

莼菜中抗氧化物质的研究

蒋圆婷², 韩杰², 邹月¹, 郑天语², 梁寒峭^{2*}, 周万海^{1*}

¹宜宾学院生命科学与食品工程学院 香料植物资源开发与利用四川省高校重点实验室, 宜宾 644000;

²北京城市学院生物医药学部, 北京 100083

摘要:为考察莼菜(*Brasenia schreberi*)的成分组成和抗氧化活性,本实验采用系统预实验法对其不同极性的洗脱部位可能含有的化学成分进行预实验,探索了各个部位的化学成分。利用有机萃取法分别萃取得水、乙醇、正丁醇和乙酸乙酯4种不同极性萃取部位,采用Folin-Ciocalteu 比色法对4种萃取部位的总酚和黄酮含量进行测定;选用DP-PH、ABTS、FRAP 法对4种萃取物进行体外抗氧化活性分析。结果表明:4个萃取部位的多酚含量从高到低为乙醇、水、正丁醇、乙酸乙酯。结果显示莼菜不同极性的萃取物均有抗氧化活性,其中乙醇相的抗氧化活性最好,清除ABTS、DPPH 自由基的EC₅₀分别为0.133和1.526 mg/mL,乙醇相中总多酚含量最高为28.045 mg/g DW。清除ABTS、DPPH 自由基、总还原能力与总多酚含量呈现相关关系(r 分别为0.961、0.960和0.997),莼菜各萃取物中多酚类可能是主要的抗氧化物质。

关键词:莼菜;多酚成分;抗氧化;不同极性

中图分类号:Q946.91

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2021) Suppl-0056-06

DOI:10.16333/j.1001-6880.2021.S.008

Study on antioxidant components in *Brasenia schreberi*

JIANG Yuan-ting², HAN Jie², ZOU Yue¹, ZHENG Tian-yu², LIANG Han-qiao^{2*}, ZHOU Wan-hai^{1*}

¹College of Life Sciences & Food Engineering, Key Lab of Aromatic Plant Resources Exploitation and Utilization in Sichuan Higher Education, Yibin University, Yibin 644000, China; ²Dean of Biomedical School, Beijing City University, Beijing 100094, China

Abstract: To investigate the composition and antioxidant activity of *Brasenia schreberi*, the system pre-experiment method was used to conduct pre-experiment on the possible chemical components of the separated portions with different polarities, and explored the chemical composition of each part in this experiment. Organic extraction method was used to extract water, ethanol, n-butanol, and ethyl acetate to obtain four different polar extraction parts, and the Folin-Ciocalteu colorimetric method was used to determine the total phenol and flavonoid in four extraction parts; DPPH, ABTS and FRAP methods were used to analyze the preliminary antioxidant activities of the four extracts. The results indicated that the polyphenol content in the four extracts were, ethanol, water, n-butanol and ethyl acetate, from high to low. The results showed that the extracts of different polar solvents of *B. schreberi* had antioxidant activity, among which the ethanol phase had the best antioxidant activity. The EC₅₀ of scavenging ABTS and DPPH free radicals were 0.133 and 1.526 mg/mL, respectively. The highest content of total polyphenol in the ethanol phase was 28.045 mg/g DW. The total polyphenol content was correlated with ABTS, DPPH free radicals and total reduction capacity ($r=0.961, 0.960, 0.997$). The polyphenols in the extracts of *B. schreberi* may be the main antioxidants.

Key words: *Brasenia schreberi*; polyphenols; antioxidant; different polar

莼菜(*Brasenia schreberi*)属莼菜科莼菜属的多年水生草本植物,是一种稀有的和有价值的食用蔬

菜。在我国,莼菜既有栽培品种又有野生居群。栽培莼菜主产区在四川省雷波县、湖北省利川市、重庆市石柱县、江苏省太湖地区、浙江省杭州西湖等地^[1]。研究表明莼菜含有丰富的微量元素、膳食纤维、多糖物质和多种人体必需氨基酸^[2-4],具有降血脂、抗氧化和调节免疫等功效^[5,6]。前期研究表明莼菜中的水溶性多糖和碱溶性多糖的浓度对 DPPH 自由基清除率、FRAP 铁离子还原能力均具有极显

