

天然抗氧化剂

DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210457

不同产地凤丹籽乙醇提取物中多酚含量 及其抗氧化、降糖活性

刘少静^{1,2,3}, 郭美琳⁴, 秦青青¹, 李文¹, 余丽丽^{1,3}, 杨宽^{1,3}, 秦蓓^{1,3}

(1. 西安医学院药学院, 西安 710021; 2. 西北大学化工学院, 西安 710069; 3. 西安医学院药物研究所, 西安 710021;
4. 陕西省粮油科学研究院, 西安 710082)

摘要:以4个产地(陕西宝鸡、山东菏泽、安徽亳州、安徽铜陵)凤丹籽为研究对象,采用福林酚法测定凤丹籽提取物(90%乙醇提取)中多酚含量,以DPPH、ABTS⁺自由基清除实验评价其抗氧化活性,通过对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用评价其降糖活性,并运用液相色谱-加热电喷雾电离串联质谱法(LC-MS/MS-HESI)对活性最佳的凤丹籽提取物中的多酚类物质进行分析。结果表明:安徽铜陵凤丹籽提取物多酚含量最高,为40.69 mg/g;4个产地凤丹籽提取物均具有一定抗氧化活性和降糖活性,且抗氧化活性和降糖活性从强到弱依次为安徽铜陵>安徽亳州>山东菏泽>陕西宝鸡;从安徽铜陵凤丹籽提取物中鉴定出24种多酚类化合物。安徽铜陵凤丹籽提取物的多酚含量及抗氧化、降糖活性优于其他3个产地,拥有良好的应用前景。

关键词:凤丹籽;不同产地;多酚;抗氧化活性;降糖活性

中图分类号:TS229; TS201.2 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)11-0057-06

Polyphenols content, antioxidant and hypoglycemic activities of Fengdan seed ethanol extract from different producing areas

LIU Shaojing^{1,2,3}, GUO Meilin⁴, QIN Qingqing¹, LI Wen¹, YU Lili^{1,3},
YANG Kuan^{1,3}, QIN Bei^{1,3}

(1. College of Pharmacy, Xi'an Medical University, Xi'an 710021, China; 2. College of Chemical Engineering, Northwest University, Xi'an 710069, China; 3. Institute of Medicine, Xi'an Medical University, Xi'an 710021, China; 4. Shaanxi Grain and Oil Research Institute, Xi'an 710082, China)

Abstract: Fengdan seeds from four producing areas (Baoji (Shaanxi), Heze (Shandong), Bozhou (Anhui), Tongling (Anhui)) were used as the research objects, the polyphenols content of Fengdan seed ethanol extract was determined by Folin-Ciocalteu method. The antioxidant activity of the extract was evaluated by DPPH and ABTS⁺ radical scavenging experiments, and the hypoglycemic activity was evaluated by studying the inhibitory effect on α -glycosidase enzymes. Finally, the polyphenols compounds in the Fengdan seed extract with the best activity were analyzed by LC-MS/MS-HESI. The results showed that the content of polyphenols in Fengdan seed extract from Tongling, Anhui was the highest (40.69 mg/g). The Fengdan seed extracts from four producing areas had certain antioxidant and

收稿日期:2021-08-01;修回日期:2021-09-21

基金项目:西安市科技局项目(2020KJRC0135);西安医学院配套基金项目(2018PT61);西安医学院校级重点药理学学科项目(西安发[2019]96号)

作者简介:刘少静(1984),女,副教授,硕士,研究方向为天然产物研究与开发(E-mail)liushaojingbmgw@163.com。

通信作者:秦蓓,教授(E-mail)qinbei0526@163.com。

hypoglycemic activities, and the activity of Fengdan seed extract from Tongling, Anhui was the best, followed by Bozhou (Anhui), Heze (Shandong) and Baoji (Shaanxi). A total of 24 polyphenols compounds were identified from Fengdan seed extract from Tongling, Anhui. The polyphenols content, antioxidant and hypoglycemic

activities of Fengdan seed extract from Tongling, Anhui were better than those of the other three producing areas, and had a good application prospect.

