

三花茶降脂功效及其在红茶奶茶中的应用

付静^{1,2*}, 赵欣蕊¹, 刘佳¹, 杨晨曦¹

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西汉中 723000) (2. 陕西省资源生物重点实验室, 陕西理工大学秦巴生物资源与生态环境省部共建国家重点实验室(培育), 陕西汉中 723000)

摘要: 为了探究三花茶降脂功效, 采用玫瑰花、茉莉花、玳玳花、荷叶和川芎为原料制得的速溶三花茶作为实验材料, 通过体外实验研究三花茶的降脂功效, 并将其应用在红茶奶茶中探究低糖低脂奶茶的最佳配方。选取胆固醇酯酶抑制率、胰脂肪酶抑制率与胆酸盐结合能力为考察指标, 评价三花茶的体外降脂活性; 将三花茶添加到红茶奶茶中, 以模糊数学感官审评为指标, 结合单因素试验及响应面试验, 优化得到低糖低脂奶茶的最佳配方。结果表明, 三花茶对胆固醇酯酶的抑制率(87.11%)显著高于胰脂肪酶的抑制率(53.91%)以及胆酸盐的结合率(3.97%); 低糖低脂奶茶的最佳配方为速溶红茶0.35%, 三花茶6.00%, 纯牛奶35.00%, 蜂蜜与木糖醇(1.5:1)4.45%, 蔗糖酯与单甘酯(1:1)0.10%; 对低糖低脂奶茶的主要理化指标进行检测, 其糖含量0.152 mg/g, 脂肪含量0.010 mg/g, 蛋白质含量0.455 mg/g, 稳定系数1.048。本研究证实了速溶三花茶在体外能够有效抑制机体对胆固醇的吸收, 具有潜在的降脂作用, 可以为开发感官品质良好且有益于健康的低糖低脂奶茶新产品提供理论依据和数据支撑。

关键词: 速溶三花茶; 降脂功效; 低糖低脂奶茶; 模糊数学感官审评法

文章编号: 1673-9078(2025)11-258-268 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.11.1092

The Lipid-lowering Effect of Sanhua Tea and Its Application in Milk Tea

FU Jing^{1,2*}, ZHAO Xinrui¹, LIU Jia¹, YANG Chenxi¹

(1.School of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)
(2.Shaanxi Province Key Laboratory of Bio-resources, Qinba State Key Laboratory of Biological Resources and Ecological Environment (Incubation), Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: To investigate the lipid-lowering effects of Sanhua Tea, a ready-to-drink Sanhua Tea made from rose, jasmine, citrus aurantium, lotus leaves, and Chuanxiong was prepared as the experimental material. The lipid-lowering efficacy of Three-Flower Tea was studied through *in vitro* experiments, and its application in black tea milk tea was explored to determine the optimal formula for low-sugar, low-fat milk tea. Cholesterol esterase inhibition rate, pancreatic lipase inhibition rate, and sodium cholate absorption efficiency were selected as indicators to evaluate the lipid-reducing activity of Sanhua tea *in vitro*. By adding Sanhua tea to low-sugar milk, the optimal formula of low-sugar and low-fat milk tea was obtained by combining fuzzy mathematical sensory evaluation, single factor testing, and response surface testing. The results showed that Sanhua tea significantly strongly inhibited cholesterol esterase (87.11%) than pancreatic lipase (53.91%) and sodium cholate absorption efficiency (3.97%). The optimal formula for low-sugar and low-fat milk tea composed of 0.35% instant black tea, 6.00% Sanhua tea, 35.00% milk, 4.45% honey and xylitol (1.5:1), and 0.10% sucrose ester and monoglyceride (1:1). The main physicochemical properties of the low-sugar, low-fat milk tea were analyzed. The total sugar, crude fat, crude protein content, and stability coefficient were 0.152 mg/g, 0.010 mg/g, 0.455 mg/g, and 1.048, respectively. This study confirmed that instant Sanhua tea

引文格式:

付静,赵欣蕊,刘佳,等.三花茶降脂功效及其在红茶奶茶中的应用[J].现代食品科技,2025,41(11):258-268.

FU Jing, ZHAO Xinrui, LIU Jia, et al. The lipid-lowering effect of Sanhua tea and its application in milk tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(11): 258-268.

收稿日期: 2024-07-28 ; 修回日期: 2024-10-30 ; 接受日期: 2024-10-31
基金项目: 陕西理工大学秦巴生物资源与生态环境省部共建重点实验室(培育)“市校共建”科技专项(SXZC-2102)
作者简介: 付静(1976-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 茶叶化学与茶深加工, E-mail: fujing@snut.edu.cn

effectively inhibits cholesterol absorption *in vitro* and has potential lipid-reducing effects. These findings provide theoretical basis and data support for the development of new low-sugar, low-fat milk tea products with desirable sensory qualities and health benefits.

Key words: instant Sanhua tea; lipid-reducing effect; low-sugar and low-fat milk tea; fuzzy mathematical sensory evaluation

随着现代生活方式和疾病谱的改变,肥胖的患病率稳步上升。肥胖会引起骨骼负担加重、脏器损伤、血液质量下降、代谢异常等不良后果^[1]。由肥胖出现的高脂血症、脂肪肝、冠心病、糖尿病等相关并发症也已成为威胁人类健康的重要公共卫生问题^[2]。因此,研究有效的降脂方法,对人类健康有着重要意义。

1981年上海市普陀区中心医院和上海市保健饮料厂联合研制出由玫瑰花、茉莉花、玳玳花、荷叶和川芎为原料的“三花减肥茶”,并通过长达半年多的临床疗效观察,证实了该减肥茶对肥胖症患者具有较好的疗效,减肥效率达70%^[3]。近年来,已有研究者探讨“三花减肥茶”组成原料的降脂功能,证实了三花茶组分的提取物或浓缩液均具有降糖降脂的功效^[4-6]。此外,五个组分原料均具有抗氧化活性^[7-10]。在此基础上,玫瑰花还具有抗疲劳^[11]、抗衰老^[12]功效,川芎具有抗炎反应、抗纤维化、诱导自噬、改善细胞凋亡等能力^[13]。但是,“三花减肥茶”降脂功能成分和降脂减肥机理尚未有报道,降脂功效研究的深度与广度仍存在不足。因此,有必要对“三花减肥茶”的降脂减肥功效进一步深入研究。

当前,茶饮料的研究主要集中在活性物质的检测和提取、红茶菌饮料、功能性研究如抗氧化和抗菌活性^[14]等方面。红茶是消费量最大的一种发酵茶,其中的茶多酚、茶黄素等成分均有降血脂、降血压、抗衰老、抗氧化等保健功能^[15]。而且,具有特色的奶茶品类陆续已被开发^[16-19]。本研究将速溶三花茶添加到前期研究已经得到低糖红茶奶茶配方中,利用模糊数学感官审评方法优化产品配方,制备出低糖低脂三花茶红茶奶茶,为维护消费者的健康、进一步开发低脂饮料产品提供数据支持,促进奶茶行业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

