

橄榄提取物对肾素和血管紧张素转换酶的双重抑制作用

李西西, 付玮琦, 杨文清, 李梦茹, 赵雪如, 李佳莹, 李风娟*

(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)

摘要: 该研究探讨了不同溶剂橄榄提取物对肾素-血管紧张素系统中关键酶肾素和血管紧张素转换酶 (ACE) 的抑制作用, 同时分析了其抗氧化能力和总酚、总黄酮的含量。结果表明: 有机溶剂提取物的活性相较于水提取物普遍较好, 在 0.50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 质量浓度条件下, 甲醇提取物的肾素抑制活性最高, 为 95.89%; 在 0.29 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 质量浓度条件下, 丙酮提取物的 ACE 抑制活性最高, 为 92.71%。丙酮提取物的抗氧化活性最强, ABTS⁺ 自由基清除能力为 384.86 mg TE/g DW, DPPH 自由基清除能力为 309.23 mg TE/g DW, 铁离子还原能力为 479.40 mg TE/g DW。同时丙酮提取物的总酚和总黄酮含量均最高, 分别为 318.14 mg GAE/g DW 和 45.46 mg CE/g DW。进一步相关性分析表明, 总酚与肾素和 ACE 抑制活性显著相关 ($P < 0.05$)。该研究发现橄榄提取物显示出优良的肾素和 ACE 抑制活性, 且有机溶剂提取物的活性优于水提取物, 这为新型血压调控因子的研究提供了新思路, 为橄榄资源的科学可持续开发提供了理论依据。

关键词: 橄榄; 肾素抑制活性; 血管紧张素转换酶 (ACE) 抑制活性

文章编号: 1673-9078(2023)04-96-101

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.4.0568

Dual Inhibitory Effects of Chinese Olive (*Canarium album* L.) Extract on Renin and Angiotensin-converting Enzyme

LI Xixi, FU Weiqi, YANG Wenqing, LI Mengru, ZHAO Xueru, LI Jiaying, LI Fengjuan *

(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)

Abstract: In this study, the inhibitory effects of the olive extracts obtained by different solvents on the key enzymes, renin and angiotensin-converting enzyme (ACE), in the renin-angiotensin system were investigated. At the same time, the antioxidant capacity and the contents of total phenols and total flavonoids were analyzed. The results showed that the activity of the organic solvent extract was generally higher than that of the water extract. At the concentration of 0.50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, the methanol extract had the highest renin inhibitory activity (95.89%). At the concentration of 0.29 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, the acetone extract had the highest ACE inhibitory activity (92.71%), and the strongest antioxidant activities, possessing the ABTS⁺ free radical scavenging ability of 384.86 mg TE/g DW, DPPH free radical scavenging ability of 309.23 mg TE/g DW, and iron ion reducing ability of 479.40 mg TE/g DW. Meanwhile, the contents of total phenols and total flavonoids in the acetone extract were the highest (318.14 mg GAE/g DW and 45.46 mg CE/g DW, respectively). Further correlation analysis showed that total phenols were significantly associated with renin and ACE inhibitory activities ($P < 0.05$). This study found that olive extract showed excellent renin and ACE inhibitory activities, and the activity of organic solvent extract was superior to that of water extract. These results provide a new idea for the study of new

引文格式:

李西西,付玮琦,杨文清,等.橄榄提取物对肾素和血管紧张素转换酶的双重抑制作用[J].现代食品科技,2023,39(4):96-101.

LI Xixi, FU Weiqi, YANG Wenqing, et al. Dual inhibitory effects of chinese olive (*Canarium album* L.) extract on renin and angiotensin-converting enzyme [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 96-101.

收稿日期: 2022-05-06

基金项目: 天津市自然科学基金项目 (16JCYBJC23200)

作者简介: 李西西 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 生物活性因子与功能评价, E-mail: s15145220@163.com

通讯作者: 李风娟 (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, E-mail: lijf@tust.edu.cn

blood pressure regulators and a theoretical basis for the scientific and sustainable development of olive resources.

