

# 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部的 体外抗氧化活性研究

康彬彬<sup>1</sup>, 刘龙燕<sup>2</sup>, 郭溪远<sup>2</sup>, 王 祥<sup>2</sup>, 张玲艳<sup>2</sup>, 陈团伟<sup>2\*</sup>

(1. 福建生物工程职业技术学院, 福州 350007; 2. 福建农林大学食品科学学院, 福州 350002)

**摘要:** **目的** 筛选乌饭树果乙醇提取物中抗氧化活性最强的极性分部。**方法** 采用石油醚、乙酸乙酯、氯仿、正丁醇和水等 5 种不同极性溶剂对乌饭树果乙醇提取物进行进一步梯度萃取, 并分析比较其总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T<sub>AC</sub>)、抗脂质过氧化能力及对羟基自由基 OH•、超氧阴离子自由基 O<sub>2</sub><sup>-</sup>•的清除效果。**结果** 乌饭树果乙醇提取物的 5 个不同极性分部均具有一定的抗氧化活性, 但其活性大小差异极显著 ( $P < 0.01$ ), T<sub>AC</sub> 大小依次为: 乙酸乙酯部>氯仿部>正丁醇部>石油醚部>水部。同时, 在 OH•、O<sub>2</sub><sup>-</sup>•自由基清除能力和抗脂质过氧化能力上, 乙酸乙酯部均优于氯仿部和正丁醇部, 且呈明显的量效关系。**结论** 乌饭树果乙醇提取物的乙酸乙酯部具有最强的抗氧化活性, 且对 OH•、O<sub>2</sub><sup>-</sup>•的清除能力及抗脂质过氧化能力均强于 L-抗坏血酸及其它部位, 可作为天然抗氧化剂的潜在有效来源。

**关键词:** 乌饭树果; 乙醇提取物; 极性分部; 抗氧化活性

## Study on the *in vitro* antioxidant activity of different polarity fractions of ethanol extract obtained from *Vaccinium bracteatum* Thunb. fruits

KANG Bin-Bin<sup>1</sup>, LIU Long-Yan<sup>2</sup>, GUO Xi-Yuan<sup>2</sup>, WANG Xiang<sup>2</sup>,  
ZHANG Ling-Yan<sup>2</sup>, CHEN Tuan-Wei<sup>2\*</sup>

(1. Fujian Vocational College of Bioengineering, Fuzhou 350007, China; 2. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**ABSTRACT: Objective** To screen the strongest antioxidant activities of polarity fraction of ethanol extract obtained from *Vaccinium bracteatum* Thunb. fruits. **Methods** Totally 5 different polarity solvents (petroleum ether, ethyl acetate, chloroform, n-butanol and water) were used to furtherly fractionate ethanol extracts from *Vaccinium bracteatum* Thunb. fruits. Moreover, the total antioxidant capacity (T<sub>AC</sub>), anti-lipid peroxidation and scavenging effect of 5 kinds of polarity fractions on hydroxyl radical (OH•) and superoxide radical (O<sub>2</sub><sup>-</sup>•) were studied and compared. **Results** A total of 5 polarity fractions of ethanol extract obtained from *Vaccinium bracteatum* Thunb. fruits were showed antioxidant activity while exhibited significant differences ( $P < 0.01$ ), among which the ethyl acetate fraction had the strongest T<sub>AC</sub>, following by the chloroform, n-butanol fractions and the petroleum ether, the water fraction was the weakest. Furthermore, the ethyl acetate fraction had better scavenging capacities of OH•, O<sub>2</sub><sup>-</sup>•

基金项目: 福建省中青年教育科研教育项目(JAT160763)、福建农林大学创新性项目(CXZX2016093)

**Fund:** Supported by Education and Scientific Research Project for Young and Middle-aged Teachers in Fujian Province (JAT160763) and Innovative Project of Fujian Agriculture and Forestry University (CXZX2016093)

\*通讯作者: 陈团伟, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工与安全控制、天然产物研究开发。E-mail: chentuanwei2005@163.com

\*Corresponding author: CHEN Tuan-Wei, Ph.D, Associated Professor, College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China. E-mail: chentuanwei2005@163.com

and anti-lipid peroxidation than n-butanol fraction and chloroform fraction, and also showed a significant dose-response relationship. **Conclusion** The ethyl acetate fraction exhibited the strongest of antioxidant capacity, was superior to *L*-ascorbic acid and other fractions on the scavenging effects of  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{O}_2\cdot^-$  and anti-lipid peroxidation, which could be used as a potential effective source of natural antioxidants.

