

陈善敏, 袁林颖, 杨娟, 等. 重庆沱茶粉对蛋糕焙烤品质及抗氧化活性分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 226-233. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050147

CHEN Shanmin, YUAN Linying, YANG Juan, et al. Analysis of Chongqing Tuo Tea Powders on Baking Quality and Antioxidant Activity of Cakes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 226-233. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050147

· 工艺技术 ·

重庆沱茶粉对蛋糕焙烤品质及 抗氧化活性分析

陈善敏, 袁林颖, 杨娟, 罗红玉, 王杰, 钟应富*
(重庆市农业科学院茶叶研究所, 重庆 402160)

摘要: 研究重庆沱茶粉部分替代小麦粉 (2%~12%) 对蛋糕质构特性、色泽、感官、功能成分和抗氧化活性的影响。结果表明, 添加重庆沱茶粉对蛋糕质构特性产生负面影响, 蛋糕的硬度和咀嚼性显著升高 ($P<0.05$), 弹性降低, 回复性在各处理组间无显著差异 ($P>0.05$)。随着茶粉添加量的增多, 蛋糕亮度 L^* 和色度 C^* 降低, 总多酚和总黄酮质量浓度随之升高, 2,2-联苯基-1-苦基肼 (Diphenyl picryl hydrazinyl, DPPH) 自由基清除能力和氧自由基吸收能力 (Oxygen-radical absorbance capacity, ORAC) 显著增强 ($P<0.05$)。感官审评结果表明, 对照组感官得分最高, 与茶粉处理组均具有显著性差异 ($P<0.05$), 茶粉处理组中重庆沱茶粉添加量为 2% 和 10% 时, 蛋糕焙烤品质较优。综合分析表明, 添加 10% 的重庆沱茶粉替代小麦粉, 改善了蛋糕的风味品质并提高其功能性, 此时, 蛋糕中总多酚和总黄酮质量浓度分别为 431.53 和 292.7 mg/100 g, DPPH 自由基清除能力为 143.89 $\mu\text{g}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}$, ORAC 值为 38.88 $\mu\text{mol}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}$, 蛋糕综合品质较好, 本研究结果为丰富蛋糕种类和功能性茶制食品的开发提供了理论依据。

关键词: 重庆沱茶, 茶蛋糕, 焙烤品质, 抗氧化活性, 感官评价

中图分类号: TS219

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)04-0226-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050147



本文网刊:

Analysis of Chongqing Tuo Tea Powders on Baking Quality and Antioxidant Activity of Cakes

CHEN Shanmin, YUAN Linying, YANG Juan, LUO Hongyu, WANG Jie, ZHONG Yingfu*

(Tea Research Institute, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract: The effect of partial replacement of flour with Chongqing tuo tea powder (CTP, 2%~12%) on texture properties, color, sensory attributes, functional components and antioxidant properties were investigated. Results showed that, the utilization of CTP led to a negative effect on texture, no differences were found in resilience ($P>0.05$) and the hardness and chewiness increased whereas the springiness showed a reverse trend ($P<0.05$). A significant reduction in L^* and C^* value, while the total polyphenol, total flavonoid content, scavenging ability on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radicals and absorbance capacity on oxygen-radical of sample cakes improved with the GTP replacement increased ($P<0.05$). The study showed that cakes with good bakery attributes could be produced by the replacement of flour with 2% and 10% of CTP, CK were rated higher in all sensory results ($P<0.05$). Overall, CTP at 10% replacement level was effective in improving the flavor attributes and antioxidant properties while the total polyphenol content was 431.53 mg/100 g, total flavonoid content was 292.7 mg/100 g, DPPH free radical scavenging ability was 143.89 $\mu\text{g}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{extract}}$ and oxygen-radical absorbance capacity was 38.88 $\mu\text{mol}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{extract}}$, which could provide a theoretical basis for enriching cake types and developing functional tea foods.

收稿日期: 2022-05-13

基金项目: 永川区自然科学基金项目 (2021yc-jckx20007); 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目 (cstc2019jsex-dxwtBX0030)。

作者简介: 陈善敏 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶加工及茶资源综合利用, E-mail: chinsm@foxmail.com。

* 通信作者: 钟应富 (1974-), 男, 本科, 研究员, 研究方向: 茶叶加工, E-mail: 443866381@qq.com。

Key words: Chongqing tuo tea; tea cakes; baking quality; antioxidant capacity; sensory evaluation

重庆沱茶是以绿毛茶为原料经过精制拼配、蒸压、干燥等工序制得,成品茶汤色橙黄明亮,滋味醇厚回甘,属于紧压茶。活性成分上,重庆沱茶与云南生普相似,主要包括 7 种多酚类化合物和高水平的咖啡因,同时,其所含多酚成分与绿茶多酚不同^[1]。在生物功效上,沱茶能够以剂量为基础抑制癌症和血管生成,并对 TCA8113 癌细胞具有较强的体外抗癌作用^[2]。沱茶还能降低高血压和胆固醇水平,在预防“三高”方面具有独特功效^[3]。此外沱茶多酚能预防非酒精性脂肪肝,该作用与调节小鼠肠道功能,降低相关酶及炎症细胞因子相关^[1]。

