

红豆树种子化学成分及其抗氧化和抑菌活性研究

翟大才¹, 房震², 汪勇³, 张明亮¹, 胡宗浩¹, 李强¹, 柏晓辉^{1*}

¹黄山学院生命与环境科学学院, 黄山 245041;

²安徽省祁门县查湾森工采育场, 黄山 245600; ³黄山学院分析测试中心, 黄山 245041

摘要:为研究红豆树种子的化学组成及生物活性。本文采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对其甲醇提取物的化学成分进行了鉴定,并首次采用不同极性溶剂对红豆树种子的生物活性物质进行萃取;同时,利用DPPH法、ABTS法和抑菌圈法评价红豆树种子生物活性物质的体外抗氧化及抑菌活性。结果表明,从红豆树种子萃取物中共检测出化合物12个,占萃取物总量的89.03%;种子萃取物的主要成分为5-羟甲基糠醛(52.98%)、D-阿洛糖(7.24%)、2,3-二甲氧基-10,11-二氢二苯并(b,f)恶庚英-10-醇(6.51%)、甲基丁香酚(4.53%)、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮(4.45%)、黄樟素(3.75%)、 α -松油醇(3.31%)、2,6-二甲氧基苯酚(2.01%),此8种成分占总量的84.78%。红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对DPPH和ABTS自由基均具有显著的抗氧化活性,且抗氧化活性与萃取物浓度呈线性相关。当红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物浓度为10.0 mg/mL时,正丁醇萃取物对大肠杆菌、绿脓杆菌和鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果最佳;乙酸乙酯萃取物对枯草芽孢杆菌的抑菌效果最佳;石油醚萃取物对金黄色葡萄球菌和苏云金芽孢杆菌的抑菌效果最佳。研究结果为红豆树种子资源的开发和综合利用提供了数据支持。

关键词:红豆树种子;萃取物;化学成分;抗氧化;抑菌活性

中图分类号:R284.1

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2019)6-0946-06

DOI:10.16333/j.1001-6880.2019.6.004

Chemical constituents of the seed of *Ormosia hosiei* and its antioxidant and antimicrobial activity

ZHAI Da-cai¹, FANG Zhen², WANG Yong³, ZHANG Ming-liang¹,
HU Zong-hao¹, LI Qiang¹, BAI Xiao-Hui^{1*}

¹College of Life and Environment Science, Huangshan University, Huangshan 245041, China;

²Chawang Forest Industry and Mining Farm of Qimen County, Huangshan 245600, China;

³Analysis and Test Center, Huangshan University, Huangshan 245041, China

Abstract: In order to study the chemical composition and biological activity of the active substances from the seed of *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils., the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to analyze the chemical composition of methanol extraction. And we firstly extracted the biological active substances from the seed of *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. by different polar solvents. Meanwhile, the antioxidant activity of the biological active substances was determined by free radical scavenging assays against 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine (DPPH) and 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS). And the antimicrobial activity was also examined by inhibition zone. Our results showed that twelve compounds representing 89.03% of the total constituents were identified from the extraction. The major compounds of the seed extraction were 5-Hydroxymethylfurfural (52.98%), aldehyde-D-allose (7.24%), 2,3-Dimethoxy-10,11-dihydro-dibenzo (b,f) oxepin-10-ol (6.51%), O-methyleugenol (4.53%), 4H-pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-(4.45%), saffrole (3.75%), (S)-(-)- α -terpineol (3.31%) and 2,6-Dimethoxyphenol (2.01%). All these eight components

收稿日期:2019-02-06 接受日期:2019-04-30

基金项目:安徽省林业科技创新研究项目(AHLYCX-2018-10, AHLYCX-2018-29);国家林业公益行业科研专项(201304407);国家林木种质资源共享服务平台(2005DKA21003);黄山学院自然科学研究项目(2016xkjq005);安徽省大学生创新创业训练计划(201810375132)