玫瑰花为蔷薇科植物玫瑰(*Rosa rugosa* Thunb.)的干燥花蕾,亳州市滋草堂茶业有限公司;茉莉花为木犀科植物茉莉[*Jasminum sambac* (L.) Ait.]的干燥花蕾,安徽药知源中药饮片有限公司;玳玳花为芸香科植物玳玳花(*Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl.)的干燥花蕾,玉林市玉州区喜商贸行;荷叶为睡莲科

植物莲(*Nelumbo nucifera* Gaertn.)的干燥叶、川芎为伞形科植物川芎(*Ligusticum chuanxiong* Hort.)的干燥根茎,陕西广泰和药业;胆固醇酯酶(300 U/g)、4-硝基苯丁酸酯(4-Nitrophenyl butyrate, PNPB, 98%)、牛磺胆酸钠(95%)、胰蛋白酶(生物技术级),上海麦克林生化科技股份有限公司;猪胰脂肪酶(3 000 U/g),上海源叶生物科技有限公司;三羟甲基氨基甲烷(Trihydroxymethylaminomethane, Tris),上海蓝季科技发展有限公司;乙腈(色谱纯),天津市大茂化学试剂厂;实验用水为一级纯水,其他化学品和未标注试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

UV-3200 紫外可见分光光度计,日本日立公司;Infinite 200 PRO 酶标仪,瑞士TECAN公司;Xinyi-100F 真空冷冻干燥机,宁波新艺超声设备有限公司;H1850 高速台式离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;THZ-A 气浴恒温摇床,常州诺基仪器有限公司;HJ-4DS 电动搅拌水浴锅,常州润华电器有限公司;FE28-Meter 台式 pH 酸度计,上海梅特勒托利多仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 速溶三花茶的制备

将玫瑰花、茉莉花、玳玳花、荷叶和川芎粉碎,各称取 8.00 g,置于盛有 1 200.00 mL 纯净水的烧杯中,搅拌均匀,放入 90 ℃ 水浴锅中浸提 15 min 后,用四层纱布过滤至另一烧杯中,取滤渣,用 1 200.00 mL 纯净水二次提取后,四层纱布过滤,合并两次滤液,得到茶汤,倒入物料盘中于 -30 ℃ 预冻,冷冻干燥 73 h,得到速溶三花茶粉,收集并计算得率,于 4 ℃ 保存。工艺流程见图 1。

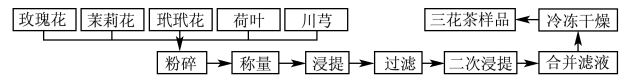


图 1 速溶三花茶制备工艺流程图

Fig.1 Process flow diagram for the preparation of instant Sanhua tea

1.3.2 三花茶对胆固醇酯酶的抑制作用

在 1.50 mL 离心管中,加入 1.00 mL 含有牛磺胆酸钠(5.16×10^{-3} mol/L)、氯化钠(0.10 mol/L)的磷酸

缓冲溶液 (0.10 mol/L, pH 值 7.0), 50 μL 胆固醇酯酶溶液 (3 U/mL, 用超纯水配制), 25 μL 速溶三花茶 (质量浓度为 25、30、35、40、45 mg/mL) 和 10 μL PNPB 溶液 (4×10^{-3} mol/L, 用乙腈配制, -20°C 保存备用)。在 25°C 下水浴 5 min, 取上清液于 405 nm 处测定吸光度^[20,21]。空白管用超纯水代替三花茶, 空白对照管用超纯水代替三花茶和酶液, 背景对照管用超纯水代替酶液^[22], 每个浓度梯度做 3 组平行。三花茶对胆固醇酯酶的抑制率按式 (1) 计算:

$$I = (1 - \frac{A_3 - A_4}{A_1 - A_2}) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

I ——三花茶对胆固醇酯酶的抑制率, %;

A_1 ——空白管的吸光度;

A_2 ——空白对照管的吸光度;

A_3 ——样品管的吸光度;

A_4 ——背景对照管的吸光度;

100——换算系数。

1.3.3 三花茶对胰脂肪酶的抑制作用

在 96 孔板中, 加入 50 μL 速溶三花茶 (质量浓度为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL)、130 μL 胰脂肪酶溶液 (质量浓度为 0.25 mg/mL), 用含有氯化钙 (1.3×10^{-3} mol/L)、氯化钠 (0.15 mol/L) 的 Tris-HCl 缓冲液 (1.3×10^{-2} mol/L, pH 值 7.2) 配制, 3 600 g 下离心 20 min, 取上清液, 4°C 保存备用, 现配现用, 37°C 下水浴 10 min, 加入 20 μL PNPB 溶液 (4.00×10^{-3} mol/L, 用乙腈配制, -20°C 保存备用), 37°C 下水浴 20 min, 于 405 nm 处测定吸光度^[23]。空白管用超纯水代替三花茶, 空白对照管用超纯水代替三花茶、用 Tris-HCl 缓冲液代替酶液, 背景对照管用 Tris-HCl 缓冲液代替酶液^[22], 每个浓度梯度做 3 组平行。三花茶对胰脂肪酶的抑制率按式 (2) 计算。

1.3.4 三花茶与胆酸盐结合能力的测定

取 5 个 50.00 mL 离心管, 分别加入 1.00 mL 不同浓度的速溶三花茶 (质量浓度为 0.25、0.50、1.00、1.50、2.00 mg/mL); 加入 1 mL 盐酸溶液 (0.01 mol/L), 37°C 恒温振荡 1 h; 用氢氧化钠溶液 (0.1 mol/L) 调节 pH 值为 6.3, 加入 4.00 mL 胰蛋白酶溶液 (质量浓度为 10 mg/mL, 用磷酸缓冲溶液配制), 37°C 恒温振荡 1 h; 加入 4.00 mL 牛磺胆酸钠溶液 (质量浓度为 2 mg/mL, 用磷酸缓冲溶液配制), 37°C 恒温振荡 1 h; 在 4 000 r/min 下离心 20 min^[24], 取 2.00 mL 上清液于玻璃试管中, 加入 6.00 mL 硫酸溶液 (60%), 在 70°C 下水浴 20 min, 取出后流水冷却 5 min 至室温, 于 387 nm 处测定吸光度, 用水调零, 所得数

据为样品管的吸光度值。空白管用超纯水代替三花茶, 空白对照管用超纯水代替三花茶、用磷酸缓冲液代替牛磺胆酸钠溶液, 背景对照管用磷酸缓冲液代替牛磺胆酸钠溶液^[22], 每个浓度梯度做 3 组平行。三花茶与胆酸盐的结合率按式 (2) 计算:

$$R = (1 - \frac{A_3 - A_4}{A_1 - A_2}) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

R ——三花茶与胆酸盐的结合率, %;

A_1 ——空白管的吸光度;

A_2 ——空白对照管的吸光度;

A_3 ——样品管的吸光度;

A_4 ——背景对照管的吸光度;

100——换算系数。

1.3.5 低糖低脂奶茶的制备

称取速溶三花茶粉 0.50 g, 用 150.00 mL 水温为 85°C 的纯净水冲泡^[25], 过滤备用。称取速溶红茶粉、纯牛奶、蜂蜜、木糖醇、蔗糖酯、单甘酯依次加入制备好的三花茶汤中, 加 80°C 以上热水至 100.00 mL 充分搅拌均匀, 过滤得到奶茶样品。工艺流程见图 2。

