

文冠果落果黄酮成分分析及抑菌性评价

杨小慧^{1,2}, 石光波^{1,2}, 拜晓彬^{1,2}, 赵晨煊^{1,2}, 李博生^{1,3,*}

(1.北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 2.北京林业大学 林业食品加工与安全北京市重点实验室, 北京 100083;
3.北京林业大学螺旋藻研究所, 北京 100083)

摘要:目的: 提取并纯化文冠果落果黄酮, 测定黄酮含量, 确定单体种类, 评价抑菌活性。方法: 采用紫外分光光度法测定黄酮含量, 采用显色反应、傅里叶红外光谱和高效液相色谱三者相结合的方法分析黄酮单体种类, 同时评价文冠果落果黄酮对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌生长的影响。结果: 文冠果落果中黄酮含量为18.4 mg/g; 落果黄酮纯化物中含有芦丁单体及其他14种未知的黄酮类单体物质, 其中芦丁的含量为27 mg/g, 占文冠果落果总黄酮的6%左右; 文冠果落果黄酮对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌均有一定的抑制作用, 其中对大肠杆菌抑制效果最佳。结论: 文冠果落果中黄酮含量丰富, 芦丁是其重要的单体成分, 具有良好的抑菌活性。

关键词: 文冠果落果; 黄酮; 高效液相色谱; 红外光谱; 抑菌性

Flavonoid Content and Antibacterial Activity of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge Fruit Drop

YANG Xiaohui^{1,2}, SHI Guangbo^{1,2}, BAI Xiaobin^{1,2}, ZHAO Chenxuan^{1,2}, LI Bosheng^{1,3,*}

(1. College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Key Laboratory of Forestry Food Processing and Safety, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
3. Institute of Spirulina, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Objective: This study aimed to determine the total flavonoid content of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge fruit drop, identify flavonoid monomers and evaluate the antibacterial activity of these flavonoids. Methods: The content of total flavonoids was determined spectrometrically, and color reaction and Fourier transform infrared spectroscopy and high performance liquid chromatography (HPLC) were used to analyze the flavonoid monomers. The antibacterial activity was evaluated against *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Results: The content of total flavonoids was 18.4 mg/g. Rutin and 14 other unknown monomers were detected in the purified flavonoids. The content of rutin was 27 mg/g, which accounted for about 6% of the total flavonoids. The flavonoids from *X. sorbifolia* Bunge fruit drop had an inhibitory effect on *B. subtilis* and *E. coli* and *S. aureus* and the strongest inhibition was observed on *E. coli*. Conclusion: Flavonoids with strong antibacterial activity are abundant in *X. sorbifolia* Bunge fruit drop and rutin is an important monomer.

Keywords: *Xanthoceras sorbifolia* Bunge fruit drop; flavonoids; high performance liquid chromatography (HPLC); infrared spectroscopy; antibacterial activity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810009

中图分类号: TS202.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 10-0053-06

引文格式:

杨小慧, 石光波, 拜晓彬, 等. 文冠果落果黄酮成分分析及抑菌性评价[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 53-58. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810009. <http://www.spkx.net.cn>

YANG Xiaohui, SHI Guangbo, BAI Xiaobin, et al. Flavonoid content and antibacterial activity of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge fruit drop[J]. Food Science, 2018, 39(10): 53-58. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810009. <http://www.spkx.net.cn>

文冠果 (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge) 又名文灯果、山木瓜、僧灯木道等^[1], 隶属无患子科文冠果属, 广泛分布在内蒙古、陕西、山西等14个省市^[2], 是我国特有

的珍稀木本油料作物^[3]。因其籽油^[4]、种仁^[5-6]、种皮^[7-8]、果壳^[9-12]中含有大量生物活性物质而被广泛应用于医药和食品行业^[13]。然而文冠果在实际生产中存在很多问题,

收稿日期: 2017-04-10

基金项目: 公益性行业(林业)科研专项(201304605)

第一作者简介: 杨小慧(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为功能性食品。E-mail: yxh199004@bjfu.edu.cn

