

5 种天然植物提取物抗氧化性和酪氨酸酶抑制作用的比较

吴颖¹, 崔彬滢², 王露¹, 税何睿智¹, 李凯¹

(1. 上海应用技术大学化学与环境工程学院, 上海 201418)

(2. 上海应用技术大学香料香精技术与工程学院, 上海 201418)

摘要: 本研究检测了 5 种天然植物提取物体外抗氧化及酪氨酸酶活性抑制作用, 并分析其黄酮和总酚含量, 探讨提取物美白与抗氧化之间的关联。研究表明通过 ABTS⁺、DPPH⁺、羟自由基、超氧阴离子自由基的清除能力测定得 5 种提取物的抗氧化能力强弱顺序虽有所差异, 但四种抗氧化方法均表明提取物具有一定的抗氧化能力。同时酪氨酸酶活性抑制检测也表明它们均对酶活有一定抑制作用。5 种植物提取物抗氧化及酪氨酸酶活性抑制能力均随样品浓度增加而增大, 这些结果提示提取物抗氧化能力与其对酪氨酸酶活抑制作用相关联, 可能是与提取物中黄酮和总酚物质有关。当采用 ABTS⁺、DPPH⁺方法时, 5 种提取物的抗氧化性与酪氨酸酶抑制作用相关性更大, 这可能与黄酮和酚类物质对酪氨酸酶活性抑制机理有关, 研究结果可为天然美白植物原料的筛选和研发提供一定理论依据与借鉴。

关键词: 酪氨酸酶抑制; 抗氧化; 黄酮; 总酚

文章编号: 1673-9078(2018)10-81-86

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.10.012

Comparison on the Antioxidant Activity and Tyrosinase Inhibitory Effect of Five Natural Plant Extracts

WU Ying¹, CUI Bin-yu², WANG Lu¹, SHUI He-ruizhi¹, LI Kai¹

(1.School of Chemical and Environmental Engineering Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

(2.School of Perfume and Aroma Technology Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: This study examined the *in vitro* antioxidant activity and tyrosinase inhibitory effect of five natural plant extracts, analyzed the flavonoid and total phenolic contents, and explored the correlation between whitening effect and antioxidant activity of extracts. The results of ABTS⁺, DPPH⁺, hydroxyl and superoxide anion radical scavenging assays revealed that the five extracts all possessed some antioxidant activity but their potencies different. At the same time, tyrosinase inhibition assay showed that these extracts all had some inhibitory effects on enzyme activity. The antioxidant activities and tyrosinase y inhibitory capacities of the five plant extracts increased with elevated concentrations of the sample. These results suggest that the antioxidant capacity of the extract is related to its inhibitory effect on tyrosinase activity, which may be associated with flavonoids and total phenolics in the extracts. When ABTS⁺ and DPPH⁺ methods were used, the antioxidant activities of the five extracts were related closer to their corresponding tyrosinase inhibitory effects. This finding may be associated with the inhibitory functions of flavonoids and phenolics towards tyrosinase activity. The research results provide a theoretical basis and reference for the screening and development of natural whitening plant-based raw materials.

Key words: tyrosinase inhibition; antioxidant; flavonoids; total phenolics

目前天然美白化妆品市场日趋活跃, 其产品销售与日俱增, 已成为美白护肤化妆品的主流品种之一^[1]。美白类产品中可使用的美白功效成分种类较多, 但在

收稿日期: 2018-05-20

基金项目: 上海应用技术大学大学生科创项目 (DCX2018184、DCX2018156);

上海市大学生科创项目 (SH2017022、PE2018023)

作者简介: 吴颖 (1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物提取与性能研究

市场中应用广泛的品种并不多, 除熊果苷、烟酰胺、鞣花酸和 Vc 衍生物等美白剂外^[2], 常用于商品化的天然高效美白物质更是屈指可数, 如有报道光果甘草根提取物、牡丹根提取物和茶叶提取物具有高效美白功效。因此, 日化行业急需开发天然安全高效的美白功效物质。美白功效物质就是作用于皮肤黑色素生成、代谢过程中抑制黑色素生成且符合规范的物质。决定人体皮肤颜色的主要因素是黑色素的含量及分布, 开

