

## 毛建草速溶红茶制备及生物功能分析

李慧卿<sup>1</sup>,刘斌<sup>2</sup>,张慧<sup>1</sup>,李旭宁<sup>1</sup>,连晋红<sup>1</sup>

(1.忻州师范学院 化学系,山西 忻州 034000;

2.山西大学 分子科学研究所,山西 太原 030006)

**摘要:**为实现地方茶种的有效利用,本文通过单因素及正交方法优化了毛建草速溶红茶超声提取工艺,并比较了不同干燥条件对速溶红茶的影响;在感官评估毛建草速溶红茶,分析毛建草红茶及毛建草速溶红茶组分的基础上,分别从清除DPPH·,抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶,抑制脂肪酶降解月桂酸4-硝基苯酯活性的角度,比较了两者在抗氧化性、降糖、降脂方面的活性。结果显示,在本实验条件下,超声浸提优化条件为:温度70℃,料液比为1:40,时间40 min,干燥方式为冷冻干燥;毛建草速溶红茶较毛建草红茶总多糖含量明显增加,达到40.32%±0.35%;毛建草速溶红茶与毛建草红茶都具有抗氧化性、降糖、降脂活性,在相同条件下,毛建草速溶红茶在抗氧化性( $IC_{50}$ =0.129 mg/mL)与降糖方面( $IC_{50}$ =0.035 mg/mL),优于毛建草红茶。

**关键词:**毛建草;速溶茶;降糖;抗氧化;降脂

中图分类号:O632

文献标志码:A

文章编号:0253-2395(2025)06-1207-09

## Preparation and Biological Function Analysis of Instant Black Tea of *Dracocephalum rupestre* Hance

LI Huiqing<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>2</sup>, ZHANG Hui<sup>1</sup>, LI Xuning<sup>1</sup>, LIAN Jinhong<sup>1</sup>

(1. Department of Chemistry, Xinzhou Normal University, Xinzhou 034000, China;

2. Institute of Molecular Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** In order to realize the effective utilization of local tea species, the ultrasonic extraction technology of *Dracocephalum rupestre* Hance instant black tea was optimized by single factor and orthogonal design, and different drying conditions were compared. Based on the analysis of the components of *Dracocephalum rupestre* Hance black tea and *Dracocephalum rupestre* Hance instant black tea, their antioxidant, glucose-lowering and lipid-lowering activities were compared by scavenging free radical DPPH·, inhibiting alpha-glucosidase and lipase degrading 4-nitrophenyl laurate activities, respectively. The results showed that the optimal extraction temperature, extraction time and ratio of material to water were 70 °C, 40 min and 1 : 40. Freeze-drying was the best drying method in the experiments. The content of polysaccharide was significantly higher, up to 40.32%±0.35%, in instant black tea than that in black tea. They both had antioxidant, glucose-lowering and lipid-lowering activities, and instant black tea is superior to black tea in terms of antioxidant activity( $IC_{50}$ =0.129 mg/mL) and glucose lowering ( $IC_{50}$ =0.035 mg/mL) at the experimental concentration.

**Key words:** *Dracocephalum rupestre* Hance; instant tea; glucose-lowering; anti-oxidation; lipid-lowering

收稿日期:2024-10-17;接受日期:2025-02-17

基金项目:山西省自然科学基金(202303021222230);忻州市科技局项目(20220211)

作者简介:李慧卿(1972-),女,山西忻州人,博士,教授,研究方向为生物无机。E-mail:lhqkong@163.com

引文格式:李慧卿,刘斌,张慧,等.毛建草速溶红茶制备及生物功能分析[J].山西大学学报(自然科学版),2025,48(6):1207-1215. DOI:10.13451/j.sxu.ns.2025005.

## 0 引言

毛建草 (*Dracocephalum rupestre* Hance)<sup>[1-2]</sup> 是唇形科、荆芥族、青兰属一种多年生草本植物,山西西北部多有分布。因其全草含香,发酵晾晒后,冲泡充溢茶香,且有消食解腻功效,当地多作茶饮。《高原中草药治疗手册》记载<sup>[3-4]</sup>,毛建草具有清热消炎、凉血止血作用,而且也对外感风热、头痛寒热、黄疸型肝炎、吐血、衄血、痢疾等有一定的疗效。《内蒙古中草药》也有类似记载。近年来,随着对传统中草药的开发,其研究成果也逐渐丰富。Ren等自2005年起陆续报道其组分具有保护心肌细胞、抗肿瘤等作用<sup>[5-7]</sup>,Zhu等在2018年报道其提取物具有抗氧化及保护肝脏的潜在效力<sup>[8]</sup>,Ban等发现其和 *Berberidis radix* 的提取物对沙门氏菌引起的腹泻有治疗潜力,对肠黏膜损伤有显著的修复作用<sup>[9]</sup>。Kashchenko等<sup>[10]</sup>也报道青兰属植物有消炎、抗菌、抗氧化等功效。近年来山西省委、省政府对药茶产业发展的高度重视,落实打造第七大茶系的决策部署,当地大力支持毛建草特色种植。虽然当前一些茶企业,开发了包括绿茶、红茶、茉莉香型等多种毛建草茶品种,但总体应对2025年药茶产量达到500万吨的规模,产品结构还比较单薄,因而开发毛建草茶饮品种是当务之急。

随着人们对天然来源的健康饮品的需求日益增加,功能性饮品逐渐获得人们青睐<sup>[11]</sup>。除了具有营养潜力外,功能性饮料还被用作健康促进剂。而且,功能性饮料也有用作特殊饮品,以增强运动耐力、管理与健康相关的问题,如心脏保护、抗癌、促进消化系统健康、增强免疫防御、抗炎等<sup>[12]</sup>。而这些功效则与其所含的天然物质有密切关系<sup>[13-14]</sup>。速溶茶的出现,既满足了大多数人对饮茶的需求,也满足了大多数人追求便携、快捷、方便的要求<sup>[15-16]</sup>,近年来消费量迅速增加<sup>[17-18]</sup>,现今,我国已成为速溶茶第一大生产国。毛建草作为中国西部的一种重要药茶,开发其速溶茶作为终端或中间产品对丰富毛建草药茶品类、开发毛建草功能饮料等都有很大的作用。