*通信作者简介: 李博生(1956—), 男, 教授, 博士, 研究方向为螺旋藻、文冠果综合开发利用。E-mail: Libs7321@126.com

其中之一便是幼果期落果严重,座果率很低,有“千花一果”之称^[14];丁明秀等^[15]曾发现赤峰地区翁牛特旗文冠果的落果率高达72.3%,可见文冠果落果资源十分丰富,然而目前有关文冠果落果成分和功效的科学研究报道极少。

黄酮类物质具有降血糖、抑菌^[16]、抗肿瘤^[17]、抗癌^[18-19]、抗氧化^[20]、调节免疫能力及治疗糖尿病^[21-22]等多种生理功能,目前人们已经发现了9 000多种黄酮类物质^[23],其中研究较多的有槲皮素、山柰酚等^[24-26]。目前关于文冠果黄酮类化合物的研究多局限于其成熟果实的果壳和种皮,而对于文冠果落果黄酮的单体成分研究鲜见报道。本实验采用紫外分光光度法检测到文冠果落果中含有生物活性物质黄酮,应用显色反应、傅里叶变换红外光谱和高效液相色谱相结合的方法对文冠果落果中黄酮的单体物质进行检测分析,并比较文冠果落果黄酮对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的抑菌活性。本实验将为文冠果落果的开发利用提供科学依据,推动文冠果产业的发展。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

文冠果落果、文冠果中期果实(生长期为30 d)、文冠果成熟果实(生长期为60 d)由内蒙古赤峰市林业科学研究院苗圃提供;槲皮苷标准品、芦丁标准品上海源叶生物科技有限公司;乙腈、甲醇、甲酸(均为色谱纯)美国Tedia公司;HPD-400型大孔树脂北京科百奥生物技术有限公司;枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)北京林业大学生物科学与技术学院微生物实验室。

722型分光光度计 上海舜宇恒平科学仪器公司;
RE-2000A型旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂;
1730型傅里叶变换红外光谱仪 美国Perkin-Elmer公司;
LC-2010AHT型液相色谱仪 日本岛津公司。

1.2 方法

1.2.1 文冠果落果及不同发育阶段果实中黄酮含量的比较

1.2.1.1 文冠果黄酮提取液制备

将干燥后的文冠果落果、中期果皮、中期种子和成熟果皮分别粉碎后过60目筛。按料液比1:40(g/mL)加入体积分数40%乙醇溶液,70℃热回流4 h,对文冠果落果和不同发育阶段果实的黄酮物质进行浸提,进行3次平行实验以减小实验误差。

1.2.1.2 芦丁标准曲线的绘制

精密称取10 mg芦丁标准品,置于100 mL容量瓶中,去离子水定容,配成质量浓度为0.1 mg/mL芦丁标准溶

液。分别取0.2、0.6、1.0、1.5、2.0 mL芦丁标准溶液,加入0.3 mL质量分数5%的亚硝酸钠溶液,摇匀后静置6 min。加入0.3 mL质量分数10%的氯化铝溶液,摇匀后静置6 min。加入2.0 mL质量分数4%的氢氧化钠溶液,定容至10 mL,摇匀后静置15 min。在波长510 nm处测其吸光度。以芦丁质量浓度为横坐标,溶液吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.1.3 氯化铝比色法测黄酮含量

取2 mL经稀释的文冠果落果黄酮粗液加入0.3 mL质量分数5%的亚硝酸钠溶液,摇匀后静置6 min。加入0.3 mL质量分数10%的氯化铝溶液,摇匀后静置6 min。加入2.0 mL质量分数4%的氢氧化钠溶液,定容至10 mL,摇匀后静置15 min。在波长510 nm处测其吸光度,并依据芦丁标准曲线计算黄酮含量。

1.2.2 文冠果落果黄酮的单体成分分析

1.2.2.1 文冠果落果黄酮的纯化

准确称取文冠果落果粉末300 g放入500 mL的三颈烧瓶中,按料液比1:50(g/mL)加入体积分数50%乙醇溶液,85℃水浴回流提取3 h,将提取液4 000 r/min离心15 min后将滤液在40℃条件下旋转蒸发浓缩后烘干,加少量去离子水溶解制备文冠果落果黄酮原液。将预处理好的HPD-400型大孔树脂湿法装柱,层析柱规格为20 cm× ϕ 10 mm,加入20 mL质量浓度为2.64 mg/mL文冠果落果黄酮原液,调节pH值为3.0,上样流速为2 BV/h,以同样流速用2 BV去离子水清洗除杂,再用4 BV体积分数40%乙醇溶液洗脱,收集洗脱液,在40℃条件下蒸发浓缩干燥,得到纯化的文冠果落果黄酮粉末。