Key words: Fengdan seed; different producing areas; polyphenols; antioxidant activity; hypoglycemic activity

牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andrews)是芍药科、芍药属植物,为多年生落叶灌木,在我国分布广泛^[1-2]。近年来,油用牡丹作为一种木本油料植物越来越受到人们的重视和认可。基于优异的结籽率和出油率,紫斑牡丹(*Paeonia rockii*)和凤丹(*Paeonia ostii*)成为市场上油用牡丹的两大主要品种,其籽被开发用于食用油生产^[3-6]。由于牡丹籽油中不饱和脂肪酸含量(>90%)和亚麻酸含量(>40%)非常高,营养价值高。因此,我国多地(山东、陕西、河南、安徽)响应号召,大面积种植油用牡丹(主要为凤丹品种)^[7-11]。

凤丹籽含有萜类、多酚等多种活性成分^[12-14]。多酚是植物体内重要的次生代谢产物,具有多元酚结构,有抗氧化、降血糖、降血脂、抗菌、预防心血管疾病等作用^[15-16]。相关文献报道,植物次生代谢产物的合成和积累受产地、品种、基因等多个因素的影响^[5]。为考察不同产地凤丹籽的品质,更好地对其进行综合开发利用,本研究以4个产地(陕西宝鸡、山东菏泽、安徽亳州、安徽铜陵)的凤丹籽为原料,对凤丹籽乙醇提取物的多酚含量进行了测定,并探究了其抗氧化活性及降糖活性,以期凤丹籽的开发利用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

凤丹籽,分别采自陕西宝鸡、安徽亳州、安徽铜陵、山东菏泽。抗坏血酸(V_C),天津市大茂化学试剂厂;二苯代苦味酰基自由基(DPPH 自由基),上海思域化工科技有限公司;2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS⁺ 自由基),上海萨恩化学技术有限公司;对硝基苯- α -D-葡萄糖吡喃苷(PNPG)、阿卡波糖、 α -葡萄糖苷酶,上海腾准生物科技有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

Q Exactive Plus 质谱仪、U3000 高效液相色谱仪,美国赛默飞世尔科技公司;KQ5200E 型超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;SHZ-D(III)循环水式真空泵,巩义市予华仪器有限责任公司;N-1110 型旋转蒸发仪、FD-1000 型冷冻干燥机,东京

理化器械株式会社;AX224ZH 型分析天平,奥豪斯仪器(常州)有限公司;Multiskan FC 自动全波长酶标仪,赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 凤丹籽提取物的制备

称取粉碎后的4个不同产地凤丹籽样品各约20 g,分别置于具塞锥形瓶中,以料液比1:8加入90%乙醇,在室温下冷浸48 h后,于30℃、40 kHz下超声提取2 h,抽滤,收集滤液,滤渣重复提取2次,合并3次提取液,减压浓缩至无醇味,然后加水分散均匀,冷冻干燥至粉末状,制得4个产地凤丹籽乙醇提取物样品,于4℃冷藏备用。4个产地凤丹籽乙醇提取物样品分别记为宝鸡凤丹籽提取物(BJ-Z)、菏泽凤丹籽提取物(HZ-Z)、亳州凤丹籽提取物(BZ-Z)和铜陵凤丹籽提取物(TL-Z)。

1.2.2 多酚含量测定

采用福林酚法测定多酚含量。向EP管中加入15 μ L 没食子酸标准溶液与250 μ L 福林酚试剂(预先采用去离子水将福林酚试剂稀释10倍),混合均匀,放置5 min;加入100 μ L 75 mg/mL的 Na_2CO_3 溶液,混匀后放置2 h;采用酶标仪于760 nm波长下测定吸光度,复孔3次。以没食子酸为标准品,以没食子酸质量浓度(2、4、6、8、10、12 μ g/mL)(x)为横坐标,吸光度(y)为纵坐标,绘制标准曲线,得到线性回归方程为 $y = 0.05963x + 0.03867$ ($R^2 = 0.9983$)。将凤丹籽提取物溶解于水中,取15 μ L于EP管中,按标准曲线绘制方法得到吸光度,根据标准曲线计算凤丹籽提取物中多酚含量。

