

孔艳秋, 黄亚琴, 李清苗, 等. 莓茶粉对面包品质及其抗氧化特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 38–45. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050079

KONG Yanqiu, HUANG Yaqin, LI Qingmiao, et al. Effects of Vine Tea (*Ampelopsis grossedentata*) Powder on Bread Quality and Its Antioxidant Properties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 38–45. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050079

· 研究与探讨 ·

莓茶粉对面包品质及其抗氧化特性的影响

孔艳秋¹, 黄亚琴¹, 李清苗¹, 邹赵婕¹, 苏小军^{1,2}, 王 锋^{1,2}, 李清明^{1,2,*}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128;

2. 湖南省发酵食品工程技术研究中心, 湖南长沙 410128)

摘要: 为探究莓茶(显齿蛇葡萄)粉对面包品质及抗氧化能力的影响, 通过添加莓茶粉部分替代小麦粉(0%~5%)用于制作面包, 测定了莓茶面包的感官品质、质构特性、内部结构及抗氧化能力。研究发现与对照组相比, 1%添加量的莓茶面包咀嚼性、弹性变化不显著($P>0.05$), 面包品质较好, 随添加量增加, 莓茶面包的品质下降明显; 扫描电镜(SEM)结果表明, 1%添加量时, 面包内部结构完整, 气孔边缘光滑, 但随添加量增加, 莓茶面包内部结构遭到破坏, 面包品质下降; 抗氧化结果表明, 随着莓茶粉添加量的增加, 面包的多酚、黄酮、二氢杨梅素(DHM)、杨梅苷、杨梅素含量和抗氧化能力显著提高($P<0.05$)。总的来说, 添加1%莓茶粉可保证面包的品质, 同时提高面包的抗氧化能力, 为今后莓茶面包的发展提供了理论依据。

关键词: 莓茶粉, 面包, 抗氧化能力, 品质

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)07-0038-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050079



本文网刊:

Effects of Vine Tea (*Ampelopsis grossedentata*) Powder on Bread Quality and Its Antioxidant Properties

KONG Yanqiu¹, HUANG Yaqin¹, LI Qingmiao¹, ZOU Zhaojie¹, SU Xiaojun^{1,2}, WANG Feng^{1,2}, LI Qingming^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Hunan Fermented Food Engineering Technology Research Center, Changsha 410128, China)

Abstract: Impacts of wheat flour substituted with varying levels of vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) powder (from 0% to 5%) on the sensory quality, texture properties, internal structure and antioxidant properties of bread were investigated. Compared with white bread, the chewiness and springness of bread with 1% berry tea did not change significantly ($P>0.05$), and its quality was great. However, the quality of berry tea bread decreased significantly as the proportion of vine tea powder increased. Scanning electron microscope (SEM) results indicated that the internal structure of bread was intact and the edge of pores was smooth when the addition amount was 1%, but with the increase of the addition amount, the internal structure of vine tea bread was destroyed and the quality of bread decreased. The antioxidant results showed that the contents of polyphenols, flavonoids, dihydromyricetin (DHM), myricitrin, myricetin and antioxidant properties of bread increased significantly ($P<0.05$) with the increase in the proportion of vine tea powder. Overall, 1% of vine tea powder can ensure the quality and improve the antioxidant properties of bread, which provides a theoretical basis for the subsequent processing application of vine tea powder in bread.

Key words: vine tea powder; bread; antioxidant capacity; quality

莓茶, 又名藤茶、茅岩莓, 学名显齿蛇葡萄 (*Ampelopsis grossedentata*)^[1-2], 在我国湖南、湖北、

广东、贵州等地具有悠久的种植和食用历史。莓茶富含多酚、黄酮等多种生物活性成分, 性凉、味甘淡,

收稿日期: 2022-05-09

基金项目: 长沙市科技计划项目(kh2005121), 功能性面包新产品开发与关键技术研究。

作者简介: 孔艳秋(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: kqjux@163.com。

* 通信作者: 李清明(1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品深加工, E-mail: lqm@hunau.edu.cn。

具有清热解毒、利湿消肿等功效,可用于治疗咽喉肿痛、感冒发热、湿疹等^[3-6]。莓茶不含咖啡因,契合现代保健茶理念^[7-8]。2013 年 12 月莓茶被批准为新食品原料,随后又被列入我国药食同源目录中,其应用范围不断得到拓展。

面包,深受消费者喜爱。传统面包缺乏生物活性物质^[9],将富含多酚等活性成分的原料添加到面包中,能满足消费者对健康食品日益增长的需求。如在面包中添加柿粉^[10]、青咖啡豆粉^[11]、槲皮素^[12]、莲原花青素^[13]、超微茶粉^[14]、荞麦^[15]等,增加面包中多酚含量,提高产品抗氧化性。Ma 等^[16]研究发现,面包中添加莓茶提取物和二氢杨梅素(dihydromyricetin, DHM)能够抑制丙烯酰胺的生成。以莓茶粉部分替代小麦粉制作面包,能赋予面包更好的健康属性,但关于添加莓茶粉如何影响面团特性、面包品质及其抗氧化活性等方面的研究鲜见报道。

本研究以莓茶粉为原料部分替代小麦粉,考察莓茶粉对面包品质和抗氧化特性的影响,为加强莓茶资源的开发和利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

莓茶 湖南永顺县红颐农业科技发展有限公司(粉碎,过 40 目筛;多酚、黄酮、DHM、杨梅苷、杨梅素含量分别为 133.39 mg GAE/g、288.21 mg/g、166.03 mg/g、1.01 mg/g、1.06 mg/g);天优高筋小麦粉 东莞穗丰粮食集团有限公司;白砂糖、高活性酵母、面包改良剂、盐、油、奶粉和鸡蛋 均为市售;二氢杨梅素标准品、没食子酸标准品、葡萄糖标准品 北京索莱宝科技有限公司;2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ)、1,1-二苯基-2-苦肼(DPPH)、2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS) 上海源叶生物科技有限公司;其余试剂均购于国药集团化学试剂有限公司。