毛建草茶功效与其有效成分密切相关,如多酚、黄酮都具有抗氧化、抗菌消炎、保护心血

管的功能<sup>[4,6]</sup>,咖啡碱可以提神醒脑、促进代谢,多糖具有调节免疫、降血糖、抗肿瘤等作用,氨基酸则可增强免疫力。在茶的滋味方面,多酚是涩味、回甘的来源,黄酮使茶醇厚柔和,咖啡碱则是苦味来源,也增加茶的刺激感。多糖给予茶汤甜味、增加醇厚感和润滑度,氨基酸带来鲜爽、甘醇。速溶茶的生产过程主要包括提取、过滤、真空浓缩和干燥<sup>[19-20]</sup>,其中提取<sup>[21-22]</sup>与干燥<sup>[23-24]</sup>工艺对其活性物质、功能和滋味影响较为显著。而优化速溶茶提取工艺一直以来为研究者们所关注。当前提取工艺主要采用正交试验<sup>[25-26]</sup>和响应面法<sup>[27-28]</sup>进行优化。正交法试验通过合理的正交设计安排试验,比之响应面法,能用较少的试验次数考察多个因素以及各因素不同水平对试验指标的影响,高效筛选出对结果有显著影响的因素,而且以直观的表格形式呈现各因素水平组合下的指标情况,更易于理解和对比。

因而,本实验以毛建草红茶为主要原料,采用超声浸提方法,通过设计正交试验分析超声浸提温度、浸提时间、料液比等不同条件对毛建草红茶浸出效果的影响,以及通过对相应条件下获取的影响速溶茶茶品的有效成分(如茶多酚、氨基酸、多糖、黄酮、咖啡碱等)的含量来确定浸提工艺参数,并以感官评价来确定干燥方式,从而在此基础上对毛建草速溶茶进行组分分析、生物功能检测,旨在探究由毛建草红茶提取速溶茶的加工工艺和开发其生物活性潜力。

## 1 实验部分

### 1.1 材料和仪器

可可碱、芸香叶苷、L-谷氨酸购于北京索莱宝科技有限公司;酒石酸钾钠、苯酚、茛三酮、碱式乙酸铅等为北京化学试剂有限公司产品;月硅酸4-硝基苯酯、1,1-二苯基-2-苦肟基、3,5-二硝基水杨酸、 $\alpha$ -淀粉酶购于中国医药(集团)上海化学试剂公司;毛建草及毛建草红茶为宁武县马伦茶叶公司产品。

KQ-400KDE型数控超声波清洗机(昆山市超声仪器有限公司),RE-52AA旋转蒸发器(上海亚荣),FD-1C-50+真空冷冻干燥机(北京博

医康实验仪器),UV-2450 紫外分光光度计(日本岛津)、DNM-9606 酶标分析仪(北京普朗新)为实验中主要仪器。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 毛建草速溶茶的制备

#### 1.2.1.1 制备流程

制备流程为:原料粉碎→超声浸提→离心分离→浓缩→灭菌→干燥。

选用优质的毛建草红茶(或毛建草)作为原料,粉碎,过60目筛备用。精确称取20g,加入1L蒸馏水,设置温度为60℃,超声浸提30min,离心倾出上清液,旋蒸浓缩上清液,温度控制在70℃~80℃。浓缩液灭菌,冷冻过夜,第二日在冻干装置中冻干,比较二者产率及感官特性。

#### 1.2.1.2 单因素试验设计

根据实验操作要素选取超声浸提时间、温度和料液比为试验因素,以浸提产品主要成分得率为评价要素。

#### 1.2.1.3 正交试验设计

基于单因素试验结果,以多糖为评价指标,在提取时间、提取温度及茶水比中选取最佳水平确定正交试验L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)的水平,各因素水平设计如表1所示。

表1 正交实验的因素与水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素		
	A 时间/min	B 温度/℃	C 料液比/(g/mL)
1	20	50	1:40
2	30	60	1:50
3	40	70	1:60

### 1.2.2 毛建草速溶茶各组分含量检测

#### 1.2.2.1 多糖的检测

参考文献[29-30]采用苯酚-硫酸检测方法,略有改动。分别在比色管中加入1.0mL对应浓度的葡萄糖标准溶液或样品溶液,再加蒸馏水1.0mL和质量分数6%苯酚溶液1.0mL,迅速加入5.0mL浓硫酸,立即盖紧试管盖,涡旋混合均匀。混匀后静置半个小时,使颜色完全展现。在波长488nm下,测定吸光度A,记录数据。标准曲线线性回归方程为 $y = -0.1079 + 1.5495x$ ,  $R^2 = 0.9976$ 。

#### 1.2.2.2 多酚含量测定

量取没食子酸标准工作液或样品、蒸馏水各1.0mL,加入福林酚溶液5.0mL,摇匀,在反应3min~8min内,加入4.0mL碳酸钠溶液,振荡后,在暗处、室温的条件下放置2h,用紫外-可见分光光度计在波长765nm处测定吸光度,标准曲线线性回归方程为: $y = 8.2885x + 0.0094$ ,相关系数 $R^2 = 0.9992$ 。

