李楠, 李莎莎, 李根, 等. 茯茶组合物优化及其泡腾颗粒的制备 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(4): 282−291. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020041

LI Nan, LI Shasha, LI Gen, et al. Optimization of Fuzhuan Tea Composition and Preparation of Effervescent Granules[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(4): 282−291. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020041

·工艺技术·

茯茶组合物优化及其泡腾颗粒的制备

李　楠[1,2], 李莎莎[1,2], 李　根[1], 王若彤[1], 龚　频[1,2], 杨文娟[1,2,*]

（1.陕西科技大学食品科学与工程学院, 陕西西安 710021;
2.西安市精准营养与功能产品创制重点实验室, 陕西西安 710021）

摘　要: 本研究旨在制备一款茯茶组合物及其泡腾颗粒。以茯茶为原料，以多糖含量为指标，通过单因素实验和响应面试验考察了乙醇质量分数、液料比、醇沉时间及提取液浓缩倍数等对茯茶多糖醇沉工艺的影响。通过体外活性及感官评价确定茯茶组合物（多糖、微粉、提取物）的最佳组成比例。以茯茶组合物为主要原料，通过单因素实验和响应面试验优选了酸碱颗粒的辅料配比。以泡腾颗粒的外观、制粒难易程度、成型率和溶化性作为评分指标对配方进行综合评价。结果显示，茯茶多糖最佳醇沉工艺为：茯茶提取液浓缩倍数为 4，乙醇质量分数为 100%，液料比为 4（mL∶g），醇沉时间为 48 h，在此条件下多糖含量为 2.78±0.12 mg/g，工艺可行。茯茶组合物（茯茶多糖 5%、茯茶微粉 20%、茯茶提取物 75%）对 DPPH 自由基、羟基自由基、超氧阴离子自由基清除率分别为 84.49%±3.45%、78.52%±0.47%、75.26%±1.10%；对 α-葡萄糖苷酶抑制率为 89.98%±0.17%，对 α-淀粉酶抑制率为 42.24%±0.21%，胆酸盐结合率为 75.09%±0.73%。茯茶泡腾颗粒最佳配方为：酸碱源（柠檬酸、碳酸氢钠）比例为 1∶2；泡腾剂占比为 45%；粘合剂为 5% PVPK 30 乙醇溶液，制备的茯茶泡腾颗粒平均综合评分为 94.7±0.26。茯茶泡腾颗粒均匀，休止角 32.37°，含水量 4.2%，溶化时间 133 s，溶化时间短，感官评价良好，质量稳定。本研究为茯茶新型食用形式提供了新思路。

关键词: 茯茶多糖, 茯茶微粉, 茯茶提取物, 泡腾颗粒, α-葡萄糖苷酶抑制, α-淀粉酶抑制

中图分类号: TS201.1　　**文献标识码:** B　　**文章编号:** 1002−0306(2026)04−0282−10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020041　　本文网刊:

Optimization of Fuzhuan Tea Composition and Preparation of Effervescent Granules

LI Nan[1,2], LI Shasha[1,2], LI Gen[1], WANG Ruotong[1], GONG Pin[1,2], YANG Wenjuan[1,2,*]

（1.School of Food Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;
2.Xi'an Key Laboratory of Precision Nutrition and Functional Products, Xi'an 710021, China）

Abstract: The study was about the Fuzhuan tea composition and its corresponding effervescent granules. Fuzhuan tea polysaccharide content being the evaluation index, the effects of ethanol concentration, solid-liquid ratio, alcohol precipitation time, and extract concentration ratio on the ethanol precipitation process of Fuzhuan tea polysaccharides were investigated through single factor and response surface experiments. The optimal composition ratio of the Fuzhuan tea composition (polysaccharides, fine powder, and extract) was determined based on *in vitro* activity and sensory evaluation. Using the Fuzhuan tea composition as the main raw material, the excipient ratio for acid-base granules was optimized through single-factor and response surface experiments. The formulation was comprehensively evaluated based on integrated scoring indicators, including granule appearance, ease of granulation, molding rate, and dissolution properties. The results demonstrated that the optimal alcohol precipitation process for Fuzhuan tea polysaccharides was as follows: the

收稿日期: 2025−02−08

基金项目: 陕西省科技厅科技计划－农业领域项目（2022NY-035）; 陕西省西安市科技计划项目（20NYYF0022, 22NYYF048）; 陕西省西安市未央区科技计划项目（202040, 202309）; 陕西科技大学博士科研启动基金项目（2022BJ-29）; 陕西省大学生创新创业训练计划项目（S202210708126）; 陕西省教育厅服务地方专项科学研究计划项目（24JC006）。

作者简介: 李楠（1979−）, 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 中药质量控制及天然产物研究与开发, E-mail: linan@sust.edu.cn。

*** 通信作者:** 杨文娟（1980−）, 女, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物功能活性及其产品加工, E-mail: yangwenjuan@sust.edu.cn。

extract was concentrated 4-fold, with an ethanol concentration of 100%, a liquid-to-material ratio of 4 (mL∶g), and an alcohol precipitation duration of 48 h. In the conditions, the polysaccharide content was 2.78±0.12 mg/g, confirming the feasibility of the process. The Fuzhuan tea composition (5% polysaccharides, 20% fine powder, 75% extract) demonstrated potent bioactivity, with scavenging rates of 84.49%±3.45% (DPPH), 78.52%±0.47% (hydroxyl), and 75.26%±1.10% (superoxide anion). The α-glucosidase inhibition rate was 89.98%±0.17%, the α-amylase inhibition rate was 42.24%±0.21%, and the bile salt binding capacity was 75.09%±0.73%. The optimal formula for Fuzhuan tea effervescent granules was 1∶2 for acid-alkali source (sodium bicarbonate and citric acid), 45% effervescent and 5% PVPK 30 ethanol solution for binder, the average comprehensive score of the prepared Fuzhuan tea effervescent granules was 94.7±0.26. The Fuzhuan tea effervescent granules exhibited uniform texture, an angle of repose of 32.37°, a moisture content of 4.2%, and a rapid dissolution time of 133 s, with favorable sensory evaluation and stable quality. This study provides novel insights for developing innovative edible forms of Fuzhuan tea.

Key words: Fuzhuan tea polysaccharide; Fuzhuan tea powder; Fuzhuan tea extract; effervescent granules; α-glucosidase inhibition; α-amylase inhibition

茯茶属于我国六大茶类中黑茶类后发酵茶[1]。研究表明其成分主要包括茶多糖、茶多酚、氨基酸、生物碱等, 长期饮用可降糖减脂, 促进调节新陈代谢[2]。多糖是茯茶的主要活性成分, 是由甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、阿拉伯糖等组成的酸性杂多糖[3−4], 茯茶多糖具有降血糖[5]、抗肿瘤、保肝护肝、抗氧化、调节肠道微生态等活性[6−7]。醇沉工艺在多糖提取中具有重要作用[8−9], 敖珍等[10] 对香菇多糖的浓缩及醇沉工艺进行研究, 得出最佳醇沉工艺, 多糖得率明显提高, 且优化后的提取工艺具有较高的稳定性和重复性。廖彭莹等[11] 以杨桃根为试材, 优化醇沉工艺, 最佳工艺条件下所得杨桃根多糖含量为 27.94%, 工艺稳定可靠。因此, 考察茯茶多糖的醇沉工艺尤为必要。此外, 茯茶大多以茶叶直接冲泡饮用, 或是将茯茶提取物添加到速溶茶等产品中, 但茶叶冲泡费时、饮用不便, 且每次冲泡均会产生茶渣, 而速溶茶类产品的活性成分含量较低, 难以满足现代人的健康需求。因此, 亟需研究一款兼具茶色茶香、功能活性、便携现代等特点的茯茶产品。