SEC-3Y 烤箱、SP-360 醒发箱 三麦机械有限公司;TA. XT.plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司;CR-400 手持色差计 柯尼卡美能达公司;PD 真空冷冻干燥机 上海拓纷机械设备有限公司;全自动液氮冷冻研磨机(JXFSTPRP-II-01) 上海净信实业发展有限公司;V-5000 可见分光光度计 上海元析仪器有限公司;ML-6C 冠亚快速水分测定仪 深圳市冠亚技术科技有限公司;MICRO 21 R 离心机 美国 Thermo Fisher 公司;2695 高效液相色谱仪 美国 Waters 公司

1.2 实验方法

1.2.1 莓茶面包制作 添加不同量莓茶粉的面包基础配方(共 184.8 g):莓茶粉-小麦混合粉共 100 g(莓茶粉在混合粉中占比分别为 0%、1%、2%、3%、4%、5%)、面包改良剂 0.5 g、酵母 1.3 g、白砂糖 16.5 g、盐 1 g、鸡蛋 8.5 g、奶粉 4 g、油 10.5 g、水 42.5 g。

面包的制作流程:和面→发酵→排气、整形→醒

发→烘焙(上火:170 ℃,下火:190 ℃,10 min),具体操作如下:

- a. 和面:原料充分混合,倒入和面机中,和面 20 min;
- b. 发酵:将面团置于醒发箱中,温度 38 ℃、湿度 80%,醒发 2 h,面团体积约膨胀为原体积的 2 倍;
- c. 整形与醒发:将发酵好的面团排气整形后,放回醒发箱中二次醒发 1 h;
- d. 烘焙:在上火温度 170 ℃,下火温度 190 ℃条件下,将发酵后的面团焙烤 10 min。

面包冷却后测定面包比容、色泽、质构、内部纹理和感官评价,另取部分面包样品采用真空冷冻干燥后包装置于干燥器中,用于测定活性成分含量及抗氧化能力。

1.2.2 莓茶面包品质测定 色泽测定参考李燕^[17]的方法:面包室温冷却后,切成约 15 mm 的面包片,取样品中间部分进行试验,利用 CR-400 色彩色差计测定,测定 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值,以计算总色差 $\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$ 。

比容测定参考 GB/T 20981-2007 中莱籽替换法。

质构特性测定参考李燕^[17]的方法:面包室温冷却 2 h 后,切成约 15 mm 厚的面包片,取样品中间部分进行测试。测定条件:采用 TPA 模式,选取 P/36R 探头,测试前速率为 2.0 mm/s,测试速度为 1.0 mm/s,测试后速率为 1.0 mm/s,压缩比例为 70%,感应力 5 g。

感官评价参考 GB/T 20981-2007 面包烘焙品质评分标准。面包室温下冷却 2 h 后进行感官评价,由 15 名嗅觉、味觉灵敏并且有一定经验的测评人员来执行,总分为 100 分,感官评分标准见表 1。

表 1 感官评价表
Table 1 Sensory evaluation scale

项目	分值(分)	评判标准
外观形态	20	16~20: 表皮完整,外形饱满,比容符合要求,无黑泡
		11~15: 表皮略有褶皱,比容偏小,有少量黑泡
		5~10: 表皮有缺损,塌陷,比容小,黑泡体积大数量多
表面色泽	20	16~20: 淡绿色,色泽均匀,表皮无焦黑
		11~15: 淡绿色,色泽不均匀,表皮轻微焦黑
		5~10: 不呈淡绿色,表皮焦黑
组织	20	16~20: 有弹性,气孔呈海绵状,切片后内部组织清晰、无掉渣
		11~15: 有弹性,气孔大小不一,切片后轻微掉渣
		5~10: 无弹性,组织疏松,切片后掉渣明显
气味	20	16~20: 烘烤后,具有面包独特的香味,莓茶香味适宜
		11~15: 烘烤后,面包香味与莓茶香味较淡
		5~10: 烘烤后,面包香味较淡,无明显莓茶香味
口感	20	16~20: 松软,咀嚼后不黏牙,莓茶苦涩感适中
		11~15: 口感偏硬,咀嚼后轻微黏牙,莓茶苦涩感较强
		5~10: 口感发硬发苦,黏牙、发苦发涩

1.2.3 莓茶面包内部纹理结构分析 气孔分析参考李燕^[17]的方法新鲜面包冷却 2 h 后切成厚度为 15 mm 薄片,使用佳能 6D 数码相机采集照片并用 Image pro plus 6 软件对图像进行气孔分析。