#### 1.2.2.3 总黄酮含量测定

分别精密吸取0.10g/L的芸香叶苷(芦丁)标准液0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0mL注入25.0mL的比色管中,各加入8.0mL的AlCl<sub>3</sub>(质量分数为1.5%)和4.0mL醋酸-醋酸钠的缓冲液(pH=5.5),再加体积分数50%的乙醇溶液定容,静置30min。在波长415nm下测定吸光度,标准线性方程为 $y = -0.00304 + 0.91676x$ ,  $R^2 = 0.9998$ 。样品按标准溶液的制备方法制备待测液,代入标准曲线中计算总黄酮的含量。

#### 1.2.2.4 茶汤中咖啡碱含量的测定方法

将待测的毛建草红茶提取液10.0mL,加入0.01mol/L盐酸4.0mL和碱式乙酸铅溶液1.0mL,注入100mL的容量瓶中加蒸馏水定容,静置等待澄清后过滤,再量取25.0mL上述滤液,倒入50mL的容量瓶中,再加入1.0mL4.5mol硫酸溶液,加蒸馏水至刻度,静置等待澄清后过滤。用10mm比色杯,波长274nm下,测吸光度A,代入标准曲线 $y = -0.1069 + 61.8120x$ ,  $R^2 = 0.99182$ ,计算。

#### 1.2.2.5 茶汤中游离氨基酸总量的测定方法

取不同浓度谷氨酸标准液或样品液各1.0mL注入25mL比色管中,随后各加入0.5mL磷酸盐缓冲液(pH=8.0)和0.5mL的水合茚三酮溶液(质量浓度为2%),在沸水浴中加热一刻钟,冷却后定容,在波长570nm下,测定吸光度A。标准曲线方程为 $y = -0.0798 + 2.1121x$ ,  $R^2 = 0.98071$ 。

### 1.2.3 毛建草速溶茶功能检测

#### 1.2.3.1 抗氧化性

取不同浓度样品溶液1.0mL,分别准确加入5.0mL浓度为100μmol/L的DPPH·自由基溶液,乙醇定容至10.0mL,置于暗处反应10min,在525nm波长下测其吸光度A。测定

相同条件下同浓度样品溶液吸光度  $A_1$  和 DPPH·自由基溶液吸光度  $A_0$ , 根据公式(1) 计算其清除率  $C$ :

$$C = \left(1 - \frac{A - A_1}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

### 1.2.3.2 降脂活性检测

参考文献[31-32]的方法, 略作修改。在不同 EP 管中分别加入 450  $\mu\text{L}$  pNP Laurate 底物工作液、400  $\mu\text{L}$  缓冲液, 50  $\mu\text{L}$  不同浓度的样品溶液, 37  $^\circ\text{C}$  孵育 10 min 后, 加入 150  $\mu\text{L}$  脂肪酶溶液, 避光反应 2 h, 分别置于 48 孔板中, 采用酶标仪在 405 nm 波长下测定其吸光度  $A$ 。不加样品溶液的 EP 管, 补充同体积缓冲溶液, 测定的吸光度为  $A_0$ , 仅有脂肪酶及相同浓度下对应的样品溶液的吸光度为  $A_1$ 。按公式(2) 计算样品对脂肪酶活性的抑制率  $I$ 。

$$I = \frac{(A_0 - A_1) - A}{(A_0 - A_1)} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.2.3.3 降糖活性检测

参考文献[33-34], 首先, 依次向 EP 管吸入不同浓度 80  $\mu\text{L}$  样品液, 80  $\mu\text{L}$  磷酸缓冲溶液, 再加入 5  $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$  的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶溶液 40  $\mu\text{L}$ , 混匀, 于 37  $^\circ\text{C}$  水浴下孵育 10 min。然后, 加入 10  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  的对硝基苯基- $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖苷 (p-Nitrophenyl  $\alpha$ -D-glucopyranoside, PNPG) 40  $\mu\text{L}$ , 于 37  $^\circ\text{C}$  水浴反应 20 min。最后, 向上述溶液中加入 160  $\mu\text{L}$ , 0.2  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  终止反应, 分别置于 48 孔板中, 采用酶标仪于  $\lambda=405$  nm 处测定其吸光度  $A$ 。缓冲溶液代替样品溶液测定吸光度为  $A_0$ , 不加样品、酶的同体积空白对照组的吸光度为  $A_1$ , 只不加酶的同体积空白对照组的吸光度为  $A_2$ , 按公式(3) 计算  $\alpha$ -葡萄糖

糖苷酶抑制率  $I$ 。

$$I = 1 - \frac{A - A_2}{A_0 - A_1} \times 100\% \quad (3)$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 毛建草及毛建草红茶水溶产品比较

毛建草速溶红茶从毛建草红茶提取而得, 其可溶成分, 应主要来自毛建草本身。因而, 首先比较了来自茶的速溶粉与来自毛建草本身的速溶粉的产率及表观特征(见表 2)。通过感官观察, 毛建草原料与毛建草红茶原料速溶产品形态、溶解性差别不大, 但色泽、汤色、滋味略有差别。与草相比, 毛建草红茶产品颜色较深, 香味略浓, 滋味更厚重些, 这与红茶的制作过程中多酚类物质发生氧化, 形成茶黄素、茶红素等色素物质有关。相同提取条件下, 毛建草红茶产率略高, 归其原因可能是经历杀青、揉捻、发酵等步骤, 毛建草茶的可溶性成分相对增加, 或溶出率更高。

### 2.2 毛建草速溶红茶制备工艺优化

#### 2.2.1 浸提工艺

##### 2.2.1.1 浸提因素

由速溶茶制备路线分析, 水溶成分溶出是其重要环节, 应首先考虑其浸提工艺。提取时间、提取温度、料液比对毛建草速溶红茶功能组分得率的影响见图 1, 随着浸提时间、温度、料液比的增加, 茶汤中的大部分有效成分含量呈现先上升后下降的趋势。茶多酚、氨基酸、咖啡碱和多糖的含量都在 30 min 时达到最高, 黄酮的含量则在浸提时间为 40 min 时达到最高, 可能由于黄酮较难溶于水中, 需要较长时间才能达到含量峰值。浸提温度为 60  $^\circ\text{C}$  时, 茶

