

番石榴叶提取物对无糖面包品质及抗氧化能力的影响

Effects of *Guava* leaf extract on the quality and antioxidant capacity of sugar free bread

刘瑾瑾¹ 朱思明² 陆慧玲³ 郑凯帆¹ 徐佳露¹

LIU Jin-jin¹ ZHU Si-ming² LU Hui-ling³ ZHENG Kai-fan¹ XU Jia-lu¹

(1. 广州华商职业学院酒店管理学院, 广东 广州 513000; 2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东 广州 510006; 3. 广东酒店管理职业技术学院餐饮学院, 广东 东莞 523106)

(1. School of Hotel Management, Guangzhou Huashang Vocational College, Guangzhou, Guangdong 513000, China; 2. School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006, China; 3. Catering College, Guangdong Vocational College of Hotel Management, Dongguan, Guangdong 523106, China)

摘要:目的: 开发一种无糖、抗氧化、低成本的面包。方法: 将番石榴叶提取物和新橙皮苷二氢查耳酮作为功能性配料添加到面包中, 通过检测面包的比容、质构、保水性能、自由基清除能力对其品质和抗氧化能力进行分析。结果: 番石榴提取物的添加量与面包综合品质之间不存在明显的线性关系, 但是番石榴提取物的添加量与面包的总酚含量、DPPH 自由基和羟基自由基清除率呈正相关。当番石榴叶提取物添加量为 7.5% 时, 制备出的面包综合品质最佳、感官评价达 78.6 分, 且面包总酚含量、DPPH 自由基和羟基自由基清除率能力分别提升了 85%, 70.3%, 141.7%, 面包具有较强抗氧化能力。结论: 添加番石榴叶提取物能够改善无糖面包品质, 大幅提升其抗氧化能力。

关键词: 番石榴叶; 提取物; 新橙皮苷二氢查耳酮; 面包; 品质; 抗氧化性

Abstract: Objective: In order to develop a sugar-free, antioxidant and low-cost bread. **Methods:** *Guava* leaf extract and neohesperidin dihydrochalcone were added as functional ingredients to the bread. The specific volume, texture, water retention and free radical scavenging capacity of bread were tested to analyze its quality and antioxidant capacity. **Results:** There was

no obvious linear relationship between the additive amount of the guava leaf extract and the comprehensive quality of the bread, but the additive amount of guava extract was positively correlated with the total phenolic content, DPPH⁺ and hydroxyl radical scavenging of bread. When the additive amount of the guava leaf extract was 7.5%, the comprehensive quality of the produced bread was the best. The sensory evaluation reached 78.6 points and the total phenolic content, DPPH⁺ and hydroxyl radical scavenging rate of the bread were increased to 85%, 70.3% and 141.7%, respectively. The bread had a strong antioxidant capacity. **Conclusion:** The quality and the sensory score of sugar-free bread treated with *Guava* leaf extract were increased and the antioxidant capacity has been greatly improved.

Keywords: *Guava* leaf; extract; neohesperidin dihydrochalcone; bread; quality; antioxidant capacity

面包具有营养丰富、口感好、易消化、易携带等特点, 广受人们喜爱。但是, 传统面包因含糖量高, 不利于糖尿病、心脑血管类疾病等慢性病患者长期食用。通过在面包中增加非蔗糖类、抗氧化性物质来制备无糖、抗氧化性的功能性面包, 是当前研究的热点之一。如商亚芳^[1]使用党参水提物、黄精水提物、玫瑰水提物三者混合代替白砂糖制作了一款无糖面包; 温慧颖等^[2]采用陈皮和肉桂作为功能性成分制作了一款具有抗氧化性、品质优的主食面包; 陈书明等^[3]将 1% 的杜仲粉添加至面包中, 得到了一种产品形态、色泽均好且具有一定抗氧化性的功能性面包。但上述功能性面包中有药材和刺激性较强的添

基金项目: 广东省教育厅青年创新人才项目 (编号: 2021KQNCX257)