扫描电镜(SEM)参考李燕^[17]的方法冷却 2 h 后

的面包真空冷冻干燥后切成 1 mm 薄片,表面喷金处理后于扫描电子显微镜下放大 30 倍观察切面结构。

1.2.4 莓茶面包活性成分及抗氧化能力测定

1.2.4.1 莓茶、莓茶面包活性成分测定 提取液制备:称取 5.000 g 莓茶粉/冻干面包粉于 250 mL 的锥形瓶内,料液比 1:10(g/mL),80% 乙醇超声提取 30 min,离心(5000 r/min、15 min),重复上述过程 3 次,合并上清液,于旋转蒸发仪中蒸发浓缩后将样液置于 25 mL 容量瓶中,用 80% 的乙醇定容至刻度,摇匀,得到质量浓度为 200 mg/mL 的母液,分别将上述母液稀释至不同浓度梯度,作为样品反应液,测定活性成分含量和抗氧化能力。

a. 多酚:参考李燕^[17]的方法做以下修改,取 1 mL 样液于 25 mL 的比色管中,加入 0.5 mL 福林酚后于暗处避光反应 3 min,加入 7.5% 的碳酸钠溶液 2 mL,定容至 10 mL,混匀后于暗处避光反应 1 h,反应结束后于 760 nm 处测定吸光值。以没食子酸为标准物质,没食子酸含量为横坐标,吸光值 A 为纵坐标,绘得标准曲线方程: $y=12.526x-0.02(R^2=0.9995)$ 用于计算多酚含量。

b. 黄酮:参考秦亚茹等^[18]的方法,取 2 mL 样液于 25 mL 的比色管中,加入 0.30 mL 5% 的 NaNO_2 溶液摇匀,放置 6 min 后加入 0.30 mL 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液摇匀,放置 6 min 后加入 4 mL 4% 的 NaOH 溶液,混匀后蒸馏水定容至 10 mL,于 290 nm 处测定吸光值。以二氢杨梅素为标准物质,二氢杨梅素含量为横坐标,吸光值 A 为纵坐标,绘得标准曲线方程: $y=5.3943x-0.024(R^2=0.9972)$ 用于计算黄酮含量。

c. DHM:参照《中国药典》2005 年版一部附录 VI D 的方法,色谱条件为 0.1% 磷酸-甲醇(70:30)为流动相,检测波长为 290 nm,流速 1.0 mL/min,检测柱温 30 °C,进样量 10 μL 。DHM 为标准物质,浓度为横坐标,峰面积为纵坐标绘制标准曲线方程: $y=30000000x+109298(R^2=0.9943)$ 用于计算 DHM。

d. 杨梅苷、杨梅素:参考许明等^[19]的方法测定,色谱条件:色谱柱:Zorbax SB-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm,5 μm);流动相:甲醇(A)-0.1% 磷酸(B),梯度洗脱:0~10 min,A-B 比例为 30:70;11~15 min,A-B 比例为 40:60;16~30 min,A-B 比例为 45:55。检测波长 360 nm,流速 1.0 mL/min,柱温 30 °C,进样量 10 μL 。分别以杨梅苷、杨梅素标准品浓度为横坐标,峰面积为纵坐标绘得标准曲线方程 $y=20000000x-195636(R^2=0.9931)$ 、 $y=40000000x-449463(R^2=0.9928)$ 用于计算杨梅苷、杨梅素。

1.2.4.2 莓茶面包 DPPH 自由基清除能力测定 提取液按照 1.2.4.1 制备,参考李燕^[17]的方法并做修改:样品组 A_S:0.5 mL 样液+70 $\mu\text{mol/L}$ DPPH 工作液 5.5 mL,摇匀,避光反应 30 min,待测;对照组 A_C:80% 的乙醇 0.5 mL+DPPH 工作液 5.5 mL;以 V_C 为阳性对照,80% 乙醇调零,于 517 nm 测吸光值。根

据以下公式计算 DPPH 自由基清除率:

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%) = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100$$

1.2.4.3 莓茶面包 ABTS⁺清除能力测定 提取液按照 1.2.4.1 制备,参照 Cheng 等^[20]的方法修改如下:样品组 A_S:0.3 mL 样液+7 mmol/L ABTS 工作液 3.0 mL,摇匀,避光反应 10 min;对照组 A_C:80% 的乙醇 0.3 mL+ABTS 工作液 3.0 mL 摇匀待测;以 V_C 为阳性对照,80% 乙醇调零,于 734 nm 测吸光值。根据以下公式计算 ABTS⁺清除率:

$$\text{ABTS}^+\text{清除率}(\%) = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100$$

1.2.4.4 莓茶面包·OH 清除能力测定 提取液按照 1.2.4.1 制备,参照金鸣等^[21]的羟自由基测定方法:样品组 A_S:0.75 mmol/L 邻二氮菲 1 mL+0.75 mmol/L FeSO_4 1 mL+0.2 mol/L pH7.4 的 PBS 缓冲液 1 mL+样液 0.5 mL+0.5 mL 0.01% 的 H_2O_2 于 10 mL 比色管,定容至 5 mL,于 37 °C 水浴锅保温 60 min,待测。A₁:0.5 mL 80% 的乙醇代替样品, A_C:0.5 mL 80% 的乙醇代替样品,0.5 mL 蒸馏水代替 0.01% 的 H_2O_2 。以 V_C 为阳性对照,1 mL PBS 定容到 5 mL 做空白,于 536 nm 测吸光值。根据以下公式计算·OH 清除率:

$$\text{·OH清除率}(\%) = \frac{A_s - A_c}{A_1 - A_c} \times 100$$

1.2.4.5 莓茶面包 FRAP 抗氧化能力测定 提取液按照 1.2.4.1 制备,参照 Zhao 等^[22]的方法修改如下:取 0.3 mL 样液+2.7 mL、37 °C 预热的 FRAP 工作液(pH3.6(0.3 mol/L)的醋酸缓冲溶液、10 mmol/L 的 TPTZ 溶液和 20 mmol/L 三氯化铁溶液以 10:1:1 (v:v:v)混合),摇匀,避光 37 °C 水浴 10 min,待测, V_C 为阳性对照,于 593 nm 测吸光值。以七水合硫酸亚铁为标准物质,所测的吸光度与对应的七水合硫酸亚铁含量绘制为横坐标,吸光值 A 为纵坐标,绘得标准曲线方程: $y=1.9729x+0.0714(R^2=0.9998)$,用于计算 FRAP 抗氧化能力。