**KEY WORDS:** *Vaccinium bracteatum* Thunb. fruits; ethanol extract; polar fractions; antioxidant activity

## 1 引言

活性氧(reactive oxygen species, ROS)是生物体在生命活动过程中产生的一种重要内源自由基, 主要包括羟基自由基( $\text{OH}\cdot$ )、过氧自由基( $\text{ROO}\cdot$ )和超氧阴离子自由基( $\text{O}_2\cdot^-$ )等, 具有很高的反应活性, 多余的 ROS 会引起生物细胞过氧化损伤, 导致糖尿病、动脉粥样硬化、脑血管疾病、肿瘤等许多疾病的发生<sup>[1,2]</sup>。而抗氧化剂可通过自身的还原作用清除 ROS, 是清除机体过量 ROS 和防止其他氧化性物质形成的有效途径之一, 而目前常用的丁基羟基茴香醚(butyl hydroxy anisid, BHA)、二丁基羟基甲苯(butylated hydroxytoluene, BHT)和没食子酸丙酯(propylgallate, PG)等工合成抗氧化剂已被证实对人体具有一定的毒副作用<sup>[3]</sup>, 因此, 利用富含天然抗氧化物质的果蔬资源开发无毒害作用的天然抗氧化剂代替合成抗氧化剂成为当前的一个研究热点。

乌饭树(*Vaccinium bracteatum* Thunb.)为越橘属野生植物, 与蓝莓同科同属, 其果实富含多酚、花色苷、黄酮、矿物质等营养成分, 具有抗氧化、清除自由基、抗炎、抑菌等多种生理功能<sup>[4]</sup>。目前, 国内外学者对乌饭树的研究主要集中在乌饭树叶上<sup>[5-7]</sup>, 而有关乌饭树果的研究报道较少, 尤其是在抗氧化物质及其抗氧化活性方面。Connor 等<sup>[8]</sup>研究了 52 种水果(其中包括乌饭树果)的总酚含量、总花色苷含量及其与抗氧化活性的关系, 发现两者之间有很强的相关性; 屈晶等<sup>[9]</sup>发现, 乌饭树果中的黄酮糖苷具有很强的自由基清除能力。大量研究表明, 不同极性溶剂萃取的天然产物其抗氧化活性存在较大差异<sup>[10-13]</sup>。刘仁林等<sup>[14]</sup>比较了乌饭树果水提取物与乙醇提取物抗氧化上的差异, 结果显示, 60%乙醇提取液清除自由基的能力高于水提取液。因此, 为了进一步阐明乌饭树果的抗氧化活性, 本研究以野生乌饭树果实为材料, 比较研究水、石油醚、氯仿、乙酸乙酯和正丁醇 5 种不同极性溶剂提取的乌饭树果提取物抗氧化活性的差异, 为乌饭树果天然抗氧化剂的研究开发提供理论依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

野生乌饭树果实: 2018 年 10 月采自福建省福鼎市贯

岭乡, 采收后的新鲜果实经清洗、真空干燥(60 °C、 $1.0 \times 10^5$  pa)、粉碎(40 目)后置于棕色瓶中密封备用。

总抗氧化能力(total antioxidant capacity,  $T_{AC}$ )测定试剂盒(南京建成生物工程研究所); 大豆卵磷脂、无水乙醇、石油醚、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇、硫酸亚铁、水杨酸、过氧化氢、邻苯三酚等(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

### 2.2 主要仪器与设备

BS-124S 电子分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司); SHZ-C 水浴恒温振荡器(上海博迅医疗生物仪器股份有限公司); UV-2000 紫外可见分光光度计(尤尼柯(上海)仪器有限公司); EYELA N-1100 旋转蒸发仪(上海爱朗仪器有限公司); DZF-6050 真空干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); FDU-1200 冷冻干燥机(日本东京 EYELA 公司)。

### 2.3 实验方法

#### 2.3.1 乌饭树果乙醇提取物的制备

准确称取一定量的乌饭树果粉末, 于 50 °C 下加入 0.1% HCl-50% 乙醇(料液比 1:30 g/mL, *m:V*), 浸提 30 min 后过滤, 滤渣重复提取 1 次, 合并 2 次滤液, 于 40 °C 下减压蒸馏后冷冻干燥, 制得冻干粉备用<sup>[15]</sup>。