* 通信作者 Tel:86-559-2546552; E-mail:bxh@hsu.edu.cn

accounted for 84.78% of the total. The extraction of n-butanol, ethyl acetate, and petroleum ether from the seed of *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. showed significant antioxidant activities against DPPH free radicals and ABTS free radicals, and the antioxidant activity was linearly correlated with the concentration. When the concentration of n-butanol, ethyl acetate, and petroleum ether extracts was 10.0 mg/mL, the n-butanol extracts had the best inhibitory effect on *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Salmonella typhimurium*. The ethyl acetate extract had the best bacteriostatic effect on *Bacillus subtilis*. Petroleum ether extract had the best antibacterial effect on *Staphylococcus aureus* and *Bacillus thuringiensis*. All these results provide data support for the development and comprehensive utilization of the seed resources of *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. .

Key words: seed of *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils. ; volatile oil; chemical constituents; antioxidant activity; antibacterial activity

红豆树学名 (*Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils.), 是隶属于红豆树属 (*Ormosia* G. Jacks) 的一种落叶乔木或半常绿乔木, 也是我国 II 级重点保护的特有树种^[1]。红豆树天然分布于湖北、四川、江西、浙江、福建等省, 在安徽也有零星栽培^[2]。红豆树木材纹理美观有光泽、耐腐蚀强而常被用于制作各种家具、地板或装饰品; 其根、皮、茎和叶都可入药, 用于治疗无名肿毒、风湿关节炎等病症^[1]。

红豆树木材珍贵, 多年来砍伐现象严重, 导致其野生自然资源非常稀少, 甚至已近枯竭; 这促使人们不断研究红豆树人工栽培技术, 但存在红豆树种子产量低且大小年现象明显, 繁殖材料缺乏, 发芽困难, 培育幼苗难^[3]等问题。

目前, 对红豆树种子的研究主要集中在种子萌发规律^[4]、不同水温浸泡^[4]和机械破皮^[5]对种子萌芽率的影响、种子和幼苗性状变异分析^[6]等, 而对其种子化学成分及其生物活性研究还处于空白阶段。因此, 本课题组以红豆树种子为材料, 利用不同极性溶剂对其生物活性物质进行萃取, 并结合气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS) 对其化学成分进行鉴定; 同时, 采用 DPPH 和 ABTS 法及抑菌圈实验评价其生物活性物质的体外抗氧化及抑菌活性, 以期对红豆树种子资源的开发和综合利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与材料

1.1.1 试剂与仪器

过硫酸钾 ($K_2S_2O_8$)、石油醚、正丁醇、乙酸乙酯、甲醇等试剂均为分析纯, 购自于上海国药集团; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 和 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 (ABTS) 均为分析纯, 购买于东京化成工业株式会社; 蛋白胨、Yeast Extract、琼脂和维生素 C (Vc) 等生化试剂购买于上海生工有限公司。

SQ510C 灭菌锅 (重庆雅马拓科技公司)、ZHJH-

C1106B 超净工作台 (上海智城分析仪器公司)、Agilent 7890A-5975C 型气相色谱-质谱联用仪 (美国 Agilent 公司)、UV754N 紫外可见分光光度计 (上海精密科学仪器公司)。

1.1.2 实验材料

本实验中所用红豆树种子 (凭证标本采集号-05; 采集人: 翟大才; 鉴定人: 潘健博士; 采集地点: 安徽歙县; 采集时间: 2018 年 11 月 24 日) 采集于安徽歙县坑口乡。

抑菌实验所用 LB (Luria-Bertani) 平板培养基参照文献^[7]方法配制, 所用受试菌株金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、苏云金芽孢杆菌 (*Bacillus thuringiensis*)、枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌 (*Escherichia coli*)、绿脓杆菌 (*Pseudomonas aeruginosa*) 和鼠伤寒沙门氏菌 (*Salmonella typhimurium*) 均购买于中国典型培养物保藏中心并保存于本校微生物学实验中心。

