

黑茶金花体外抗氧化及降血脂活性研究

党旭辉¹, 周秦羽¹, 刘梦圆¹, 甘汉文¹, 张 犇¹, 刘 锦¹,
李 敏², 覃 丽², 肖文军^{1,2*}

(1. 湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 长沙 410128; 2. 湖南省茶叶学会, 长沙 410128)

摘 要: **目的** 探究黑毛茶、金花黑茶、去花茶底和纯金花主要品质成分含量及其体外抗氧化、降血脂活性差异。**方法** 以黑毛茶为原料, 采用传统黑茶发花工艺制成金花黑茶, 分离金花后获得黑毛茶、金花黑茶、去花茶底和纯金花 4 个样品, 分析其主要品质成分含量、体外抗氧化及降血脂活性差异。**结果** 相比黑毛茶、金花黑茶和去花茶底, 纯金花的水浸出物、可溶性糖和游离氨基酸含量显著升高($P<0.05$), 黄酮类物质含量则显著降低($P<0.05$), 茶多酚含量表现为黑毛茶>去花茶底>金花黑茶>纯金花; 各样品对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基、亚硝基、超氧阴离子自由基清除能力和总还原能力表现为黑毛茶>去花茶底>金花黑茶>纯金花, 去花茶底对羟基自由基的清除能力最强; 同时通过分析 4 个样品体外结合胆酸盐能力、对胰脂肪酶活性的激活能力及对胆固醇酯酶的抑制能力发现, 去花茶底的体外降血脂效果最佳, 其次是金花黑茶($P<0.05$)。相关性分析显示, 茶多酚含量与超氧阴离子自由基清除能力呈显著正相关($P<0.05$); 黄酮总量与 DPPH 自由基、亚硝基清除能力、总还原力和胰脂肪酶激活率呈显著正相关($P<0.05$, $P<0.01$)。**结论** 金花黑茶发花产物中的抗氧化及降血脂活性物质主要集中在去花茶底中。

关键词: 黑茶; 发花工艺; 金花; 抗氧化活性; 降血脂活性

Study on antioxidant and hypolipidemic activity *in vitro* of post-flowering dark tea

DANG Xu-Hui¹, ZHOU Qin-Yu¹, LIU Meng-Yuan¹, GAN Han-Wen¹, ZHANG Ben¹,
LIU Jin¹, LI Min², QIN Li², XIAO Wen-Jun^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Tea Science, Ministry of Education, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
2. Hunan Tea Association, Changsha 410128, China)

ABSTRACT: Objective To explore the differences in content of main quality components and their antioxidant and hypolipidemic bioactivity *in vitro* of namely dark tea, post-flowering dark tea, post-flowering isolated leaf base and pure gold flower. **Methods** Post-flowering dark tea was prepared by traditional dark tea flowering processing technology with namely dark tea as raw material, 4 samples of namely dark tea, post-flowering dark tea, post-flowering isolated leaf base and pure gold flower were obtained after separation of gold flower. Then the content of main quality components, antioxidant and hypolipidemic bioactivity *in vitro* were detected and analyzed. **Results** Compared with

基金项目: 国家大学生创新创业训练项目(S202110537073)、湖南省科技厅重点研发计划项目(2021NK2016)

Fund: Supported by the National Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students (S202110537073), and the Key Research and Development Program of Science and Technology Department of Hunan Province (2021NK2016)

***通信作者:** 肖文军, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与品质化学。E-mail: xiaowenjun88@sina.com

***Corresponding author:** XIAO Wen-Jun, Ph.D, Professor, Hunan Agricultural University, Donghu Street, Furong District, Changsha 410128, China. E-mail: xiaowenjun88@sina.com

namely dark tea, post-flowering dark tea and post-flowering isolated leaf base, the content of water extract, soluble sugar and free amino acid of pure gold flower were significantly increased ($P<0.05$), while the content of flavonoids was significantly decreased ($P<0.05$), the content of tea polyphenols was as follows: Dark tea>post-flowering isolated leaf base>post-flowering dark tea>pure gold flower; the scavenging abilities of each sample to 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical, nitroso, superoxide anion radical and total reducing power kept the trend of dark tea>post-flowering isolated leaf base>post-flowering dark tea>pure gold flower, and the hydroxyl radical scavenging ability of post-flowering isolated leaf base was the strongest. At the same time, by analyzing the cholate binding ability, the activation ability of pancreatic lipase activity and the inhibition ability of cholesterol esterase *in vitro* of the 4 samples, it was found that the removal of post-flowering isolated leaf base had the best hypolipidemic bioactivity, followed by post-flowering dark tea ($P<0.05$). Correlation analysis showed that tea polyphenols content was positively correlated with superoxide anion radical scavenging ability ($P<0.05$). The total flavonoids were significantly positively correlated with DPPH radical scavenging ability, nitroso scavenging ability, total reducing power and pancreatic lipase activation rate ($P<0.05$, $P<0.01$). **Conclusion** The substances with antioxidant and hypolipidemic activity in the flower products of post-flowering dark tea are mainly concentrated in post-flowering isolated leaf base.