表 2 毛建草速溶红茶茶样感官评估<sup>[35]</sup>

Table 2 Sensory evaluation of *Dracocephalum rupestre* Hance instant black tea<sup>[35]</sup>

种类	毛建草速溶红茶	毛建草全草速溶产品
形态	不规则颗粒状、棕褐色、无光泽、干度好	茶粉疏散、颗粒细小、色泽偏黄、无光泽、干度好
色泽	红棕色至褐色	黄褐色
汤色	红棕色、无沉淀物	黄褐色、无沉淀物、深暗混沌
气味	毛建草茶香味	略淡, 有香味
滋味	茶汤清澈, 滋味醇厚, 带有较重甜味	茶汤清澈, 滋味平和, 有熟闷味, 带有较重甜味
溶解性	热水中搅拌较快溶解	热水中搅拌较快溶解
杂质	无肉眼可见外来杂质	无肉眼可见外来杂质
产率/%	20.72	16.41

多酚、多糖和黄酮的含量达到最大值,但是由于氨基酸和咖啡碱的溶解度会随着温度的升高而增加,所以氨基酸和咖啡碱的含量随浸提温度升高而增加。料液比1:40,茶多酚、多糖达到最大,料液比1:50,黄酮、氨基酸的浸提效果最好。

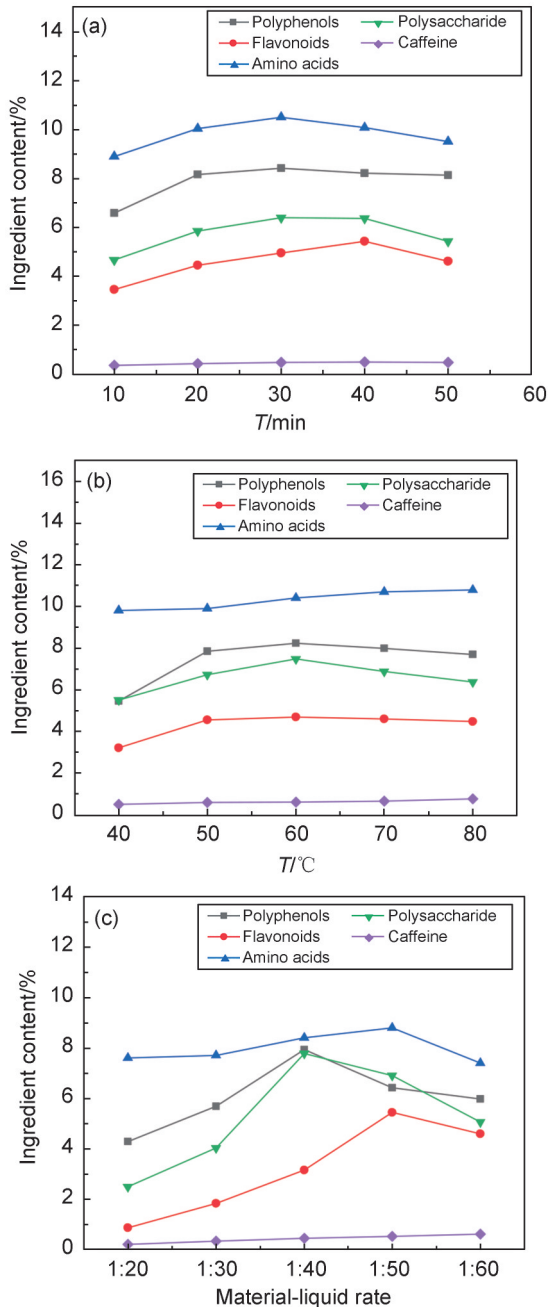


图1 浸提因素对毛建草红茶中有效成分的影响

(a) 浸提时间; (b) 浸提温度; (c) 料液比

Fig. 1 Leaching factors effects on effective ingredient contents in instant black tea of *Dracocephalum rupestre* Hance

(a) Ultrasonic extraction time; (b) temperature;

(c) material-liquid rates effects on

### 2.2.1.2 毛建草速溶茶浸提正交试验优化

浸提液中,酚类及氨基酸含量较高,但比较速溶茶粉中组分含量,多糖含量较为突出,而且,浸提液中酚类物质与多糖类物质随浸提条件变化趋势接近,因而设计试验主要以多糖含量为参照指标。根据表1的三因素三水平设计,试验结果如表3所示。根据毛建草浸提液中多糖含量,可推知得率最高的浸提工艺条件为 $A_2B_3C_1$ ,在提取时间30 min,提取温度 $70\text{ }^\circ\text{C}$ ,提取茶水比1:40,多糖含量最高。通过极差 $R$ 比较,可知 $B>C>A$ ,即上述因素影响顺序为提取温度 $>$ 料液比 $>$ 提取时间。通过对 $k$ 值的比较,可知最佳工艺组合为 $A_3B_3C_1$ ,即提取时间为40 min,浸提温度为 $70\text{ }^\circ\text{C}$ ,浸提茶水比为1:40。在该超声优化条件下,毛建草速溶红茶粉得率为22.61%。

表3 毛建草速溶红茶超声波浸提正交试验结果

Table 3 Ultrasonic extraction orthogonal test results of *Dracocephalum rupestre* instant black tea