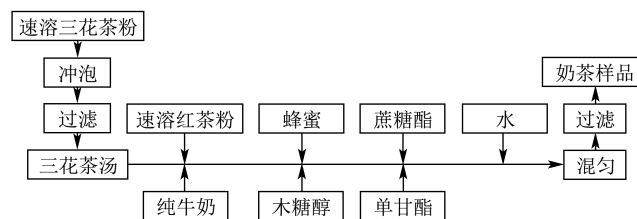


图 2 低糖低脂奶茶制备工艺流程图

Fig.2 Process flow diagram for the preparation of low sugar and lipid-reducing milk tea

1.3.6 低糖低脂奶茶配方优化的单因素试验

依据本课题组前期研究得到的低糖奶茶配方^[25]选择三花茶添加量、纯牛奶添加量、蜂蜜与木糖醇添加量、速溶红茶添加量 4 个因素进行单因素试验得到各因素对奶茶感官品质的影响。

1.3.6.1 三花茶添加量的筛选

固定速溶红茶粉 0.35 g、纯牛奶 23.98 mL、蜂蜜 2.65 g、木糖醇 1.78 g, 蔗糖酯与单甘酯各 0.05 g, 探究三花茶汤添加量分别为 0.00、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00、12.00 mL 对奶茶感官品质的影响。奶茶总量为 100.00 mL, 不足部分用水补足, 下同。

1.3.6.2 纯牛奶添加量的筛选

固定速溶红茶粉 0.35 g、三花茶汤 6.00 mL、蜂蜜 2.65 g、木糖醇 1.78 g, 蔗糖酯与单甘酯各 0.05 g, 探究纯牛奶添加量分别为 15.00、20.00、25.00、30.00、35.00、40.00 mL 对奶茶感官品质的影响。

1.3.6.3 蜂蜜添加量的筛选

固定速溶红茶粉 0.35 g、三花茶汤 6.00 mL、纯牛奶 35.00 mL、木糖醇 1.78 g，蔗糖酯与单甘酯各 0.05 g，探究蜂蜜添加量分别为 2.55、2.60、2.65、2.70、2.75 g 对奶茶感官品质的影响。

1.3.6.4 木糖醇添加量的筛选

固定速溶红茶粉 0.35 g、三花茶汤 6.00 mL、纯牛奶 35.00 mL、蜂蜜 2.70 g，蔗糖酯与单甘酯各 0.05 g，探究木糖醇添加量分别为 1.65、1.70、1.75、1.80、1.85 g 对奶茶感官品质的影响。

1.3.6.5 速溶红茶添加量的筛选

固定三花茶汤 6.00 mL、纯牛奶 35.00 mL、蜂蜜 2.70 g、木糖醇 1.75 g，蔗糖酯与单甘酯各 0.05 g，探究速溶红茶粉添加量分别为 0.25、0.30、0.35、0.40、0.45 g 对奶茶感官品质的影响。

1.3.7 低糖低脂奶茶配方优化的响应面试验

根据 1.3.6 的试验结果，采用 Box-Behnken 实验设计，选取速溶红茶添加量、三花茶添加量、纯牛奶添加量、蜂蜜与木糖醇（1.5:1）添加量为 4 个因素，进行 4 因素 3 水平响应面试验设计，得到奶茶的最优配比。响应面分析因素水平见表 1。

表 1 响应面分析因素水平表			
Table 1 Response surface analysis factor level table			
因素	水平		
	-1	0	1
速溶红茶添加量 A/%	0.30	0.35	0.40
三花茶添加量 B/%	5.50	6.00	6.50
纯牛奶添加量 C/%	34.50	35.00	35.50
蜂蜜与木糖醇添加量 D/%	4.40	4.45	4.50

1.3.8 低糖低脂奶茶感官评价标准的制定

选择 10 位评价员组成评价小组对样品进行评价，结合 GB/T 21733-2008《茶饮料》对奶茶样品的色泽、组织状态、香气、滋味、口感 5 个因素进行感官评价，将样品的等级分为优、中、差 3 个等级。采用模糊数学综合评价法^[26]，建立模糊矩阵并计算各奶茶样品的综合评分，确定低糖低脂奶茶的优化配方。奶茶感官评价标准^[25]见表 2。

1.3.9 低糖低脂奶茶感官审评模糊矩阵的建立

品评因素集 U 是指产品感官质量构成因素的集合，其中 $U=\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$ ，即色泽、组织状态、香气、滋味、口感；评价等级集 V 为对每个因素的评价，其中 $V=\{V_1, V_2, V_3\}$ ，即优（95 分）、中（85 分）、差（75 分），则 $U\times V$ 的模糊关系可用模糊矩阵 R 来表

示^[26]。采用模糊数学法进行食品感官质量评定，依据奶茶感官指标内容和评价结果，将色泽、组织状态、香气、滋味、口感的权重集确定为 $X=\{0.15, 0.15, 0.25, 0.3, 0.15\}$ 。

表 2 感官评价标准表		
Table 2 Sensory evaluation criteria		
项目	等级标准	等级
色泽（15%）	乳黄色或淡棕色，无杂色	优
	浅褐色，有少量杂色	中
	褐色、暗乳色，有明显的杂色	差
组织状态（15%）	组织均匀细腻，无分层	优
	组织细腻，无明显分层	中
	组织不均匀，有明显的分层	差
香气（25%）	有茶的清香和奶茶独特香味	优
	奶茶香气和茶的清香不明显	中
	没有奶茶香气和茶的清香	差
滋味（30%）	风味柔和，奶味、茶味、甜味适中	优
	无明显风味，奶味、茶味、甜味一般	中
	有明显异味，奶味、甜味等失调	差
口感（15%）	口感和谐	优
	口感较好	中
	口感较差	差

1.3.10 低糖低脂奶茶理化指标的测定

1.3.10.1 糖含量的测定

参考 GB 5009.8-2016《食品中果糖、葡萄糖、麦芽糖、乳糖的测定》并稍作修改，采用酸水解法测定奶茶样品中的糖（蔗糖）含量。

1.3.10.2 脂肪含量的测定

参考 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》并稍作修改，采用索氏抽提法测定奶茶样品中的脂肪含量。

1.3.10.3 蛋白质含量的测定

参考 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》，采用分光光度法测定奶茶样品中的蛋白质含量。

1.3.10.4 稳定系数的测定

参考赵秀红等^[27]奶茶稳定性研究中稳定系数的测定方法，于 750 nm 下测定奶茶样品的吸光度 A；取 1.00 mL 奶茶样品，向其中加入 9.00 mL 蒸馏水稀释 10 倍；取 1.00 mL 稀释 10 倍后的奶茶样品，向其中加入 9.00 mL 蒸馏水混匀，得到稀释 100 倍的奶茶样品，测定其吸光度 A_1 ；取 6.00 mL 奶茶样品于 10.00 mL 离心管中，2 000 r/min 离心 10 min，取上清液用蒸馏水稀释 100 倍，步骤同上，于 750 nm 下测定其吸光度 A_2 。做 3 组平行。奶茶样品的稳定系数按式（3）进行计算：

$$P = \frac{A_2}{A_1} \quad (3)$$

式中:

P ——奶茶样品的稳定系数;

A_1 ——离心前的样品吸光度;