KEY WORDS: dark tea; flowering processing technology; golden flower; antioxidant activity; hypolipidemic activity

0 引言

金花黑茶是以黑毛茶为原料,在金花菌作用下发生一系列物质转化所形成的具有独特品质和风味的后发酵茶。发花是金花黑茶品质形成的关键工艺^[1],其实质是微生物通过胞外酶、微生物热及自身的代谢作用进行一系列物质转化,形成茯砖茶所独有的品质,同时形成了其特有的“菌花香”的过程^[2]。“金花”是茯砖茶中的冠突散囊菌产生的金黄色闭囊壳^[3-4]，“金花”的多少是茯砖茶品质好坏的重要指标。研究表明,金花具有抑菌^[5]、降脂减肥^[6]、抗氧化^[7]等功效。金花黑茶可以通过改变糖代谢和上调糖酵解或糖异生控制机体中酶的表达,改善氧化损伤,防止脂质积累^[8],具有明显的降血脂效果。但是,目前市场上对金花黑茶抗氧化、降血脂的认知有误差,部分人认为金花越多,效果越好,且关于茯砖茶抗氧化、降血脂功能的研究多集中在茶叶内含物质及金花菌的研究^[9-10],但抗氧化及降血脂的功能物质究竟是存在于茶中或花中则尚不清楚。本研究以五级黑毛茶为原料,采用传统黑茶发花工艺制成金花黑茶,并经分离分别得到黑毛茶、金花黑茶、去花茶底和纯金花 4 个样品,通过检测其品质成分的含量、自由基的清除能力、胆酸盐结合能力、胰脂肪酶活性的激活能力及胆固醇酯酶的抑制能力,对比探究其体外抗氧化和降血脂能力,为金花黑茶深层次开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

5 级黑毛茶原料取自益阳茶厂有限公司。

铁氰化钾、无水对氨基苯磺酸、硫酸亚铁、无水乙醇、甲醇、浓盐酸、无水碳酸钠、亚硝酸钠、氯化高铁、乙腈、橄榄油(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);水杨酸、磷酸

氢二钠、磷酸二氢钠、4-硝基苯丁酸酯、酚酞(分析纯,北京酷来博科技有限公司);焦性没食子酸(分析纯,上海易恩化学技术有限公司);30%过氧化氢(分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司);N-1-萘乙二胺盐酸盐(分析纯,天津市致远化学试剂有限公司);福林酚、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)(分析纯,北京索莱宝科技有限公司);三氯乙酸(分析纯,上海三爱思试剂有限公司);(羟甲基)氨基甲烷(分析纯,长沙市迈科为生物科技有限公司);胰脂肪酶(USP 级)、牛黄胆酸钠(纯度 95%)、甘氨酸胆酸钠(纯度 98%)、消胆胺树脂(纯度 99%)(上海麦克林生化科技有限公司);浓硫酸(优级纯,株洲市星空化玻有限责任公司);氢氧化钠、胆固醇酯酶(分析纯,上海源叶生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

HH 数显恒温水浴锅(金坛市金城国胜实验仪器厂);KQ3200 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);WFZ UV-2102PCS 型紫外可见分光光度计[尤尼柯(上海)仪器有限公司];TDZ4 台式低速离心机(湖南赫西仪器装备有限公司);101A-2 型电热鼓风干燥箱(上海市实验仪器总厂);722E 型可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司);FA2104S 型电子天平(60/210 mg,上海恒平科学仪器有限公司);400Rpm 恒温培养振荡器(苏州硕舟科技有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 茶样制备方法

取 5 级黑毛茶原料作为黑毛茶样品,同时从中取部分黑毛茶原料汽蒸 10 min、60℃渥堆 1.5 h,然后在控温控湿发花房中经发花工艺获得金花黑茶^[11],再取部分金花黑茶通过人工筛分、拣剔分离得到去花茶底和纯金花。

1.3.2 茶样分析方法

水浸出物含量测定参照 GB/T 8305—2013《茶 水浸

出物测定》; 游离氨基酸含量测定参照 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量测定》; 茶多酚含量测定参照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》; 可溶性糖采用蒽酮硫酸法^[12]。

DPPH·、·OH、·NO、超氧阴离子清除能力、总还原能力分别按照参考文献[13]方法进行。胆酸盐吸附能力、胰脂肪酶激活能力、胆固醇酯抑制能力的测定按照参考文献[14—15]的方法进行。

