皮月饼, 雪皮搭配桑叶馅制作成桑叶馅月饼。

## 2 结果与分析

### 2.1 焙烤对月饼饼皮外观的影响

表1 焙烤对桑叶月饼饼皮色泽的影响

Table 1 Influence of baking on crust colour of mulberry leaf

moon cake ( $\bar{x}\pm s$ , n=3)				
样品	外观色泽	L*	a*	b*
雪皮	烤前 白色	61.88±1.23 <sup>b</sup>	-1.64±0.16 <sup>b</sup>	15.14±0.65 <sup>c</sup>
	烤后 亮黄色	72.90±1.54 <sup>a</sup>	-1.86±0.14 <sup>b</sup>	23.10±0.78 <sup>b</sup>
桑叶皮	烤前 绿色	27.64±0.59 <sup>d</sup>	-1.61±0.24 <sup>b</sup>	15.86±0.46 <sup>c</sup>
	烤后 深绿色	40.75±0.46 <sup>c</sup>	-2.00±0.12 <sup>a</sup>	26.32±0.32 <sup>a</sup>

注: 同列字母相同表示差异不显著 (P>0.05), 下同。

桑叶由于含有丰富的天然叶绿素而呈明显的深绿色, 作为一种健康食品基料添加在月饼饼皮中可起到着色、矫味的作用, 而烘烤后饼皮绿色会更加突出。分别比较了雪皮和桑叶皮焙烤前后的色泽变化, 其结果见表 1。从表 1 可以看出, 焙烤会明显导致饼皮的

L\*值、a\*值、b\*值的绝对值均增大, 说明高温焙烤会增加月饼饼皮的亮度、绿色和黄色, 这一点从月饼饼皮的外观色泽也可以看出, 雪皮经烘烤后色泽更加亮黄通透, 桑叶皮经烘烤后绿色进一步加深定型。比较还发现, 桑叶超微粉的加入降低了饼皮的亮度, 但增加了绿色和黄色值, 因此桑叶皮月饼比雪皮月饼拥有更诱人的深绿色。

### 2.2 焙烤对桑叶月饼中叶绿素的影响

由于叶绿素很不稳定, 温度、光、酸、碱、氧、氧化剂等都会使其分解, 因此高温焙烤对桑叶月饼中叶绿素的含量有很大影响。分别比较了焙烤前后桑叶皮和桑叶馅干基中叶绿素含量见表 2。

表2 烘烤对桑叶月饼中叶绿素的影响

Table 2 Influence of baking on chlorophyll of mulberry leaf

moon cake ( $\bar{x}\pm s$ , n=3)		
样品(干基)	叶绿素-烤前/(μg/g)	叶绿素-烤后/(μg/g)
桑叶皮	203.88±75.24	101.70±54.56
桑叶馅	128.68±33.52	117.03±24.81

可以看出, 由于皮料直接暴露在外, 桑叶皮中叶绿素在焙烤过程中损失将近一半, 从最初的 203.88 μg/g 降到 101.70 μg/g, 而馅料包裹在内, 高温焙烤对叶绿素的影响较小, 仅有少量损失。结合表 1 的结果还可以看出, 桑叶皮月饼焙烤后表皮叶绿素损失严重, 但色泽反而更加深绿了, 说明桑叶月饼的饼皮颜色并不完全和叶绿素含量有关, 还和高温焙烤引起的焦糖化褐变有关。

### 2.3 焙烤对桑叶月饼中活性成分的影响

表3 焙烤前后桑叶月饼中总酚含量的变化

Table 3 Influence of baking on total phenols of mulberry leaf

moon cake ( $\bar{x}\pm s$ , n=3)				
样品(干基)	皮料总酚含量/(μg/g)		馅料总酚含量/(μg/g)	
	烤前	烤后	烤前	烤后
雪皮莲蓉馅	882.34±	641.74±	585.46±	481.96±
桑叶皮馅	6.26	57.39	20.71	126.42
桑叶皮	2188.31±	1483.55±	2267.62±	1202.12±
桑叶皮馅	107.99	62.97	37.53	13.72