1.3 数据处理

所有试验均重复 3 次,试验结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 Origin 2018 软件绘图,采用 SPSS 26 进行单因素方差分析、Duncan 法进行多重比较、Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 莓茶粉对面包品质的影响

色泽直接影响消费者对面包的接受程度,面包的色泽结果由表 2 可以看出,与未添加莓茶粉的面包对比,添加莓茶粉后面包芯的 ΔE 增大。由图 1(A、B)可以看出,添加莓茶粉后,面包亮度降低,且逐渐变绿,这是由于莓茶粉原色为绿色,添加后使面包呈现淡绿色。如表 2、图 1(A)所示,随莓茶粉添

表 2 不同莓茶粉添加量对面包品质的影响
Table 2 Effects of different addition of vine tea powder on bread quality

莓茶粉添加量(%)	0	1	2	3	4	5
ΔE	24.68±0.45 ^e	30.07±0.61 ^d	33.85±0.36 ^c	36.09±1.38 ^b	39.20±0.64 ^a	39.18±1.22 ^a
比容(mL/g)	3.24±0.02 ^a	3.19±0.03 ^b	3.04±0.00 ^c	2.87±0.01 ^d	2.80±0.02 ^e	2.68±0.01 ^f
硬度(g)	1239.17±20.56 ^e	1394.17±144.76 ^d	1562.76±55.13 ^c	1657.42±45.63 ^{bc}	1735.93±20.87 ^b	2043.26±81.14 ^a
弹性	0.92±0.00 ^a	0.92±0.00 ^a	0.90±0.01 ^b	0.90±0.00 ^b	0.87±0.01 ^c	0.88±0.00 ^c
咀嚼性	736.38±10.12 ^e	810.64±75.88 ^{bc}	880.45±27.48 ^b	805.59±79.77 ^{bc}	878.95±20.26 ^b	1079.40±26.87 ^a
感官评价总分(分)	79.18±1.01 ^a	74.47±0.59 ^b	74.74±0.25 ^b	73.74±0.65 ^{bc}	74.23±0.64 ^{bc}	73.47±0.72 ^c

注: 同行不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。

加量的增加, 面包比容显著降低($P<0.05$), 当添加量达到 5% 时比容降低幅度达 17.28%。原因有两方面: 一是莓茶中具有还原性的多酚类物质还原了面筋网络结构中的-S-S-; 二是自由水重排改变面筋蛋白中的有序结构, 导致面筋蛋白的稳定性降低^[23-24]。二者共同作用阻碍了面筋网络结构的形成, 面团持气能力下降, 导致面包比容降低。

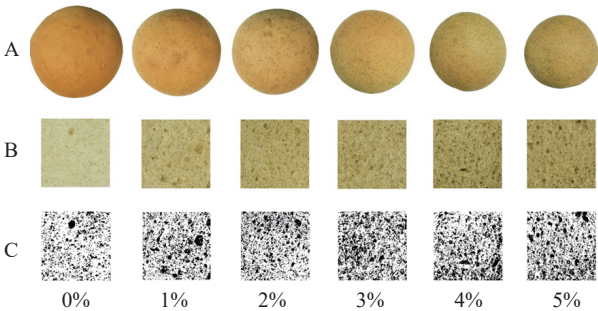


图 1 不同莓茶粉添加量对面包品质和内部结构的影响

Fig.1 Effects of different addition of vine tea powder on the appearance and internal structure of bread

注: A: 不同添加量莓茶面包外观; B: 不同添加量莓茶面包芯截面; C: 不同添加量面包内外纹理。

面包的质构特性与其品质息息相关, 由表 2 可知, 与对照组相比, 添加量大于 1% 的莓茶面包硬度、咀嚼性增大, 弹性降低, 面包体积小且硬, 适口感变差、面包感官品质下降。莓茶面包中多酚类物质的存在, 影响面筋网络结构的形成, 面团产气、持气能力变差, 导致面包硬度、咀嚼性增大^[25]。研究表明多酚类物质会显著影响面包的质构特性, 如面粉中添加富含酚类物质的藜麦叶^[26]、芹菜粉^[27]等会导致面包硬度增大、弹性降低, 口感变差。与之类似, 莓茶的添加也会不同程度的影响面包的感官品质, 当莓茶粉添加量大于 1% 并且随添加量增加, 面包体积减

小, 外观形态变差, 气孔变得密而小, 组织紧密, 面包变硬, 苦涩味加重, 口感变差。同时面包莓茶风味愈加浓郁, 呈现莓茶的淡绿色, 就整体而言, 不同添加量的莓茶面包都在感官评价员可接受的程度内。

2.2 莓茶粉对面包内部纹理结构的影响

面包松软的口感取决于面包的内部气孔大小及数量, 利用 Image J 对图 1(B) 进行分析, 结果见表 3 和图 1(C)。由表 3 和图 1(C) 可知, 与对照组相比, 随着莓茶粉添加量的增大, 面包芯气孔数量显著增加($P<0.05$), 平均气孔面积显著下降($P<0.05$), 气孔变得小且密集。

为进一步研究面包品质与内部结构的关系, 利用 SEM 对面包芯进行了结构表征, 结果见图 2。与对照组相似, 1% 的莓茶面包内部气孔较完整, 破裂少, 边缘光滑。但随添加量增加, 气孔变小, 更密集, 边缘变得粗糙。其原因是添加少量莓茶粉的面团内部面筋蛋白与氢键结合从而增大了面筋蛋白的内部交联作用, 有利于面包形成完整的组织结构。而随着莓茶粉添加量的增加, 多酚类物质含量增加, 多酚类物质还原了-S-S-, 影响面筋蛋白网络结构的形成, 面团发泡性降低, 导致面包组织结构变差^[25]。刘滔^[10]在面包中添加富含单宁的柿粉, 也得到了类似的现象, 最初添加量较低时面包组织结构得到改善, 但随着添加量增加, 面包组织结构受到不同程度破坏。