1.4 统计分析

数据均采用 3 次独立重复实验计算得来, 应用 SPSS 23.0 软件进行显著性及相关性分析, 显著性分析统计结果以平均值±标准偏差表示; $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义; 相关性分析用 Pearson 进行显著性检验, $P<0.05$ 表示相关性显著。

2 结果与分析

2.1 黑茶金花主要生化成分分析

由表 1 可知, 纯金花的水浸出物、游离氨基酸与可溶性糖含量均显著高于其他 3 个样品($P<0.05$), 可能是由于金花菌主要由金黄色的冠突散囊菌与冠突散囊菌闭囊壳组成, 而囊壳的主要由多糖和蛋白质构成^[16]。纯金花的黄酮和茶多酚含量则显著低于其他 3 个样品($P<0.05$), 茶多酚与黄酮类物质以黑毛茶样含量最高($P<0.05$)。发花后茶多酚、黄酮类物质和可溶性糖含量有所降低, 这是因为冠突散囊菌产生的胞外酶可使多酚类物质在多酚氧化酶的作用下发生氧化, 经微生物酶促氧化形成茶黄素(theaflavins, TFs)、茶红素(thearubigins, TRs)和茶褐素(theabrownins, TBs)^[17], 游离氨基酸含量升高可能是由于菌丝自溶或菌株产生的氨基酸初级代谢产物造成^[18]。本研究结果与以往研究中茯砖茶发花结果相符^[17], 但是本研究发花后黄酮和茶多酚含量下降比例相对较少, 可能是由于采用的 5 级黑毛茶原料较为粗老, 使得发花过程中金花对黑毛茶品质转化效果较低^[19]。

2.2 黑茶金花体外抗氧化能力分析

由图 1 可知, 黑毛茶、金花黑茶、去花茶底、纯金花样品 4 个样品对 DPPH·、·OH、·NO、超氧阴离子清除能力及总还原能力均随着茶汤浓度的增加而增强, 4 个样品(顺序同上, 下同)的 DPPH·清除能力整体表现为黑毛茶>去花茶底>金花黑茶>纯金花(图 1A), 对 DPPH·的半抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC_{50})分别为 0.007、0.010、

0.008、0.093 mg/mL, 其中, 黑毛茶样品对 DPPH·的清除效果最好, 纯金花的去除效果最差; 由图 1B 可知, 4 个样品对·OH 的 IC_{50} 分别为 3.313、4.621、2.075、16.222 mg/mL, ·OH 清除能力整体表现为去花茶底>黑毛茶>金花黑茶>纯金花, 其中纯金花样品的·OH 清除能力显著低于其他 3 个样品($P<0.05$), 去花茶底则显著高于其他 3 个样品($P<0.05$); 由图 1C 可知, 4 个样品对·NO 的 IC_{50} 分别为 0.508、0.340、0.193、0.077 mg/mL, ·NO 清除能力整体表现与 DPPH·清除结果相似, 纯金花样品的·NO 清除能力在高浓度时显著低于其他 3 个样品($P<0.05$), 但是其在质量浓度为 0~0.06 mg/mL 时的·NO 清除能力则显著高于其他 3 个样品($P<0.05$), 与之相反, 而黑毛茶样品在质量浓度为 0~0.6 mg/mL 时则显著低于其他 3 个样品($P<0.05$), 推测其原因可能是金花样品即冠突散囊菌的子囊孢子中含有的多糖物质对亚硝基具有一定的清除作用^[20-21]; 由图 1D 可知, 4 个样品的超氧阴离子清除能力整体也与 DPPH·清除结果相似, 对超氧阴离子的 IC_{50} 分别为 0.844、1.220、0.942、2.471 mg/mL, 在低浓度时, 黑毛茶、金花黑茶及去花茶底的清除能力相近, 与生化成分中多酚含量与多糖含量有关^[22-23]。根据图 1E 可以看出, 4 个样品的总还原能力整体表现仍旧以纯金花样品最弱, 显著低于其他 3 种样品($P<0.05$)。

2.3 黑茶金花降血脂活性分析

2.3.1 胆酸盐吸附能力分析

由表 2 可知, 甘氨酸酸钠的结合能力表现为: 去花茶底>金花黑茶>纯金花>黑毛茶。在相同剂量下, 去花茶底对甘氨酸酸钠的结合量是消胆胺树脂的 21.53%; 对牛磺胆酸钠的结合能力: 去花茶底>金花黑茶>黑毛茶>纯金花。去花茶底与金花黑茶对甘氨酸酸钠和牛磺胆酸钠的吸附量均显著高于黑毛茶($P<0.05$)。在相同剂量下, 去花茶底对牛磺胆酸钠的结合量是消胆胺树脂的 21.81%, 且去花茶底对两种胆酸盐的吸附量显著高于金花黑茶($P<0.05$), 说明去花茶底对胆酸盐具有较强的吸附能力。4 个样品结合胆酸盐、消胆胺树脂结合能力与茶多酚含量的相关系数分别为-0.542、-0.403, 相关性不显著。黑毛茶和纯金花的吸附率均与茶多酚含量不相关。事实上, 茶褐素具有较好的吸附胆酸盐作用^[14], 纯金花样品中不含茶褐素, 发花过程中茶褐素含量上升, 因此, 金花黑茶和去花茶底的吸附率高于黑毛茶和纯金花。

