

抹竹和抹茶对戚风蛋糕 pGI 值和油脂典型化学危害物含量的影响

肖海辉¹, 张春红¹, 邓元达¹, 黄李成², 宋依頔², 刘国琴^{2*}

(1. 广州酒家集团利口福食品有限公司, 广东广州 511442)

(2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 以戚风蛋糕为研究对象, 通过体外模拟消化模型研究抹竹和抹茶的添加对蛋糕中淀粉的水解指数 (Hydrolysis Index, HI) 和预测血糖指数 (Prediction of Glycemic Index, pGI) 值的影响, 通过 GC-MS 研究抹竹和抹茶的添加对蛋糕中的典型油脂化学危害物: 氯丙醇酯 (Monochloropropanediol Esters, MCPDEs)、缩水甘油酯 (Glycidyl Esters, GEs) 和反式脂肪酸 (Trans-fatty Acids, TFAs) 的影响。结果表明: 蛋糕中淀粉的 HI 和 pGI 值均随抹竹和抹茶替代比的增加而降低, 当二者替代比为 5% 时, 蛋糕的 HI 分别降低 11.02% 和 8.77%, pGI 值分别降低 4.57% 和 3.63%, 当替代比增加到 10% 时, 添加抹竹和抹茶的 HI 分别降低 21.89% 和 11.41%, pGI 值分别降低 9.08% 和 4.73%, 这说明抹竹和抹茶的添加对戚风蛋糕的 HI 和 pGI 值都有一定的抑制作用, 但抹竹的效果明显高于抹茶, 蛋糕中也未检出 MCPDEs、GEs 和 TFAs, 并且添加抹竹和抹茶还能提高其抗氧化活性, 这说明抹茶和抹竹的添加不仅增加了蛋糕中膳食纤维的含量, 降低了 HI 和 pGI 值, 并且不促生热加工油脂伴生化学危害物 MCPDEs、GEs 和 TFAs, 还可以提高其抗氧化活性, 也为开发低 pGI 值并且安全的抹竹戚风蛋糕提供了理论基础。

关键词: 抹竹; 抹茶; 戚风蛋糕; pGI 值; 氯丙醇酯; 缩水甘油酯; 反式脂肪酸

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.11.1410

Effects of Matzhu and Matcha on Chiffon Cake pGI Values and Typical Chemical Hazards Content of oil and fat

XIAO Haihui¹, ZHANG Chunhong¹, DENG Yuanda¹, HUANG Licheng², SONG Yidi², LIU Guoqin^{2*}

(1. Guangzhou Restaurant Group Likoufu Food Co., Ltd Guangzhou 511442, China)

(2. College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The chiffon cake as the research object, the effects of matzhu and matcha additions on starch hydrolysis index (HI), pGI values as well chemical hazards: MCPDEs, GEs and TFAs in the cake were studied by compared through in vitro simulated digestion model, and the contents of MCPDEs, GEs and TFAs by GC-MS. The results showed that: the HI and pGI values of starch in chiffon cake decreased with the increase of the substitution ratio of matzhu and matcha. When the substitution ratio of matzhu and matcha was 5%, the HI values of matzhu and matcha decreased by 11.02% and 8.77%, and the pGI values decreased by 4.57% and 3.63%, respectively. When the substitution ratio of matzhu and matcha was increased to 10%, the HI values decreased by 21.89% and 11.41%, and the pGI values decreased by 9.08% and 4.73%, respectively. Which indicated that the addition of Matcha and Matcha had certain inhibitory effects on the HI and pGI of chiffon cake, but the inhibitory effect of matzhu was significantly higher than that of matcha. In addition, the addition of matzhu and matcha in chiffon cake did not promote the production of chemical hazards of oil and fat, which indicating that the addition of matzhu and matcha not only increased the content of dietary fiber, but also reduced the HI and pGI values, did not produce MCPDEs, GEs and TFAs and improved its antioxidant activity of the chiffon cake. This research provides a theoretical basis for developing low pGI and safe matzhu chiffon cake. It also provides a theoretical basis for developing low pGI and safe matzhu chiffon cake.

