

油梨果渣化学成分分析及其多酚类成分的清除自由基能力

宁德生¹, 黄思思¹, 谢运昌¹, 夏梦雯², 程玲², 潘争红^{1*}

(1. 广西植物功能物质研究与利用重点实验室, 广西植物研究所, 广西 桂林 541006;
2. 云南师范大学, 昆明 650500)

[摘要] 目的:对油梨果渣化学成分进行分离和结构鉴定,并对多酚类化合物体外清除自由基能力进行评价。方法:采用常压柱色谱和高压液相制备色谱相结合的分​​离方法对油梨果渣进行化学成分分离纯化,通过对波谱数据分析和文献比对进行结构鉴定;并以 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH·)自由基清除法体外评价单体化合物清除自由基能力。结果:从油梨果渣中分离得到 7 个化合物,分别鉴定为 1,2,4-trihydroxyheptadec-16-yne (1),1,2,4-trihydroxynonadecane (2),(2*R*,12*Z*,15*Z*)-2-hydroxy-4-oxoheneicosa-12,15-dien-1-yl acetate (3),色氨酸(4),绿原酸(5),新绿原酸(6),东莨菪苷(7);体外清除自由基活性实验表明化合物 5 和 6 清除自由基能力与维生素 C 相近。结论:化合物 4,6,7 首次从油梨果肉中发现,并且分离得到的多酚类化合物具有较好的清除自由基活性。

[关键词] 油梨;果渣;化学成分;清除自由基能力

[中图分类号] R284;R914 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2016)14-0093-05

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2016140093

[网络出版地址] <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20160603.1144.032.html>

[网络出版时间] 2016-06-03 11:44

Phenolic Compounds and Their Capacity of Scavenging Free Radicals from Residues in Pulps of *Persea americana*

NING De-sheng¹, HUANG Si-si¹, XIE Yun-chang¹, XIA Meng-wen², CHENG Ling², PAN Zheng-hong^{1*}

(1. Guangxi Key Laboratory of Functional Phytochemicals Research and Utilization, Guangxi Institute of Botany, Guilin 541006, China; 2. Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

[Abstract] **Objective:** To isolate and identify the chemical compounds from the residues in the pulps of *Persea americana*, and evaluate the capacity of scavenging free radicals of phenolic compounds. **Method:** The chemical compounds were isolated and purified by the combined normal pressure column chromatography and high pressure liquid preparative chromatography, and their chemical structures were elucidated by spectral data analysis and comparing with the previous literature. Moreover, the capacity of scavenging free radicals of phenolic compounds was also evaluated by using 1, 1 diphenyl - 2 - trinitrobenzene hydrazine (DPPH·) assay. **Result:** Seven compounds were obtained and their structures were identified as 1, 2, 4-trihydroxyheptadec-16-yne (1), 1, 2, 4-trihydroxynonadecane (2), (2*R*, 12*Z*, 15*Z*)-2-hydroxy-4-oxoheneicosa-12, 15-dien-1-yl acetate (3), tryptophan (4), chlorogenic acid (5), neochlorogenic acid (6), and scopolin (7) respectively. The *in vitro* free radicals scavenging activity experiment showed that the capacity of scavenging free radicals of compounds 5 and 6 were close to that of vitamin C. **Conclusion:** Compounds 4, 6 and 7 were isolated from *P. americana* for the first time. In addition, phenolic compounds obtained from *P. americana* had good *in vitro* free radicals

[收稿日期] 20150714(016)

[基金项目] 广西植物研究所基本业务费项目(桂植业 14010);广西植物功能物质研究与利用重点实验室主任基金(ZRJJ2014-4)

[第一作者] 宁德生, 硕士, 助理研究员, 从事天然产物研究与开发, Tel:13036933374, E-mail:65392586@qq.com

[通讯作者] *潘争红, 博士, 副研究员, 从事天然药物化学成分与活性研究, Tel:15807737260, E-mail:pan7260@126.com

scavenging activities.