1.2 实验方法

1.2.1 红豆树种子成分的提取

称取 30.0 g 新采集的红豆树种子置于粉碎机中完全粉碎至粉末状, 将粉末置于圆底烧瓶中并按料液比 1:16 (g/mL) 加入甲醇后充分混匀, 60 °C 恒温萃取 3 h 后收集过滤后的上清液, 过滤残渣再按照上述提取步骤重复提取 2 次; 合并 3 次提取液后用旋转蒸发仪 60 °C 恒温蒸发得到甲醇提取物。将甲醇提取物小心收集后称重, 然后用 100 mL 双蒸水重悬甲醇提取物, 混匀后依次用石油醚、乙酸乙酯和正丁醇等按体积比 1:1 进行萃取, 每种试剂萃取 3 次后合并萃取液并用旋转蒸发仪浓缩, 分别收集每种试剂的萃取物并称量; 再用二甲基亚砜 (DMSO) 分别将上述萃取物配制成 10 mg/mL 后 4 °C 保存备用。

1.2.2 红豆树种子甲醇提取物 GC-MS 分析

选用石英毛细管柱 DB-5 MS (30 m × 250 μm × 0.25 μm) 为色谱柱, 0.5 μL 样品以无分流方式

进样; 99.999% 氦气为载气, 流速为 1.0 mL/min; 柱箱程序升温, 起始温度 60 °C, 以 5 °C/min 升至 160 °C 保持 8 min, 再以 5 °C/min 升至 260 °C 保持 5 min, 运行时间为 56 min。

离子源为电子轰击(EI)源, 电子能量为 70 eV, 离子源温度设为 230 °C, 四极杆温度设为 150 °C; 扫描范围设为 m/z 50.0 ~ 500.0, 标准谱库 NIST08 作为质谱数据库。

1.2.3 红豆树种子萃取物对 DPPH 自由基的清除能力

参照文献^[8]方法并适当改善测定红豆树种子萃取物对 DPPH 自由基的清除能力, 简述如下: 分别取 100 μ L DMSO 稀释的红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚萃取物加到 0.06 mmol/L DPPH-乙醇(95%) 溶液中配制成不同浓度; 混匀后避光反应, 并在 517 nm 波长处测定其吸光值(A_x)。在 DPPH 乙醇溶液中加入 100 μ L DMSO 为空白对照, 测其吸光值(A_0); 阳性对照为 Vc, 每组样品重复 3 次, 以平均值按公式(1)计算清除率。

$$\text{清除率}(\%) = [(A_0 - A_x) / A_0] \times 100\% \quad (1)$$

1.2.4 红豆树种子萃取物对 ABTS 自由基的清除能力

依据文献^[9]方法测定红豆树种子萃取物对 ABTS 自由基的清除能力。取 7 mmol/L ABTS 与 2.45 mmol/L $K_2S_2O_8$ 溶液按体积比 1:1 混匀并于暗处反应。用甲醇将上述反应液稀释至波长 734 nm 处吸光值为 0.68 ~ 0.72。分别移取不同浓度的红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚萃取物 200 μ L 至 2 mL 暗处反应后的 ABTS 与 $K_2S_2O_8$ 混合液中, 混匀反应 6 min 并测其吸光值(A_x)。200 μ L 甲醇与 2 mL 的 ABTS 与 $K_2S_2O_8$ 混合液反应后吸光值为 A_0 。200 μ L 不同浓度红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚萃取物与 2 mL 甲醇溶液反应后吸光值为 A_y 。每组样品重复 3 次, 以平均值按公式(2)计算清除率。

