

# 巫山茶多酚提取物体外抗氧化活性研究

喻铭佳<sup>1</sup>, 索化夷<sup>2\*</sup>

(1. 广东产品质量监督检验研究院, 佛山 528300; 2. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** **目的** 初步评价巫山茶多酚提取物的体外抗氧化活性。**方法** 采用70%乙醇提取巫山茶得到巫山茶粗提物, 再依次使用不同极性溶剂萃取巫山茶粗提物, 得到石油醚相、乙酸乙酯相、正丁醇相和水相4个萃取相, 分别测定各萃取相的总酚含量和体外抗氧化活性, 选取总酚含量最高且体外抗氧化活性最强的萃取相通过HP-20大孔树脂进行富集, 测定富集后的巫山茶多酚提取物总酚含量和体外抗氧化活性。**结果** 乙酸乙酯相的总酚含量最高(378.1 mg/g); 体外抗氧化活性最强, DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH的IC<sub>50</sub>值分别为0.63、0.46、2.35 mg/mL; 将乙酸乙酯相通过HP-20大孔树脂富集后得到的巫山茶多酚提取物总酚含量为637.5 mg/g, 总酚含量显著提高( $P<0.05$ ), DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH的IC<sub>50</sub>值分别为0.26、0.16、1.05 mg/mL, 体外抗氧化活性显著增强( $P<0.05$ )。相关性分析结果显示, 巫山茶粗提物及各萃取相、富集后的总酚含量与其体外抗氧化活性呈正相关。**结论** 巫山茶多酚提取物具有较好的体外抗氧化活性。

**关键词:** 巫山茶; 多酚提取物; 萃取相; 大孔树脂; 体外抗氧化活性

## Study on the *in vitro* antioxidant activity of the Wushan tea polyphenol extract

YU Ming-Jia<sup>1</sup>, SUO Hua-Yi<sup>2\*</sup>

(1. Guangdong Testing Institute of Product Quality Supervision, Foshan 528300, China;  
2. College of Food Science in Southwest University, Chongqing 400715, China)

**ABSTRACT: Objective** To preliminarily evaluate the *in vitro* antioxidant activity of Wushan tea polyphenol extract. **Methods** The crude extract of Wushan tea was extracted with 70% ethanol, then the crude extract of Wushan tea was extracted with different polar solvents successively, and 4 kinds of extraction phases were obtained: Petroleum ether phase, ethyl acetate phase, *n*-butanol phase and water phase. The total phenol content and the *in vitro* antioxidant activity of each extract phase were determined, the extract phase with the highest total phenol content and the strongest *in vitro* antioxidant activity was enriched by HP-20 macroporous resin, and the total phenol content and the *in vitro* antioxidant activity of the enriched Wushan tea polyphenol extract were determined. **Results** The total phenol content of ethyl acetate phase was the highest (378.1 mg/g) and the ethyl acetate phase had the strongest *in vitro* antioxidant activity, the IC<sub>50</sub> values of DPPH·, ABTS<sup>+</sup>· and ·OH were 0.63, 0.46 and 2.35 mg/mL respectively. After enriched by HP-20 macroporous resin, the total phenol content in the ethyl acetate phase was 637.5 mg/g, which was significantly increased ( $P<0.05$ ). The IC<sub>50</sub> values of DPPH·, ABTS<sup>+</sup>· and ·OH were 0.26, 0.16 and 1.05 mg/mL respectively, showed that the *in vitro* antioxidant activity was significantly enhanced ( $P<0.05$ ). The correlation analysis result showed that the total phenol content of the crude extract of Wushan tea and its extract

\*通信作者: 索化夷, 博士, 教授, 主要研究方向为功能性食品。E-mail: birget@swu.edu.cn

\*Corresponding author: SUO Hua-Yi, Ph.D, Professor, College of Food Science in Southwest University, Chongqing 400715, China. E-mail: birget@swu.edu.cn

phases, and the enriched Wushan tea polyphenol extract were positively correlated with their *in vitro* antioxidant activity. **Conclusion** The Wushan tea polyphenol extract have good *in vitro* antioxidant activity.