#### 2.3.2 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部的制备

参考张京芳等<sup>[10]</sup>的方法, 略有修改。选取极性由小到大的石油醚、氯仿、乙酸乙酯和正丁醇溶液对乌饭树果乙醇提取物进行逐步分部萃取, 具体制备流程见图 1。将一定量的乌饭树果乙醇提取物冻干粉溶于蒸馏水中, 摇匀, 溶液移至分液漏斗并加入一定比例石油醚, 置于振荡器中充分振荡, 静置至完全分层, 放出下层的水溶液再用石油醚重复萃取 2 次, 将 3 次的石油醚层合并, 于 40 °C 减压浓缩, 即为石油醚部; 萃取后的水溶液先后用氯仿、乙酸乙酯按上述方法萃取 3 次, 合并, 于 45 °C 减压浓缩, 得氯仿部和乙酸乙酯部。剩余水溶液再用正丁醇萃取 3 次, 合并正丁醇萃取液, 于 60 °C 减压浓缩, 得正丁醇部。剩余水溶液直接于 60 °C 减压浓缩, 即为水部。

#### 2.3.3 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部的抗氧化活性测定

##### (1) 不同极性分部样品溶液的制备

分别称取一定量乌饭树果乙醇提取物的 5 个不同极性分部样品, 用 1.5 mol/L、体积比 15:85 的 HCl-95% 乙醇溶液配制成不同浓度待测液, 避光保存。

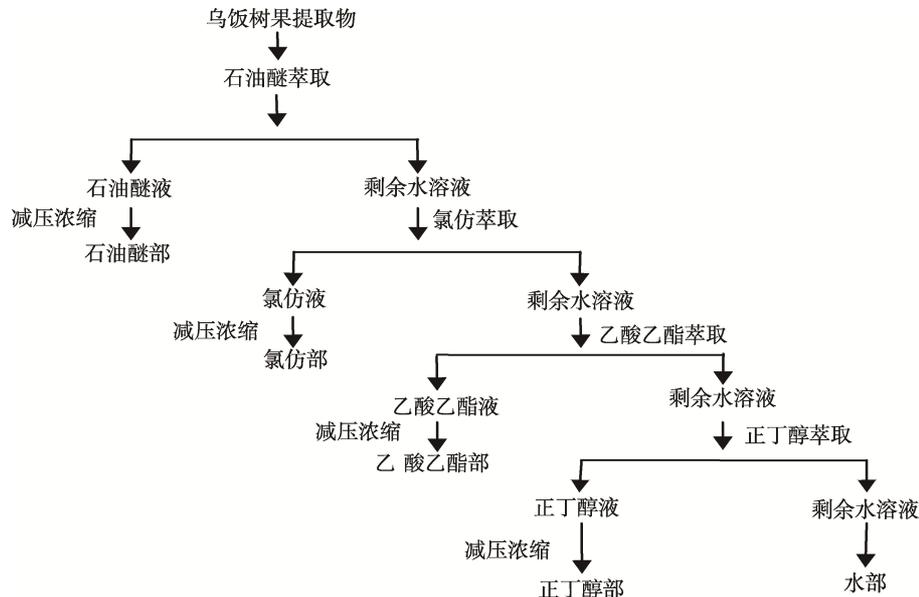


图 1 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部的制备流程图

Fig.1 Diagram of different polar fractions of ethanol extract obtained from *Vaccinium Bracteatum* Thunb. fruits

## (2) 总抗氧化能力的测定

按总抗氧化能力测定试剂盒说明书测定总抗氧化能力( $T_{AC}$ ), 即 37 °C 下每 mL 待测液每 min 使反应体系的吸光值(A)值增加 0.01 为 1 个 TAC 单位(U), 即表示为 U/mL。

$$TAC = \frac{A_1 - A_2}{0.01 \times 30} \times \frac{V_1}{V_2} \times N \quad (1)$$

式中,  $T_{AC}$ —总抗氧化能力, U/mL;  $A_1$ —待测液吸光值;  $A_2$ —空白管吸光值;  $V_1$ —反应液体积, mL;  $V_2$ —待测液体积, mL;  $N$ —稀释倍数。

## (3) 清除羟自由基( $OH\cdot$ )能力的测定

参考李颖畅等<sup>[16]</sup>的方法测定不同极性分部清除  $OH\cdot$  的能力, 依据公式(2)计算其清除率大小, 并以 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180  $\mu\text{g/mL}$  的同质量浓度  $L$ -抗坏血酸为阳性对照。

$$OH\cdot\text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}) \times 100 \quad (2)$$