[**Key words**] *Persea americana*; residues from the pulps; chemical compounds; capacity of scavenging free radicals

油梨 *Persea americana* 又名鳄梨、牛油果、幸福果等,是一种新兴的热带、亚热带水果,原产于美洲,目前以美国南部、危地马拉、墨西哥及古巴栽培最多,国内许多地区也开始广泛种植^[1]。作为一种新兴的、具有高商业价值的水果,吸引许多学者对其开展化学成分和药理等方面的研究,结果表明油梨中存在多种结构类型的植物化学成分,如单萜^[2]、倍半萜^[3]、三萜^[4]、黄酮^[5]、生物碱^[6]、甾体^[7]、类胡萝卜素^[8]、长链脂肪酸醇衍生物^[9]等;并且在抗病毒^[10]、抗真菌^[9]、细胞毒性^[11]、抗氧化^[12]、保肝^[13]等方面显示出较好的生物活性。油梨果肉中以植物油为主,质量分数高达 30%^[14],油的品级堪比橄榄油;其中还富含人体必需的脂肪酸、蛋白质、矿物质、各种维生素以及多酚类成分^[15-16]。目前油梨主要是作为水果销售和用于油梨油的提取,而利用后产生的废弃物果皮、果核(较大,约占鲜果重的 13%)和果渣仍未被商业开发,造成极大的资源浪费,以这些废弃物为原料进行生物活性物质的开发与利用是油梨深加工产业的重要方向之一。目前对于果渣的研究报道并不多,深入的化学成分研究未见报道。为了给油梨今后的综合开发利用提供物质基础和科学指导,本文以油梨果肉脱脂后的果渣为研究对象,进行化学成分的研究及单体化合物体外清除自由基能力评价,结果从油梨果渣中分离得到 7 个化合物,其中化合物 4、6 和 7 首次从油梨果肉中发现,分离得到的多酚类化合物具有较好的清除自由基活性。

1 材料

AVANCE III HD - 500 MHz 型超导核磁共振仪(瑞士 Bruker),LC-MS-IT-TOF System 型质谱仪(日本岛津),BS110S 型赛多利斯电子天平(北京赛多利斯天平有限公司),制备液相(日本岛津),PCR-ODS 色谱柱(50 mm × 250 mm, 15 μm),1200 系列半制备型高效液相色谱仪(美国安捷伦),RT-9100 型半自动生化分析仪(深圳雷杜生命科学股份有限公司),ZORBAX SB-C₁₈ 色谱柱(9.4 mm × 250 mm, 5 μm);D101 型大孔树脂(南开大学化工厂),1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH·)试剂(Sigma 公司),抗坏血酸(湖南省南化化学品有限公司),高效液相用试剂为色谱纯,其他所用试剂均为分析纯。

油梨果购于桂林市微笑堂商厦,产地为墨西哥。

2 方法

2.1 提取与分离 油梨鲜果 1.6 kg,于 50 °C 烘箱鼓风烘干得果肉 485 g,经石油醚脱脂后用 60% 乙醇浸提 3 次,合并提取液,减压浓缩至提取液中无乙醇,注入 D101 大孔树脂柱进行吸附,以 20%,60%,95% 乙醇分别梯度洗脱;其中 95% 乙醇部位(4.3 g)经硅胶柱色谱,石油醚-丙酮(100:0,50:1,20:1,10:1,9:1)梯度洗脱,经 TLC 检测合并得到 5 个部分(A ~ E)。组分 B 经硅胶柱色谱,石油醚-丙酮(20:1)洗脱得到化合物 3(5.5 mg);组分 C 经硅胶柱色谱,石油醚-丙酮(10:1)反复纯化得到化合物 1(6.3 mg)和 2(4.2 mg)。

20% 乙醇部位(11.8 g)经岛津制备液相制备[流速 5 mL·min⁻¹,波长 210 nm,流动相乙腈(A)-水(B)梯度洗脱(0 ~ 20 min,10% ~ 16% A;20 ~ 50 min,16% ~ 20% A)],得到化合物 4 ~ 7 的粗流份,见图 1。随后将 4 个流份经 Agilent 1200 系列半制备液相制备[流速 3 mL·min⁻¹,波长 210 nm,柱温 40 °C,流动相乙腈-水(16:84)],分离纯化得到化合物 4(7.6 mg),5(4.5 mg),6(5.8 mg),7(6.3 mg)。