A_2 ——离心后的样品吸光度。

1.3.11 统计学分析

实验中的数据以 $\bar{x}$ 表示,基础数据统计采用 Excel 2016 软件,作图采用 GraphPad Pism 8.0.2 软件,响应面试验分析采用 Design-Expert 11.1.0.1 软件完成。

2 结果与分析

2.1 三花茶对胆固醇酯酶活性的抑制作用

胆固醇酯酶可以水解胆固醇酯,使胆固醇转化为胆汁酸和游离胆固醇,促进脂类的消化与吸收^[20]。胆固醇酯酶活性降低,会使机体对胆固醇的吸收减少,进而发挥降脂功效。在 25 ℃ 时,胆固醇酯酶会催化 PNPB 水解,产生黄绿色产物,通过测定溶液的吸光值,可以判断出胆固醇酯酶的活性,从而分析三花茶对胆固醇酯酶的抑制作用^[21]。由图 3a 可知,三花茶质量浓度在 25.00~45.00 mg/mL 范围内对胆固醇酯酶有明显的抑制作用,且质量浓度为 35.00 mg/mL 时,对胆固醇酯酶的抑制率最高,达 87.11%,显著高于表没食子儿茶素没食子酸(EGCG)在质量浓度为 2.0 mg/mL 时对胆固醇酯酶活性的抑制率^[28](59.60%) ($P < 0.05$),表明三花茶能够抑制胆固醇酯酶的活性。

2.2 三花茶对胰脂肪酶活性的抑制作用

胰脂肪酶是水解膳食脂肪的最重要的酶,其可通过催化脂肪分子中酯键的水解,将脂肪分解为甘油和脂肪酸,使膳食脂肪被充分消化和吸收。胰脂肪酶活性被抑制时,机体对脂肪的吸收减少,表现出降脂效果^[20]。在 37 ℃ 时,胰脂肪酶会催化 PNPB 水解发生显色反应,通过测定溶液的吸光值,可以判断出胰脂肪酶的活性,从而分析三花茶对胰脂肪酶活性的抑制作用。由图 3b 可知,三花茶质量浓度在 0.50~2.50 mg/mL 范围内对胰脂肪酶活性有明显的抑制作用,且质量浓度为 2.00 mg/mL 时,对胰脂肪酶活性的抑制率最高,达 53.91%。

2.3 三花茶与胆酸盐的结合能力分析

机体内的胆固醇主要以胆汁酸的形式排出体外,而胆汁酸一般以盐及结合型的形式存在。胆酸盐被结合时含量减少,促使肝脏降解胆固醇以维持胆汁酸的平衡,从而降低体内的胆固醇水平,达到降脂效果^[29]。

通过测定溶液上清液的吸光值,可以反映出其中的胆酸盐含量,判断三花茶与胆酸盐的结合能力。由图 3c 可知,三花茶质量浓度在 0.25~2.00 mg/mL 范围内具有一定的胆酸盐结合能力,且质量浓度为 1.00 mg/mL 时,与胆酸盐的结合率最高,达 3.97%,与红树莓籽原花青素在质量浓度为 20.00~40.00 mg/mL 范围内与胆酸盐结合率无显著差异^[30] ($P > 0.05$),表明三花茶具有胆酸盐吸附能力。综上所述,三花茶能够抑制胆固醇酯酶和胰脂肪酶活性,同时可高效结合并吸附胆酸盐,暗示其可能具有潜在的降脂作用。

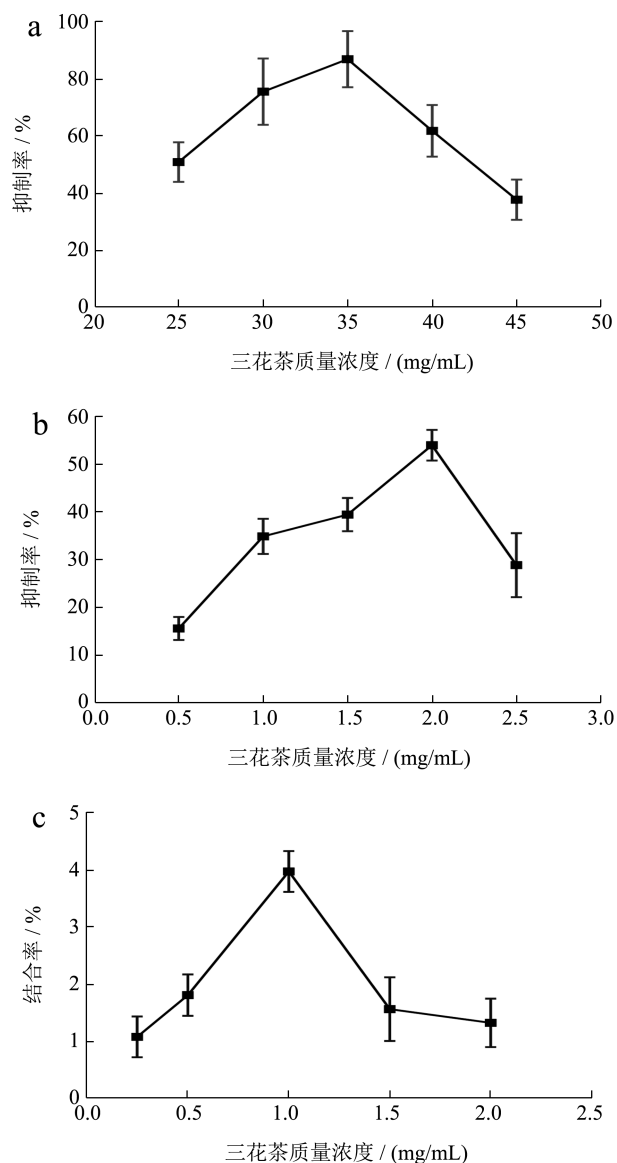


图 3 三花茶体外降脂活性分析

Fig.3 Analysis of *in vitro* lipid-reducing activity of Sanhua tea

注: (a) 三花茶对胆固醇酯酶的抑制作用; (b) 三花茶对胰脂肪酶的抑制作用; (c) 三花茶与胆酸盐的结合能力。

从以上分析可知,三花茶对胆固醇酯酶和胰脂肪酶的抑制作用以及胆酸盐结合率均有最大值,对应的

三花茶浓度分别为 87.11%、53.91% 和 3.97%。在峰值之后随着三花茶浓度的增加，抑制率和结合率并没有呈现出稳定趋势反而表现出迅速下降趋势，具体原因有待进一步研究。

表 3 三花茶添加量对奶茶感官评价结果的影响
Table 3 Effect of Sanhua tea addition on the sensory evaluation results of milk tea