式中,  $A_0$ —空白管(蒸馏水)的吸光值;  $A_1$ —待测液的吸光值;  $A_2$ —未损伤管(蒸馏水代替  $H_2O_2$ )的吸光值。

## (4) 清除超氧阴离子自由基( $O_2\cdot^-$ )能力的测定

参考范秀萍等<sup>[17]</sup>改良的邻苯三酚自氧化法测定不同极性分部清除  $O_2\cdot^-$  的能力, 按照公式(3)计算其清除率, 并以 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25  $\mu\text{g/mL}$  的同质量浓度  $L$ -抗坏血酸为阳性对照。

$$O_2\cdot^-\text{清除率}/\% = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

式中,  $A_0$ —空白管(蒸馏水)的吸光值;  $A_1$ —待测液的吸光值。

## (5) 抗脂质过氧化能力的测定

参照李颖畅等<sup>[16]</sup>的方法。依次在试管中加入 1.0 mL

经 10 mmol/L 磷酸盐缓冲液乳化后的大豆卵磷脂溶液, 1.0 mL 0.4 mmol/L  $FeSO_4$  和 1.0 mL 不同浓度的不同极性分部待测液(100, 200, 400, 600, 800, 1000  $\mu\text{g/mL}$ ), 混匀, 37 °C 水浴下恒温避光反应 60 min 后加入 2.0 mL TCA-TBA-HCl 混合液, 转移至 90~100 °C 水浴保持 15 min 后迅速冷却, 3000 r/min 离心 10 min, 测定上清液在 535 nm 处的吸光值  $A_s$ , 并依据公式(4)计算不同极性分部的脂质过氧化抑制率。同时以 100, 200, 400, 600, 800, 1000  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  的同质量浓度  $L$ -抗坏血酸为阳性对照。

$$\text{脂质过氧化抑制率}/\% = \frac{(A_C - A_S)}{A_S} \times 100 \quad (4)$$

式中,  $A_C$ —空白管(蒸馏水)的吸光值;  $A_S$ —不同极性分部待测液的吸光值。

## 2.4 数据处理

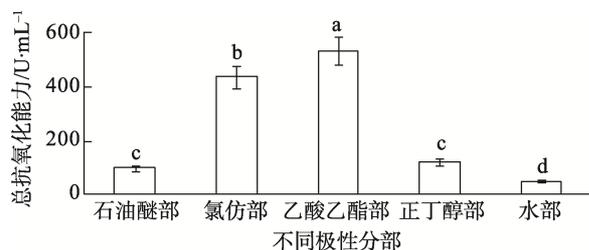
上述指标均重复取样测定 3 次, 采用 SPSS16.0 和 Origin 8.5 软件进行数据处理分析及图形制作。

## 3 结果与分析

### 3.1 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部的总抗氧化能力

乌饭树果乙醇提取物的不同极性分部对 TAC 的影响如图 2 所示。由图可知, 不同极性分部间的 TAC 存在极显著差异( $P < 0.01$ ), 其中, 乙酸乙酯部最强(535.33±2.75) U/mL, 其次为氯仿部(437.43±1.98) U/mL、正丁醇部(122.49±0.89) U/mL、石油醚部(100.02±0.46) U/mL 和水部(50.09±1.17) U/mL。5 个极性分部均具有一定的抗氧化能力, 为其清除自由基或发挥抗氧化作用奠定了基础。TAC

越强, 抗氧化活性越高, 因此后续选取 TAC 较强的乙酸乙酯部、氯仿部和正丁醇部为考察对象, 对比研究其对  $\text{OH}\cdot$ 、 $\text{O}_2\cdot$  自由基的清除能力及抗脂质过氧化抑制能力的影响。

