

牡丹花水提物对肾素和 ACE 的双重抑制作用

高一芳¹, 刘雪婷¹, 闫仲丽², 杨文清¹, 李西西¹, 王昌禄¹, 李凤娟¹

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 省部共建食品营养与安全国家重点实验室, 食品营养与安全教育部重点实验室, 天津 300457) (2. 天津科技大学现代分析技术研究中心, 天津 300457)

摘要: 研究了牡丹花水提物对肾素-血管紧张素系统中两种关键酶肾素和血管紧张素转化酶(ACE)的抑制作用, 选取典型的牡丹花色品种, 并与芍药进行比较, 考察了样品水提物的肾素和 ACE 抑制活性及抗氧化能力, 并分析酚类及黄酮类物质的含量与其功能活性的相关性。结果表明, 红色系的牡丹和芍药花水提物具有优良的肾素和 ACE 抑制活性, 而白色系的牡丹花水提物抑制肾素和 ACE 活性的能力则很弱。其中活性最高的样品水提物抑制肾素的 IC₅₀ 值为 0.08 mg/mL, 抑制 ACE 的 IC₅₀ 值为 0.23 mg/mL; 此外, 红色系的牡丹和芍药花水提物的 ABTS 自由基清除能力为 115.89~121.75 mg TE/g DW, DPPH 自由基清除能力为 192.67~200.46 mg TE/g DW, 铁离子还原能力为 119.86~208.94 mg TE/g DW, 总酚含量为 99.29~122.45 mg GAE/g DW, 白色牡丹花水提物的抗氧化能力及总酚含量均远低于红色系样品水提物。相关性分析表明, 不同样品水提物的肾素和 ACE 抑制活性及 DPPH、ABTS 自由基清除能力和铁离子还原能力与总酚含量显著正相关 ($p < 0.01$), 相关系数分别为 0.99、0.91、0.99、0.99 和 0.98。本研究指出深色系的牡丹花水提物倾向于表现出更强的肾素和 ACE 抑制活性, 其中酚类化合物是潜在的重要活性物质, 这可为探讨新型血压调控因子及实现不同品系牡丹花的高值化利用提供更丰富的基础理论支撑。

关键词: 牡丹花; 肾素抑制剂; ACE 抑制剂; 酚类物质

文章编号: 1673-9078(2021)02-114-119

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.2.0683

Dual Inhibitory Effects of Aqueous Tree Peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.)

Extract on Renin and ACE

GAO Yi-fang¹, LIU Xue-ting¹, YAN Zhong-li², YANG Wen-qing¹, LI Xi-xi¹, WANG Chang-lu¹, LI Feng-juan¹

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Ministry of Education, Tianjin 300457, China)

(2. Research Centre of Modern Analytical Technology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: The inhibitory effects of aqueous tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) extracts on renin and angiotensin converting enzyme (ACE), two key enzymes in the renin-angiotensin system, were investigated in this research. Tree peony samples with typical colors were selected and compared with herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) samples on the renin- and ACE-inhibitory activities and antioxidant activities of aqueous sample extracts were determined. The correlations between the contents of total phenolics or flavonoids and the functionalities were also analyzed. Results showed that the aqueous extracts of red tree peony and herbaceous peony exhibited excellent renin- and ACE-inhibitory activities, while the aqueous extract of white tree peony exhibited very weak inhibitory effects on renin and ACE activities. The IC₅₀ value of the extract with the highest inhibitory activity was 0.08 mg/mL for renin and 0.23 mg/mL for ACE. In addition, the aqueous extracts of red tree peony and herbaceous peony had ABTS free radical scavenging capacities in the range of 115.89~121.75 mg TE/g DW, DPPH radical scavenging capacities in the range of 192.67~200.46 mg TE/g DW, iron ion reduction capacities in the range of 119.86~208.94

引文格式:

高一芳,刘雪婷,闫仲丽,等.牡丹花水提物对肾素和 ACE 的双重抑制作用[J].现代食品科技,2020, 37(2):114-119

GAO Yi-fang, LIU Xue-ting, YAN Zhong-li, et al. Dual inhibitory effects of aqueous tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) extract on renin and ACE [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 37(2): 114-119