茶粉中富含蛋白质、膳食纤维等营养成分和多酚类化合物等活性物质^[4],常作为食品辅料添加至食品体系,应用于烘焙制品^[5]、冷冻制品^[6]、米面制品^[7]和饮料制品^[8]等各类茶制食品。茶粉在烘焙制品尤其是蛋糕中应用较多,可作为天然食品添加剂改变蛋糕的感官、色泽和质构等品质指标,此外,茶粉中多酚类化合物为提高制品的抗氧化活性等方面也提供了一条途径。Lu 等^[9]研究了 0、10%、20% 和 30% 绿茶粉代替面粉对蛋糕品质和抗氧化特性的影响,添加绿茶粉使蛋糕色泽和质构发生变化,提高了 2,2-联苯基-1-苦基肼(Diphenyl picryl hydrazinyl, DPPH)自由基清除能力和铁离子螯合能力,30% 绿茶粉下蛋糕的感官得分最低。Mau 等^[10]比较并研究了绿茶粉、红茶粉和乌龙茶粉在 10%、20% 和 30% 添加量下,对蛋糕的物理化学特性、抗氧化能力和感官品质的影响,与 Lu 等^[9]的结论相似。Mashkour 等^[11]研究了 10%、20% 和 30% 绿茶粉部分替代面粉对蛋糕理化特性、血糖生成潜能和感官特性的影响,添加绿茶粉使蛋糕质地变硬,颜色加深,血糖潜能和自由基清除活性显著提高($P < 0.05$),10% 绿茶粉对改善蛋糕的抗氧化特性、感官特性和血糖潜力方面较为有效。Wu 等^[12]发现使用高儿茶素含量的速溶茶粉代替面粉制作蛋糕,与对照相比,处理组的蛋糕具有良好的抗菌和抗氧化活性,蛋糕的保质期得到延长。宋振硕等^[13]和王玉婉等^[14]的研究表明,茶粉如绿茶粉和红茶粉也具有提高面包抗氧化能力,延长其货架期的作用。

传统蛋糕通常高糖多油,不符合消费者对健康、绿色、天然食品的需求。将茶粉应用蛋糕中,不仅可以丰富蛋糕种类,还能充分利用茶叶中营养及活性成分,有效发挥其保健功能,促进茶叶多元化加工与增值^[15]。目前,茶粉在蛋糕中的研究大多集中在茶蛋糕工艺优化、产品研发和体外抗氧化能力等方面,茶类主要为绿茶和红茶,重庆沱茶粉在蛋糕上的应用研究鲜有报道。因此,为研究重庆沱茶粉对蛋糕品质的影响,本研究以重庆沱茶为原料制得重庆沱茶粉,将其添加至蛋糕中,探讨其对蛋糕品质的影响,以期为茶

制食品的原料选择及功能性产品的研发提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

绿茶毛茶 所用茶鲜叶品种为福鼎大白茶,地点为重庆市农业科学院茶叶研究所茶园基地(北纬 29°75', 东经 105°71', 海拔 440 m);重庆沱茶 以绿茶毛茶为原料按重庆沱茶加工工艺压制所得;低筋小麦粉(蛋白质含量 8%) 中粮面业(海宁)有限公司;大豆油 中粮油脂(钦州)有限公司;盐、鸡蛋、白砂糖 购于重庆沃尔玛超市;福林酚试剂(分析纯)、没食子酸、芦丁、谷氨酸、V_C(均为标准品) Solarbio 生物科技有限公司;2,2-联苯基-1-苦基肼(DPPH, 95%)、2,2-偶氮二(2-甲基丙基咪)二盐酸盐(AAPH)、荧光素钠 阿拉丁试剂有限公司;无水乙醇、无水碳酸钠、碳酸氢钠、氯化钠、氯化钙、盐酸、胆盐 分析纯,重庆川东化工有限公司。

沱茶压制成型装置 云南茶雕机械设备有限公司;6CH-54 茶叶烘焙箱 福建安溪兴民茶叶机械厂;SIGMA 2-16K 冷冻离心机 中国 SIGMA 有限公司;SYHERGY H1 多功能酶标仪 美国 BioTek 有限公司;CR410 便携式色差计 柯尼卡美能达(中国)投资有限公司;Multiskan FC 酶标仪 Thermo (中国)公司;TA.XT-plus 质构仪 英国 Stable Micro System 公司;DFY-200C 万能粉碎机 上海豫明仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 重庆沱茶加工工艺

1.2.1.1 工艺流程 绿茶毛茶→精制→蒸压→低温干燥→成品

1.2.1.2 工艺要点 茶鲜叶经杀青、揉捻、干燥得绿茶毛茶,通过精制(筛分、切轧、风选、拣剔和干燥)后得重庆沱茶毛茶茶坯,将茶坯洒水,使其在蒸压时含水量为 9~10 g/100 g,叶温 85 °C 下汽蒸 8~12 s 后采用 40~50 °C 低温干燥至含水量低于 5 g/100 g。

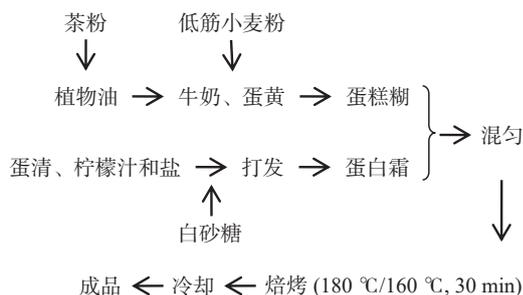
1.2.1.3 重庆沱茶粉制作 重庆沱茶用粉碎机进行粉碎,过 200 目筛,收集筛下物为茶粉原料。对茶粉添加量、茶粉目数和茶粉添加方式进行预实验,明确茶粉添加量为 0~12%,茶粉目数为 200 目,茶粉添加方式为油溶解。