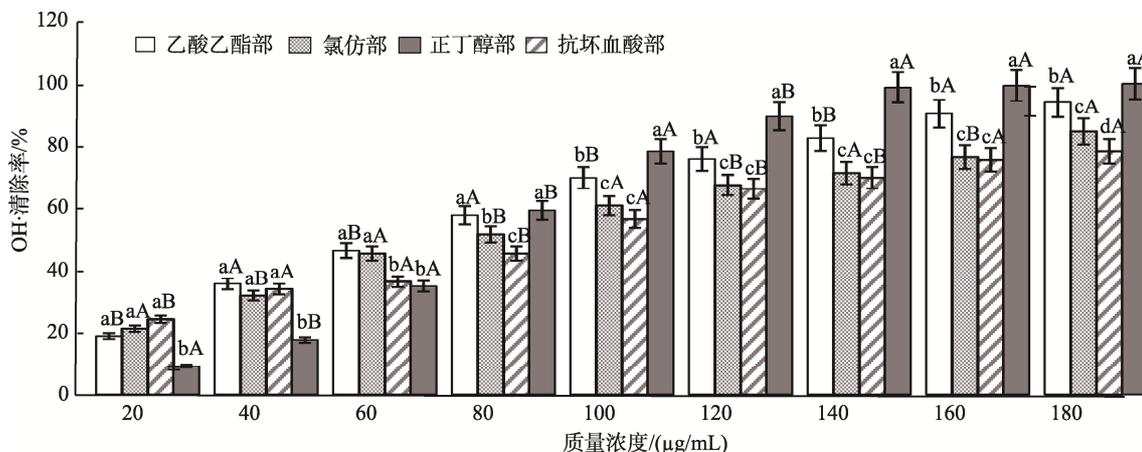


注: 小写字母表示同一质量浓度下不同极性分部的显著性差异 ( $P < 0.01$ )。

图 2 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部的总抗氧化能力 ( $n=3$ )  
Fig.2 Total antioxidant capacity of different polarity fractions of ethanol extract obtained from *Vaccinium Bracteatum* Thunb. fruits ( $n=3$ )

### 3.2 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部对 $\text{OH}\cdot$ 的清除能力

由图 3 可知, 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部表现出不同程度的  $\text{OH}\cdot$  清除能力, 且在一定浓度范围内具有显著的量效关系。在质量浓度 20~60  $\mu\text{g/mL}$  范围内, 3 个极性分部的清除能力相当, 当质量浓度超过 60  $\mu\text{g/mL}$  时, 乙酸乙酯部逐渐表现出更强的  $\text{OH}\cdot$  清除能力, 但显著低于同质量浓度  $L$ -抗坏血酸。当质量浓度为 160  $\mu\text{g/mL}$  时, 乙酸乙酯部、正丁醇部、氯仿部及  $L$ -抗坏血酸的  $\text{OH}\cdot$  清除率分别为 83.69%、70.77%、72.31% 和 100%。



注: 小写字母表示同一质量浓度下不同极性分部的显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 大写字母表示同一极性分部不同质量浓度下的显著差异 ( $P < 0.05$ )。

图 3 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部对  $\text{OH}\cdot$  的清除能力 ( $n=3$ )

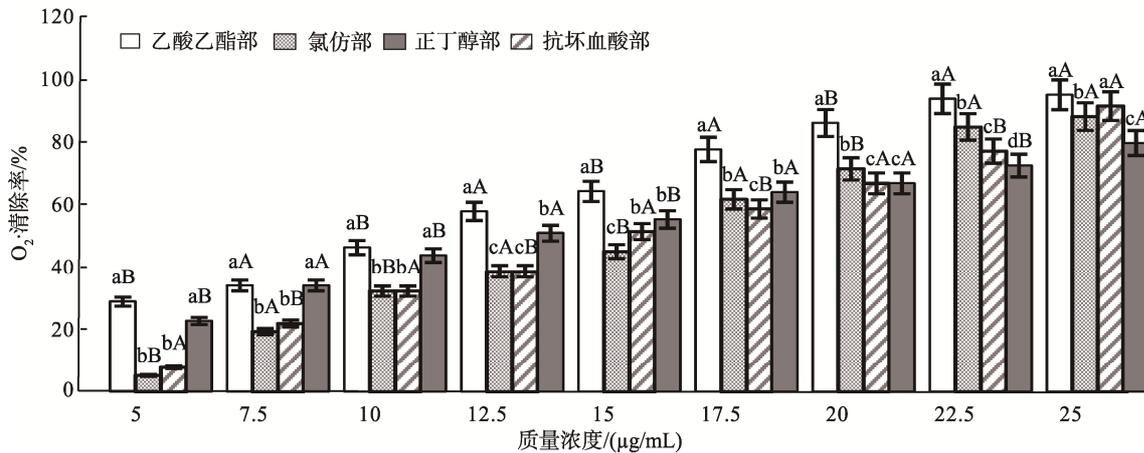
Fig.3 The scavenging effect of  $\text{OH}\cdot$  by different polarity fractions of ethanol extract obtained from *Vaccinium Bracteatum* Thunb. fruits ( $n=3$ )