**KEY WORDS:** Wushan tea; polyphenol extract; extract phase; macroporous resin; *in vitro* antioxidant activity

## 0 引言

我国湖北海棠叶资源丰富<sup>[1]</sup>。巫山茶是由长江三峡流域一带湖北海棠的嫩叶在适宜温度、湿度下干燥,经自身发酵及一系列复杂化学变化制作而成的植物代用茶<sup>[2]</sup>。在当地,巫山茶被誉为“长寿茶”,其风味独特,常饮能养肝护胃、解毒消炎、润肺止咳,具有很大的保健功能开发前景<sup>[3-4]</sup>。目前国内外针对湖北海棠叶的研究主要集中在功效方面,已有研究表明湖北海棠叶具有降血糖<sup>[5-6]</sup>、改善肝损伤<sup>[7]</sup>、调节机体脂代谢<sup>[8]</sup>和减轻炎症<sup>[9]</sup>等多种生物活性,但对成品巫山茶提取物抗氧化功能的系统研究还鲜有报道。氧化应激是引起机体产生疾病的原因之一<sup>[10]</sup>。人体产生的过量自由基会攻击人体细胞,破坏细胞的构象和功能,继而引发疾病,具有抗氧化活性的物质可以有效降低心脑血管疾病、肝脏疾病、癌症等的发生概率,并可以有效延缓衰老<sup>[11-12]</sup>。刘敏卓等<sup>[13]</sup>、刘天庆等<sup>[14]</sup>和 LIU 等<sup>[15]</sup>在湖北海棠叶中检测出多种多酚类化合物,包括根皮苷、槲皮素、没食子酸、绿原酸、芦丁。因此,提取巫山茶中多酚并探讨其抗氧化活性,将有助于解释巫山茶的抗氧化功能作用机制。

本研究以巫山茶为原材料,采用乙醇溶液(70%, V:V)浸提得到巫山茶粗提物,依次采用不同极性强度的有机溶剂(石油醚、乙酸乙酯、正丁醇)进行梯度萃取,选取总酚含量高且抗氧化活性强的萃取相通过 HP-20 大孔树脂富集,以维生素 C (vitamin C, VC)为阳性对照,使用 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 体系对富集后的巫山茶多酚进行抗氧化活性评价,为巫山茶的功能研究提供参考数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

巫山茶(重庆市巫山县峡江茶叶加工厂)。

1,1-二苯基-2,2-三硝基苯肼(2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH)(分析纯,美国 sigma 公司); 2,2'-氨基-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS, 生化试剂]、没食子酸标准品(纯度≥98%)(北京索莱宝科技有限公司); 无水乙醇、石油醚、乙酸乙酯、正丁醇(分析纯,成都市科龙化工试剂厂); 维生素 C、硫酸亚铁、水杨酸、过氧化氢(分析纯,国药集团化学试剂公司)。

### 1.2 仪器与设备

RE52CS-1 真空旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂);

LGJ-10 冷冻干燥机(北京松源华兴科技发展有限公司); iCEN-24R 离心机(杭州奥盛仪器有限公司); VARIOSKAN LUX 多功能酶标仪(赛默飞世尔仪器有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 巫山茶多酚的提取富集

参考邱高翔和李富华等<sup>[16-17]</sup>的方法,将巫山茶样品于 40 °C 热风干燥、粉碎,按液料比 35:1 (V:m)加入 70%乙醇,60 °C 水浴 3 h,过滤,取滤液真空浓缩,于-80 °C、10 Pa 条件下冷冻干燥,得多酚粗提物。将粗提物用蒸馏水按 1:20 (V:m)分散,依次用等体积石油醚、乙酸乙酯、正丁醇萃取 3 次,收集各相萃取液旋转蒸发除去溶剂,冷冻干燥得到多酚粗提物的不同萃取相。

取抗氧化活性最强的萃取相装入 HP-20 大孔树脂柱(内径为 2.4 cm,柱高为 65 cm),用蒸馏水洗脱,直至洗脱液为无色时,换用 20%乙醇液洗脱,直至洗脱液为无色时,依次用 500 mL 的 40%和 60%乙醇液洗脱。收集 40%和 60%的乙醇洗脱液旋转蒸发除去溶剂,冷冻干燥后备用。

#### 1.3.2 总酚含量的测定

以没食子酸为标准品,配制没食子酸标准溶液 10、20、30、40、50、60、70、80、90 μg/mL,参照 GB/T 8313—2018 《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》测定总酚含量。利用没食子酸标准曲线方程计算出多酚提取物中总多酚的质量浓度,结果以每克多酚提取物中所含的没食子酸当量(mg/g)表示。