1.2.2.2 文冠果落果黄酮显色反应

盐酸-镁粉显色反应:取纯化后的文冠果落果黄酮少许用乙醇溶液溶解,取3 mL该溶液于试管中,设置乙醇溶液空白对照组,加入少许镁粉,振荡摇匀后加入5滴盐酸,沸水浴加热2 min后观察颜色变化。

氯化铁显色反应:取纯化后的文冠果落果黄酮少许用水溶解后,取3 mL该溶液于试管中,加1 mL质量浓度10 mg/mL的氯化铁-乙醇溶液,观察颜色变化。

氢氧化钠显色反应:取纯化后的文冠果落果黄酮少许用水溶解后,取3 mL该溶液于试管中,加入2%的氢氧化钠溶液,观察颜色变化。

1.2.2.3 文冠果落果黄酮红外光谱分析

取HPD-400型大孔树脂纯化后的文冠果落果黄酮少许烘干,混合一定量的溴化钾粉末,压片制成固体,用傅里叶变换红外光谱仪在扫描范围为4 000~400 cm^{-1} 、分辨率为4 cm^{-1} 条件下平行扫描3次,绘制文冠果落果黄酮傅里叶变换红外光谱图,再用上述相同的处理方法绘制标准品芦丁的红外光谱图,进行对比分析鉴定。

1.2.2.4 文冠果落果黄酮高效液相色谱分析

色谱条件：色谱柱为C₁₈（250 mm×4.6 mm，5.0 μm）；采用乙腈-0.2%甲酸溶液为流动相进行梯度洗脱，流速1 mL/min，柱温25℃，进样量20 μL，设置340、365 nm双波长同时检测。梯度洗脱程序：0~5 min，5%乙腈；5~15 min，乙腈由5%增加到15%；15~35 min，乙腈由15%增加到18%；35~42 min，乙腈由18%增加到25%；42~45 min，乙腈由25%减少到5%；45~90 min清洗色谱柱。芦丁、槲皮苷及其他被检测物质要求达到与基线分离，最低理论塔板数为3 000。

芦丁标准曲线的绘制：精密称取5 mg芦丁标准品用去离子水配制质量浓度为50 μg/mL的芦丁标准品溶液，用微量注射器分别准确吸取5、10、15、20、25 μL的芦丁标准品溶液，加去离子水配制成相同的体积，稀释成各个梯度的溶液，注入液相色谱仪。然后分别测量各个色谱的峰面积，以峰面积为纵坐标，标准芦丁质量浓度为横坐标，绘制标准曲线。

标准溶液高效液相色谱分析：分别精密称取槲皮苷标准品和芦丁标准品各5.0 mg，分别置于100 mL容量瓶中，加甲醇溶解配制成0.05 mg/mL的槲皮苷标准溶液和芦丁标准溶液，各精密称取50 mL槲皮苷标准溶液和50 mL芦丁标准溶液置于100 mL容量瓶中，混合均匀，过0.45 μm微孔滤膜，在365 nm和340 nm两组波长处进行高效液相色谱分析。

样品溶液高效液相色谱分析：准确称取大孔树脂纯化后的文冠果落果黄酮冻干粉10 mg置于10 mL容量瓶中，加甲醇溶解后低频超声处理10 min，使黄酮冻干粉完全溶解，冷却后用甲醇定容，然后用0.45 μm滤膜除杂，在365 nm和340 nm两组波长处进行高效液相色谱分析，通过测峰面积从标准曲线上查出相应于此面积的芦丁含量。