作者简介: 刘瑾瑾, 女, 广州华商职业学院讲师, 硕士。

通信作者: 朱思明 (1976—), 男, 华南理工大学教授, 博士。

E-mail: lfszmzhu@scut.edu.cn

收稿日期: 2022-06-08 **改回日期:** 2022-09-12

加物等,可能会对面包的香味产生不良影响;同时,黄精水提物、玫瑰水提物等价格昂贵,会增加面包的制作成本。因此,开发一种原料易获取、价格低廉、抗氧化性优良、香味口感俱佳的面包对于功能性焙烤食品行业发展具有重要意义。

番石榴是岭南地区种植面广泛的一类经济作物,其叶中含有黄酮、多酚、鞣质等化学成分^[4],具有很好的降血糖、抗氧化作用^[5-6],同时也是一种价格低廉、极易获取的原材料。新橙皮苷二氢查尔酮不仅是一种高效的甜味剂(其甜度是同质量蔗糖的1 500~1 800倍),还是一种热稳定性好、降血糖、抗氧化的物质^[7],其提取自柑橘皮,具有价格低廉、极易获取的特点。番石榴提取物和新橙皮苷二氢查尔酮甜味剂在果汁饮品、医学药品中应用较多,但是在烘焙食品中的应用鲜有报道。研究拟将番石榴叶提取物和蔗糖的替代物新橙皮苷二氢查尔酮加入到面包中,通过优化现有面包制作工艺,研究番石榴提取物添加量对面包品质和抗氧化能力的影响,以期为开发功能性面包提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

橙皮苷二氢查尔酮:上海祥盛达精细化工有限公司;

番石榴叶提取物:国圣生物科技有限公司;

高筋面粉:江苏南顺食品有限公司(金像牌);

耐高糖干酵母:安琪酵母股份有限公司;

1,1-二苯基-2-苦肟基(自由基)、Folin Phenol 试剂(2N)、五倍子酸(别名:没食子酸);美国西格玛奥德里奇公司;

甲醇、无水乙醇等有机溶剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

立式和面机:B10型,旭众食品机械(广州)有限公司;

商用三层烤箱:DFL-39型,广州得宝厨房设备有限公司;

发酵箱:FJ-12C型,广州得宝厨房设备有限公司;

物性测试仪:TA-XT plus型,英国SMS公司;

双光束紫外可见分光光度计:TU-1901型,普析通用仪器(北京)有限责任公司;

冷冻干燥器:Wizard 2.0型,美国Virtis公司;

高速冷冻离心机:TGL-16MC型,长沙湘锐离心机有限公司;

数控超声仪:KQ-250DE型,昆山市超声仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 面包配方及制备方法

(1)面包的配方:以高筋面粉作为基准物,添加如下质量分数的材料:橙皮苷二氢查耳酮(0.02%)、番石榴叶提取物(0.0%,2.5%,5.0%,7.5%,10.0%)、奶粉(3.5%)、食盐(0.8%)、酵母(1%)、黄油(10%)、水(55%)。

(2)面包的制作:采用中种法^[8]。制作流程为:

称料→制作老面→主面团调制→分割→滚圆→静置→成型→醒发→烘烤→冷却

1.3.2 面包感官评定 参考GB/T 35869—2018《粮油检验 小麦粉面包烘焙品质评价》对面包进行感官品质评定。由从事该行业的经验丰富的5位男士和5位女士组成评定小组,从产品的形态(25分)、色泽(10分)、气味(15分)、口感(25分)和组织(25分)5个方面进行评分,最后计算出平均分即为产品的综合感官得分值。

1.3.3 面包基本指标检测

(1)比容:按GB/T 20981—2007《面包》执行,采用小米替代法,测定面包体积,按式(1)计算面包比容。

$$P = \frac{V}{M}, \quad (1)$$

式中:

P ——面包比容,mL/g;

V ——面包体积,mL;