收稿日期:2020-09-15 接受日期:2020-10-09

基金项目:香料植物资源开发与利用四川省高校重点实验室 2018 年度开放基金(2018XLZ010);2019 年北京城市学院“城市新星计划”训练项目(201911418150)

* 通信作者 Tel:86-10-82470945; E-mail:lhqbsw@126.com, wan-hauzhou@126.com

著或显著促进作用,其中甘露糖、葡萄糖醛酸、半乳糖、木糖和岩藻糖 5 种单糖组分具有一定的抗氧化作用^[7],但目前仍未有对其成分的全面研究。

本研究选取四川省雷波县马湖的莼菜作为研究对象,探索其不同极性提取部位的化学成分,并对其不同极性提取部位的多酚黄酮含量进行检测,采用 DPPH、ABST 和 FRAP 法测定抗氧化活性,通过相关性分析探究成分与抗氧化活性的关系,为莼菜的加工工艺控制和健康食品开发提供基础数据支持。

1 材料与试剂

1.1 材料与试剂

本实验以采自四川省雷波县马湖莼菜的嫩叶为材料。

没食子酸标准品(210917,百灵威科技有限公司);芦丁标准品(B20771,上海源叶生物科技有限公司);1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、Folin-Ciocalteu 试剂(美国 Sigma);总抗氧化能力(T-AOC)检测试剂盒(ABTS 法和 FRAP 法,南京建成科技有限公司);维生素 C、乙酸乙酯、正丁醇、乙醇等试剂均为国产分析纯(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱(CS101-3E,北京中兴伟业仪器有限公司);数控超声波清洗器(KQ5200DB,昆山市超声仪器有限公司);低速离心机(DM0412,美国赛洛捷克公司);旋转蒸发器(N-1100,上海创萌生物科技有限公司);循环水式多用真空泵(SHB-III,上海沪析实业有限公司);紫外可见分光光度计(TU-1800,普析通用)。

2 实验方法

2.1 样品制备及化学成分系统预试验

莼菜茎、叶分离后将莼菜嫩叶放入烘箱中,85℃温度下烘烤 10 min 后在 40℃温度下烘烤 24~48 h,进行杀青处理。用研钵将杀青后的莼菜叶研磨至粉末状,放入自封袋内保存。

分别称取 2.00 g 莼菜样品于 50 mL 离心管中,用水、乙醇、正丁醇和乙酸乙酯四种溶剂浸泡。用超声波清洗器在 60℃的条件下超声 60 min,用离心机分两次在 5 000 rpm 的条件下离心 10 min,将上清液在 40~60℃的条件下,利用旋转蒸发器除去相应溶剂,以无水乙醇作为新的溶剂复溶。将复溶后的样品溶液定容至 50 mL,并转移至棕色样品瓶内保存。每种溶剂做三组平行。

参考文献^[8],四种极性提取液各取 1 mL 供检

识多酚、黄酮、蒽醌、香豆素、皂苷、生物碱、多糖、有机酸和蛋白质。

2.2 抗氧化活性

参考 Chen^[9]、Liang^[8]的方法,并建立阳性对照药物的标准曲线,样品的抗氧化结果分别以阳性药物等量抗氧化能力和 EC₅₀(半数有效浓度)值表示。Vc 标准溶液的 DPPH 标准曲线: $y = 2\ 563.9x - 1\ 178.2$, $R^2 = 0.998\ 4$; Trolox 标准溶液的 ABTS⁺·标准曲线: $y = 107.5x + 1.861\ 8$, $R^2 = 0.996\ 2$; FeSO₄ 标准溶液的 FRAP 标准曲线: $y = 0.134\ 2x - 0.015\ 9$, $R^2 = 0.995\ 4$ 。

