

[成分分析]

光皮木瓜化学成分研究及其神经保护活性

李 孟^{1,2}, 张志广^{1,2,3}, 王梦梦^{1,2}, 石静亚^{1,2}, 张靖柯^{1,2}, 吕锦锦^{1,2}, 常 远¹,
郑晓珂^{1,2}, 冯卫生^{1,2*}

(1. 河南中医药大学, 河南 郑州 450046; 2. 河南省中药开发工程技术研究中心, 河南 郑州 450046;
3. 中央民族大学药学院, 北京 100081)

摘要: **目的** 研究光皮木瓜 *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne 的化学成分及其神经保护活性。**方法** 光皮木瓜 50% 丙酮提取物采用 Diaion HP-20、Toyopearl HW-40、MCI Gel CHP-20、ODS、硅胶、半制备液相进行分离纯化, 根据理化性质及波谱数据鉴定所得化合物的结构。采用 MTT 法检测化合物对皮质酮诱导的大鼠嗜铬细胞瘤细胞 (PC-12 细胞) 损伤的保护活性。**结果** 从中分离得到 9 个化合物, 分别鉴定为 8-hydroxy-2, 7-dimethyl-2*E*, 4*E*-decadienedioic acid 1-β-*D*-glucopyranyl ester 10-methyl ester (**1**)、monomethyl glansreginate (**2**)、2, 7-dimethyl-2, 4-diene-deca-α, ω-di-acid (**3**)、(6*S*) -menthiafolic acid (**4**)、(4*E*, 6*E*) -2, 7-dimethyl-8-hydroxyoctadienoic acid (**5**)、glansreginic acid (**6**)、2, 7-dimethyl-2*E*, 4*E*-octadienedioic acid (**7**)、9ξ-*O*-β-*D*-glucopyranosyloxy-5-megastigmen-4-one (**8**)、icariside B₉ (**9**)。在浓度为 5 μmol/L 时, 化合物 **3~5**、**7** 可显著提高皮质酮诱导的 PC-12 损伤的细胞活力。**结论** 所有化合物均为首次从该植物中分离得到, 且化合物 **3~5**、**7** 具有一定的神经保护活性。

关键词: 光皮木瓜; 果实; 化学成分; 分离鉴定; 神经保护活性

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2020)10-2635-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2020.10.018

Chemical constituents from the fruits of *Chaenomeles sinensis* and their neuroprotective activity

LI Meng^{1,2}, ZHANG Zhi-guang^{1,2,3}, WANG Meng-meng^{1,2}, SHI Jing-ya^{1,2}, ZHANG Jing-ke^{1,2},
LÜ Jin-jin^{1,2}, CHANG Yuan¹, ZHENG Xiao-ke^{1,2}, FENG Wei-sheng^{1,2*}

(1. Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China; 2. Engineering and Technology Center for Chinese Medicine Development of Henan Province, Zhengzhou 450046, China; 3. School of Pharmacy, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: **AIM** To study the chemical constituents from the fruits of *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne and their neuroprotective activity. **METHODS** The 50% acetone extract from *C. sinensis* was isolated and purified by Diaion HP-20, Toyopearl HW-40, MCI Gel CHP-20, ODS, silica gel and semi-preparative-HPLC, then the structures of obtained compounds were identified by physicochemical properties and spectral data. Their protective effect on rat adrenal pheochromocytoma (PC-12) injury induced by corticosterone through MTT method. **RESULTS** Nine compounds were isolated and identified as 8-hydroxy-2, 7-dimethyl-2*E*, 4*E*-decadienedioic acid 1-β-*D*-glucopyranyl ester 10-methyl ester (**1**), monomethyl glansreginate (**2**), 2, 7-dimethyl-2, 4-diene-deca-α, ω-diacid (**3**), (6*S*) -menthiafolic acid (**4**), (4*E*, 6*E*) -2, 7-dimethyl-8-hydroxyoctadienoic acid (**5**), glansreginic acid (**6**), 2, 7-dimethyl-2*E*, 4*E*-octadienedioic acid (**7**), 9ξ-*O*-β-*D*-glucopyranosyloxy-5-megastigmen-4-one (**8**), icariside B₉ (**9**). At a concentration of 5 μmol/L, compounds **3-5**, **7** could significantly increase