本研究以茯茶为原料, 通过考察醇沉工艺制备茯茶多糖, 再加入茯茶微粉和茯茶提取物, 通过感官评价及体外活性测定, 制备一种既保留茶叶本身色香味特征, 又兼具调节糖脂代谢功能的茯茶组合物。泡腾颗粒是近年来发展较快的一种速释性剂型, 具有便携、冲饮方便、吸收快、生物利用度高、口感好等特点[12]。因此, 本研究将茯茶组合物制备泡腾颗粒产品形式, 不仅能提高活性成分的利用率, 而且饮用方便快捷, 为茯茶产品创新提供新思路。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

七子茯茶　咸阳泾渭茯茶有限公司; 葡萄糖、乳糖、碳酸氢钠、聚乙二醇 6000　纯度 ≥ 99%, 天津市天力化学试剂有限公司; 食品级柠檬酸　正宏生物科技有限公司; 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)　Sigma 公司; 抗坏血酸、牛磺胆酸钠、甘氨胆酸钠、α-葡萄糖苷酶(50 U/mg)、4-硝基苯基-β-D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)、阿卡波糖、α-淀粉酶(50 U/mg)　纯度 ≥ 99%, 上海源叶生物科技有限公司; 焦性没食子酸(邻苯三酚)　纯度 ≥ 99%, 上海展云化工有限公司; 3,5-二硝基水杨酸　纯度 ≥ 99%, 国药集团化学试剂有限公司; 食品级麦芽糊精　山东西王糖业有限公司; 食品级阿斯巴甜　河南万邦化工科技有限公司。

UV-5100 紫外可见分光光度计　上海元析仪器有限公司; BJ-500 A 多功能粉碎机　德清拜杰电器有限公司; TG 16-WS 高速离心机　湖南湘仪离心机仪器有限公司; THZ-82 水浴恒温摇床　上海比郎仪器制造有限公司; Varioskan fiash 全波长扫描式多功能酶标仪　赛默飞世尔科技有限公司; KH 5200 DE 数控超声波清洗器　昆山禾剑超声仪器有限公司; GZX-GF 101-2-BS-H 电热恒温鼓风干燥箱　上海跃进医疗器械有限公司。

1.2　实验方法

1.2.1　茯茶多糖醇沉工艺流程　茯茶粉碎成粗粉, 精密称取适量, 按液料比 30:1(mL∶g)加入蒸馏水, 超声 30 min(功率 160 W, 温度 50 ℃), 100 ℃ 热水浸提 90 min, 过滤, 滤渣重复提取一次, 合并滤液, 减压浓缩[13]; 醇沉, 4 ℃ 静置 24 h, 4000 r/min 离心 15 min, 弃去上清液, 沉淀取适量蒸馏水复溶, 将多糖溶液与 Sevage试剂(氯仿∶正丁醇=4∶1)以 5∶1 体积混合, 剧烈振荡 30 min, 5000 r/min 离心 10 min, 弃去上清液, 重复脱蛋白三次, 以蒸馏水在 25 ℃ 下用透析膜(截留相对分子质量 350 kDa)透析 48 h, 浓缩, −50 ℃ 冷冻干燥, 得到茯茶多糖, 4 ℃ 保存, 备用。

1.2.2　茯茶多糖含量测定　茯茶多糖含量采用苯酚硫酸法测定[14]。配制 0.1 mg/mL 葡萄糖标准溶液, 分别吸取葡萄糖标准溶液 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL, 加入蒸馏水定容至 1 mL, 加入 0.5 mL 5% 苯酚溶液与 2.5 mL 浓硫酸, 混匀, 沸水浴 30 min, 冷却, 以空白溶液为参比, 490 nm 波长处测定其吸光度。以吸光值为纵坐标, 浓度为横坐标, 绘制葡萄糖标准曲线, 回归方程为: $Y=0.009065X+0.06939$, $R^2=0.9985$。称取茯茶多糖适量, 加入蒸馏水复溶, 定容至 1 mL, 得

多糖溶液，参照葡萄糖标准曲线绘制方法，精密量取 50 μL 多糖溶液，加入蒸馏水定容至 1 mL，从“加入 0.5 mL 5% 苯酚溶液与 2.5 mL 浓硫酸”操作，490 nm 波长处测定样品溶液吸光度，代入葡萄糖标准曲线计算，即得样品多糖含量。

1.2.3 茯茶多糖醇沉工艺优化

1.2.3.1 单因素实验 以多糖含量为指标，分别以乙醇质量分数（80%、85%、90%、95%、100%）、液料比（1、2、3、4、5、6（mL∶g））、醇沉时间（6、12、24、28、36、48 h）、茯茶提取液浓缩倍数（1、2、3、4、5、6 倍）进行单因素实验，在研究某一因素时，其他因素固定为乙醇质量分数 95%、液料比 4（mL∶g）、醇沉时间 12 h、提取液浓缩倍数 4。

1.2.3.2 响应面优化试验 基于单因素实验结果，选取乙醇质量分数（A），液料比（B），提取液浓缩倍数（C），醇沉时间（D）为自变量，茯茶多糖含量（Y）为响应值，根据 Box-Behnken，采用中心组合设计试验见表 1。

表 1 响应面试验因素和水平设计

Table 1 Table of test design factors and levels

因素	代码	水平		
		−1	0	1
乙醇质量分数（%）	A	90	95	100
乙醇倍量	B	3	4	5
浓缩体积	C	0.2	0.25	0.3
醇沉时间（h）	D	24	36	48

1.2.4 茯茶组合物制备

1.2.4.1 茯茶提取物 取茯茶适量，按液料比 30（mL∶g）加入蒸馏水，超声 30 min（功率 160 W，温度 50 ℃），100 ℃ 热水浸提 90 min，过滤，滤渣重复提取一次，合并滤液，浓缩至 50 mL，冷冻干燥，4 ℃ 备用。

1.2.4.2 茯茶微粉 根据文献 [15]，将茯茶进行粉碎，过 200 目筛，备用。

1.2.4.3 茯茶组合物 茯茶微粉在保证茶叶色香味的前提下减少了茶渣的产生；茯茶提取物可以使茶汤固体化；茯茶多糖能够强化茯茶调节糖脂代谢的作用，基于以上考虑，茯茶组合物由茯茶微粉、茯茶提取物和茯茶多糖组合制备而成，组合物比例设置依据前期预实验确定，具体见表 2。

表 2 茯茶组合物组成及比例

Table 2 Ratio of Fuzhuan tea composition

组成	组合物1	组合物2	组合物3	组合物4	组合物5
茯茶微粉（%）	20	20	20	20	20
茯茶多糖（%）	1	2	3	4	5
茯茶提取物（%）	79	78	77	76	75

1.2.5 茯茶组合物感官评价 参考 GB/T 32179.5-2018《黑茶 第 5 部分：茯茶》[16] 的审评方法的规定和要求，结合茯茶组合物特点，挑选 20 名品评人员（35~45 岁，男女各 10 名），经过培训选拔的专业感官评价员组成的评价小组，且均具备 1 年以上茶叶加工与评估经验。对不同茯茶组合物的汤色、滋味、气味进行感官审评，具体感官评价标准见表 3。感官评价结果的计算：在评分结果中去除一个最高分和一个最低分，其余的分数相加总和除以人数所得的分数。感官审评得分=汤色（30 分）+滋味（40 分）+气味（30 分）。

表 3 茯茶组合物感官评价标准

Table 3 Standard of sensory evaluation of Fuzhuan tea composition

项目	评分标准	得分（分）
汤色鉴别（30分）	茶汤红浓明亮	20~30
	茶汤亮度差，色淡，略有浑浊	10~20
	无光泽，色暗淡，浑浊	1~10
滋味鉴别（40分）	以醇厚甘甜为优，喉间回味见长	25~40
	味平淡，苦涩，回味短	10~25
	味苦涩，无回味	1~10
气味鉴别（30分）	香气清爽，醇厚，浓郁，持久，无其他异味	20~30
	香气单薄，持续时间短，无异味	10~20
	具有异味	1~10