Key words: Chinese olive (*Canarium album* L.); renin inhibitory activity; angiotensin-converting enzyme (ACE) inhibitory activity

高血压是一种严重危害健康的疾病,其主要特征为体循环动脉血压的增高。除此之外,高血压还会增加心脏、大脑、肾脏等患病的风险。高血压的发病机制复杂,受到内外部因素的共同影响。肾素-血管紧张素-醛固酮系统功能失调、巨噬细胞极化等都是参与高血压发病的重要外周调控因素^[1]。肾素-血管紧张素系统由四个主要成分组成:肾素、血管紧张素原(AGT)、血管紧张素 I 转换酶(ACE)和血管紧张素受体(AGTR1 和 AGTR2)。肾素-血管紧张素系统在调节电解质平衡、血管收缩、血管重塑和纤维蛋白溶解中发挥重要作用。其中,肾素和 ACE 是该系统中两个重要的水解酶类,对其活性的抑制有利于预防高血压的形成^[2]。由于长期服用抗高血压药物具有一定的副作用^[3],食源性天然肾素和 ACE 抑制剂日益受到人们的关注,如菜籽蛋白酶解物^[4]、芝麻籽分离蛋白酶解物^[5]、茶提取物^[6]、牡丹花提取物^[7]等,这为通过膳食干预预防及辅助治疗高血压开拓了新思路。

橄榄(*Canarium album* L.)原产自我国南方地区,目前在福建、广东、广西等地均有栽培^[8]。橄榄又名青果、白榄等,与欧洲橄榄(*Olea europaea* L.)是两种不同科属的植物。橄榄是一种富含多酚的功能性水果,是传统的药食两用类植物,《本草纲目》中对橄榄有“治咽喉痛”的记载,现已被我国卫生健康委员会评为药食同源食品。根据已有报道橄榄提取物在抗神经炎、抗氧化、调节血糖等方面具有良好的药用价值^[9]。除此之外,橄榄富含蛋白质、维生素等营养物质,含有 8 种人体必须的氨基酸,具有良好的营养价值。在以往,橄榄多用于加工成蜜饯、橄榄菜、果汁、茶等食品,近年来也出现了橄榄咀嚼片、橄榄口服液等新型产品。本研究旨在探讨橄榄不同溶剂提取物的肾素和 ACE 抑制活性,同时由于氧化损伤与高血压的发生发展关系密切,进一步考察了橄榄提取物的抗氧化性能,并对酚类、黄酮类物质的含量与其功能活性的相关性进行分析,以期为食源性血压调控因子新资源的挖掘及橄榄的高值化综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

檀香橄榄,产自福建省闽清县。

1.2 主要试剂

肾素抑制剂筛选试剂盒购自美国 Cayman 公司,马尿酸组氨酰亮氨酸(HHL)、邻苯二甲醛(OPA)、血管紧张素转换酶(ACE)、2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)、三吡啶基三嗪(TPTZ)、没食子酸(GA)均购自美国 Sigma-Aldrich 公司,Folin-Ciocalteu 试剂购于北京索莱宝公司,1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)购于梯希爱(上海)化成工业发展有限公司,Trolox 购自美国 MCE 公司。其他试剂均为分析纯试剂。

1.3 主要仪器和设备

ALPHA 2-4 LD 型真空冷冻干燥机,德国 Christ 公司;RVC 2-25 CD 型真空离心浓缩仪,德国 Christ 公司;Model 1680 型酶标仪,瑞士 Tecan 公司;Flx-800 型荧光酶标仪,美国 BioTek 公司。

1.4 实验方法

1.4.1 原料的处理

新鲜橄榄去除果核,将果肉切块,冻干打粉。以固液比 1:20 的比例,加入溶剂,涡旋振荡 2 min,超声 30 min,摇床 6 h,3 500 r/min 离心 15 min,收集上清液,真空冷冻干燥(使用有机溶剂时旋蒸后再冻干)后得到样品粉末,用以配成不同浓度的提取液。结合文献及课题组先前研究选用 $\varphi=70\%$ 甲醇、 $\varphi=60\%$ 乙醇、 $\varphi=60\%$ 丙酮以及纯水对橄榄进行提取。