收稿日期: 2020-07-20

基金项目: 天津市自然科学基金项目 (16JCYBJC23200)

作者简介: 高一芳 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食用花卉的功能性评价

通讯作者: 李凤娟 (1983-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品功能性评价及功能因子研究

mg TE/g DW, and total phenolic content in the range of 99.29~122.45 mg GAE/g DW. However, the antioxidant capacity and total phenolic content of the white tree peony extracts were much lower than those of the red ones. Correlation analysis revealed that the renin-/ACE-inhibitory activities, DPPH/ABTS free radical scavenging capacities, and iron reduction ability of the different aqueous extracts were significantly positively correlated with their total phenolic contents ($p < 0.01$), with the correlation coefficients being 0.99, 0.91, 0.99, 0.99 and 0.98, respectively. This research indicated that the aqueous extracts of the dark colored tree peony tended to show stronger renin-and ACE-inhibitory activities, with phenolic compounds as potentially important active substances. These results would provide more fundamental theoretical support for exploring novel blood pressure-regulating agents and fulfilling the high-value utilization of various tree peony flowers.

Key words: tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) flower; renin inhibitor; ACE inhibitor; polyphenols

高血压是引发心脑血管疾病的主要风险因素之一, 肾素-血管紧张素系统 (RAS) 是机体重要的血压调节系统, 其中, 肾素是该系统级联反应的起始限速酶, 肾素水解血管紧张素原生成血管紧张素-I, 血管紧张素-I 会在血管紧张素转化酶 (ACE) 的催化作用下进一步水解为具有强血管收缩作用的血管紧张素-II, 从而导致机体血压升高^[1]。抑制肾素和 ACE 的活性被认为是预防和治疗高血压的有效手段。合成的肾素抑制剂阿利吉仑、ACE 抑制剂卡托普利等广泛应用于临床上高血压的治疗, 但其长期服用会导致干咳、过敏、味觉障碍等副作用^[2]。因此, 新型安全有效的肾素和 ACE 抑制剂广受研究人员的关注。近年来一些研究报道了从食品中发现的天然肾素和 ACE 抑制活性物质, 如大麻籽^[3]和海藻中^[4]的小分子肽、花生^[5]和水牛奶^[6]的蛋白水解物等。值得注意的是, 与肽类物质相比, 一些食源性多酚化合物^[7]表现出优异的肾素抑制活性, 这为挖掘新型血压调控因子及相关食品资源提供了新的思路。

在我国乃至世界范围内, 食用花卉以其良好的营养价值 and 独特的色泽、风味, 自古应用于居民膳食, 其中牡丹花 (*Paeonia suffruticosa* Andr.) 具有很高的营养价值, 富含类黄酮、多酚类物质, 其健康促进作用逐步被现代研究所证实, 广泛应用于食品、饮料及化工行业^[8,9]。芍药 (*Paeonia lactiflora* Pall.) 作为一种中药材, 与牡丹为同科同属植物, 在花型和营养成分上具有极大的相似性。本文旨在考察食用牡丹花对 RAS 系统中两种关键酶肾素和 ACE 的抑制作用, 选取典型的花色品种, 并与芍药进行比较; 同时由于血管的氧化损伤与高血压的发生发展关系密切^[1], 进一步考察了样品的抗氧化活性, 并分析多酚、黄酮类物质的含量与其功能活性的相关性, 为探讨新型血压调控因子提供新思路, 且为进一步健全食用牡丹花的功能价值体系、实现其高值化利用及促进相关食用花卉食品产业的发展提供更丰富的基础理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试材与取样

所试牡丹与芍药为市售花产品, 分别为武皇牌牡丹全花 (白色, 白1)、山东菏泽白牡丹花瓣 (白色, 白2)、山东菏泽红牡丹花瓣 (红色, 红1)、河南洛阳红牡丹花球 (红色, 红2)、安徽亳州芍药花瓣 (红色, 红芍1)、安徽亳州芍药花球 (红色, 红芍2)。

1.2 试剂及主要仪器设备

人重组肾素抑制剂筛选分析试剂盒购自美国 Cayman 公司, 水溶性维生素 E (Trolox) 购自美国 MCE 公司, ACE 酶 (0.1 U, 源于兔肺)、马尿酸组氨酰亮氨酸 (HHL)、邻苯二甲醛 (OPA)、没食子酸、儿茶素、DPPH 自由基和 ABTS 自由基购自美国 Sigma 公司, 其它试剂均为分析纯。