#### 1.3.3 体外抗氧化活性的测定

##### (1) DPPH·清除率的测定

参考 HUA 等<sup>[18]</sup>的方法并稍作修改。按照表 1 加入不同浓度的样品和试剂,避光反应 30 min,于 517 nm 波长下测定吸光度值,按公式(1)计算 DPPH·清除率。每个样品平行测定 3 次,以样品浓度为自变量,自由基清除率为因变量作图并进行线性拟合,计算 IC<sub>50</sub> 值<sup>[19]</sup>。

$$\text{DPPH}\cdot\text{清除率}(\%) = A_3 - (A_1 - A_2) / A_3 \times 100 \quad (1)$$

式中: A<sub>1</sub> 为加入 DPPH 溶液和样品溶液测得的吸光度; A<sub>2</sub> 为加入无水乙醇和样品溶液测得的吸光度。A<sub>3</sub> 为加入 DPPH 溶液和 70%乙醇溶液测得的吸光度。

##### (2) ABTS<sup>+</sup>·清除率的测定

参考黄雨洋<sup>[20]</sup>的方法并稍作修改。按照表 2 加入不同浓度的样品和试剂,混匀后室温下避光反应 6 min,于 734 nm 波长下测定吸光度值,按公式(2)计算 ABTS<sup>+</sup>·清除率。每个样品平行测定 3 次,并计算 IC<sub>50</sub> 值。

表1 DPPH·测定方法  
Table 1 Measurement method of DPPH free radical

编号	样品反应体系
A <sub>1</sub>	1.56 mL DPPH 溶液+200 μL 样液
A <sub>2</sub>	1.56 mL 无水乙醇+200 μL 样液
A <sub>3</sub>	1.56 mL DPPH 溶液+200 μL 70%乙醇溶液

表2 ABTS<sup>+</sup>·测定方法  
Table 2 Measurement method of ABTS free radical

编号	样品反应体系
A <sub>i</sub>	1.25 mL ABTS 反应溶液+50 μL 样液
A <sub>j</sub>	1.25 mL 无水乙醇+50 μL 样液
A <sub>0</sub>	1.25 mL ABTS 反应溶液+50 μL 70%乙醇溶液

$$\text{ABTS}^+\cdot\text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

式中: A<sub>0</sub>为加入样品溶液和 ABTS 反应溶液测得的吸光度; A<sub>i</sub>为加入无水乙醇和样品溶液测得的吸光度; A<sub>j</sub>为加入 ABTS 反应溶液和 70%乙醇溶液测得的吸光度。

### (3)·OH 清除率的测定

参考 MAO 等<sup>[21]</sup>的方法并稍作修改。按照表 3 加入不同浓度的样品和试剂, 混匀, 置于 37 °C 水浴锅中加热 30 min 后, 于 510 nm 波长下测定吸光值, 按公式(3)计算·OH 清除率。每个样品平行测定 3 次, 并计算 IC<sub>50</sub> 值。

表3 ·OH 的测定方法  
Table 3 Measurement method of OH free radical

编号	样品反应体系
A <sub>z</sub>	300 μL 70%乙醇+2.0 mL FeSO <sub>4</sub> +1.0 mL 水杨酸乙醇溶液+1.0 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
A <sub>x</sub>	300 μL 样液+2.0 mL FeSO <sub>4</sub> +1.0 mL 水杨酸乙醇溶液+1.0 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
A <sub>s</sub>	300 μL 样液+2.0 mL FeSO <sub>4</sub> +1.0 mL 水杨酸乙醇溶液+1.0 mL 70%乙醇

$$\cdot\text{OH 清除率}(\%) = \frac{A_z - (A_x - A_s)}{A_z} \times 100 \quad (3)$$

式中: A<sub>z</sub>为加入 70%乙醇和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 测得的吸光度; A<sub>x</sub>为加入样品溶液和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 反应测得的吸光度; A<sub>s</sub>为加入样品溶液与 70%乙醇溶液测得的吸光度。

### 1.3.4 数据处理

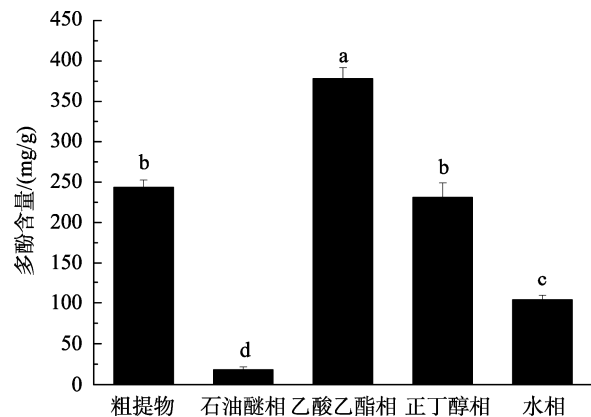
每组实验重复测定 3 次, 结果用  $\bar{x} \pm s$  表示。采用 SPSS 20.0 软件进行数据分析, Pearson 法进行相关性分析, 单因素方差分析法进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 总酚含量测定标准曲线