收稿日期: 2019-09-02

基金项目: 国家重点研发计划“中医药现代化研究重点专项”(2017YFC1702800); 国家重点研发计划“中医药现代化研究”(2019YFC1708802); 中央引导地方科技发展专项(豫财科[2016]149); 河南中医药大学2018年度博士科研基金立项(BSJ2018-08)

作者简介: 李 孟(1988—), 女, 博士, 讲师, 从事中药药效物质基础研究。Tel: 15838031716, E-mail: limeng31716@163.com

* 通信作者: 冯卫生(1960—), 男, 博士, 教授, 从事中药药效物质基础研究。Tel: (0371) 60190296, E-mail: fwsh@hactcm.edu.cn

the cell viability of corticosterone-induced PC-12 damage. **CONCLUSION** All the compounds are isolated from this plant for the first time, and compounds **3–5, 7** have certain neuroprotective activity.

KEY WORDS: *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne; fruits; chemical constituents; isolation and identification; neuroprotective activity

光皮木瓜 *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne 为蔷薇科木瓜属植物木瓜的成熟果实, 又名榎楂、土木瓜。其果实形状为长椭圆形或椭圆形, 外皮光滑, 果肉味酸、涩, 性平, 归胃、肝、肺经, 具有利胃舒筋、祛风湿、消痰止咳的功效^[1-3], 广泛分布于陕西、山东、河南、湖北、安徽等省。木瓜果实营养丰富, 被誉为“百益果王”, 是集加工食用、药用和观赏于一体的、极具开发价值的新型经济树种之一^[4]。河南南阳地区种植有大面积的光皮木瓜, 但对其化学成分研究较少, 课题组前期从中分离得到 3 个生物碱类化合物^[5], 本实验采用多种色谱技术又分得 9 个萜类化合物, 均为首次从该植物中发现, 并采用 MTT 法检测各化合物对皮质酮诱导的大鼠嗜铬细胞瘤细胞 (PC-12 细胞) 损伤的保护作用, 结果表明, 化合物 **3~5、7** 对 PC-12 细胞具有显著活性。

1 材料

Bruker AVANCE III 500 核磁共振仪 (TMS 为内标)、Bruker maxis HD 型飞行时间质谱仪 (德国 Bruker 公司); Nicolet iS 10 Microscope Spectrometer 红外光谱仪 (美国 Thermo fisher 公司); Shimadzu UV-2401PC apparatus 紫外光谱仪 (日本岛津公司); Chirascan qCD (英国应用光物理公司); LC50 型高压制备液相色谱仪 [赛谱锐思 (北京) 科技有限公司]; iMark 酶标仪 (美国 Bio-Rad 公司); ECLIPSE TS100 倒置显微镜 (日本 Nikon 公司); SW-CJ-2FD 超净工作台 (苏州安泰空气技术有限公司); Forma 3111 细胞培养箱 (美国 Thermo Fisher 公司); Centrifuge-5804R 小型高速低温冷冻离心机 (德国 Eppendorf 公司); 微量加样器 (法国 Gilson 公司); 多功能暗箱紫外透色仪 (ZF-90)、优普超纯水机、红外光谱仪、冷冻干燥机 (EYELA PDU-2110)、鼓风干燥箱 (上海一恒科学仪器有限公司); A-1000S 水流抽气机 (东京理化器械株式会社); 超声波清洗机 (宁波新芝生物技术有限公司)。柱层析填充剂所用 Diaion HP-20、MCI Gel CHP-20、Toyopearl HW-40 (日本三菱化学公司); Sephadex LH-20 (瑞士 Parmacia Biotech 公司); 柱层析所用硅胶 H (160~200 目, 青岛海洋