### 3.3 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部对 $\text{O}_2\cdot$ 的清除能力

$\text{O}_2\cdot$  被认为是机体内其他活性氧形成的源头, 也是导致细胞损伤和细胞膜中不饱和脂肪酸氧化的关键因子<sup>[18]</sup>。由图 4 可知, 乌饭树果乙醇提取物的 3 个极性分部对  $\text{O}_2\cdot$  的清除能力均随其质量浓度的增加而增强, 在一定浓度范围内呈现较为明显的量效关系。同一质量浓度下, 乙酸乙酯部显示出最强的  $\text{O}_2\cdot$  的清除率, 并与氯仿部和正丁醇部存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 而氯仿部和正丁醇部的清除能力差异不显著。进一步比较分析其半抑制浓度  $\text{IC}_{50}$  (清除率或抑制率达到 50% 时所需样品的有效质量浓度,  $\text{IC}_{50}$  值越小, 说明其清除率或抑制率越强<sup>[19]</sup>) 发现, 乙酸乙酯部、氯仿部和正丁醇部的  $\text{IC}_{50}$  分别为 11.12、15.44、15.52  $\mu\text{g/mL}$ , 与同质量浓度的  $L$ -抗坏血酸相比, 乙酸乙酯部清除  $\text{O}_2\cdot$  的能力强于  $L$ -抗坏血酸 ( $\text{IC}_{50}$  为 12.99  $\mu\text{g/mL}$ ), 而仅当质量浓度高于 17.5  $\mu\text{g/mL}$  时, 氯仿部和正丁醇部才显示出较  $L$ -抗坏血酸更强的  $\text{O}_2\cdot$  的清除能力。

### 3.4 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部对抗脂质过氧化的抑制能力

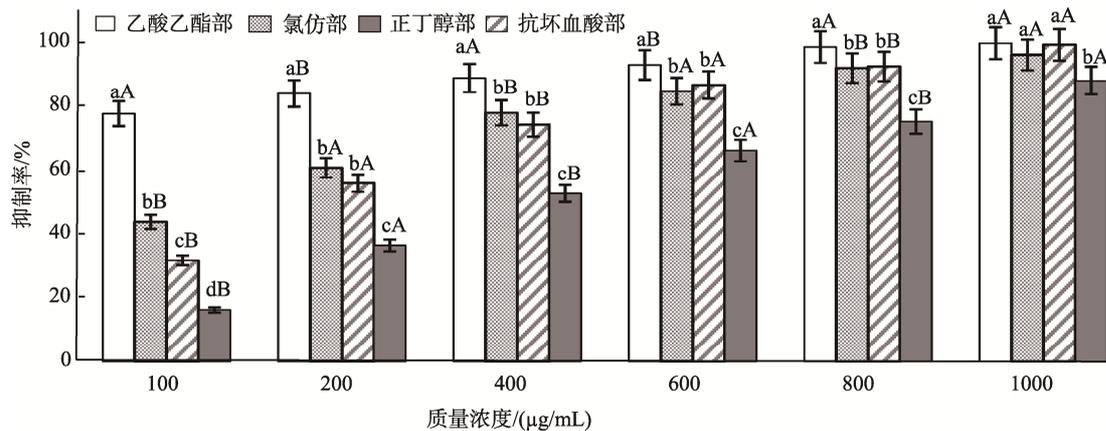
活性氧自由基攻击生物膜的主要成分——卵磷脂, 引起脂质过氧化反应, 从而降低细胞膜流动性和通透性, 造成机体皮肤、器官、组织等损伤<sup>[18]</sup>。由图 5 可知, 乌饭树果提取物的 3 个极性分部对脂质过氧化的抑制率在一定质量浓度范围内呈显著量效关系。在相同质量浓度下, 3 个极性分部抗脂质过氧化能力的大小为: 乙酸乙酯部 > 氯仿部  $\approx$  正丁醇部。与同质量浓度的  $L$ -抗坏血酸相比, 3 个极性分部抑制脂质体过氧化能力均明显优于抗坏血酸 ( $P < 0.05$ )。当浓度为 800  $\mu\text{g/mL}$  时, 乙酸乙酯部、氯仿部、正丁醇部和抗坏血酸对脂质过氧化的抑制率分别为 98.78%、92.19%、92.68%、75.32%。



注: 小写字母表示同一质量浓度下不同极性分部的显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 大写字母表示同一极性分部不同质量浓度下的显著差异 ( $P < 0.05$ )。

图 4 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部对  $O_2\cdot^-$  的清除能力 ( $n=3$ )

Fig.4 Scavenging effect of  $O_2\cdot^-$  by different polarity fractions of ethanol extract obtained from *Vaccinium Bracteatum* Thunb. fruits ( $n=3$ )



注: 小写字母表示同一质量浓度下不同极性分部的显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 大写字母表示同一极性分部不同质量浓度下的显著差异 ( $P < 0.05$ )。

图 5 乌饭树果乙醇提取物不同极性分部抗脂质过氧化能力 ( $n=3$ )

Fig.5 Inhibition effect of lipid peroxidation of different polar fractions of ethanol extract obtained from *Vaccinium Bracteatum* Thunb. fruits ( $n=3$ )