以质量浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标绘制标准曲

线, 得标准曲线方程为  $Y=0.002X+0.007$ , 相关系数  $r=0.9955$ , 表明在 0~90 μg/mL 范围内线性关系良好。根据标准曲线计算得出巫山茶粗提物及各萃取相的总酚含量。溶剂萃取法是一种分级纯化方法, 根据溶剂与提取物极性相似相溶的原理, 将目标物从植物组织中萃取出来<sup>[22]</sup>。由图 1 可知, 巫山茶粗提物多酚(243.8 mg/g)经不同萃取溶剂萃取后, 非极性溶剂石油醚相的总酚含量最低(18.1 mg/g), 中等极性溶剂乙酸乙酯相中多酚(378.1 mg/g)显著高于正丁醇相(231.3 mg/g)和水相(103.8 mg/g) ( $P<0.05$ ), 说明巫山茶多酚以中等极性为主。



注: a~d: 不同字母表示差异显著,  $P<0.05$ 。

图1 各萃取相总酚含量

Fig.1 Polyphenol content of each extraction site

### 2.2 各萃取相的体外抗氧化活性

DPPH·是一种带有单个电子的稳定的有机自由基, 其乙醇溶液呈紫色, 在 517 nm 处有最大吸收峰。当有自由基清除剂存在时, DPPH·的单电子被配对从而使其吸收减少, 可通过这一变化检测物质的抗氧化能力<sup>[23]</sup>。ABTS<sup>+</sup>·是一种被氧化成绿色的自由基, 当抗氧化物存在时, ABTS<sup>+</sup>·与之反应, 使其蓝绿色褪去, 褪色越明显, 表明该物质的抗氧化能力越强<sup>[24]</sup>。·OH 是已知的最活泼、毒性最强的活性氧自由基, 可通过与人体多种分子作用造成核酸、脂类、蛋白质等大分子的氧化性损伤, 是机体产生某些疾病和衰老症状的主要因素<sup>[25]</sup>。由图 2 可知, 石油醚相对 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 几乎无清除能力, 巫山茶粗提物、乙酸乙酯相、正丁醇相、水相对 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 的清除率均随浓度的升高而逐渐增大。巫山茶乙酸乙酯相各浓度对 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 的清除率均高于同浓度下粗提物及其他萃取相。IC<sub>50</sub> 值越小表明抗氧化能力越强, 各萃取相对 DPPH·的 IC<sub>50</sub> 值大小依次为乙酸乙酯相(0.63 mg/mL) < 巫山茶粗提物(0.93 mg/mL) < 正丁醇相(1.03 mg/mL) < 水相(1.78 mg/mL); 对 ABTS<sup>+</sup>的 IC<sub>50</sub> 值大小依次为乙酸乙酯相(0.46 mg/mL) < 巫山茶粗提物(0.89 mg/mL) < 正丁醇相(0.96 mg/mL) < 水相(1.67 mg/mL); 对·OH 的 IC<sub>50</sub> 值大小依次为乙酸乙酯相(2.35 mg/mL) < 巫山

茶粗提物(4.27 mg/mL) < 正丁醇相(6.70 mg/mL) < 水相(8.29 mg/mL)。综上, 巫山茶提取物清除 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 的活性成分主要集中在乙酸乙酯相。

实验结果表明, 巫山茶提取物乙酸乙酯相总酚含量均高于其他萃取相, 且体外抗氧化活性也强于其他萃取相, 是巫山茶提取物的主要活性部位。基于总酚含量和抗氧化活性实验筛选结果, 实验选择乙酸乙酯相进行 HP-20 大孔树脂富集。

### 2.3 富集后巫山茶多酚提取物总酚含量

大孔树脂是一种高分子吸附材料, 可从植物提取物中高效、快速的富集分离活性小分子化合物, 近年来已在多酚类成分的提取分离中得到广泛应用<sup>[26-27]</sup>。将乙酸乙酯相通过 HP-20 大孔树脂后, 总酚含量由 378.1 mg/g 显著提高至 637.5 mg/g ( $P < 0.05$ ), 表明 HP-20 大孔树脂有效富集了巫山茶乙酸乙酯相的多酚类物质。