2.3.2 胰脂肪酶激活能力和胆固醇酯酶抑制能力分析

由表 3 可知, 样品对胰脂肪酶都具有一定的激活作用。样品对胰脂肪酶的激活能力: 去花茶底>金花黑茶>黑毛茶>纯金花。其中以去花茶底的胰脂肪酶激活能力最强, 达到

表 1 茶样中主要品质成分含量($n=3$)

Table 1 Content of main quality components in tea samples ($n=3$)

样品	水浸出物/%	茶多酚/%	游离氨基酸/%	黄酮/%	可溶性糖/%
黑毛茶	11.33±1.20 ^c	5.29±0.11 ^a	0.39±0.05 ^d	5.42±0.62 ^a	0.25±0.01 ^b
金花黑茶	11.67±0.88 ^b	5.01±0.21 ^c	0.48±0.02 ^b	4.24±0.48 ^c	0.17±0.01 ^c
去花茶底	9.78±0.96 ^d	5.04±0.11 ^b	0.42±0.02 ^c	4.62±0.44 ^b	0.17±0.00 ^c
纯金花	15.37±0.00 ^a	5.00±0.00 ^d	1.62±0.20 ^a	0.53±0.00 ^d	1.37±0.00 ^a

注: 同列不同的小写字母表示各组多重比较具有显著性差异($P<0.05$), 下同。

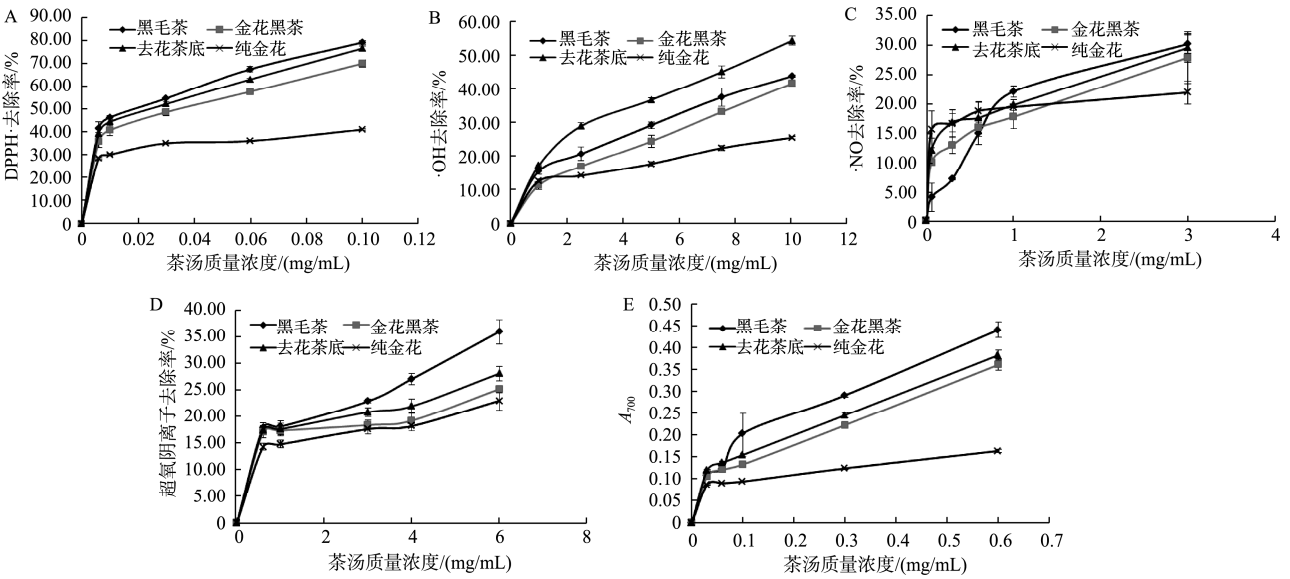


图 1 4 个茶样体外抗氧化活性比较(n=3)

Fig.1 Comparison of antioxidant activity in vitro of 4 tea samples (n=3)

表 2 样品结合胆酸盐与消胆胺树脂结合能力对照(n=3)

Table 2 Comparison of cholate binding ability between sample and cholestyramine resin (n=3)