样品名	品评因素 U	评价等级 V		
		V ₁ (优)	V ₂ (中)	V ₃ (差)
对照组	U ₁ (色泽)	8	2	0
	U ₂ (组织状态)	2	6	2
	U ₃ (香气)	4	6	0
	U ₄ (滋味)	2	8	0
	U ₅ (口感)	2	8	0
1	U ₁	10	0	0
	U ₂	0	8	2
	U ₃	2	8	0
	U ₄	2	8	0
	U ₅	2	6	2
2	U ₁	10	0	0
	U ₂	0	8	2
	U ₃	6	4	0
	U ₄	6	4	0
	U ₅	4	4	2
3	U ₁	10	0	0
	U ₂	2	8	0
	U ₃	8	2	0
	U ₄	8	2	0
	U ₅	6	4	0
4	U ₁	8	2	0
	U ₂	0	10	0
	U ₃	4	6	0
	U ₄	4	6	0
	U ₅	0	10	0
5	U ₁	8	2	0
	U ₂	0	10	0
	U ₃	4	6	0
	U ₄	0	8	2
	U ₅	0	6	4
6	U ₁	10	0	0
	U ₂	0	6	4
	U ₃	2	6	2
	U ₄	0	8	2
	U ₅	0	6	4

2.4 低糖低脂奶茶配方及其品质研究

上述实验结果表明三花茶具有体外降脂作用。在

明确三花茶具有降脂功效的基础上制备含有三花茶的低糖低脂奶茶。该部分研究基于两方面的考虑，首先，在前期研究得到的低糖奶茶中添加三花茶，可使低糖奶茶同时具备减肥降脂的功效，对人体健康很可能产生有益影响；另一方面，通过单因素试验与响应面试验优化低糖低脂奶茶的配方，尽量使新产品在口感上具有良好感官品质。已有低糖奶茶配方为：速溶红茶添加量 0.35%；纯牛奶添加量 23.98%；蜂蜜与木糖醇配比 1.49，添加量 4.42%；蔗糖酯与单甘酯 1:1 复配，添加量 0.10%^[25]。

2.4.1 模糊数学感官审评法优化低糖低脂奶茶配方

2.4.1.1 三花茶添加量对奶茶品质的影响

在探究三花茶添加量对奶茶品质的影响试验中，样品全部品评结束后，收集评定人员的评定表，进行统计分析。汇总评定结果见表 3。

将表 3 中各样品品评因素各等级评价人数除以总评价人数，得到 7 个模糊矩阵。

$$R_{CK} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0.6 & 0.4 \end{bmatrix}$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0.6 & 0.4 \end{bmatrix}$$

需要进行评价的产品的集合即综合评判集 Y， $Y=X \times R$ 。奶茶感官质量综合评判的结果向量计算如下：

$Y_{CK}=X_{CK} \times R_{CK} = (0.15, 0.15, 0.25, 0.3, 0.15)$

$$\begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 \end{bmatrix} = (0.34, 0.63, 0.03),$$

同理可得 $Y_1=X_1 \times R_1 = (0.29, 0.65, 0.06)$ ；
 $Y_2=X_2 \times R_2 = (0.54, 0.4, 0.06)$ ； $Y_3=X_3 \times R_3 = (0.71, 0.29, 0)$ ；
 $Y_4=X_4 \times R_4 = (0.34, 0.66, 0)$ ； $Y_5=X_5 \times R_5 = (0.22, 0.66, 0.12)$ ；

$Y_6 = X_6 \times R_6 = (0.2, 0.57, 0.23)$ 。

按照综合评分公式 $H = \sum V \times Y$ ，计算每个样品的综合得分，得分越高，样品的感官品质越易被评定人员所接受，探究三花茶添加量各组试验综合得分为：

$$H_{CK} = 0.34 \times 95 + 0.63 \times 85 + 0.03 \times 75 = 88.1 ;$$

$$H_1 = 0.29 \times 95 + 0.65 \times 85 + 0.06 \times 75 = 87.3 ;$$

$$H_2 = 0.54 \times 95 + 0.4 \times 85 + 0.06 \times 75 = 89.8 ;$$

$$H_3 = 0.71 \times 95 + 0.29 \times 85 + 0 \times 75 = 92.1 ;$$

$$H_4 = 0.34 \times 95 + 0.66 \times 85 + 0 \times 75 = 88.4 ;$$

$$H_5 = 0.22 \times 95 + 0.66 \times 85 + 0.12 \times 75 = 86 ;$$

$$H_6 = 0.2 \times 95 + 0.57 \times 85 + 0.23 \times 75 = 84.7 ;$$

结合图 4a 与综合得分可以看出，三花茶添加量为 6.00 mL（即体积分数 6.00%）时，奶茶的综合得分最高，为 92.1 分。因此，选择三花茶为 5.50、6.00、6.50 mL 进行响应面试验。

2.4.1.2 纯牛奶添加量的确定

运用 2.4.1 中同样的研究方法，对样品各项感官品评结果进行统计分析，下同。

在探究纯牛奶添加量对奶茶品质的影响试验中，各组试验中奶茶感官质量综合评判的结果向量计算为： $Y_1 = (0.2, 0.47, 0.33)$ ； $Y_2 = (0.29, 0.61, 0.1)$ ； $Y_3 = (0.385, 0.44, 0.1750)$ ； $Y_4 = (0.47, 0.5, 0.03)$ ； $Y_5 = (0.89, 0.11, 0)$ ； $Y_6 = (0.545, 0.335, 0.12)$ 。

各组试验综合得分为： $H_1 = 83.7$ ； $H_2 = 86.9$ ； $H_3 = 87.1$ ； $H_4 = 89.4$ ； $H_5 = 93.9$ ； $H_6 = 89.25$ 。

结合图 4b 与综合得分可以看出，纯牛奶添加量为 35.00 mL（即体积分数 35.00%）时，奶茶的综合得分最高，为 93.9 分。因此，选择纯牛奶为 34.50、35.00、35.50 mL 进行响应面试验。