### 2.4 富集后巫山茶多酚提取物的抗氧化活性

由图 3 可知, 富集后的巫山茶多酚提取物对 DPPH·、

ABTS<sup>+</sup>·、·OH 的清除能力随着浓度增大而增强。当质量浓度为 1 mg/mL 时, 巫山茶多酚提取物对 DPPH·清除率为 93.53%, 与 VC 活性(97.18%)接近, 此后二者活性均呈浓度饱和型特征(图 3a)。当质量浓度为 1.2 mg/mL 时, 巫山茶多酚提取物 ABTS<sup>+</sup>清除率达到 96.73%, 与 VC 活性接近(99.35%) (图 3b)。当质量浓度为 2.4 mg/mL 时, 巫山茶多酚提取物·OH 清除率达到 66.94%, 虽弱于 VC 活性, 但也具有较好的·OH 清除能力(图 3c)。富集后的巫山茶多酚提取物对 DPPH·的 IC<sub>50</sub> 值大小依次为巫山茶多酚提取物(0.26 mg/mL) < 乙酸乙酯相(0.63 mg/mL); 对 ABTS<sup>+</sup>·的 IC<sub>50</sub> 值大小依次为巫山茶多酚提取物(0.16 mg/mL) < 乙酸乙酯相(0.46 mg/mL); 对·OH 的 IC<sub>50</sub> 值大小依次为巫山茶多酚提取物(1.05 mg/mL) < 乙酸乙酯相(2.35 mg/mL), 富集后的巫山茶多酚提取物对 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 的 IC<sub>50</sub> 值显著低于乙酸乙酯相的 IC<sub>50</sub> 值( $P < 0.05$ )。综上可知, 巫山茶多酚经 HP-20 大孔树脂富集后对 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 清除能力显著提高。

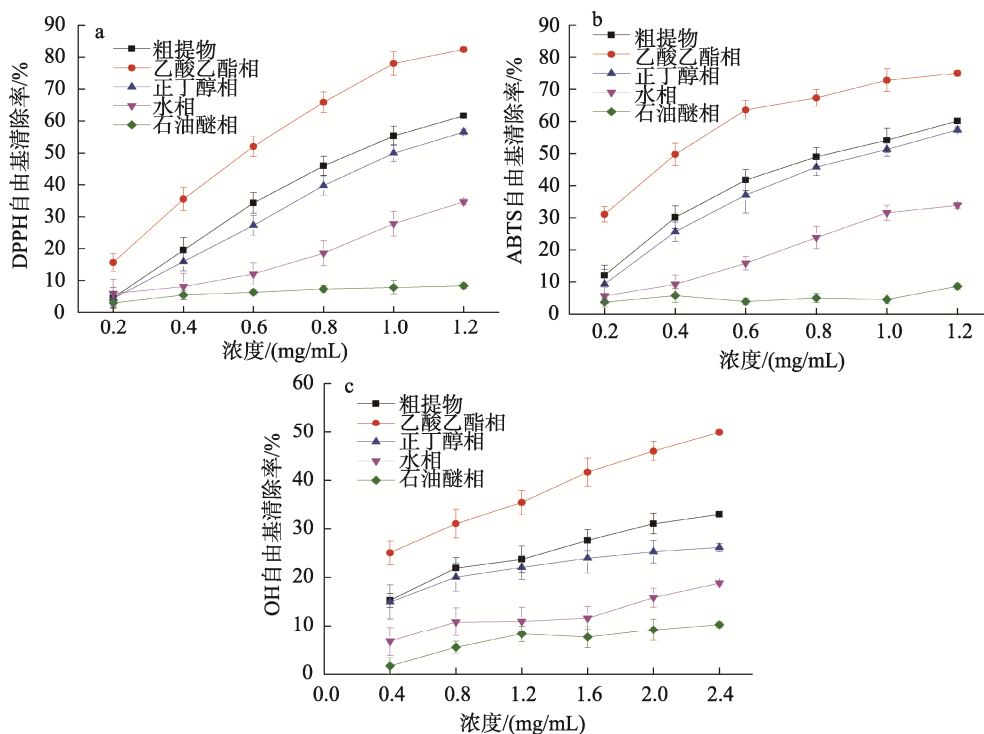


图 2 粗提物与各萃取相的自由基清除率( $n=3$ )