1.2.3 抗氧化活性测定

1.2.3.1 DPPH 自由基清除能力

吸取100 μ L 系列质量浓度(12.5、25、50、100、200 μ g/mL)的样品溶液,与100 μ L DPPH 自由基工作液(无水乙醇配制,吸光度为 0.80 ± 0.02)于96孔板中混匀,室温下避光反应30 min,于517 nm处测定吸光度(A_1)。以无水乙醇代替DPPH 自由基工作液进行上述操作,于517 nm处测定吸光度(A_2)。以无水乙醇代替样品溶液,于517 nm处测定吸光度(A_0)作为空白对照。以 V_C 为阳性对照,

复孔3次。根据下式计算样品对 DPPH 自由基的清除率(Y_1)。

$$Y_1 = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

1.2.3.2 ABTS⁺ 自由基清除能力

吸取 50 μL 系列质量浓度 (12.5、25、50、100、200 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 的样品溶液, 与 150 μL ABTS⁺ 自由基工作液于 96 孔板中混匀, 室温下避光反应 30 min, 于 734 nm 处测定吸光度(A_1)。以无水乙醇代替 ABTS⁺ 自由基工作液进行上述操作, 于 734 nm 处测定吸光度(A_2)。以无水乙醇代替样品溶液, 于 734 nm 处测定吸光度(A_0)作为空白对照。以 V_c 为阳性对照, 复孔 3 次。根据下式计算样品对 ABTS⁺ 自由基的清除率(Y_2)。

$$Y_2 = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\% \quad (2)$$

1.2.4 对 α -葡萄糖苷酶的抑制能力

称取各凤丹籽提取物及阿卡波糖适量, 分别配制成 6 mg/mL 的母液, 用 PBS 缓冲液稀释成系列质量浓度 (1、2、3、4、5 mg/mL) 测试样液。参照文献 [17-18] 方法, 实验分为空白对照组、空白对照背景组、样品组、样品背景组。向 96 孔板中依次加入 PBS 缓冲液、样品溶液、PNPG 溶液。混匀后于 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温孵育 15 min, 再加入 α -葡萄糖苷酶溶液, 充分混匀, 于 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴反应 30 min, 加入 Na_2CO_3 终止液。根据上述反应程序及表 1 中各试剂用量, 对每组反应体系加入相应试剂进行反应后, 在 405 nm 波长处测定吸光度, 每个样品复孔 3 次。按照下式计算对 α -葡萄糖苷酶的抑制率(Y_3)。

$$Y_3 = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3 - A_0}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: A_1 为样品组吸光度; A_2 为样品背景组吸光度 (以 PBS 溶液代替酶溶液); A_3 为空白对照组吸光度 (以 PBS 溶液代替样品液); A_0 为空白对照背景组吸光度 (以 PBS 溶液代替样品液和酶溶液)。

表 1 α -葡萄糖苷酶活性抑制实验反应体系 μL

组别	PBS 缓冲液	样品溶液	PNPG 溶液	酶溶液	终止液
空白对照组	50	0	30	30	50
空白对照背景组	80	0	30	0	50
样品背景组	50	30	30	0	50
样品组	20	30	30	30	50

1.2.5 多酚类物质的测定

采用液相色谱-加热电喷雾电离串联质谱

法 (LC-MS/MS-HESI) 测定凤丹籽提取物中多酚类物质。

液相色谱条件: Waters BEH C_{18} 色谱柱 (2.1 mm \times 100 mm, 1.8 μm); 流动相为 0.1% 甲酸水 (A) - 乙腈 (B), 梯度洗脱 (0 ~ 2 min 10% B, 2 ~ 3 min 10% ~ 40% B, 3 ~ 16 min 40% ~ 95% B, 16 ~ 18 min 95% B, 18 ~ 20 min 95% ~ 5% B, 20 ~ 22 min 5% B); 柱温 30 $^{\circ}\text{C}$; 流速 0.2 mL/min。