实验使用的仪器主要有 Flx-800 荧光酶标仪, 美国 BioTek 公司; Model 1680 酶标仪, 瑞士 Tecan 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品水提物的制备

取干燥后的四种牡丹花瓣、两种芍药花瓣样品研磨后的粉末各 1 g, 溶于 10 mL 水中, 震荡 1 min, 超声 5 min, 28 °C 摇床振荡提取 90 min 后, 离心, 取上清液过 0.45 μm 滤膜, 制得样品水提液, 标记为 100 mg/mL, 4 °C 冷藏备用。

1.3.2 肾素抑制活性的测定

肾素抑制活性的评价使用人重组肾素抑制剂筛选试剂盒。具体步骤为, 在 96 孔酶标板小孔中依次加入:

(1) 空白: 20 μL 底物, 160 μL 缓冲液, 10 μL 蒸馏水; (2) 对照: 20 μL 底物, 160 μL 缓冲液, 10 μL 蒸馏水; (3) 样品: 20 μL 底物, 160 μL 缓冲液, 10 μL 样品溶液。然后向空白对照和样品孔中加入 10 μL 肾素酶液启动反应, 37 °C 静置 15 min。

该试剂盒中的底物是一种合成荧光共振能量转移肽, 其一端与荧光团连接, 另一端与非荧光发色团连接, 被肾素裂解后, 获得的产物高度荧光, 可通过

记录其荧光吸收强度 (IF) 来计算样品的肾素抑制率。测定条件: 激发波长 360 nm, 发射波长 528 nm。每个样品重复三次进行测定。肾素抑制活性计算公式如下:

$$\text{肾素抑制率}/\%=[1-(\text{IF}_{\text{样品}}-\text{IF}_{\text{空白}})/(\text{IF}_{\text{对照}}-\text{IF}_{\text{空白}})] \times 100\% \quad (1)$$

1.3.3 ACE 抑制活性的测定

对 ACE 抑制活性的测定参照 Li 等^[10]的方法。将样品水提取物适当稀释, 以 96 孔酶标板作为反应容器。将 15 μL 样液 (对照反应液中以蒸馏水代替) 与 30 μL 4.66 mmol/L 的 HHL 溶液 (溶于 0.6 mol/L NaCl-0.4 mol/L 磷酸盐缓冲液, pH 8.5) 混合, 然后加入 30 μL 12.5 mU/mL 的 ACE 酶液 (样品反应液和对照反应液的空白以蒸馏水代替), 混匀后于 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应 1 h, 加入 120 μL 1.2 mol/L NaOH 溶液终止反应, 接着加入 30 μL 2% 的 OPA 溶液 (溶于甲醇), 混匀, 室温下静置 20 min 后加入 30 μL 6 mol/L 的 HCl 溶液终止衍生反应。将反应液稀释 30 倍后测定荧光吸收强度, 条件如下: 激发波长 340 nm, 发射波长 455 nm。样液的 ACE 抑制率计算公式为:

$$\text{ACE 抑制率}/\%=(1-I_1/I_2) \times 100\% \quad (2)$$

式中: I_1 表示样品反应液即存在 ACE 抑制剂时的荧光吸收强度; I_2 表示对照反应液即无 ACE 抑制剂时的荧光吸收强度。抑制率为 50% 时抑制剂的浓度为半抑制浓度 (IC_{50})。

1.3.4 DPPH 自由基清除能力的测定

取 5 μL 样品水提取物和 250 μL 0.08 mg/mL DPPH 反应液混合, 用相同体积的乙醇作空白对照。暗处反应 30 min 后测定在波长 517 nm 处的紫外吸光度, 计算清除率, 以 Trolox 为对照。样品的 DPPH 自由基清除能力值表示为每克样品 (干质量) 所具有的抗氧化能力相当于多少毫克 Trolox, 即 mg TE/g DW。