化工厂)。所用分析纯和色谱纯试剂 (北京化工厂和天津第三化学试剂厂); DMEM 培养基、胰蛋白酶 (美国 Gibco 公司); 青霉素、硫酸链霉素 (华北制药股份有限公司); 胎牛血清 (杭州四季青生物工程材料有限公司); MTT、DMSO、hepes (美国 Amresco 公司)。

光皮木瓜采自河南省方城县, 经河南中医药大学药学院陈随清教授及董诚明教授鉴定为蔷薇科木瓜属植物光皮木瓜 *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne 的成熟果实。

2 提取与分离

取鲜品 30 kg, 去籽切成 1.5 cm³, 用 50% 丙酮组织破碎提取。提取液减压浓缩、冷冻干燥, 得 50% 丙酮提取总浸膏 (2.67 kg), 80% 乙醇醇沉、滤过, 上清液离心液减压浓缩至无醇味的浸膏状, 上 Diaion HP-20 大孔吸附树脂柱, 乙醇-水 (0 : 100、10 : 90、20 : 80、30 : 70、40 : 60、50 : 50、70 : 30、95 : 5) 梯度洗脱, 合并各部位得到 8 个馏分 (Fr. 1~8)。Fr. 3 (39.3 g) 经 Toyopearl HW-40C 柱色谱, 甲醇-水 (0 : 100、10 : 90、20 : 80) 梯度洗脱, 合并相同馏分, 得到 Fr. 3.1~3.5, Fr. 3.1 经 Sephadex LH-20 和半制备液相, 得到化合物 **2** (10.8 mg)、**3** (5.4 mg)、**4** (7.6 mg)、**5** (11.2 mg); Fr. 3.4 经 ODS、Sephadex LH-20 柱色谱和半制备液相, 得到化合物 **6** (4.3 mg)、**7** (6.1 mg)。Fr. 3.2 经 ODS-18 反相色谱柱, 甲醇-水 (10 : 90、20 : 80、30 : 70、40 : 60) 梯度洗脱, 合并相同馏分, 再经 Sephadex LH-20 柱色谱和半制备液相, 得到化合物 **1** (3.2 mg)、**8** (4.3 mg)、**9** (4.8 mg)。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 淡黄色固体 (甲醇), 易溶于甲醇、水。ESI-MS m/z : 441.2 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 7.31 (1H, dd, J = 0.7, 11.5 Hz, H-3), 6.48 (1H, dd, J = 11.5, 15.0 Hz, H-4), 6.17 (1H, ddd, J = 7.3, 7.9, 15.0 Hz, H-5), 5.53 (1H, d, J = 8.0 Hz, H-1'), 3.68 (3H, s, H-13), 2.57 (1H, dd, J = 3.4, 15.1 Hz, H-9b), 2.40 (1H, m, H-6b), 2.35

(1H, dd, $J=9.5, 15.1$ Hz, H-9a), 2.09 (1H, m, H-6a), 1.93 (3H, s, H-11), 0.90 (3H, s, H-12);¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 174.4 (C-10), 168.7 (C-1), 143.9 (C-2), 141.4 (C-3), 128.7 (C-4), 125.4 (C-2), 95.9 (C-1'), 78.8 (C-5'), 78.1 (C-3'), 74.0 (C-2'), 72.9 (C-8), 71.1 (C-4'), 62.3 (C-6'), 52.1 (C-13), 15.8 (C-12), 12.5 (C-11)。以上数据与文献 [6] 基本一致, 故鉴定为 8-hydroxy-2, 7-dimethyl-2*E*, 4*E*-decadienedioic acid 1- β -*D*-glucopyranyl ester 10-methyl ester。