1.2.2 茶蛋糕基本配方及amp;工艺流程

1.2.2.1 茶蛋糕基本配方 茶蛋糕基本配方参照蛋糕加工企业配方略作修改。准确称取低筋小麦粉 100~88 g、重庆沱茶粉 0~12 g、鸡蛋 150 g、白砂糖和大豆油各 30 g、牛奶和水各 15 mL、盐及柠檬汁各 1 g,按以下工艺加工茶蛋糕,处理组共 7 组,分别为对照组(CK)、TTC-2%、TTC-4%、TTC-6%、TTC-

8%、TTC-10% 和 TTC-12%(TTC: 沱茶蛋糕)。

1.2.2.2 茶蛋糕工艺流程 工艺流程如下。



1.2.2.3 工艺要点 按照茶蛋糕基本配方,准确称取大豆油于不锈钢盆,分别筛入相应质量的重庆沱茶粉,搅拌均匀至茶粉完全溶解后加入低筋小麦粉、牛奶和蛋黄,搅拌均匀得蛋糕糊,另取1个不锈钢盆加入蛋清、盐和柠檬汁,采用电动打发器将蛋清打发至偏干性发泡,期间分3次加入白砂糖,将蛋糕糊与蛋白霜混匀后装模,轻震后放入预热烤箱,面火/底火为180 °C/160 °C 烘焙 30 min 后室温冷却得重庆沱茶蛋糕。

1.2.3 蛋糕冻干粉前处理 准确称取 2.5 g 蛋糕干燥粉,加入 25 mL 75% 酸性乙醇,混匀后避光浸提 30 min 后 70 °C 水浴浸提 1 h,重复 2 次并合并滤液,提取液定容至 50 mL,待测。

1.2.4 感官评价方法 蛋糕于室温放置 2 h 后进行感官评定。感官评定小组成员由 5 名食品感官评定专业人员组成,并对蛋糕的质地形态、色泽、香气、口感和组织结构等方面进行评分,审评标准参照孙典^[16]略有修改,具体如表 1 所示。

表 1 茶蛋糕感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation sheets of tea cakes

项目	评价标准	得分(分)
形态	表面平整光滑,无斑点、环纹,外部完整无塌陷	13~20
	表面略有气泡、环纹,些许收缩变形,无塌陷	6~12
	表面有深度环纹,气孔大,收缩变形有凹陷	2~5
色泽	表面色泽均匀,有光泽,棕黄色、黄绿色或咖啡色,无焦糊	12~15
	表面色泽较均匀,部分无光泽,颜色偏浅或偏深,些许焦糊	4~11
香气	表面色泽暗淡,有大量焦糊	2~3
	蛋香味和茶味明显,无腥味和异味	12~15
	蛋香味和茶味香气较明显,无腥味和异味	4~11
口感滋味	无蛋香味和茶味,有明显异味	2~3
	口感绵软细腻;蛋香味或茶味纯正、甜度适中	23~30
	口感绵软略有坚韧感;茶味较浓或偏低、甜度偏低或偏高	16~22
组织结构	口感松软发干或粘牙;无明显茶味	6~15
	柔软有弹性、回复性好;气孔均匀,切面光滑细腻	13~20
	柔软较有弹性、回复性好;气孔较均匀但略大,切面较光滑	6~12
	柔软性、弹性差,回复性差;气孔大且不均匀,有结块	2~5

1.2.5 色泽的测定 采用色差计法^[17]。根据 CIELAB

色彩空间,测定蛋糕横切面的亮度值 L^* 、红绿值 a^* 和黄蓝值 b^* ,同一样品取 6 个不同位置测定,取平均值,并按照式(1)、式(2)计算其色度 C^* 和色调角 H^0 。

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad \text{式 (1)}$$

$$H^0 = \arctan(b^*/a^*) \quad \text{式 (2)}$$

1.2.6 蛋糕质构的测定 参照文献 [18] 略有改动。将冷却后的蛋糕均匀切成 3.0 cm 的立方块,用于蛋糕质构的测定。仪器参数:采用 P/36R 压盘式探头,测试前、中、后速率分别为 1.0、1.0 和 3.0 mm/s,压缩率为 50%,触发力为 5 g,两次测试间隔时间为 5 s,重复次数为 6 次,以硬度、弹性、可咀嚼性和回复性为指标。

1.2.7 理化指标的测定 水分含量:GB 5009.3-2016 中的直接干燥法^[19];茶多酚、儿茶素类:GB/T 8313-2018 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法^[20];水浸出物:GB/T 8305-2013 茶水浸出物测定中干燥法^[21];游离氨基酸总量:GB/T 8314-2013 中茚三酮比色法^[22];可溶性糖:蒽酮比色法^[23];总黄酮:硝酸铝比色法^[24]。

