

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022037

引用格式:蒋鹏飞,王赵改,史冠莹,等.功能性复合多糖饮料的研制及其抗氧化和降糖活性研究[J].食品与发酵工业,2020,46(1):197-203. JIANG Pengfei, WANG Zhaogai, SHI Guanying, et al. Development of functional compound polysaccharide beverage and research on its antioxidant and hypoglycemic activity[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(1): 197-203.

功能性复合多糖饮料的研制及其抗氧化和降糖活性研究

蒋鹏飞,王赵改*,史冠莹,王晓敏,张乐,程菁菁,赵丽丽,王旭增

(河南省农业科学院,农副产品加工研究中心,河南 郑州,450000)

摘要 为解决市场上多糖饮料原料单一、口感和稳定性差等问题,以功能活性强、药用价值高的香椿、决明子、大麦、山药多糖提取液为主要原料,以甜叶菊、柠檬酸为辅料,研制功能性复合多糖饮料。采用正交试验对功能性复合多糖饮料的配方进行优化,并通过测定功能性复合多糖饮料的多糖含量、抗氧化活性及降糖效果,评价其功能活性。结果表明,功能性复合多糖饮料的最佳配方为香椿茶多糖提取液 16 mL、决明子多糖提取液 8 mL、大麦多糖提取液 24 mL、山药多糖提取液 28 mL、甜叶菊 0.04 g 和柠檬酸 0.02 g。在此条件下制得的复合多糖饮料感官评分 91.1 分,多糖含量达 7.92 mg/mL,对 DPPH 自由基、羟基自由基的清除及对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用的 IC_{50} 值分别为 0.506、24.494 和 9.280 mg/mL,色泽均匀、滋味协调、酸甜适宜,具有较好的稳定性,是一款风味独特、成分丰富的新型复合饮料。

关键词 功能性复合多糖饮料;正交试验;感官评价;抗氧化活性;降糖活性

Development of functional compound polysaccharide beverage and research on its antioxidant and hypoglycemic activity

JIANG Pengfei, WANG Zhaogai*, SHI Guanying, WANG Xiaomin, ZHANG Le, CHENG Jingjing, ZHAO Lili, WANG Xuzeng

(Agricultural Products Processing Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT To tackle the issue of single raw material, poor taste and stability in polysaccharide beverages on the market, the functional compound polysaccharide beverage was developed with *Toona sinensis* polysaccharide, *Cassiae semen* polysaccharide, barley polysaccharide and yams polysaccharide extract as raw material which has high functional activity and medicinal value, and stevia and citric acid as accessory material. This study applied orthogonal experiments to optimize the formula of functional compound polysaccharide beverage. The functional activity of the beverage was also evaluated with respect to polysaccharide content, antioxidant and hypoglycemic activities. Results showed that the optimum processing parameters were: 16 mL of *Toona sinensis* polysaccharide liquid, 8 mL of *Cassiae semen* polysaccharide liquid, 24 mL of barley polysaccharide liquid, 28 mL of yams polysaccharide liquid, 0.04 g of stevia and 0.02 g of citric acid. Under this optimum conditions, the sensory score and polysaccharide content were 91.1 and 7.92 mg/mL, and the IC_{50} values for the scavenging of DPPH \cdot , \cdot OH radicals and the inhibitory effect on α -glucosidase were 0.506, 24.494 and 9.280 mg/mL respectively. The functional compound polysaccharide beverage showed uniform color, balanced taste between sweetness and sourness and higher stability. In conclusion, it was a new type of compound beverage with typical flavor and abundant nutrients. This study provides a theoretical basis for the development and functional evaluation of compound polysaccharide beverage.