试验组	因素			多糖/%
	A 时间	B 温度	C 料液比	
①	20	50	1:40	7.67
②	20	60	1:50	6.32
③	20	70	1:60	8.75
④	30	50	1:50	6.12
⑤	30	60	1:60	6.99
⑥	30	70	1:40	9.53
⑦	40	50	1:60	5.99
⑧	40	60	1:40	8.75
⑨	40	70	1:50	8.53
$k_1$ 平均	7.58	6.59	8.65	
$k_2$ 平均	7.55	7.36	6.92	
$k_3$ 平均	7.69	8.87	7.24	
$R$	0.14	2.28	1.73	
因素主次:温度 $>$ 料液比 $>$ 时间				
最佳组合: $A_3B_3C_1$				

### 2.2.2 干燥工艺选择

浸提液经固液分离、浓缩、干燥得到速溶茶产品。图2为不同干燥形式获得的产品。

鼓风干燥的产品(图2(a))质地偏硬,颜色基本为棕黑色,没有香味,溶解较慢。真空干燥产物(图2(b))偏棕黄,没有香味,溶解速度也较慢,自然风干的产物(图2(c))与鼓风干燥的产品硬度、颜色、溶解性接近。而经过冷冻

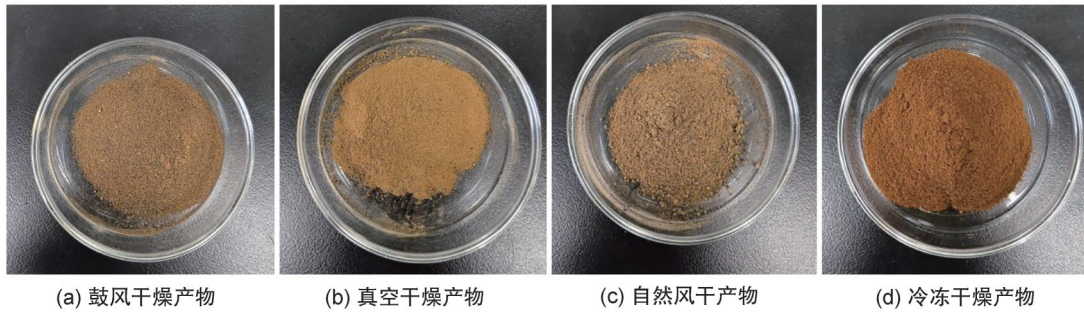


图2 不同干燥条件下产品比较

Fig. 2 Comparison of products under different drying conditions

干燥的产品(图2(d))质地酥脆,颜色呈红棕色,溶解较快,有淡香味,为最优产品。真空干燥过程也隔绝了氧,避免速溶茶一些成分的氧化,但可能由于未经冷冻锁水,导致浓缩液中的有效成分结构被破坏,产品香味丢失较大。

### 2.3 功能成分比较

如表4所示,速溶茶上述几种功能成分中,多糖含量较高,为 $40.32\% \pm 0.35\%$ ,总酚含量 $8.67\% \pm 0.13\%$ ,总黄酮含量为 $4.89\% \pm 0.25\%$ ,氨基酸含量为 $5.97\% \pm 0.64\%$ ,咖啡碱含量较少, $0.73\% \pm 0.12\%$ ,与原茶中含量较低相一致。与毛建草红茶成分含量相比,毛建草速溶红茶多糖大量提升,总酚类含量下降。与绿茶相比,毛建草红茶酚类含量明显下降<sup>[36]</sup>,速溶红茶,含量又有下降,这使速溶茶粉较之红茶,在滋味上有所改善<sup>[25]</sup>。

表4 毛建草速溶红茶与毛建草红茶可溶提取物的功能物质含量比较

Table 4 Comparison of functional ingredients content of soluble extract substances of *Dracocephalum rupestre* instant black tea and *Dracocephalum rupestre* black tea

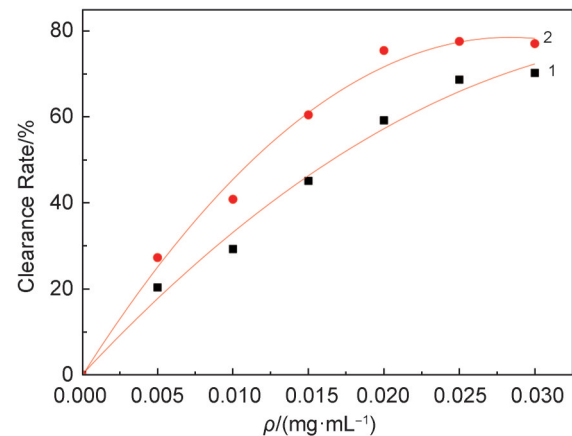
成分	毛建草速溶红茶粉/%	毛建草红茶/%
总多糖	$40.32 \pm 0.35$	$9.19 \pm 0.22$
咖啡碱	$0.73 \pm 0.12$	$0.61 \pm 0.08$
游离氨基酸	$5.97 \pm 0.64$	$9.56 \pm 0.26$
总黄酮	$4.89 \pm 0.25$	$5.87 \pm 0.64$
总酚	$8.67 \pm 0.13$	$10.41 \pm 0.55$

## 2.4 生物活性检测

### 2.4.1 抗氧化活性

如图3所示,毛建草速溶红茶溶液以及毛建草红茶溶液均对DPPH·自由基溶液有清除效果,整体趋势清除率都随着浓度的增加有所增加。拟合各曲线,得到毛建草红茶、毛建草速溶

红茶的 $IC_{50}$ 分别为 $0.179 \text{ mg/mL}$ 、 $0.129 \text{ mg/mL}$ ,清除效果为毛建草速溶红茶 > 毛建草红茶。



注:1. 毛建草红茶; 2. 毛建草速溶红茶。

Note: 1. *Dracocephalum rupestre* black tea; 2. *Dracocephalum rupestre* instant black tea.