Key words: Matzhu; matcha; chiffon cake; pGI values; MCPDEs; tans-fatty acid

收稿日期: 2024-09-20; 修回日期: 2024-10-28; 接受日期: 2024-10-29

基金项目: 广东省重点研发项目项目 (2019B020212001);

作者简介: 肖海辉 (1978-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 焙烤食品研发, E-mail: 934245900@qq.com

通讯作者: 刘国琴 (1962-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 油脂营养与安全研究, E-mail: guoqin@scut.edu.cn

近年来,随着人民生活水平的提高,患糖尿病和心血管疾病的人原来越多,如何通过膳食降低血糖和防止心血管成为食品科学家关注的焦点。众所周知,抹竹和抹茶由于其膳食纤维含量高,在食品中添加既能调节膳食结构,也有助于降低血糖和胆固醇,预防心血管疾病,调节肠道功能等,因此研究开发此类食品成为近年来研究的热点^[1-4]。另外,据报道潜在的油脂热加工典型化学危害物如氯丙醇酯(Monochloropropanediol Esters, MCPDEs)、缩水甘油酯(Glycidyl Esters, GEs)和反式脂肪酸(Trans-fatty Acids, TFAS)等在烘焙食品中广泛存在,尤其是在富含油脂的烘焙食品中含量较高, MCPDEs的水解产物氯丙醇(Monochloropropanol, MCPD)具有肾脏毒性^[5], GEs的水解产物缩水甘油(Glycidyl, GE)可以直接与细胞内的物质(如DNA和蛋白质等)发生反应,具有基因遗传毒性^[6]。这可引发动脉粥样硬化、心脏病、阿尔茨海默病等疾病,对人体健康产生危害^[7],因此,近年来诸多研究热点是关于降低血糖指数(Glycemic Index, GI)和预防烘焙食品在高温中产生油脂热加工伴生化学危害物的报道,如:Aune等^[8]发表了关于膳食纤维和全谷物的摄入量与结直肠癌风险之间的关系的研究,付诗尧等^[9]通过膳食干预观察抹竹对小鼠代谢综合征症状的改善情况并与抹茶进行对比。王亦萱^[10]探讨了茶鲜叶和干叶对曲奇饼干和戚风蛋糕品质特性的影响,胡文娜^[11]研究了酥性饼干中氯丙醇酯和缩水甘油酯的控制及其品质变化,黄李成等^[12]报道了抹竹对戚风蛋糕品质和储藏稳定性的影响及机理研究,但鲜见关于加入抹竹和抹茶对糕中淀粉的水解指数(Hydrolysis Index, HI)和预测血糖指数(Prediction of Glycemic Index, pGI)值的影响以及烘焙食品中油脂典型伴生危害物的研究报道,本研究以戚风蛋糕为研究对象,通过测定戚风蛋糕的HI、pGI值、MCPDEs、GEs和TFAS的含量,探究抹竹和抹茶对添加对戚风蛋糕中的HI、pGI值和MCPDEs、GEs和TFAS的影响。以期为开发高膳食纤维,低pGI值和安全的烘焙食品奠定理论基础。

1 材料及方法

1.1 实验材料与设备

1.1.1 实验材料与试剂

猪胰 α -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶(Amyloglucosidase, AMG), 购买自Sigma公司;无水乙醇,购买自天津化学试剂厂;总淀粉试剂盒,购买自Megazyme公司;DPPH自由基清除试剂盒和总抗氧化能力试剂盒,购买自南京建成生物工程研究所;冰乙酸,购买自广东化学试剂工程技术研究开发中心;氯化钙,购买自福成化学有限公司;三水合乙酸钠,购买自江苏强盛功能化学有限公司。

1.1.2 仪器设备

ME802E精密电子天平,梅特勒-托利多仪器;Synergy NEO2多功能酶标仪,美国伯腾仪器有限公司;DF-101S数显恒温水浴锅,巩义市予华仪器有限责任公司;QL-866旋涡混合器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;X'Pert PRO紫外可见分光光度计,荷兰Panlytical公司;DF-101S水浴恒温振荡器,巩义市予华仪器有限责任公司;KH20R-II离心机,湖南凯达科学仪器有限公司;Agilent 7000E三重串联四级杆气质联用仪,安捷伦科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 戚风蛋糕中总淀粉含量的测定

1.2.1.1 测定方法

根据Megazyme K-GLUC D-葡萄糖[GOPOD法]检测试剂盒的方法^[12]对戚风蛋糕样品中的总淀粉含量进行测定。准确称取两份100 mg样品(干基),然后放入50 mL试管中,分别命名为A管和B管。