Key words functional compound polysaccharide beverage; orthogonal test; sensory evaluation; antioxidant activity; hypoglycemic activity

第一作者:硕士,助理研究员(王赵改副研究员为通讯作者,E-mail:zgwang1999@126.com)

基金项目:河南省科技创新杰出青年计划项目(184100510010);河南省科技攻关项目(182102110275);河南省农业科学院优秀青年科技基金项目(2018YQ24);河南省农业科学院杰出青年科技基金(2019JQ06);2019年河南省农业科学院科技成果示范推广项目(豫财预[2019]85号)

收稿日期:2019-08-20,改回日期:2019-09-19

多糖(polysaccharide)是一类由多个相同或不同类型单糖失水缩合而成的高分子碳水化合物,可以激活人体免疫细胞、促进功能细胞因子的生成、诱导癌细胞凋亡和清除自由基等,具有降血糖血脂^[1-2]、抗癌^[3]、抗辐射、抗氧化^[4-5]以及增强机体免疫力^[6]等生物活性,因此多糖越来越多地应用于保健饮料的开发。但目前市场上的多糖饮料存在原料单一、口感和功能性差、易产生沉淀等问题^[7],急需配方优化和加工技术的改进。

香椿[*Toona sinensis* (A. Juss.) Roem]为楝科(Meliaceae)香椿属,是著名的药食两用木本植物,被国内外誉为“绿色保健菜”,因富含多酚、黄酮和多糖等活性物质而具有抗氧化和降血糖等功能^[8-9]。香椿红茶采用香椿叶发酵做茶,通过适度的萎凋与发酵,激发鲜叶中酶的活性,促使鲜叶中大分子营养物质降解为可吸收的小分子,使茶水中营养物丰富,口感醇香,功能效果更佳^[10]。大麦(*Hordeum vulgare* L.)为禾本科植物,含有多糖等活性成分,具有抗氧化、降低血清胆固醇、刺激免疫和抗肿瘤等多种生物活性,且无毒副作用,在功能食品和医药方面有良好应用前景^[11-12]。山药(*Dioscorea opposita* Thunb.)为薯蓣科多年生宿根蔓生植物薯蓣的块茎,是我国传统的药食同源食物之一^[13]。山药多糖目前被公认为山药主要的生物活性成分,占其干物质的2.15%~2.92%^[14]。决明子(*Cassia seem*)为豆科植物决明或小决明的干燥成熟种子,具有降压降脂、保肝明目、润肠抗菌等作用,所含多糖、大黄酸和大黄素是治疗糖尿病的活性物质^[15]。

目前尚未有功能性复合多糖饮料及其功能活性的研究报道。本研究采用超声波辅助提取香椿、决明子、大麦、山药多糖,以提取到的提取液为主要原料,添加甜叶菊和柠檬酸调节口感,研究功能性复合多糖饮料的生产工艺、产品配方和感官品质,并通过测定对DPPH自由基、羟基自由基的清除作用及对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用来评价其功能活性,以期得到一种工艺合理、营养健康丰富、富含多糖等生物活性的功能性复合多糖饮料,解决目前市场上的多糖饮料原料单一化、口感和功能性差等问题,为开发功能性复合多糖饮料提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 试验材料

香椿叶选取头茬嫩芽,采自登封市嵩阳红香椿种

植专业合作社;决明子、大麦和甜叶菊,郑州市张仲景大药房;山药,郑州市拜特超市; α -葡萄糖苷酶、4-硝基苯- α -D-吡喃葡萄糖苷(4-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside, pNPG),美国Sigma公司;DPPH,东京化成工业株式会社;铁氰化钾、 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 、水杨酸和 Na_2CO_3 均为分析纯;水为去离子水。

1.2 仪器与设备

BL-250 A型高速多功能粉碎机,浙江省永康市青松五金厂;DGG-9140型电热恒温鼓风干燥箱,上海森信实验仪器有限公司;SB-5200 DTD超声波清洗机,宁波新芝生物科技股份有限公司;ME204E型电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;GENESYS 10S型UV-VIS紫外分光光度计,美国Thermo公司;HHS型电热恒温水浴锅,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;H1650R/H1850R台式高速离心机,湖南湘仪实验仪器开发有限公司;NUII-10T型实验室(超)纯水机,南京优普环保设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 功能性复合多糖饮料的工艺流程

制备各种多糖液 \rightarrow 混合 \rightarrow 调配 \rightarrow 过滤 \rightarrow 均质 \rightarrow 灌装 \rightarrow 灭菌 \rightarrow 冷却 \rightarrow 成品