图3 不同样品溶液对DPPH·自由基溶液的清除效果  
Fig. 3 Scavenging effect of different sample solution on DPPH· free radical

### 2.4.2 降脂活性

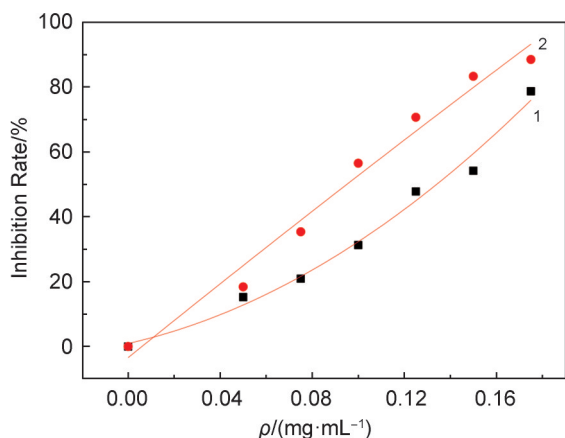
如图4所示,毛建草红茶和毛建草速溶红茶溶液均对脂肪酶分解底物工作液有抑制作用,且抑制效果随着浓度的增加均有增加趋势。拟合 $IC_{50}$ 分别为 $0.096 \text{ mg/mL}$ 、 $0.167 \text{ mg/mL}$ ,抑制效果为毛建草红茶 > 毛建草速溶红茶。

### 2.4.3 降糖活性比较

如图5所示,毛建草速溶红茶及毛建草红茶溶液均对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶分解PNPG有抑制作用,抑制效果随浓度的增加而增强。两者对应 $IC_{50}$ 分别为 $0.035 \text{ mg/mL}$ 、 $0.048 \text{ mg/mL}$ ,抑制效果为毛建草速溶红茶 > 毛建草红茶。

多糖、多酚及黄酮类物质在抗氧化、降脂、降糖方面都有较为明显的功效<sup>[37-39]</sup>,毛建草速

溶红茶在这些方面表现出来的功能,显然与这些物质的含量相关,其丰富的多糖的贡献<sup>[40-41]</sup>,应是不容忽视的。



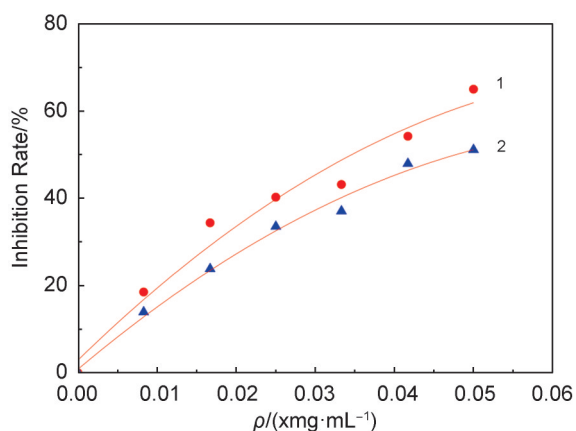
注:1. 毛建草速溶红茶; 2. 毛建草红茶

Note: 1. *Dracocephalum rupestre* instant black tea;

2. *Dracocephalum rupestre* black tea

图4 不同样品溶液对脂肪酶分解底物的抑制作用

Fig. 4 Inhibitory effect of different sample solutions on lipase-decomposing substrate solution



注:1. 毛建草速溶红茶; 2. 毛建草红茶

Note: 1-*Dracocephalum rupestre* instant black tea; 2-*Dracocephalum rupestre* black tea

图5 不同样品溶液对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用

Fig. 5 Inhibition of alpha-amylase activity by different sample solutions

### 3 结论

通过对毛建草速溶红茶浸提工艺单因素及正交试验得出最佳超声浸提料液比1:40,浸提温度为70℃,超声浸提40min,通过产品的质地、色泽、溶解性等感官评估确定干燥方式优选冷冻干燥。在此条件下,该速溶红茶得率为

22.61%,总多糖量为40.32%±0.35%,总酚含量为8.67%±0.13%,总黄酮含量为4.89%±0.25%,氨基酸含量为5.97%±0.64%,咖啡碱含量为0.73%±0.12%。该速溶红茶在抗氧化、降糖、降脂方面都有一定的功效,且在抗氧化性与降糖方面优于毛建草红茶,应归于其较高含量的多糖的贡献。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院北京植物研究所. 中国高等植物图鉴-第三册[M]. 北京: 科学出版社, 1974.  
Beijing Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. *Iconographia Cormophytorum Sinicorum*[M]. Beijing: Science Press, 1974.
- [2] GAO J J, WANG Z, CHEN D, *et al.* Metabolomic Characterization of the Chemical Compositions of *Dracocephalum rupestre* Hance[J]. *Food Res Int*, 2022, **161**: 111871. DOI:10.1016/j.foodres.2022.111871.
- [3] WU L, JIN X, ZHENG C W, *et al.* Bidirectional Effects of Mao Jian Green Tea and Its Flavonoid Glycosides on Gastrointestinal Motility[J]. *Foods*, 2023, **12**(4): 854. DOI:10.3390/foods12040854.
- [4] Jiangsu New Medical College, Dictionary of Chinese Traditional Medicine[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1977.
- [5] REN D M, GUO H F, WANG S Q, *et al.* Separation and Structure Determination of Two Diastereomeric Pairs of Enantiomers from *Dracocephalum rupestre* by High-performance Liquid Chromatography with Circular Dichroism Detection[J]. *J Chromatogr A*, 2007, **1161**(1/2): 334-337. DOI:10.1016/j.chroma.2007.06.034.
- [6] REN D M, GUO H F, YU W T, *et al.* Stereochemistry of Flavonoidal Alkaloids from *Dracocephalum rupestre*[J]. *Phytochemistry*, 2008, **69**(6): 1425-1433. DOI:10.1016/j.phytochem.2008.01.013.
- [7] REN D M, QU Z, WANG X N, *et al.* Simultaneous Determination of Nine Major Active Compounds in *Dracocephalum rupestre* by HPLC[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2008, **48**(5): 1441-1445. DOI:10.1016/j.jpba.2008.09.013.
- [8] ZHU C S, LIU K, WANG J L, *et al.* Antioxidant Activities and Hepatoprotective Potential of *Dracocephalum rupestre* Hance Extract Against CCl<sub>4</sub>-induced Hepatotoxicity in Kunming Mice[J]. *J Food Biochem*, 2018, **42**(2): e12484. DOI:10.1111/jfbc.12484.
- [9] BAN D, GESANG Z G, FAN Y Y, *et al.* Therapeutic Potential of Compound Extract from *Dracocephalum rupestre* Hance and *Berberidis Radix* Against *Salmonella*