2.3 莓茶粉对面包抗氧化能力的影响

2.3.1 莓茶粉对面包中活性成分的影响 测定了莓茶对面包中活性成分、抗氧化能力和 IC_{50} 值, 结果见表 4 和图 3。由表 4 可知, 莓茶面包中的 5 种活性成分含量随莓茶添加量而增加, 其中多酚、黄酮、DHM、杨梅苷、杨梅素含量在不同莓茶粉添加量之间具有显著差异($P<0.05$); 而面包中活性成分与原料中的活性成分不成比例关系的原因可能是面粉中内

表 3 不同莓茶粉添加量对面包芯气孔的影响
Table 3 Effects of different addition of vine tea powder on stomata of bread core

莓茶粉添加量(%)	0	1	2	3	4	5
气孔数量(1/cm ²)	335.50±2.12 ^d	431.00±0.00 ^c	569.50±2.12 ^a	537.00±1.41 ^b	539.50±0.71 ^b	540.00±2.83 ^b
气孔面积(%)	24.49±0.14 ^a	21.51±0.13 ^b	21.28±0.41 ^b	19.94±0.37 ^c	20.41±0.02 ^c	20.34±0.01 ^c
气孔平均面积(mm ²)	0.07±0.00 ^a	0.05±0.00 ^b	0.04±0.00 ^c	0.04±0.00 ^c	0.04±0.00 ^c	0.04±0.00 ^c

注: 同行不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。

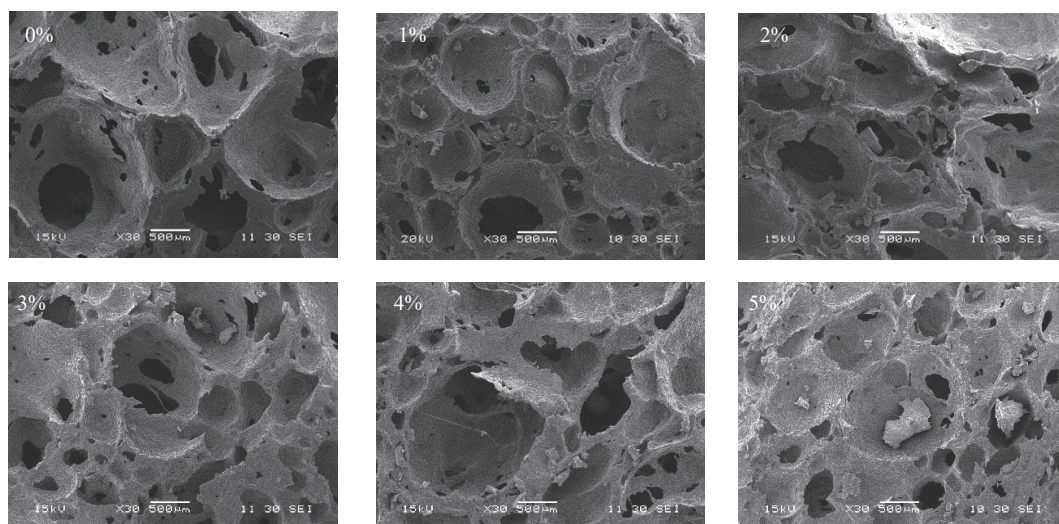


图2 不同莓茶粉添加量对面包微观结构的影响(30×)

Fig.2 Effects of different addition of vine tea powder on microstructure of bread (30×)

表4 不同莓茶粉添加量对面包中的生物活性成分和 IC₅₀ 值的影响Table 4 Effects of different addition of vine tea powder on bioactive ingredients and IC₅₀ values in bread

莓茶粉添加量(%)	0	1	2	3	4	5
多酚(mg GAE/g)	0.51±0.01 ^f	3.65±0.12 ^c	5.99±0.02 ^d	7.03±0.17 ^c	9.72±0.04 ^b	11.06±0.21 ^a
黄酮(mg/g)	8.02±0.02 ^f	29.20±0.12 ^c	32.38±0.04 ^d	40.18±0.05 ^c	45.74±0.06 ^b	51.23±0.06 ^a
DHM(mg/g)	0.00±0.00 ^f	0.13±0.01 ^c	0.30±0.00 ^d	0.52±0.00 ^c	0.94±0.02 ^b	1.12±0.00 ^a
杨梅苷(mg/g)	0.085±0.010 ^f	0.087±0.002 ^c	0.088±0.001 ^d	0.091±0.001 ^c	0.093±0.012 ^b	0.095±0.002 ^a
杨梅素(mg/g)	0.097±0.002 ^c	0.098±0.001 ^d	0.098±0.002 ^d	0.099±0.000 ^c	0.100±0.023 ^b	0.101±0.002 ^a
DPPH·-IC ₅₀ (mg/mL)	181.57±3.10 ^a	10.81±0.90 ^b	5.16±0.16 ^c	3.05±0.25 ^{cd}	2.85±0.20 ^{cd}	1.81±0.44 ^d
ABTS ⁺ ·-IC ₅₀ (mg/mL)	52.41±0.31 ^a	4.20±0.04 ^b	2.44±0.02 ^c	1.67±0.00 ^d	1.19±0.01 ^e	1.08±0.01 ^f
FRAP-IC ₅₀ (mg/mL)	174.23±3.58 ^a	10.12±0.27 ^b	4.85±0.08 ^c	3.8±0.12 ^c	3.17±0.08 ^c	2.66±0.08 ^c
·OH-IC ₅₀ (mg/mL)	32.18±0.09 ^a	26.74±0.08 ^b	14.56±0.14 ^c	13.85±0.15 ^d	8.10±0.12 ^e	6.51±0.03 ^f