1.3.5 ABTS 自由基清除能力的测定

取 25 μL 样品水提取物 (浓度稀释到 5 mg/mL), 加入 ABTS 反应溶液 (5 mL 7 mmol/L ABTS 溶液和 88 μL 140 mmol/L 的过硫酸钾溶液避光反应 12 h, 用乙醇稀释至波长 732 nm 处吸光度为 0.70 ± 0.02) 2 mL, 反应 30 min 后, 测定波长 732 nm 处的吸光度, 计算清除率, 以 Trolox 为对照。最后样品的 ABTS 自由基清除能力值表示为每克样品 (干质量) 所具有的抗氧化能力相当于多少毫克 Trolox, 即 mg TE/g DW。

1.3.6 FRAP 还原能力的测定

TPTZ 工作液的制备: 25 mL 0.3 mol/L 醋酸盐缓冲液 (pH 3.6)、2.5 mL 10 mmol/L TPTZ 溶液 (40 mmol/L HCl 溶解) 和 2.5 mL 10 mmol/L $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 溶液混合, 现用现配。

取 10 μL 样品水提取物 (浓度稀释到 5 mg/mL), 加入 1 mL 蒸馏水和 1.8 mL TPTZ 工作液, 混匀后 37 $^{\circ}\text{C}$ 保温 10 min, 在 593 nm 处测定紫外吸光值, 以 Trolox 为对照。样品的铁离子还原能力值表示为每克样品 (干质量) 所具有的还原能力相当于多少毫克 Trolox, 即为 mg TE/g DW。

1.3.7 总酚 (TPC) 含量的测定

采用福林-肖卡法, 以 96 孔酶标板作为反应容器, 依次加入 100 μL 样品水提取物、100 μL Folin-Ciocalteu 显色剂和 100 μL 10% Na_2CO_3 溶液, 37 $^{\circ}\text{C}$ 保温 1 h 后测定 750 nm 处的吸光值, 以没食子酸为标准品。将结果换算为每克样品 (干质量) 中所含的多酚相当于没食子酸的毫克数 (mg GAE/g DW)。

1.3.8 总黄酮 (TF) 含量的测定

采用 $\text{NaNO}_2\text{-AlCl}_3$ 法, 以 96 孔酶标板作为反应容器, 依次加入 20 μL 样品水提取物、125 μL 蒸馏水和 75 μL 5% NaNO_2 溶液, 反应 6 min 后再加入 15 μL 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液。室温静置 5 min 后加入 50 μL NaOH 溶液, 最后在 510 nm 处测定紫外吸光度, 以儿茶素为标准品, 将结果换算为每克样品 (干质量) 中所含的总黄酮相当于儿茶素的毫克数 (mg CE/g DW)。

1.3.9 统计分析

每组实验重复三次, 结果用平均值表示, 采用 Origin 软件处理数据, 用 SPSS 软件进行方差分析 ($p < 0.05$) 及相关性分析 ($p < 0.01$)。

2 结果与讨论

2.1 肾素和 ACE 抑制作用分析

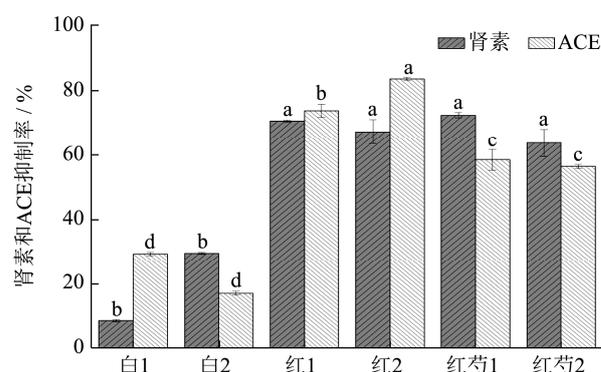


图 1 不同样品水提取物的肾素和 ACE 抑制作用

Fig.1 Inhibition on renin and ACE by different aqueous sample extracts

注: 不同字母表示 $p < 0.05$ 时有显著差异。图 3、4 同。

所试样品水提取物的肾素及 ACE 抑制作用如图 1 所示。在样品水提取物浓度为 0.27 mg/mL 的条件下, 红色的牡丹和芍药花水提取物均表现出强肾素和 ACE 抑