1.2.3 文冠果落果黄酮的抑菌能力测定

1.2.3.1 培养基的配制

称取3 g牛肉膏，10 g蛋白胨，15 g琼脂，5 g NaCl，1 000 mL水加入到2 L烧杯中，加热溶解，分装至三角瓶中密封灭菌备用。

1.2.3.2 细菌的活化和菌悬液的制备

将6支灭菌试管、培养基置于超净工作台上，待培养基冷却至50℃左右，取部分培养基置于试管中，形成30°的斜面放置，等待培养基凝固。分别挑取3环大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌的保藏菌体，在试管斜面培养基上划线，每种菌平行接种2支试管。将接种后的试管置于37℃培养箱中连续培养24 h。依据徐凤等^[27]的实验结果可知在波长600 nm处菌悬液OD值为0.1即为菌体浓度达到 $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$ 个/mL。参照此数据进行菌悬液浓度的确定。取4个装有等量0.9%生理盐水的三角瓶灭菌后置于超净工作台上，各挑取3环经培养活化菌接种

溶于上述三角瓶中，振荡摇匀，于波长600 nm处测其OD值，确保OD值达到0.1。

1.2.3.3 抑菌实验

将无菌培养基加热融化后置于超净工作台中冷却到50℃左右，按15~20 mL每平皿的量加入培养基制成培养基平板。待培养基平板凝固后编号，冷却后加入各菌悬液0.1 mL，用涂布棒涂布均匀。用灭菌的不锈钢打孔器在平板上打孔，孔径7 mm。将0.1 mL质量浓度梯度为0.5、1、5、10、15、20 mg/mL的经生理盐水溶解的文冠果落果黄酮溶液加入各孔，将生理盐水作为阴性对照。所有实验平行重复3次，置于37℃的培养箱中培养，24 h后观察统计抑菌圈大小，并评价其抑菌效果。

2 结果与分析

2.1 文冠果落果及不同发育时期果实各部分黄酮含量比较

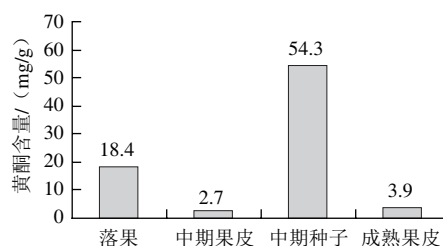


图1 文冠果落果及不同发育时期果实各部分黄酮含量比较

Fig. 1 Comparison of flavonoids content between *X. sorbifolia* fruit drop and different fruit parts at different developmental stages

由图1可知，文冠果中期种子黄酮含量最高，其次为文冠果落果中黄酮含量为18.4 mg/g，中期果皮与成熟果皮中黄酮含量差异较小，本实验选用的文冠果落果和不同发育时期的果实在发育过程中，文冠果落果黄酮含量较高，发育中期时黄酮集中积累于种子中，整个发育过程中果皮部分黄酮积累量较小。这种现象是否普遍存在于文冠果中需要更多的实验进行证实。

2.2 文冠果落果黄酮的单体成分分析

2.2.1 文冠果落果黄酮显色反应

表1 文冠果落果黄酮不同显色反应结果

Table 1 Results of color reaction of flavonoids from *X. sorbifolia* fruit drop

反应名称	显色现象	所含物质
盐酸-镁粉反应	砖红色沉淀	黄酮、黄酮醇、二氢黄酮、二氢黄酮醇
氢氧化钠反应	橙色→黄褐色	黄酮醇、二氢黄酮、查耳酮
氯化铁反应	墨绿色沉淀	黄酮醇

文冠果落果黄酮在盐酸-镁粉、氢氧化钠、氯化铁三项显色测试实验中均成阳性反应，见表1。盐酸-镁粉显色反应中出现砖红色沉淀，说明文冠果落果黄酮中可能

含有黄酮、黄酮醇、二氢黄酮及二氢黄酮醇中的一种或多种；氢氧化钠显色反应中出现橙色和黄褐色，说明落果黄酮中含有黄酮醇、二氢黄酮类和查耳酮中的一种或多种，因为在碱性溶液中二氢黄酮类可转变为查耳酮类化合物使溶液呈现橙色到黄色的颜色变化，黄酮醇类化合物会使溶液呈现黄色到棕色的颜色变化；氯化铁显色反应中溶液中出现墨绿色沉淀，说明有氢键缔合的酚羟基存在，因为一般情况下氯化铁溶液与多数黄酮类化合物生成黄绿等色的络合物仅在有氢键缔合的酚羟基存在时才会出现，说明文冠果落果中一定含有黄酮醇。综合3种显色反应结果，可以得出结论即文冠果落果黄酮中一定含有黄酮醇，可能含有黄酮、查耳酮、二氢黄酮及二氢黄酮醇中的一种或多种。