桑叶中含有丰富的酚类物质, 因而具有很强的抗氧化活性, 对桑叶月饼中皮料和馅料的总酚和总黄酮进行的测定比较, 结果分别见表 3 和表 4。

可以发现, 不管是皮料还是馅料, 添加桑叶粉的样品中总酚和总黄酮含量明显高于雪皮莲蓉馅月饼, 有的甚至高达 4 倍, 经高温焙烤后仍高达 1.5 倍左右,

说明桑叶粉的添加能明显增加月饼中酚类物质的含量, 经过高温焙烤后还能保留更多的活性成分, 因而更营养健康。通过对皮料和馅料焙烤前后的活性成分比较发现, 高温焙烤明显降低月饼中活性成分的含量, 部分样品总酚和总黄酮损失将近一半, 但皮料和馅料的活性成分损失相差并不大。

表 4 焙烤前后桑叶月饼中总黄酮含量的变化

Table 4 Influence of baking on total flavonoids of mulberry leaf moon cake ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

样品(干基)	moon cake ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )			
	皮料总黄酮含量/( $\mu\text{g/g}$ )		馅料总黄酮含量/( $\mu\text{g/g}$ )	
	烤前	烤后	烤前	烤后
雪皮莲	686.44±	412.27±	499.77±	313.92±
蓉馅	3.89	16.29	18.25	42.64
桑叶	1265.84±	884.91±	1290.97±	821.28±
皮馅	50.57	57.84	90.19	58.43

## 2.4 焙烤对桑叶月饼质构的影响

表 5 焙烤对月饼 TPA 参数的影响

Table 5 Influence of baking on TPA parameters of moon cake ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

样品	硬度	粘着性	弹性	凝聚性	咀嚼性	回复性
雪皮莲 烤前	17312.33±592.25	-597.33±89.26	0.10±0.01	0.06±0.01	100.18±0.58	0.02±0.00
蓉月饼 烤后	23510.06±649.28	-509.69±56.32	0.15±0.00	0.09±0.00	336.36±5.64	0.03±0.00
桑叶皮 烤前	14920.51±453.64	-603.71±101.23	0.16±0.01	0.09±0.00	234.53±10.23	0.03±0.00
月饼 烤后	32450.61±496.35	-495.81±46.26	0.20±0.01	0.10±0.01	633.98±15.24	0.04±0.00
桑叶馅 烤前	15897.29±869.14	-558.22±72.64	0.08±0.01	0.06±0.00	81.93±9.35	0.02±0.00
月饼 烤后	30090.48±769.57	-454.76±76.25	0.16±0.02	0.10±0.01	473.26±26.58	0.04±0.00

## 2.5 焙烤对桑叶月饼挥发性成分的影响

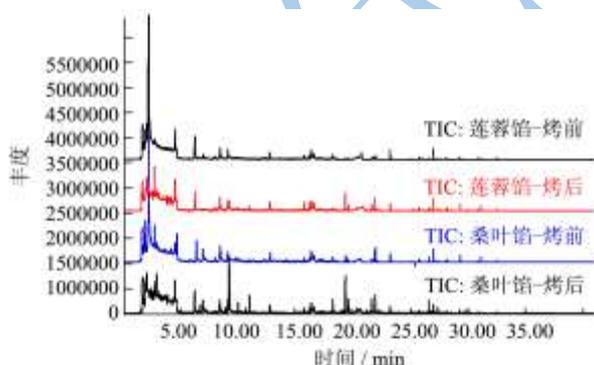


图 1 焙烤前后风味成分的 GC-MS 分析总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of flavor components by GC-MS before and after baking

对莲蓉馅和桑叶馅焙烤前后风味物质成分进行 GC-MS 分析, 总离子流图见图 1。通过 MSD ChemStation D.03.00.611 化学工作站数据处理系统,

由表 5 可以看出, 月饼经焙烤后 TPA 参数均有所增加(粘着性除外), 反映出高温焙烤有利于提高月饼的硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性和回复性, 而桑叶粉的添加进一步增加了其 TPA 各项参数。另外明显看出, 桑叶粉不管是添加在皮料中, 还是添加在馅料中, 经过高温焙烤后, 都能明显增加月饼的硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性和回复性, 降低粘着性, 且桑叶粉添加在皮料中的效果更加明显。文波<sup>[10]</sup>等人通过分析感官评分和 TPA 参数的相关性, 发现月饼的硬度、凝聚性和回复性均与其感官评分呈显著负相关, 说明月饼的硬度、凝聚性、回复性越小, 其感官评分越高, 符合人正常咀嚼的口感和舒适感。虽然桑叶超微粉的添加降低了月饼整体的感官评分, 对喜欢月饼的人来说认可度稍差一些, 但其对月饼表皮的天然着色和馅料的矫味具有明显作用, 同时含有丰富的营养活性成分, 因而还是有很大的市场优势。