质谱条件: 加热电喷雾电离源 (HESI), 喷雾电压 -3.0 kV, 鞘气 (N_2) 压力 35 arb, 辅助气 (N_2) 压力 10 arb, 毛细管温度 350 $^{\circ}\text{C}$, 汽化室温度 325 $^{\circ}\text{C}$, 扫描范围 (m/z) 80 ~ 1 200。

2 结果与讨论

2.1 不同产地凤丹籽提取物中多酚含量比较 (见表 2)

表 2 不同产地凤丹籽提取物中多酚含量

样品	多酚含量/(mg/g)
BJ-Z	30.79 \pm 2.52
HZ-Z	33.19 \pm 1.37
BZ-Z	36.38 \pm 2.44
TL-Z	40.69 \pm 2.09

由表 2 可见, 4 个产地凤丹籽提取物中多酚含量由大到小依次为安徽铜陵 > 安徽亳州 > 山东菏泽 > 陕西宝鸡。其中安徽铜陵凤丹籽提取物中多酚含量相较于其他 3 个产地具有一定优势, 为 40.69 mg/g, 陕西宝鸡凤丹籽提取物的多酚含量最低, 为 30.79 mg/g。结果提示不同产地凤丹籽受温度、湿度、气候、地域等因素的影响, 多酚含量存在一定的差异性。安徽铜陵属北亚热带湿润季风气候, 全年气候温和湿润, 湿度较大, 雨量适中, 日照充足, 无霜期长。推测基于安徽铜陵特殊的气候、地理位置等, 其凤丹籽品质较优。

2.2 不同产地凤丹籽提取物的抗氧化能力

不同产地凤丹籽提取物对 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基的清除能力分别见图 1、图 2, 其清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 及回归方程见表 3, 清除 ABTS⁺ 自由基的 IC_{50} 及回归方程见表 4。

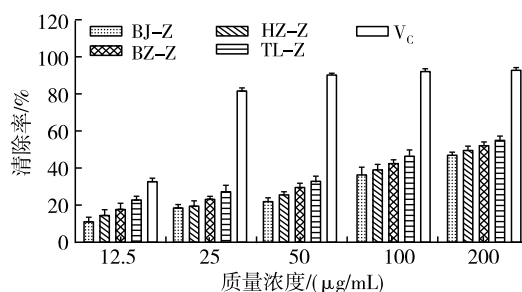
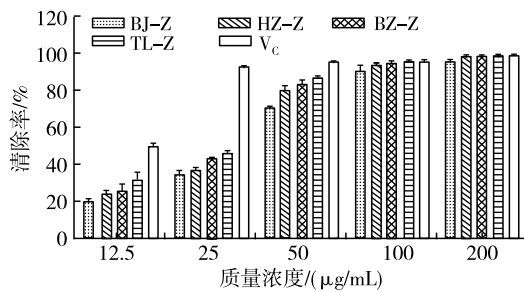


图 1 不同产地凤丹籽提取物对 DPPH 自由基的清除能力

图2 不同产地凤丹籽提取物对 ABTS⁺ 自由基的清除能力表3 不同产地凤丹籽提取物清除 DPPH 自由基的 IC₅₀ 及回归方程

样品	IC ₅₀ /(μg/mL)	回归方程	R ²
BJ-Z	225.975 29	$y = 68.768 42 + (7.796 79 - 68.768 42)/(1 + (x/114.679 37)^{1.194 66})$	0.995 67
HZ-Z	197.236 49	$y = 61.807 84 + (12.074 19 - 61.807 84)/(1 + (x/90.156 20)^{1.490 52})$	0.996 37
BZ-Z	160.009 39	$y = 65.823 52 + (14.680 18 - 65.823 52)/(1 + (x/88.979 89)^{1.368 29})$	0.997 11
TL-Z	119.753 60	$y = 59.688 75 + (22.939 23 - 59.688 75)/(1 + (x/73.862 87)^{2.125 54})$	0.997 45
V _c	14.261 40	$y = 94.623 02 + (-4 518.408 36 - 94.623 02)/(1 + (x/2.178 66)^{2.463 57})$	0.999 83