样品前处理:向两组试管中加入5 mL ϕ =80%乙醇溶液,于80 °C水浴锅中保温5 min后涡旋混合,再加入5 mL ϕ =80%乙醇溶液,在5 000 r/min条件下离心10 min,除去上清液后再次重复加10 mL的 ϕ =80%乙醇溶液,涡旋混合后重复离心操作,倒去上清液。在A管和B管中,分别加入0.2 mL 80%乙醇溶液,涡旋混合使样品完全分散。然后再加入2 mL冷的1.7 mol/L氢氧化钠溶液,涡旋混合15 s后,把试管架在冰水里进行15 min磁力搅拌。期间间歇性涡旋管中内容物2~3次,确保样品液无结块。冰水浴完成后,向A、B两管中分别加入8 mL氯化钙的乙酸钠缓冲液(600 mmol/L),涡旋混合并调节溶液的pH值为5.0。

高温 α -淀粉酶及AMG酶解:步骤1完成后,立即向A管中添加0.1 mL未稀释的耐高温 α -淀粉酶,后添加

0.1 mL 的 AMG。在 B 管（样品空白）中加入 0.2 mL 含氯化钙的乙酸钠缓冲溶液（100 mmol/L）。盖上试管盖，涡旋 3 s，然后在 50 °C 恒温水浴锅中保温 30 min 后取出试管，冷却至室温。将试管倒转几次，以确保试管盖内侧的冷凝水与管内的液体混合。

葡萄糖含量测定：将每组样品的 A 与 B 两组试管各取 2.0 mL 移入 5 mL 离心管，并再 13 000 r/min 条件下离心 5 min。准确地将 1.0 mL 的上清液转移到含 4 mL 醋、乙酸钠缓冲溶液（100 mmol/L）的 10 mL 离心管中后混匀。从 A 管中转移 0.1 mL 到 5 mL 的离心管中，同时从 B 管中取 0.1 mL 的空白。向离心管中加入 3.0 mL GOPOD 试剂，在 45 °C 条件下水浴 20 min 后在 510 nm 处测定吸光值，同时取 0.1 mL 葡萄糖标准溶液和 0.1 mL 乙酸钠缓冲液（100 mmol/L）作为葡萄糖标液和空白对照。其中，提取体积（ EV ）=10.4，稀释度（ D ）=1。

1.2.1.2 结果计算

$$SDW = SW \times \frac{100}{(100 - MC)} \quad (1)$$

$$GC = \frac{\Delta A \times F \times EV}{0.1} \times D \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \quad (2)$$

式中：

SDW ——淀粉干基重（%wt）；

SW ——淀粉含量（%wt）；

MC ——水分含量（%wt）；

GC ——葡萄糖含量；

ΔA ——样品溶液对试剂空白的吸光度；

F ——将吸光度值转换为 mg 葡萄糖；

EV ——样品提取体积为 10.4 mL；

0.1——分析样品的体积；

D ——样品溶液的稀释倍数（本实验未稀释）；

1/1000—— μg 到 mg 的转换系数；

100/ W ——转化到 100 mg 的样品中；

W ——样品重量（mg）；

162/180——由葡萄糖转化为淀粉的转换系数。

1.2.2 预测血糖生成指数的测定

1.2.2.1 测定方法

根据黄李成的方法测定血糖生成指数^[12]，称取 2.0 g 戚风蛋糕样品（干重）于 100 mL 锥形瓶中，并记录实际重量，然后向锥形瓶中加入 20 mL 缓冲溶液，摇匀，并用 4 mL 5 wt.% 盐酸调节溶液 pH=1.2，1 mL 2 wt.% 加入胃蛋白酶溶液后在恒温振荡器（37 °C，175 r/min）中进行酶解反应，同时作不含蛋糕样品的空白对照。胃蛋白酶酶解反应进行 30 min 后取 0.5 mL 反应液测定葡萄糖当量，记录为 0 时刻的葡萄糖当量。同时用 1 mol/L 和 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液调节反应液的 pH 为 5.2，并向反应液中加入 5 mL 混合酶，继续在恒温振荡器中进行酶解反应，开始计时，分别在反应进行到 20、60、120 和 180 min 时取 0.5 mL 反应液测定葡萄糖当量，根据反应液中的葡萄糖当量计算戚风蛋糕样品在酶解消化过程中各时间点的淀粉水解率。反应液中各时间点葡萄糖当量的测定同本章戚风蛋糕中总淀粉含量的测定中葡萄糖当量的测定方法一致。

1.2.1.2 结果计算

通过对比反应液和葡萄糖标准溶液的吸光度即可计算得到反应液中的葡萄糖当量，从而根据下面公式计算得到戚风蛋糕中淀粉的水解率。

$$N(\%) = \frac{B \times 0.9}{A} \times 100 \quad (3)$$

式中:

N ——淀粉水解率;

B ——取样时间点反应液中的葡萄糖当量;

A ——总淀粉含量。

以淀粉水解率为因变量,反应时间为自变量,绘制戚风蛋糕中淀粉在消化过程中的水解曲线。根据淀粉的水解曲线得到曲线下面积(AUC),以白面包作为对照参考,根据公式可计算得到戚风蛋糕中淀粉的水解指数(Hydrolysis Index, HI)。Goni 等^[13]研究得到 HI 与 pGI 值之间存在着高度相关性($-0.894, P<0.05$),得到拟合方程如下。根据下列公式可计算出抹竹替代组戚风蛋糕、抹茶替代组戚风蛋糕与空白组戚风蛋糕的 HI 以及 pGI。

$$HI = \frac{AUC_1}{AUC_2} \quad (4)$$

$$pGI = 39.71 + (0.549 \times HI) \quad (5)$$

式中:

AUI_1 ——戚风蛋糕中曲线下面积;

AUI_2 ——白面包中曲线下面积。

1.2.3 热加工油脂伴生危害物的测定

1.2.3.1 戚风蛋糕中氯丙醇酯、缩水甘油酯和脂肪酸的测定

表 1 三种危害物的标准曲线

Table 1 Standard curves of three kinds of hazards

危害物	标准曲线方程	R^2	线性范围/($\mu\text{g/mL}$)
3-氯丙醇酯	$Y=1.2097X+0.5028$	0.9993	0.03~0.93
2-氯丙醇酯	$Y=2.5610X+0.0924$	0.9996	0.02~0.93
缩水甘油酯	$Y=0.6168X+0.0188$	0.9994	0.06~2.14

戚风蛋糕样品中脂肪的提取中参考 GB5009.6-2016《食品中脂肪的测定》^[14]进行。氯丙醇酯和缩水甘油酯的测定参考 SN/T5220-2019《出口食品中 3-氯丙醇酯及缩水甘油酯的测定》^[15]和胡文娜^[11]的气相色谱-质谱法。

1.2.3.2 戚风蛋糕中油脂的脂肪酸组成分析

脂肪酸的测定按照 GB5009.168-2016《食品国家安全标准 食品中脂肪酸的测定》进行。

1.2.4 戚风蛋糕化学提取物的抗氧化活性测定

戚风蛋糕化学提取物的抗氧化活性以南京建成生物工程研究所提供的 DPPH 自由基清除能力试剂盒和总抗氧化能力(ABTS 法)试剂盒的方法进行测定。

1.2.4.1 样品前处理

准确称取约 1 g 戚风蛋糕样品(干基),加入 3 mL $\varphi=80\%$ 的甲醇溶液,冰水浴充分提取 1 h, 12 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱待测。

1.2.4.2 DPPH 法

移取 400 μL 样品提取液于 2 mL 离心管,同时做样品对照和空白对照,测试管和空白管加入 600 μL DPPH 乙醇溶液,样品对照管加入等量的 $\varphi=80\%$ 甲醇溶液,混合均匀,室温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下避光静置 30 min,用无水乙醇调零,1 cm 光径,用紫外分光光度计测定 517 nm 处各管吸光值。以 Trolox 标准工作液(质量浓度为 5、10、15、20、15 $\mu\text{g/mL}$)绘制标准曲线,结果以每克样品的 Trolox 等价抗氧化能力来表示,以 $\mu\text{g Trolox/g sample}$ 为单位。

1.2.4.3 ABTS 法

移取 10 μL 样品提取液到 170 μL ABTS 工作液中,并加入 20 μL 10 wt.%过氧化物酶应用液,室温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下避光反应 6 min,用酶标仪测定在波长 405 nm 处的吸光值。以 Trolox 标准液工作液(浓度为 0.1、0.2、0.4、0.8、1.0 mmol/L)绘制标准曲线。结果以每克样品的 Trolox 等价抗氧化能力来表示,以 mmol Trolox/g sample 为单位。

1.3 数据分析

所有实验进行三次平行测定，所得数据通过 Excel 进行计算，表现形式为平均值±标准偏差。文章中所列数据用 origin 2018 进行曲线拟合及图形绘制。不同样品之间的数据显著性利用 SPSS 23.0 中的 Duncan’s 分析方法，当 $P<0.05$ 时表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 抹竹和抹茶的添加对戚风蛋糕预测血糖生成指数的影响