1.2.6 茯茶组合物体外活性测定

1.2.6.1 茯茶组合物抗氧化活性测定 用蒸馏水将组合物分别配制成 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 mg/mL 溶液。参考孙玉姣等[17] 的方法对羟基自由基的清除能力进行测定，参考文献 [11] 的方法对 DPPH 自由基清除率和超氧阴离子自由基清除率进行测定，每组试验平行三次，取平均值，精密量取 2 mL 不同浓度组合物溶液，分别加入 2 mL 6 mmol/L $FeSO_4$ 溶液和 2 mL 6 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液，加入 1 mL 8 mmol/L H_2O_2，混匀，37 ℃ 反应 30 min，冷却，510 nm 处测定吸光值，以蒸馏水为空白对照，抗坏血酸为阳性对照，按下列公式（1）计算羟基自由基、DPPH 自由基、超氧阴离子自由基清除率：

$$K(\%)=\left(1-\frac{A_{样本}-A_{对照}}{A_{空白}}\right)\times 100 \qquad 式（1）$$

式中：K 表示清除率；$A_{样品}$表示样品溶液吸光度；$A_{对照}$表示对照溶液吸光度；$A_{空白}$表示空白溶液吸光度。

1.2.6.2 茯茶组合物对 α-葡萄糖苷酶抑制率测定 参考文献 [18] 的方法并稍作修改。称取茯茶组合物和阿卡波糖适量，用蒸馏水分别配制成 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 mg/mL 的样品溶液。依次加入 400 μL 0.1 mol/L pH6.8 磷酸盐缓冲液，取上述各浓度的样品溶液 100 μL，分别加入 100 μL 0.8 U/mL α-葡萄糖苷酶，混匀，37 ℃ 水浴 10 min，加入 100 μL 10 mmol/L PNPG 溶液，37 ℃ 反应 30 min，405 nm 处测定吸光度，按照如下公式（2）计算 α-葡萄糖苷酶

抑制率：

$$酶抑制率(\%)=\left(1-\frac{A_1-A_2}{A_0}\right)\times 100 \qquad 式（2）$$

式中：A_0 表示蒸馏水取代样品测得吸光度；A_1 表示加入 α-葡萄糖苷酶测得吸光度；A_2 表示磷酸盐缓冲液取代 α-葡萄糖苷酶测得吸光度。

1.2.6.3　茯茶组合物对 α-淀粉酶抑制率测定　参考彭东等[19] 的方法并稍作修改。用蒸馏水将样品配制成浓度为 1 mg/mL，精密量取 1 mL 1 mg/mL 样品溶液、阿卡波糖溶液和 1 mL 15 U/mL α-淀粉酶溶液，混匀，37 ℃ 反应 30 min，加入 2 mL 1% 淀粉溶液，37 ℃ 加热 10 min，加入 2 mL DNS 试剂，沸水浴 5 min，冷却，540 nm 测定吸光度。α-淀粉酶抑制率计算公式同式(2)。

式中：空白参比(A_0)：蒸馏水取代提取液测得吸光度；对照(A_1)：不含 α-淀粉酶测得吸光度；样品组(A_2)：加入 α-淀粉酶测得吸光度。

1.2.6.4　茯茶组合物体外胆酸盐结合能力测定　分别配制 10 mL 0.3 mmol/L 牛磺胆酸钠和 10 mL 0.3 mmol/L 甘氨胆酸钠，混匀，得混合母液。分别精密量取 0、0.1、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mL 混合母液，分别加入 pH7.6 PBS 至 2.5 mL，加入 7.5 mL 60% 硫酸溶液，70 ℃ 水浴 20 min，冷却，387 nm 处测定吸光度。以胆酸盐浓度为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制标准曲线，得标准曲线方程 Y=17.311X+0.1691，R^2=0.9951，胆酸盐标准品溶液在 0~0.075 mmol/mL 呈线性关系。以辛他伐汀为阳性对照，测定茯茶组合物体外胆酸盐结合能力，用蒸馏水将各组合物溶解为 10 mg/mL，精密量取 1 mL 各组合物溶液，分别加入 1 mL 0.01 mol/L 盐酸溶液，37 ℃ 振荡消化 2 h，调节 pH 至 7.6，加入 4 mL 胆酸盐溶液，37 ℃ 振荡 2 h，4000 r/min 离心 20 min，取上清液，测定吸光度，代入标准曲线计算，即得样品溶液中胆酸盐浓度，按式(3)计算胆酸盐结合率：

$$胆酸盐结合率(\%)=\left(1-\frac{C_1}{C_0}\right)\times 100 \qquad 式（3）$$

式中：C_1 表示样品溶液的胆酸盐浓度，mol/L；C_0 表示空白溶液的胆酸盐浓度，mol/L。

1.2.7　茯茶泡腾颗粒的制备

1.2.7.1　茯茶泡腾颗粒制备工艺　称取聚乙二醇 6000 加热熔融，加入 4 g 碳酸氢钠，冷却，粉碎，备用。取茯茶组合物分成两份，一份加入聚乙二醇 6000 包裹过的碳酸氢钠，混匀，加入适量含有甘露醇的 5% PVPK 30-无水乙醇溶液制软材，制粒，干燥，即得碱颗粒；另一份加入柠檬酸，阿斯巴甜，加入适量含有甘露醇的 5% PVPK 30-无水乙醇溶液制软材，制粒，干燥，即得酸颗粒；将酸碱颗粒混合均匀，整粒，包装，即得茯茶泡腾颗粒。

1.2.7.2　茯茶泡腾颗粒主辅料的筛选　以茯茶泡腾颗粒的口感、成型率、泡腾时间、制粒难易程度、澄清度以及外观等因素为指标，分别以 PVPK 30 添加量(1%、3%、5%、7% 聚乙烯吡咯烷酮的无水乙醇溶液)、酸碱源比例(0.8∶1、0.9∶1、1∶1、1.1∶1、1.2∶1、1.3∶1)、泡腾剂占比(35%、40%、45%、50%、55%)进行单因素实验，在研究某一因素时，其他因素固定为酸碱源比例为 1∶1(柠檬酸和碳酸氢钠各 4 g)、粘合剂为含 5% 聚乙烯吡咯烷酮的无水乙醇溶液、泡腾剂占比 45%。

1.2.7.3　响应面试验优化设计茯茶泡腾颗粒配方　在单因素实验的基础上，以泡腾剂的酸碱源比例、泡腾剂占比以及 PVPK 30 添加量(3%、5%、7% 聚乙烯吡咯烷酮的无水乙醇溶液)为自变量，分别对各自变量的低、中、高水平进行编码(−1、0、1)，进行 3 因素 3 水平试验设计(表 4)。以泡腾时间和颗粒成型率的综合评分为指标，确定茯茶泡腾颗粒剂的最优配方[20]。

表 4　响应面试验优化设计

Table 4　Response interview optimization design

水平	因素		
	A 酸碱源比例	B 泡腾剂占比(%)	C PVPK 30添加量(%)
−1	1.1∶1	40	3
0	1.2∶1	45	5
1	1.3∶1	50	7

1.2.8　茯茶泡腾颗粒质量评价

1.2.8.1　感官评价　参考 GB/T 23776-2009《茶叶感官审评方法》[21] 以及茯茶泡腾颗粒感官特点，制定了茯茶泡腾颗粒的感官评价方法，由 20 名品评人员组成感官评价小组，对茯茶泡腾颗粒的外观、风味、口感进行感官审评，具体感官评分标准见表 5。称取 1.0 g 泡腾颗粒，加入 50 mL 蒸馏水溶解，待停止产气后摇晃均匀，按照上述操作对茯茶泡腾颗粒进行审评。感官评价结果的计算：在评分结果中去除一个最高分和一个最低分，其余的分数相加的总和除以其人数所得的分数。感官审评得分=外观(40 分)+风味(30 分)+口感(30 分)。