1.3.1.1 香椿红茶、大麦、决明子和山药多糖提取液的制备

利用本实验室发明的香椿红茶专利制作香椿红茶。取香椿红茶(干)用超微粉碎机粉碎后过200目筛。称取香椿红茶粉20 g,按料液比1:20(g:mL)的比例加入80℃的水,超声辅助提取3 h,过滤后的上清液为香椿叶多糖提取液。

分别称取40 g大麦和决明子(干),放置烤箱的烤盘中,上火160℃,烘烤10 min,冷却至室温备用。将烘烤后的大麦和决明子于超微粉碎机中粉碎后过200目筛子。称取大麦粉和决明子粉各20 g,按料液比1:20(g:mL)的比例加入100℃的水,超声辅助提取3 h,过滤后的上清液为大麦多糖提取液和决明子多糖提取液。

选取新鲜的山药,经去皮、切片、护色、干燥、粉碎后得到山药粉,称取山药粉20 g,按料液比1:20(g:mL)的比例加入80℃的水,超声辅助提取3 h,过滤后的上清液为山药多糖提取液。

1.3.1.2 混合调配

以香椿叶、决明子、大麦和山药多糖提取液为原料,甜叶菊和柠檬酸调节口感,设计6因素5水平 $L_{25}(5^6)$ 正交试验,按正交试验(表1)确定最佳配比混

合,选出最优配方,然后将多糖溶液与稳定剂料液定量混合,充分混合均匀后,最后用饮用水补至产品的最终总体积 100 mL。正交试验因素及水平如表 1 所示。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Orthogonal experimental factors and levels						
水平	香椿叶多糖 提取液/ mL	决明子多糖 提取液/ mL	大麦多糖 提取液/ mL	山药多糖 提取液/ mL	甜叶菊/ g	柠檬酸/ g
1	4	4	12	12	0.01	0.02
2	8	8	16	16	0.02	0.04
3	12	12	20	20	0.03	0.06
4	16	16	24	24	0.04	0.08
5	20	20	28	28	0.05	0.10

1.3.1.3 均质

表 2 多糖饮料感官评分标准

Table 2 Criteria of sensory evaluation for polysaccharide beverage				
等级	色泽(20 分)	滋味(30 分)	口感(30 分)	组织形态(20 分)
一级	棕黄色,色泽均匀,颜色鲜亮,透 明度好(15~20 分)	具有厚重的浓香气味,香气和谐 (20~30 分)	口感柔和细腻,酸甜适口,后味有 明显茶香,圆滑甘润(20~30 分)	流动性好,无沉淀(15~ 20 分)
二级	颜色偏浅,透明度好(11~14 分)	香味偏淡,有异味(10~20 分)	口感淡薄,不协调,酸甜不适中, 有粗糙感(10~20 分)	瓶底有少量沉淀(11~14 分)
三级	色泽偏暗(0~10 分)	香味不明显,有异味(0~10 分)	口感较差,有明显异味,偏苦涩 (0~10 分)	不澄清瓶底有沉淀(0~ 10 分)

1.3.3 指标测定

1.3.3.1 多糖含量测定

采用硫酸-苯酚比色法^[17],称取 105 ℃干燥至恒重的无水葡萄糖 25 mg,置于 250 mL 容量瓶中,定容。精密量取葡萄糖标准品溶液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL,置于试管中,用蒸馏水补足至 1 mL,各管再加入 5% 苯酚溶液 1.0 mL,混匀,迅速加入 5 mL 浓 H₂SO₄ 摇匀,静置 10 min 后于 30 ℃水浴中加热 20 min,去除冷却至室温,在 490 nm 处测定吸光度。以葡萄糖检测质量浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标,制备标准曲线($y = 0.0106x + 0.1538, R^2 = 0.9993$)($x, \mu\text{g/mL}$)。吸取 1 mL 待测液,按上述步骤反应后,平行 3 次测定吸光度,原液多糖含量($\mu\text{g/mL}$)按公式(1)计算:

多糖含量 = $\frac{A - 0.1538}{0.0106} \times f$ (1)

式中:A,样品溶液吸光度;f,样品稀释倍数。

1.3.3.2 DPPH 自由基清除率的测定

称取 7.896 mg DPPH,用无水乙醇定容到 100 mL,即配成 0.2 mmol/L,4℃冰箱避光保存。样品配制成 38.500 mg/mL 的母液,再梯度稀释,使质量浓