1.4.2 肾素抑制活性的测定

根据肾素试剂盒,以 96 孔酶标板为反应容器。将缓冲液和肾素酶在低温温度下 1:10 稀释后备用。空白组加入 20 μL 底物,150 μL 缓冲液,10 μL 纯水,10 μL 缓冲液;空白对照组加入 20 μL 底物,150 μL 缓冲液,10 μL 纯水;样品组加入 20 μL 底物,150 μL 缓冲液,10 μL 样品溶液。然后向空白对照组和样品组的每个孔中加入 10 μL 肾素酶使反应启动。在微孔板混合器上混匀,置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应 30 min。以激发波长 340 nm,发射波长 528 nm 检测其荧光强度。肾素抑制率的计算公式如下:

$$S_1 = \left(1 - \frac{F_1 - F}{F_2 - F} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

S_1 ——肾素抑制率, %;

F ——空白反应液的荧光强度;

F_1 ——样品反应液的荧光强度;

F_2 ——空白对照反应液的荧光强度。

1.4.3 ACE 抑制活性的测定

ACE 抑制活性的测定参照 Wang 等^[10]的测定方法。以 96 孔酶标板为反应容器。提前配制试剂: 以 4 mg 的 HHL 溶于 2 mL 的 0.6 mmol/L NaCl-0.4 mmol/L 磷酸盐溶液中, 配成 HHL 溶液。以 10 mg 的 OPA 溶于 5 mL 甲醇溶液中, 配成 $m=2\%$ 的 OPA 溶液。将 ACE 酶液在低温环境中稀释到 12.5 mU/mL 备用。96 孔板中加入 15 μL 样品溶液, 30 μL HHL 溶液, 30 μL 酶液, 在微孔板混合器上混匀后于 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应 60 min, 加入 120 μL NaOH 溶液终止酶反应, 加入 30 μL 的 OPA 溶液, 再次混匀后于室温下反应 20 min, 最后加入 30 μL 的 6 mmol/L 的 HCL 溶液终止衍生反应。对照实验以等量纯水代替样品溶液, 空白实验以等量纯水代替酶液。以激发波长 340 nm, 发射波长 455 nm 检测其荧光强度。ACE 抑制率计算公式如下:

$$S_2 = \left(1 - \frac{F_1 - F_2}{F_3 - F_4} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

S_2 ——ACE 抑制率, %;

F_1 ——样品溶液和 ACE 酶液都存在时的荧光强度;

F_2 ——样品溶液存在而不加 ACE 酶液时的荧光强度;

F_3 ——样品溶液不存在而 ACE 酶液存在时的荧光强度;

F_4 ——样品溶液和 ACE 酶液都不存在时的荧光强度。

1.4.4 ABTS⁺ 自由基清除能力的测定

ABTS⁺ 自由基清除能力的测定参考 Re^[11]的实验方法并加以改进。以 96 孔酶标板为反应容器。以 ABTS (7 mmol/L) 和 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (2.45 mmol/L) 2:1 的比例混合显色, 在黑暗条件下保持室温过夜孵育。将 ABTS 溶液在 734 nm 处的吸光度调整至 0.7 ± 0.02 , 在 100 μL 的 ABTS 溶液中加入 100 μL 的不同溶剂提取的橄榄样液。将反应混合物在室温下在黑暗条件下孵育 10 min, 然后在 734 nm 处测量吸光度。以 Trolox 为标准品。将样品的 ABTS⁺ 自由基清除能力表示为 Trolox 当量, 记为 mg TE/g DW。