注: 同行不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。FRAP-IC₅₀: 以清除0.5 mmol/L的FeSO₄所对应的莓茶面包提取液浓度来表示; 其余IC₅₀值均以各组实验对应的复配溶液清除率达到50%时的莓茶面包提取液浓度表示(单位均是mg/mL)。

源酚的存在、焙烤过程中酚活性成分的热降解以及
与面筋蛋白之间的氧化还原作用导致酚类含量降
低。廖珺^[28]、段云龙^[29]和 Zhu^[30]等研究结果均表明
面制品多酚类物质含量随添加量的增加而增加。

2.3.2 莓茶粉对面包抗氧化能力的影响 由图3可知, 不同添加量的莓茶面包均对 DPPH·、ABTS⁺·、FRAP、·OH 具有抗氧化能力, 且表现出明显的剂量
依赖性。·OH 抗氧化实验无法将各添加量莓茶面包
提取液浓度调整为一致进行实验, 因此通过比较
表4中的各个抗氧化指标的 IC₅₀ 值来判断抗氧化能
力强弱。通过表4可知 FRAP 铁离子还原能力与
DPPH 清除能力相当, 较 ABTS⁺·清除能力差。而
·OH 清除能力在低添加量时优于 DPPH·、ABTS⁺·、
FRAP 抗氧化能力, 随着添加量的增加, 其他三者抗
氧化能力较优于·OH 清除能力。

由表4可知, 所有的 IC₅₀ 值均随添加量的增加
而减小。其中 0% 对照组面包的·OH 表现出较强抗
氧化性, 其 IC₅₀ 值仅为 32.18±0.09 mg/mL。而随添
加量的增加, ABTS⁺·逐渐表现出更优的抗氧化能力,
与图3所示结果一致。产生这一现象的原因是莓茶

面包富含多酚化合物, 赋予面包较强的抗氧化性, 而
0% 的对照组面包也具有一定的抗氧化能力归因于
面粉中含有内源酚类化合物^[14], 以及焙烤产生的美拉
德反应产物如类黑素、还原酮、含氮、硫的杂环化
合物的存在^[31]。

2.3.3 莓茶面包活性成分和抗氧化能力的相关性分
析 为探究 5 种活性成分与莓茶面包的 4 种抗氧化
能力之间的变化规律, 对上述 5 种活性成分与 4 种
抗氧化能力的 IC₅₀ 进行相关性分析, 结果见表5。
多酚、黄酮、DHM、杨梅苷和杨梅素含量与莓茶添加
量呈极显著相关($P<0.01$); DPPH·、ABTS⁺·、FRAP、
·OH 清除能力与莓茶添加量呈极显著相关($P<$
0.01)。从相关性系数来看, 多酚、杨梅苷与莓茶面包
之间相关性系数最高, 分别为 0.990 和 0.994, 与张命
龙等^[32]的研究结果略有差异, 可能是莓茶采收的季
节部位以及产地等因素影响了莓茶中活性成分的含量。
本研究中, 除 DHM 与 DPPH·、FRAP 之间呈显
著负相关($P<0.05$), 其余活性成分均与抗氧化能力呈
极显著负相关($P<0.01$), 从相关性系数大小而言, 多
酚与·OH 之间相关性系数最高, 为-0.977, 证明多酚

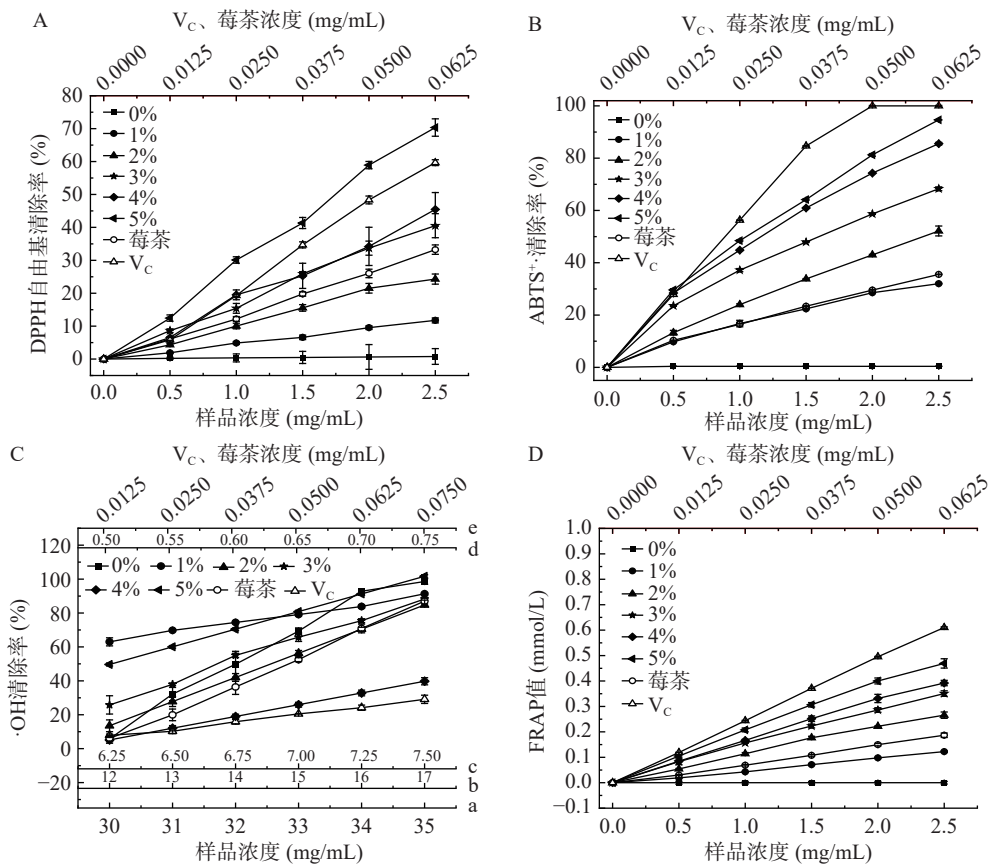


图 3 不同莓茶粉添加量对面包抗氧化能力的影响

Fig.3 Effects of different addition of vine tea powder on antioxidant capacity of bread
注: 图 C 中横坐标: a: 0%、1%; b: 2%、3%; c: 4%、5%; d: 莓茶; e: V_C。