化合物 2: 黄色粉末 (甲醇), 易溶于甲醇、水。ESI-MS m/z : 279.1 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 7.17 (1H, d, $J=10.8$ Hz, H-3), 6.45 (1H, dd, $J=10.8, 15.0$ Hz, H-4), 6.08 (1H, dt, $J=15.0, 7.8$ Hz, H-5), 3.86 (1H, m, H-8), 3.66 (3H, s, -OCH₃), 2.50 (1H, dd, $J=4.2, 15.0$ Hz, H-9a), 2.44 (1H, m, H-6a), 2.33 (1H, dd, $J=9.0, 15.0$ Hz, H-9b), 2.09 (1H, dt, $J=13.8, 7.8$ Hz, H-6b), 1.89 (3H, s, H-11), 1.69 (1H, m, H-7), 0.92 (3H, d, $J=6.6$ Hz, H-12);¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 174.4 (C-10), 172.1 (C-1), 142.5 (C-5), 140.1 (C-3), 128.8 (C-4), 126.3 (C-2), 72.9 (C-8), 52.1 (-OCH₃), 40.3 (C-9), 40.0 (C-7), 37.1 (C-6), 12.8 (C-12), 12.6 (C-11)。以上数据与文献 [7] 基本一致, 故鉴定为 monomethyl glansreginate。

化合物 3: 淡黄色粉末 (甲醇), 易溶于甲醇、水。ESI-MS m/z : 427.2 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 7.18 (1H, d, $J=11.3$ Hz, H-3), 6.47 (1H, dd, $J=11.3, 15.0$ Hz, H-4), 6.09 (1H, dt, $J=15.0, 7.8$ Hz, H-5), 4.33 (1H, d, $J=7.8$ Hz, H-1'), 4.02 (1H, m, H-8), 3.96 (1H, m, H-6'a), 3.82 (1H, m, H-6'b), 3.36~3.45 (4H, m, H-2', H-3', H-4', H-5'), 2.64 (1H, m, H-9), 2.47 (1H, m, H-6), 1.96 (1H, m, H-7), 1.89 (3H, s, H-12), 0.95 (3H, s, H-11);¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 176.3 (C-10), 172.1 (C-1), 142.6 (C-5), 140.2 (C-3), 128.9 (C-4), 126.3 (C-2), 104.7 (C-1'), 81.8 (C-8), 78.1 (C-5'), 77.7 (C-3'), 75.3 (C-2'), 71.5 (C-4'), 62.7 (C-6'), 39.0 (C-9), 38.6 (C-7),

36.9 (C-6), 15.5 (C-12), 12.7 (C-11)。以上数据与文献 [8] 基本一致, 故鉴定为 2, 7-dimethyl-2, 4-diene-deca- α , ω -diacid。

化合物 4: 棕色粉末 (甲醇), ESI-MS m/z : 207.1 [M+Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 6.76 (1H, dd, $J=7.6, 6.5$ Hz, H-3), 5.91 (1H, dd, $J=17.4, 10.8$ Hz, H-7), 5.22 (1H, dd, $J=17.4, 1.5$ Hz, H-8a), 5.05 (1H, dd, $J=17.4, 1.5$ Hz, H-8b), 2.23 (2H, m, H-4), 1.79 (3H, s, H-10), 1.59 (2H, m, H-5), 1.27 (3H, s, H-9);¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 170.5 (C-1), 145.9 (C-7), 143.9 (C-3), 128.8 (C-2), 112.4 (C-8), 73.6 (C-6), 41.8 (C-5), 24.5 (C-4), 27.8 (C-9), 12.3 (C-10)。以上数据与文献 [9] 基本一致, 故鉴定为 (6*S*)-menthiafolic acid。