表 2 抹竹和抹茶对戚风蛋糕水解指数和预测血糖生成指数的影响

Table 2 Effects of Matzhu & Matcha on hydrolysis index and predicted glycemic index of chiffon cakes

Samples	HI	pGI
Control	83.65±0.45 ^a	76.51±0.25 ^a
5% MZ	74.43±0.50 ^c	73.01±0.41 ^b
10% MZ	65.34±0.65 ^d	69.56±0.28 ^c
15% MZ	60.20±0.35 ^e	67.62±0.50 ^d
20% MZ	56.28±0.88 ^f	66.13±0.39 ^e
5% MC	76.31±0.43 ^b	73.73±0.42 ^b
10% MC	74.10±0.78 ^c	72.89±0.61 ^b

注：同一列不同字母表示有显著性差异（ $P<0.05$ ）。

抹竹和抹茶对戚风蛋糕水解指数和预测血糖生成指数的影响如表 2 所示。由表可知，抹竹和抹茶均能降低戚风蛋糕中淀粉的 HI 和蛋糕的 pGI，与对照组相比，戚风蛋糕中淀粉的 HI 和 pGI 值均随抹竹和抹茶替代比的增加而降低，当二者替代比为 5% 时，pGI 值差距不是很明显，如继续增加替代比达 10%，添加抹竹的 pGI 值从 76.51 降至 69.56，降幅为 9.08%，添加抹茶的 pGI 值从 76.51 降至 72.89，降幅为 4.73%，这说明抹竹和抹茶的添加对戚风蛋糕血糖的升高都有一定的抑制作用，但抹竹的抑制效果明显高于抹茶。这是因为抹竹和抹茶均含有丰富的膳食纤维，膳食纤维吸水后会形成一个保护层，消化系统必须穿透保护层才能释放出其中的碳水化合物，从而降低食物 GI 值，减缓血糖水平的上升^[16,17]。也可能会降低蛋糕的体外淀粉消化速率^[18]，从而降低蛋糕的 pGI。

2.2 抹竹和抹茶的添加对 MCPDEs、GEs 和 TFAs 和脂肪酸组成的影响

2.2.1 抹竹和抹茶的添加对 MCPDEs 和 GEs 的影响

在高温烘焙过程，富含油脂的烘焙类食品在高温下易产生 MCPDEs 和 GEs 等^[19]，毒理学数据已经证明二者的水解产物 3-MCPD 和 GE 分别具有肾脏毒性和基因遗传毒性，已被国际癌症研究机构分别列为“2B”级和“2A”级致癌物^[20]。胡文娜^[11]的研究表明，月饼和酥性饼干这一类油脂含量高的烘焙食品中均普遍存在 3-MCPDEs、2-MCPDEs 和 GEs，其中 3-MCPDEs 在月饼和酥性饼干中的平均含量水平最高，其次为 GEs 和 2-MCPDEs。戚风蛋糕作为典型的烘焙类食品，油脂是其必不可少的原料之一，因此对其进行脂溶性危害物的测定是评价其安全性中的重要一环，抹竹和抹茶的添加对油脂热加工危害物的影响如图 2 所示。对比标准品图 1 和实验组图 2 的提取离子色谱图可知，对照组、抹竹替代组和抹茶替代组戚风蛋糕中均未出现上述的三种脂溶性危害物的特征离子，说明抹竹和抹茶的添加不会造成戚风蛋糕中 3-MCPDEs、2-MCPDEs 和 GEs 的生成。