表 5 莓茶面包活性成分与 IC₅₀ 值的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between active components of vine tea bread and IC₅₀ value

	莓茶添加量	多酚	黄酮	DHM	杨梅苷	杨梅素	DPPH-IC ₅₀	ABTS ⁺ -IC ₅₀	FRAP-IC ₅₀	·OH-IC ₅₀
莓茶添加量	1	0.990**	0.955**	0.985**	0.994**	0.977**	-0.684**	-0.693**	-0.680**	-0.960**
多酚		1	0.975**	0.969**	0.976**	0.956**	-0.759**	-0.767**	-0.756**	-0.977**
黄酮			1	0.908**	0.945**	0.927**	-0.865**	-0.871**	-0.862**	-0.941**
DHM				1	0.987**	0.979**	-0.587*	-0.597**	-0.583*	-0.925**
杨梅苷					1	0.986**	-0.655**	-0.664**	-0.651**	-0.930**
杨梅素						1	-0.631**	-0.639**	-0.627**	-0.885**
DPPH-IC ₅₀							1	1.000**	1.000**	0.752**
ABTS ⁺ -IC ₅₀								1	0.999**	0.759**
FRAP-IC ₅₀									1	0.748**
·OH-IC ₅₀										1

注: *显著相关($P<0.05$), **极显著相关($P<0.01$)。

为莓茶面包中最主要的抗氧化活性成分。综合试验表明, 莓茶粉的加入, 赋予莓茶面包多种藤茶中所具有的生物活性成分, 同时提高了莓茶面包的抗氧化能力。

3 结论

本文研究了莓茶粉部分替代小麦粉对面包品质及其抗氧化特性的影响, 结果表明, 与对照组相比, 莓茶面包的比容、弹性、平均气孔面积降低; 而硬度、咀嚼性增加, 多酚、黄酮、DHM、杨梅苷、杨梅素的含量和抗氧化能力显著提高($P<0.05$)。此外, 添加量

为 1% 时, 面包具有连续完整的气孔, 气孔边缘光滑; 随添加量增加, 面包内部结构遭到破坏。添加莓茶粉, 增加了面包中多酚、黄酮、二氢杨梅素等活性成分含量显著增加($P<0.05$), 提高了面包抗氧化能力, 但面包变得硬而小, 苦涩感增加, 适口性降低, 导致感官品质下降。总的来说, 添加 1% 莓茶粉可提升面包的品质及抗氧化特性, 为今后莓茶面包的发展提供了理论依据。在后续的研究中, 将会进一步探究莓茶粉对复合面团物化特性的影响, 探究莓茶面包品质变化的原因。