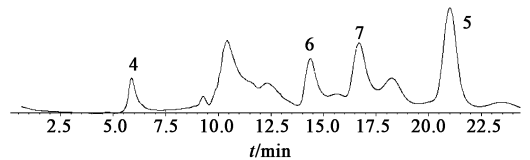


图 1 化合物 4 ~ 7 制备色谱

Fig. 1 Preparative chromatogram of compounds 4-7

2.2 结构鉴定 化合物 1 白色粉末。ESI-MS m/z 285 [M + H]⁺。¹H-NMR (500 MHz, CDCl₃) δ: 3.98 (1H, m, H-2), 3.91 (1H, m, H-4), 3.65 (1H, dd, $J = 11.0, 3.0$ Hz, H-1'), 3.50 (1H, dd, $J = 11.0, 6.0$ Hz, H-1), 2.19 (2H, td, $J = 7.0, 2.5$ Hz, H-15), 1.96 (1H, t, $J = 2.5$ Hz, H-17); ¹³C-NMR (125 MHz, CDCl₃) δ: 67.2 (C-1), 73.0 (C-2), 39.4 (C-3), 72.8 (C-4), 38.7 (C-5), 29.9, 29.8, 29.4, 28.8, 25.7 (C-6 ~ C-14), 18.7 (C-15), 85.1 (C-16), 68.4 (C-17)。以上数据与文献[11]报道基本一致,故将化合物 1 鉴定为 1,2,4-trihydroxyheptadec-16-yne。

化合物 2 白色粉末。ESI-MS m/z 317 [M + H]⁺。¹H-NMR (500 MHz, CDCl₃) δ: 3.98 (1H, m,

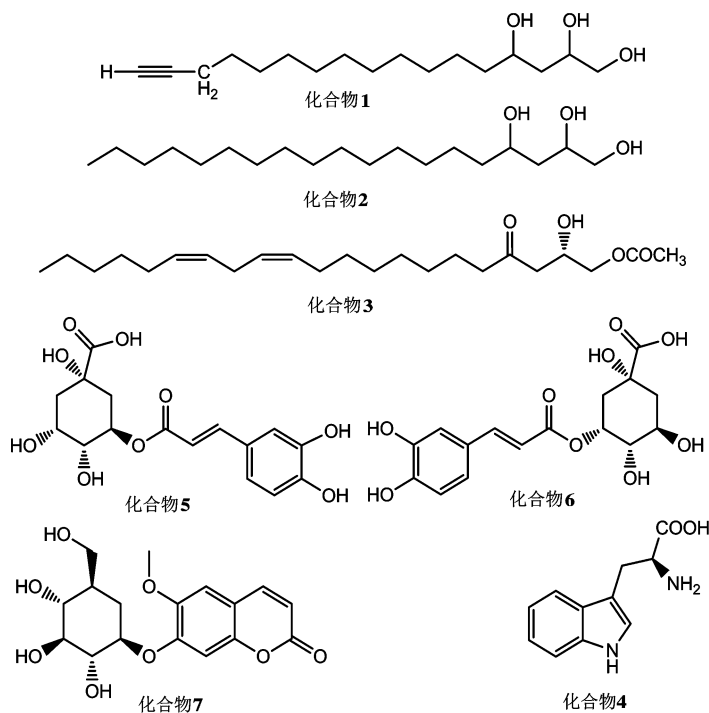


图 2 化合物 1~7 结构式

Fig.2 Structures of compounds 1-7

H-2), 3.91 (1H, m, H-4), 3.65 (1H, m, H-1'), 3.50 (1H, m, H-1), 1.59 (2H, m, H-3), 0.90 (3H, t, $J = 7.0$ Hz, H-19); $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, CDCl_3) δ : 66.8 (C-1), 72.5 (C-2), 39.0 (C-3), 72.6 (C-4), 38.3 (C-5), 31.9, 29.7, 29.6, 29.4, 25.3 (C-6 ~ C-17), 22.7 (C-18), 14.1 (C-19)。以上数据与文献[11]报道基本一致,故将化合物 2 鉴定为 1,2,4-trihydroxynonadecane。

化合物 3 无色油。ESI-MS, m/z 403 [$\text{M} + \text{Na}$] $^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CDCl_3) δ : 5.35 (2H, m, H-12, 16), 5.32 (2H, m, H-13, 15), 4.03 (2H, dd, $J = 11.5, 6.5$ Hz, H-1), 2.41 (2H, t, $J = 7.5$ Hz, H-5), 0.87 (3H, t, $J = 7.0$ Hz, H-21), 2.08 (3H, s, CH_3CO)。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, CDCl_3) δ : 67.1 (C-1), 66.0 (C-2), 45.3 (C-3), 210.8 (C-4), 43.5 (C-5), 23.5 (C-6), 29.1 (C-7, 8), 29.3 (C-9, 10), 27.2 (C-11), 130.0 (C-12), 127.9 (C-13), 25.6 (C-14), 128.1 (C-15), 130.2 (C-16), 27.2 (C-17), 29.6 (C-18), 31.5 (C-19), 22.6 (C-20), 14.1 (C-21), 171.0 (CH_3CO), 20.8 (CH_3CO)。以上数据与文献[13]报道基本一致,故将化合物 3 鉴定为 (2*R*, 12*Z*, 15*Z*)-2-hydroxy-4-oxoheneicosa-12,15-dien-1-yl acetate。