## 4 结论

乌饭树果乙醇提取物的 5 个不同极性分部均显示出一定的抗氧化活性, 但总抗氧化能力存在极显著差异, 其中, 乙酸乙酯部最强, 随后依次为氯仿部、正丁醇部、石油醚部和水部, 这可能与乌饭树果乙醇提取物的不同极性分部中所含主要抗氧化物质的种类、含量或结构上存在差异有关<sup>[11-13,20-23]</sup>。同时, 在自由基清除和脂质过氧化抑制体系中, 乌饭树果乙醇提取物的乙酸乙酯部亦呈现出最强的  $OH\cdot$ 、 $O_2\cdot^-$  自由基清除能力和脂质过氧化抑制力, 可作为天然抗氧化剂的潜在有效来源。但在不同抗氧化体系中, 乙酸乙酯部对不同自由基的清除能力和脂质过氧化抑制能力上存在较大的差异。在  $OH\cdot$  和  $O_2\cdot^-$  清除体系中, 质量浓

度为 160~180  $\mu\text{g/mL}$  时, 其对  $OH\cdot$  的清除率为 91.69%~95.38%; 质量浓度在 22.5~25  $\mu\text{g/mL}$  期间, 清除  $O_2\cdot^-$  的能力为 91.25%~92.50%; 而对脂质过氧化的抑制则需要更高的浓度, 在质量浓度为 400~600  $\mu\text{g/mL}$  时, 其对脂质过氧化抑制率为 89.02%~93.17%。因此, 本研究结果对进一步分离和鉴定具有较高抗氧化活性的乌饭树果提取物具有一定的参考价值。

## 参考文献

- [1] Chen GL, Fan MX, Wu JL, et al. Antioxidant and anti-inflammatory properties of flavonoids from lotus plumule [J]. Food Chem, 2019, 277: 706-712.
- [2] 张雪松, 朱媛, 曹正, 等. 茶叶乙醇提取物清除自由基活性及相关性分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(13): 3430-3433.