M ——面包质量,g。

(2)保水性:参考段云龙等^[9]的方法,将冷却2 h后的面包存放在敞口保鲜袋中,置于室温(25℃)贮藏,分别在0,24,48,72,96,120 h时称面包质量,按式(2)计算贮藏失水量。

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (2)$$

式中:

Δm ——面包失水量,g;

m_1 ——面包初始质量,g;

m_2 ——面包贮藏不同时间后的质量,g。

(3)质构测定:参考Guarda等^[10]的方法。采用探头P/36R对厚度为75 mm的面包片进行硬度、弹性、咀嚼性和内聚性等的测定。测试参数为:触发力0.049 N;测前速度3 mm/s、测试及测后速度2 mm/s;将面包压缩至50%(2次压缩间隔5 s)。每个样品重复测定6次。

1.3.4 面包抗氧化性测定

(1)面包提取物制备:参考温慧颖等^[2]的方法。将冷冻干燥后的面包打碎,用0.425 mm孔径筛网过筛。称取过筛后的面包粉末2.5 g,溶于25 mL体积分数为80%的甲醇溶液中,在37℃水浴摇床状态下,以120 r/min速度持续振荡2 h,再用超声振荡30 min,最后以4 000 r/min离心15 min,提取清液上部分,置于4℃冷藏备用(48 h内测定)。

(2)总酚含量测定:采用福林酚法^[11]。吸取0.5 mL提取液,用蒸馏水稀释至5 mL,加入0.5 mL 2 mol/L的Folin Pheno试剂,混匀,避光5 min。再加入0.5 mL的0.2 g/mL碳酸钠溶液,充分摇匀,避光反应1 h,测定760 nm处的吸光值。结果用没食子酸当量进行换算,按式(3)计算总酚含量(mg/g)。

$$T = \frac{C \times V \times N}{m}, \quad (3)$$

式中:

T ——总酚含量, mg/g;

C ——样品中没食子酸的质量浓度, mg/mL;

V ——提取液的体积, mL;

N ——稀释倍数, 取值 10 倍;

m ——面包样品质量, g。

(3) DPPH 自由基清除率测定: 参考文献[12—13]并稍作修改。将 2 mL 样品提取液与 2 mL 0.4 mmol/L 的 DPPH⁺ 溶液充分混合, 置于常温阴凉处反应 0.5 h, 测量特定波长(517 nm)下的吸光值 $A_{\text{样品}}$ 。用 2 mL 无水乙醇来代替样品提取液, 并将其设定为空白组, 按照同样方法测量吸光值 $A_{\text{空白}}$; 用 2 mL 无水乙醇来代替 DPPH⁺ 溶液, 并将其设定为颜色对照组, 按照同样方法测量吸光值 $A_{\text{对照}}$, 按式(4)计算 DPPH 自由基清除率。

$$W_{\text{DPPH}} = \frac{A_{\text{空白}} - (A_{\text{样品}} - A_{\text{对照}})}{A_{\text{空白}}} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

W_{DPPH} ——DPPH 自由基清除率, %;

$A_{\text{样品}}$ ——样品组在 517 nm 下的吸光度;

$A_{\text{对照}}$ ——对照组在 517 nm 下的吸光度;

$A_{\text{空白}}$ ——空白组在 517 nm 下的吸光度。

(4) 羟自由基清除能力测定: 采用水杨酸测定法^[14]。取 1 mL 样品提取液, 加入 9 mmol/L 水杨酸—乙醇溶液、9 mmol/L FeSO₄ 溶液各 1 mL 后, 与 1 mL 8.8 mmol/L 双氧水溶液混合、摇匀, 置于 37 °C 温度中, 静置 15 min 后, 测量其在特定波长(510 nm)下的吸光值 $A_{\text{样品}}$ 。以蒸馏水代替样品作为空白组测得的吸光度记 $A_{\text{空白}}$; 用蒸馏水代替双氧水作为对照组, 按照同样方法测量吸光值 $A_{\text{对照}}$ 。反应条件不发生变化。