Fig.2 Free radical clearance rate of crude extract and each extraction site ( $n=3$ )

### 2.5 总酚含量与抗氧化活性的相关性分析

从表 4 可以看出, DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 清除能力间呈极显著的相关性( $P < 0.01$ ), 说明这 3 种评价方法能基本一致地反映巫山茶多酚的抗氧化活性。巫山茶粗提物及各萃取相、富集后的总酚含量与 DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·、·OH 清

除能力之间存在极显著的正相关性( $P < 0.01$ ), 相关系数  $r$  分别为 0.963、0.962、0.987。由此表明, 多酚类物质在巫山茶的抗氧化活性中起到了重要作用。有研究表明厚朴叶提取物不同极性部分、不同品种桑葚叶的总酚含量与其抗氧化能力均呈正相关<sup>[28-29]</sup>, 与本研究的结果相一致。

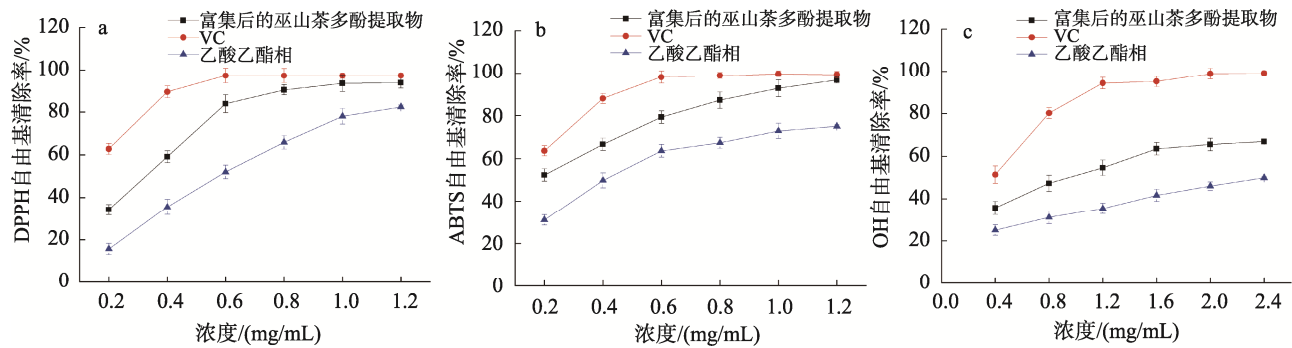
图 3 富集后巫山茶多酚提取物的自由基清除率( $n=3$ )Fig.3 Free radical clearance rate of Wushan tea polyphenol extract ( $n=3$ )

表 4 巫山茶总酚含量与抗氧化活性的相关性

Table 4 Correlations between total phenol contents and *in vitro* antioxidant activity of Wushan tea polyphenol extract

指标	总酚含量	DPPH·清除能力	ABTS+·清除能力	·OH 清除能力
总酚含量	1.000	0.963**	0.962**	0.987**
DPPH·清除能力		1.000	0.995**	0.974**
ABTS+·清除能力			1.000	0.963**
·OH 清除能力				1.000

注: \*显著相关( $P < 0.05$ ); \*\*极显著相关( $P < 0.01$ )。

### 3 结论与讨论

本研究团队前期对巫山茶提取物抗氧化活性进行研究<sup>[30]</sup>发现, 巫山茶提取物具有较好的抗氧化活性, 在此基础上, 本研究通过萃取和 HP-20 大孔树脂富集得到巫山茶多酚提取物, 通过总酚含量和抗氧化活性的相关性分析, 发现巫山茶总酚含量与 DPPH·、ABTS+·、·OH 清除能力呈显著正相关( $P < 0.01$ ), 多酚类物质是巫山茶中的重要抗氧化活性成分, 使巫山茶在改善氧化应激方面的研究方向更为明确。综上分析表明, 巫山茶多酚提取物具有较好的体外抗氧化活性, 可作为目标活性物质进行多酚成分分析及体内抗氧化活性研究, 为巫山茶的后续功能性开发、改善由氧化应激引起的相关疾病研究提供一定的基础数据。

#### 参考文献

- 陈雅林, 谭哲谔, 彭勇. 湖北海棠叶的应用历史与研究现状[J]. 中国现代中药, 2017, 19(10): 1505-1510.  
CHEN YL, TAN ZX, PENG Y. Traditional uses and modern research of leaves of *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd [J]. Mod Chin Med, 2017, 19(10): 1505-1510.
- LI C, LIU CM, ZHANG J, et al. Evaluation of *in vitro* bio-activities effects of WST (Wushanshencha) [J]. Appl Sci-Basel, 2019, 9(7): 1325.
- 江苏省植物研究所. 新华本草纲要: 第三册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.  
Institute of botany Jiangsu province. Essentials of Xinhua material medica: Book 3 [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1990.
- 湖北省食品药品监督管理局. 湖北省中药材质量标准 2009 年版[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2009.  
Hubei food and drug administration. Quality standard on Hubei province

traditional Chinese medicine edition 2009 [M]. Wuhan: Hubei Science & Technology Press, 2009.