初步推测文冠果落果中含有芹菜素、黄芩素、野黄芩素、白杨素、汉黄芩素等黄酮单体；芦丁、木犀草素、槲皮素、高良姜黄素、山柰酚、槲皮苷、漆黄素、杨梅黄酮、鼠李素、异鼠李素等黄酮醇单体；橙皮素、柚皮素、甘草素等二氢黄酮单体。

2.2.2 文冠果落果黄酮红外光谱分析

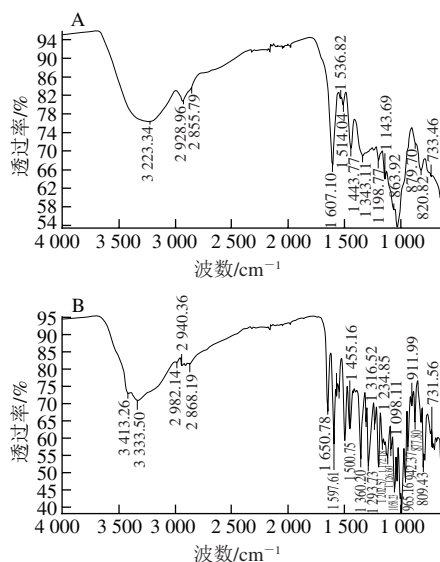


图2 文冠果落果黄酮(A)和芦丁(B)红外光谱扫描图

Fig. 2 Infrared spectra of flavonoids (A) and rutin (B) from *Xanthoceras sorbifolia* Bunge fruit drop

当样品处于频率连续变化的红外线辐照时，其分子吸收了某些频率的光波，获得能量后分子产生振动或由基态向激发态进行能级跃迁，使得被吸收波段的透射光强度减弱，从而进行对应官能团分析，红外光谱扫描结果见图2。由图2A可以看出，在3 000~400 cm^{-1} 范围内有多个明显的吸收峰值。可知文冠果落果黄酮的单体物质中含有以下官能团： $\text{C}=\text{C}$ (1 607.10、1 514.04、1 536.83、1 443.77 cm^{-1})、 $\text{C}=\text{O}$ (1 198.77 cm^{-1})、 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ (1 063.92 cm^{-1})、 $\text{Ar}-\text{OH}$ (733.46 cm^{-1})、

$-\text{CH}_3$ (1 433.69、879.70 cm^{-1})、 $-\text{CH}_2$ (298.96、2 856.79 cm^{-1})、 $-\text{RNH}$ (1 043.53、820.82 cm^{-1})^[28]。初步推测文冠果落果黄酮含有芦丁、汉黄芩素、异鼠李素、橙皮素等含 $-\text{CH}_3$ 的黄酮单体以及芦丁、葛根素等含 $-\text{CH}_2$ 的黄酮单体。

对比图2A、B可知，实验用芦丁标准品纯度高，振动吸收峰形呈尖峰，特征明显，而文冠果落果黄酮是混合物，振动吸收峰形受多种结构影响，特征性略差^[29]。芦丁和文冠果落果黄酮的吸收峰在1 597.61、1 572~1 501、1 455.16、1 360.20、1 058.23、877.80 cm^{-1} 六处重合或接近，说明在这些位置有相同的官能团结构，由此初步判定文冠果落果黄酮中可能具有芦丁单体。为了进一步验证文冠果落果黄酮中是否有芦丁单体的存在，实验采用高效液相色谱法对文冠果落果黄酮单体的成分进行了定性和定量分析。

2.2.3 文冠果落果黄酮高效液相色谱分析结果

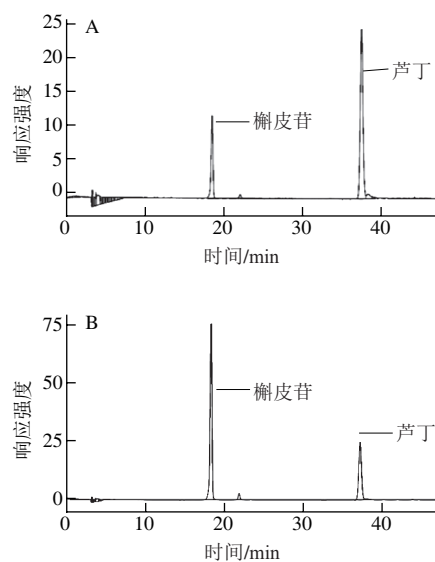


图3 芦丁、槲皮苷混合对照标准品365 nm (A) 和340 nm (B) HPLC图

Fig. 3 HPLC chromatograms of rutin and quercetin at 365 nm (A) and 340 nm (B)