按式(5)计算羟自由基清除率。

$$W_{\text{羟自由基}} = \frac{A_{\text{空白}} - (A_{\text{样品}} - A_{\text{对照}})}{A_{\text{空白}}} \times 100\%, \quad (5)$$

式中:

$W_{\text{羟自由基}}$ ——羟自由基清除率, %;

$A_{\text{样品}}$ ——样品组在 510 nm 下的吸光度;

$A_{\text{对照}}$ ——对照组在 510 nm 下的吸光度;

$A_{\text{空白}}$ ——空白组在 510 nm 下的吸光度。

1.3.5 统计分析 采用 Origin 8.0 软件进行数据分析, 为了测量差异, 每组试验测 3 次, 结果以均值 ± 均方根偏差表示。

2 结果与分析

2.1 番石榴叶提取物对面包比容的影响

面包比容是面包体积膨胀率和持气能力的综合反映^[15]。其大小表征的是产品的外观形态及内部组织结构

状态。通常认为比容与面包体积和柔软度呈正相关, 但比容并非越大越好。

如图 1 所示, 与对照组相比, 面包比容并未随着番石榴叶提取物添加量的增加发生显著变化, 即与对照组差异不显著($P > 0.05$), 说明添加适量的番石榴叶提取物并未对酵母活性、产气能力等产生影响, 面包体积基本无变化。通过对不同添加量番石榴叶提取物制作的面包进行切片发现, 番石榴叶提取物添加量对面包的体积、内部组织状态和气孔大小无明显影响。

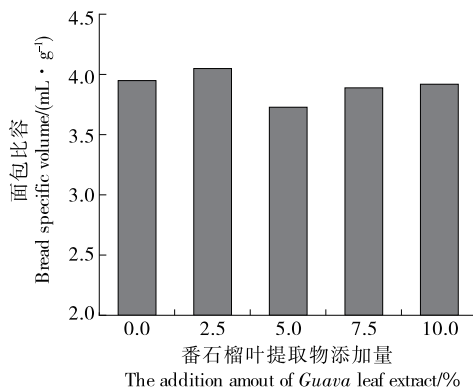


图 1 番石榴叶提取物对面包比容的影响

Figure 1 Effects of *Guava* leaf extract on the specific volume of bread

2.2 番石榴叶提取物对面包保水性的影响

面包保水能力大小反映了面包保存时抗老化能力的大小和面包口感的好坏。通过测定面包存放期间的失水量可以考察其保水能力^[16]。如图 2 所示, 面包保水性会受到番石榴叶提取物添加量的影响。经过 3 d 的贮藏后, 面包的失水量会出现急剧变化, 相比对照组, 试验组面包失水量变化明显减少, 尤其是 7.5% 番石榴叶提取物组, 其失水量在 5 d 贮藏后依然变化极少。这可能是因为适量的番石榴叶提取物加入到面团中, 酚类物质与面筋蛋白形成网状结构的同时, 羟基能与水形成氢键, 增强面筋

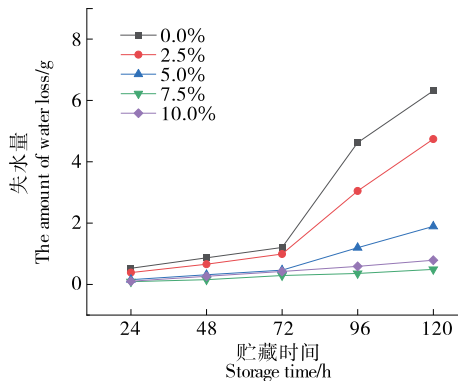


图 2 番石榴叶提取物对面包保水性的影响

Figure 2 Effects of *Guava* leaf extract on water-retention property of bread

蛋白溶胀作用,从而提高了面包的保水性,保持了面包品质。因此,添加适量番石榴叶提取物可缓解面包品质劣变,提升面包品质。

2.3 番石榴叶提取物对面包感官品质的影响

面包的外观形态、色泽、气味、内部组织和口感是评价面包感官品质的 5 个重要指标,通过感官评价可以了解面包的基本特点,还能反映消费者对产品的接受程度和喜欢程度^[17]。