化合物 4 白色粉末。ESI-MS m/z 227 [$\text{M} +$

Na] $^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CD_3OD) δ : 7.69 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-4), 7.35 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-7), 7.19 (1H, s, H-2), 7.12 (1H, t, $J = 8.0$ Hz, H-6), 7.03 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5), 3.84 (1H, dd, $J = 9.5, 3.5$ Hz, H-2'), 3.50 (1H, dd, $J = 15.0, 3.5$ Hz, H-1'), 3.14 (1H, dd, $J = 15.0, 9.5$ Hz, H-1')。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, CD_3OD) δ : 125.1 (C-2), 109.8 (C-3), 119.4 (C-4), 120.1 (C-5), 122.7 (C-6), 112.4 (C-7), 138.4 (C-8), 128.5 (C-9), 28.7 (C-1'), 56.7 (C-2'), 174.9 (C-3')。以上数据与文献[17]报道基本一致,故将化合物 4 鉴定为色氨酸。

化合物 5 白色粉末。ESI-MS m/z 377 [$\text{M} + \text{Na}$] $^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CD_3OD) δ : 7.56 (1H, d, $J = 16.0$ Hz, H-3'), 7.06 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-5'), 6.96 (1H, dd, $J = 2.0, 8.5$ Hz, H-9'), 6.79 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-8'), 6.26 (1H, d, $J = 16.0$ Hz, H-2'), 5.33 (1H, td, $J = 4.5, 9.5$ Hz, H-3), 4.17 (1H, td, $J = 3.0, 4.5$ Hz, H-5), 3.73 (1H, dd, $J = 3.0, 8.5$ Hz, H-4)。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, CD_3OD) δ : 76.2 (C-1), 38.2 (C-2), 73.5 (C-3), 72.0 (C-4), 71.3 (C-5), 38.8 (C-6), 177.0 (C-7), 168.7 (C-1'), 115.3 (C-2'), 147.1 (C-3'), 127.8 (C-4'), 115.2 (C-5'), 149.6 (C-6'), 146.8

(C-7'), 116.5 (C-8'), 123.0 (C-9')。以上数据与文献[18]报道基本一致,故将化合物 5 鉴定为绿原酸。

化合物 6 白色粉末。ESI-MS m/z 377 [M + Na]⁺。¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 7.59 (1H, d, $J = 16.0$ Hz, H-3'), 7.06 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-5'), 6.95 (1H, dd, $J = 2.5, 8.5$ Hz, H-9'), 6.78 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-8'), 6.31 (1H, d, $J = 15.5$ Hz, H-2'), 5.36 (1H, dd, $J = 4.0, 8.0$ Hz, H-5), 4.15 (1H, td, $J = 4.0, 9.5$ Hz, H-3), 3.64 (1H, dd, $J = 3.5, 8.5$ Hz, H-4), 1.95 (1H, dd, $J = 9.5, 13.5$ Hz, H-2 β)。 ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 75.4 (C-1), 41.6 (C-2), 68.3 (C-3), 74.8 (C-4), 73.0 (C-5), 36.7 (C-6), 178.3 (C-7), 169.0 (C-1'), 115.9 (C-2'), 146.8 (C-3'), 128.0 (C-4'), 115.2 (C-5'), 146.7 (C-6'), 149.4 (C-7'), 116.5 (C-8'), 122.9 (C-9')。以上数据与文献[18]报道基本一致,故将化合物 6 鉴定为新绿原酸。

化合物 7 白色粉末。ESI-MS m/z 377 [M + Na]⁺。¹H-NMR (500 MHz, DMSO) δ : 7.95 (1H, d, $J = 9.5$ Hz, H-4), 7.30 (1H, s, H-8), 7.15 (1H, s, H-5), 6.32 (1H, d, $J = 9.5$ Hz, H-3), 5.35 (1H, d, $J = 4.5$ Hz, H-1'), 3.81 (3H, s, 6-OCH₃)。 ¹³C-NMR (125 MHz, DMSO) δ : 160.6 (C-2), 113.4 (C-3), 144.4 (C-4), 109.8 (C-5), 146.1 (C-6), 149.9 (C-7), 103.1 (C-8), 149.0 (C-9), 112.3 (C-10), 99.8 (C-1'), 73.2 (C-2'), 77.2 (C-3'), 69.8 (C-4'), 76.8 (C-5'), 60.7 (C-6'), 56.2 (6-OCH₃)。以上数据与文献[19]报道的基本一致,故将化合物 7 鉴定为东莨菪苷。