$$\text{清除率}(\%) = [1 - (A_x + A_y) / A_0] \times 100\% \quad (2)$$

1.2.5 红豆树种子萃取物的抑菌活性

参考文献^[7]方法测定红豆树种子萃取物的抑菌活性, 测量不同受试菌抑菌圈的大小并记录, 每组样品重复 3 次, 求平均值来分析。

2 结果与分析

2.1 红豆树种子化学成分的分析

用 GC-MS 对红豆树种子的甲醇粗提取物进行

分析, 得到其总离子流结果(图 1), 利用峰面积归一法对各组分的相对含量进行计算, 结果见表 1。从图 1 离子流结果知, 从红豆树种子粗提取物中共分离出 17 个色谱峰; 将此 17 个色谱峰与标准谱库 NIST08 的质谱峰进行比对共鉴定出 12 个化合物(表 1), 占粗提取物总量的 89.03%。鉴定的 12 个化合物中相对含量高于 2.00% 的依次为 5-羟甲基糠醛(52.98%)、D-阿洛糖(7.24%)、2,3-二甲氧基-10,11-二氢二苯并(b,f)恶庚英-10-醇(6.51%)、甲基丁香酚(4.53%)、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮(4.45%)、黄樟素(3.75%)、 α -松油醇(3.31%)、2,6-二甲氧基苯酚(2.01%), 此 8 种成分占总量的 84.78%。

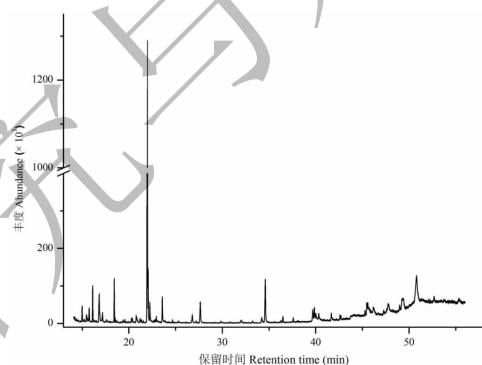


图 1 红豆树种子萃取物 GC-MS 总离子流图

Fig. 1 The total ion chromatogram of the extraction of the seed of *O. hosie* Hemsl. Et Wils.

2.2 红豆树种子萃取物的抗氧化作用

2.2.1 红豆树种子萃取物对 DPPH 自由基的清除作用

测定红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对 DPPH 自由基的清除作用, 结果见图 2。从测定的结果可知, 正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对 DPPH 自由基有明显的清除作用, 且萃取物浓度与清除率间呈正相关, 随着萃取物浓度的逐渐增大, DPPH 清除率逐步增大。从图 2A 结果可知, 正丁醇萃取物浓度(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y = 295.12X + 5.854$ ($R^2 = 0.9782$), 当正丁醇萃取物浓度为 0.25 mg/mL 时, 对 DPPH 自由基清除率为 $75.17 \pm 0.25\%$; 从图 2B 结果可知, 乙酸乙酯萃取物浓度(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y = 1877.70X + 10.170$ ($R^2 = 0.9515$), 当乙酸乙酯萃取物浓度为 0.042 mg/mL 时, 对 DPPH 自由基清除率为 $80.88 \pm 0.04\%$; 从图 2C 结果知, 石油醚萃取