发美白功效物质应建立在对美白机理深入了解的基础上,而抑制皮肤黑色素是美白作用机理的中心。在黑色素合成的速率控制阶段,酪氨酸酶是其最主要限速酶^[3],通过抑制酪氨酸酶活性,可以减少黑色素的形成而达到美白的功效。因此,可通过测定酪氨酸酶活性抑制效果来作为评价物质美白效果的指标。目前,目前虽有文献报道研究天然植物提取物抑制酪氨酸酶的活性和抗氧化能力,或者植物提取物的抗氧化能力与黄酮、总酚含量^[4-6],但关于提取物对酪氨酸酶的活性作用,以及抗氧化性、黄酮和总酚含量三者间关系的研究却少有报道,也无较明确的结论。而且,文献所采用的抗氧化方法一般只涉及一种或两种,不同抗氧化方法所得的结果也不尽相同。因此,本文以桔梗、金盏菊、蒲公英、银杏叶和茶叶5种植物为研究对象,研究其对酪氨酸酶抑制作用、抗氧化能力及黄酮和总酚含量,对三者之间进行相关性分析,研究结果可为今后天然美白原料的筛选提供更多理论依据与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

桔梗、金盏菊、蒲公英、银杏叶、茶叶,上海人和堂国药总店;新鲜马铃薯,市售;硫酸亚铁、亚硝酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠,国药集团化学试剂有限公司;1,1-苯基-2-苦肟基自由基(DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、芦丁标准品、没食子酸标准品、福林试剂,上海宝曼生物科技有限公司;L-多巴、过硫酸钾、水杨酸、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、邻苯三酚、硝酸铝,上海泰坦科技股份有限公司。

1.2 仪器

722S型可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司;JP-300B-6D型粉碎机,永康市久品工贸有限公司;AL204型电子分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;TDZ4A-WS型离心机,湖南赛特湘仪离心机仪器有限公司;DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司。

1.3 实验方法

1.3.1 天然产物醇提物的制备

准确称取0.4g干燥后的天然产物粉末,加入100mL、75%(V/V)的乙醇溶液,回流提取2h,趁热抽滤,弃去滤渣,加热浓缩定容至100mL,则醇提物浓

度为4.0mg/mL^[7]。

1.3.2 酪氨酸酶活性抑制率的测定

准确吸取醇提物1mL,酪氨酸酶液0.5mL,加pH=6.0的磷酸缓冲液至4mL,于室温下静置10min后,加入0.015mol/L多巴溶液1mL混匀,静置10min后,以pH=6.0的磷酸缓冲液为参比,在475nm处测定吸光度,以熊果苷作为对照,每个样品做3个平行样,抑制率计算公式如下:

$$\text{抑制率}(\%) = \frac{(\text{OD}_A - \text{OD}_B) - (\text{OD}_C - \text{OD}_D)}{(\text{OD}_A - \text{OD}_B)} \times 100\%$$

其中,A为有酪氨酸酶但没有醇提物;B为无酪氨酸酶液也无醇提物;C为既有酪氨酸酶液也有醇提物;D为有醇提物但没有酪氨酸酶。

1.3.3 抗氧化性能检测

1.3.3.1 ABTS⁺清除能力的测定

参照文献^[6]方法,将ABTS⁺溶液用磷酸缓冲液(10mmol/L,pH7.4)稀释,使其在734nm波长下的吸光度为0.700±0.020,即得到ABTS⁺工作液。

分别取1mL一定浓度的醇提物至试管中,加入ABTS⁺工作液3mL,充分混合均匀,室温避光保存10min,在734nm处测定吸光度(磷酸缓冲液为空白对照),以Vc溶液作为阳性对照,每个样品做3个平行样,清除率计算公式如下:

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_c - (A_i - A_j)}{A_c} \times 100\%$$

其中,A_i为1mL样品溶液+3mLABTS⁺溶液的吸光度值;A_j为1mL样品溶液+3mL磷酸缓冲液的吸光度值;A_c为1mL磷酸缓冲液+3mLABTS⁺溶液的吸光度值。

1.3.3.2 DPPH⁺清除能力的测定

在2mL0.16mmol/LDPPH的乙醇溶液中加入2mL一定浓度的醇提物,混合均匀,室温下避光放置40min,用分光光度计在517nm波长处测定吸光度值(无水乙醇为空白对照),以Vc溶液作为阳性对照,每个样品做3个平行样,清除率计算公式如下:

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_c - (A_i - A_j)}{A_c} \times 100\%$$

其中,A_i为2mL样品溶液+2mLDPPH溶液的吸光度值;A_j为2mL样品溶液+2mL无水乙醇的吸光度值;A_c为2mL无水乙醇+2mLDPPH溶液的吸光度值。

1.3.3.3 羟自由基清除能力测定

在0.40mL6mmol/L硫酸亚铁溶液中,加入1mL8.8mmol/L的过氧化氢溶液,再加入1mL9mmol/L水杨酸溶液和1.60mL蒸馏水,混合均匀,37℃下水浴加热15min(蒸馏水为空白对照),在510nm波长下测定吸光度值A_c。A_i为以一定浓度的醇提物代替

1.60 mL 蒸馏水测得的吸光度值, 取 1 mL 蒸馏水代替过氧化氢溶液测定吸光度值为 A_j 。以 Vc 溶液作为阳性对照, 每个样品做 3 个平行样, 计算样品对羟自由基的清除率。

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_c - (A_i - A_j)}{A_c} \times 100\%$$

1.3.3.4 超氧阴离子自由基清除能力测定

向 1.40 mL Tris-HCl 缓冲溶液 (0.05 mol/L, pH 8.2) 中加入 1 mL 蒸馏水, 再加入 0.2 mL 5 mmol/L 的邻苯三酚溶液, 混合均匀, 静置 5 min 后在 320 nm 波长处测定吸光度值 A_c 。

A_i 为以一定浓度的醇提物代替 1 mL 蒸馏水测得的吸光度值, 取 0.2 mL 10 mmol/L 盐酸溶液代替邻苯三酚溶液测定吸光度值为 A_j 。以 Vc 溶液作为阳性对照, 每个样品做 3 个平行样, 计算样品对超氧阴离子自由基的清除率^[8]。

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_c - (A_i - A_j)}{A_c} \times 100\%$$

1.3.4 黄酮含量的测定

准确吸取 0.2 mg/mL 的芦丁标准品溶液 0、0.1、0.5、1.0、1.5、2.0、4.0 mL 至试管中, 加 30% 乙醇至 5 mL, 再加入 5% 的亚硝酸钠溶液 0.3 mL, 混匀静置 6 min, 再加入 10% 的硝酸铝溶液 0.3 mL, 混匀静置 6 min, 再加入 4% 的氢氧化钠溶液 4 mL, 最后加入 30% 乙醇 0.4 mL, 静置 15 min。以 30% 乙醇为空白对照, 在 505 nm 波长处测定吸光度值^[5]。以芦丁质量浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标建立标准曲线, 得回归方程 $A=0.0064C+0.0189$, $R^2=0.9997$ 。

准确吸取一定浓度的醇提物 2 mL, 按照上述方法, 以 30% 乙醇为空白对照, 在 505 nm 波长处测定吸光度值, 根据标准曲线方程计算样品的黄酮含量, 平行测定 3 次, 取平均值。

1.3.5 总酚含量的测定

准确吸取 0.1 mg/mL 的没食子酸标准品溶液 0.05、0.1、0.15、0.2、0.3、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 至试管中, 加 6 mL 蒸馏水, 摇匀, 再加入 0.5 mL 福林试剂, 混合均匀, 1 min 后加入 1.5 mL 20% 碳酸钠溶液, 加蒸馏水至 10 mL。反应 10 min, 以蒸馏水为空白对照, 在 760 nm 波长下测定吸光度值。以没食子酸质量浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标建立标准曲线, 得回归方程 $A=0.0852C+0.0089$, $R^2=0.9984$ 。

准确吸取一定浓度的醇提物 2 mL, 按照上述方法, 以蒸馏水为空白对照, 在 760 nm 波长处测定吸光度值, 根据标准曲线方程计算样品的总酚含量, 平行测定 3 次, 取平均值。