由图3可知,随着番石榴叶提取物添加量的增加,面

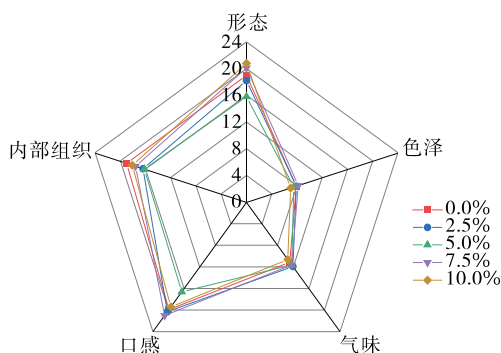
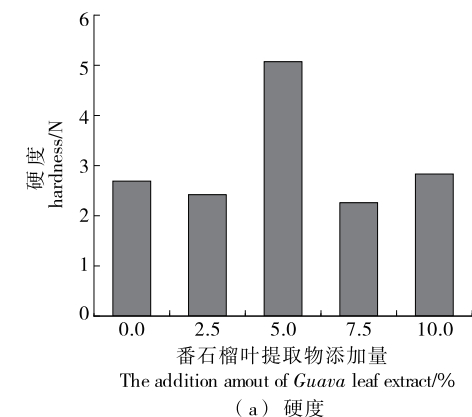
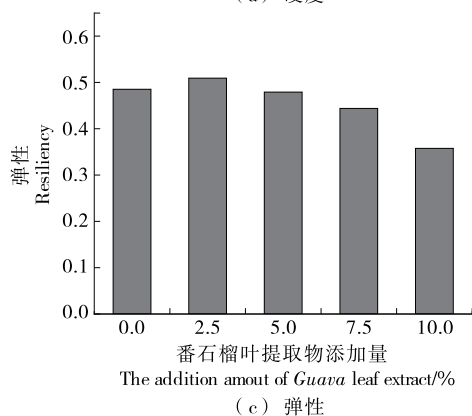


图3 番石榴叶提取物对面包感官品质的影响

Figure 3 Effects of *Guava* leaf extract on bread sensory quality



(a) 硬度



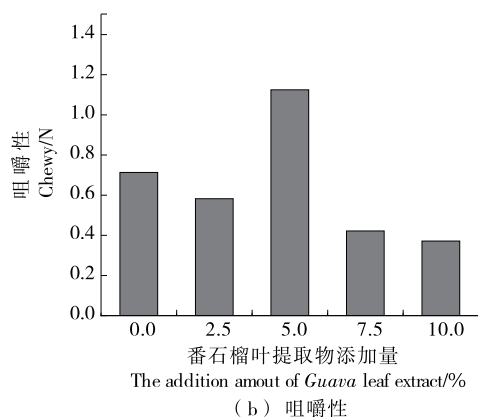
(c) 弹性

包的外表皮色泽逐渐加深,但其他感官评价指标与提取的增加量没有线性变化关系。经过综合评估发现,当番石榴叶提取物添加量为 7.5% 时,面包外形颜色较深,但其外形饱满,组织柔软,气孔大小均匀,口感适宜。