2.3 莼菜不同组分总酚含量的测定

采用 Folin-Ciocalteu(FC)比色法^[10]:以没食子酸浓度为横坐标 x (mg/mL),以吸光度 y 为纵坐标绘制标准曲线,测定回归方程为 $y = 7.814\ 9x + 0.036$ (0.011 7~0.081 9 mg, $R^2 = 0.999\ 3$)。分别吸取莼菜水、乙醇、乙酸乙酯和正丁醇组分样品 0.04、0.04、0.2 和 0.3 mL 于 10 mL 比色管中,依次加入 5 mL 10% FC 试剂和 4 mL 7.5% Na₂CO₃,去离子水定容至 10 mL,充分混合后室温放置 1 h,于 740 nm 波长下测定吸光度,计算总酚含量。结果计算: $X = (C/V_1)/V_2$,公式中 X 为总酚含量(mg/mL); C 为依据标准曲线计算出待测液中多酚的含量(mg/mL); V_1 为组分实验测定用体积; V_2 为组分提取液体积。

2.4 莼菜不同组分黄酮含量的测定

采用 NaNO₂-AlNO₃ 比色法^[11]:以芦丁浓度为横坐标 x (mg/mL),以吸光度 y 为纵坐标绘制标准曲线,测定回归方程为 $y = 1.097x + 0.010\ 6$ (0.047~0.444 mg, $R^2 = 0.996\ 6$)。分别吸取莼菜水、乙醇、乙酸乙酯和正丁醇组分样品 1.0、0.2、0.2 和 0.2 mL 于 10 mL 比色管中,依次加入 30% 乙醇至 5.0 mL,加入 0.3 mL 5% NaNO₂ 反应 6 min,再加入 0.3 mL 10% AlNO₃ 反应 60 min,加入 1.0 mol/L NaOH 4.0 mL 溶液,加水定容至刻度摇匀。于 510 nm 波长下测定吸光度,计算总酚含量。结果计算: $X = (C/V_1)/V_2$,公式中 X 为黄酮含量(mg/mL); C 为依据标准曲线计算出待测液中黄酮的含量(mg/mL); V_1 为组分实验测定用体积; V_2 为组分提取液体积。

2.5 数据分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析,数据结果以“平均值±标准差”(n=3)表示,Pearson 法进行

相关性分析。

3 结果与分析

3.1 化学成分系统预试验

试验判断结果表明四个极性部分均含有多酚、酚酸和黄酮类成分,生物碱反应为阴性,推断莼菜中

生物碱类物质可能含量极低。蒽醌和香豆素类成分主要存在于乙酸乙酯提取部位,皂苷和多糖类成分主要存在于水提取和正丁醇提取部位,蛋白质只存在于水提取部位。具体试验结果见表1。

表1 莼菜中不同组分化学成分系统预试验结果

Table 1 Preliminary analysis for chemical components of different extraction fractions

组别 Group	反应名称 Reaction	水提取部位 试验现象/结果 Water extract results	乙醇提取部 位现象/结果 Ethanol extract results	正丁醇提取部 位现象/结果 Butanol extract results	乙酸乙酯提取 部位现象/结果 Ethyl acetate extract results
多酚 Phenols	FeCl ₃ 试验 香草醛-盐酸反应	绿色/+ 浅红色/+	绿色/+ 红色/+	绿色/+ 浅红色/+	绿色/+ 橘色/+
黄酮 Flavonoids	盐酸-镁粉反应 AlCl ₃ 试验	浅红色/+ 淡荧光/+	红色/+ 荧光/+	浅红色/+ 淡荧光/+	红色/+ 荧光/+
蒽醌 Anthraquinones	醋酸镁反应	无色/-	无色/-	无色/-	浅红色/+
香豆素 Coumarins	异羟肟酸铁反应	无色/-	无色/-	无色/-	紫红色/+
皂苷 Saponins	泡沫反应	有泡沫,加热不减少/+	有泡沫, 放置立刻消失/-	有泡沫, 加热不减少/+	有泡沫, 放置立刻消失/-
生物碱 Alkaloids	碘化铷钾反应	无沉淀/-	无沉淀/-	无沉淀/-	无沉淀/-
多糖 Polysaccharides	α -萘酚硫酸反应	有紫环/+	无紫环/-	有紫环/+	无紫环/-
有机酸 Organic acids	溴酚蓝试验	黄色斑点/+	黄色斑点/+	黄色斑点/+	黄色斑点/+
蛋白质 Proteins	茚三酮反应	蓝色/+	无色/-	无色/-	无色/-

注:“+”表示有此反应;“-”表示无反应。

Note:“+” means having this reaction;“-” means no reaction.