样品	甘氨酸胆酸钠吸附量/(g/mL)	吸附率/%	牛磺胆酸钠吸附量/(g/mL)	吸附率/%
黑毛茶	0.51±0.04 ^d	12.49±0.98 ^c	0.59±0.04 ^c	13.83±0.94 ^c
金花黑茶	0.75±0.02 ^b	17.88±0.49 ^b	0.74±0.02 ^b	20.16±0.46 ^b
去花茶底	0.93±0.06 ^a	21.53±1.47 ^a	0.96±0.02 ^a	21.81±0.46 ^a
纯金花	0.56±0.01 ^c	13.77±0.25 ^c	0.54±0.04 ^d	12.82±0.94 ^c

表 3 样品对胰脂肪酶的激活率及对胆固醇酯酶的抑制率(n=3)

Table 3 Activation rates of pancreatic lipase and inhibition rates of cholesterol esterase (n=3)

样品	胰脂肪酶激活率/%	胆固醇酯酶抑制率/%
黑毛茶	29.07±1.18 ^c	1.64±0.10 ^c
金花黑茶	34.96±0.38 ^b	2.15±0.58 ^b
去花茶底	38.75±2.79 ^a	3.16±0.28 ^a
纯金花	2.15±0.14 ^d	0.87±0.31 ^d

34.96%, 4 个样品的胰脂肪酶激活能力与茶多酚含量的相关系数为 0.206, 相关性不显著。茶叶中的降血脂功能成分主要是多酚类和多糖类, 普洱茶中茶褐素能够提高肝脂肪酶等的活性^[24], 而发花过程中, 部分 TFs、TRs 转化为茶褐素, 因此金花黑茶的胰脂肪酶激活率高于黑毛茶。

样品对胆固醇酯酶的抑制能力: 去花茶底>金花黑茶>黑毛茶>纯金花, 其中以去花茶底的胆固醇酯酶抑制能力最强。胆固醇酯酶抑制能力与茶多酚含量的相关系数为 -0.104, 相关性不显著。抑制胆固醇酯酶能够减缓胆固醇酯的代谢, 纯金花样品的抑制率最低, 可见降血脂活性物质主要存在于去花茶底中。

2.4 黑茶金花各指标相关性分析

对 4 个样品水提取物的生化成分含量、抗氧化活性

及降血脂活性之间进行相关性分析, 结果见表 4。由表 4 可知, 4 个样品中茶多酚含量与超氧阴离子清除能力呈显著的正相关, 相关系数为 0.966; 游离氨基酸含量与 DPPH·、·NO 清除能力、总还原力和胰脂肪酶激活率均呈显著负相关, 相关系数分别为 -0.987、-0.977、-0.974 和 -0.962; 黄酮含量与 DPPH·、·NO 清除能力、总还原力和胰脂肪酶激活率均呈显著正相关, 其相关系数分别为 0.995、0.996、0.998 和 0.904; 可溶性糖总量与 DPPH·、·NO 清除能力、总还原力和胰脂肪酶激活率均呈显著负相关, 相关系数为 -0.963、-0.946、-0.941 和 -0.983。其他指标则均呈不相关。由此可见, 纯金花样品的抗氧化能力均最低, 因此可以解释去花茶底的抗氧化能力高于未分离金花时金花黑茶。虽然纯金花有清除自由基的能力^[20], 但金花黑茶中的抗氧化活性物质主要存在于去花茶底中而不在纯金花中。

3 讨论与结论

在黑茶加工过程中, 酯型儿茶素含量下降使其苦涩的滋味降低, 且趋于醇和, 茶多酚通过胞外酶的作用氧化聚合成 TFs、TRs 和 TBs^[25]。不同发酵程度的茶叶抗氧化活性不同^[26]。茶叶中的抗氧化物质以茶多酚为主^[27], 茶多酚具有较强的 Fe²⁺、Ca²⁺络合能力^[28], 可将电子传递

表 4 生化成分、抗氧化活性与降血脂活性参数的相关性分析
Table 4 Correlation analysis of biochemical components, antioxidant activity and antilipidemia activity parameters

项目	茶多酚	游离氨基酸	黄酮	可溶性糖	DPPH·	·OH	·NO	超氧阴离子	总还原力	甘氨酸钠 吸附量	牛磺胆酸钠 吸附量	胰脂肪 酶激活率
游离氨基酸	-0.457											
黄酮	0.602	-0.985**										
可溶性糖	-0.352	0.993**	-0.958*									
DPPH·	0.559	-0.987**	0.995**	-0.963*								
·OH	0.254	-0.894	0.858	-0.894	0.905*							
·NO	0.609	-0.977*	0.996**	-0.946*	0.998**	0.887						
超氧阴离子	0.966*	-0.635	0.757	-0.539	0.733	0.494	0.774					
总还原力	0.646	-0.974*	0.998**	-0.941*	0.991**	0.838	0.995**	0.792				
甘氨酸钠	-0.542	-0.404	0.266	-0.481	0.344	0.674	0.292	-0.305	0.216			
牛磺胆酸钠	-0.403	-0.613	0.476	-0.690	0.532	0.758	0.479	-0.168	0.427	0.952*		
胰脂肪酶	0.206	-0.962*	0.904*	-0.983**	0.926*	0.937*	0.900*	0.422	0.879	0.634	0.805	
胆固醇酯酶	-0.104	-0.746	0.657	-0.784	0.722	0.936*	0.686	0.156	0.621	0.891	0.923*	0.882