制作用,其中肾素抑制率范围为67%~72%,ACE抑制率范围为56%~84%。相比之下,两种白色的牡丹花水提物表现出很弱的肾素和ACE抑制作用。对于高活性的洛阳红牡丹花瓣(红2)和亳州芍药花瓣(红芍2)水提物,其浓度-活性曲线如图2所示。

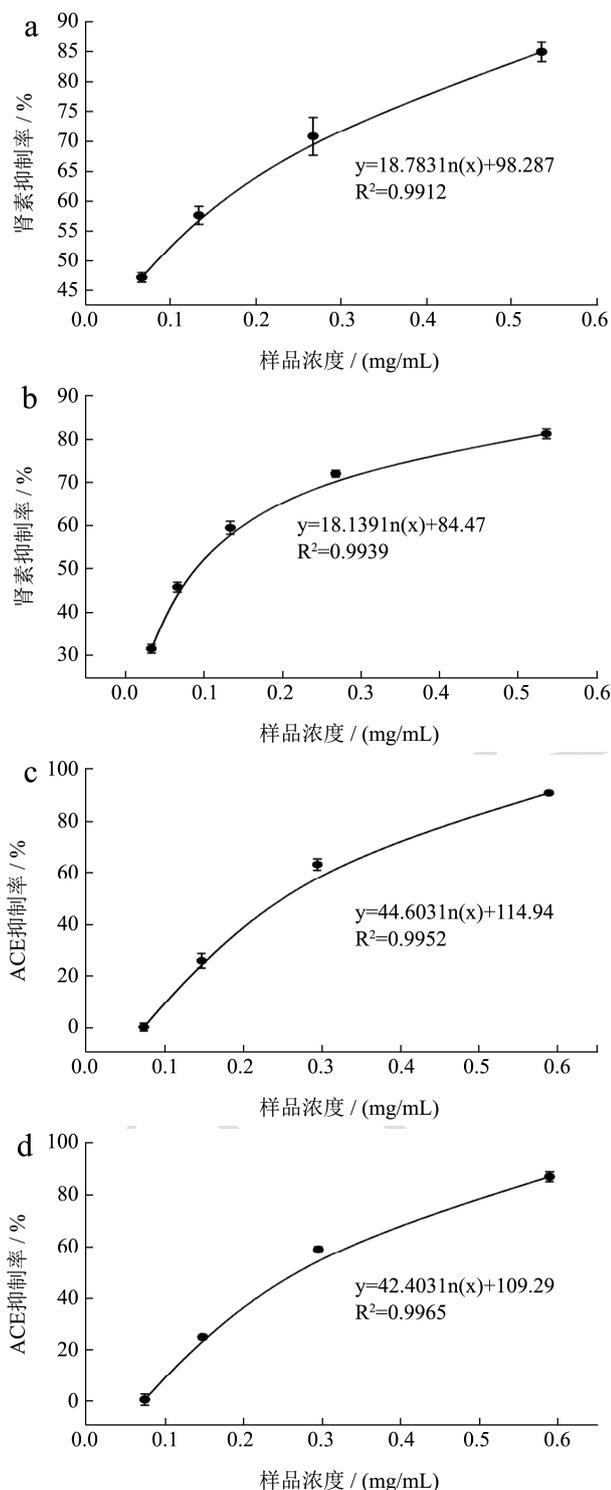


图2 样品水提物在不同浓度下的肾素和ACE抑制作用

Fig.2 Inhibition on renin and ACE by aqueous sample extracts at different concentrations

注: a、c: 红2; b、d: 红芍2。

样品红2和红芍2水提物抑制肾素的IC₅₀值均为0.08 mg/mL,抑制ACE的IC₅₀值分别为0.23和0.25 mg/mL。可以看出,所试红色牡丹和芍药虽为两个不同的原料品种,但其水提物都具有很强的肾素和ACE抑制活性,且无明显差异。就所试牡丹花而言,白色和红色样品水提物的肾素和ACE抑制活性差异显著,说明牡丹的花色及相应化学组成的差异显著影响样品的潜在血压调控作用。本研究首次指出了红色牡丹和芍药花水提物具有优良的肾素和ACE抑制活性,相比于其它已报道的天然肾素和ACE抑制剂,如豆科植物(除大豆花生外)提取液抑制肾素活性的IC₅₀为0.27~1.75 mg/mL^[11];绿茶提取液抑制肾素活性的IC₅₀为0.48 mg/mL^[12];可口革囊星虫蛋白酶水解物不同组分抑制ACE活性的IC₅₀值为0.43~1.41 mg/mL^[13];绿色大豆蛋白酶解物抑制ACE活性的IC₅₀值为0.14~1.14 mg/mL^[14],本研究所试红色牡丹花水提物具有强的肾素和ACE双重抑制活性,可被视为天然肾素和ACE抑制活性物质的重要来源。