表 1 红豆树种子的化学成分分析

Table 1 The chemical constituents of the seed of *O. hosiei* Hemsl. Et Wils

编号 No.	保留时间 t_R (min)	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content (%)
1	14.995	2-呋喃甲酰肼 Furan-2-carbohydrazide	$C_5H_6N_2O_2$	1.61
2	16.124	α -松油醇 (S)-(-)- α -Terpineol	$C_{10}H_{18}O$	3.31
3	16.826	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methy-	$C_6H_8O_4$	4.45
4	18.430	黄樟素 Safrole	$C_{10}H_{10}O_2$	3.75
5	21.985	5-羟甲基糠醛 5-Hydroxymethylfurfural	$C_6H_6O_3$	52.98
6	22.071	甲基丁香酚 O-Methyleugenol	$C_{11}H_{14}O_2$	4.53
7	22.255	2,6-二甲氧基苯酚 2,6-Dimethoxyphenol	$C_8H_{10}O_3$	2.01
8	34.604	D-阿洛糖 Aldehydo-D-allose	$C_6H_{12}O_6$	7.24
9	45.478	反油酸 Elaidic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	1.31
10	45.586	亚油酸 Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	1.18
11	49.243	α -萘乙酸钠 α -Isolupanine	$C_{15}H_{24}N_2O$	0.15
12	50.810	2,3-二甲氧基-10,11-二氢二苯并(b,f)恶庚英-10-醇 2,3-Dimethoxy-10,11-dihydro-dibenzo(b,f)oxepin-10-ol	$C_{16}H_{16}O_4$	6.51

物浓度(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y = 1\ 212.60X + 1.307$ ($R^2 = 0.995\ 6$),当石油醚萃取物浓度为 $0.072\ mg/mL$ 时,对DPPH自由基清除率为 $85.83 \pm 0.07\%$ 。 V_c 浓度(X)与清除率(Y)的回归方

程为: $Y = 18\ 782.00X - 0.553$ ($R^2 = 0.992\ 1$)。红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚萃取物及 V_c 对DPPH自由基清除作用的 ED_{50} 值分别为 $0.149\ 6$ 、 $0.021\ 2$ 、 $0.040\ 2$ 、 $0.002\ 7\ mg/mL$ 。

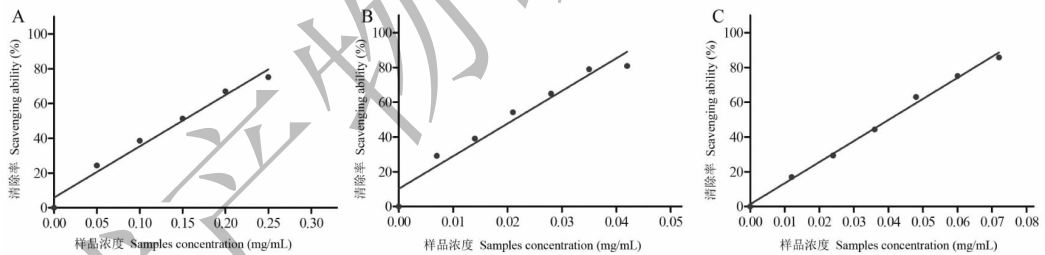


图 2 红豆树种子不同溶剂萃取物对 DPPH 自由基的清除作用

Fig. 2 Free radical scavenging assays of different solvent extraction of the seed of *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. against DPPH

2.2.2 红豆树种子萃取物对 ABTS 自由基的清除作用

测定红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对 ABTS 自由基的清除率,结果如图 3。该实验结果可知,红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对 ABTS 自由基有显著的清除能力,且随着萃取物浓度的增加,其清除 ABTS 自由基的能力逐渐增强。从图 3A 结果知,正丁醇萃取物浓度(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y = 1\ 666.90X + 4.701$ ($R^2 = 0.987\ 2$),当正丁醇萃取物浓度为 $0.05\ mg/mL$ 时,对 ABTS 自由基清除率为 $84.80 \pm 0.05\%$;

从图 3B 结果知,乙酸乙酯萃取物浓度(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y = 323.39X + 10.280$ ($R^2 = 0.963\ 9$),当乙酸乙酯萃取物浓度为 $0.30\ mg/mL$ 时,对 ABTS 自由基清除率为 $98.40 \pm 0.30\%$;从图 3C 结果知,石油醚萃取物浓度(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y = 1\ 605.10X + 13.602$ ($R^2 = 0.919\ 1$),当石油醚萃取物浓度为 $0.05\ mg/mL$ 时,对 ABTS 自由基清除率为 $90.88 \pm 0.05\%$ 。 V_c 浓度(X)与清除率(Y)的回归方程为: $Y = 21\ 963.00X - 0.288$ ($R^2 = 0.998\ 2$)。红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚萃取物及 V_c 对 ABTS 自由基清除作用