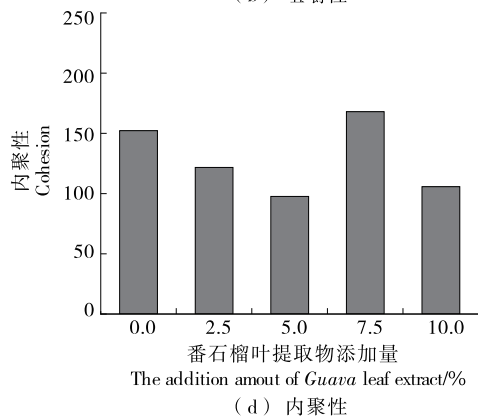
2.4 番石榴叶提取物对面包质构特性的影响

为了避免感官评价中因评价员主观因素引起的试验误差,试验还选用质构分析仪测定面包的物性参数,对样品进行客观准确的评价。由图 4(a)可知,与对照组相比,番石榴叶提取物添加量对硬度的影响呈先下降后上升再下降的趋势。与对照组相比,差异不显著($P > 0.05$),可能是由于面筋蛋白中二硫键被破坏,使其面筋强度减弱,硬度下降^[18]。硬度越小,表明面包品质越好,说明番石榴添加物对面包的品质有改善作用。由图 4(c)可知,番石榴提取物的添加量对面包的弹性影响不显著,表明番石榴提取物添加量对面包产气、持气能力影响不大。但是,由图 4(d)可知,与对照相比,番石榴提取物添加量对面包的内聚性有显著影响,当添加量为 7.5% 时,面包的内聚性最大,可能与提取物对三维面筋网格结构的形成更加紧密和完整有关。

硬度、内聚性和弹性的乘积表征了面包的咀嚼性,其受多个因素的影响,是面包品质的综合表现,其值过大过小都对面包品质产生不良影响。综合感官评价和图 4(b)



(b) 咀嚼性



(d) 内聚性

图4 番石榴叶提取物对面包质构特性的影响

Figure 4 Effects of *Guava* leaf extract on texture characteristics of bread

可知,添加适量番石榴叶提取物可改善面包的咀嚼性,尤其是当添加量为 7.5% 时,对面包质构的综合特性改善最大,面包品质也最好,这可能与提取物中酚羟基和面粉中氨基发生了新的化学交联反应和非共价作用有关。两种物质的交联和非共价作用会使面包内部组织更加致密,对提升面筋劲道有强化作用,进而可改善面包的综合特性,提升面包品质。

2.5 面包总酚含量

酚类物质含量高低直接影响面包的抗氧化能力。如图 5 所示,与对照组相比,试验组面包中总酚含量随着番石榴叶提取物添加量的增加而显著增加($P < 0.05$),两者之间呈良好的正相关趋势。当添加量为 10% 时,总酚含量为对照组的 1.9 倍,表明经高温烘烤后,面包中来源于番石榴叶提取物的多酚类物质仍保留很高含量,并未被完全破坏,而对照组仍然具有一定的抗氧化性,可能与面粉存在内源酚类化合物以及新橙皮苷二氢查尔酮的抗氧化性有关。

2.6 番石榴叶提取物对面包抗氧化性的影响

如图 6 所示,与对照组相比,试验组面包抗氧化能力

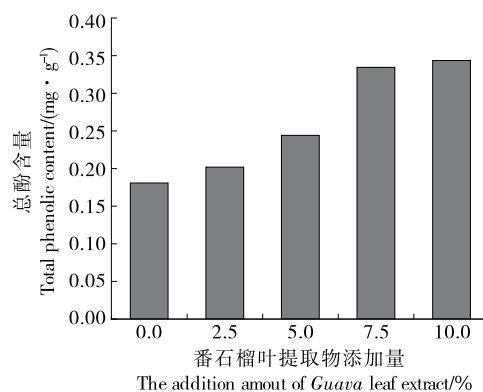
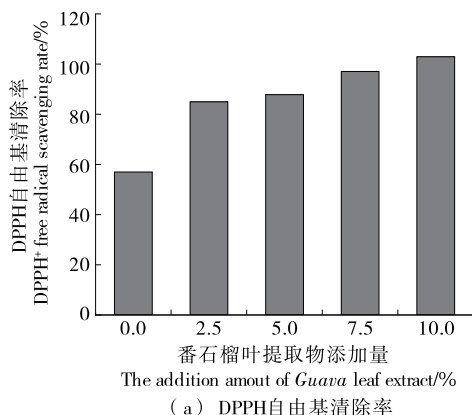