1.3.6 数据统计分析

每个样品 3 次重复实验, 实验结果表示为平均值, 数据处理采用 WPS Office 2016, 绘图采用 Origin Pro 8。

2 结果与分析

2.1 酪氨酸酶活性抑制率的测定结果

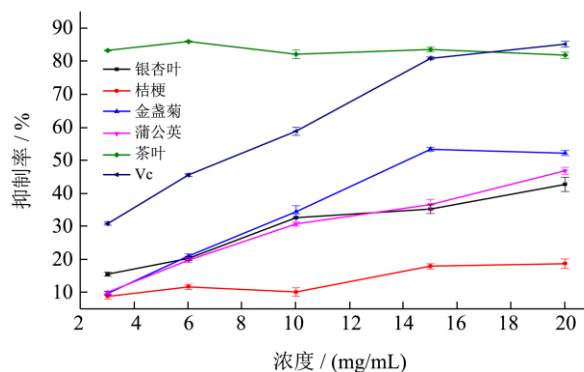


图 1 5 种植物提取物对酪氨酸酶活性的抑制作用

Fig.1 Inhibition of tyrosinase activity by five plant extracts

按照 1.3.2 的实验方法, 不同浓度的植物提取物对酪氨酸酶活性的抑制率变化如图 1 所示。

由图 1 可知, 不同植物提取物均对酪氨酸酶有抑制作用, 且随着提取物浓度逐渐增大, 对酪氨酸酶的抑制率也逐渐提高, 呈正相关性。其中在相同浓度范围内, 茶叶提取物对酪氨酸酶的抑制率最高约为 85% 并已基本水平, 其次为金盏菊提取物, 银杏叶与蒲公英提取物对酪氨酸酶的抑制能力相当且略弱于金盏菊, 桔梗提取物对酪氨酸酶的抑制率最低。

2.2 抗氧化性能检测

2.2.1 ABTS⁺清除能力的测定

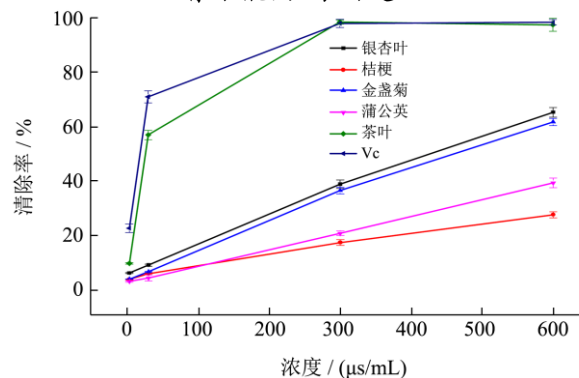


图 2 5 种植物提取物对 ABTS⁺ 的清除作用

Fig.2 The removal of ABTS⁺ by five plant extracts

按照 1.3.3.1 的实验方法, 不同浓度的提取物对 ABTS⁺ 的清除能力如图 2 所示。

由图 2 可知, 不同植物提取物均对 ABTS⁺ 有清除

作用, 且对 $ABTS^+$ 的清除率与提取物浓度呈正相关性。在相同浓度范围内, 茶叶提取物对 $ABTS^+$ 的清除率提高速度最快, 其在 $300 \mu\text{g/mL}$ 的浓度下清除率为 98% 并已趋于水平, 其次为银杏叶与金盏菊提取物, 且两者对 $ABTS^+$ 的清除能力相当, 蒲公英提取物对 $ABTS^+$ 的清除率弱于银杏叶与金盏菊提取物, 桔梗提取物对 $ABTS^+$ 的清除率最低。