1.2.8 抗氧化能力的测定

1.2.8.1 2,2-联苯基-1-苦基肼(Diphenyl picryl hydrazinyl, DPPH)自由基清除能力 参照 Chang 等^[25]略有改动。吸取蛋糕提取液及标准溶液各 2 mL,加入 2 mL DPPH 溶液,混匀后避光反应 0.5 h,于 517 nm 处测定吸光值并记为 A_1 。同时测定 2 mL 样品和 2 mL 无水乙醇、2 mL 无水乙醇和 2 mL DPPH 溶液吸光值,分别记为 A_2 和 A_0 。以标准溶液质量浓度为横坐标, A 值为纵坐标绘制标准曲线,其质量浓度为 0、2.5、5、7.5、10、12.5 及 15 $\mu\text{g/mL}$ 。结果按式(3)进行计算,以 $\mu\text{g}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}$ 表示。

$$\text{DPPH}(\mu\text{g}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}) = \rho \times \text{DF} \quad \text{式 (3)}$$

式中: ρ , 吸光度对应标准曲线上的质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; DF, 样品稀释倍数。

1.2.8.2 氧自由基吸收能力(Oxygen-radical absorbance capacity, ORAC) 参照 Zhang 等^[26]略有改动。用磷酸盐缓冲溶液将蛋糕提取液、 V_C 标准溶液、荧光素钠和 2,2-偶氮二(2-甲基丙基咪)二盐酸盐(AAPH)配成所需浓度。取 96 孔的黑色荧光酶标板,处理组加入 V_C 标准溶液、样品稀释液各 20 μL ,对照组加入 V_C 标准溶液、磷酸盐缓冲液各 20 μL ,随后加入 20 μL 荧光素钠使用液,37 °C 振摇 2 min 后孵育 15 min 后加入 120 μL AAPH 溶液启动反应,以激发波长 484 nm、发射波长 520 nm 进行荧光强度的连续测定(震板 5 s, 4 min/次,共 120 min),空白组不加 AAPH 溶液。AUC 值和 ORAC 值按式(4)、(5)计算,结果以 $\mu\text{mol}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}$ 表示。

$$AUC = 4 \times (f_0 + f_1 + \dots + f_{n-1} + f_n) - f_0 - f_n \quad \text{式 (4)}$$

$$ORAC \text{值} = \frac{[(AUC_{\text{样品}} - AUC_{+AAPH})]}{[(AUC_{VC} - AUC_{+AAPH})]} \quad \text{式 (5)}$$

式中: AUC, 荧光衰退面积; f_n , 第 n 个测定点的相对荧光强度。

1.3 数据处理

每组实验重复三次。采用 SPSS 11.0 和 Design Expert 8.0 进行数据统计与分析, Origin 8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同茶粉对蛋糕焙烤品质的影响

2.1.1 不同茶粉添加量对蛋糕感官品质的影响 各处理组茶蛋糕切面和感官得分如图 1 所示。随着茶粉添加量的增加, 重庆沱茶蛋糕的色泽逐渐加深, 在添加量较大时, 内部产生湿瓢, 气孔变多且大。根据表 1 的评分标准, 分别对各处理组的形态、色泽、香气、口感滋味和组织结构进行评分, 结果如表 2 所示。总分高低排序为 CK>TTC-2%>TTC-10%、TTC-4%>TTC-8%>TTC-6%>TTC-12%, 最高为 78 分, 最低为 53.3 分。感官评分结果表明, 添加重庆沱茶粉在感官可接受范围内对蛋糕的形态、色泽、口感和组织结构产生一定负面影响, 对香气有改善作用, 使蛋糕具有明显茶香和茶味, 过量添加会降低蛋糕的感官属性, 如弹性差、气孔及色泽不均、回味苦等。陈碧等^[27]研究表明, 随着茶粉添加量的增大, 蛋糕茶味变浓并带有明显的苦涩味, 感官特性的不利变化可能是由茶叶中所含的儿茶素、咖啡碱等呈味物质引起的。处理组中 TTC-2% 和 TTC-10% 总体得分较高,

分别为 75.2 和 72.0 分, 与 CK 组具有显著性差异 ($P<0.05$)。CK 组略有气孔, 色泽均匀呈现金黄色, 蛋香味明显, 口感绵软回弹性好; TTC-2% 有气孔、色泽均匀呈现淡棕色, 蛋香味明显, 口感绵软回弹性好; TTC-10% 略有气孔、色泽均匀呈现棕色、茶香及茶味明显, 回弹性好。

2.1.2 不同茶粉添加量对蛋糕色泽的影响 蛋糕色泽采用 CIELAB 色彩空间表示, 包括 L^* 亮度值、 a^* 红绿值、 b^* 黄蓝值及其衍生指标 C^* 色度和 H^0 色调角。CIELAB 色彩空间为三维空间结构, L^* 为垂直轴, 顶部为白色 ($L^*=100$), 底部为黑色 ($L^*=0$), 彩色由对应的 a^* 轴和 b^* 轴表示, a^* 值为正表示红色、为负表示绿色; b^* 值为正表示黄色、为负表示蓝色^[28]。不同的茶蛋糕色泽如表 3 所示。总体而言, 添加重庆沱茶粉对蛋糕的色泽影响显著 ($P<0.05$)。随着茶粉添加量的增加, 各处理 L^* 值逐渐降低, 其中, 添加量为 6% 和 8%、10% 和 12% 间无显著性差异 ($P>0.05$)。 a^* 值先升高后降低, b^* 值、 C^* 值与 H^0 值均降低, 彩色及其衍生指标均为正值, 表明所有处理组色泽范围为黄色, 其中 CK 组在所有组别中黄色最为明显, 红色较少, 颜色纯度最高, 随着茶粉添加量的增加, 红色占比先增加后减少, 黄色占比减少, 颜色纯度和色度角均逐渐增大但均低于 CK。Lee 等^[29]将 GABA 茶粉增加至蛋糕时, 也得出相似结论。Mau 等^[10]的研究结果表明, 与对照相比, 添加绿茶粉、红茶粉和乌龙茶粉均使蛋糕色泽变暗, 这可能与茶色素和多酚类物质发生氧化反应或者美拉德反应相关。结合图 1 可知, 添加重庆沱茶粉使蛋糕色泽变暗, 色泽由淡黄色