表 5　茯茶泡腾颗粒感官评价标准

Table 5　Sensory evaluation standard of effervescent granules of Fuzhuan tea

指标	评价标准	得分(分)
外观(40分)	颗粒均匀、色泽一致，无吸潮、软化等现象	31~40
	颗粒较均匀，存在少量色差	11~30
	颗粒不均匀，色差大，有吸潮、软化等现象	0~10
风味(30分)	具有茶香味且无异味	21~30
	具有较淡的茶香味	11~20
	无茶香味或存在异味	0~10
口感(30分)	茶香味明显，细腻不酸涩	21~30
	茶香味较淡，稍有酸涩感	11~20
	茶香味淡，有明显酸涩感	0~10

1.2.8.2　外观及物理性质　对茯茶泡腾颗粒外观、颗粒均匀性等进行观察；水分、粒度和溶化性参照

2020 版中国药典四部附录 0832 第二法规定测定; 流动性参考 Shah 等[22] 的方法测定; 体积密度和振实密度参考蔡铮等[23] 的方法稍作修改进行测定。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 对数据进行处理, 所有数据均表示为 3 次重复实验的结果, 以平均值±标准差表示。使用 Design Expert 13 软件进行响应面试验设计和数据分析, 选择 $P<0.05$ 的显著性水平验证。使用 Origin 2024 作图。

2 结果与分析

2.1 茯茶多糖醇沉工艺单因素实验结果

2.1.1 乙醇质量分数对茯茶多糖含量的影响 如图 1 所示, 乙醇质量分数增大, 茯茶多糖含量增加, 其原因是较高浓度乙醇降低了多糖溶解度, 使多糖沉淀析出而分离[24]。但过高的乙醇质量分数对茯茶多糖含量提升不明显, 且增加成本。综合考虑, 选择乙醇质量分数 95% 为响应面试验的中心点。

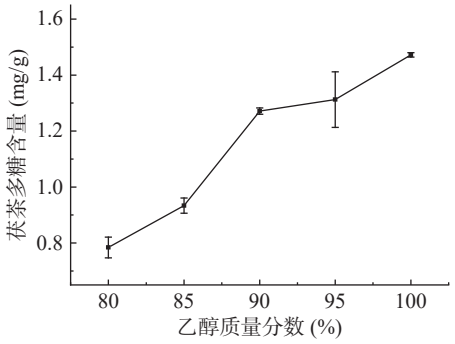


图 1 乙醇质量分数对茯茶多糖含量的影响

Fig.1 Effect of ethanol content on polysaccharide content of Fuzhuan tea

2.1.2 液料比对茯茶多糖含量的影响 由图 2 可知, 当液料比为 1~5(mL∶g)时, 液料比增加, 茯茶多糖含量增大, 当液料比为 5~6(mL∶g)时, 茯茶多糖含量增加平缓, 这可能是由于液料比增大, 可降低茯茶粉周围多糖的浓度, 增大细胞内、外的渗透压差, 有利于茯茶多糖的进一步溶出[25]; 但液料比持续增加, 对多糖溶出无明显促进作用[26], 表明液料比过高对茯茶多糖提取效率无明显提升, 反而造成溶剂浪费。综合考虑选择液料比 4(mL∶g)作为响应面试验的中心点。

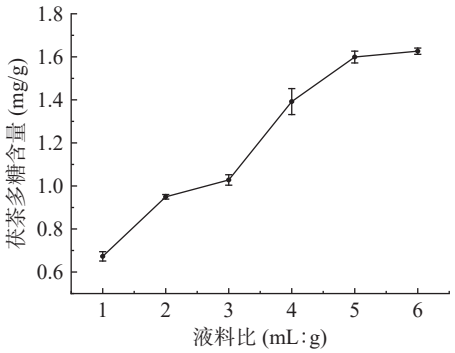


图 2 液料比对茯茶多糖含量的影响

Fig.2 Effect of liquid feed ratio on polysaccharide content of Fuzhuan tea

2.1.3 醇沉时间对茯茶多糖含量的影响 由图 3 可知, 醇沉时间延长, 茯茶多糖含量增加。醇沉时间 24~36 h 时, 多糖含量急剧增大; 醇沉时间为 36~48 h 时, 茯茶多糖含量增加较为平缓, 醇沉时间为 48 h 时多糖含量最高, 这是因为醇沉时间增加, 大分子沉降颗粒之间互相作用、互相交联, 形成更大颗粒, 沉降速度加快[8]。因此, 最终选择 24~48 h 作为后续响应面试验考察水平。

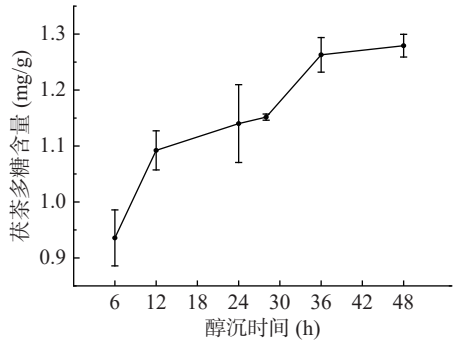


图 3 醇沉时间对茯茶多糖含量的影响

Fig.3 Effect of alcohol settling time on polysaccharide content of Fuzhuan tea

2.1.4 浓缩倍数对茯茶多糖含量的影响 根据图 4 可得, 提取液浓缩倍数增加, 茯茶多糖含量增大, 当浓缩倍数为 6 时, 茯茶多糖含量最高, 为 1.1±0.03 mg/g, 这是因为茯茶提取液浓缩时, 水分减少, 多糖浓度增加, 当添加乙醇后, 高浓度的多糖表现为溶解度降低, 多糖析出, 沉淀中多糖含量增加。但从资源和时间节约角度考虑, 选择浓缩倍数为 4 作为响应面试验的中心点。

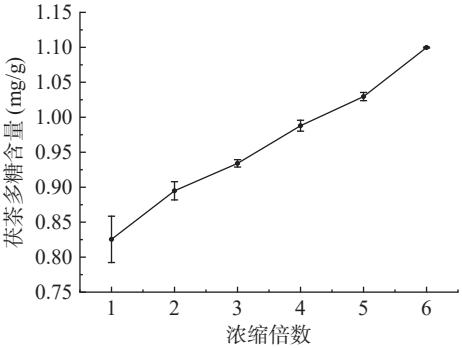


图 4 浓缩倍数对茯茶多糖含量的影响

Fig.4 Effect of concentration multiple on polysaccharide content of Fuzhuan tea

2.2 响应面试验优化茯茶多糖醇沉工艺

2.2.1 Box-Behnken 试验设计及结果 在单因素实验基础上, 根据 Box-Behnken 中心组合设计原理, 以乙醇质量分数(A), 液料比(B), 提取液浓缩倍数(C), 醇沉时间(D)为基础的 4 因素 3 水平, 共 27 组响应面分析试验, 试验方案设计及结果见表 6。