- induced Lamb Diarrhea[J]. *Sci Rep*, 2024, **14**(1): 23789. DOI:10.1038/s41598-024-73034-2.
- [10] KASHCHENKO N I, JAFAROVA G S, ISAEV J I, *et al.* Caucasian Dragonheads: Phenolic Compounds, Polysaccharides, and Bioactivity of *Dracocephalum austriacum* and *Dracocephalum botryoides*[J]. *Plants*, 2022, **11**(16): 2126. DOI:10.3390/plants11162126.
- [11] YILMAZ-AKYUZ E, USTUN-AYTEKIN O, BAYRAM B, *et al.* Nutrients, Bioactive Compounds, and Health Benefits of Functional and Medicinal Beverages[M]// *Nutrients in Beverages*. Amsterdam: Elsevier, 2019: 175–235. DOI:10.1016/b978-0-12-816842-4.00006-x.
- [12] ISLAM J, KABIR Y. Effects and Mechanisms of Antioxidant-rich Functional Beverages on Disease Prevention[M]// *Functional and Medicinal Beverages*. Amsterdam: Elsevier, 2019: 157–198. DOI:10.1016/b978-0-12-816397-9.00005-4.
- [13] CARVALHO BARROS J, MUNEKATA P E S, DE CARVALHO F A L, *et al.* Use of Tiger Nut (*Cyperus esculentus* L.) Oil Emulsion as Animal Fat Replacement in Beef Burgers[J]. *Foods*, 2020, **9**(1): 44. DOI:10.3390/foods9010044.
- [14] NIKMARAM N, ROOHINEJAD S, HASHEMI S, *et al.* Emulsion-based Systems for Fabrication of Electrospun Nanofibers: Food, Pharmaceutical and Biomedical Applications[J]. *RSC Adv*, 2017, **7**(46): 28951–28964. DOI:10.1039/c7ra00179g.
- [15] ONI K, UCHEGBU N N, FASUAN T O, *et al.* Development of Instant Tea from *Cymbopogon Citrates*, *Zingiber* of and *Moringa oleifera* Extracts[J]. *J Food Meas Charact*, 2023, **17**(2): 1735–1747. DOI:10.1007/s11694-022-01734-2.
- [16] SUN Y M, WANG Y J, HUANG J, *et al.* Quality Assessment of Instant Green Tea Using Portable NIR Spectrometer[J]. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 2020, **240**: 118576. DOI:10.1016/j.saa.2020.118576.
- [17] ALASALVAR C, PELVAN E, OZDEMIR K S, *et al.* Compositional, Nutritional, and Functional Characteristics of Instant Teas Produced from Low- and High-quality Black Teas[J]. *J Agric Food Chem*, 2013, **61**(31): 7529–7536. DOI:10.1021/jf4015137.
- [18] PELVAN E, MUSTAFA Ö. Assessment of Energy and Exergy Efficiencies and Renewability of Black Tea, Instant Tea and Ice Tea Production and Waste Valorization Processes[J]. *Sustain Prod Consum*, 2017, **12**: 59–77. DOI:10.1016/j.spc.2017.05.003.
- [19] BAI X L, ZHANG L, KANG C Y, *et al.* Near-infrared Spectroscopy and Machine Learning-based Technique to Predict Quality-related Parameters in Instant Tea[J]. *Sci Rep*, 2022, **12**(1): 3833. DOI:10.1038/s41598-022-07652-z.
- [20] LIANG S, GAO Y, FU Y Q, *et al.* Innovative Technologies in Tea-beverage Processing for Quality Improvement[J]. *Curr Opin Food Sci*, 2022, **47**: 100870. DOI:10.1016/j.cofs.2022.100870.
- [21] KOINA I M, SARIGIANNIS Y, HAPESHI E. Green Extraction Techniques for the Determination of Active Ingredients in Tea: Current State, Challenges, and Future Perspectives[J]. *Separations*, 2023, **10**(2): 121. DOI:10.3390/separations10020121.
- [22] NAJI A M, BAŞYIĞIT B, ALAŞALVAR H, *et al.* Instant Soluble Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Powder Rich in Bioactive Compounds: Effect of the Production Process on Volatile Compounds[J]. *J Food Meas Charact*, 2023, **17**(1): 108–120. DOI:10.1007/s11694-022-01593-x.
- [23] JIN J C, LIANG S, QI S X, *et al.* Widely Targeted Metabolomics Reveals the Effect of Different Raw Materials and Drying Methods on the Quality of Instant Tea [J]. *Front Nutr*, 2023, **10**: 1236216. DOI:10.3389/fnut.2023.1236216.
- [24] KUMAR K R, DASHORA K, KUMAR S, *et al.* A Review of Drying Technology in Tea Sector of Industrial, Non-conventional and Renewable Energy Based Drying Systems[J]. *Appl Therm Eng*, 2023, **224**: 120118. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2023.120118.
- [25] 吴冲, 李昕钰, 魏昕钰, 等. 碎茶末制备速溶绿茶提取工艺研究[J]. *中国茶叶*, 2024, **46**(1): 48–53. DOI:10.3969/j.issn.1000-3150.2024.01.007.
- WU C, LI X Y, WEI X Y, *et al.* Study on the Extraction Technology of Instant Green Tea Prepared from Tea Fragments[J]. *China Tea*, 2024, **46**(1): 48–53. DOI:10.3969/j.issn.1000-3150.2024.01.007.
- [26] AL-HATIM R R, AL-ALNABI D I B, AL-YOUNIS Z K, *et al.* Extraction of Tea Polyphenols Based on Orthogonal Test Method and Its Application in Food Preservation[J]. *Food Sci Technol*, 2022, **42**: e70321. DOI:10.1590/fst.70321.
- [27] JIANG J, ZHANG M Y, AN T T, *et al.* Preparation of Instant Dark Tea by Liquid-state Fermentation Using Sequential Inoculation with *Eurotium cristatum* and *Aspergillus Niger*: Processes Optimization, Physiochemical Characteristics and Antioxidant Activity[J]. *LWT*, 2022, **162**: 113379. DOI:10.1016/j.lwt.2022.113379.
- [28] PELALAK R, KHAN A, ZARE M H, *et al.* Extraction of Ingredients from Tea Leaves Using Oxidative Enzymatic Reaction and Optimization of Extraction Condi-