图 1 不同添加量(0~12%)下重庆沱茶蛋糕横切面及局部放大图

Fig.1 Cross-section and partial enlargement of tea cakes with different additions (0~12%)

表 2 重庆沱茶蛋糕感官得分

Table 2 Sensory score of Chongqing tuo tea cakes

样品	形态	色泽	香气	口感	组织结构	总分
CK	12.2±0.2 ^a	14.0±0.0 ^a	13.0±0.0 ^b	23.0±0.0 ^a	15.8±0.2 ^a	78.0±0.4 ^a
TTC-2%	11.3±0.2 ^b	13.2±0.2 ^b	12.8±0.2 ^b	23.0±0.0 ^a	14.8±0.2 ^b	75.2±0.2 ^b
TTC-4%	12.3±0.2 ^a	14.0±0.0 ^a	12.5±0.0 ^b	18.2±0.2 ^c	14.2±0.2 ^b	71.2±0.2 ^c
TTC-6%	10.0±0.0 ^c	10.7±0.2 ^d	10.5±0.4 ^d	14.5±0.4 ^d	12.3±0.2 ^d	58.0±0.7 ^e
TTC-8%	11.5±0.4 ^b	10.3±0.2 ^d	12.3±0.2 ^c	17.8±0.2 ^c	13.5±0.4 ^c	65.5±1.1 ^d
TTC-10%	11.3±0.2 ^b	11.2±0.2 ^c	14.3±0.2 ^a	20.8±0.2 ^b	14.3±0.2 ^b	72.0±0.4 ^c
TTC-12%	7.0±0.0 ^d	8.3±0.2 ^e	14.8±0.2 ^a	12.8±0.2 ^e	10.3±0.5 ^e	53.3±0.6 ^f

注: 不同小写字母表示同列数据差异显著, $P<0.05$; 表 2~表 4 同。

表3 不同重庆沱茶蛋糕色泽比较

Table 3 Chromatic properties of different tuo tea cakes

样品	L^*	a^*	b^*	C^*	H^0
CK	83.74±0.42 ^a	0.15±0.07 ^f	32.59±0.18 ^a	32.59±0.18 ^a	89.74±0.12 ^a
TTC-2%	64.25±0.72 ^b	3.18±0.08 ^b	17.51±0.08 ^f	17.80±0.08 ^f	79.71±0.27 ^f
TTC-4%	60.58±0.28 ^c	3.28±0.03 ^a	18.96±0.11 ^e	19.24±0.11 ^e	80.19±0.08 ^e
TTC-6%	58.63±0.96 ^d	2.83±0.09 ^c	19.71±0.39 ^d	19.84±0.39 ^d	82.34±0.14 ^d
TTC-8%	58.23±0.70 ^d	2.32±0.10 ^d	20.32±0.57 ^c	20.39±0.58 ^c	83.30±0.10 ^c
TTC-10%	53.26±1.00 ^e	1.64±0.05 ^e	21.05±0.18 ^b	21.24±0.18 ^b	85.39±0.14 ^b
TTC-12%	53.21±0.52 ^e	1.62±0.03 ^e	21.33±0.19 ^b	21.39±0.19 ^b	85.52±0.07 ^b

向浅棕色和棕黄色过渡,颜色饱和度逐渐升高但低于CK。

2.1.3 不同茶粉添加量对蛋糕质构的影响 质构特性包括硬度、弹性和可咀嚼性等指标,是蛋糕烘焙品质的重要体现^[14]。硬度和可咀嚼性与蛋糕焙烤品质呈负相关,其数值越高,蛋糕越硬,不易咀嚼,口感较差。除TTC-2%外,与CK相比,添加重庆沱茶粉使蛋糕的硬度和咀嚼性显著升高($P<0.05$),表明添加茶粉对蛋糕口感产生了一定负面影响。重庆沱茶作为紧压茶,其原料为绿毛茶,其中儿茶素作为还原剂,在面筋网络形成过程中,可能与蛋白质的S-S键交换形成S-H基团,从而阻碍蛋糕面筋网络结构的形成,降低蛋糕面筋网络支撑作用^[30],使蛋糕硬度增加,可咀嚼性数值增大,蛋糕品质降低。弹性和回复性与蛋糕焙烤品质呈正相关,其值越大,蛋糕越绵软蓬松。由表可知,弹性值排序为CK>TTC-2%、TTC-10%>TTC-4%、TTC-8%>TTC-6%>TTC-12%,最高值与最低值分别为0.916和0.807(组间差异见表4)。有报道称随着茶粉或茶提取物添加量的增加,焙烤制品的弹性会随之降低^[31],也有研究表明制品弹性保持不变^[32],Ma等^[33]指出这种差异与焙烤制品原辅料、种类以及茶添加物中所含多酚类物质含量相关。值得注意的是,TTC-10%的弹性与回复性大于低添加量组别(4%、6%和8%),这可能与茶多酚中酚羟基与面筋蛋白中的氨基发生新的交联和非共价作用,从而强化面糊网络结构,提高其持气能力相关^[34],有研究表明^[35],蛋糕的弹性和回复性与烘焙过程中面糊持气能力有关,但添加过量植物粉末如桑叶粉会阻碍蛋糕面筋网络结构的形成,从而降低蛋糕面筋网络支撑作用,各处理组的回复性无显著性差异($P>0.05$)。