由图3可以看出，芦丁在波长365 nm与340 nm处的检测信号强度无差异，槲皮苷在波长340 nm处的检测信号强度明显高于365 nm处；从图4可以看出，文冠果落果黄酮在38.35 min处的检测信号峰与混合对照标准品中芦丁的出峰时间相同，由此确定文冠果落果黄酮中含有芦丁单体，而在18.22 min处无槲皮苷单体被检测出来。除了芦丁之外，文冠果落果黄酮在波长365 nm与340 nm处还有其他14种单体物质被检测出来，其中在28.57 min处检测出的尖峰信号强度高于芦丁单体，该化合物的结构和生理活性有待进一步研究。

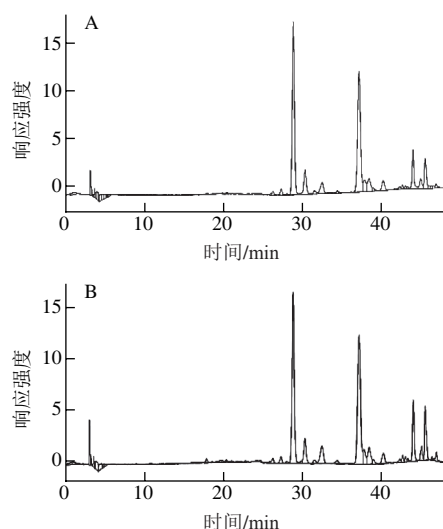


图4 文冠果落果黄酮于365 nm (A) 和340 nm (B) HPLC图
Fig. 4 HPLC chromatograms of flavonoids from *X. sorbifolia* fruit drop at 365 nm (A) and 340 nm (B)

由芦丁标准曲线绘制得出进样体积 (X) 与峰面积 (Y) 的线性回归方程: $Y=58\ 954X-5\ 550.8$ ($R^2=1$)。结合芦丁标准曲线通过计算得出样品中芦丁单体的含量为27 mg/g。有研究表明经纯化后的文冠果落果中总黄酮含量可达458 mg/g^[30], 可知实验用样品中芦丁质量分数约为6%。

2.3 文冠果落果黄酮抑菌作用效果

表2 文冠果落果黄酮质量浓度对菌种抑菌圈直径的影响
Table 2 Antibacterial effect of flavonoids from *X. sorbifolia* fruit drop

菌种	黄酮质量浓度						mm
	0.5 mg/mL	1 mg/mL	5 mg/mL	10 mg/mL	15 mg/mL	20 mg/mL	
大肠杆菌	11.0±0.2	13.0±0.3	14.0±0.1	14.0±0.1	16.0±0.3	16.0±0.4	—
枯草芽孢杆菌	11.0±0.1	12.0±0.2	13.0±0.2	14.0±0.2	13.0±0.5	13.0±0.2	—
金黄色葡萄球菌	—	—	—	—	11.0±0.2	14.0±0.1	—

注: —, 无抑菌圈生成。

由表2可知, 文冠果落果黄酮对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌抑制效果不同。按敏感程度评价标准分析, 对大肠杆菌抑制效果最佳, 黄酮质量浓度为15~20 mg/mL时, 大肠杆菌对其高敏感(抑菌圈直径15~20 mm); 黄酮质量浓度为0.5~10 mg/mL时, 大肠杆菌对其中敏感(抑菌圈直径10~14 mm); 枯草芽孢杆菌在测试范围内对其中敏感(抑菌圈直径10~14 mm); 黄酮质量浓度为15~20 mg/mL时, 金黄色葡萄球菌对其中敏感(抑菌圈直径10~14 mm), 文冠果落果黄酮的抑菌效果为大肠杆菌>枯草芽孢杆菌>金黄色葡萄球菌。有研究表明当黄酮质量浓度同为1 mg/mL时, 对大肠杆菌和枯草芽孢杆菌而言, 苦味黄酮的抑菌活性要小于文冠果落果黄酮的抑菌活性, 而对金黄色葡萄球菌而言, 苦味黄酮的抑菌活性要大于文冠果