1.4.5 DPPH 自由基清除能力的测定

DPPH 自由基清除能力的测定参考 Brand 等^[12]的实验方法并加以改进。以 96 孔酶标板为反应容器。在 100 mL 甲醇溶液中配制 DPPH 溶液 (0.1 mmol/L)。将 100 μL 的不同溶剂提取的橄榄样液添加到 100 μL 的 DPPH 溶液中。将反应混合物在黑暗中孵育 20 min 并使用紫外-可见分光光度计在 517 nm 处测量其吸光度。以 Trolox 为标准品。将样品的 DPPH 自由基清除能力表示为 Trolox 当量, 记为 mg TE/g DW。

1.4.6 铁离子还原能力的测定

铁离子还原能力的测定参考 Benzie 等^[13]的实验方法并加以改进。以 96 孔酶标板为反应容器。将 300 mmol/L 醋酸盐缓冲液 (pH 值 3.6)、10 mmol/L 的 TPTZ 溶液和 20 mmol/L 的 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 以 10:1:1 的比例混合, 并加热至 37 $^{\circ}\text{C}$ 来制备 FRAP 工作试剂。将 3.1 g 三水合乙酸钠 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 与 16 mL 冰醋酸混合并用蒸馏水稀释至 1 L 来制备 300 mmol/L 的醋酸盐缓冲液。TPTZ 溶液 (10 mmol/L) 在 40 mmol/L 的 HCL 溶液中制备。向 150 μL 的 FRAP 工作试剂中添加 20 μL 的不同溶剂提取的橄榄样液。将混合物置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 下孵育 10 min, 在 593 nm 波长处测定紫外吸光度。以 Trolox 为标准品。将样品的铁离子还原能力表示为 Trolox 当量, 记为 mg TE/g DW。

1.4.7 总酚含量的测定

96 孔板中加入 100 μL 样品溶液、100 μL 的 Folin-Ciocalteu 显色剂和 100 μL 10% 的 Na_2CO_3 , 37 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 60 min, 于 750 nm 处检测吸光值。以没食子酸为标准品。将样品的总酚含量表示为没食子酸当量, 记为 mg GAE/g (以干质量计)。

1.4.8 总黄酮含量的测定

96 孔板中加入 20 μL 样品溶液、125 μL 纯水和 75 μL $m=5\%$ 的 NaNO_2 溶液, 混匀反应 6 min 后再加入 15 μL $m=10\%$ 的 AlCl_3 溶液。室温下反应 5 min 后加入 50 μL NaOH 溶液, 于 510 nm 处测定紫外吸光度。以儿茶素为标准品。将样品的总黄酮含量表示为儿茶素当量, 记为 mg CE/g (以干质量计)。

1.4.9 数据分析

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 软件进行相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 不同溶剂橄榄提取液的肾素和 ACE 抑制活性

四种不同溶剂橄榄提取物的肾素及 ACE 抑制活性如图 1 所示。其中肾素抑制实验中的体系浓度为 0.50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, ACE 抑制实验中的体系浓度为 0.29 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 。可以看出, 与水提取液相比, 有机溶剂提取液的肾素及 ACE 抑制活性普遍较高, 甲醇提取物的肾素抑制率达到 95.89%, 丙酮提取物的 ACE 抑制率达到 92.71%, 纯水提取物的肾素和 ACE 抑制率分别为 70.98% 和 79.53%, 符合之前的实验结果。对比已报道的具有肾素和 ACE 抑制作用的物质: 牡丹花水提取物的肾素抑制率为 71.25%, ACE 抑制率为 44.89%; 玫

玫瑰花水提物的肾素抑制率为 42.19%，ACE 抑制率为 61.50%；槐花水提物的 ACE 抑制率为 81.61%^[14]；可以发现，橄榄提取物显现出对肾素和 ACE 的双重抑制活性，且本实验中的橄榄提取物的肾素及 ACE 抑制活性均在 70% 以上，具有较强的抑制作用。