表4 重庆沱茶粉对蛋糕质构的影响

Table 4 Effect of Chongqing tuo tea powder on texture of tea cakes

样品	硬度(g)	弹性	可咀嚼性	回复性
CK	403.151±18.851 ^e	0.916±0.033 ^a	281.370±14.707 ^c	0.348±0.045 ^a
TTC-2%	411.542±12.064 ^e	0.884±0.012 ^{ab}	286.007±19.703 ^c	0.337±0.051 ^a
TTC-4%	481.393±12.337 ^c	0.857±0.011 ^{bc}	355.970±16.585 ^c	0.345±0.082 ^a
TTC-6%	585.990±16.205 ^b	0.817±0.015 ^{cd}	437.071±15.620 ^b	0.324±0.088 ^a
TTC-8%	508.062±13.790 ^c	0.851±0.025 ^{bc}	384.203±17.084 ^c	0.342±0.085 ^a
TTC-10%	448.420±16.946 ^d	0.876±0.031 ^{ab}	322.785±20.891 ^d	0.345±0.093 ^a
TTC-12%	708.257±18.072 ^a	0.807±0.024 ^d	532.192±15.715 ^a	0.311±0.095 ^a

2.2 不同茶粉添加量对蛋糕生物活性成分及抗氧化活性的影响

2.2.1 不同茶粉添加量对蛋糕生物活性成分的影响

茶叶含有多种生物活性物质,主要包括茶多酚、黄酮类物质(芦丁、槲皮素和山奈酚)和酚酸(没食子酸、咖啡酸)等,具有多种健康功能和抑菌及抗氧化活性^[36-37]。不同茶蛋糕中多酚和总黄酮质量浓度见图2。由图2可知,随着重庆沱茶茶粉添加量的增加,总多酚与总黄酮质量浓度也随之增加且各处理间存在显著差异($P<0.05$)。CK组中总多酚和总黄酮质量浓度分别为31.39和26.57 mg/100 g,两者质量浓度随重庆沱茶粉增加而增大,当重庆沱茶粉添加量为12%时,总多酚和总黄酮质量浓度最高,分别为541.07和312.98 mg/100 g,是CK组的17.2和11.8倍

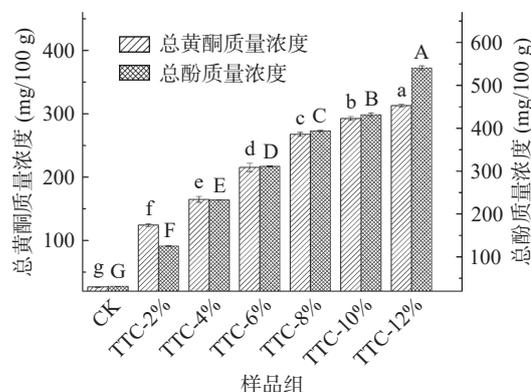


图2 不同茶蛋糕中总酚与总黄酮含量

Fig.2 Total phenolics and flavonoids content of different tea cakes

注: A~G、a~g 字母不同分别表明每种指标的组间数据差异显著, $P<0.05$; 图3。

($P<0.05$),表明重庆沱茶粉是生物活性物质的良好载体。

2.2.2 不同茶粉添加量对蛋糕抗氧化活性的影响

采用 DPPH 自由基清除法和 ORAC 法评价茶蛋糕的抗氧化活性。DPPH 自由基清除法涉及电子转移原理,是茶叶抗氧化能力评价的常见体系^[38]。不同茶蛋糕的 DPPH 自由基清除能力见图 3。由图 3 可知,随着重庆沱茶粉添加量的增加,茶蛋糕中 DPPH 自由基清除能力增强且各处理间具有显著差异($P<0.05$)。其中, TTC-12% 的 DPPH 自由基清除能力最高,为 $145.78 \mu\text{g}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}$, TTC-8% 和 TTC-10% 的 DPPH 自由基清除能力无显著差异。综上,添加重庆沱茶粉至蛋糕中,会显著提高茶蛋糕的 DPPH 自由基清除能力,且随着茶粉添加量的增加,该作用显著增强。Lu 等^[9] 研究结果表明添加绿茶粉可显著提高蛋糕的 DPPH 自由基清除能力,且对蛋糕抗氧化性能的改善可能是由于加入绿茶粉,其含有具有抗氧化活性的多酚类化合物。

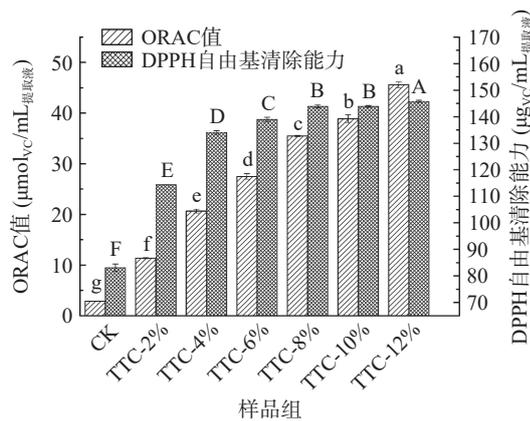


图 3 不同茶蛋糕中 DPPH 自由基清除和 ORAC 氧自由基吸收能力

Fig.3 DPPH and ORAC oxygen free radical scavenging ability of different tea cakes