- 王铁. 湖北海棠叶水煎液对高血糖小鼠血糖的影响[J]. 科技风, 2009, (21): 244.  
WANG Y. Influence of *Malus hupehensis* decoction on blood glucose of hyperglycemic mice [J]. Technol Wind, 2009, (21): 244.
- 公丕军, 杨明仁, 贺可娜, 等. 湖北海棠叶治疗 2 型糖尿病疗效观察[J]. 实用糖尿病杂志, 2011, 7(4): 34-35.  
GONG PJ, YANG MR, HE KN, et al. Therapeutic effect of *Malus hupehensis* on type 2 diabetes [J]. J Pract Diabetol, 2011, 7(4): 34-35.
- LI GR, YANG Y, YANG J, et al. Hepatoprotective effects of *Malus hupehensis* tea against isoniazid- and rifampicin-induced liver injury by regulating cytochrome P450 in mice [J]. J Funct Foods, 2021, 84. DOI: 10.1016/J.JFF.2021.104580
- WU Y, SUN HL, YI RK, et al. *Malus hupehensis* leaves extract attenuates obesity, inflammation, and dyslipidemia by modulating lipid metabolism and oxidative stress in high fat diet induced obese mice [J]. J Food Biochem, 2020, 44(11). DOI: 10.1111/jfbc.13484
- 李祖铭, 孔丽华, 余玲, 等. 湖北海棠叶水煎剂对 HSV-1 病毒性结膜炎治疗作用[J]. 医药导报, 2014, 33(7): 862-865.  
LI ZM, KONG LH, YU L, et al. Efficacy of Hubei Wingnut (*Malus hupehensis*) leaf decoction on viral conjunctivitis infected with HSV-1 [J]. Her Med, 2014, 33(7): 862-865.
- POULIANITI KP, KALTSATOU A, MITROU GI, et al. Systemic redox imbalance in chronic kidney disease: A systematic review [J]. Oxid Med Cell Longev, 2016, 8598253. DOI: 10.1155/2016/8598253
- 高静. 天然抗氧化剂及其协同作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6): 1859-1864.  
GAO J. Natural antioxidants and synergistic effects [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(6): 1859-1864.
- 张献忠, 黄海智, 钟烈洲, 等. 植物提取物体外抗氧化活性评价方法研究进展[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(11): 122-128.