2.2.2 DPPH⁺清除能力的测定

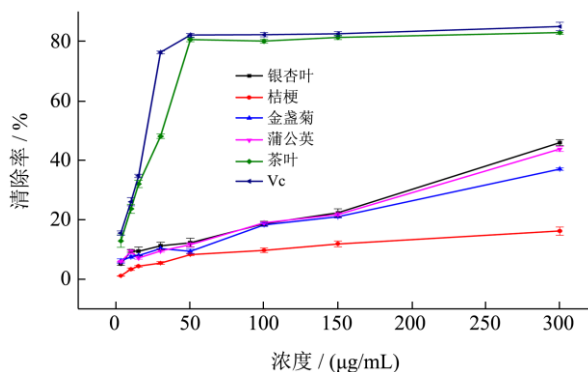


图3 5种植物提取物对 DPPH⁺ 的清除作用

Fig.3 DPPH⁺ scavenging effect of five plant extracts

按照 1.3.3.2 的实验方法, 不同浓度的提取物对 DPPH⁺ 的清除能力如图 3 所示。

由图 3 可知, 在相同浓度范围内, 不同种类的提取物对 DPPH⁺ 的清除率的变化趋势一致, 随着提取物浓度的增大而逐渐增大, 其中茶叶提取物对 DPPH⁺ 的清除效果最佳, 随提取物浓度的增大而增大, 其在 $50 \mu\text{g/mL}$ 的浓度下清除率为 83% 并已趋于水平, 银杏叶、蒲公英和金盏菊次之, 且三者提取物对 DPPH⁺ 的清除能力相当, 桔梗的清除能力最差。

2.2.3 羟自由基清除能力测定

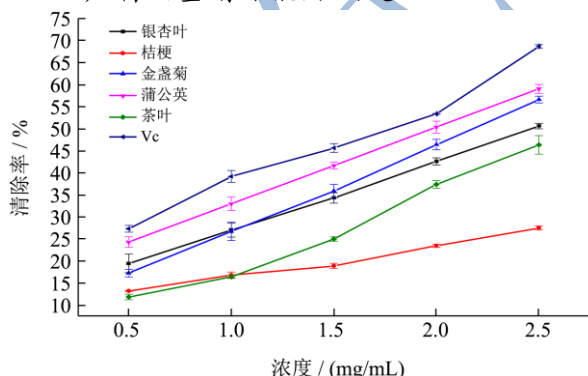


图4 5种植物提取物对羟自由基的清除作用

Fig.4 Effect of five plant extracts on hydroxyl radical scavenging

按照 1.3.3.3 的实验方法, 不同浓度的提取物对羟自由基的清除率如图 4 所示。

由图 4 可知, 不同植物提取物均对羟自由基有清除作用, 且随着提取物添加量逐渐增大, 对羟自由基

的清除率也逐渐提高。其中在相同浓度范围内, 蒲公英提取物对羟自由基的清除率最高, 金盏菊和银杏叶次之, 且两者提取物对羟自由基的清除能力相当, 其次为茶叶提取物, 桔梗提取物对羟自由基的清除能力最差。

2.2.4 超氧阴离子自由基清除能力测定

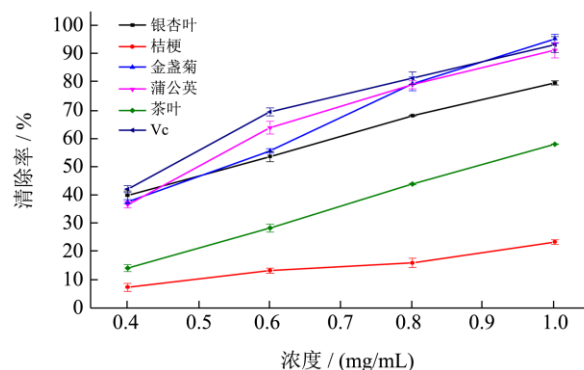


图5 5种植物提取物对超氧阴离子自由基的清除作用

Fig.5 Scavenging effects of superoxide anion radicals by five plant extracts

按照 1.3.3.4 的实验方法, 不同浓度的提取物对超氧阴离子自由基的清除率如图 5 所示。

由图 5 可知, 不同植物提取物均对超氧阴离子自由基有清除作用, 且随着提取物添加量逐渐增大, 对超氧阴离子自由基的清除率也逐渐提高。

在相同浓度范围内, 金盏菊、蒲公英和银杏叶提取物对超氧阴离子自由基的清除率最高, 且三者提取物对超氧阴离子自由基的清除能力相当, 茶叶提取物次之, 桔梗提取物对超氧阴离子自由基的清除能力最差。

2.3 黄酮和总酚含量的测定

按照 1.3.4 方法和 1.3.5 方法, 分别测定 5 种植物提取物不同浓度样品的吸光度值, 再根据相应的标准曲线和样品的稀释倍数, 计算出 5 种植物中黄酮和总酚含量, 结果如图 6 和图 7 所示。