ORAC 法清除自由基机制主要是基于氢原子转移(HAT),抗氧化物会阻断 FL 氧自由基($\text{FLO}\cdot$)的生成来起到抗氧化效果,由于能全面准确反映样品中活性成分的抗氧化能力,它是目前国际上评价食品抗氧化能力的重要指标^[39]。由图 3 可知,和 DPPH 自由基清除能力趋势相似,各处理组的 ORAC 氧自由基吸收能力随茶粉添加量增加而增强且存在显著性差异($P<0.05$)。CK 组的 ORAC 值最低,为 $2.87 \mu\text{mol}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}$,而 TTC-12% 组茶粉添加量最多,ORAC 值最高,为 $45.58 \mu\text{mol}_{\text{VC}}/\text{mL}_{\text{提取液}}$ 。Zhang 等^[26] 研究表明,ORAC 值与茶叶中的多酚质量浓度呈显著正相关($R^2=0.884, P<0.01$),Tang 等^[40] 得出相似结论($R^2=0.941, P<0.001$),表明酚类化合物可能是影响茶样 ORAC 活性的主要成分。结合图 2,随着茶粉添加量的增加,茶蛋糕中总多酚质量浓度随之增加,因此在 ORAC 值上亦存在显著性差异。

3 结论

研究表明,添加重庆沱茶粉对蛋糕质构产生一定负面影响,蛋糕硬度和咀嚼性显著升高($P<0.05$),弹性降低。添加重庆沱茶粉使蛋糕亮度和色彩饱和度降低,颜色加深,呈淡黄色、棕黄色等。此外,随着重庆沱茶粉的添加,蛋糕中活性成分质量浓度和抗氧化活性显著提高($P<0.05$)。感官评价结果表明,低添加量下茶蛋糕茶香及茶味不明显,较高添加量会使蛋糕色泽不均甚至结块,与其它添加组相比,重庆沱茶粉添加量为 10% 时,蛋糕综合品质较好,茶蛋糕色泽均匀呈现棕黄色,口感绵软,茶香及茶味明显。本文表明,添加 10% 重庆沱茶粉替代小麦粉,对蛋糕色泽、风味品质和功能性具有促进作用,质构特性产生一定负面影响,但总体上提升了蛋糕品质,可为丰富蛋糕种类和开发新的茶制食品提供理论依据。

参考文献

- [1] LIU B, ZHANG J, SUN P, et al. Raw bowl tea (tuo cha) poly-phenol prevention of nonalcoholic fatty liver disease by regulating intestinal function in mice[J]. *Biomolecules*, 2019, 9(9): 435–454.
- [2] ZHAO X, WANG Q, LI G, et al. *In vitro* antioxidant, anti-mutagenic, anti-cancer and anti-angiogenic effects of Chinese bowl tea[J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 7: 590–598.
- [3] DUH P D, YEN C C, YEN W J, et al. Effects of pu-erh tea on oxidative damage and nitric oxide scavenging[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(26): 8169–8176.
- [4] 宛晓春. 茶叶生物化学(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 8. [WAN X C. Tea biochemistry (third edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 8.]
- [5] 刘明明. 红茶面包与绿茶蛋糕组合产品研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016. [LIU M M. Study on the combination product of black tea bread and green tea cake[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016.]
- [6] MARÍA L, MEDIZA R. The effect of green tea poly-phenols addition on the physicochemical, microbiological and bioactive characteristics of yogurt[J]. *British Food Journal*, 2021, 123(7): 2380–2397.
- [7] 李博楨. 超微茶粉感官品质和理化性质研究及其应用[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016. [LI B Z. Physicochemical and taste property of green tea powder and its food applications[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2016.]
- [8] 刘凯. 蓝莓-绿茶复合饮料的制备研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2021. [LIU K. Study on preparation of blueberry-green tea compound beverage[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2021.]
- [9] LU T M, LEE C C, MAU J L, et al. Quality and antioxidant property of green tea sponge cake[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(3): 1090–1095.
- [10] MAU J L, LU T M, LEE C C, et al. Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of chiffon cakes fortified with various tea powders[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*,

2015, 39(5): 443-450.

[11] MASHKOUR M, AZARI A, HASHEMI S M, et al. Effect of green tea powder on physicochemical properties and glycemic potential of sponge cake[J]. *Journal of Food Quality*, 2022.

[12] WU L Y, XIAO H, ZHAO W J, et al. Effect of instant tea powder with high ester-catechins content on shelf life extension of sponge cake[J]. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 2013, 15(3): 537-544.

[13] 宋振硕, 杨军国, 张磊, 等. 超微绿茶粉对面包品质与抗氧化特性的影响[J]. *茶叶学报*, 2018, 59(4): 229-232. [SONG Z S, YANG J G, ZHANG L, et al. Effect of superfine green tea powder addition on quality and antioxidant properties of bread[J]. *Acta Tea Sinica*, 2018, 59(4): 229-232.]

[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): 79-85. [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): 79-85.]

[15] 刘仲华. 中国茶叶深加工 40 年[J]. *中国茶叶*, 2019, 41(11): 1-7, 10. [LIU Z H. Forty years of deep processing of Chinese tea[J]. *China Tea*, 2019, 41(11): 1-7, 10.]