- tions[J]. *Sci Rep*, 2021, **11**(1): 4094. DOI: 10.1038/s41598-021-83232-x.
- [29] WANG H, WANG J, MUJUMDAR A S, *et al.* Effects of Postharvest Ripening on Physicochemical Properties, Microstructure, Cell Wall Polysaccharides Contents (Pectin, Hemicellulose, Cellulose) and Nanostructure of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)[J]. *Food Hydrocoll*, 2021, **118**: 106808. DOI:10.1016/j.foodhyd.2021.106808.
- [30] CHEN F, HUANG G L, HUANG H L. Preparation, Analysis, Antioxidant Activities in Vivo of Phosphorylated Polysaccharide from *Momordica charantia*[J]. *Carbohydr Polym*, 2021, **252**: 117179. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.117179.
- [31] 牛成伟, 宋涵瑶, 顾浩, 等. 响应面优化山楂叶总黄酮的提取工艺及体外降脂研究[J]. *食品工业*, 2023, **44**(2): 19–22.
- NIU C W, SONG H Y, GU H, *et al.* Optimization for the Extraction Process of the Flavonoids from the Hawthorn Leaves by Response Surface Methodology and Evaluation of Hypolipidemic Activity[J]. *Food Ind*, 2023, **44**(2): 19–22.
- [32] XIE H J, LUO X, GAO Y, *et al.* Co-encapsulation of *Lactobacillus Plantarum* and EGCG: A Promising Strategy to Increase the Stability and Lipid-lowering Activity [J]. *Food Hydrocoll*, 2024, **151**: 109768. DOI:10.1016/j.foodhyd.2024.109768.
- [33] WANG L, ZHANG B, XIAO J, *et al.* Physicochemical, Functional, and Biological Properties of Water-soluble Polysaccharides from *Rosa roxburghii* Tratt Fruit[J]. *Food Chem*, 2018, **249**: 127–135. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.01.011.
- [34] YANG H R, CHEN L H, ZENG Y J. Structure, Antioxidant Activity and in Vitro Hypoglycemic Activity of a Polysaccharide Purified from *Tricholoma matsutake*[J]. *Foods*, 2021, **10**(9): 2184. DOI:10.3390/foods10092184.
- [35] 刘庆红. 速溶茶的审评方法[J]. *中国茶叶*, 1988, **10**(4): 37.
- LIU Q H. Evaluation Method of Instant Tea[J]. *China Tea*, 1988, **10**(4): 37.
- [36] 李慧卿, 王萍. 毛建草茶叶的组分研究[J]. *山西大学学报(自然科学版)*, 2014, **37**(3): 410–414. DOI: 10.13451/j.cnki.shanxi.univ(nat.sci.).2014.03.017.
- LI H Q, WANG P. Study on Tea Ingredients of *Dracocephalum rupestre*[J]. *J Shanxi Univ Nat Sci Ed*, 2014, **37**(3): 410–414. DOI: 10.13451/j.cnki.shanxi.univ(nat.sci.).2014.03.017.
- [37] GOLOVINSKAIA O, WANG C K. The Hypoglycemic Potential of Phenolics from Functional Foods and Their Mechanisms[J]. *Food Sci Hum Wellness*, 2023, **12**(4): 986–1007. DOI:10.1016/j.fshw.2022.10.020.
- [38] DOU J F, WU C E, FAN G J, *et al.* Insights into the Pigment and Non-pigment Phenolic Profile of Polyphenol Extracts of Jujube Peel and Their Antioxidant and Lipid-lowering Activities[J]. *Food Biosci*, 2023, **52**: 102493. DOI:10.1016/j.fbio.2023.102493.
- [39] SOK YEN F, QIN C S, XUAN S T S, *et al.* Hypoglycemic Effects of Plant Flavonoids: a Review[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2021, **2021**: 2057333. DOI:10.1155/2021/2057333.
- [40] JI X L, GUO J H, CAO T Z, *et al.* Review on Mechanisms and Structure-activity Relationship of Hypoglycemic Effects of Polysaccharides from Natural Resources [J]. *Food Sci Hum Wellness*, 2023, **12**(6): 1969–1980. DOI:10.1016/j.fshw.2023.03.017.
- [41] LI X G, ZHANG F Y, JIANG C X, *et al.* Structural Analysis, in Vitro Antioxidant and Lipid-lowering Activities of Purified *Tremella fuciformis* Polysaccharide Fractions[J]. *Process Biochem*, 2023, **133**: 99–108. DOI: 10.1016/j.procbio.2023.06.005.