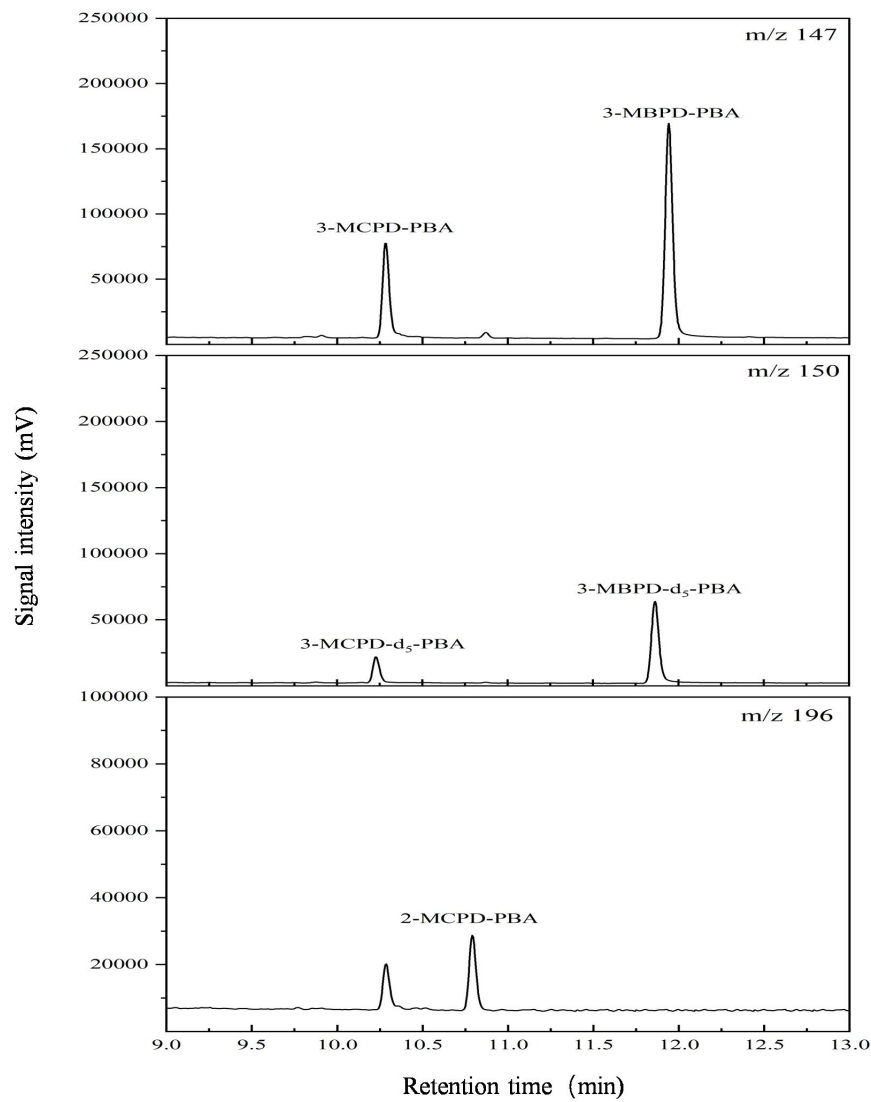
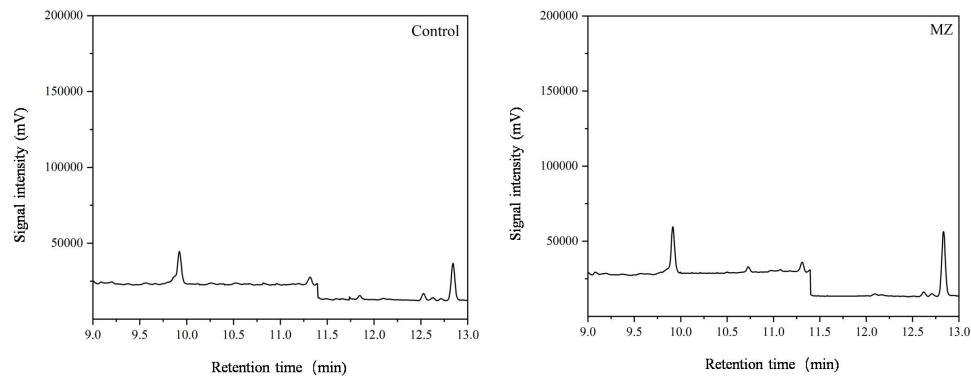


图 1 标准品及其内标苯基硼酸衍生物的提取离子色谱图

Fig.1 SIM chromatogram of phenylboronic acid derivatives of standard and its internal standard