表4 不同产地凤丹籽提取物清除 ABTS⁺ 自由基的 IC₅₀ 及回归方程

样品	IC ₅₀ /(μg/mL)	回归方程	R ²
BJ-Z	33.958 83	$y = 95.791 27 + (16.775 77 - 95.791 27)/(1 + (x/38.105 95)^{2.784 3})$	0.999 99
HZ-Z	31.519 89	$y = 96.851 89 + (23.183 28 - 96.851 89)/(1 + (x/36.748 69)^{3.635 37})$	0.998 99
BZ-Z	28.042 15	$y = 97.368 87 + (24.416 59 - 97.368 87)/(1 + (x/33.352 39)^{3.552 18})$	0.999 24
TL-Z	27.063 14	$y = 97.353 37 + (31.645 62 - 97.353 37)/(1 + (x/34.127 89)^{4.086 23})$	0.998 97
V _c	12.491 36	$y = 96.606 24 + (-3 598.650 66 - 96.606 24)/(1 + (x/3.377 35)^{3.333 76})$	0.998 94

由图2及表4可见,4个产地凤丹籽提取物均具有一定的 ABTS⁺ 自由基清除能力,在一定范围内,4个产地样品的 ABTS⁺ 自由基清除率均随其质量浓度增加而升高,当样品质量浓度增至 100 μg/mL 后, ABTS⁺ 自由基清除率变化趋于平缓。其中安徽铜陵凤丹籽提取物对 ABTS⁺ 自由基的清除率最高,其 IC₅₀ 为 27.063 14 μg/mL,陕西宝鸡凤丹籽提取物对 ABTS⁺ 自由基的清除率最低,其 IC₅₀ 为 33.958 83 μg/mL。

2.3 不同产地凤丹籽提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑制能力

不同产地凤丹籽提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑

表5 不同产地凤丹籽提取物抑制 α-葡萄糖苷酶的 IC₅₀ 及回归方程

样品	IC ₅₀ /(mg/mL)	回归方程	R ²
BJ-Z	3.174 17	$y = 59.093 1 - 82.299 5x + 58.189 3x^2 - 14.369 0x^3 + 1.235 4x^4$	0.999 32
HZ-Z	3.010 01	$y = 60.726 6 - 78.635 7x + 56.507 6x^2 - 14.246 1x^3 + 1.249 1x^4$	0.999 20
BZ-Z	2.581 58	$y = 78.665 4 - 97.043 1x + 64.486 95x^2 - 15.411 0x^3 + 1.288 7x^4$	0.999 02
TL-Z	2.133 13	$y = 38.115 4 - 15.746 0x + 17.497 4x^2 - 4.311 5x^3 + 0.372 1x^4$	0.998 85
阿卡波糖	1.604 60	$y = 17.166 6 - 0.455 4x + 21.836 1x^2 - 6.296 4x^3 + 0.518 1x^4$	0.998 96

由图3及表5可见,4个产地凤丹籽提取物对 α-葡萄糖苷酶均有一定的抑制作用,并且其抑制率呈现剂量依赖性。其中安徽铜陵凤丹籽提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑制作用最强,其 IC₅₀ 为 2.133 13 mg/mL,陕西宝鸡凤丹籽提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑制作用最弱,其 IC₅₀ 为 3.174 17 mg/mL。

由图1及表3可见,4个产地凤丹籽提取物对 DPPH 自由基均有一定的清除能力,且在一定范围内呈剂量依赖性,不同产地样品间存在一定差异性。其中安徽铜陵凤丹籽提取物的 DPPH 自由基清除率最高,其 IC₅₀ 为 119.753 60 μg/mL,陕西宝鸡凤丹籽提取物的 DPPH 自由基清除率最低,其 IC₅₀ 大于 200 μg/mL。