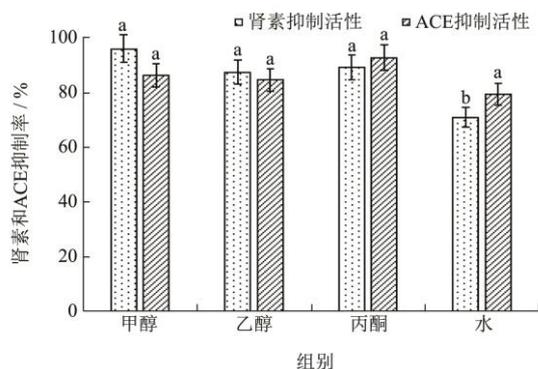


图 1 不同溶剂橄榄提取液的肾素及 ACE 抑制活性

Fig.1 Renin and ACE inhibitory activity of olive samples extracted with different solvents

注：不同字母表示 $P < 0.05$ 时有显著差异，图 2、3 同。

2.2 不同溶剂橄榄提取液的抗氧化能力

不同溶剂橄榄提取液的抗氧化能力如图 2 所示。与肾素和 ACE 抑制能力类似，有机溶剂提取液的抗氧化能力优于水提取液。ABTS 自由基清除方面，各提取物的体系质量浓度为 $0.12 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 。丙酮提取物达到了 384.86 mg TE/g ，甲醇提取物达到了 350.78 mg TE/g ，乙醇和水提取物分别为 290.78 和 226.50 mg TE/g 。DPPH 自由基清除方面，体系质量浓度为 $0.10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 。同样是丙酮提取物能力最强，达到了 309.23 mg TE/g ，甲醇提取物为 297.65 mg TE/g ，乙醇提取物为 258.53 mg TE/g ，水提取物为 188.62 mg TE/g 。铁离子还原的能力体系质量浓度为 $0.12 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ ，其中丙酮提取物的铁离子还原能力为 479.40 mg TE/g ，甲醇提取物为 455.33 mg TE/g ，乙醇提取物为 405.70 mg TE/g ，水提物为 245.30 mg TE/g 。综合来看，丙酮提取物的抗氧化能力最好，甲醇其次。Putri 等^[15]采用不同溶剂对霞珠 (*Nephelium ramboutan-ake*) 叶进行了提取，结果发现乙醇提取物具有最高的 DPPH 自由基清除能力，几乎接近维生素 C 的效果。Ranjha 等^[16]采用不同溶剂对苹果皮和石榴皮进行了提取，结果发现 $\varphi=75\%$ 丙酮的苹果皮提取物对 DPPH 自由基的清除能力最强，达到了 81.05% ； $\varphi=50\%$ 甲醇的石榴皮提取物对 DPPH 自由基的清除能力最强，达到了 93.84% 。Sathiyaseelan 等^[17]采用不同溶剂对平卧菊三七 [*Gynura procumbens* (Lour.) Merr] 进行了提取，研究发现乙酸乙酯提取物对 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基均

具有最高的清除能力，其 IC_{50} 分别为 144 和 $72 \mu\text{g}/\text{mL}$ 。结合文献来看抗氧化方面有机溶剂提取普遍比纯水效果好。