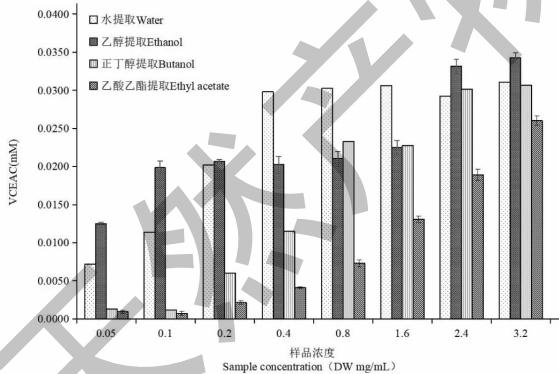


图1 莼菜不同组分 DPPH 自由基清除能力

Fig. 1 DPPH radical scavenging activity of different fractions of *B. schreberi*

3.2 抗氧化活性实验结果

3.2.1 DPPH 自由基清除能力

DPPH 自由基是一种很稳定的以氮为中心的自由基,若受试物能将其清除,则表明受试物具有降低羟基自由基、烷基自由基或过氧化自由基的有效浓

度和打断脂质过氧化链的作用。莼菜不同极性萃取部位对 DPPH 自由基的清除能力见图1。乙醇、正丁醇和水提取部位均有较强的清除效果,浓度较低时乙醇萃取部位活性更强,大于 0.2 mg/mL 后水萃取部位活性更强。从 EC₅₀ 结果(见表2)看出不同极性萃取部位的 DPPH 自由基清除能力排序为:乙醇 > 水 > 正丁醇 > 乙酸乙酯,其对 DPPH 自由基的清除作用换算成 Vc 当量浓度 (VcEAC) 的 EC₅₀ 值分别为 0.133、0.189、0.816 和 2.457 mg/mL。

3.2.2 ABTS 自由基清除能力

ABTS 自由基清除率抗氧化活性的另一个重要的体外指标。莼菜不同极性提取部位的自由基清除能力结果如图2所示,水和乙醇提取部位对 ABTS 自由基的清除能力显著高于正丁醇和乙酸乙酯提取部位。当样品浓度 > 2.5 mg/mL 时,水和乙醇提取部位的活性无明显差异;浓度 ≤ 2.5 mg/mL 时,乙酸乙酯萃取物、二氯甲烷萃取物、石油醚萃取物和正丁醇萃取物对 ABTS 自由基的清除率均已达到 70% 以

上。当以 VE 当量浓度(VEEAC)表示 ABTS 自由基清除能力时,不同萃取部位的 EC₅₀值如表 2 所示。

3.2.3 总抗氧化能力

FRAP 法是测定抗氧化活性的方法之一,即在酸性条件下,抗氧化活性物质将 Fe³⁺-TPTZ 还原为蓝色的 Fe²⁺-TPTZ,以 FeSO₄ 标准物溶液浓度,来表示样品的总抗氧化能力。莼菜不同极性提取部位的总抗氧化能力结果如图 3 所示,水和乙醇提取部位的总抗氧化能力显著高于乙酸乙酯和正丁醇提取部位。当样品浓度 > 2.5 mg/mL 时,不同极性萃取部位均体现出总抗氧化能力,且水和乙醇提取部分有明显的量效关系。

表 2 不同极性萃取部位清除 ABTS、DPPH 自由基的 EC₅₀ 值

Table 2 EC₅₀ value of scavenging ABTS and DPPH radicals by different fractions

极性部分 Different fractions	EC ₅₀ (DPPH)	EC ₅₀ (ABST)
水提取部分 Water extract	0.189	2.603
乙醇提取部分 Ethanol extract	0.133	1.526
正丁醇提取部分 Butanol extract	0.816	4.964
乙酸乙酯提取部分 Ethyl acetate extract	2.457	8.840
Vc/V _E	0.003 5	0.112 5