的 ED_{50} 值分别为 0.027 2、0.122 8、0.023 0、0.002 3 mg/mL。

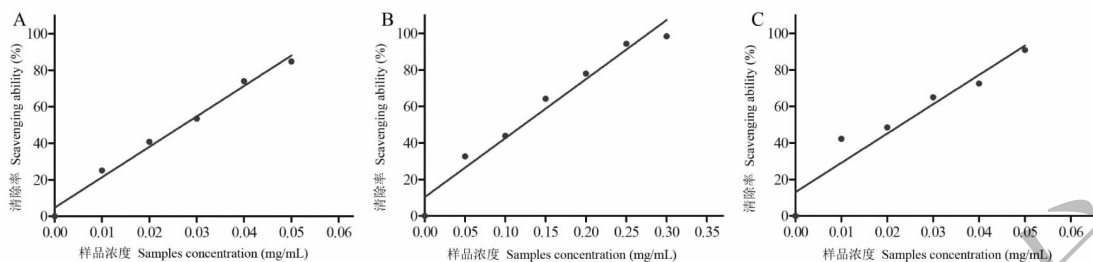


图3 红豆树种子不同溶剂萃取物对 ABTS 自由基的清除作用

Fig. 3 Free radical scavenging assays of different solvent extraction of the seed of *O. hosiei* Hemsl. Et Wils. against ABTS

2.3 红豆树种子萃取物的抑菌作用

检测红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对金黄色葡萄球菌、苏云金芽孢杆菌和绿脓杆菌等菌株的抑菌活性,结果见表2。从表2结果可知,红豆树种子正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对受试的三种革兰氏阳性菌金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、苏云金芽孢杆菌和三种革兰氏阴性菌大肠杆菌、绿脓杆菌、鼠伤寒沙门氏菌均具有抑制效果;其中正丁醇萃取物对大肠杆菌、绿脓杆菌和鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果最佳,抑菌圈直径分别为 11.17 ± 1.09 、 9.42 ± 0.85 、 9.10 ± 0.98 mm;乙酸乙酯萃取物对枯草芽孢杆菌的抑菌效果最佳,抑菌圈直径为 15.18 ± 0.74 mm;石油醚萃取物对金黄色葡萄球菌和苏云金芽孢杆菌的抑菌效果最佳,

抑菌圈直径分别为 10.07 ± 0.51 、 9.30 ± 0.15 mm。正丁醇萃取物在相同浓度下对受试菌的抑制强度为:大肠杆菌 > 绿脓杆菌 > 鼠伤寒沙门氏菌 > 枯草芽孢杆菌 > 苏云金芽孢杆菌 > 金黄色葡萄球菌。乙酸乙酯萃取物在相同浓度下对受试菌的抑制强度为:枯草芽孢杆菌 > 绿脓杆菌 > 大肠杆菌 > 鼠伤寒沙门氏菌 > 苏云金芽孢杆菌 > 金黄色葡萄球菌。石油醚萃取物在相同浓度下对受试菌的抑制强度为:金黄色葡萄球菌 > 苏云金芽孢杆菌 > 枯草芽孢杆菌 > 大肠杆菌 > 绿脓杆菌 > 鼠伤寒沙门氏菌。由此结果可知,红豆树种子正丁醇萃取物对上述革兰氏阴性菌的抑制效果强于革兰氏阳性菌;而石油醚萃取物恰巧与此相反,其对上述革兰氏阳性菌的抑制效果强于革兰氏阴性菌。

表2 红豆树种子不同溶剂萃取物对不同受试菌的抑菌活性 (mm)

Table 2 Antibacterial activity of different solvent extraction of the seed of *O. hosiei* Hemsl. et Wils. against the tested bacteria (mm)