落果黄酮的抑菌活性, 说明黄酮的抑菌活性除了与抑菌机理有关外, 还可能与组成黄酮的单体成分有关。

3 讨论与结论

文冠果落果中黄酮含量丰富, 作为同样富含黄酮的银杏现在已开发出一系列银杏化妆品, 例如银杏护肤品、银杏洁面乳等, 因此, 作为一种极具潜力的提取黄酮类物质的资源, 以文冠果落果为原料探索新型的应用领域, 加大其在保健食品、医学及工业用品领域的研究力度, 促进文冠果落果制品的开发研究, 对提高文冠果落果资源的综合经济效益具有重要意义。

文冠果落果黄酮中芦丁含量为27 mg/g, 占文冠果落果总黄酮的6%左右, 不存在槲皮苷单体。除芦丁外, 文冠果落果黄酮中还检测到其他14种未知的单体物质, 经显色反应分析和傅里叶变换红外光谱分析初步推测可能含有汉黄芩素、异鼠李素、橙皮素、葛根素, 其中异鼠李素有止咳祛痰、活血散瘀等重要药理作用; 橙皮素有健胃、利尿、抗病毒和止胃痛的功效, 所以对文冠果落果黄酮单体成分的进一步研究是十分必要的。

文冠果落果黄酮对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌均有抑制作用, 说明文冠果落果黄酮具有明显的抑菌活性。与苦味黄酮相比文冠果落果黄酮抑菌效果更好, 说明文冠果落果的抑菌活性除了与抑菌机理、菌种本身的细胞结构有关外, 还可能与组成文冠果落果黄酮类物质的单体成分有关, 所以本实验中对于文冠果落果黄酮单体的研究也显得尤为重要, 我国西北地区文冠果落果资源丰富, 后续将开展其抗菌活性成分的研究, 为落果资源的充分利用提供理论基础。

参考文献:

- [1] 赵彩云, 宿华, 赵英顺. 文冠果的综合开发利用价值[J]. 内蒙古林业调查设计, 2008, 31(6): 118-119. DOI:10.3969/j.issn.1006-6993.2008.06.049.
- [2] 齐鑫淼. 文冠果研究进展[J]. 内蒙古林业科技, 2013, 39(4): 37-38. DOI:10.3969/j.issn.1007-4066.2013.04.011.
- [3] YAO Z, QI J, YIN L. Biodiesel production from *Xanthoceras sorbifolia* in China: opportunities and challenges[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2013, 24(10): 57-65. DOI:10.1016/j.rser.2013.03.047.
- [4] 白雪, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 文冠果种仁油开发和应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 393-396. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.09.070.
- [5] 王珂, 张志宇, 赵茜茜, 等. 文冠果种仁总皂苷的提取纯化及其抗氧化活性[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 116-124. DOI:10.15983/j.cnki.jsnu.2016.02.125.
- [6] 刘俊义, 赵茜茜, 张志宇, 等. 文冠果种仁油中甾醇的抑菌活性及其机理初探[J]. 中国油脂, 2016, 41(10): 29-33. DOI:10.3969/j.issn.1003-7969.2016.10.007.