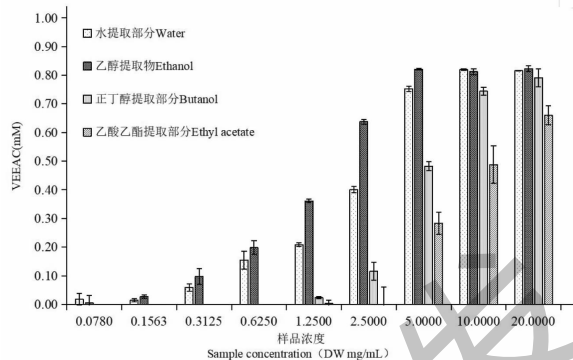


图 2 莼菜不同组分 ABST 自由基清除能力

Fig. 2 ABTS radical scavenging activity of different fractions of *B. schreberi*

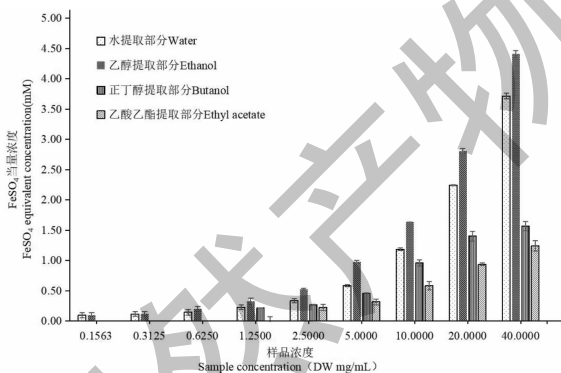


图 3 莼菜不同组分总抗氧化能力

Fig. 3 FRAP value of different fractions of *B. schreberi*

3.3 莼菜中不同组分总酚含量的测定结果

结果如图 4 所示,不同极性萃取部位的多酚提取率从高到低为乙醇、水、正丁醇、乙酸乙酯,各组间比较均具有显著差异(P < 0.01)。乙醇萃取部位多酚含量最高,为 28.045 mg/g DW,其次是水萃取部位 11.090 mg/g DW,小极性部位多酚含量较低,均小于 10 mg/g DW。由此可见莼菜中的多酚类物质主要集中在乙醇萃取部位。

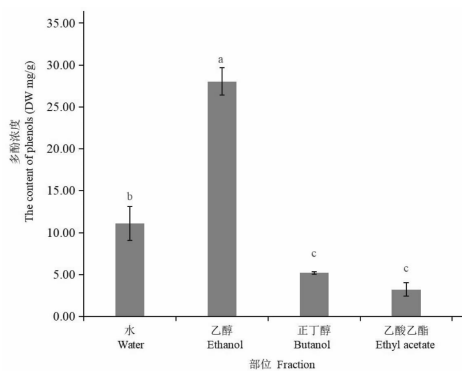


图 4 莼菜不同组分多酚含量

Fig. 4 The phenols contents in different fractions of *B. schreberi*

注:不同字母代表组间有显著性差异,浓度最高为 a,依次为 b、c。

Note: Different letters represent significant differences between groups, with the highest concentration being a, followed by b and c.

3.4 多酚含量与抗氧化活性相关性分析

通过 Pearson 法相关性分析,如表 3 所示,三种抗氧化体系的活性结果趋势基本一致,多酚含量与 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力和总抗氧化能力之间均有显著的相关性(P < 0.05),相关系数分

别为 0.961、0.960 和 0.997。进一步以不同组分多酚含量为横坐标,抗氧化活性为纵坐标进行相关性分析,相关方程和相关系数分别为 $y = 0.0008x - 0.0010$, $R^2 = 0.9235$; $y = 0.0144x - 0.0224$, $R^2 =$

0.9207 ; $y = 0.0118x + 0.1976$, $R^2 = 0.9945$; 由相关性方程以及图中曲线的变化趋势表明多酚含量与三种抗氧化活性均成正相关关系,由此可见,莼菜抗氧化功能与其中的多酚成分具有很大的相关性。

表 3 多酚含量与抗氧化活性相关性分析

Table 3 The correlation between the phenols content and antioxidant activity

组别 Group	多酚含量 Phenols content	DPPH	ABTS	FRAP
多酚含量 Phenols content	1			
DPPH	0.961 *	1		
ABTS	0.960 *	0.999 *	1	
FRAP	0.997 *	0.964 *	0.965 *	1

注: * 显著相关, $P < 0.05$ 。

Note: * Significant correlation, $P < 0.05$.