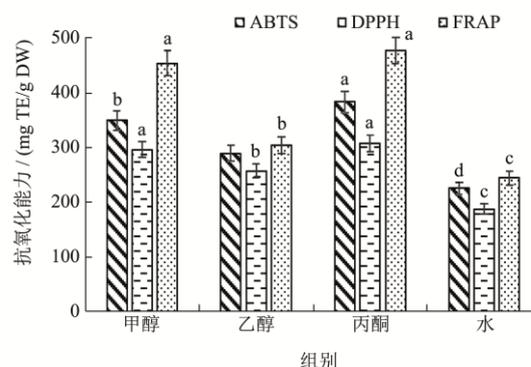


图 2 不同溶剂橄榄提取液的抗氧化能力

Fig.2 Antioxidative capacity of olivesamples extracted with different solvents

2.3 不同溶剂提取橄榄的总酚、总黄酮含量分析

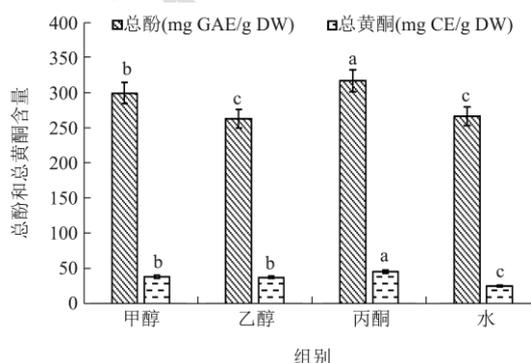


图 3 不同溶剂橄榄提取液的总酚及总黄酮含量

Fig.3 Contents of total phenols and total flavonoids in olive samples extracted with different solvents

四种不同溶剂提取物的总酚和总黄酮含量见图 3。其中丙酮提取物的总酚和总黄酮含量均为最高，分别为 318.14 和 45.46 mg CE/g ；甲醇提取的总酚和总黄酮含量第二，分别为 300.44 和 38.58 mg CE/g ；乙醇提取的总酚和总黄酮含量与甲醇接近，分别为 264.37 和 37.78 mg CE/g ；纯水总酚和总黄酮含量最低，分别为 257.45 和 25.71 mg CE/g 。He 等^[18]为了确定橄榄酚类物质的最佳提取溶剂，以酚类化合物得率为指标，评价了多种溶剂的提取效果，发现 $60\% \sim 70\%$ 的丙酮溶液提取的得率最高。Chang 等^[19]以橄榄中多酚的提取量为考量指标，对橄榄多酚的有机溶剂提取工艺进行了优化，发现在料液比 $1:60$ 、提取时间 60 min 、提取温度 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 50% 乙醇浓度条件下提取效果最佳，其橄榄多酚提取量可达到 79.07 mg/g 。Malathy 等^[20]以不同溶剂对人参进行了提取，发现甲醇提取物的总酚和总黄酮含量均为最高，分别为 95.21 和 50.21 mg/g 。文

献及预实验表明水和纯溶剂提取时的总酚及总黄酮含量都比较低,推测是由于橄榄果实中富含蛋白质、糖类等物质,酚类物质中的羟基和氨基酸的 $-NH_3^+$ 基团形成氢键,使得蛋白质与酚发生交联作用;酚类化合物的羟基与多糖中的官能团发生反应,以氢键、疏水键等形式形成多糖-酚的复合物。然而此类连接作用无法被纯水或纯有机溶剂有效断裂,从而导致了纯水或纯有机溶剂提取的总酚和总黄酮含量较低。

2.4 相关性分析

对不同溶剂橄榄提取物的各方面活性及总酚、总黄酮含量进行了 Pearson 相关性分析,所得相关系数如表 1 所示。对于檀香橄榄而言,肾素抑制活性和 ACE 抑制活性相关系数为 0.94,未显示出显著的相关性 ($P<0.05$)。而肾素抑制活性分别与抗氧化方面的 ABTS⁺自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力的相关系数达到了 0.95、0.95 和 0.98,均表现出显著的相关性 ($P<0.05$),即肾素抑制活性分别与 ABTS⁺自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力呈正相关,表明抑制肾素作用的物质可能有较强的抗氧化能力。同时,肾素抑制活性与总酚含量也表现出显著的相关性 ($P<0.05$),即总酚含量对抑制肾素活性起到了较大作用,推测橄榄中起抑制肾素作用的物质可能为酚类物质,这与课题组之前的研究一致。ACE 抑制活性同样与 ABTS⁺自由基清除能力、铁离子还原能力相关性显著 ($P<0.05$),说明起到 ACE 抑制作用的物质一定程度上有较强的 ABTS⁺自由基清除能力和铁离子还原能力。同时,ACE