[16] 孙典. 超微红茶蛋糕和红茶酱加工工艺及其品质研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018. [SUN D. Study on processing technology and quality of superfine black tea cake and black tea sauce[D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2018.]

[17] ZOU Y, MA W J, TANG Q, et al. A high-precision method evaluating color quality of Sichuan dark tea based on colorimeter combined with multi-layer perceptron[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2020, 43(8): e13444.1-e13444.10.

[18] 阮征, 张驰, 李丹丹, 等. 微波预膨发工艺对青稞戚风蛋糕品质的影响[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2020, 48(11): 131-138. [RUAN Z, ZHANG C, LI D D, et al. Effect of microwave pre-expansion process on the quality of highland barley chiffon cake[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2020, 48(11): 131-138.]

[19] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-2. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2016 National food safety standard. Determination of moisture in food[S]. Beijing: National Health and Family Planning, 2017: 1-2.]

[20] 国家标准化管理委员会. GB/T 8313-2018 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-5. [Standardization Administration. GB/T 8313-2018 Determination of total poly-phenols and catechins contents in tea[S]. Beijing: National Standardization Administration, 2018: 1-5.]

[21] 国家标准化管理委员会. GB/T 8305-2013 茶水浸出物测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 3-4. [Standardization Administration. GB/T 8305-2013 Tea determination of water extracts content[S]. Beijing: National Standardization Administration, 2014: 3-4.]

[22] 国家标准化管理委员会. GB/T 8314-2013 茶游离氨基酸总量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 3-5. [Standardization Administration. GB/T 8314-2013 Tea determination of free amino acids content[S]. Beijing: National Standardization Administration, 2014: 3-5.]

[23] WANG H, CUI X X, ZHAO X G, et al. Differences of biochemical constituents and contents of eight cultivars flowers of *Camellia Sinensis*[J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2015, 18(2): 320-328.

[24] 王丽丽, 林清霞, 宋振硕, 等. 分光光度法测定茶叶中总黄酮含量[J]. *茶叶学报*, 2021, 62(1): 1-6. [WANG L L, LIN Q X, SONG Z S, et al. Spectro-photometric determination of total flavonoids in tea[J]. *Acta Tea Sinica*, 2021, 62(1): 1-6.]

[25] CHANG M Y, LIN Y Y, CHANG Y C, et al. Effects of infusion and storage on antioxidant activity and total phenolic content of black tea[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(8): 2685-2694.

[26] ZHANG C, SUEN L C, CHAO Y, et al. Antioxidant capacity and major poly-phenol composition of teas as affected by geographical location, plantation elevation and leaf grade[J]. *Food Chemistry*, 2018, 244: 109.

[27] 陈碧, 欧小春, 王小明, 等. D-最优混料与响应面法优化甜茶无糖抗氧化活性蛋糕配方[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(14): 153-160. [CHEN B, OU X C, WANG X M, et al. D-optimal mixture and response surface method for optimization of formulation of sweet tea sugar-free antioxidant activity cake[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(14): 153-160.]

[28] CHOUDHURY A K R, NASKAR B. Comparison of visual (MUNSELL) and instrumental measures (CIELAB) of colored textile standard samples[J]. *Research Journal of Textile and Apparel*, 2019, 23(4): 340-354.

[29] LEE C C, LIN S D. Effect of GABA tea on quality characteristics of chiffon cake[J]. *Cereal Chemistry*, 2008, 85(1): 31-38.

[30] TIAN C, ZHEN T Y, MA M, et al. Contribution of catechin monomers in tea poly-phenols to the structure and physicochemical properties of wheat gluten and its sub-fractions[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 101(11): 1033.

[31] CULETU A, DUTA D E, ANDLAUER W, et al. Influence of black tea fractions addition on dough characteristics, textural properties and shelf life of wheat bread[J]. *European Food Research and Technology*, 2018, 244(6): 1133-1145.

[32] CUI H, ZHANG J, YU J, et al. Processing technology of tea bakery foods- a review[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 37: 391-402.

[33] 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): 373-390.

[34] GIRARD A L, AWIKA J M. Effects of edible plant poly-phenols on gluten protein functionality and potential applications of poly-phenol-gluten interactions[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(4): 2164-2199.

- [35] 何冬雪, 苏光林, 谢文佩. 桑叶粉对海绵蛋糕品质及质构性质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(5): 6. [HE D X, SU G L, XIE W P. Effect of mulberry leaf powder on quality and texture properties of sponge cakes[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(5): 6.]
- [36] HUANG Y, WEI Y, WEI X L, et al. A comprehensive review on the prevention and regulation of Alzheimer, s disease by tea and its active ingredients[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022.
- [37] SAMANTA S. Potential bioactive components and health promotional benefits of tea (*Camellia sinensis*)[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2020(11): 1-29.
- [38] HE Y S, LIN Y, LI Q S, et al. The contribution ratio of various characteristic tea compounds in antioxidant capacity by DPPH assay[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2020, 44(3).
- [39] 王俐娟. 茶叶籽油不同形态酚类化合物分析及其抗氧化机制研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2018. [WANG L J. Free and bound phenolic compounds in tea seed oil and their antioxidant mechanisms[D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2018.]
- [40] TANG G Y, ZHAO C N, XU X Y, et al. Phyto-chemical composition and antioxidant capacity of 30 Chinese teas[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(6): 180-199.