2.3 体外清除自由基活性测定

2.3.1 DPPH·溶液配制 精密称取 DPPH·19.716 mg, 无水乙醇溶解并定容至 500 mL 量瓶中, 摇匀即得 0.1 mmol·L⁻¹ 的储备液。

2.3.2 单体化合物测试液配制及加样 分别精密称取化合物 5, 6 和维生素 C 各 1 mg, 溶于 10 mL 量瓶中, 依次吸取适当的体积稀释成化合物 5 和 6 质量浓度为 1, 3, 5, 7, 9, 11 mg·L⁻¹ 的测试液, 维生素 C 质量浓度为 1, 2, 3, 4, 5, 6 mg·L⁻¹ 的测试液。按表 1 的体系进行加样(反应总体积 1 mL), 摇匀, 37 °C 避光水浴 30 min 后于 517 nm 处测定吸光度 A , 结果见表 2。

DPPH·自由基清除率 = $[A_0 - (A_s - A_c)] / A_0 \times 100\%$, 再以样品各质量浓度为横坐标, 清除率为纵坐标, 作回归曲线, 计算半抑制浓度 (IC₅₀)。式中

表 1 单体化合物清除 DPPH·实验反应体系

Table 1 Experimental reaction system of monomer compound scavenging DPPH·

No.	样品测试液	水	DPPH· μL
1	500	-	500
2	500	500	-
3	-	500	500

表 2 单体化合物抗氧化能力

Table 2 Antioxidant capacity of monomer compound

No.	样品	回归方程	r	IC ₅₀ /mg·L ⁻¹
1	化合物 5	$Y = 7.0906X + 0.9899$	0.9995	6.91
2	化合物 6	$Y = 6.9794X + 1.4634$	0.9990	6.95
3	维生素 C	$Y = 12.295X - 1.2429$	0.9953	4.17

A_0 为水 + DPPH·溶液的吸光度; A_s 为样品溶液 + DPPH·溶液的吸光度; A_c 为样品溶液 + 水的吸光度。

3 结果与讨论

许多疾病的发生与发展与体内自由基代谢失衡有密切关系, 所以从植物中寻找安全有效的抗氧化剂成为研究热点之一。临床调查数据显示, 食用富含黄酮、酚酸类化合物的水果蔬菜能降低一些与体内自由基代谢失衡有关疾病的发生^[20-21]。目前已报道多种检测抗氧化剂的方法, 其中 DPPH·分光光度测定法是快速、简便、灵敏的筛选抗氧化剂方法, 在国内外已得到较多的应用^[22-23]。

油梨除富含不饱和脂肪酸外, 还含有大量的多酚类物质。为了更进一步挖掘油梨的可开发利用价值, 通过研究油梨果肉非油部位的化学成分及其清除自由基能力。从中分离纯化出 7 个单体化合物, 并对其中多酚类化合物进行体外清除自由基能力评价, 结果表明油梨中的多酚类化合物清除自由基的能力接近维生素 C, IC₅₀ 分别为绿原酸 (6.91 mg·L⁻¹), 新绿原酸 (6.95 mg·L⁻¹); 药理研究表明, 绿原酸类化合物具有抗菌消炎、活血降压、保肝利胆等多种生物活性^[24-25]。此外, 分离得到其他类型的化合物同样具有生物活性, 化合物 1 和 2 为长链脂肪醇衍生物具有细胞毒性和杀虫等活性^[11]; 化合物 3 为二烯长链脂肪酸衍生物, 具有抑制肝脏损伤的活性^[13]。由此可见, 油梨果渣中存在的天然植物化学成分在医药、化妆品等多个领域上具有广阔的开发与利用前景。同时本文研究也表明大孔树脂对多酚类化合物同样具有较好的富集效果, 为今后油梨深

加工提供科学的指导依据。

[参考文献]