化合物 5: 黄色粉末 (甲醇), 易溶于甲醇、水。ESI-MS m/z : 207.1 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 7.18 (d, $J=11.4$ Hz, H-6), 6.47 (1H, dd, $J=11.4, 15.0$ Hz, H-5), 6.09 (1H, dt, $J=15.0, 7.5$ Hz, H-4), 3.40 (2H, m, H-8), 2.35 (2H, m, H-2), 2.03 (1H, m, H-3a), 1.89 (3H, s, H-10), 1.72 (1H, m, H-3b), 0.91 (3H, s, H-9);¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 172.1 (C-1), 142.4 (C-5), 140.1 (C-6), 128.7 (C-4), 126.3 (C-7), 67.7 (C-8), 38.0 (C-3), 37.1 (C-2), 16.8 (C-10), 12.6 (C-9)。以上数据与文献 [10] 基本一致, 故鉴定为 (4*E*, 6*E*)-2, 7-dimethyl-8-hydroxyoctadienoic acid。

化合物 6: 黄色粉末 (甲醇), 易溶于甲醇、水。ESI-MS m/z : 265.1 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 7.17 (1H, d, $J=10.8$ Hz, H-3), 6.45 (1H, dd, $J=10.8, 15.0$ Hz, H-4), 6.08 (1H, dt, $J=15.0, 7.8$ Hz, H-5), 3.86 (1H, m, H-8), 2.50 (1H, dd, $J=4.2, 15.0$ Hz, H-9a), 2.44 (1H, m, H-6a), 2.33 (1H, dd, $J=9.0, 15.0$ Hz, H-9b), 2.09 (1H, dt, $J=13.8, 7.8$ Hz, H-6b), 1.89 (3H, s, H-11), 1.69 (1H, m, H-7), 0.92 (3H, d, $J=6.6$ Hz, H-12);¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 174.4 (C-10), 172.1 (C-1), 142.5 (C-5), 140.1 (C-3), 128.8 (C-4), 126.3 (C-2), 72.9 (C-8), 40.3 (C-9), 40.0 (C-7), 37.1 (C-6),

12.8 (C-12), 12.6 (C-11)。以上数据与文献 [11] 基本一致, 故鉴定为 glansreginic acid。

化合物 7: 黄色油状物 (甲醇), 易溶于甲醇、水。ESI-MS m/z : 221.1 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 7.14 (1H, d, J = 11.3 Hz, H-3), 6.46 (1H, t, J = 14.7 Hz, H-4), 6.05 (1H, m, H-5), 2.55 (1H, m, H-7), 2.50 (1H, m, H-6a), 2.31 (1H, m, H-6b), 1.89 (3H, s, H-9), 1.60 (3H, s, H-10); ¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 179.6 (C-1), 172.0 (C-8), 140.6 (C-5), 139.7 (C-3), 129.1 (C-4), 127.1 (C-2), 40.5 (C-7), 38.1 (C-6), 17.2 (C-9), 12.6 (C-10)。以上数据与文献 [6] 基本一致, 故鉴定为 2, 7-dimethyl-2*E*, 4*E*-octadienedioic acid。

化合物 8: 白色粉末 (甲醇), 易溶于甲醇、乙醇。ESI-MS m/z : 395.2 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 4.35 (1H, d, J = 7.8 Hz, H-1'), 3.95 (1H, dd, J = 11.7, 5.4 Hz, H-6a'), 3.85 (1H, m, H-9), 3.65 (1H, dd, J = 11.7, 5.4 Hz, H-6b'), 2.52 (1H, m, H-7a), 2.45 (2H, t, J = 6.7 Hz, H-3), 2.29 (1H, m, H-7b), 1.80 (2H, t, J = 6.7 Hz, H-2), 1.74 (3H, s, H-11), 1.64 (2H, m, H-8), 1.21 (3H, d, J = 6.2 Hz, H-10), 1.18 (6H, s, H-12, 13); ¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 201.6 (C-4), 168.8 (C-6), 141.6 (C-5), 102.3 (C-1'), 78.2 (C-5'), 77.9 (C-3'), 75.7 (C-9), 75.2 (C-2'), 71.8 (C-4'), 62.9 (C-6'), 38.4 (C-8), 37.3 (C-2), 35.1 (C-3), 27.9 (C-7), 27.2 (C-12), 27.1 (C-13), 19.8 (C-10), 11.7 (C-11)。以上数据与文献 [12] 基本一致, 故鉴定为 9*ξ*-*O*- β -*D*-glucopyranosyloxy-5-megastigmen-4-one。