对表 6 数据进行多元回归拟合, 得到线性回归

表 6　响应面优化试验设计及结果

Table 6　Design and results of response interview optimization

实验号	A乙醇质量分数（%）	B液料比（mL:g）	C浓缩倍数	D醇沉时间（h）	多糖含量（mg/g）
1	90	3	4	36	1.408
2	95	3	4	24	2.216
3	95	3	4	48	2.216
4	95	3	3	36	0.988
5	95	3	5	36	2.054
6	100	3	4	36	2.324
7	90	4	5	36	2.014
8	90	4	3	36	1.036
9	90	4	4	48	2.048
10	90	4	4	24	1.924
11	95	4	3	24	1.156
12	95	4	4	36	2.324
13	95	4	4	36	2.544
14	95	4	5	48	2.298
15	95	4	3	48	1.272
16	95	4	5	24	2.610
17	95	4	4	36	2.516
18	100	4	4	48	2.761
19	100	4	5	36	2.328
20	100	4	3	36	0.992
21	100	4	4	24	2.256
22	90	5	4	36	2.331
23	95	5	3	36	1.272
24	95	5	4	48	2.745
25	95	5	4	24	1.938
26	95	5	5	36	2.314
27	100	5	4	36	2.404

方程模型为：$Y=2.46+0.1921A+0.1498B-0.5752C+0.1033D-0.2107AB-0.0895AC+0.0951AD+0.006BC+0.107CD-0.2069A^2-7.94B^2-32.17C^2-0.2725D^2$。

由表 7 可知，模型的 P 值<0.0001，失拟项 P 值为 0.3391，说明失拟项不显著，该模型能够较好拟合实验数据，该回归模型的决定系数 R^2=0.9555，调整决定系数 R^2_{Adj}=0.9036，表明模型拟合程度较好，具有实际意义[27]。由 P 值可知，一次项 A、C，平方项 C^2 对多糖含量影响极显著；一次项 B，平方项 A^2，交互项 AB、BD 对多糖含量影响显著。

表 7　回归方程方差分析结果

Table 7　ANOVA results of regression equation

项目	平方和	均方	F值	P值	显著性
模型	7.75	0.5534	18.40	< 0.0001	**
A-乙醇质量分数	0.4426	0.4426	14.72	0.0024	**
B-料液比	0.2692	0.2692	8.95	0.0112	*
C-浓缩倍数	3.97	3.97	132.01	< 0.0001	**
D-醇沉时间	0.1281	0.1281	4.26	0.0613	
AB	0.1776	0.1776	5.91	0.0317	*
AC	0.0321	0.0321	1.07	0.322	
AD	0.0362	0.0362	1.20	0.2942	
BC	0.0001	0.0001	0.0048	0.946	
BD	0.1627	0.1627	5.41	0.0384	*
CD	0.0458	0.0458	1.52	0.2408	
A^2	0.2282	0.2282	7.59	0.0174	*
B^2	0.1345	0.1345	4.47	0.056	
C^2	2.21	2.21	73.39	< 0.0001	**
D^2	0.0001	0.0001	0.0046	0.9469	
残差	0.3608	0.0301			
失拟项	0.3322	0.0332	2.32	0.3391	不显著
净误差	0.0287	0.0143			
总离度	8.11				

注：*表示显著（P<0.05），**表示极显著（P<0.01）。

2.2.2　最佳工艺及模型的验证　根据实验可操作性，将响应面优化工艺参数作调整并进行工艺验证，茯茶多糖提取最佳工艺条件为：提取液浓缩倍数为 4，乙醇质量分数 100%，液料比为 4（mL∶g），醇沉时间为 48 h，测得茯茶多糖含量为 2.78±0.12 mg/g，与预测值相对误差为 0.725%，工艺可行[28]。

2.3　茯茶组合物感官评价分析

茯茶组合物感官评价结果见表 8，由表 8 可知，组合物 5 汤色评分最高，组合物 2 滋味评分最高，组合物 1 气味评分最高，由总分综合分析可知，茯茶组合物 5 的感官评价最佳。

表 8　感官评价结果

Table 8　Results of the sensory evaluation

组别	项目	感官描述	均分（分）	总分（分）
组合物1	汤色	茶汤红浓明亮	23.92	72.59
	滋味	味平淡，苦涩，回味短	23	
	气味	香气清爽，醇厚，浓郁，持久，无其他异味	25.67	
组合物2	汤色	茶汤红浓明亮	24	73.75
	滋味	味平淡，苦涩，回味短	25	
	气味	香气清爽，醇厚，浓郁，持久，无其他异味	24.75	
组合物3	汤色	茶汤红浓明亮	25	74.58
	滋味	味平淡，苦涩，回味短	24.33	
	气味	香气清爽，醇厚，浓郁，持久，无其他异味	25.25	
组合物4	汤色	茶汤红浓明亮	25.17	73.83
	滋味	味平淡，苦涩，回味短	24.33	
	气味	香气清爽，醇厚，浓郁，持久，无其他异味	24.33	
组合物5	汤色	茶汤红浓明亮	25.33	75.08
	滋味	味平淡，苦涩，回味短	24.67	
	气味	香气清爽，醇厚，浓郁，持久，无其他异味	25.08	

2.4　茯茶组合物体外活性测定结果

2.4.1　茯茶组合物体外抗氧化活性测定结果　由图 5~图 7 可知，茯茶组合物对羟基自由基、DPPH 自

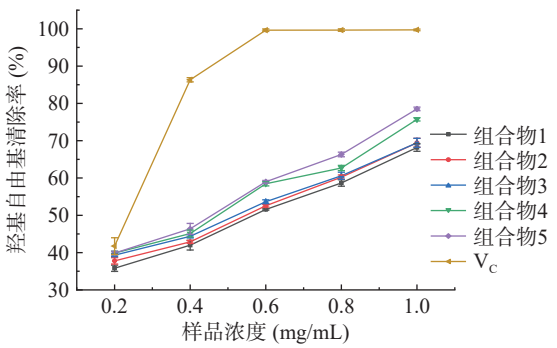


图 5　不同浓度茯茶组合物对羟基自由基的清除率

Fig.5　Scavenging rate of hydroxyl free radical by different concentrations of Fuzhuan tea compositions

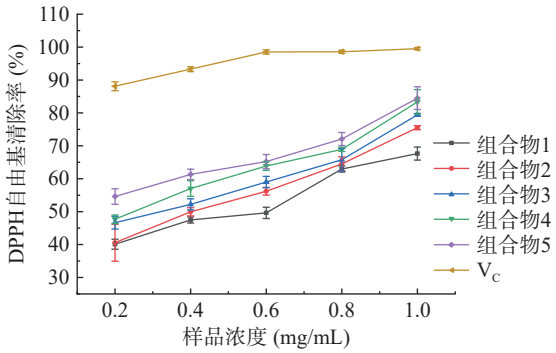


图 6 不同浓度茯茶组合物对 DPPH 自由基的清除率

Fig.6 Scavenging rate of DPPH free radical by different concentrations of Fuzhuan tea compositions

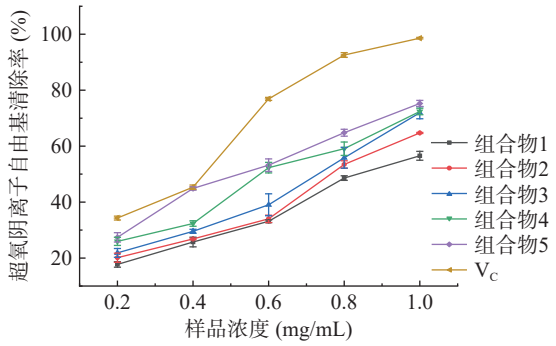


图 7 不同浓度茯茶组合物对超氧阴离子自由基的清除率

Fig.7 Scavenging rate of superoxide anion radical by different concentrations of Fuzhuan tea compositions

由基和超氧阴离子自由基均具有不同程度的清除能力，且清除能力随着样品浓度升高而增加，在 0.2~1 mg/mL 浓度范围内，组合物 5 体外抗氧化活性最佳，其中，组合物 5 对羟基自由基的清除率最大可达 78.52%±0.47%；对 DPPH 自由基清除能力最大为 84.49%±3.45%；对超氧阴离子自由基清除能力最大可达 75.26%±1.10%。在同一浓度下，组合物中多糖比例越高，其对自由基清除能力越强，表明茯茶多糖与茯茶的抗氧化活性有关。