4 讨论

氧化应激,是当人体体内氧化和抗氧化系统失衡,产生过多的高活性分子自由基,造成机体组织细胞及蛋白质和核酸等生物大分子损伤^[12]。研究表明氧化应激是心血管病、癌症和老年痴呆等疾病的主要原因^[13]。因此,有效预防与自由基相关的疾病是当前的研究关注点。目前许多植物体中的酚类^[14]、黄酮类^[15]等物质已被发现,可以作为天然抗氧化剂,清除各种氧化自由基,有效保护机体。并有研究表明,多酚类物质可以通过其苯环上羟基的氢原子向自由基转移,从而起到清除自由基的作用 ($\text{Ar-OH} + \text{R} \cdot \rightarrow \text{ArO} \cdot + \text{RH}$)^[16]。同时,天然抗氧化剂不仅可以作为神经保护剂应用于神经退行性疾病,还可以作为食品抗氧化剂,如迷迭香^[17]、葡萄籽^[18]、茶多酚^[19]等。

本实验对莼菜的不同极性洗脱部位进行了定性研究,发现多酚和黄酮类物质在 4 种萃取部位均有分布。并且应用 DPPH 自由基清除、ABTS 自由基清除和 FRAP 三种方法研究了莼菜不同极性部位的体外抗氧化活性。结果表明,三种方法测得的排列顺序均为乙醇相 > 水相 > 正丁醇相 > 乙酸乙酯相。同时,通过 Pearson 法进行多酚物质含量和抗氧化活性强弱的相关性分析,表明多酚类成分的含量高低与其抗氧化活性显著相关,因此认为莼菜萃取物中的多酚类为莼菜中主要的抗氧化物质。本研究还需要进一步的体内实验,有待于实现利用生产活性强且安全的莼菜多酚复合物,作为植物性天然抗氧化剂应用于不同的领域。

参考文献

- Zhu HL, Du J, Liu ZW, et al. Investigation and genetic diversity of wild *Brasenia* in China [J]. J Plant Genet Resour (植物遗传资源学报), 2020, 21: 1586-1595.
- Gong J, Ni SF, Si YL, et al. Overview on pharmaceutical research of *Brasenia schreberi* J. F. Gmel. [J]. J Anhui Agr Sci (安徽农业科学), 2009, 37: 4489-4490.
- Wu HH, Liu LC. Exploitation, utilization and protection of *Brasenia* resources in Lichuan, Hubei [J]. J Changjiang Veg (长江蔬菜), 2013 (18): 15-17.
- Wan Q, Hu ZH. Observation on the biological characteristics of *Typha latifolia* L. [J]. Shanghai Veg (上海蔬菜), 2002 (4): 31-32.
- Hyunsook K, Qian W, Charles F, et al. Polysaccharide gel coating of the leaves of *Brasenia schreberi* lowers plasma cholesterol in hamsters [J]. J Tradit Complem Med, 2015, 5 (1): 56-61.
- Takahashi J, Toshima G, Matsumoto Y, et al. *In vitro* screening for antihyperlipidemic activities in foodstuffs by evaluating lipoprotein profiles secreted from human hepatoma cells [J]. J Nat Med, 2011, 65: 670-674.
- Li JL, Teng Z, Han F, et al. Analysis of polysaccharide components and antioxidant activity of commodity *Brasenia schreberi* from four production areas [J]. Food Ferment Ind (食品与发酵工业), 2020, 46(1): 262-268.
- Liang HQ, Cheng C, Zhang L, et al. Screening of antioxidant components in Noni fermentation juice [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2016, 28: 1479-1483.
- Chen JG, Liang HQ, Li X, et al. Analysis of different polar polyphenols and antioxidant activity of Xisha Noni juice [J].