注:*,**分别表示在 0.05 和 0.01 水平下相关性显著。

给·OH 从而达到清除·OH 的目的,同时也可以清除其他自由基来起到抗氧化作用^[29]。茶多酚也具有降低氧化应激的生物活性^[30],同时刘晓慧等^[31]研究表明,茶多酚也可与维生素 C 和维生素 E 等共同作用提升抗氧化能力。另一方面, TBs 也具有较强的抗氧化活性,这得益于儿茶素的酚羟基的供氢能力^[32]。这对本研究中 4 个样品的抗氧化能力也有一定贡献。在降血脂研究层面,胰脂肪酶能够催化甘油三酯的水解和合成^[33],通过抑制胰脂肪酶的活性,降低脂肪吸收。胆固醇酯酶可以催化胆固醇酯的形成和水解,抑制胆固醇酯酶可以使胆固醇酯的代谢速度降低。物质与胆酸盐结合导致胆酸盐含量降低,肝脏会加速降解胆固醇补充胆酸盐,以维持胆汁酸的平衡^[34]。茶叶中的降血脂功能成分主要是为多酚类、多糖和黄酮类,赵金山等^[35]已经通过临床研究证明了茶多酚复方胶囊具有降血脂作用。本研究中 4 个样品也均具有一定的降血脂能力,且黑毛茶茶多酚含量最高,体外抗氧化能力和降脂活性作用均优于其他 3 个样品。纯金花的抗氧化能力和降脂活性均最低,虽然其茶多酚含量也低于其他 3 个样品,但纯金花样品的茶多酚含量与其体外抗氧化及降血脂生物活性差距过大,4 个样品的茶多酚含量也与这两类生物活性相关性不显著,这可能是由于纯金花的降血脂活性并不能通过此本研究所采用的体外实验所证实。这也进一步说明了体外降脂活性物质并非存在于金花中。

本研究的抗氧化和降脂活性的考查均只进行了体外实验,其他有关酶的活性测定还需要进一步研究,有关抗氧化及降血脂的研究还需要进一步进行细胞实验和动物实验,金花菌虽然具有抗氧化及降脂功效,但目前主要是通过其作用于茶叶品质的转化而对茶叶生物活性产生影响,对于纯金花本身和茶叶的生物活性比较还未见报道,并且金花菌在其他保健功能实验中或许会有更好的实验效果,这都有待后续深入研究。综上,黑毛茶的体外抗氧化活性显著高于其他 3 个样品,而降血脂能力则以去花茶底最高,说明发花产物中的体外抗氧化及降血脂活性物质主要集中在花茶底中。