2.4.2 茯茶组合物对 α-葡萄糖苷酶抑制率测定结果

由图 8 可知，组合物 1~5 在低浓度下（0.2~0.8 mg/mL）具有明显的 α-葡萄糖苷酶抑制作用，且随着浓度的增加，其抑制能力也较为快速地增强，其中，组合物 5 对 α-葡萄糖苷酶的抑制能力优于其他组合物，在浓度为 1 mg/mL 时，组合物 5 最大抑制率达 89.98%±0.17%，与阿卡波糖的抑制能力 99.3%±2.44% 较为相近。组合物 1~5 均具有较强的 α-葡萄糖苷酶活性抑制作用，可能通过抑制 α-葡萄糖苷酶对葡萄糖的水解，延缓和减少人体肠道对葡萄糖的吸收，从而降低机体血糖水平[29]。结果表明，在一定条件下，组合物 5 对 α-葡萄糖苷酶具有较高的抑制作用。

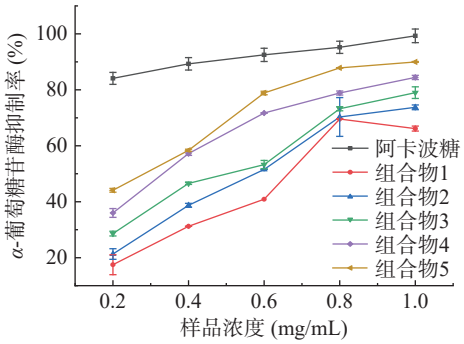


图 8 茯茶组合物对 α-葡萄糖苷酶的抑制率

Fig.8 Inhibitory rate of Fuzhuan tea composition on α-glucosidase

2.4.3 茯茶组合物对 α-淀粉酶的抑制率测定结果

淀粉、糖原等经淀粉酶水解为葡萄糖、麦芽糖、糊精，α-淀粉酶抑制剂能减缓碳水化合物代谢，从而降低餐后血糖值[30]。5 种茯茶组合物对 α-淀粉酶抑制率影响见图 9，阳性对照阿卡波糖具有较强的 α-淀粉酶活性抑制作用，在相同浓度条件下，组合物 1~5 对 α-淀粉酶均有抑制能力，抑制率介于 35%~42% 之间，其中，组合物 5 对 α-淀粉酶的抑制率最强，最大抑制率达 42.24%±0.21%，其抑制能力相当于阿卡波糖的 64.83%（P<0.0001），这可能是因为组合物 5 中茯茶多糖含量最高，对 α-淀粉酶抑制率也越大，这与张娜等[31] 的研究结果一致，研究结果显示，随着多糖的质量浓度上升，ORP、ORP-A1、阿卡波糖对 α-淀粉酶的抑制效果增强。

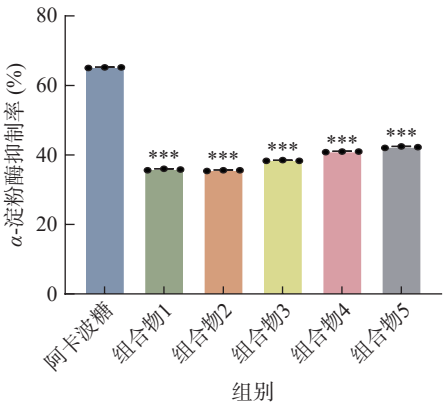


图 9 茯茶组合物对 α-淀粉酶的抑制率

Fig.9 Inhibitory rate of Fuzhuan tea composition on α-amylase

注：***表示组合物 1~5 与阿卡波糖相比差异极显著，P<0.0001。

2.4.4 茯茶组合物体外胆酸盐结合能力测定结果

胆酸盐是人体和动物胆汁中由胆固醇衍生而来的具有甾核结构的一类两性大分子，对脂肪和胆固醇的消化吸收和脂溶性维生素的代谢起重要作用[32]。由图 10 可知，辛他伐汀与胆酸盐的结合率为 92.8%±0.52%，不同茯茶组合物对胆酸盐的结合率由小到大的顺序为：组合物 1（48.83%±2.16%）<组合物 2（55.06%±1.23%）<组合物 3（65.14%±0.16%）<组合物 4（70.57%±0.97%）<组合物 5（75.09%±0.73%）。结果表明，茯茶组合物中茯茶多糖占比越多，对胆酸盐的结合率越大（P<0.0001），这与刘温凯等[33] 的研究结果大致相似，研究结果得出 SFP-1、SFP-2 和 SFP-4 随着浓度的增加其结合能力显著增强。综上，

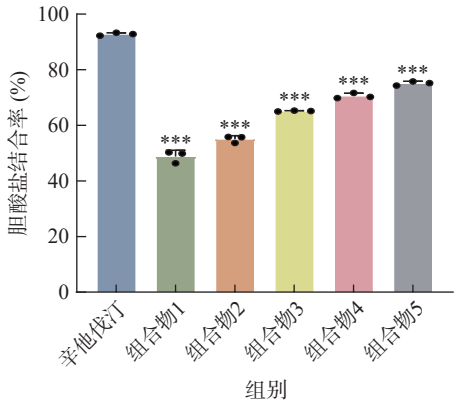


图 10　茯茶组合物对胆酸盐的结合率

Fig.10　Binding rate of Fuzhuan tea composition to bile salts

注：***表示组合物 1~5 与辛他伐汀相比差异极显著，P<0.0001。

茯茶组合物 1~5 均具有一定的胆酸盐结合能力，其中组合物 5 的胆酸盐结合率最高。

2.5　响应面法优化茯茶泡腾颗粒制备工艺

2.5.1　Box-Behnken 试验设计及结果　根据单因素实验确定响应面试验水平，进行响应面优化设计试验，试验结果见表 9。

表 9　响应面优化试验结果

Table 9　Experimental results of response surface optimization

实验号	A酸碱源比例	B泡腾剂占比(%)	C PVPK 30添加量(%)	综合评分（分）
1	1.2∶1	40	7	67.64
2	1.1∶1	50	5	67.10
3	1.3∶1	45	3	81.81
4	1.2∶1	45	5	91.98
5	1.1∶1	45	3	70.03
6	1.3∶1	40	5	65.36
7	1.2∶1	50	7	75.05
8	1.3∶1	45	7	73.76
9	1.3∶1	50	5	85.05
10	1.2∶1	45	5	92.79
11	1.1∶1	40	5	69.00
12	1.2∶1	50	3	81.49
13	1.1∶1	45	7	67.66
14	1.2∶1	40	3	73.38
15	1.2∶1	45	5	94.88
16	1.2∶1	45	5	91.36
17	1.2∶1	45	5	96.18

运用 Design-Expert 13 软件对所得数据进行分析，得到茯茶泡腾颗粒的综合评价指标，对酸源柠檬酸与碱源碳酸氢钠的比例（A）、泡腾剂占总量的比例（B）、PVPK 30 添加量（C）的回归模型如下：$Y=93.44+4.02A+4.16B-2.82C+5.40AB-1.42AC-0.1750BC-11.44A^2-10.37B^2-8.68C^2$。

由表 10 可知，模型 P 值<0.0001，失拟项 P 值为 0.8830，说明失拟项不显著，该模型能够较好地拟合实验数据。该回归模型的决定系数 R^2=0.9902，调整决定系数 R^2_{Adj}=0.9776，表明模型拟合程度较好，具有实际意义[34]。由 P 值可知，一次项 A、B、C，平方项 A^2、B^2、C^2，交互项 AB 对茯茶泡腾颗粒的综合评分影响极显著（P<0.01）。

表 10　茯茶泡腾颗粒的综合评价指标的回归模型方差分析

Table 10　Regression model variance analysis of comprehensive evaluation indexes for effervescent granules of Fuzhuan tea