度分别为 9.624、4.812、2.406、1.203、0.601、0.300、0.150、0.075 mg/mL。避光反应 30 min,517 nm 处测试不同浓度样品的吸光度,平行 3 次测试^[18]。

1.3.1.4 杀菌与灌装

将均质后的功能性复合多糖饮料加热到 90 ℃,趁热灌装于清洗消毒的玻璃瓶中,封口后在 115 ℃的高压蒸汽锅中灭菌 20 min 后,放于冷水中冷却至室温,即为成品。

1.3.2 感官评定

感官评定从视觉、嗅觉、味觉即澄清度与色泽、气

味、口感 3 方面的指标对其进行评定,其中澄清度与色泽占 40 分,气味占 30 分,口感占 30 分^[16]。功能性复合多糖饮料评分标准见表 2。

度分别为 9.624、4.812、2.406、1.203、0.601、0.300、0.150、0.075 mg/mL。避光反应 30 min,517 nm 处测试不同浓度样品的吸光度,平行 3 次测试^[18]。

• DPPH清除率按公式(2)计算:

• DPPH 清除率/% = $\left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100$ (2)

式中:A₁,样品溶液吸光度;A₂,无水乙醇代替 DPPH 自由基醇溶液的对照试验吸光度;A₀,蒸馏水代替样品溶液或 VC 的空白试验吸光度。

1.3.3.3 羟基自由基清除率的测定

样品梯度稀释,使之分别稀释成 38.50、19.25、9.63、4.81、2.41 mg/mL。在离心管中依次加入 1 mL 不同质量浓度的样液溶液,0.3 mL 8.0 mmol/L Fe-SO₄,0.25 mL 20 mmol/L H₂O₂,1.0 mL 3.0 mmol/L 水杨酸。在 37 ℃水浴中反应 30 min,流水迅速冷却,再分别补加 0.45 mL 蒸馏水,使得溶液体积为 3.0 mL。摇匀后 10 ℃,2 000 r/min 离心 15 min,取上清液于 510 nm 处比色测定 OD 值,平行测定 3 次^[19]。

• OH清除率按公式(3)计算:

• OH 清除率/% = $\left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100$ (3)

式中: A_1 ,样品溶液吸光度; A_2 ,蒸馏水代替 H_2O_2 溶液的对照试验吸光度; A_0 ,蒸馏水代替样品溶液或 VC 的空白试验吸光度。

1.3.3.4 复合多糖饮料对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

以 pNPG 为反应底物,经 α -葡萄糖苷酶水解 α -1,4-葡萄糖苷键后释放出对硝基苯酚(*p*-nitrophenol, pNP),在 410 nm 下检测黄色的对硝基苯酚的生成量作为酶活大小的判定标准^[20]。实验各组物质加入量如表 3 所示。

表 3 pNPG 法测定 α -葡萄糖苷酶活力 单位: μ L

Table 3 Measure the activity of α -glucosidase by pNPG method					
样品	磷酸钾 缓冲液	多糖饮料	α -葡萄糖 苷酶	pNP	Na ₂ CO ₃ 溶液
样品实验组 A_i	300	50	20	20	610
样品空白组 A_j	320	50	0	20	610
对照实验组 A_0	350	0	20	20	610
对照空白组 A_1	370	0	0	20	610

样品梯度稀释,使之稀释成 38.50、19.25、9.63、4.81、2.41 mg/mL。向 5 mL 试管中依次加入 pH 6.8、0.1 mol/L 的磷酸钾缓冲液、不同浓度的待测多糖饮料和 α -葡萄糖苷酶(1 U/mL)后 37℃ 水浴锅预