- ZHANG XZ, HUANG HZ, ZHONG LZ, *et al.* Research progress of assessment methods of the antioxidant activity of plant extracts *in vitro* [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2012, 27(11): 122–128.
- [13] 刘敏卓, 刘琦, 黄雪倩, 等. 离线二维液相色谱串联质谱法检测湖北海棠叶中的化学成分[C]. 中国化学会第 30 届学术年会摘要集, 2016.
- LIU MZ, LIU Q, HUANG XQ, *et al.* Separation and identification of the chemical constituents from leaves of *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehder by using off-line two-dimensional liquid chromatography tandem mass [C]. Proceedings of the 30th Conference on Chinese Chemical, 2016.
- [14] 刘天庆, 李厚华, 辛转霞, 等. 5 种海棠叶茶抗氧化成分组成及品质差异性分析[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(21): 60–65.
- LIU TQ, LI HH, XIN ZX, *et al.* Differences in antioxidant components and activity of 5 crabapples (*Malus*) leaf tea [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(21): 60–65.
- [15] LIU Q, ZENG H, JIANG S, *et al.* Separation of polyphenols from leaves of *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehder by off-line two-dimensional high speed counter-current chromatography combined with recycling elution mode [J]. *Food Chem*, 2015, (186): 139–145.
- [16] 邱高翔. 杜仲雄花提取物抗氧化和抗菌活性评价[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2013.
- QIU GX. Investigation on the activities of antioxidant and antibacterial of eucommia male flower [D]. Xian: Northwest A & F University, 2013.
- [17] 李富华, 刘冬, 明建. 苦荞麸皮黄酮抗氧化及抗肿瘤活性[J]. *食品科学*, 2014, 35(7): 58–63.
- LI FH, LIU D, MING J. Cellular antioxidant and antiproliferative activities of flavonoids extracted from tartary buckwheat [(*Fagopyrum tartaricum* (L.) Gaertn] bran [J]. *Food Sci*, 2014, 35(7): 58–63.
- [18] HUA D, ZHANG D, HUANG B, *et al.* Structural characterization and DPPH· radical scavenging activity of a polysaccharide from guara fruits [J]. *Carbohydr Polym*, 2014, 103: 143–147.
- [19] 范金波, 蔡茜彤, 冯叙桥, 等. 咖啡酸体外抗氧化活性的研究[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(3): 65–73.
- FAN JB, CAI QT, FENG XQ, *et al.* Studies on the antioxidant activity *in vitro* of caffeic acid [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2015, 15(3): 65–73.
- [20] 黄雨洋. 红松多酚分离鉴定及抗氧化抗癌功能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- HUANG YY. The separation, isolation and identification of polyphenol structures in Korean pine (*Pinus koraiensis*) bark and evaluation of its antioxidant and anticancer activity [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2014.
- [21] MAO G, ZOU Y, FENG W, *et al.* Extraction, preliminary characterization and antioxidant activity of se-enriched maitake polysaccharide [J]. *Carbohydr Polym*, 2014, 101(30): 213–219.
- [22] 关海宁, 刁小琴, 乔秀丽, 等. 玉米须中不同极性多酚体外抗氧化活性比较研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(12): 46–50.
- GUAN HN, XI XQ, QIAO XL, *et al.* Comparison of antioxidant activity of corn silk polyphenols with different polarities [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(12): 46–50.
- [23] FINKEL T, HOLBROOK NJ. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing [J]. *Nature*, 2000, 408: 239–247.
- [24] 郑荣梁. 自由基生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- ZHENG RL. Free radical biology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [25] HARMAN D. Aging: A theory based on free radical and radiation chemistry [J]. *J Gerontol*, 1956, 11(3): 298–300.
- [26] 赵露, 尹国利, 邹成梅, 等. 大孔吸附树脂对苦丁茶多酚类物质的吸附动力学与热力学研究[J]. *中医药导报*, 2020, 26(16): 39–44.
- ZHAO L, YIN GL, ZHOU CM, *et al.* Study on adsorption kinetics and thermodynamics of polyphenols from Kudingcha by macroporous resin [J]. *Guiding J Tradit Chin Med Pharmacol*, 2020, 26(16): 39–44.
- [27] 武芸, 王春林, 王丽朋, 等. 黑果枸杞多酚吸附分离特性及抗氧化性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(2): 70–77.
- WU Y, WANG CL, WANG LP, *et al.* *Lycium ruthenicum* Murr. polyphenols adsorption separation properties and oxidation resistance [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(2): 70–77.
- [28] 康兆勇, 李玉霜, 吴过, 等. 厚朴叶不同极性溶剂萃取物总酚含量及体外抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(24): 73–79.
- KANG ZY, LI YS, WU G, *et al.* Study on total phenolic content and antioxidant activity of different polar solvent extracts from *Magnolia officinalis* leaves [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(24): 73–79.
- [29] 马飞跃, 耿炬, 乔健, 等. 不同品种桑葚叶总酚含量及其抗氧化活性比较[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(3): 888–896.
- MA FY, GENG J, QIAO J, *et al.* Comparison of total phenol content and antioxidant activity from different mulberry leaves [J]. *Chin J Trop Crops*, 2021, 42(3): 888–896.
- [30] 周露, 赵欣, 李贵节, 等. 巫山神茶水提取物的体外抗氧化及抗突变效果[J]. *常熟理工学院学报(自然科学)*, 2014, 28(4): 75–77.
- ZHAO L, ZHAO X, LI GJ, *et al.* *In vitro* antioxidant and antimutagenic effects of Wushan shencha aqueous extract [J]. *J Changshu Inst Technol (Nat Sci)*, 2014, 28(4): 75–77.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

## 作者简介



喻铭佳, 硕士, 主要研究方向为食品化学与营养学。

E-mail: hlbt1177@163.com



索化夷, 博士, 教授, 主要研究方向为功能性食品。

E-mail: birget@swu.edu.cn