化合物 9: 白色粉末 (甲醇), 易溶于甲醇、乙醇。ESI-MS m/z : 395.2 [M + Na]⁺。¹H-NMR (CD₃OD, 500 MHz) δ : 4.32 (1H, d, J = 7.8 Hz, H-1'), 3.85 (1H, dd, J = 11.8, 2.3 Hz, H-2), 3.66 (1H, dd, J = 10.6, 5.1 Hz, H-6a'), 3.57 (1H, dd, J = 10.6, 5.1 Hz, H-6b'), 2.52 (2H, m, H-8), 2.25 (2H, m, H-7), 2.12 (3H, s, H-10), 1.99 (1H, m, H-4a), 1.91 (1H, m, H-3a), 1.82 (1H, m, H-4b), 1.66 (1H, m, H-3b), 1.60 (3H, s, H-11),

1.08 (3H, s, H-12), 0.99 (3H, s, H-13); ¹³C-NMR (CD₃OD, 125 MHz) δ : 211.7 (C-9), 136.5 (C-6), 128.2 (C-5), 101.8 (C-1'), 82.8 (C-2), 78.3 (C-3'), 77.8 (C-5'), 75.1 (C-2'), 71.9 (C-4'), 63.0 (C-6'), 45.1 (C-8), 40.6 (C-1), 31.2 (C-12), 29.7 (C-10), 26.6 (C-13), 23.8 (C-3), 23.4 (C-4), 22.6 (C-7), 19.6 (C-12)。以上数据与文献 [13] 基本一致, 故鉴定为 icaraside B₉。

4 对皮质酮诱导的 PC-12 细胞损伤的保护作用

4.1 细胞培养 参考文献 [14] 方法, PC-12 细胞加入含 10% 胎牛血清的 1640 培养基, 置于 37 ℃、5% CO₂ 培养箱中培养, 取对数生长期者进行实验。

4.2 MTT 法检测细胞活性 取对数生长期的 PC-12 细胞, 以 4×10⁴/mL 浓度接种于 96 孔细胞培养板内, 每孔 200 μ L, 待细胞完全贴壁后分为正常组、模型组 (CORT 造模)、化合物 1~9 给药组, 弃去原培养基后加入相同浓度的含药完全培养基继续培养。36 h 后, 每孔加入 5 mg/mL MTT 溶液 20 μ L, 37 ℃下培养 4 h 后吸出培养液, 每孔加入 150 μ LDMSO, 振荡 10 min, 酶标仪于 490 nm 波长处测定吸光度 (A), 以正常细胞 (未处理) 吸光度所对应的细胞存活率为 100%, 计算各化合物细胞存活率, 每组重复 3 次, 结果见表 1。

表 1 化合物 1~9 对 PC-12 细胞活性的影响 ($\bar{x}\pm s$, $n=4$)
Tab. 1 Effects of compounds 1-9 on the viability of PC-12 cells ($\bar{x}\pm s$, $n=4$)

组别	细胞存活率/%
正常组	100.00±6.11
模型组	72.83±2.26**
化合物 1 组	76.6±6.12
化合物 2 组	76.58±4.18
化合物 3 组	85.79±6.92 ^{##}
化合物 4 组	81.54±4.73 ^{##}
化合物 5 组	86.01±4.51 ^{##}
化合物 6 组	77.85±6.96
化合物 7 组	81.6±6.28 ^{##}
化合物 8 组	60.42±8.46
化合物 9 组	72.17±4.07

注: 与正常组比较, ** $P<0.01$; 与模型组比较, ^{##} $P<0.01$ 。

4.3 活性实验 与模型组比较, 在浓度为 5 μ mol/L 时, 化合物 3~5、7 可显著提高皮质酮诱导 PC-12 细胞损伤的活力, 表明它们可能具有潜在的神经保护活性。