表 4 功能性复合多糖饮料配方优化的正交试验 $L_{25}(5^6)$ 方案及结果

Table 4 Orthogonal array $L_{25}(5^6)$ design and results for formula optimization of the functional compound polysaccharide beverage							
水平	A(香椿叶多糖 提取液)/mL	B(决明子多糖 提取液)/mL	C(大麦多糖 提取液)/mL	D(山药多糖 提取液)/mL	E(甜叶菊)/ g	F(柠檬酸)/ g	感官评价/ 分
1	1(4)	1(4)	1(12)	1(12)	1(0.01)	1(0.02)	72.1
2	1	2(8)	2(16)	2(16)	2(0.02)	2(0.04)	73.4
3	1	3(12)	3(20)	3(20)	3(0.03)	3(0.06)	76.7
4	1	4(16)	4(24)	4(24)	4(0.04)	4(0.08)	77.2
5	1	5(20)	5(28)	5(28)	5(0.05)	5(0.10)	80.5
6	2(8)	1	2	3	4	5	81.1
7	2	2	3	4	5	1	83.4
8	2	3	4	5	1	2	84.1
9	2	4	5	1	2	3	85.1
10	2	5	1	2	3	4	70.9
11	3(12)	1	3	5	2	4	87.4
12	3	2	4	1	3	5	87.2
13	3	3	5	2	4	1	89.4
14	3	4	1	3	5	2	77.7
15	3	5	2	4	1	3	86.2
16	4(16)	1	4	2	5	3	89.1
17	4	2	5	3	1	4	80.4
18	4	3	1	4	2	5	83.3
19	4	4	2	5	3	1	89.2

热 20 min,加入 pNPG 溶液(2.5 mmol/L)37 ℃ 条件下水浴反应 30 min,加入 610 μ L Na₂CO₃ 溶液(1 mol/L)终止反应,于 410 nm 处测定各组 OD 值。按照公式(4)计算不同浓度的多糖饮料对 α -葡萄糖苷酶的抑制率。通过绘制多糖饮料浓度与酶活抑制率的关系曲线图,利用 SPSS 软件计算 3 种水提物对 α -葡萄糖苷酶酶活抑制的 IC_{50} 。

$$\text{抑制率} / \% = \frac{A_i - A_j}{A_0 - A_1} \times 100$$

(4)

1.3.4 数据处理

每次实验做 3 次平行,数据统计分析采用 SPSS 18.0 软件,组间差异显著性采用 *t* 检验分析($P < 0.05$);实验数据用 Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 功能性复合多糖饮料正交试验结果分析

在前期单因素试验的基础上,选取香椿叶多糖提取液、决明子多糖提取液、大麦多糖提取液、山药多糖提取液、甜叶菊和柠檬酸为因素,分别设计 5 个水平按 $L_{25}(5^6)$ 正交表进行正交试验,以感官评价为衡量指标,优化功能性复合多糖饮料配方工艺参数,试验统计分析结果见表 4 和表 5。

续表 4

水平	A(香椿叶多糖 提取液)/mL	B(决明子多糖 提取液)/mL	C(大麦多糖 提取液)/mL	D(山药多糖 提取液)/mL	E(甜叶菊)/ g	F(柠檬酸)/ g	感官评价/ 分
20	4	5	3	1	4	2	90.1
21	5(20)	1	5	4	3	2	86.2
22	5	2	1	5	4	3	82.4
23	5	3	2	1	5	4	76.3
24	5	4	3	2	1	5	83.7
25	5	5	4	3	2	1	85.5
k_1	75.98	83.18	77.28	82.16	81.30	83.92	
k_2	80.92	81.36	81.24	81.30	82.94	82.30	
k_3	85.58	81.96	84.26	80.28	82.04	83.90	
k_4	86.42	82.58	84.62	83.26	84.04	78.44	
k_5	82.82	82.64	84.32	84.72	81.40	83.16	
R	10.44	1.82	7.34	4.44	2.75	5.48	

表 5 正交试验结果方差分析

Table 5 Variance analysis of orthogonal test results

变异来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	Sig.	显著性
A(香椿叶多糖提取液)	349.202	4	87.300	35.67	0.002	* *
B(决明子多糖提取液(误差))	9.790	4	2.447			
C(大麦多糖提取液)	198.094	4	49.523	20.24	0.006	* *
D(山药多糖提取液)	59.342	4	14.835	6.06	0.054	
E(甜叶菊)	26.526	4	6.631	2.71	0.179	
F(柠檬酸)	104.070	4	26.017	10.63	0.021	*
合计	747.022	24				