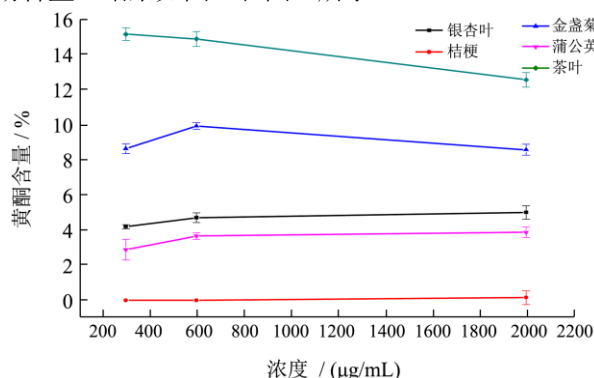


图6 5种植物提取物中黄酮的含量

Fig.6 Flavonoid content in five plant extracts

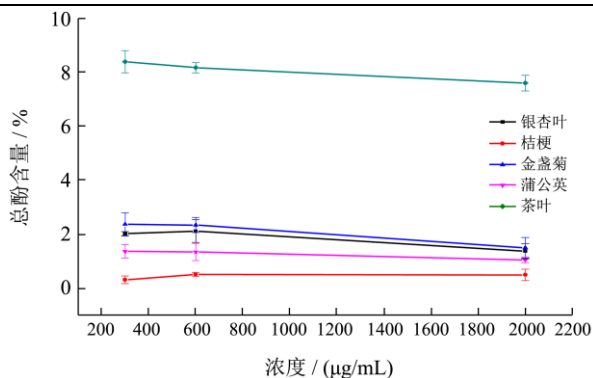


图 7 5 种植物提取物中总酚的含量

Fig.7 Total phenol content in five plant extracts

表 1 五种植物提取物抗氧化性和酪氨酸酶抑制作用汇总

Table 1 Summary of antioxidant and tyrosinase inhibition of five plant extracts

项目	桔梗	金盏菊	蒲公英	银杏叶	茶叶
酪氨酸酶 IC ₅₀ (mg/mL)	23.87	16.72	21.02	23.87	1.80
ABTS 自由基 IC ₅₀ (mg/mL)	1.12	0.47	0.79	0.44	0.01
DPPH ⁺ 自由基 IC ₅₀ (mg/mL)	1.35	0.43	0.36	0.34	0.03
羟自由基 IC ₅₀ (mg/mL)	5.76	2.2	1.98	2.47	2.75
超氧阴离子自由基 IC ₅₀ (mg/mL)	2.08	0.53	0.50	0.55	0.89
黄酮含量/%	0.16	9.03	3.47	4.63	14.18
总酚含量/%	0.43	2.05	1.24	1.82	8.01

3 结果

3.1 根据相关文献报道^[9], 抗氧化即为清除相关自由基, 而在酪氨酸酶促进黑色素合成过程也需要有自由基的参与, 但目前抗氧化能力与抑制酪氨酸酶活性之间的确切关联尚不明确, 相关的文献研究报道也较少。本文以茶叶、金盏菊、银杏叶、蒲公英和桔梗为研究对象, 检测其提取物对酪氨酸酶活性的影响、抗氧化性能、黄酮及总酚含量, 探究抗氧化能力与抑制酪氨酸酶活性能力间的可能关联。

3.2 实验结果表明(如图 1 所示), 在相同浓度范围内, 随着植物提取物浓度增加, 其植物提取物对酪氨酸酶的抑制率也逐渐增大, 两者成正相关。其中茶叶提取物对酪氨酸酶的抑制率最大、已趋近于水平状态, 其次为金盏菊、银杏叶、蒲公英, 桔梗提取物对酪氨酸酶抑制率最低。采用 4 种常用抗氧化检测方法, 对 5 种植物提取物进行抗氧化性能测定(如图 2~图 5), 结果显示采用不同抗氧化方法所测得的抗氧化强弱顺序会有所差别, 但 4 种抗氧化方法测定结果均表明 5 种植物提取物都具有一定的抗氧化性能, 且提取物的浓度也与其抗氧化能力呈正相关。这一结果也提示提取物对酪氨酸酶活性的抑制率与其抗氧化作用是相关联的, 这与文献报道的酪氨酸酶是多酚氧化酶, 黑色素最终合成反应是由该酶催化如超氧自由基引发的过