2.2 抗氧化能力分析

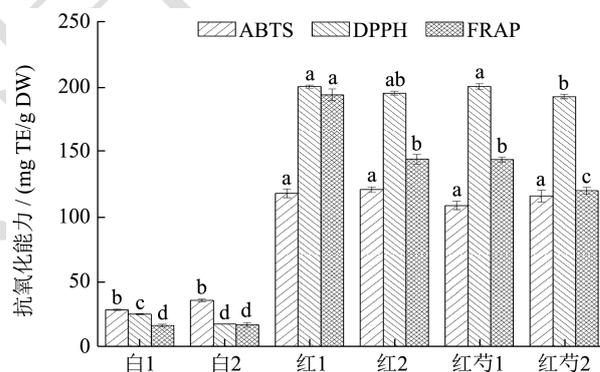


图3 不同样品水提物的抗氧化能力

Fig.3 Antioxidant capacity of different aqueous sample extracts

样品水提物的ABTS和DPPH自由基清除能力及铁离子还原能力如图3所示。红色的牡丹和芍药花水提物均显示出很强的抗氧化能力;而白色牡丹花水提物的抗氧化活性很弱。红色牡丹和芍药样品水提物的抗氧化能力无明显差异,其清除ABTS自由基能力为115.89~121.75 mg TE/g DW,清除DPPH自由基能力为192.67~200.46 mg TE/g DW,铁离子还原能力为119.86~208.94 mg TE/g DW,红色的牡丹和芍药花水提物的抗氧化能力是白色牡丹花水提物抗氧化能力的5倍以上。史国安^[15]等研究表明,红色牡丹品种“洛阳红”具有较好的氧自由基清除能力,对O₂的清除能力达85.1%~92.8%,对OH自由基的清除能力达52.1%~89.8%。综合来看,牡丹花具有较高的抗氧化

能力, 尤其深色系的牡丹品种比浅色系抗氧化能力更强, 这与孙泽飞^[16]等的研究相一致。

2.3 总酚和总黄酮含量分析

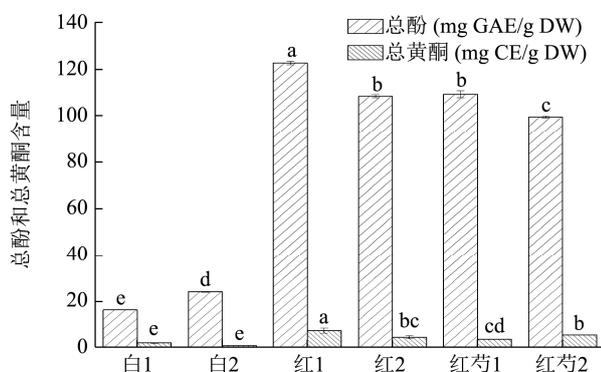


图4 不同样品水提物的总酚和总黄酮含量

Fig.4 Contents of total phenols and flavonoids in different aqueous sample extracts

样品水提物的总酚和总黄酮含量如图4所示, 红色系的牡丹和芍药花水提取物总酚含量都很高, 并且显著高于白色牡丹花水提取物, 红色牡丹和芍药花水提取物总酚含量为 99.29~122.45 mg GAE/g DW, 而白色牡丹花水提取物(白1和白2)的总酚含量分别为 16.21 和 23.95 mg GAE/g DW。就总黄酮含量而言, 红色牡丹和芍药花水提取物仍高于白色牡丹花水提取物, 红色牡丹和芍药花水提取物总黄酮含量为 3.71~7.34 mg CE/g DW 之间, 而样品白1和白2水提物的总黄酮含量分别为 2.06 和 1.02 mg CE/g DW。