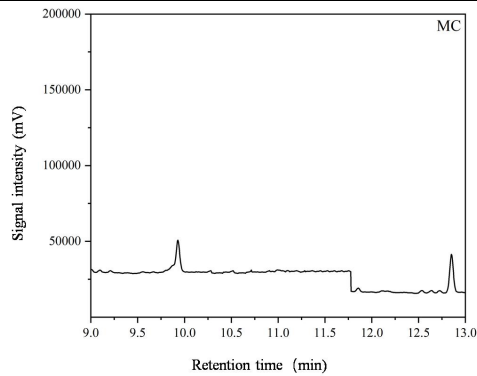


图 2 不同戚风蛋糕的色谱图

Fig.2 SIM chromatograms of different chiffon cakes

2.2.2 抹竹和抹茶的添加对油脂脂肪酸组成和反式脂肪酸的影响

表 3 不同戚风蛋糕中油脂脂肪酸和反式脂肪酸含量

Table 3 Fatty acid composition of fat in different chiffon cakes

脂肪酸组成/%	Control	MZ	MC
棕榈酸 C16:0	12.84±0.46 ^a	12.73±0.51 ^a	13.40±0.62 ^a
硬脂酸 C18:0	2.78±0.03 ^a	2.86±0.09 ^a	2.77±0.07 ^a
花生酸 C20:0	0.17±0.02 ^a	0.24±0.08 ^a	0.15±0.04 ^a
油酸 C18:1	26.55±1.07 ^a	26.57±0.63 ^a	25.66±2.04 ^a
亚油酸 C18:2	56.82±0.67 ^a	56.81±1.72 ^a	57.22±1.29 ^a
亚麻酸 C18:3	0.84±0.11 ^a	0.79±0.14 ^a	0.80±0.08 ^a
TFAs	nd	nd	nd
SFA	15.79±0.14 ^a	15.83±0.23 ^a	16.32±0.36 ^a
UFA	84.21±0.28 ^a	84.17±0.15 ^a	83.68±0.37 ^a

注：同一行不同字母表示有显著性差异（ $P<0.05$ ）；nd 表示未检出。

富含油脂的烘焙食品在热加工过程往往会产生 TFAs，通过 GC-MS 对比研究对照组、抹竹和抹茶替代组对烘焙食品中油脂脂肪酸组成和反式脂肪酸的影响见表 3。由表 3 可知，抹竹和抹茶的添加对戚风蛋糕中油脂的脂肪酸组成无显著影响，各组戚风蛋糕中油脂的脂肪酸含量无显著差异，此外，各组戚风蛋糕中均未检出 TFAs，说明抹竹和抹茶的添加不会影响其脂肪酸组成也不会产生 TFAs。

2.3 抹竹和抹茶的添加对戚风蛋糕化学提取物的抗氧化活性影响

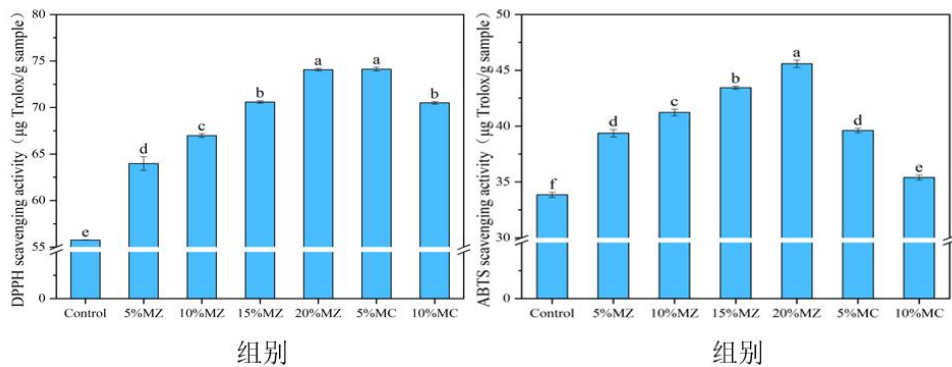


图 3 抹竹和抹茶的添加对戚风蛋糕化学提取物抗氧化活性的影响（a：DPPH；b：ABTS）

Fig.3 Effects of Matzhu & Matcha on antioxidant activity of chemical extracts from chiffon cakes

从图 3 可知，与对照组相比，抹竹和抹茶的添加均可以提高 DPPH 和 ABTS 的自由基清除活性。5%、10%、15%和 20%抹竹替代组的 DPPH 自由基清除活性随抹竹替代比的增加而增加，分别提高了 14.78%、20.14%、26.62%

和 32.85%。但抹茶替代组的趋势与抹竹不同,当替代比为 5%时 DPPH 自由基清除活性最高,达 32.94%,如果继续增加,其 DPPH 自由基清除活性反而降低,反而低于 5%抹茶替代组,ABTS 自由基清除活性也表现出相同的趋势。这说明抹竹和抹茶的添加虽然均可以增强戚风蛋糕化学提取物的 DPPH 和 ABTS 自由基清除活性,延缓蛋糕中油脂的氧化酸败,延长其货架期。但抹茶替代比 5%最佳,否则不仅不能提高其品质也不能增加自由基清除活性。