注：* * 代表极显著 ($P < 0.01$)；* 代表差异显著 ($P < 0.05$)。

由表 4 极差分析可知,影响功能性复合多糖饮料感官评价因素主次顺序依次为 $A > C > F > D > E > B$, 即对功能性复合多糖饮料感官评价影响最大的因子是香椿叶多糖提取液。由表 5 方差分析可知,在实验误差范围内,A(香椿叶多糖提取液)和 C(大麦多糖提取液)对功能性复合多糖饮料的口感具有极显著性影响($P < 0.01$),F(柠檬酸)具有显著性影响($P < 0.05$),B(决明子多糖提取液)、D(山药多糖提取液)和 E(甜叶菊)影响不显著($P > 0.05$)。获得功能性复合多糖饮料最佳配方工艺条件组合为 $A_4B_1C_4D_5E_4F_1$ (M 号),即香椿叶多糖提取液 16 mL,决明子多糖提取液 8 mL,大麦多糖提取液 24 mL,山药多糖提取液 28 mL,甜叶菊 0.04 g,柠檬酸 0.02 g,功能性复合多糖饮料的感官评分最高。

为验证正交试验的预测结果,特将(M 号)与正交试验表中感官评价较高的 16 号、19 号和 20 号进行了重复对比试验,试验结果是 M 号感官评价得分为 91.1 分,16 号为 89.2 分,19 号为 89.4 分,20 号为 89.9 分,M 号感官评价得分最高,说明正交试验预测的准确性。M 号功能性复合多糖饮料经高速离心后

无沉淀析出,且多糖含量高达 7.92 mg/mL,是徐雅雯^[21]研究的山药多糖复合饮料中多糖含量(3.82 mg/mL)的 2 倍多,是卓荣权等^[22]研究的秋葵多糖饮料中多糖含量(14 mg/100 mL)的 56 倍,这说明 M 号功能性复合多糖饮料不仅具有较好的稳定性,还含有丰富的多糖,具有极强的功能活性。

2.2 不同浓度功能性复合多糖饮料对 DPPH 自由基清除能力影响分析

利用最优的条件生产功能性复合多糖饮料,按梯度将其稀释成不同浓度,从图 1 可以看出,多糖饮料对 DPPH 自由基清除能力随着质量浓度的增加而升高。当多糖饮料质量浓度在 0.075 ~ 0.601 mg/mL 之间时,清除能力随着多糖饮料质量浓度的增加呈直线上升;当多糖饮料质量浓度在 0.601 ~ 2.406 mg/mL 之间时,清除能力随着多糖饮料质量浓度的增加先急剧升高后逐渐减缓;当多糖饮料浓度在 2.406 ~ 9.624 mg/mL 之间时,清除能力随着多糖饮料质量浓度的增加趋于平稳。因此功能性复合多糖饮料具有很强的 DPPH 自由基清除能力。

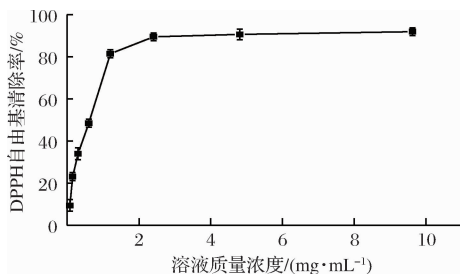


图1 不同质量浓度功能性复合多糖饮料清除 DPPH 自由基能力

Fig. 1 Scavenging effects of the different concentrations of the functional compound polysaccharide beverage on ·DPPH

2.3 不同浓度功能性复合多糖饮料对羟基自由基清除能力影响分析

利用最优的条件生产功能性复合多糖饮料,按梯度将其稀释成不同浓度,多糖饮料对羟基自由基的清除能力如图2所示。功能性复合多糖饮料的质量浓度在2.41~38.50 mg/mL的实验范围内,多糖饮料清除羟基自由基的能力随着溶液质量浓度的增加而升高。通过拟合得到的多糖饮料的溶液质量浓度与羟基自由基清除率的关系方程为 $y = -0.0373x^2 + 3.0999x - 2.47$ ($R^2 = 0.9938$; 2.41~38.50 mg/mL)。由此可以看出,功能性复合多糖饮料具有很强的羟基自由基清除能力。