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著度
模型	1930.63	9	214.51	78.68	< 0.0001	**
A-酸碱比例	129.52	1	129.52	47.50	0.0002	**
B-泡腾剂比例	138.69	1	138.69	50.87	0.0002	**
C-PVPK 30添加量	63.84	1	63.84	23.42	0.0019	**
AB	116.53	1	116.53	42.74	0.0003	**
AC	8.07	1	8.07	2.96	0.1291	
BC	0.1225	1	0.1225	0.0449	0.8382	
A^2	551.31	1	551.31	202.20	< 0.0001	**
B^2	452.59	1	452.59	165.99	< 0.0001	**
C^2	317.25	1	317.25	116.35	< 0.0001	**
残差	19.09	7	2.73			
失拟项	2.62	3	0.8748	0.2126	0.8830	不显著
纯误差	16.46	4	4.12			
总误差	1949.71	16				

注：*表示显著（P<0.05），**表示极显著（P<0.01）。

2.5.2　最佳工艺及模型的验证　根据实验可操作性，将响应面优化结果作调整，并进行工艺验证，茯茶泡腾颗粒最佳配方为：酸碱源比例为 1∶2；泡腾剂占比为 45%；PVPK 30 添加量为 5% PVPK 30-无水乙醇溶液，验证试验综合评分为 94.7±0.26，与预测值相对误差为 0.965%，工艺可行。

2.6　茯茶泡腾颗粒的质量评价结果

茯茶泡腾颗粒的实物图见图 11，由图 11 可知，茯茶泡腾颗粒外观干燥，颗粒均匀，酸粒偏灰黄色，碱粒偏棕黄色，泡腾颗粒溶解后呈现明显茶香味，口感细腻，其感官评分 90 分，保留了茯茶的香味和色泽。茯茶泡腾颗粒的粒度、颗粒质量、体积密度、振实密度、水分含量、溶化时间及休止角的测定结果如表 11 所示，质量评价结果显示，茯茶泡腾颗粒流动性好，粒度均匀，含水量低，溶化时间短，在水中能快速溶化，符合药典泡腾颗粒项下的相关标准。



图 11　茯茶泡腾颗粒外观

Fig.11　Appearance of effervescent granules of Fuzhuan tea

表 11 茯茶泡腾颗粒质量评价结果

Table 11 Quality evaluation of effervescent granules of Fuzhuan tea

组别	测定结果	药典要求
粒度(%)	5.1±0.04	≤ 15
颗粒质量(g)	1.0025±0.005	不作要求
体积密度(g/cm³)	0.304±0.004	不作要求
振实密度(g/cm³)	0.353±0.007	不作要求
水分含量(%)	4.2±0.002	≤ 8.0
溶化时间(s)	133±3.403	≤ 300 s
休止角(°)	32.37±0.594	≤ 40

3 结论

本研究以茯茶为原料，以茯茶多糖含量为指标，通过单因素实验和响应面试验，确定茯茶多糖的最佳醇沉工艺，即茯茶提取液浓缩 4 倍，乙醇质量分数 100%，液料比为 4(mL∶g)，醇沉时间 48 h，在此条件下，茯茶多糖含量 2.78±0.12 mg/g，工艺稳定。茯茶经水提取后形成提取物，是茯茶组合物的主要组成部分，既符合茯茶水熬煮的饮用习惯，又能减少清除茶渣的不便，简单便捷；将茯茶粉碎筛分 200 目得到茯茶微粉，保持了茶叶原始香气色泽，又由于细胞破碎有利于茯茶多种成分的溶出；茯茶多糖是茯茶重要的活性成分，能充分发挥茯茶组合物的生物活性。体外活性研究结果表明，由茯茶多糖、微粉和提取物组成的茯茶组合物对 DPPH 自由基、羟基自由基和超氧阴离子自由基均有不同程度的清除能力，清除率随茯茶组合物浓度升高而增大；基于 α-葡萄糖苷酶、α-淀粉酶抑制率，以及胆酸盐结合率测定结果，提示茯茶组合物具有一定程度的降糖、降脂活性，但尚需动物体内实验进一步研究其有效剂量。此外，茯茶组合物 5 的体外活性最强，其原因是该组合物中茯茶多糖多，对抗氧化、降糖、降脂活性具有积极作用。通过茯茶组合物和茯茶泡腾颗粒的感官评价可知，该食用形式既满足了传统的茯茶“水煮”和“喝”的饮用习惯，避免了清理茶渣的繁琐操作，又能够保留茶汤原有的香味和色泽，且具有一定的降糖、降脂功效。本研究综合了茯茶不同饮用需求，结合了泡腾颗粒便于携带、活性物质释放迅速的优点，为开发茯茶产品形式、丰富茯茶产品种类及提高茯茶产品附加值提供理论依据及拓展新思路。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] LÜ Haipeng, ZHANG Yue, SHI Jiang, et al. Phytochemical profiles and antioxidant activities of Chinese dark teas obtained by different processing technologies[J]. Food Research International, 2017, 100: 486−493.

[2] YANG Wenjuan, CHENG Shirui, LIU Meng, et al. Lipid-lowering effects of a novel polysaccharide obtained from fuzhuan brick tea *in vitro*[J]. Foods, 2023, 12(18): 3428.

[3] XI S. Partial effect of EGCG, theanine and tea polysaccharide[C]//International Conference on Green Environmental Materials and Food Engineering, 2022: 172−181.

[4] ULLAH S, KHALIL A A, SHAUKAT F, et al. Sources, extraction and biomedical properties of polysaccharides[J]. Foods, 2019, 8(8): 304.

[5] CARLONI P, TIANO L, PADELLA L, et al. Antioxidant activity of white, green and black tea obtained from the same tea cultivar[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 900−908.

[6] CHEN Guijie, WANG Mingjia, XIE Minhao, et al. Evaluation of chemical property, cytotoxicity and antioxidant activity *in vitro* and *in vivo* of polysaccharides from Fuzhuan brick teas[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 116: 120−127.

[7] WANG Yuanfeng, LIU Yangyang, HUO Jianglei, et al. Effect of different drying methods on chemical composition and bioactivity of tea polysaccharides[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 62: 714−719.

[8] 杨明. 中药制剂质量过程控制研究[J]. 中国食品药品监管, 2019(7): 87−90. [YANG Ming. Study on quality process control of traditional Chinese medicine preparation[J]. China Food & Drug Administration Magazine, 2019(7): 87−90.]

[9] SAETANG N, RAMARAJ R, UNPAPROM Y. Optimization of ethanol precipitation of schizophyllan from *Schizophyllum commune* by applied statistical modelling[J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2024, 14(2): 2707−2719.

[10] 敖珍, 覃发玠, 罗迎春, 等. 香菇多糖浓缩及醇沉工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(8): 109−114. [AO Zhen, QIN Fajie, LUO Yingchun, et al. Technique research on the concentration and alcohol precipitation of lentinan[J]. China Food Additives, 2022, 33(8): 109−114.]

[11] 廖彭莹, 陈敏玉, 孙雪芹. 杨桃根多糖醇沉工艺优化研究[J]. 广州化工, 2022, 50(15): 65−68. [LIAO Pengying, CHEN Minyu, SUN Xueqin. Optimization of alcohol precipitation process of polysaccharide from *Averrhoa carambola* root[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(15): 65−68.]

[12] 陈庆钥, 林阳君, 林水森. 辣木叶泡腾颗粒制备工艺优选[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2023, 35(1): 70−74,80. [CHEN Qingyao, LIN Yangjun, LIN Shuisen. Optimum preparation technology of effervescent granules from *Moringa oleifera* Lam[J]. Journal of Ningde Normal University (Natural Science), 2023, 35(1): 70−74,80.]