- [1] 李丽, 李隆伟, 李新国, 等. 中国油梨产业发展现状与建议[J]. 中国热带农业, 2012, 46(3): 8-10.
- [2] Pino J A, Rosado A, Aguero J. Volatile components of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit [J]. J Essent Oil Res, 2000, 12(3): 377-378.
- [3] Scora R W, Scora P E. Leaf oils of two new avocado varieties endemic to Costa Rica [J]. J Essent Oil Res, 1998, 10(6): 705-707.
- [4] Werman M J, Mokady S, Neeman I. Partial isolation and characterization of a new natural inhibitor of lysyl oxidase from avocado seed oil [J]. J Agric Food Chem, 1990, 38(12): 2164-2168.
- [5] De Almeida A P, Miranda M M F S, Simoni I C, et al. Flavonol monoglycosides isolated from the antiviral fractions of *Persea americana* (Lauraceae) leaf infusion [J]. Phytother Res, 1998, 12(8): 562-567.
- [6] Nagaraj M, Sandhya V, Supriya G, et al. Antioxidant and antibacterial activity of avocado (*Persea gratissima* Gaertner) seed extract [J]. World Appl Sci J, 2010, 9(6): 695-698.
- [7] Sciancalepore V, Dorbessan W. Sterol composition of oil of avocado (*Persea americana* Mill.) [J]. Crasasy Aceites, 1982, 33: 273-275.
- [8] Lu Q Y, Zhang Y J, Wang Y, et al. California Hass avocado: Profiling of carotenoids tocopherol, fatty acid, and fat content during maturation and from different growing areas [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(21): 10408-10413.
- [9] Domergue F, Helms G L, Prusky D, et al. Antifungal compounds from idioblast cells isolated from avocado fruits [J]. Phytochemistry, 2000, 54(2): 183-189.
- [10] Miranda M M F S, Almeida A P, Costa S S, et al. *In vitro* activity of extracts of *Persea americana* leaves on acyclovir-resistant and phosphonoacetic resistant herpes simplex virus [J]. Phytomedicine, 1997, 4(4): 347-352.
- [11] Oberlies N H, Rogers L L, Martin J M, et al. Cytotoxic and insecticidal constituents of the unripe fruit of *Persea americana* [J]. J Nat Prod, 1998, 61(6): 781-785.
- [12] Kosińska A, Karamać M, Estrella I, et al. Phenolic compound profiles and antioxidant capacity of *Persea americana* Mill. peels and seeds of two varieties [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(18): 4613-4619.
- [13] Kawagishi H, Fukumoto Y, Hatakeyama M, et al. Liver injury suppressing compounds from avocado (*Persea americana*) [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(5): 2215-2221.
- [14] 汤秀华, 王文林, 谭德锦. 油梨的营养功效与经济价值[J]. 中国热带农业, 2014(4): 42-44.
- [15] 钟思强. 油梨的营养价值和保健作用[J]. 广西热带农业, 2002(4): 19-21.
- [16] Rodríguez Carpena J G, Morcuende D, Andrade M J, et al. Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, *in vitro* antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(10): 5625-5635.
- [17] 程萍. 多棘海盘车化学成分的研究[D]. 上海: 第二军医大学, 2008.
- [18] 刘江, 王海峰, 曲佳琳, 等. 甘茶花的化学成分研究[J]. 中草药, 2014, 45(3): 308-313.
- [19] 汪青青, 张英, 叶文才, 等. 满山白化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(3): 366-370.
- [20] Mitchell J B, Xavier S, Deluca A M, et al. A low and molecular weight antioxidant decreases weight and lowers tumor incidence [J]. Free Radical Biol Med, 2003, 34(1): 93-103.
- [21] 翟万银, 朱振勤, 陈秀武, 等. 雷震子护康胶囊制剂抗氧化和对 DNA 损伤保护作用研究[J]. 发光学报, 2002, 23(2): 191-196.
- [22] 陈季武, 胡斌, 赵实, 等. 天然黄酮类化合物清除 DPPH· 的构效关系[J]. 发光学报, 2005, 26(5): 664-668.
- [23] Rufino M S M, Alves R E, Fernandes F A N, et al. Free radical scavenging behavior of ten exotic tropical fruits extracts [J]. Food Res Int, 2011, 44(7): 2072-2075.
- [24] 吴卫华, 康桢, 欧阳冬生, 等. 绿原酸的药理学研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(4): 691-694.
- [25] 席利莎, 木泰华, 孙红男. 绿原酸类物质的国内外研究进展[J]. 核农学报, 2014, 28(2): 292-301.

[责任编辑 顾雪竹]