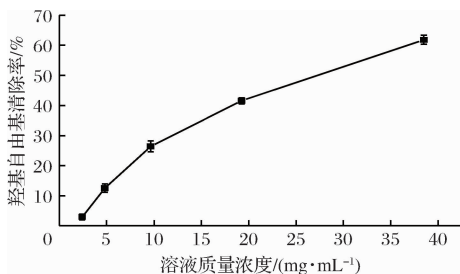


图2 不同质量浓度功能性复合多糖饮料清除羟基自由基能力

Fig. 2 Scavenging effects of the different concentrations of the functional compound polysaccharide beverage on ·OH

2.4 不同浓度的功能性复合多糖饮料对α-葡萄糖苷酶抑制能力影响分析

利用最优的条件生产功能性复合多糖饮料,如图3所示,多糖饮料与α-葡萄糖苷酶的抑制率之间存在明显的剂量依赖关系,抑制作用随着多糖饮料质量浓度的增加而升高。当多糖饮料质量浓度在2.41~9.63 mg/mL之间时,此时酶促反应处于混合反应阶段,抑制率随着多糖饮料浓度的增加呈现上升的关

系;当多糖饮料质量浓度在9.63~38.50 mg/mL之间时,此时酶促反应处于零级反应阶段,抑制率趋于平稳。当多糖饮料的质量浓度为38.50 mg/mL时,α-葡萄糖苷酶的抑制率可达70.36%。由此可以得出多糖饮料对α-葡萄糖苷酶活性有很明显的抑制作用。

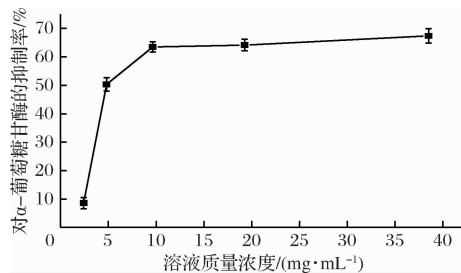


图3 不同质量浓度的功能性复合多糖饮料对α-葡萄糖苷酶抑制率影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of the functional compound polysaccharide beverage on α-glucosidase inhibitory rate

2.5 功能性复合多糖饮料抗氧化和对α-葡萄糖苷酶抑制的 IC₅₀值

IC₅₀是评价多糖饮料对DPPH自由基和羟基自由基清除能力、α-葡萄糖苷酶抑制力的重要指标,可作为筛选抗氧化和降糖活性的手段^[23]。多糖饮料对DPPH自由基和羟基自由基清除能力、α-葡萄糖苷酶抑制能力都是随着浓度的增减而升高,呈剂量依赖型关系。功能性复合多糖饮料对DPPH自由基和羟基自由基清除、α-葡萄糖苷酶抑制的IC₅₀值分别为0.506、24.494、9.280 mg/mL。

表6 满足95%置信区间的功能性复合多糖饮料抗氧化和对酶抑制的IC₅₀ 单位:mg/mL

Table 6 The IC₅₀ of the functional compound polysaccharide beverage that meet the 95% confidence interval for inhibition of antioxidant and enzyme activity

种类	预计值	下限值	上限值
DPPH 自由基	0.506	0.361	0.693
羟基自由基	24.494	20.177	31.281
α-葡萄糖苷酶	9.280	4.661	2.857

3 结论与展望

本研究采用正交试验对功能性复合多糖饮料的配方进行优化,还检测了其体外抗氧化活性和体外降糖活性,得到的功能性复合多糖饮料色泽均匀、滋味协调、酸甜适宜,具有较好的稳定性、体外抗氧化活性