牡丹花和芍药花属多酚含量较高植物, 其酚类物

质主要为黄酮类化合物。多酚类化合物一直作为抗氧化活性物质被广泛研究, 值得注意的是, 多酚类化合物陆续被发现具有肾素和 ACE 抑制活性, 如红茶和乌龙茶中的茶多酚^[12]、玫瑰花蕾中的黄酮类化合物^[17]、苦杏仁叶^[18]和猕猴桃^[19]中的多酚提取物、大豆中的大豆皂苷^[11]等, 这些研究表明多酚类化合物可被视为一类重要的肾素和 ACE 抑制活性物质。

2.4 相关性分析

所试牡丹和芍药花样品水提物的活性与总酚和总黄酮含量的相关性分析如表1所示。可以看出, 牡丹和芍药样品水提物的肾素和 ACE 抑制活性、抗氧化能力均与总酚含量呈显著的正相关 ($p < 0.01$), 而与总黄酮含量没有显著的相关性。其中, 总酚含量与肾素和 ACE 抑制作用的相关系数分别为 0.99 和 0.91, 总酚含量与 DPPH、ABTS 自由基清除能力和铁离子还原能力的相关系数分别为 0.99、0.99、0.98。本研究发现白色牡丹和红色牡丹及芍药的肾素与 ACE 抑制作用及抗氧化活性差异显著, 红色样品水提物的活性显著高于白色牡丹花样品, 其中的多酚类化合物可能对肾素和 ACE 抑制活性发挥着重要作用。研究表明多酚类化合物是牡丹花具有抗氧化能力的基础, 同时也使牡丹花具有多种重要的生物活性如抗肿瘤、抗糖尿病、抗流感、抗菌、护胃等^[20]。而李想^[21]等发现类黄酮是影响牡丹花色形成的主要色素类型, 可推测白色和红色牡丹的肾素和 ACE 抑制活性差异亦可能受其类黄酮物质影响。

表1 不同样品水提物的功能活性与总酚和总黄酮含量的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between activities and contents of total phenols and flavonoids of different aqueous samples extracts

Pearson 相关性显著性	肾素抑制作用	ACE 抑制作用	DPPH	ABTS	FRAP	总黄酮	总酚
肾素抑制作用	1.00						
ACE 抑制作用	0.84	1.00					
DPPH	0.99	0.87	1.00				
ABTS	0.99	0.88	0.99	1.00			
FRAP	0.95	0.92	0.95	0.95	1.0		
总黄酮	0.68	0.46	0.65	0.63	0.71	1.00	
总酚	0.99	0.91	0.99	0.99	0.98	0.66	1.00

注: 在 $p < 0.01$ 检验水平下差异显著。

3 结论

本研究首次指出了红色牡丹和芍药花水提取物具有优良的肾素和 ACE 抑制活性(河南洛阳红牡丹和安徽亳州芍药花水提取物抑制肾素的 IC_{50} 值均为 0.08 mg/mL, 抑制 ACE 的 IC_{50} 值分别为 0.23 mg/mL 和 0.25 mg/mL), 且与白色牡丹花相比, 具有很高的 ABTS、

DPPH 自由基清除能力及铁离子还原能力。同时, 不同样品水提物的肾素和 ACE 抑制活性及抗氧化能力与多酚含量呈显著正相关 ($p < 0.01$)。目前正在对红色牡丹花水提取物中的肾素及 ACE 抑制活性成分进行纯化鉴定及作用机制探讨。此外, 牡丹花品系丰富, 除了常见的红色和白色花系外, 还有黄、粉、紫、墨、绿等不同花系, 有必要对不同花系样品的肾素和 ACE 抑制活性进行更深入的研究, 为新型血压调控功能因