制能力见图3,其抑制 α-葡萄糖苷酶的 IC₅₀ 及回归方程见表5。

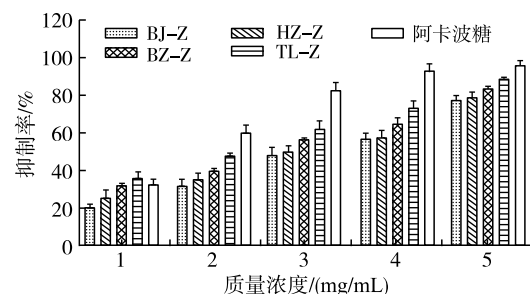


图3 不同产地凤丹籽提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑制能力

2.4 安徽铜陵凤丹籽提取物中的多酚类物质

由不同产地凤丹籽提取物的总酚含量、抗氧化能力及对 α-葡萄糖苷酶的抑制能力结果可知,安徽铜陵凤丹籽具有一定优势。为明确其物质基础,采用 LC-MS/MS-HESI 对安徽铜陵凤丹籽提取物的多酚类物质进行检测,结果见表6。

表6 安徽铜陵凤丹籽提取物中多酚类物质 LC-MS/MS-HESI 检测结果

编号	化合物	分子式	相对分子质量	碎片离子(m/z)	保留时间/min
1	没食子酸丁酯	C ₁₁ H ₁₄ O ₅	226.084 3	114.091 95, 209.165 20	1.20
2	luteolin-3',7-diglucoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	610.150 7	89.024 65, 227.071 62, 345.119 81, 495.151 18, 585.155 96	1.21
3	rockiol C	C ₄₂ H ₃₀ O ₉	678.188 9	148.910 09, 250.094 145, 431.004 21, 586.159 08	1.27
4	suffruticoside D	C ₂₇ H ₃₂ O ₁₆	612.170 5	121.029 84, 165.056 03, 327.109 13, 451.329 17, 585.156 05	4.24
5	uvangoletin	C ₁₆ H ₁₆ O ₄	272.104 5	121.029 76, 171.066 42	4.54
6	esculetin	C ₉ H ₆ O ₄	178.026 8	105.034 30, 123.044 60, 133.028 55	4.71
7	白藜芦醇	C ₁₄ H ₁₂ O ₃	228.078 9	116.929 00	4.80
8	rockiol B	C ₄₂ H ₃₂ O ₉	680.198 4	133.029 74, 211.076 78, 285.041 07, 353.048 33, 428.093 07	4.90
9	二氢山柰酚	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	288.062 9	135.045 73, 151.003 76, 166.992 92, 223.028 69	4.97
10	vitisinol C	C ₂₇ H ₂₄ O ₅	428.162 6	116.929 11, 225.055 97, 347.092 46	5.07
11	反式葡根素	C ₂₈ H ₂₂ O ₆	454.141 8	225.055 97, 346.084 48, 359.092 84	5.08
12	gnetin H	C ₄₂ H ₃₂ O ₉	680.205 4	116.929, 227.071 4, 385.071 4, 491.113 69, 585.155 62	5.18
13	naringenin chalcone	C ₁₅ H ₁₂ O ₅	272.068 8	167.107 84, 211.097 87	5.24
14	芹菜素	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	270.052 8	119.049 67, 153.018 28	5.34
15	香叶木素	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	300.064 0	167.107 84, 284.032 93	5.44
16	柯伊利素	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	300.072 2	121.029 89, 181.065 81	5.60
17	hopeafuran	C ₂₈ H ₁₈ O ₇	466.105 1	77.039 57, 121.029 89, 213.015 58, 225.056 13, 313.072 10	5.57
18	tricin 5-glucoside	C ₂₃ H ₂₄ O ₁₂	492.126 7	121.029 89, 181.065 81, 313.072 10, 401.088 02	5.61
19	apigenin 7-(6"-ethylglucuronide)	C ₂₃ H ₂₂ O ₁₁	474.116 6	191.001 56, 207.032 81, 242.248 03, 300.289 81, 362.326 73, 407.356 48	6.88
20	木犀草素	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	286.051 6	206.997 15, 269.012 87	10.48
21	apigenin-7-O-β-D-rutinoside	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₄	578.169 4	149.023 91, 191.001 59, 207.032 85, 267.000 03, 281.051 59	12.18
22	儿茶素	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	290.079 2	116.928 82, 277.217 47	14.09
23	kaempferol 7-(6"-galloylglucoside)	C ₂₈ H ₂₄ O ₁₅	600.113 2	73.047 54, 191.001 99, 207.033 06, 267.000 06, 355.070 74	16.43
24	vitexin 2"-O-p-coumarate	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	578.143 3	99.926 18, 149.009 92, 223.028 60, 325.184 77, 423.420 92	17.90