5 讨论

光皮木瓜的记载始于《本草经集注》, 其果实

味酸、涩，性平，具有和胃舒筋、祛风湿、消痰止渴的功效，具有抗肿瘤、保肝、免疫调节、抗菌、降血糖、抗老年痴呆、抗病毒、抗氧化等多种生物活性^[15-18]。本研究从中分离鉴定了 9 个萜类化合物，均为首次从该植物中获得，并对其进行了 PC-12 细胞损伤的保护作用研究，在一定程度上丰富了对光皮木瓜化学成分及生物活性的认识，可为其有效物质的筛选和分析提供依据。

参考文献：

[1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1974: 350.

[2] 张冬松, 高慧媛, 吴立军. 光皮木瓜的化学成分药理活性及临床研究进展[J]. 沈阳药科大学学报, 2007, 24(11): 721-726.

[3] 尹震花, 赵 晨, 张娟娟, 等. 光皮木瓜的化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(9): 221-229.

[4] 岳华峰, 王玉忠, 张 宁, 等. 中国果用木瓜栽培育种技术研究及其综合开发利用新进展[J]. 世界林业研究, 2020, 33(4): 88-93.

[5] 冯卫生, 张志广, 李 孟, 等. 从光皮木瓜中分离得到一个新的生物碱[J]. 药科学报, 2018, 53(6): 976-979.

[6] Kayano S I, Kikuzaki H, Hashimoto S, *et al.* Glucosyl terpenates from the dried fruits of *Prunus domestica* L. [J]. *Phytochem Lett*, 2014, 8: 132-136.

[7] Ito H, Okuda T, Fukuda T, *et al.* Two novel dicarboxylic acid derivatives and a new dimeric hydrolyzable tannin from walnuts [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(3): 672-679.

[8] Hegde V R, Pu H Y, Patel M, *et al.* A new antitumor

compound from the plant *Oryctanthus* sp. as a VEGF receptor binding inhibitor[J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2005, 15(22): 4907-4909.

[9] 马永鹏, 张红霞, 孙 果, 等. 勐腊毛麝香化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(8): 1376-138; 1398.

[10] 邹 涛, 何红平, 赵 庆, 等. 黄桐枝叶的化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(10): 1610-1613; 1617.

[11] 王治阳, 唐素勤. 白毛藤化学成分的研究[J]. 中成药, 2019, 41(12): 2928-2932.

[12] Sarker S D, Dinan L, Sikh V, *et al.* 9ξ-O-β-D-Glucopyranosyloxy-5-megastigmen-4-one from *Lamium album* [J]. *Phytochemistry*, 1997, 7(45): 1431-1433.

[13] Matsushita H, Miyase T, Ueno A. Lignan and terpene glycosides from *Epzmedium Sagittatum* [J]. *Phytochtmistry*, 1991, 6(30): 2025-2027.

[14] 何小燕, 陈建丽, 向 欢, 等. 谷氨酸和皮质酮诱导的PC12 抑郁症细胞模型差异性的¹H NMR 代谢组学研究[J]. 药科学报, 2017, 52(2): 245-252.

[15] 纪 楨, 白巧秀, 田 娇, 等. 光皮木瓜籽油体外抗氧化活性比较研究[J]. 食品工业, 2018, 39(11): 32-34.

[16] Zhang R, Zhan S Y, Li S Y, *et al.* Anti-hyperuricemic and nephroprotective effects of extracts from *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne in hyperuricemic mice [J]. *Food Funct*, 2018, 9(11): 5778-5790.

[17] Choi Y J, Choo Y M, Jeong S I, *et al.* The chaenomeles sinensis extract has the potential to exhibit antioxidant activity or attenuate liver damage[J]. *Nat Prod Commun*, 2018, 13(8): 1021-1022.

[18] 纪学芳, 徐怀德, 刘运潮, 等. 光皮木瓜黄酮和多糖降血脂与抗氧化作用研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 1-7.