- [7] 姚增玉, 危冲, 戚建华. 文冠果种皮对水中Hg(II)的生物吸附研究[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(5): 169-174. DOI:10.11929/j.issn.2095-1914.2016.05.028.
- [8] 李在留, 罗兵, 程凡, 等. 文冠果种皮的化学成分研究[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(6): 1329-1330. DOI:10.3969/j.issn.1008-0805.2007.06.025.
- [9] 许柏艳. 文冠果壳皂甙的生物转化与抗氧化活性分析[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
- [10] 张洪梅. 文冠果壳黄酮、皂苷提取及功能研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2014.
- [11] 李光勋, 王力华, 陈玮. 分光光度法测定文冠果壳总皂苷含量研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(8): 3071-3072. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2008.08.012.
- [12] 万国盛, 王晓波, 吴立军, 等. 文冠果的化学成分及药理活性研究进展[J]. 中草药, 2013, 44(13): 1842-1851. DOI:10.7501/j.issn.0253-2670.2013.13.027.
- [13] 苏小惠. 文冠果盆景制作与管理[J]. 林业实用技术, 2014(10): 55-57. DOI:10.13456/j.cnki.lykt.2014.10.021.
- [14] 盛德策. 文冠果果实发育及体细胞胚培养的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [15] 丁明秀, 敖妍. 文冠果开花座果研究进展[J]. 中国农学通报, 2008(10): 381-384.
- [16] 游庭活, 刘凡, 温露, 等. 黄酮类化合物抑菌作用研究进展[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(21): 3645-3650. DOI:10.4268/cjcmm20132109.
- [17] 杨楠, 贾晓斌, 张振海, 等. 黄酮类化合物抗肿瘤活性及机制研究进展[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(3): 373-381. DOI:10.4268/cjcmm20140302.
- [18] RAUF A, UDDIN G, RAZA M, et al. Reversal of multidrug resistance in mouse lymphoma cells by extracts and flavonoids from *Pistacia integerrima*[J]. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 2016, 17(1): 51-55. DOI:10.7314/APJCP.2016.17.1.51.
- [19] HUNYADI A, MARTINS A, DANKO B, et al. Protoflavones: a class of unusual flavonoids as promising novel anticancer agents[J]. Phytochemistry Reviews, 2014, 13(1): 69-77. DOI:10.1007/s11101-013-9288-2.
- [20] CHEN X, TAIT A R, KITTS D D. Flavonoid composition of orange peel and its association with antioxidant and anti-inflammatory activities[J]. Food Chemistry, 2017, 218: 15-21. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.09.016.
- [21] 单俊杰, 张敏, 武春密, 等. 抗糖尿病及并发症黄酮类化合物的研究进展[J]. 中国新药杂志, 2008, 17(12): 998-1006. DOI:10.3321/j.issn.1003-3734.2008.12.003.
- [22] 吴小军, 牟鲁霞, 赵爱华, 等. 黄酮类化合物治疗糖尿病及其并发症的研究进展[J]. 中药材, 2009, 32(10): 1629-1635. DOI:10.3321/j.issn.1001-4454.2009.10.048.
- [23] AMIC A, MARKOVIC Z, MARKOVIC J M D, et al. Towards an improved prediction of the free radical scavenging potency of flavonoids: the significance of double PCET mechanisms[J]. Food Chemistry, 2014, 152: 578-585. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.12.025.
- [24] SUN A, REN G, DENG C, et al. C-glycosyl flavonoid orientin improves chemically induced inflammatory bowel disease in mice[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 21: 418-430. DOI:10.1016/j.jff.2015.12.029.
- [25] VEZZA T, RODRIGUEZ-NOGALES A, ALGIERI F, et al. Flavonoids in inflammatory bowel disease: a review[J]. Nutrients, 2016, 8(4): 211. DOI:10.3390/nu8040211.
- [26] NAJAFZADEH M, REYNOLDS P D, BAUMGARTNER A, et al. Flavonoids inhibit the genotoxicity of hydrogen peroxide (H₂O₂) and of the food mutagen 2-amino-3-methylimidazo[4,5-f]quinoline (IQ) in lymphocytes from patients with inflammatory bowel disease (IBD)[J]. Mutagenesis, 2009, 24(5): 405-411. DOI:10.1093/mutage/geb016.
- [27] 徐凤, 雷萍. 菌悬液稀释倍数与OD₆₀₀的关系实验[J]. 环保科技, 2010, 16(3): 43-45. DOI:10.3969/j.issn.1674-0254.2010.03.011.
- [28] 韩雍. 荞麦芦丁和蛋白质的近红外光谱分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [29] 赵希, 张黎明, 高文远. 芦丁和槲皮素的几种快速鉴定方法[J]. 分析试验室, 2008(增刊1): 243-246. DOI:10.3969/j.issn.1000-0720.2008.z1.074.
- [30] 石光波, 杨素芝, 李正娟, 等. 大孔树脂分离纯化文冠果落果总黄酮的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(8): 252-256. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.08.044.