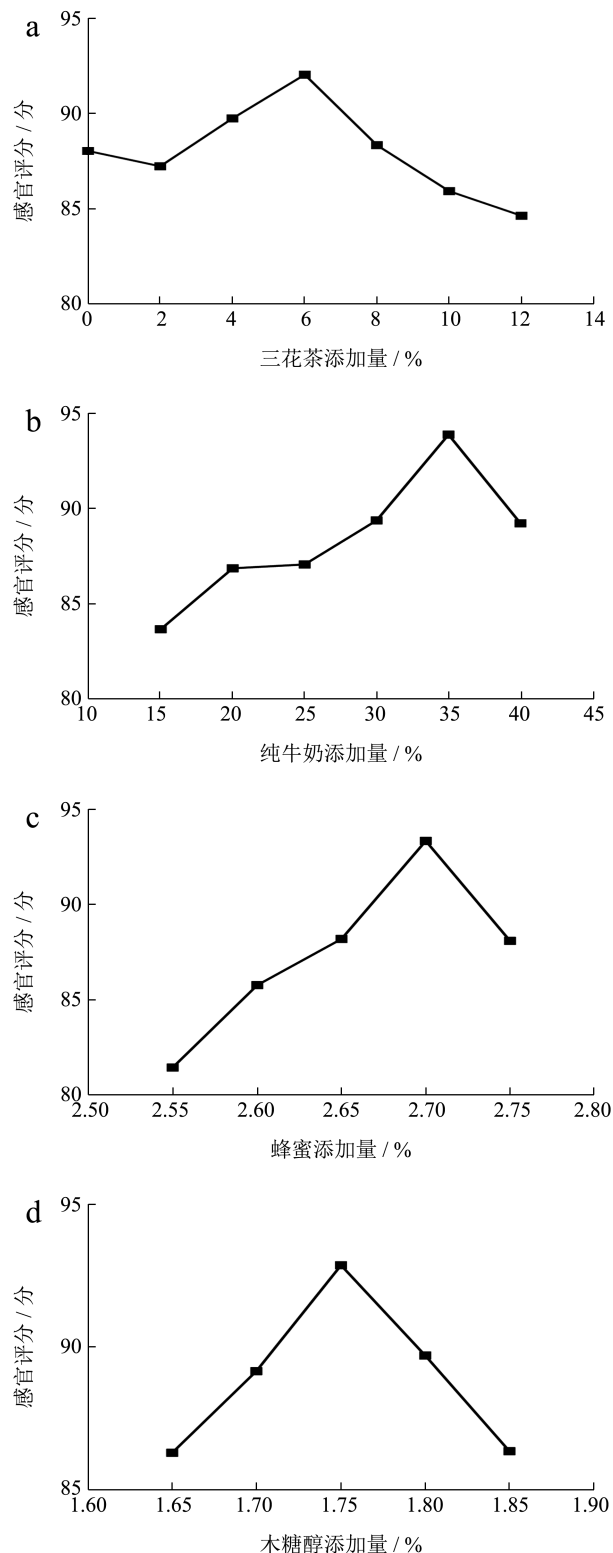
2.4.1.3 蜂蜜与木糖醇添加量的确定

蜂蜜与木糖醇在奶茶中均发挥甜味剂的作用，在响应面试验中将其作为一个因素考虑。

在探究蜂蜜添加量对奶茶品质的影响试验中，各组试验中奶茶感官质量综合评判的结果向量计算为： $Y_1 = (0.09, 0.47, 0.44)$ ； $Y_2 = (0.21, 0.665, 0.125)$ ； $Y_3 = (0.4, 0.525, 0.075)$ ； $Y_4 = (0.84, 0.16, 0)$ ； $Y_5 = (0.415, 0.485, 0.1)$ 。各组试验综合得分为： $H_1 = 81.50$ ； $H_2 = 85.82$ ； $H_3 = 88.25$ ； $H_4 = 93.4$ ； $H_5 = 88.15$ 。

在探究木糖醇添加量对奶茶品质的影响试验中，各组试验中奶茶感官质量综合评判的结果向量计算为： $Y_1 = (0.28, 0.57, 0.15)$ ； $Y_2 = (0.415, 0.585, 0)$ ； $Y_3 = (0.785, 0.215, 0)$ ； $Y_4 = (0.47, 0.53, 0)$ ； $Y_5 = (0.305, 0.525, 0.17)$ 。各组试验综合得分为： $H_1 = 86.3$ ； $H_2 = 89.15$ ； $H_3 = 92.85$ ； $H_4 = 89.70$ ； $H_5 = 86.35$ 。

结合图 4c 与上述综合得分可以看出，蜂蜜添加量为 2.70 g（即质量分数 2.70%）时的综合得分最高，为 93.4 分。结合图 4d 与上述综合得分可以看出，木糖醇质量浓度为 1.75 g（即 1.75%）时的综合得分最高，为 92.85 分。因此，选择蜂蜜与木糖醇添加量（质量浓度比值为 1.5:1）为 4.40、4.45、4.50 g 进行响应面试验。



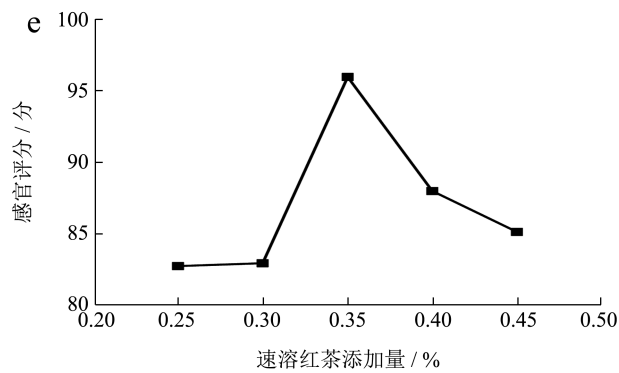


图 4 各因素添加量对奶茶感官品质的影响

Fig.4 The effect of various factor additive amounts on the sensory quality of milk tea

2.4.1.4 速溶红茶添加量的确定

在探究速溶红茶添加量对奶茶品质的影响试验中，各组试验中奶茶感官质量综合评判的结果向量计算为： $Y_1=(0.14,0.495,0.365)$ ； $Y_2=(0.085,0.625,0.29)$ ； $Y_3=(0.795,0.205,0)$ ； $Y_4=(0.345,0.61,0.045)$ ； $Y_5=(0.11,0.495,0.395)$ 。

各组试验综合得分为： $H_1=82.75$ ； $H_2=82.95$ ； $H_3=95.95$ ； $H_4=88.00$ ； $H_5=85.15$ 。

结合图 4e 与综合得分可以看出，速溶红茶添加量为 0.35 g（即质量分数 0.35%）时的综合得分最高，为 95.95 分。因此，选择速溶红茶质量浓度为 0.30、0.35、0.40 g 进行响应面试验。

2.4.2 低糖低脂奶茶配方的响应面优化

2.4.2.1 响应面试验设计及响应值

利用 Design-Expert 11.1.0.1 软件，采用 Box-Behnken 中心组合原理建立数学模型，进行响应面试验优化。运用模糊数学法统计分析得到低糖低脂奶茶的感官评分，即为响应值（Y）^[31]。响应面试验设计见表 4。

2.4.2.2 响应面回归模型的建立与分析

通过二次多元回归拟合分析确定感官评分对响应面各因素的回归方程为： $Y=90.45-1.108\ 33A-0.108\ 333B+0.387\ 5C+0.379\ 167D-0.512\ 5AB+0.937\ 5AC+0.3AD+BC+0.812\ 5BD-0.025CD-3.993\ 75A^2-2.706\ 25B^2-3.025C^2-2.862\ 5D^2$ 。

具体方差分析见表 5。模型 $P<0.000\ 1$ ，表明拟合程度良好，各因素对感官评分的影响强弱为：速溶红茶添加量（A）>纯牛奶添加量（C）>蜂蜜与木糖醇添加量（D）>三花茶添加量（B）；其中，A 对感官

评分有极显著影响（ $P<0.01$ ），交互项中 AC、BC 有显著影响（ $P<0.05$ ）， A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 有极显著影响（ $P<0.01$ ）。

表 4 响应面试验设计表

Table 4 Response surface experimental design table

试验号	因素				感官评分 Y/ 分
	A	B	C	D	
1	-1	-1	0	0	84.90
2	1	-1	0	0	82.25
3	-1	1	0	0	85.80
4	1	1	0	0	81.10
5	0	0	-1	-1	84.55
6	0	0	1	-1	84.20
7	0	0	-1	1	84.50
8	0	0	1	1	84.05
9	-1	0	0	-1	84.75
10	1	0	0	-1	81.90
11	-1	0	0	1	84.95
12	1	0	0	1	83.30
13	0	-1	-1	0	85.05
14	0	1	-1	0	83.30
15	0	-1	1	0	84.40
16	0	1	1	0	86.65
17	-1	0	-1	0	84.15
18	1	0	-1	0	81.55
19	-1	0	1	0	83.65
20	1	0	1	0	84.80
21	0	-1	0	-1	85.40
22	0	1	0	-1	83.00
23	0	-1	0	1	85.35
24	0	1	0	1	86.20
25	0	0	0	0	90.25
26	0	0	0	0	90.60
27	0	0	0	0	90.50
28	0	0	0	0	91.05
29	0	0	0	0	89.85