菌株 Bacteria	对照组 (CK) Control	正丁醇 Butanol	乙酸乙酯 Ethyl acetate	石油醚 Petroleum ether
金黄色葡萄球菌 <i>S. aureus</i>	-	8.06 ± 0.53^b	8.58 ± 0.31^b	10.07 ± 0.51^a
枯草芽孢杆菌 <i>B. subtilis</i>	-	8.97 ± 0.07^b	15.18 ± 0.74^a	9.14 ± 0.46^b
苏云金芽孢杆菌 <i>B. thuringiensis</i>	-	8.69 ± 0.03^b	8.63 ± 0.17^b	9.30 ± 0.15^a
大肠杆菌 <i>E. coli</i>	-	11.17 ± 1.09^a	8.82 ± 0.28^b	8.99 ± 0.52^b
绿脓杆菌 <i>P. aeruginosa</i>	-	9.42 ± 0.85	9.09 ± 0.47	8.92 ± 0.04
鼠伤寒沙门氏菌 <i>S. typhimurium</i>	-	9.10 ± 0.98	8.70 ± 0.15	8.53 ± 0.15

注:同行不同字母表示统计学上具有显著差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

3 结论

本文首次报道红豆树种子的化学成分,并利用 GC-MS 从萃取物中共鉴定出 12 个化合物,占萃取物总量的 89.03%;其中含量最多的为 5-羟甲基糠醛 (52.98%),其次为醇类 (2 种,9.82%)、糖类 (1

种,7.24%)、酚类 (2 种,6.53%)、酮类 (1 种,4.45%) 和脂肪酸 (2 种,2.48%);红豆树种子中化合物的组成及含量与本课题组前期研究的红豆树叶成分^[10]明显不同,与邱亚铁等报道的红豆树茎枝中化学成分也存在显著差异^[11],各种化合物在红豆

树内的分布值得进一步研究。从鉴定的化合物结果可知,红豆树种子中 5-羟甲基糠醛含量最为丰富,高达 52.98%;5-羟甲基糠醛不仅是一种重要的化工原料^[12],而且广泛存在于中药炮制品中^[13],具有抗心肌缺血和抗氧化等功效^[14]。D-阿洛糖的含量次之,为 7.24%;D-阿洛糖属于一种稀有糖,是一种重要的免疫抑制剂可用于器官移植^[15],具有抑制缺血再灌注损伤^[16]和抑制肿瘤细胞增殖^[15]等功效,以上结果暗示红豆树种子具有潜在药用开发价值。Yu Xiangying *et al.*^[17]报道 2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮具有很强的抗氧化活性,而红豆树种子中也含有这类物质且相对含量排名第五为 4.45%。

红豆树种子萃取物 DPPH 和 ABTS 自由基清除实验结果证明,其正丁醇、乙酸乙酯和石油醚等萃取物对 DPPH 和 ABTS 自由基均具有非常强的清除能力,且抗氧化活性与萃取物浓度间呈线性相关;正丁醇、乙酸乙酯和石油醚萃取物对 DPPH 自由基清除率的半数有效量(ED₅₀)依次为 0.149 6、0.021 2、0.040 2 mg/mL;对 ABTS 自由基清除率的半数有效量(ED₅₀)依次为 0.027 2、0.122 8、0.023 0 mg/mL。红豆树种子萃取物具有较好的抗氧化活性,可能与其含有丰富的抗氧化物质如 5-羟甲基糠醛、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮等相关。此外,抑菌实验结果也表明红豆树种子萃取物对多种细菌均具有较好的抑制效果;其中正丁醇萃取物对大肠杆菌、绿脓杆菌和鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果最佳,乙酸乙酯萃取物对枯草芽孢杆菌的抑菌效果最佳,石油醚萃取物对金黄色葡萄球菌和苏云金芽孢杆菌的抑菌效果最佳。本研究结果为红豆树种子资源的开发和综合利用提供了数据支持。