抑制活性和总酚含量的相关系数达到了 0.96,即在 $P<0.05$ 时相关性显著。说明酚类物质同样在 ACE 抑制作用中起到了较大作用,可以推测起到 ACE 抑制作用的物质为酚类物质。另一方面需要关注的是,总酚含量与 ABTS⁺自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力均在 $P<0.01$ 时达到了相关性极显著,相关性系数均达到了 0.99,即酚类物质具有较强的 ABTS⁺自由基清除能力和 DPPH 自由基清除能力;总酚含量与铁离子还原能力的相关系数也达到了 0.96。总体来看酚类物质具有较强的抗氧化能力,这符合先前的研究结果。

根据本次实验的相关性分析可以发现,酚类物质的含量与肾素抑制作用和 ACE 抑制作用有正相关关系,同时也发挥了较强的抗氧化能力。Kowalski 等^[21]对十种黑加仑做了研究,发现总酚含量最高的两种,其抗氧化能力也最强。孙悦等^[22]研究苹果多酚对蟾蜍心脏活动的影响及其机制,发现苹果多酚可以显著抑制蟾蜍心肌收缩力,其作用机制可能与抑制 β 受体和减少钙内流有关。Takagaki 等^[23]研究了大鼠肠道细菌产生的表没食子儿茶素没食子酸酯代谢物对 ACE 的抑制作用,表没食子儿茶素没食子酸酯为茶多酚中的主要成分,结果其表现出一定的 ACE 抑制活性,且以自发性高血压大鼠为模型,发现这其代谢物在体内均有降血压作用。结合实验及已有文献可以发现,酚类物质在具有抗氧化性的同时还对心血管疾病的调控具有潜在的作用,而在橄榄中具有较强抗氧化性和肾素、ACE 双重抑制作用的物质推测为酚类物质,因此进行进一步的研究具有积极意义。

表 1 不同溶剂橄榄提取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 functional activities of different solvent extracts and total phenolic and total flavonoid content

Pearson 相关性显著性	肾素抑制活性	ACE 抑制活性	ABTS	DPPH	FRAP	总酚	总黄酮
肾素抑制活性	1.00						
ACE 抑制活性	0.94	1.00					
ABTS	0.95*	0.98*	1.00				
DPPH	0.95*	0.94	0.98*	1.00			
FRAP	0.98*	0.98*	0.97*	0.94	1.00		
总酚	0.96*	0.96*	0.99**	0.99**	0.96*	1.00	
总黄酮	0.83	0.90	0.94	0.95*	0.86	0.94	1.00

注: *表示 $P<0.05$ 水平,相关性显著; **表示 $P<0.01$ 水平,相关性极显著。

3 结论

本研究发现橄榄提取物表现出优良的肾素和 ACE 的抑制作用,且有机溶剂提取物的活性优于水提取物,同时发现不同溶剂提取物的肾素、ACE 抑制活

性、抗氧化能力均与总酚含量成正相关。目前正在进一步分离纯化橄榄中起肾素和 ACE 双重抑制作用的活性物质,并对活性单体的血压调控机制进行探讨,为食源高活性肾素、ACE 双重抑制剂的研发提供新思路,亦为橄榄资源的高值化利用提供理论依据。