程的情况相吻合^[10]。文中进一步测定 5 种植物提取物中的黄酮和总酚含量, 图 7~图 8 结果表明在 5 种植物提取物中两者含量的高低顺序基本一致, 从高到低均为茶叶、金盏菊、银杏叶、蒲公英、桔梗。通常含有黄酮和总酚类的物质具有抗氧化性能, 故实验采用 4 种抗氧化方法都表明 5 种植物提取物都具有一定的抗氧化性质。

3.3 通过进一步比较分析图 1、图 2、图 3、图 6 和图 7 的结果发现, 当采用 ABTS⁺、DPPH⁺方法测定时, 5 种植物提取物的抗氧化能力、对酪氨酸酶活性抑制作用的强弱顺序与植物中的黄酮及总酚含量高低顺序基本一致, 也是茶叶的抗氧化能力和酶活抑制率最强, 金盏菊、银杏叶、蒲公英为其次, 桔梗最弱。由此结果推测, 5 种植物提取物中的黄酮和酚类物质的含量高低可能是影响其抗氧化和酶活抑制作用大小的原因。而联系黄酮、酚类物质结构, ABTS⁺、DPPH⁺方法相对于超氧自由基和羟基自由基方法来说与其抗氧化性、酪氨酸酶活抑制的相关性更大, 可能是由于黄酮、酚类结构分子对酪氨酸酶的抑制类型有关, 文献表明天然植物如茶叶、蒲公英中有带有酚羟基和羧基等基团的功效物质^[11~15], 与酪氨酸和底物 L-多巴的结构相似, 能竞争地与酪氨酸酶作用, 从而抑制酪氨酸酶的活性, 为竞争型抑制; 还有天然植物如银杏叶, 其主要成分为银杏黄酮和银杏内酯, 其分子结构中的

还原性羟基具有孤对电子可与酪氨酸酶分子中的 Cu^{2+} 络合从而影响该酶活性,为非竞争型抑制^[16]。ABTS⁺、DPPH⁺两种相关性高的方法中涉及的自由基可能与天然植物对酪氨酸酶活性抑制机理有关,具体的作用机理需要后期进一步的深入研究。但本文结果提示,通过研究天然植物提取物的抗氧化性,可能会为研究或筛选具有抑制酪氨酸酶活性的天然美白原料提供一定的理论基础和依据。