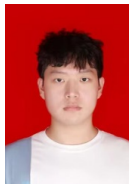
参考文献

- [1] 蒋萍萍,伍琳琳,王铁龙,等. 黑茶的研究进展[J]. 农产品加工, 2020, (5): 73–78.
JIANG PP, WU LL, WANG TL, *et al.* Research progress of black tea [J]. Farm Prod Process, 2020, (5): 73–78.
- [2] 徐正刚,吴良,刘石泉,等. 黑茶发酵过程中微生物多样性研究进展[J]. 生物学杂志, 2019, 36(3): 92–95.
XU ZG, WU L, LIU SQ, *et al.* Review for development of microbial diversity during dark tea fermentation period [J]. J Biol, 2019, 36(3): 92–95.
- [3] 姜良珍,王罗,杨涛,等. 冠突散囊菌及其发酵应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 454–462.
JIANG LZ, WANG L, YANG T, *et al.* Research progress on *Eurotium cristatum* and its fermentation application [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(4): 454–462.
- [4] 张传博,刘作易. 冠突散囊菌对茶叶成分的转化作用及机理研究初报[C]. 中国菌物学会第七届全国会员代表大会暨 2017 年学术年会, 2017.
ZHANG CB, LIU ZY. Preliminary report on the transformation effect and mechanism of tea components by *Rhizoctonia coronata* [C]. The 7th National Member Congress of Chinese Fungal Society and the 2017 Academic Annual Conference, 2017.
- [5] 肖晗汕,李滔滔,汤涵,等. 冠突散囊菌繁殖体提取物抑菌活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 65–69.
XIAO HS, LI TT, TANG H, *et al.* Antibacterial activity of propagule extracts of *Eurotium cristatum* [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(14): 65–69.
- [6] 刘润琦. 茶化学在降脂减肥中的应用[J]. 当代化工研究, 2018, (1): 54–55.
LIU RQ. Application of tea chemistry in lipid-lowering weight loss [J]. Mod Chem Res, 2018, (1): 54–55.
- [7] 何英姿,王晓,梁传顺,等. 野生黑茶抗氧化活性研究[J]. 科技风, 2020, (33): 157–159.
HE YZ, WANG X, LIANG CS, *et al.* Study on the antioxidant activity of wild dark tea [J]. Technol Wind, 2020, (33): 157–159.
- [8] YAO D, WEIRONG Y, CHENGCHENG Y, *et al.* A comprehensive review on microbiome, aromas and flavors, chemical composition, nutrition and future prospects of Fuzhuan brick tea [J]. Trends Food Sci Technol, 2022, 119: 452–466.
- [9] 韩卓潇,黄亚亚,梁艳,等. 茯砖茶降脂功能及主要降脂活性物质研究进展[J]. 广东茶业, 2017, (4): 6–11.
HAN ZX, HUANG YY, LIANG Y, *et al.* Research progress on the lipid-lowering function of fu brick tea and its main lipid-lowering active substances [J]. Guangdong Tea Ind, 2017, (4): 6–11.
- [10] 孟雁南. 陕西茯砖茶优势菌群及其功能性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019.
MENG YN. Study on the dominant flora and functional characteristics of Fu brick tea in Shaanxi Province [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2019.
- [11] 陈琳琳,邱树毅,罗小叶,等. 夏秋茶发花工艺及发花过程中主要物质成分变化[J]. 食品工业, 2017, 38(9): 71–75.
CHEN LL, QIU SY, LUO XY, *et al.* The fungus grow processing of summer-autumn tea and the changes of main components during the fungus growing [J]. Food Ind, 2017, 38(9): 71–75.
- [12] 马琴国,王引权,赵勇. 蒽酮—硫酸比色法测定党参中可溶性糖含量的研究[J]. 甘肃中医学院学报, 2009, 26(6): 46–48.
MA QG, WANG YQ, ZHAO Y. Study on the determination of soluble sugar in *Codonopsis pilosula* by anthrone-sulfuric acid colorimetric method [J]. J Gansu Univ Chin Med, 2009, 26(6): 46–48.
- [13] 林玲,龚志华,袁冬寅,等. 相同加工原料下的 6 类茶体外抗氧化性能比较[J]. 中国农学通报, 2018, 34(2): 107–112.
LIN L, GONG ZH, YUAN DY, *et al.* Comparison of antioxidative activity *in vitro* among six kinds of tea made from the same raw material [J]. Chin Agric Sci Bull, 2018, 34(2): 107–112.
- [14] 龚受基,滕翠琴,梁东姨,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.
GONG SJ, TENG CQ, LIANG DY, *et al.* *In vitro* study on hypolipidemic effects of theabrownins in Liupao tea [J]. J Tea Sci, 2020, 40(4): 536–543.
- [15] 刘石泉,雷存喜,赵运林. 黑茶中微生物群落结构和多样性研究方法