参考文献

- [1] Yu S, Zhang Y. The association between isolated systolic or diastolic hypertension and cardiovascular risk [J]. *Journal of Hypertension*: 2021, 39(8): 1552-1554.
- [2] Elavarasan K, Shamasundar B A, Badii F, et al. Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activity and structural properties of oven- and freeze-dried protein hydrolysate from fresh water fish (*Cirrhinus mrigala*) [J]. *Food Chemistry*, 2016, 206(sep. 1): 210-216.
- [3] Gu F, Jiang J, Wang S, et al. An experimental research into the potential therapeutic effects of anti-osteoporosis decoction and Yougui pill on ovariectomy-induced osteoporosis [J]. *American Journal of Translational Research*, 2019, 11(9): 6032-6039.
- [4] He R, Sunday A. M, Alashi A, et al. Purification and hypotensive activity of rapeseed protein-derived renin and angiotensin converting enzyme inhibitory peptides [J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(2): 781-789.
- [5] Aondona M M, Ikya J K, Ukeyima M T, et al. *In vitro* antioxidant and antihypertensive properties of sesame seed enzymatic protein hydrolysate and ultrafiltration peptide fractions [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2021, 45(1): e13587.
- [6] Li F J, Ohnishi K M, Takahashi Y, et al. Tea polyphenols as novel and potent inhibitory substances against renin activity [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2013, 61(40): 9697-9704.
- [7] 高一芳,刘雪婷,闫仲丽,等.牡丹花水提取物对肾素和 ACE 的双重抑制作用[J].*现代食品科技*,2020,37(2):114-119.
- [8] Ito M, Shimura H, Watanabe N, et al. Hepatoprotective compounds from *Canarium album* and *Euphorbia nematocarpa* [J]. *Chemical Pharmaceutics Bulletin (Tokyo)*, 1990, 38(8): 2201-2203.
- [9] 赖瑞联,陈瑾,韦晓霞,等.中国橄榄研究 40 年[J].*热带作物学报*,2020,41(10):2045-2054.
- [10] Wang Y R, Li F J, Chen M H, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activities of Chinese traditional soy-fermented douchi and soypaste: effects of processing and simulated gastrointestinal digestion [J]. *International Journal of Food Properties*, 2015, 18(4): 934-944.
- [11] Re R. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, 26(9-10): 1231-1237.
- [12] Brand W W, Cuvelier M E, Berset C L W T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 1995, 28(1): 25-30.
- [13] Benzie I, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay [J]. *Analytical Biochemistry*, 1996, 239(1): 70-76.
- [14] Gao Y F, Liu X T, Yang W Q, et al. Dual inhibition of the renin and angiotensin converting enzyme activities of aqueous extracts of 22 edible flower petals [J]. *RSC Advances*, 2022, 12, 4191-4198.
- [15] Putri A S, Pasedan W F, Kusuma I W, et al. Antioxidant and antibacterial activity from three different solvents of *Nephelium ramboutan-ake* leaves crude extract [C]// Joint Symposium on Tropical Studies (JSTS-19), 2021.
- [16] Ranjha M M A N, Amjad S, Ashraf S, et al. Extraction of polyphenols from apple and pomegranate peels employing different extraction techniques for the development of functional date bars [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2021, sup3: S1201-S1221.
- [17] Sathiyaseelan A, Park S, Saravanakumar K, et al. Evaluation of phytochemicals, antioxidants, and antidiabetic efficacy of various solvent fractions of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr [J]. *Process Biochemistry*, 2021, 111(1): 51-62.
- [18] He Z, Xia W S. Nutritional composition of the kernels from *Canarium album* L [J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(3): 808-811.
- [19] Chang Q, Su M H, Chen Q X, et al. Physicochemical properties and antioxidant capacity of Chinese olive (*Canarium album* L.) cultivars [J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(6): 1369-1377.
- [20] Malathy R, Prabakaran M, Kalaiselvi K, et al. Comparative polyphenol composition, antioxidant and anticorrosion properties in various parts of panax ginseng extracted in different solvents [J]. *Applied Sciences*, 2020, 11(1): 93.
- [21] Kowalski R, Mejia E. Phenolic composition, antioxidant capacity and physical characterization of ten blackcurrant (*Ribes nigrum*) cultivars, their juices, and the inhibition of type 2 diabetes and inflammation biochemical markers [J]. *Food Chemistry*, 2021, 359: 129889.
- [22] 孙悦,李晓,刘梅芳.苹果多酚对蟾蜍心脏活动的影响及其机制[J].*济宁医学院学报*,2020,43(1):19-23.
- [23] Takagaki A, Nanjo F. Effects of Metabolites produced from-epigallocatechin gallate by rat intestinal bacteria on angiotensin I-converting enzyme activity and blood pressure in spontaneously hypertensive rats [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2015, 63(37): 8262-8268.