表 5 低糖低脂奶茶响应面试验方差分析表

Table 5 Analysis of variance for response surface experiments on low sugar and lipid-reducing milk tea

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	201.94	14	14.42	20.54	<0.000 1**
A	14.74	1	14.74	20.99	0.000 4**
B	0.140 8	1	0.140 8	0.200 5	0.661 1
C	1.80	1	1.80	2.57	0.131 5
D	1.73	1	1.73	2.46	0.139 4
AB	1.05	1	1.05	1.50	0.241 5
AC	3.52	1	3.52	5.01	0.042 0*
AD	0.360 0	1	0.360 0	0.512 6	0.485 8
BC	4.00	1	4.00	5.70	0.031 7*
BD	2.64	1	2.64	3.76	0.072 9
CD	0.002 5	1	0.002 5	0.003 6	0.953 3
A2	103.46	1	103.46	147.32	<0.000 1**
B2	47.51	1	47.51	67.65	<0.000 1**
C2	59.36	1	59.36	84.52	<0.000 1**
D2	53.15	1	53.15	75.68	<0.000 1**
残差	9.83	14	0.702 3		
失拟项	9.05	10	0.904 7	4.61	0.077 0
纯误差	0.785 0	4	0.196 2		
总和	211.78	28			

注：**表示影响极显著 ($P<0.01$); *表示影响显著 ($P<0.05$)。

2.4.2.3 响应面分析与优化

根据回归方程并利用 Box-Behnken 响应面法，可以做出各因素间两两交互的响应面图及等高线图，见图 5。由图中曲面的陡峭程度及等高线的椭圆率可以看出，速溶红茶添加量 (A)、三花茶添加量 (B)、纯牛奶添加量 (C)、蜂蜜与木糖醇添加量 (D) 与感官评分存在相关性。每个响应面分别代表两个独立变量间的相互作用^[1]，其中，AC、BC 曲面陡峭，反映出速溶红茶添加量与纯牛奶添加量、三花茶添加量与纯牛奶添加量之间的交互作用显著^[32]。

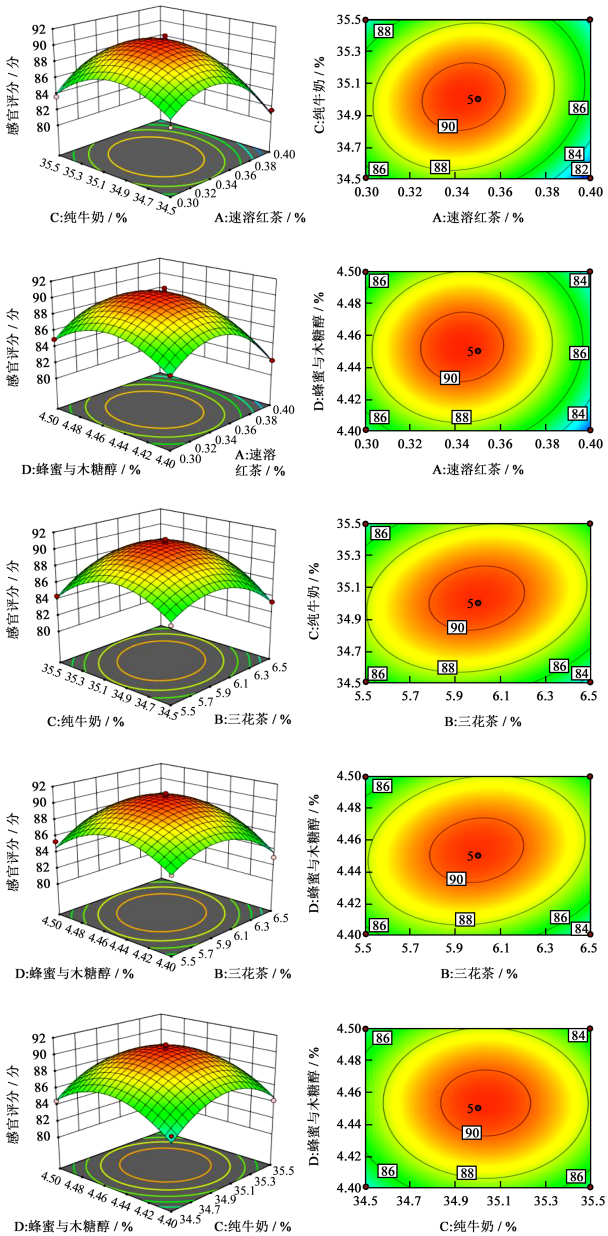
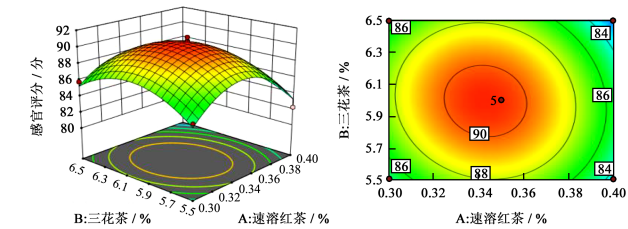


图 5 各因素交互作用对奶茶感官品质影响的响应面图和等高线图

Fig.5 Response surface and contour plots of the impact of various factor interactions on the sensory quality of milk tea

2.5 低糖低脂奶茶最佳配方的确定

经单因素试验和响应面试验并结合模糊数学法统计分析，如表 4 所示，28 号奶茶样品感官评分最高，为 91.05 分，即可得到低糖低脂奶茶的最佳配方为：速溶红茶 0.35%，三花茶 6.00%，纯牛奶 35.00%，蜂蜜与木糖醇（质量浓度比值为 1.5:1）4.45%，蔗糖酯与单甘酯（质量浓度比值为 1:1）0.10%。

表 6 低糖低脂奶茶的主要理化指标

Table 6 Main physicochemical indicators of low sugar and lipid-reducing milk tea

指标	糖含量/(g/100 g)	脂肪含量/(g/100 g)	蛋白质含量/(g/100 g)	稳定系数
低糖低脂奶茶	0.152 ± 0.089	0.010 ± 0.001	0.455 ± 0.018	1.048 ± 0.002
产品理化指标	≤5	≤3	≥0.5	

2.6 低糖低脂奶茶的理化指标分析

经实验测定,低糖低脂奶茶的糖含量为0.152 g/100 g,脂肪的含量极低,为 0.010 g/100 g,符合 GB 28050-2011《预包装食品营养标签通则》中对低糖(糖含量 ≤5 g/100 g)、低脂肪(脂肪含量 ≤3.00 g/100 g)的要求;蛋白质含量为 0.455 g/100 g,较 GB/T 21733-2008《茶饮料》对奶茶饮料中蛋白质含量(蛋白质含量 ≥0.50 g/100 g)的要求稍低;稳定系数较大,为 1.048,表明稳定性较好,见表 6,为后续奶茶降脂功效的进一步研究奠定下良好基础。