由表6可见,安徽铜陵凤丹籽提取物中鉴定出24种多酚类化合物。根据化合物的质谱信息、保留时间等结合数据库比对,对24种多酚类化合物进行了归属,包括黄酮、芪类、酚酸类等活性成分,其可能为凤丹籽提取物发挥活性的物质基础。后期可对这24种单体化合物的抗氧化、降糖活性进一步探索。

3 结论

4个产地安徽铜陵、安徽亳州、山东菏泽和陕西宝鸡凤丹籽提取物中多酚含量依次为40.69、36.38、33.19、30.79 mg/g,清除DPPH自由基的IC₅₀依次为119.753 60、160.009 39、197.236 49、225.975 29

μg/mL,清除ABTS⁺自由基的IC₅₀分别为27.063 14、28.042 15、31.519 89、33.958 83 μg/mL,抑制α-葡萄糖苷酶的IC₅₀依次为2.133 13、2.581 58、3.010 01、3.174 17 mg/mL。4个产地凤丹籽提取物均表现出一定的抗氧化活性和降糖活性,其中安徽铜陵凤丹籽提取物的多酚含量及活性高于其他3个产地,具有较好的应用前景。利用LC-MS/MS-HESI检测了活性最佳的安徽铜陵凤丹籽提取物中多酚类物质的组成,从中鉴定出24种多酚类化合物,后续可对这24种多酚类单体化合物的功能进行进一步研究。

参考文献:

- [1] ZHAO X, ZHOU Z Q, LIN Q B, et al. Phylogenetic analysis of *Paeonia sect. Moutan* (Paeoniaceae) based on multiple DNA fragments and morphological data[J]. *J Syst Evol*, 2008, 46 (4): 563 – 572.
- [2] YANG P, ZHEN G, XIAO Y H, et al. Chemical and biological comparison of different parts of *Paeonia suffruticosa* (Mudan) based on LC – MS – IT – TOF and multi – evaluation in vitro[J/OL]. *Ind Crop Prod*, 2020, 144: 112028[2021 – 08 – 01]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112028>.
- [3] LIU P, ZHANG Y, XU Y F, et al. Three new monoterpene glycosides from oil peony seed cake[J]. *Ind Crop Prod*, 2018, 111: 371 – 378.
- [4] LIU P, ZHANG Y, GAO J Y, et al. HPLC – DAD analysis of 15 monoterpene glycosides in oil peonyseed cakes sourced from different cultivation areas in China[J]. *Ind Crop Prod*, 2018, 118: 259 – 270.
- [5] LIU P, ZHANG L N, WANG X S, et al. Characterization of *Paeonia ostii* seed and oil sourced from different cultivation areas in China[J]. *Ind Crop Prod*, 2019, 133: 63 – 71.
- [6] LIU B H, DENG R X, YAN M X, et al. Extraction, isolation and bioactivity of oligostilbenes from oil peony seed shells[J]. *Food Biosci*, 2021, 41: 101 – 104.
- [7] WANG C, XU L, WU Q, et al. The importance of ultrahigh pressure processing over the quality of the extracted oil from peony seeds (*Paeonia suffruticosa* Andr.) [J]. *Ind Crop Prod*, 2015, 76: 1142 – 1147.
- [8] 陈慧玲, 杨彦伶, 张新叶, 等. 油用牡丹研究进展[J]. *湖北林业科技*, 2013, 42(5): 41 – 44.
- [9] LI S S, YUAN R Y, CHEN L G, et al. Systematic qualitative and quantitative assessment of fatty acids in the seeds of 60 tree peony (*Paeonia section Moutan* DC.) cultivars by GC – MS[J]. *Food Chem*, 2015, 173: 133 – 140.
- [10] CAO G, LIN H, CHENG Y, et al. Factors affecting fruit and seed production of *Paeonia ostii* “Feng Dan”, an economically important oil tree [J]. *Plant Spec Biol*, 2021, 36: 258 – 268.
- [11] JIN F, XU J, LIU X R, et al. Roasted tree peony (*Paeonia ostii*) seed oil: benzoic acid levels and physicochemical characteristics[J]. *Int J Food Prop*, 2019, 22(1): 499 – 510.
- [12] 吴悠, 李梅青, 孙强, 等. 超声辅助提取凤丹籽总黄酮的工艺研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2012, 24 (10): 1454 – 1457.
- [13] 刘普, 卢宗元, 邓瑞雪, 等. 凤丹籽饼粕化学成分研究[J]. *中草药*, 2013, 44 (22): 3105 – 3108.
- [14] NADIN A, YING G, CHUNNIAN H, et al. In vitro antitumor effects of two novel oligostilbenes, *cis* – and *trans* – suffruticosol D, isolated from *Paeonia suffruticosa* seeds [J]. *Int J Oncol*, 2016, 48(2): 646 – 656.
- [15] 王兴瑞, 陈昀昀, 韩玉泽, 等. 青海亚麻籽总酚含量测定及其抗氧化活性研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(8): 121 – 137.
- [16] 蔡如玉, 常世敏, 宋春丽. “凤丹”油用牡丹籽多酚提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(7): 181 – 186.
- [17] 张兆远, 阮洪生. 金荞麦根茎乙醇提取物抗氧化和对 α – 葡萄糖苷酶、 α – 淀粉酶的抑制作用[J]. *中药药理与临床*, 2017, 33(2): 102 – 106.
- [18] 张丙云, 苏丹, 郭涛, 等. 竹叶椒乙醇提取物对 α – 葡萄糖苷酶的抑制作用及其机理研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(21): 345 – 348.
- (上接第 35 页)
- [12] BLAKE A I, TORO – VAZQUEZ J F, HWANG H – S. Wax oleogels[M]// MARANGONI A, GARTJ N. *Edible Oleogels*. New York: Academic Press and AOCS Press, 2018: 133 – 171.
- [13] ÖĞÜTCÜ M, ARIFOĞLU N, YILMAZ E. Preparation and characterization of virgin olive oil – beeswax oleogel emulsion products[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2015, 92 (4): 459 – 471.
- [14] LIU L, RAMIREZ I S A, YANG J, et al. Evaluation of oil – gelling properties and crystallization behavior of sorghum wax in fish oil[J/OL]. *Food Chem*, 2019, 309: 125567[2021 – 01 – 05]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125567>.
- [15] MARTINS A J, CERQUEIRA M A, CUNHA R L, et al. Fortified beeswax oleogels: effect of *beta* – carotene on the gel structure and oxidative stability [J]. *Food Funct*, 2017, 8(11): 4241 – 4250.
- [16] CM O S, DAVIDOVICH – PINHAS M, WRIGHT A J, et al. Ethylcellulose oleogels for lipophilic bioactive delivery – effect of oleogelation on in vitro bioaccessibility and stability of *beta* – carotene [J]. *Food Funct*, 2017, 8 (4): 1438 – 1451.