3 结论

戚风蛋糕中淀粉的 HI 和 pGI 值均随抹竹和抹茶替代比的增加而降低,这说明抹竹和抹茶的添加能够降低戚风蛋糕中淀粉的体外消化速率,从而降低 pGI 值。因此抹竹和抹茶的添加对戚风蛋糕血糖的升高都有一定的抑制作用,但抹竹的抑制效果显著高于抹茶。并且抹竹和抹茶的添加不会促使戚风蛋糕中 MCPDEs、GEs 和 TFAs 的生成,制备的戚风蛋糕不仅富含膳食纤维,还可以降低 pGI 值并且不含 MCPDEs、GEs 和 TFAs。同时还可以延缓蛋糕的氧化酸败,提高蛋糕的贮藏期,本文为开发低 pGI 值并且安全的抹竹戚风蛋糕提供了理论基础。

参考文献

- [1] YE J H, FANG Q T, ZENG L, et al. A comprehensive review of matcha: production, food application, potential health benefits, and gastrointestinal fate of main phenolics [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, 64(22): 7959-7980.
- [2] WEI R, QIAN L S, KAYAMA K, et al. Cake of Japonica, Indica and glutinous rice: Effect of matcha powder on the volatile profiles, nutritional properties and optimal production parameters [J]. *Food Chemistry*. 2023, 18: 100657.
- [3] WANG Y, ZOU C, YIN J. Preparation of Matcha Fresh Noodles with Stable Color using Embedding Method and Microwave Treatment [J]. *Journal of Visualized Experiments*, 2024, 209: e67074.
- [4] 付诗尧,陈亮,张艳雯,等.抹竹在食品工业中的应用研究[J].*食品与生物技术学报*,2019,38(8):60-70.
- [5] BAKHIYA N, ABRAHAM K, GURTLE R, et al. Toxicological assessment of 3-chloropropane-1,2-diol and glycidol fatty acid esters in food [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2011, 55(4): 509-521.
- [6] HABERMEYER M, GUTH S, EISENBRAND G. Identification of gaps in knowledge concerning toxicology of 3-MCPD and glycidol esters [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2011, 113(3): 314-318.
- [7] PARK J K, KOEHLER K M. Probabilistic quantitative assessment of coronary heart disease risk from dietary exposure to industrially-produced trans fatty acids in partially hydrogenated oils [J]. *Toxicological Sciences*, 2019, 172(1): 213-224.
- [8] AUNE D, CHAN D S M, LAU R, et al. Dietary fibre, whole grains, and risk of colorectal cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies [J]. *British Medical Journal*, 2011, 343: d6617.
- [9] 付诗尧,陈玉峰,李云虹等.抹竹膳食补充剂防护小鼠代谢综合征的试验研究[J].*中国食品学报*,2020,20(3):7-20.
- [10] 王亦萱.茶鲜叶和干叶对曲奇饼干和戚风蛋糕品质特性的影响[D].合肥:安徽农业大学,2022.
- [11] 胡文娜.酥性饼干中氯丙醇酯和缩水甘油酯的控制及其品质变化研究[D].广州:华南理工大学,2021.
- [12] 黄李成.抹竹对戚风蛋糕品质和储藏稳定性的影响及机理研究[D].广州:华南理工大学,2023.
- [13] GONI I, GARCIAALONSO A, SAURA CALIXTO F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index [J]. *Nutrition Research*, 1997, 17(3): 427-437.
- [14] 中华人民共和国国家食品药品监督管理总局,中国国家卫生和计划生育委员会.GB5009.168-2016 食品国家安全标准 食品中脂肪酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [15] 中华人民共和国海关总署.SN/T5220-2019 出口食品中 3-氯丙醇酯及缩水甘油酯的测定相色谱-质谱法[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [16] LI Y, NIU L, WU L, et al. Polyphenol-fortified extruded sweet potato starch vermicelli: Slow-releasing polyphenols is the main factor that reduces the starch digestibility [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 253: 127584.
- [17] WANG Y F, YU Y E, DING L J, et al. Matcha green tea targets the gut-liver axis to alleviate obesity and metabolic disorders induced by a high-fat diet [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 931060.
- [18] GRANFELDT Y, BJÖRCK I, DREWS A, et al. An in vitro procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1992, 46(9), 649-660.

-
- [19] 戢颖瑞.单氯丙醇酯和缩水甘油酯在烘焙加工中存在规律与影响因素研究[D].广州:华南理工大学,2022.
- [20] BRAEUNING A, SAWADA S, OBEREMM A, et al. Analysis of 3-MCPD- and 3-MCPD dipalmitate-induced proteomic changes in rat liver [J]. Food and Chemical Toxicology. 2015, 86: 374-384.