[13] 夏飞, 汪梦雯, 胡松, 等. 一种茯砖茶多糖的提取方法: CN202010426096.3[P]. 2020-07-24.

[14] 张玉娜, 王倩文, 张双灵. 水提醇沉法提取香菇多糖的最佳工艺研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2020, 37(1): 43−46. [ZHANG Yuna, WANG Qianwen, ZHANG Shuangling. Optimum technique research on the extraction of lentinan with ethanol subsiding method[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2020, 37(1): 43−46.]

[15] 杨兴斌, 杜海平, 王琦. 一种茯砖茶多酚和多糖的复合速溶茶及其制备方法和应用: CN201811124427.7[P]. 2019-02-15.

[16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. GB/T 32179.5-2018 黑茶 第 5 部分: 茯茶[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, National Technical Committee on Tea of Standardization Administration. GB/T 32179.5-2018. Black tea Part 5: Fuzhuan brick tea[S]. Beijing: Standards

Press of China, 2018.］
［17］孙玉姣, 马芸皓, 王凡, 等. 不同提取方法对茯茶多糖理化性质和抗氧化作用的影响[J]. 陕西科技大学学报, 2021, 39(5): 31−38.［SUN Yujiao, MA Yunhao, WANG Fan, et al. Influence of different extraction methods on physicochemical properties and antioxidant effects of Fu Brick tea polysaccharides[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2021, 39(5): 31−38.］
［18］孟缘, 关颖贤, 方潇, 等. 灵芝菌丝体固态发酵青稞工艺优化及抗氧化、降血糖活性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(6): 187−194.［MENG Yuan, GUAN Yingxian, FANG Xiao, et al. Optimization of the solid fermentation process of *Hordeum vulgare* Linn. by *Ganoderma lucidum Mycelium* and its antioxidant and hypoglycemic activities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(6): 187−194.］
［19］彭东, 罗志锋, 陶倩, 等. 发酵巴戟天中蒽醌提取及其抗氧化与降血糖活性[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 214−223.［PENG Dong, LUO Zhifeng, TAO Qian, et al. Extraction of anthraquinone from fermented *Morinda officinalis* and its antioxidant and hypoglycemic activities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 214−223.］
［20］杨薪正, 杨琳媛, 胡森, 等. 响应面法优化茯茶提取工艺[J]. 福建茶叶, 2019, 41(2): 4.［YANG Xinzheng, YANG Linyuan, HU Miao, et al. Optimization of extraction process of fucha tea by response surface methodology[J]. Tea in Fujian, 2019, 41(2): 4.］
［21］中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23776-2009. 茶叶感官评审方法[S]. 北京: 中国标 准出版社, 2009.［General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, National Technical Committee on Tea of Standardization Administration. GB/T 23776-2018. Sensory evaluation method of tea[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.］
［22］SHAH V, PATEL D, SANDEEP M, et a1. Solubility and dissolution rate enhancement of licofelone by using modified guar gum[J]. International Journal of Pharmaceutical and Technology Research, 2010, 2(3): 1847−185.
［23］蔡铮, 马云淑, 林亚明, 等. 小中风胶囊制剂工艺研究[J]. 时珍国医国药, 2003, 14(6): 343−344.［CAI Zheng, MA Yunshu, LIN Yaming, et al. Studies on preparation processes for Xiaozhongfeng capsules[J]. LiShiZhen Medicine and Materia Medica Research, 2003, 14(6): 343−344.］
［24］谭婉, 卫阳飞, 李枫林, 等. 黑果枸杞果实多糖的超声辅助双水相萃取工艺优化、单糖组成分析及胰脂肪酶抑制活性评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(22): 158−168.［TAN Wan, WEI Yangfei, LI Fenglin, et al. Optimization of the ultrasonic-assisted aqueous two-phase extraction of *Lycium ruthenicum* polysaccharides and its monosaccharide composition and pancreatic lipase inhibitory activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(22): 158−168.］
［25］师景双, 袁超, 程月红, 等. 水提醇沉法提取蛹虫草多糖的工艺优化及体外抗氧化效果研究[J]. 食品与药品, 2020, 22(2): 124−129.［SHI Jingshuang, YUAN Chao, CHENG Yuehong, et al. Study on process optimization and *in vitro* antioxidant effect of polysaccharide isolated from *Cordyceps militaris* by water-extraction and alcohol-precipitation[J]. Food and Drug, 2020, 22(2): 124−129.］
［26］马云婕, 魏崇碧, 高滔, 等. 黑木耳多糖提取工艺优化及组成分析[J]. 化学工程师, 2025, 39(3): 92−95.［MA Yunjie, WEI Chongbi, GAO Tao, et al. Optimization of extraction process and composition analysis of polysaccharides from black fungus[J]. Chemical Engineer, 2025, 39(3): 92−95.］
［27］宋晨光. 植物多糖抗氧化活性研究进展[J]. 中国果菜, 2022, 42(4): 25−33.［SONG Chenguang. Advances in antioxidant activity of plant polysaccharides[J]. China Fruit & Vegetable, 2022, 42(4): 25−33.］
［28］赵林, 隋硕, 王建筑. Plackett-Burman 实验设计联用 Box-Behnken 响应面法优化柚皮素白蛋白纳米粒的处方工艺[J]. 海峡药学, 2023, 35(8): 16−21.［ZHAO Lin, SUI Shuo, WANG Jianzhu. Optimization of formulation and process of naringenin albumin nanoparticles based on plackett-burman coupled with box-behnken response surface methodology[J]. Strait Pharmaceutical Journal, 2023, 35(8): 16−21.］
［29］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.［PAN Zhitao, HUA Tingyu, WANG Xiaoyun, et al. *In vitro* hypoglycemic, hypolipidemic activities and antioxidant capacity of dark tea and pericarpium citri reticulatae extract with pericarpium citri reticulatae volatile oil[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(8): 341−350.］
［30］陈浙江, 袁萍, 叶晓平, 等. 治疗糖尿病常用中药对 *α*-葡萄糖苷酶和 *α*-淀粉酶的抑制活性研究[J]. 中成药, 2008, 30(11): 1661−1664.［CHEN Zhejiang, YUAN Ping, YE Xiaoping, et al. *α*-glucosidase and *α*-amylase inhibitory activities from 41 herbs for diabetes[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2008, 30(11): 1661−1664.］
［31］张娜, 谢静, 郭艳峰, 等. 长根菇多糖体外抗氧化和降血糖活性的研究[J]. 食用菌, 2024(6): 77−81.［ZHANG Na, XIE Jing, GUO Yanfeng, et al. Study on antioxidant and hypoglycemic activities of polysaccharides from *Pleurotus eryngii in vitro*[J]. Edible fungi, 2024(6): 77−81.］
［32］胡凯, 黄惠华. 不同茶叶对胆酸盐的结合及其降血脂机理的研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(9): 42−45.［HU Kai, HUANG Huihua. A study *in vitro* on the ability of bile salt-binding among different tea[J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(9): 42−45.］
［33］刘温凯, 欧阳丹, 徐仰丽, 等. 组合酶制备羊栖菜多糖的工艺优化及其降血脂活性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(12): 237−247.［LIU Wenkai, OUYANG Dan, XU Yangli, et al. Optimization of the process for extracting polysaccharides from *Sargassum fusiforme* using combined enzymes and analysis of its hypolipidemic activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(12): 237−247.］
［34］林栋楠, 成佳玮, 马怡鑫, 等. 基于茶文化视角的年轻化新中式茶食店运营模式探析[J]. 福建茶叶, 2020, 42(6): 101−102.［LIN Dongnan, CHENG Jiawei, MA Yixin, et al. Analysis on the operation mode of young new Chinese tea shop from the perspective of tea culture[J]. Tea in Fujian, 2020, 42(6): 101−102.］