检索 Nist 2005 谱图库, 当匹配度>80% (最大值为 100%) 时, 予以初步确认并记录该组分, 再结合保留指数来确定未知化合物, 按峰面积归一化法计算相对百分含量, 结果见表 6。

由表 6 可知, 莲蓉馅焙烤前后分别鉴定出 12 种和 18 种化合物, 桑叶馅焙烤前后分别鉴定出 13 种和 18 种化合物。比较焙烤前后检测出的相关成分来看可以发现: 焙烤前, 月饼挥发性图谱峰单一, 检测到的风味物质种类较少, 其中以 1,3-戊二烯、丙二醇、乙醇等为主; 经高温焙烤后, 挥发性风味物质的种类逐渐增加, 同时烯醇峰明显减少, 烷烃峰随之明显增多, 这是由于高温焙烤过程中导致部分烯烃类、醇类化合物或被氧化分解, 或被聚合酯化, 或直接挥发, 其中挥发性风味物质 3,6-二甲基癸烷、4-甲基辛烷、2,4-二甲基庚烷、正己烷、2-正戊基呋喃、3-呋喃甲醛仅在焙烤后检测到, 推测它们是焙烤过程中产生的, 可见烷烃类和呋喃类是月饼中起关键作用的两类挥发性

风味物质。

表6 莲蓉馅和桑叶馅月饼焙烤前后挥发性成分及相对含量

Table 6 The volatile compounds and relative content of lotus seed paste and mulberry leaf paste before and after baking

编号	保留时间/min	化合物	相对含量%			
			莲蓉馅		桑叶馅	
			烤前	烤后	烤前	烤后
1	2.045	乙醇	5.84	/	6.18	/
2	2.322	1,3-戊二烯	40.34	/	41.92	/
3	2.818	正己烷	/	7.31	/	1.36
4	3.023	乙酸乙酯	/	2.64	/	2.95
5	3.685	3-甲基丁醛	/	/	/	0.58
6	4.601	二甲基硅烷双醇	7.10	5.03	3.95	9.03
7	6.339	丙二醇	6.21	4.63	4.76	5.52
8	7.059	甲苯	0.84	/	2.39	/
9	7.989	2, 3-丁二醇	/	0.33	/	/
10	8.086	1-辛烯	/	0.64	0.65	/
11	8.451	正辛烷	/	0.69	0.79	0.98
12	8.52	正己醛	3.20	2.84	2.27	2.31
13	9.206	六甲基环三硅氧烷	1.35	1.91	1.72	1.59
14	9.328	2,4-二甲基庚烷	/	1.67	0.83	7.02
15	10.715	3-呋喃甲醛	/	0.43	/	0.57
16	11.052	4-甲基辛烷	/	0.72	/	2.50
17	12.814	苯基-甲氧基-脲类	1.16	/	/	1.52
18	16.422	八甲基环四硅氧烷	2.92	3.20	3.29	2.68
19	16.655	2-正戊基呋喃	/	2.19	/	1.49
20	18.296	d-柠檬烯	0.76	0.29	0.74	2.36
21	19.395	3,6-二甲基癸烷	/	2.72	0.56	5.69
22	23.248	十甲基环五硅氧烷	1.27	1.49	1.45	1.16
23	27.04	十二甲基环六硅氧烷	0.72	0.79	0.73	0.71

比较桑叶馅和莲蓉馅月饼检测出的相关挥发性风味物质可以发现：焙烤前，莲蓉馅和桑叶馅的各挥发组分基本相近，而桑叶馅中 2,4-二甲基庚烷和 3,6-二甲基癸烷有少量被检测到；焙烤后，二者的风味成分散发出来而被检测到，由于桑叶馅在传统莲蓉馅的基础上添加了适量桑叶粉，使得风味成分进一步增加，发现焙烤后 2,4-二甲基庚烷和 3,6-二甲基癸烷在桑叶馅中一直以较高的相对百分含量存在，且明显高于莲蓉馅，可以推测二者可能为桑叶馅月饼在加工过程中产生的特征性风味物质。