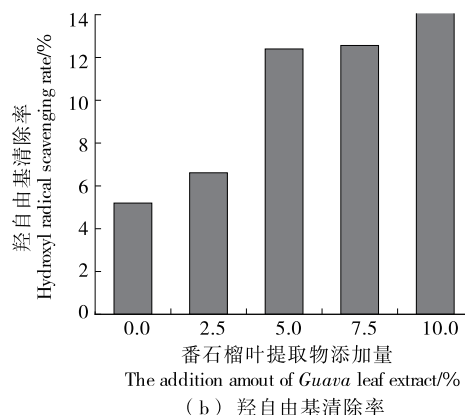
图 5 番石榴叶提取物对面包总酚含量的影响

Figure 5 Effects of *Guava* leaf extract on the total phenol content of bread

随着番石榴叶提取物添加量增加而显著提高($P < 0.05$)。在添加量为 7.5% 时,DPPH 自由基和羟自由基清除率分别比对照组增加了 70.3%,141.7%。可见经过高温烘烤后,面包中抗氧化性多酚物质仍有较强抗氧化能力,说明番石榴叶提取物中的多酚类物质对自由基清除能力强,且抗氧化活性与多酚含量呈一定正相关性。



(a) DPPH 自由基清除率



(b) 羟自由基清除率

图 6 番石榴叶提取物对面包抗氧化能力的影响

Figure 6 Effects of *Guava* leaf extract on antioxidant capacity of bread

3 结论

研究表明:① 通过优化面包工艺,新橙皮苷二氢查尔酮及番石榴叶提取物可成功应用于面包中,制作出品质优良的面包;② 当番石榴提取物添加量为 7.5% 时,面包品质优良,感官评价最高达 78.6 分,且总酚含量、DPPH 自由基和羟自由基清除能力分别提升了 85%,70.3%,141.7%,制作的面包具有较强的抗氧化性能。后续还会对此面包的降糖效果进行深入研究,为新橙皮苷二氢查尔酮及番石榴叶提取物在烘焙食品中应用,提供更加全面的研究成果。

参考文献

[1] 商亚芳. 一种代替白砂糖制作面包的药食同源中草药配方:

202110710387.X[P]. 2021-10-15.

SHANG Y F. A kind of Chinese herbal medicine formula for making bread instead of white granulated sugar: 202110710387.X[P]. 2021-10-15.

[2] 温慧颖, 于洪梅, 毛春玲, 等. 肉桂—陈皮粉对主食面包贮藏品质及抗氧化性的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(4): 68-73, 78.

WEN H Y, YU H M, MAO C L, et al. Effect of Cortex Cinnamomi-Pericarpium Citri Reticulatae powder on storage quality and antioxidant properties of staple food bread[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(4): 68-73, 78.

[3] 陈书明, 刘明娣, 陈玮, 等. 超微杜仲粉对面包品质的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2021, 42(5): 88-92.

CHEN S M, LIU M D, CHEN W, et al. Effect of ultrafine Eucommia ulmoides powder on bread quality[J]. Journal of Henan