- 思考[J]. 茶叶科学技术, 2010, (1): 9-11, 38.
- LIU SQ, LEI CX, ZHAO YL. Study on microbial community structure and diversity in dark tea [J]. Acta Tea Sin, 2010, (1): 9-11, 38.
- [16] 黄彦, 石瑞, 苏二正. 冠突散囊菌的研究与应用进展[J]. 生物加工过程, 2017, 15(1): 49-56.
- HUANG Y, SHI R, SU ERZ. Advances in research and application of *Sarcocystis coronate* [J]. Chin J Bioproc Eng, 2017, 15(1): 49-56.
- [17] 刘玉倩, 杨家干. 茯砖茶发花过程菌落及主要内含物质变化[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2017, (5): 30-33.
- LIU YQ, YANG JG. The changes of colonies and main contents of fu brick tea during the blooming process [J]. News Sericult Tea, 2017, (5): 30-33.
- [18] 黄婧. “金花”菌的分离鉴定及其对茶叶成分的生物转化[D]. 福建: 福建师范大学, 2013.
- HUANG J. Isolation, identification and biotransformation of tea components by “golden flower” [D]. Fujian: Fujian Normal University, 2013.
- [19] 贾洪信, 刘素纯, 黄建安, 等. 影响散茶发花主要因素探讨[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(14): 7541-7543.
- JIA HX, LIU SC, HUANG JAN, et al. Study on main factors affecting fungus growing of loose tea [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(14): 7541-7543.
- [20] 胡治远, 刘素纯, 刘石泉. 冠突散囊菌子囊孢子粗多糖抗氧化活性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(9): 102-109.
- HU ZY, LIU SC, LIU SQ. Comparative analysis of antioxidant activity of crude polysaccharides from *Eurotium cristatum* ascospores [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(9): 102-109.
- [21] 吕乐, 布热米古丽·买买提, 艾尔肯·依不拉音. 新疆吐鲁番、喀什葡萄树伤流液多糖分离纯化及其抗氧化活性比较研究[J]. 西北药学杂志, 2016, 31(2): 124-130.
- LV L, BUREMIGULI·MMT, AIERKEN·YBLY. Study on the antioxidant activity of polysaccharides from Xinjiang grapevine bleeding sap of turpan and kashgar [J]. Northwest Pharm J, 2016, 31(2): 124-130.
- [22] 张媛婷, 夏艺菲, 何晓琦, 等. 绿茶和白茶中茶多酚提取工艺优化及抗氧化活性比较[J]. 茶叶通讯, 2021, 48(3): 507-513.
- ZHANG YT, XIA YF, HE XQ, et al. Optimization of extraction process of tea polyphenols from green tea and white tea and comparison of antioxidant activity [J]. J Tea Commun, 2021, 48(3): 507-513.
- [23] 余志, 石玉涛. 茶多糖研究的新进展[J]. 广东茶业, 2008, (6): 25-29.
- YU Z, SHI YT. Recent advances in tea polysaccharide research [J]. Guangdong Tea Ind, 2008, (6): 25-29.
- [24] 易娟, 刘森. 普洱茶抗肥胖作用及其相关机制研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 227-230, 236.
- YI J, LIU M. New progress on anti-obesity effect and mechanism of Pu'er tea [J]. Food Mach, 2020, 36(5): 227-230, 236.
- [25] 禹超, 叶素丹, 邹新武, 等. 不同黑茶理化成分研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 78-81.
- YU C, YE SD, ZOU XW, et al. Study on physicochemical constituents of different dark tea [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(5): 78-81.
- [26] ZHANG L, WANG D, CHEN W, et al. Impact of fermentation degree on the antioxidant activity of Pu-erh tea *in vitro* [J]. J Food Biochem, 2012, 36(3): 262-267.
- [27] BANDYOPADHYAY P, GHOSH AK, GHOSH C. Recent developments on polyphenol-protein interactions: Effects on tea and coffee taste, antioxidant properties and the digestive system [J]. Food Funct, 2012, 3(6): 592-605.
- [28] WENWEI H, CEN Z, RUI W, et al. Glutaminase 2, a novel p53 target gene regulating energy metabolism and antioxidant function [J]. Biol Sci, 2010, 107(16): 7455-7460.
- [29] 王媛, 殷红, 陈小波, 等. 茶多酚抗氧化作用的研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1232-1235.
- WANG Y, YIN H, CHEN XB, et al. Studies of anti-oxidation activity of tea polyphenols [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, 41(3): 1232-1235.
- [30] RU Q, XIONG Q, TIAN X, et al. Tea polyphenols attenuate methamphetamine-induced neuronal damage in PC12 cells by alleviating oxidative stress and promoting DNA repair [J]. Front Physiol, 2019, 10: 1450.
- [31] 刘晓慧, 孟庆, 李伟, 等. 茶多酚类化合物与维生素协同抗氧化机理研究进展[J]. 热带作物学报, 2012, 33(12): 2305-2310.
- LIU XH, MENG Q, LI W, et al. Research progress on synergistic antioxidant mechanism of tea polyphenols and vitamins [J]. Chin J Trop Crop, 2012, 33(12): 2305-2310.
- [32] 周佳敏, 何靖柳, 郝薇, 等. 形成黑茶滋味成分的研究现状及展望[J]. 广东蚕业, 2021, 55(5): 29-31.
- ZHOU JM, HE JL, HAO W, et al. Present situation and prospect of the research on the composition of dark tea flavor [J]. Guangdong Sericult, 2021, 55(5): 29-31.
- [33] CARDENAS F, ALVAREZ E, CASTRO-ALVAREZ MSD, et al. Screening and catalytic activity in organic synthesis of novel fungal and yeast lipases [J]. J Mol Catal B, 2001, 14(4-6): 111-123.
- [34] 叶丹红. 降血脂保健品的作用机理研究及分析[J]. 食品安全导刊, 2020, (21): 39-40.
- YE DH. Study and analysis of action mechanism of health care products for lowering blood lipids [J]. Chin Food Saf Magaz, 2020, (21): 39-40.
- [35] 赵金山, 延岩. 茶多酚复方胶囊降血脂作用的临床研究[J]. 预防医学论坛, 2010, 16(12): 1095-1096.
- ZHAO JS, YAN Y. Clinical study on antilipidemia effect of tea polyphenol compound capsule [J]. Prev Med Trib, 2010, 16(12): 1095-1096.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

作者简介



党旭辉, 主要研究方向为茶叶加工。
E-mail: 2250961428@qq.com



肖文军, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与品质化学。
E-mail: xiaowenjun88@sina.com