### 3 结论

3.1 通过色差比对发现，焙烤会明显导致饼皮的 L\* 值、a\* 值、b\* 值的绝对值均增大，雪皮经焙烤后色泽更加亮黄通透，桑叶皮经烘烤后绿色进一步加深定型。

比较还发现，桑叶粉的加入降低饼皮的亮度，但增加了绿色和黄色值，焙烤后导致饼皮中叶绿素损失从最初的 203.88  $\mu\text{g/g}$  降到 101.70  $\mu\text{g/g}$ ，而馅料中叶绿素仅有少量损失。

3.2 桑叶粉添加在月饼的皮料和馅料中均能明显提高月饼中总酚和总黄酮含量，经高温焙烤后虽有所损失，但相对未添加的样品仍能保留更多的活性成分。通过比较发现，高温焙烤明显降低月饼中活性成分的含量，部分样品总酚和总黄酮损失将近一半，但皮料和馅料的活性成分损失相差并不大，其原因有待进一步研究。

3.3 TPA 测试分析发现高温焙烤有利于提高月饼的硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性和回复性，而桑叶粉的添加进一步增加了其 TPA 各项参数，且桑叶粉添加在皮料中的效果更加明显。

3.4 SPME-GC-MS 比较焙烤前后挥发性成分发现：焙烤前，月饼挥发性图谱峰单一，检测到的风味物质种类较少，其中以 1,3-戊二烯、丙二醇、乙醇等为主；经高温焙烤后，挥发性风味物质的种类逐渐增加，同时烯醇峰明显减少，烷烃峰随之明显增多，其中以烷烃类和呋喃类为主。比较桑叶馅和莲蓉馅月饼的相关挥发性成分发现：桑叶馅月饼风味成分较莲蓉馅月饼丰富，其中 2,4-二甲基庚烷和 3,6-二甲基癸烷尤为明显，推测二者可能为桑叶馅月饼在加工过程中产生的特征性风味物质。

### 参考文献

- [1] 金增英,金增辉.叶类功能性食品基料的加工[J].农产品加工,2003,11:22-24  
Jin Zeng Ying, Jin Zeng Hui. Processing of Leaf Functional Food Materials [J]. Farm Products Processing, 2003, 11: 22-24
- [2] 肖更生,廖森泰.全国蚕桑资源高效综合利用发展报告[M].北京:中国农业科学技术出版社,2010  
Xiao Geng-sheng, Liao Sen-tai. Report on the Development of High Comprehensive Utilization of National Silkworm Resources [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2010
- [3] 张志良.植物生理学实验指导(第3版)[M].北京:高等教育出版社,2006  
Zhang Zhi liang. The Experimental Guide for Plant Physiology (Version 3) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006
- [4] Wellburn A R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents

- with Spectrophotometers of Different Resolution [J]. Journal of Plant Physiology, 1994, 144(3): 307-313
- [5] Singleton V L, Rossi J A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. American journal of Enology and Viticulture, 1965, 16(3): 144-158
- [6] Dewanto V, Wu X, Adom K K, et al. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity [J]. J. Agric. Food Chem., 2002, 50(10): 3010-3014
- [7] Jia Chun-li, Kim Yang Soo Kim, Huang Wei-ning, et al. Sensory and instrumental assessment of Chinese moon cake: Influences of almond flour, maltitol syrup, fat, and gums [J]. Food Research International, 2008, 41(9): 930- 936
- [8] MC Bourne. Texture profile of ripening pears [J]. Journal of Food Science, 1968, 33(2): 223-226
- [9] 李梦琴,任红涛,常志伟,等.蛋白组分与面包感官评分及 TPA 指标的相关性[J].中国粮油学报,2010,25(6):15-20  
Li Meng-qin, Ren Hong tao, Chang Zhi-wei, et al. Correlation of Flour Protein Components and Bread Sensory Evaluation [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(6): 15-20
- [10] 文波,张名位,张雁,等.广式月饼感官评分与 TPA 参数的相关性[J].中国粮油学报,2012,27(1):91-96  
Wen Bo, Zhang Ming-wei, Zhang Yan, et al. Correlation between Sensory Evaluation and TPA Parameters of Guangdong-style Moon Cake [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(1): 91-96

(下转第 203 页)