- Food Ferment Ind(食品与发酵工业), 2015, 41(2): 163-166.
- 10 Chen JG, Li X, Li JX, et al. Determination of total polyphenol content in Xisha Noni juice[J]. J Anhui Agr Sci(安徽农业科学), 2014, 42: 10127-10128.
- 11 Cheng C, Li X, Li JX, et al. Determination of total flavonoids in Xisha Noni juice[J]. Food Sci Technol(食品科技), 2014, 39(11): 323-326.
- 12 Zhang ZS, Guo Q, Gao F, et al. Progress in the industrialization of natural antioxidants[J]. Food Res Dev(食品研究与开发), 2017, 38(7): 206-209.
- 13 Zhao BL. Free radical natural antioxidants and neurodegenerative diseases[J]. Acta Biophys Sin(生物物理学报), 2010, 26: 263-274.
- 14 Shen Y, Zhang H, Cheng L, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley[J]. Food Chem, 2016, 194: 1003-1012.
- 15 Gupta J, Gupta A, Gupta AK, et al. Extraction and identification of flavonoid natural antioxidant in the leaves of *Rauwolfia serpentina*[J]. Int J Chem Stud, 2015, 3(1): 35-37.
- 16 Papuc C, Goran GV, Predescu CN, et al. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms[J]. Compr Rev Food Sci F, 2017, 16: 1243-1268.
- 17 Jia X, Peter V, Anita U, et al. A review on rosemary as a natural antioxidation solution[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2017, 119(6): 1600439.
- 18 Garcia-Jares C, Vazquez A, Lamas JP, et al. Antioxidant white grape seed phenolics: pressurized liquid extracts from different varieties[J]. Antioxid, 2015, 4: 737-749.
- 19 Zhao L, Gao M, Ma YF. Antioxidant effect and mechanism of tea polyphenols[J]. Chin J Anim Nutr(动物营养学报), 2017, 29: 1861-1865.

(上接第 37 页)

- 19 Wang XY, Sun GQ, Feng T, et al. Sodium oligomannate therapeutically remodels gut microbiota and suppresses gut bacterial amino acids-shaped neuroinflammation to inhibit Alzheimer's disease progression[J]. Cell Res, 2019, 29: 787-803.
- 20 Wang X, Zhang XQ, Liu J, et al. Influence of proanthocyanidin on amyloid β -peptide(25-35)-mediated Tau hyperphosphorylation and p38 MAPK pathway signaling in SH-SY5Y cells[J]. Carcinog Teratogenesis Mutagen(癌变·畸变·突变), 2019, 31(2): 96-101.
- 21 Ma XH, Duan WJ, Mo YS, et al. Neuroprotective effect of paeoniflorin on okadaic acid-induced Tau hyperphosphorylation via calpain/Akt/GSK-3 β pathway in SH-SY5Y cells[J]. Brain Res, 2018, 1690: 1-11.
- 22 Ding Y, Liang QC. Related research of silybin in the treatment of Alzheimer's disease[J]. Clin Med China(中国综合临床), 2016, 32: 1051-1053.
- 23 Su B, Wang XL, Lee HG, et al. Chronic oxidative stress causes increased Tau phosphorylation in M17 neuroblastoma cells[J]. Neurosci Lett, 2010, 468: 267-271.
- 24 Yang XM, Zhang TJ, Xu KJ, et al. Antioxidant activity comparison of puerarin and other flavonoids in LPS-induced RAW264.7 cells[J]. J Med Res(医学研究杂志), 2015, 44(11): 54-56.
- 25 Dong MY. Study on the antioxidant and antitumor activities of several flavonoids and their structure-activity relationship[D]. Nanchang: Nanchang University(南昌大学), 2019.
- 26 Liu KD, Duan JL, Su J, et al. Study on the protective effects of butein on oxidative stress injury of PC12 Cell and its effects on mitochondrial function[J]. J China Pharm(中国药房), 2020, 31: 2974-2981.
- 27 Hao XY, Li G, Wei Y, et al. Protective effects of safflower yellow B on neuronal damage induced by okadaic acid in differentiated SH-SY5Y neuroblastoma cells[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2018, 30: 461-468.