- University of Science and Technology (Natural Science), 2021, 42 (5): 88-92.
- [4] 赵玉静, 李建宽, 张鑫, 等. 番石榴叶黄酮类化学成分及其抗氧化活性研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(4): 760-765.
- ZHAO Y J, LI J K, ZHANG X, et al. Studies on Flavonoids from guava leaves and their antioxidant activities[J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2018, 43(4): 760-765.
- [5] 徐金瑞, 候方丽, 黄建蓉, 等. 番石榴叶多酚的提取及其抗氧化作用研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(23): 38-41, 55.
- XU J R, HOU F L, HUANG J R, et al. Study on Extraction of polyphenols from guava leaves and their antioxidation[J]. Food Research and Development, 2016, 37(23): 38-41, 55.
- [6] 庄远杯, 魏爱红, 陈堪彬, 等. 番石榴不同部位乙醇提取物的抗氧化、降血糖及酪氨酸酶抑制活性[J]. 食品工业科技, 2022, 43 (8): 365-371.
- ZHUANG Y B, WEI A H, CHEN K B, et al. Antioxidant, hypoglycemic and tyrosinase inhibitory activities of ethanol extracts from different parts of guava[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(8): 365-371.
- [7] 王雪, 乔博, 张健鑫, 等. 黄酮类化合物的应用研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(4): 159-163.
- WANG X, QIAO B, ZHANG J X, et al. Research progress in the application of flavonoids[J]. China Food Additives, 2020, 31(4): 159-163.
- [8] 林娟娟, 李张红, 林建城, 等. 紫甘蓝吐司的配方优化及其质构特性研究[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 115-119, 126.
- LIN J J, LI Z H, LIN J C, et al. Study on formula optimization and texture characteristics of purple cabbage toast[J]. Preservation and Processing, 2020, 20(1): 115-119, 126.
- [9] 段云龙, 梁毅, 李冰, 等. 茶多酚对面包品质及面包酚类物质抗氧化能力的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 137-142.
- DUAN Y L, LIANG Y, LI B, et al. Effect of tea polyphenols on the bread quality and polyphenols antioxidant activity[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(8): 137-142.
- [10] GUARDA A, ROSELL C M, BENEDITO C, et al. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents[J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(2): 241-247.
- [11] LACHMAN J, HAMOUZ K, ORASK M, et al. The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 117 (2): 109-114.
- [12] KIM D O, JEONG S W, LEE C Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums[J]. Food Chemistry, 2003, 81(3): 321-326.
- [13] 代雅杰, 黑雪, 邓莉梅, 等. 橘皮粉对面包烘焙品质及其酚类物质抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 154-158.
- DAI Y J, HEI X, DENG L M, et al. Effect of flavedo powder on the bread baking quality and poly phenols antioxidant activity[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(4): 154-158.
- [14] 马荣琨, 张中义. 蒜薹山药复合营养面包的研制[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(13): 145-150.
- MA R K, ZHANG Z Y. Development of composite nutritious bread with garlic scape and yam[J]. Food Research and development, 2021, 42(13): 145-150.
- [15] HAGER A S, ARENDT E K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 195-203.
- [16] 段云龙. 茶叶提取物对面包品质影响及其抗氧化能力研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016: 48-49.
- DUAN Y L. Effect of tea extracts on the bread quality and polyphenols antioxidant activity [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016: 48-49.
- [17] 卢洁. 复配功能糖对面包品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2022: 21-33.
- LU J. Effect of compound functional sugar on bread quality[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022: 31-33.
- [18] ZHANG L, CHENG L B, JIANG L J, et al. Effects of tannic acid on gluten protein structure, dough properties and bread quality of Chinese wheat[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(14): 2 462-2 468.
- [20] BELGACEM I, SCHENA L, TEIXIDÓ N, et al. Effectiveness of a pomegranate peel extract (PGE) in reducing *Listeria monocytogenes* in vitro and on fresh-cut pear, apple and melon[J]. European Food Research and Technology, 2020, 246(1): 1-8.
- [21] PANGALLO S, NICOSIA M, SCIBETTA S, et al. Pre-and postharvest applications of a pomegranate peel extract to control citrus fruit decay during storage and shelf life[J]. Plant Disease, 2020, 105 (4): 1-22.
- [22] MANUEL C, SOLER G, IGLESIAS D J, et al. Global analysis of gene expression during development and ripening of citrus fruit flesh: A proposed mechanism for citric acid utilization[J]. Plant Molecular Biology, 2006, 62(4/5): 513-527.

(上接第 150 页)

- [17] 李果果, 欧智涛, 陈东奎, 等. 沃柑低温环境贮藏的品质变化分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(17): 219-221.
- LI G G, OU Z T, CHEN D K, et al. Analysis of quality changes of low-temperature environment storage of Orach[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(17): 219-221.
- [18] PÉREZ A G, SANZ C, RIOS J J, et al. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(4): 1 652-1 656.
- [19] LI M J, MA F W, LIANG D, et al. Ascorbate biosynthesis during early fruit development is the main reason for its accumulation in kiwi[J]. PLoS One, 2010, 5(12): 1-14.