参考文献

- [1] 吴景,张凤兰,邢书霞,等.祛斑美白类化妆品质量现状分析及监管建议[J].中国卫生检验杂志,2016,16:2429-2432
WU Jing, ZHANG Feng-lan, XING Shu-xia, et al. Quality analysis and supervision suggestion of freckle whitening cosmetics [J]. Chinese Journal of Health Inspection, 2016, 16: 2429-2432
- [2] 张凤兰,吴景,王钢力,等.祛斑美白类化妆品中美白功效成分使用现状调查[J].中国卫生检验杂志,2017,20:3012-3015
ZHANG Feng-lan, WU Jing, WANG Gang-li, et al. Investigation on the current status of the use of whitening functional ingredients in cosmetics for freckle whitening [J]. Chinese Journal of Health Laboratory, 2017, 20: 3012-3015
- [3] 邹先伟,蒋志胜.植物源酪氨酸酶抑制剂研究进展[J].中草药,2004,35(6):702-705
ZOU Xian-wei, JIANG Zhi-sheng. Research progress of plant-derived tyrosinase inhibitors [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2004, 35(6): 702-705
- [4] 张蕾,王姝,倪勤学,等.鹅毛竹叶提取物抗氧化及酪氨酸酶抑制活性的研究[J].浙江林业科技,2014,5:8-15
ZHANG Lei, WANG Shu, NI Qin-xue, et al. Study on antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of extracts of *phyllostachys edulis* leaves [J]. Zhejiang Forestry Science and Technology, 2014, 5: 8-15
- [5] 钟映萍,邓广华,蚁细苗,等.精炼糖厂离交洗脱液色素黄酮总酚含量的测定及抗氧化物活性的研究[J].甘蔗糖业,2014,6:49-53
ZHONG Ying-ping, DENG Guang-hua, YI Xi-miao, et al. Determination of total phenolic content of flavonoids and their antioxidation activity in the eluate from refined sugar mills [J]. Sugar Cane Industry, 2014, 6: 49-53
- [6] 谢冬惠,徐静,李治明,等.小叶榕气生根总酚酸和总黄酮含量测定及其抗氧化活性比较[J].热带生物学报,2016,7(3):373-375
XIE Dong-hui, XU Jing, LI Zhi-ming, et al. Determination of total phenolic acids and total flavonoids and their antioxidative activities in the roots of *radix loquat* [J]. Journal of Tropical Biology, 2016, 7(3): 373-375
- [7] 刘锦梅,王艳丽,潘维.4种茶叶醇提取物对酪氨酸酶的抑制作用[J].现代食品科技,2009,25(6):610-611
LIU Jin-mei, WANG Yan-li, PAN Wei. Inhibition of Tyrosinase by Four Kinds of Tea Alcohol Extracts [J]. Modern Food Science & Technology, 2009, 25(6): 610-611
- [8] 洪宗国,易筠,王东.蕲艾总鞣酸对羟自由基和超氧阴离子自由基的清除作用[J].中南民族大学学报(自然科学版),2011,30(1):50-53
HONG Zong-guo, YI Jun, WANG Dong. Scavenging effects of total tannic acid on hydroxyl and superoxide anion radicals [J]. Journal of South-Central University for Nationalities (Natural Science Edition), 2011, 30(1): 50-53
- [9] 高秀蕊,石双群,宋秀芹,等.谷胱甘肽、甘露醇对酪氨酸酶的抑制和对 O_2^- 自由基的清除作用[J].河北师范大学学报,1990,2:7-11
GAO Xiu-ru, SHI Shuang-qun, SONG Xiu-qin, et al. Inhibitory effect of glutathione and mannitol on tyrosinase and scavenging of O_2^- free radicals [J]. Journal of Hebei Normal University, 1990, 2: 7-11
- [10] 高秀蕊,石双群,宋秀芹.某些药物对酪氨酸酶的抑制和对 O_2^- 自由基的清除[J].生物化学与生物物理进展,1992,1:70-71
GAO Xiu-ru, SHI Shuang-qun, SONG Xiu-qin. Inhibition of tyrosinase and exradication of O_2^- free radicals by certain drugs [J]. Progress In Biochemistry and Biophysics, 1992, 1: 70-71
- [11] 曾亮,吴靓靓,官兴丽,等.儿茶素对马铃薯酪氨酸酶的抑制作用[J].食品科学,2010,31(23):310-313
ZENG Liang, WU Liang-liang, GUAN Xing-li, et al. Inhibitory effects of catechins on *potato* tyrosinase [J]. Food Science, 2010, 31(23): 310-313
- [12] 叶孝兆,龚盛昭,彭剑勇,等.富含苯丙烯酸的天然植物提取物对酪氨酸酶活性的影响[J].广东化工,2009,36(12):21-22
YE Xiao-zhao, GONG Sheng-zhao, PENG Jian-yong, et al. Effects of natural plant extracts rich in phenyl acrylate on tyrosinase activity [J]. Guangdong Chemical Industry, 2009, 36(12): 21-22
- [13] 邓湘庆,龚盛昭,揭向阳.川芎提取物抑制酪氨酸酶活性的研究[J].中药材,2007,30(4):469-471
DENG Xiang-qing, GONG Sheng-zhao, JIE Xiang-yang. Study on inhibition of tyrosinase activity by *chuanxiong* extract [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2007, 30(4): 469-471

- [14] 张智萍.川芎美白活性成分的提取分离及在化妆品中的应用研究[D].广州:广东药学院,2014
ZHANG Zhi-ping. Extraction and separation of active ingredients from *rhizoma chuanxiong* and its application in cosmetics [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2014
- [15] 秦艳艳.旱生、湿生蒲公英部分功能性成分及营养成分的分析[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014
QIN Yan-yan. Analysis of functional components and nutritional components of xerophilous and wet health *dandelion* [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014
- [16] 宫霞,李全阳.银杏叶提取物对酪氨酸酶活力的抑制作用[J].食品科学,2001,22(12):25-27
GONG Xia, LI Quan-yang. Inhibition of tyrosinase activity by *ginkgo biloba* extract [J]. Food Science, 2001, 22(12): 25-27

现代食品科技