和体外降糖活性。本研究不仅解决了目前市场上多糖饮料原料单一、口感和功能性差的问题,还进一步评价了复合多糖饮料的功能性,为功能性复合多糖饮料的开发提供了初步理论依据,提高了香椿、大麦、决明子、山药等深加工产品的利用程度,对功能性复合多糖饮料的开发及其精深加工研究具有重要意义。另外香椿、大麦、决明子、山药作为我国传统的药食两用植物,含有丰富的营养成分和功能活性成分,满足了现代人健康的生活需求。香椿、大麦、决明子、山药加工产业的发展提高了山区人民种植和生产的积极性,避免了资源的浪费,带动了农产品加工业和运输业等相关产业的发展,促进农民经济收入,对山区脱贫致富具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 尹凡,赵嘉,侯子驰,等. 多糖降血糖作用研究[J]. 生物化工, 2019,5(2):143-145.
- [2] 朱娇娇,周安婕,丁怡,等. 3 种天然植物多糖的抗氧化与降血糖活性研究[J]. 粮食与油脂, 2018,31(8):96-100.
- [3] TAO Y W, TIAN G Y. Studies on the physicochemical properties, structure and antitumor activity of polysaccharide Yh PS-1 from the root of *Cordalis yanhusuo* Wang[J]. Chinese Journal of Chemistry, 2006,24(2):235-239.
- [4] 王希. 大麦多糖的提取及其生物活性研究[D]. 镇江:江苏大学, 2008.
- [5] 王珊,尹涛,朱梅. 长白山药用植物多糖抗氧化活性研究进展[J]. 吉林农业, 2018(23):68-69.
- [6] GE Y, DUAN Y F, FANG G Z, et al. Study on biological activities of *Physalis alkekengi* var *francheti* polysaccharide[J]. J Sci Food Agric, 2009,89(9):1 593-1 598.
- [7] 韩璿,吴正钧,高彩霞,等. 功能性多糖饮料的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015,36(8):115-119.
- [8] 陈刚,杨玉珍,马晓. 香椿化学成分与保健功能研究进展[J]. 北方园艺, 2013(20):189-192.
- [9] ZHANG W, LI C, YOU L J, et al. Structural identification of compounds from *Toona sinensis* leaves with antioxidant and anticancer activities[J]. Journal of Functional Foods, 2014,10:427-435.
- [10] 王赵改,王晓敏,史冠莹,等. 一种香椿发酵红茶制备方法:中国, CN105230894A[P]. 2015-11-18.
- [11] TEMBHURNE S V, SAKARKAR D M. Anti-obesity and hypoglycemic effect of ethanolic extract of *Murraya koenigii* (L.) leaves in high fatty diet rats[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 2012,2:S166-S168.
- [12] 陈文若,陈银基,负婷婷,等. 大麦营养与功能组分研究进展[J]. 粮油食品科技, 2017,25(1):1-5.
- [13] CHEN Yifeng, ZHU Qin, WU Shengjun. Preparation of oligosaccharides from Chinese yam and their antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2014,173(2 015):1 107-1 110.
- [14] 关倩倩,张文龙,杜方岭,等. 山药多糖生物活性及作用机理研究进展[J]. 中国食物与营养, 2018,24(3):11-14.
- [15] 晋亚楠. 决明子治疗糖尿病并发症的活性及氧化应激机制研究[D]. 重庆:西南大学, 2012.
- [16] 张静,温暖,刘阳洋,等. 蒲公英根多糖提取及蒲公英多糖饮料的研制[J]. 农产品加工, 2018(1):13-17.
- [17] 吴舜,张桂娟,吕文博. 龙牙楸木芽多糖提取与脱色工艺的研究[J]. 保鲜与加工, 2016(6):80-86.
- [18] ZHANG Lu, TU Zongcai, XIE Xing, et al. Antihyperglycemic, antioxidant activities of two *Acer palmatum* cultivars, and identification of phenolics profile by UPLC-QTOF-MS/MS; new natural sources of functional constituents[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 89:522-532.
- [19] DROGOUDI P, GERASOPOULOS D, KAFKALETOU M, et al. Phenotypic characterization of qualitative parameters and antioxidant contents in peach and nectarine fruit and changes after jam preparation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017,97(10):3 374-3 383.
- [20] YANG X, KONG F. Evaluation of the in vitro α -glucosidase inhibitory activity of green tea polyphenols and different tea types[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015,96(3):777-782.
- [21] 徐雅雯. 山药多糖的分离及山药复合饮料的研制[D]. 天津:天津科技大学, 2013.
- [22] 卓荣权,王春霞,黄琳,等. 秋葵多糖饮料配方及其稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2017,38(7):84-88.
- [23] 闫唯,李佳,刘钰华,等. 微波辅助提取西瓜番茄红素及其抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2017,17(6):56-60.