参考文献

- [1] 杨益欢, 禹利君, 贺军辉, 等. “发花”对不同等级莓茶风味品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(17): 87–94. [YANG Y H, YU L J, HE J H, et al. Effect of fungal-fermentation process on flavor quality in different grades vine tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(17): 87–94.]
- [2] CARNEIRO R, YE L, BAEK N, et al. Vine tea (*Ampelopsis grossedentata*): A review of chemical composition, functional properties, and potential food applications[J]. Journal of Functional Foods, 2021, 76: 104317.
- [3] 张丽华, 张月芬, 黄仁杰. 双水相体系萃取藤茶蛇葡萄素工艺的优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 181–186, 194. [ZHANG L H, ZHANG Y F, HUANG R J, et al. Optimization of extraction technology of ampelopsin from *Ampelopsis grossedentata* by aqueous two-phase system[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(6): 181–186, 194.]
- [4] ZHANG Q, ZHAO Y, ZHANG M, et al. Recent advances in research on vine tea, a potential and functional herbal tea with dihydromyricetin and myricetin as major bioactive compounds[J]. Journal of Pharmaceutical Analysis, 2021, 11(5): 555–563.
- [5] 李佳川, 李思颖, 王优, 等. 藤茶化学成分、药理作用及质量标志物 (Q-marker) 预测分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 254–266. [LI J C, LI S Y, WANG Y, et al. Predictive analysis on chemical composition, pharmacological effects and quality marker (Q-marker) of *Ampelopsis grossedentata*[J]. Journal of Southwest Minzu University (Natural Science Edition), 2021, 47(3): 254–266.]
- [6] 吴淑慧, 於洪建, 於天, 等. 藤茶提取物的降尿酸作用研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 350–355. [WU S H, YU H J, YU T, et al. Study on anti-hyperuricemia effect of *Ampelopsis grossedentata* extracts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(18): 350–355.]
- [7] JIA C H, ZHANG M X, MA W B, et al. Evaluation of antioxidant properties of the different tissues of vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) in stripped canola oil and sunflower oil[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(4): 1082–1089.
- [8] DOLGIN E. Genomic focus brings tea research to the boil[J]. Nature, 2019, 566(7724): S12–S13.
- [9] ERIVE M O D, HE F, WANG T, et al. Development of β -glucan enriched wheat bread using soluble oat fiber[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95(1): 103051.
- [10] 刘滔. 柿粉对面包品质的影响及柿单宁-面筋蛋白相互作用及机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017. [LIU T. Effect of persimmon powder on breadmaking quality and study on mechanism of persimmon tannin-gluten interaction[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.]
- [11] WIECA M, GAWLIK-DZIKI U, DZIKI D, et al. Wheat bread enriched with green coffee *in vitro* bioaccessibility and bioavailability of phenolics and antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2016: 1451.
- [12] LIN J, TEO L M, LEONG L P, et al. *In vitro* bioaccessibility and bioavailability of quercetin from the quercetin-fortified bread products with reduced glycemic potential[J]. Food Chemistry, 2019, 286: 629–635.
- [13] 郑妍, 张馨匀, 隋勇. 莲原花青素对面包品质及功能特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 62–68. [ZHENG Y, ZHANG X Y, SUI Y. Effect of lotus seedpod procyanidins on bread quality and functional properties[J]. Food Science, 2020, 41(8): 62–68.]
- [14] 王玉婉, 涂政, 叶阳. 超微茶粉对全麦面包品质及其淀粉消化特性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 1–12. [WANG Y W, TU Z, YE Y. Effect of superfine tea powder on quality and starch digestion properties of whole-wheat bread[J]. Food Science, 2021, 42(1): 1–12.]
- [15] LIN L Y, LIU H M, YU Y W, et al. Quality and antioxidant property of buckwheat enhanced wheat bread[J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 987–991.
- [16] MA Q, CAI S, JIA Y, et al. Effects of hot-water extract from vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) on acrylamide formation, quality and consumer acceptability of bread[J]. Foods, 2020, 9(3): 373.
- [17] 李燕. 淮山全粉添加量对面团特性及面包品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019. [LI Y. Effect of yam flour addition on properties of dough and qualities of bread[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.]
- [18] 秦亚茹, 张友胜, 张凯, 等. 藤茶总黄酮检测方法的对比研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(12): 302–309, 188. [QIN Y R, ZHANG Y S, ZHANG K, et al. Comparative study of determination methods of total flavonoids in vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(12): 302–309, 188.]
- [19] 许明, 郑金贵, 刘江洪, 等. 一种用 HPLC 同时测定藤茶中 11 种黄酮类成分的方法, 中国, 105717229 A[P]. 2016-06-29. [XU M, ZHENG J G, LIU J H, et al. A method for simultaneous determination of 11 flavonoids in *Ampelopsis grossedentata* W. T. Wan by HPLC, China, 105717229 A[P]. 2016-06-29.]
- [20] CHENG H, FENG S, JIA X J, et al. Structural characterization and antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Epimedium acuminatum*[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 63–68.
- [21] 金鸣, 蔡亚欣, 李金荣, 等. 邻二氮菲- Fe^{2+} 氧化法检测 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ 产生的羟自由基[J]. 生物化学与生物物理进展, 1996(6): 553–555. [JIN M, CAI Y X, LI J R, et al. 1, 10-Phenanthroline- Fe^{2+} oxidative assay of hydroxyl radical produced by $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ [J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 1996(6): 553–555.]
- [22] ZHAO C C, LI X, MIAO J, et al. The effect of different extraction techniques on property and bioactivity of polysaccharides from *Dioscorea hemsleyi*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017(102): 847–856.
- [23] 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): 2462–2468.
- [24] 魏建林, 左文杰, 姚望. 单宁酸对小麦粉面筋改良效果的研究与优化[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(6): 70–72. [WEI J L, ZUO W J, YAO W. Study on the improvement effect of tannic acid on wheat flour gluten[J]. Food Science and Technology and Economy, 2018, 43(6): 70–72.]

- [25] 陈南, 陈龙, 何强, 等. 茶多酚对小麦淀粉理化特性和面包品质的影响及机理[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 8-16. [CHEN N, CHEN L, HE Q, et al. Effects of tea polyphenols on physicochemical properties of wheat starch and bread quality and their action mechanism[J]. Food Science, 2021, 42(21): 8-16.]
- [26] SWIECA M, SEZYK L, GAWLIK-DZIKI U, et al. Bread enriched with quinoa leaves—The influence of protein-phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality[J]. Food Chemistry, 2014, 162(1): 54-62.
- [27] WANG N, XU Y, CHAO H, et al. Effects of celery flour on wheat dough properties and textural, antioxidant and starch digestibility properties of bread[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 57(5): 1710-1718.
- [28] 廖琚, 王辉军, 苏有健, 等. 超微绿茶粉对绿茶面包加工过程中色泽的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8): 173-177. [LIAO J, WANG Y J, SU Y J, et al. Effect of ultra-micro green tea powder on the color of green tea bread during processing[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(8): 173-177.]
- [29] 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.]
- [30] ZHU F, SAKULNAK R, WANG S. Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread[J]. Food Chemistry, 2016, 194(1): 1217-1223.
- [31] 吴慧伦, 张亦鸣, 关曼, 等. 菊糖与精氨酸的美拉德反应及其产物的抗氧化性能研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 179-181, 190. [WU H H, ZHANG Y M, GUAN M, et al. The Maillard reaction of inulin with arginine and the antioxidant activity of inulin derivatives[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(6): 179-181, 190.]
- [32] 张命龙, 彭密军, 杨秋玲, 等. 显齿蛇葡萄抗氧化活性与主要成分相关性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(3): 387-394. [ZHANG M L, PENG M J, YANG Q L, et al. Antioxidant properties and correlation with major chemical components in *Ampelopsis grossedentata*[J]. Natural Product Research and Development, 2019, 31(3): 387-394.]