- Zhang XS, Zhu Y, Cao Z, *et al.* Correlation analysis and free radical scavenging activity with tea ethanol extractive [J]. *Hubei Agric Sci*, 2016, 55(13): 3430–3433.
- [3] 罗晓玲, 徐嘉红, 杨武斌, 等. 蓝莓花色苷抗氧化功能及稳定性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(4): 312–317.
- Luo XL, Xu JH, Yang WB, *et al.* Research progress in antioxidant function and stability of blueberry anthocyanins [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(4): 312–317.
- [4] 徐源, 王立, 李柱, 等. 乌饭树叶及其果实研究进展[J]. *食品工业科技*, 2016, 34(20): 372–376.
- Xu Y, Wang L, Li Z, *et al.* Research progress in leaves and fruit of *Vaccinium bracteatum* thunb. [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 34(20): 372–376.
- [5] 满洋, 刘富康, 曲映红. 乌饭树叶中粗黄酮的提取及抗氧化性研究[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(19): 15–17.
- Man Y, Liu FK, Qu YH. Study on extraction and antioxidant activity of crude flavonoids from *Vaccinium bracteatum* thunb. leaves [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2018, 24(19): 15–17.
- [6] 唐忠炳, 张愈, 易金. 乌饭树叶保健饮料工艺技术及关键参数试验研究[J]. *江西科学*, 2018, 36(1): 54–59.
- Tang ZB, Zhang Y, Yi J. Study on the processing technology and key parameters of the healthy beverage made from *Vaccinium bracteatum* leaves [J]. *Jiangxi Sci*, 2018, 36(1): 54–59.
- [7] 黄正虹. 超声萃取乌饭树叶多酚及在卷烟中的应用[J]. *食品工业*, 2016, 37(2): 129–133.
- Huang ZH. Ultrasonic extraction of polyphenol from *Vaccinium bracteatum* thunb. leaves and its application in cigarette [J]. *Food Ind*, 2016, 37(2): 129–133.
- [8] Connor AM, Luby JJ, Tong CBS. Variability in antioxidant activity in blueberry and correlations among different antioxidant activity assays [J]. *J Am Soc Hortic Sci*, 2002, 127(2): 238–244.
- [9] 屈晶, 陈霞, 牛长山, 等. 南烛化学成分研究[J]. *中国中药杂志*, 2014, 39(4): 684–688.
- Qu J, Chen X, Niu CS, *et al.* Chemical constituents from *Vaccinium bracteatum* [J]. *J Chin Mater Med*, 2014, 39(4): 684–688.
- [10] 张京芳, 王冬梅, 周丽, 等. 香椿叶提取物不同极性分部体外抗氧化活性研究[J]. *中国食品学报*, 2007, 10(5): 12–17.
- Zhang JF, Wang DM, Zhou L, *et al.* Studies on antioxidative activities *in vitro* of different polarity fractions of extract from *toona sinensis* leaves [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2007, 10(5): 12–17.
- [11] 黄越, 周春晖, 戴宏杰, 等. 猴头菇醇提物及其不同极性部位的体外抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(21): 16–20.
- Huang Y, Zhou CH, Dai HJ, *et al.* *In vitro* antioxidant activity of ethanol extract from *Hericium erinaceus* and its different polar fractions [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(21): 16–20.
- [12] 谢庆芬, 谢鲁灵枫, 贡小辉, 等. 霍山铁皮石斛提取物不同极性部位抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(9): 275–278.
- Xie QF, Xie LLF, Gong XH, *et al.* Antioxidant activity of different extraction parts of Huoshan *Dendrobium officinale* [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(9): 275–278.
- [13] Ganesan P, Kumar CS, Bhaskar N. Antioxidant properties of methanol extract and its solvent fractions obtained from selected Indian red seaweeds [J]. *Biores Technol*, 2008, 99: 2717–2723.
- [14] 刘仁林, 戴利燕, 李莉, 等. 乌饭树果实提取物抗氧化活性研究[J]. *经*
- 济林研究, 2018, 36(2): 88–93.
- Liu RL, Dai LY, Li L, *et al.* Study on antioxidant activity of extracts from fruits of *Vaccinium bracteatum* thunb. [J]. *Nonwood For Res*, 2018, 36(2): 88–93.
- [15] 刘龙燕. 乌饭树果实花色苷的提取及其抗氧化和抑菌特性研究[D]. 福建: 福建农林大学, 2010.
- Liu LY. Studies on the extraction technology and the activity of antioxidant and antimicrobial of anthocyanin in *Vaccinium bracteatum* thunb. fruits [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010.
- [16] 李颖畅, 孟宪军. 蓝莓花色苷抗氧化活性的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(9): 61–64.
- Li YC, Meng XJ. Studies on the antioxidant activity of anthocyanin from blueberry [J]. *Food Ferment Ind*, 2007, 33(9): 61–64.
- [17] 范秀萍, 吴红棉, 王娅楠, 等. 4 种贝类糖胺聚糖体外清除自由基活性的比较[J]. *食品科技*, 2008, 2(33): 165–167.
- Fan XP, Wu HM, Wang YN, *et al.* Free radical-scavenging activity of glycosaminoglycans from four seashells *in vitro* [J]. *Food Sci Technol*, 2008, 2(33): 165–167.
- [18] Jiang XJ, Lin HT, Lin MS, *et al.* A novel chitosan formulation treatment induces disease resistance of harvested litchi fruit to *Peronophythora litchii* in association with ROS metabolism [J]. *Food Chem*, 2018, 266: 299–308.
- [19] Lin SL, Ching LT, Chen JL, *et al.* Antioxidant and anti-angiogenic effects of mushroom phenolics-rich fractions [J]. *J Funct Foods*, 2015, 17: 802–815.
- [20] 王利枝, 江震宇, 葛宇飞, 等. 蓝莓叶不同极性部位生物活性及化学成分研究[J]. *中国药理学杂志*, 2018, 53(20): 1729–1733.
- Wang LZ, Jiang ZY, Ge YF, *et al.* Bioactivity and chemical constituents of different polar parts from blueberry leaves [J]. *Chin Pharm J*, 2018, 53(20): 1729–1733.
- [21] Venskutonis PR, Barnackas S, Kazernaviciute R, *et al.* Variations in antioxidant capacity and phenolics in leaf extracts isolated by different polarity solvents from seven blueberry (*Vaccinium L.*) genotypes at three phenological stages [J]. *Acta Physiol Plant*, 2016, 38(2): 32–45.
- [22] Ye FY, Liang Q, Li H, *et al.* Solvent effects on phenolic content, composition, and antioxidant activity of extracts from florets of sunflower (*Helianthus annuus L.*) [J]. *Ind Crops Prod.*, 2015, 76: 574–581.
- [23] Odeleye T, Li Y, White WL, *et al.* The antioxidant potential of the New Zealand surf clams [J]. *Food Chem*, 2016, 204: 141–149.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



康彬彬, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为天然产物开发与利用。  
E-mail: kangbinbin\_2000@163.com



陈团伟, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工与安全控制、天然产物研究开发。  
E-mail: chentuanwei2005@163.com