子的挖掘及牡丹花的高值化利用及食用花卉相关产业的发展提供理论支撑。

参考文献

- [1] Zhou A, Carrell R W, Murrhy M P, et al. A redox switch in angiotensinogen modulates angiotensin release [J]. *Nature*, 2010, 468(7320): 108-111
- [2] Bekassy Z D, Ann C K, Johan R, et al. Aliskiren inhibits renin-mediated complement activation [J]. *Kidney International*, 2018, 94(4): 689-700
- [3] Girgih A T, He R, Aluko R E. Kinetics and molecular docking studies of the inhibitions of angiotensin converting enzyme and renin activities by hemp seed (*Cannabis sativa* L.) peptides [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(18): 4135-4144
- [4] Fitzgerald C, Aluko R E, Hossain M, et al. Potential of a renin inhibitory peptide from the red seaweed *Palmaria palmata* as a functional food ingredient following confirmation and characterization of a hypotensive effect in spontaneously hypertensive rats [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(33): 8352-8356
- [5] Arise A K, Alashi A M, Nwachukwu I D, et al. Inhibitory properties of Bambara groundnut protein hydrolysate and peptide fractions against angiotensin converting enzymes, renin and free radicals [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 97(9): 2834-2841
- [6] Abdel H M, Otte J, De G C, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity and antioxidant capacity of bioactive peptides derived from enzymatic hydrolysis of buffalo milk proteins [J]. *International Dairy Journal*, 2016, 66: 91-98
- [7] 高姗,李婉妮,佟长青,等.牡丹活性成分研究进展[J].农产品加工,2019,476:76-78
GAO Shan, LI Cha-cha, DONG Chang-qing, et al. Research progress of active compounds from *Paeonia suffruticosa* Andr [J]. *Farm Products Processing*, 2019, 476: 76-78
- [8] 狄飞达,张勃龙,刘一静,等.牡丹花食药成分及加工研究进展[J].农产品加工,2020,506:90-92
DI Fei-da, ZHANG Bo-long, LIU Yi-jing, et al. Research progress on food and drug composition and processing of peony flowers [J]. *Farm Products Processing*, 2020, 506: 90-92
- [9] Cienfuegos-Jovellanos E, Quinones M D M, Mugerza B, et al. Antihypertensive effect of a polyphenol-rich cocoa powder industrially processed to preserve the original flavonoids of the cocoa beans [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(14): 6156-6162
- [10] Li F J, Yin L J, Lu X, et al. Changes in angiotensin I-converting enzyme inhibitory activities during The ripening of douchi (a Chinese traditional soybean product) fermented by various starter cultures [J]. *International Journal of Food Properties*, 2010, 13(3): 512-524
- [11] Takahashi S, Hori K, Shinbo, et al. Isolation of human renin inhibitor from soybean: soyasaponin is the novel human renin inhibitor in soybean [J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2009, 72(12):3232-3236
- [12] Li F J, Ohinshi K M, Takahashi Y, et al. Tea polyphenols as novel and potent inhibitory substances against renin activity [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(40): 9697-9704
- [13] Guo M, Chen X, Wu Y, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from *Sipuncula (Phascolosoma esculenta)*: purification, identification, molecular docking and antihypertensive effects on spontaneously hypertensive rats [J]. *Process Biochemistry*, 2017, 63: 84-95
- [14] Hanafi, Mohamad, Ariff, et al. High angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity of alcalase-digested green soybean (*Glycine max*) hydrolysates [J]. *Food Research International*, 2018, 106: 589-597
- [15] 史国安,郭香凤,高双成,等.牡丹花发育过程中花瓣抗氧化活性的变化[J].园艺学报,2009,11:1685-1690
SHI Guo-an, GUO Xiang-feng, GAO Shuang-cheng, et al. Changes of antioxidant activity of peony petals during flower development [J] *Journal of Horticulture*, 2009, 11: 1685-1690
- [16] 孙泽飞.牡丹花类黄酮成分及抗氧化能力分析[D].杨凌:西北农林科技大学,2015
SUN Ze-fei. Study on flavonoids composition of the peony and its antioxidant activity analysis [D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2015
- [17] Kwon E K, Lee D Y, Lee H, et al. Flavonoids from the buds of *rosa damascena* inhibit the activity of 3-Hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme a reductase and angiotensin I-converting enzyme [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(2): 882-886
- [18] Ajibola C F, Eleyinmi A F, Aluko R E. Kinetics of the inhibition of renin and angiotensin I converting enzyme by polar and non-polar polyphenolic extracts of *Vernonia amygdalina* and *Gongronema latifolium* leaves [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2011, 66(4):320-327

(下转第 260 页)