3 结论

本研究将玫瑰花、茉莉花、玳玳花、荷叶和川芎五种原料进行粉碎、称量、浸提、过滤、二次浸提以及冷冻干燥等工序制备出速溶三花茶粉,对三花茶的体外降脂活性进行了综合评价。在此基础上,将速溶三花茶添加到红茶奶茶中,得到了低糖低脂奶茶的最佳配方,并对奶茶的主要理化指标进行检测,证实其符合低糖低脂的要求,且稳定性较好。速溶三花茶在体外能有效抑制胆固醇酯酶活性,抑制率高达 87.11%,胰脂肪酶的抑制率为 53.91% 和与胆酸盐的结合率为 3.97%,对胰脂肪酶具有显著抑制效果;低糖低脂奶茶的最佳配方为为速溶红茶 0.35%,三花茶 6.00%,纯牛奶 35.00%,蜂蜜与木糖醇(1.5:1) 4.45%,蔗糖酯与单甘酯(1:1) 0.10%;对低糖低脂奶茶的主要理化指标进行检测,其糖含量 0.152 mg/g,脂肪含量 0.010 mg/g。

4 展望

本试验得到的低糖低脂奶茶的蛋白质含量稍低于 GB/T 21733-2008《茶饮料》中对奶茶的蛋白质含量要求,在后续研究中应针对该问题进行进一步的配方优化,添加新的蛋白质原料种类,如豆类蛋白或谷物类蛋白,以期提高奶茶的蛋白质含量。同时,对新原料带来的奶茶品质影响也要进行全面研究。同时,研究能够最大限度提升奶茶风味的加工工艺,为开发出具有特定功能性奶茶产品提供数据支撑。

参考文献

[1] 潘志涛,华婷玉,王啸云,等.陈皮黑茶提取物协同陈皮挥发油的体外降糖、降脂及抗氧化活性[J].食品工业科技,2025,46(8): 341-350.

[2] 李宗军,周明玺,田星.膳食多酚的降脂机理研究进展[J].现代食品科技,2019,35(9):322-328,310.

[3] 顾选文,朱美华,张莲英,等.三花减肥茶治疗肥胖症50例疗效观察[J].中成药研究,1981,6:23-25.

[4] 苏龙嘎.玫瑰花降糖成分的提取分离及其药理作用研究[D].呼和浩特:内蒙古医科大学,2020:1-93.

[5] 兰卫.新疆小枝玫瑰花降脂降糖活性高通量筛选[J].中国食品添加剂,2022,33(6):62-70.

[6] CHOI D H, HAN J H, HONG M, et al. Antioxidant and lipid-reducing effects of *Rosa rugosa* root extract in 3T3-L1 cell [J]. Food Science and Biotechnology, 2022, 31(1): 121-129.

[7] 张婷阳,张伶,蒋雨秦,等.玫瑰花渣多糖提取工艺优化及体外抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2025,46(2):192-199.

[8] 黄彪,鲁菲菲,李巍,等.不同等级福州茉莉花茶活性成分及体外抗氧化活性比较[J].食品安全质量检测学报,2024,15(17):193-199.

[9] 苏瑾,潘兆平,肖媛,等.玳玳花精油的成分及其抗氧化活性研究[J].食品与机械,2020,36(2):165-170.

[10] 杨依萌,王诗尧,蔡秉洋,等.国医大师吕仁和基于“通活血脉”应用川芎治疗糖尿病肾病经验[J/OL].中医学报,2024,1-6.

[11] 赵冬,金仓.玫瑰花青素提取工艺优化及其抗疲劳研究[J].中国调味品,2024,49(10):205-209,215.

[12] 管咏梅,张煜薇,李丽琴,等.玫瑰花抗衰老机制研究进展[J].中华中医药学刊,2025,43(5):1-6.

[13] LIN J, WANG Q, ZHOU S, et al. Tetramethylpyrazine: A review on its mechanisms and functions [J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2022, 150: 113005.

[14] 曾欣欣,印晶,黄趁,等.基于CiteSpace的茶饮料研究可视化分析[J].食品工业科技,2024,45(13):38-49.

[15] 刘宁宁,李星宇,付静,等.奶茶的研究进展[J].食品工业,2022, 43(1):246-250.

[16] KANNAN D, KUMARAN A, VENKATESAN S, et al. Development of novel fermented almond milk tea and it's evaluation as antidiabetic drink [J]. Journal of Pharmaceutical Research International, 2021, 33(2): 75-87.

[17] KAUR J, KUMAR V, KUMAR S, et al. Process optimization for the preparation of tea and fruit-oriented energy drink: A nutritional approach [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(4): 1-15.

[18] SANGSOPHA J, MOONGNGARM A, JOHNS N P, et al. Optimization of pasteurized milk with soymilk powder and mulberry leaf tea based on melatonin, bioactive compounds and antioxidant activity using response surface methodology [J]. Heliyon, 2019, 5(11): 1-8.

[19] 张赛,张小飞,金杨,等.酵母抽提物协助咸味奶茶减盐配方优化及风味品质研究[J].食品科技,2021,46(10):234-242.

[20] 纪慧杰,朱彩平.石榴皮多糖的提取及组成、体外降脂活性研究[J].食品与发酵工业,2023,49(4):161-168.

[21] 龚受基,滕翠琴,梁东娥,等.六堡茶茶褐素体外降脂功效研究[J].茶叶科学,2020,40(4):536-543.

[22] 叶灏铎,苗建银,李龙星,等.勐库大叶茶蛋白降血脂肽的酶解制备及活性分析[J].食品工业科技,2022,43(9):212-221.

[23] 刘亿,许枏,王祎,等.牛蒡根中多酚成分对脂肪酶的抑制作用[J].食品工业科技,2024,45(3):10-17.

[24] 包智影,张智,杜亚飞,等.微生物法提取黄精多糖及体外降脂功能评价[J].中南林业科技大学学报,2021,41(5):142-151.

[25] 沈小萌,付静,杨晨曦,等.响应面优化低糖奶茶配方研究[J].茶叶通讯,2024,51(2):232-242.

[26] 王小敏,张文慧,张林婷,等.连翘叶凝胶软糖的制备工艺研究[J].食品研究与开发,2018,39(24):98-103.

[27] 赵秀红,宋立峰,曾洁,等.奶茶稳定性的研究[J].粮油加工,2010,8: 112-114.

[28] 苏建辉,马朝阳,杨鹿,等.槲皮素、EGCG对胆固醇酯酶活性和胆固醇胶束抑制作用研究[J].食品工业科技,2015,36(11):346-349.

[29] 樊伟伟,陈洁,黄惠华,等.海南苦丁茶浸提液对胆酸盐结合能力及其降血脂作用的研究[J].粮食与食品工业,2018,25(4):31-33,37.

[30] 纪秀凤,刘海春,吕长鑫,等.红树莓籽原花青素提取及其结合胆酸盐能力评价[J].食品研究与开发,2019,40(7):90-97.

[31] 王倩玉,杨琦,黄国梁,等.刺梨双蛋白奶茶饮料的研制[J].保鲜与加工,2021,21(12):59-65,71.

[32] 钟佳娜,陈杰,孟岳成.响应面优化天然固体奶茶饮料配方的研究[J].食品科技,2014,39(4):96-100.