参考文献

- Liu P, Que SQ, Liu LT, et al. Research status and endangered conservation strategy of *Ormosia hosiei* [J]. Subtrop Plant Sci (亚热带植物科学), 2017, 46: 96-100.
- Zhao Y, He YF, Zhou ZC, et al. Genetic diversity of five naturally reserved *Ormosia hosiei* populations in Zhejiang and Fujian province [J]. Chin J Ecol (生态学杂志), 2008, 27: 1279-1283.
- Lin XP, Peng B, Cai ZZ. Study on growth condition of *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils. seedling in the different site conditions [J]. J Anhui Agri. Sci. (安徽农业科学), 2015, 43: 162-163.
- Zheng TH, Shang WB, Chen QG, et al. Preliminary research on characteristics of florescence and seed germination of *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils. [J]. Chin Forest Sci & Tech (林业科技开发), 2006, 20: 38-41.
- Wang YF, Yang M. Effects of mechanical seed breaking on germination rate of the seed of *Ormosia hosiei* Hemsl. Et Wils. [J]. J Sichuan Forest Sci & Tech (四川林业科技), 2011, 32: 97-98.
- Li FQ, Chen HW, Zhou ZC, et al. Analysis on variation of seed and seedling traits of superior trees of *Ormosia hosiei* and primary screening of optimum family [J]. J Plant Res & Environ (植物资源与环境学报), 2018, 27: 57-65.
- Bai XH, Liu XL, Liu D, et al. Isolation and identification of an endophytic bacterium from *Polygonatum cyrtonema* and its antibacterial activity [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2018, 30: 777-782.
- Jia HL, Zhang PH, Ji QL, et al. Analysis of chemical constituents of volatile oil from *Thymus altajicus* Klok. in Xinjiang using GC-MS and its antioxidant activity [J]. Food Sci (食品科学), 2009, 30: 224-229.
- Yang SH, Song YJ, Wang JH, et al. *In vitro* antioxidant and free radical scavenging activities of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tubers [J]. Food Sci (食品科学), 2010, 31: 166-169.
- Zhai DC, Yao JL, Wang WJ, et al. Chemical constituents of the volatile oil from *Ormosia hosiei* leaves and its antioxidant and antimicrobial activity [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2019, 31: 821-826.
- Qiu YT, Shi Y, Xu HY, et al. Flavonoids from the twigs of *Ormosia hosiei* and their anti-fungal activities [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2018, 30: 2056-2062.
- Wang J, Zhang CP, Ouyang PK. Advances in production and application of 5-hydroxymethyl furfural [J]. Chem Indust & Engineer Prog (化工进展), 2008, 27: 702-707.
- Qu XN, Zheng YN, Liu WC, et al. Research progress of 5-hydroxymethyl-2-furfural biological activity [J]. Special Wild Econ Animal & Plant Res (特产研究), 2014, 1: 72-76.
- Fu ZQ, Wang MY, Cai BC. Discussion of 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) in Chinese native medicine research present situation [J]. Chin Arch Trad Chin Med (中华中医药学刊), 2008, 26: 508-510.
- Mu MM, Zhang LT, Jiang B, et al. Research progress on the function and bioproduction of D-allose [J]. J Anhui Agri Sci (安徽农业科学), 2007, 35: 10192-11019.
- Huang T, Gao DK, Fei Z, et al. Effect of D-allose on the blood-brain barrier following focal cerebral ischemia/reperfusion in mice [J]. Chin J Neurosurg Dis Res (中华神经外科疾病研究杂志), 2015, 14: 297-301.
- Yu XY, Zhao MY, Fei L, et al. Identification of 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one as a strong antioxidant in glucose-histidine Maillard reaction products [J]. Food Res International, 2013, 51: 397-403.