

窿缘桉树皮化学成分的分离鉴定及其生物活性研究

李晶晶^{1,2}, 徐汉虹^{1*}

¹华南农业大学 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室 天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广州 510642;

²桂林医学院公共卫生学院, 桂林 541004

摘要:采用多种色谱技术从窿缘桉树皮中分离得到 3 个化合物, 经¹H NMR、¹³C NMR 和质谱分析分别鉴定为 3 β -*O*-反式对羟基肉桂酰基-12-烯-28-齐墩果酸(**1**)、3 β -*O*-反式对羟基肉桂酰基-2 α -羟基-12-烯-28-乌苏酸(**2**)和 3-*O*-methylellagic acid-4'-*O*- α -L- rhamnopyranoside(**3**)。其中, 化合物**1**为首次从桃金娘科植物中分离得到, 化合物**1**、**2**为首次从桉属植物的树皮中分离得到, 化合物**1**~**3**均为首次从该植物中分离得到。分别测定分离得到的化合物对福寿螺、南方根结线虫的毒杀活性以及对斜纹夜蛾的卵巢细胞增殖抑制作用。结果表明以上 3 种化合物对福寿螺有较弱的毒杀活性, 在 50 mg/L 的浓度下, 72 h 的死亡率分别为 20.03%、22.14% 和 9.84%; 在 100 mg/L 的浓度下, 化合物**1**和**2**对南方根结线虫表现出较弱的毒杀活性, 72 h 的死亡率分别为 28.12% 和 42.19%, 化合物**3**没有杀线虫活性; 化合物**1**和**2**对斜纹夜蛾卵巢细胞的增殖具有明显抑制作用, 在 20 mg/L 浓度下, 抑制率分别达到 71.07% 和 84.03%, 化合物**3**对斜纹夜蛾卵巢细胞的活性较弱, 在相同测试浓度下, 抑制率为 44.30%。

关键词:窿缘桉; 树皮; 三萜; 鞣花酸; 生物活性

中图分类号: R284.1

文献标识码: A

Isolation, Structural Identification and Bioactivity of Chemical Constituents from the Bark of *Eucalyptus exserta* F. Muell

LI Jing-jing^{1,2}, XU Han-hong^{1*}

¹State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources/Key Laboratory of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; ²School of Public Health, Guilin Medical University, Guilin 541004, China

Abstract: Three compounds were isolated from the bark of *Eucalyptus exserta* by various column chromatographic techniques. Their structures were identified as 3 β -*O*-*trans*-coumaroyl-12-en-28-oleanolic acid (**1**), 3 β -*O*-*trans*-coumaroyl-12-en-28-ursolic acid (**2**) and 3-*O*-methylellagic acid-4'-*O*- α -L- rhamnopyranoside (**3**) by ¹H NMR, ¹³C NMR and MS analyses. Compound **1** was obtained from the family Myrtaceae for the first time, compounds **1** and **2** were isolated from the bark of *Eucalyptus* species for the first time, compounds **1**~**3** were isolated from *E. exserta* for the first time. All the isolated compounds were tested for their molluscicidal activity against *Pomacea canaliculata*, nematocidal activity against *Meloidogyne incognita*, and growth inhibition effect against *Spodoptera litura* cells. The results suggested that all compounds possessed weak molluscicidal activity against *P. canaliculata*, with mortalities of 20.03%, 22.14% and 9.84% after 72 h, respectively, at a concentration of 50 mg/L. At a concentration of 100 mg/L, compounds **1** and **2** exhibited weak nematocidal activity against *M. incognita*, with mortalities of 28.12% and 42.19% after 72 h, respectively. Compound **3** exhibited no nematocidal activity against *M. incognita*. Compounds **1** and **2** showed potent cytotoxic activity against *S. litura* cells, with inhibition rates of 71.07% and 84.03%, respectively, at a concentration of 20 mg/L. Compound **3** showed weakly activity against *S. litura* cells, at the same concentration level, with the inhibitory rate of 44.30%.

Key words: *Eucalyptus exserta*; bark; triterpenoid; ellagic acid; bioactivities

收稿日期: 2014-03-31 接受日期: 2014-07-02

基金项目: 广东高校生物农药工程技术研究中心建设项目 (GCZX-A1105); 广西高校教育厅科研项目 (2013YB164); 广西自然科学基金项目 (2014GXNSFBA1118124)

* 通讯作者 Tel: 86-20-85285127; E-mail: hhxu@scau.edu.cn

桃金娘科 Myrtaceae 桉属 *Eucalyptus* 植物是世界上种植最广的树种之一, 全世界 100 多个国家都有引种栽培, 主要用于生产木材、纸浆原料和作为防护林栽培, 树皮和树叶是其生产加工的主要副产

物^[1]。树皮约占桉树茎干质量的 11%，近年来的研究发现桉树树皮中含有丰富的三萜^[2-4]，以及鞣质类、间苯三酚类、黄酮类、单萜类、酚酸类、甾醇类、脂肪酸类等化学成分^[5-9]，其中许多是生物活性成分，因而引起了国内外学者从中寻找高效低毒新医药、新农药的兴趣。

窿缘桉 *Eucalyptus exserta* F. Muell, 又名小叶桉、风吹柳, 是较早引入我国的桉树树种之一, 广泛种植于广东、海南和广西等地。目前, 对窿缘桉树皮生物活性和化学成分的研究探索还非常少。从前期研究中, 我们发现窿缘桉树皮的甲醇提取物对福寿螺 *Pomacea canaliculata*、南方根结线虫 *Meloidogyne incognita* 和斜纹夜蛾卵巢细胞 *Spodoptera litura* cells (SL 细胞) 具有生物活性, 并从其活性部位乙酸乙酯层中分离出 1 个新的齐墩果烷型三萜和 1 个新的乌苏烷型三萜, 以及 3 个已知三萜^[10], 而后又从中分离出 1 个新的酚酸内酯和 9 个已知化合物^[11]。作为进一步研究, 我们从窿缘桉树皮中分离鉴定出 2 个三萜酸和 1 个鞣花酸苷, 并对其生物活性进行了初步研究, 旨在为其在农药和医药领域的开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 植物材料

窿缘桉 *Eucalyptus exserta* 树皮采自华南农业大学杀虫植物标本园, 采集时间为 2009 年 11 月上旬, 由华南农业大学林学院郑明轩博士鉴定。

1.1.2 供试软体动物

福寿螺 *Pomacea canaliculata* 幼螺采自华南农业大学教学农场水稻田沟边, 于实验室饲养 7 d 后, 选用无损伤、大小一致的幼螺供室内生测试验。

1.1.3 供试线虫

南方根结线虫 *Meloidogyne incognita* 虫源采自华南农业大学教学农场番茄地, 并在实验室扩大培养。取直径 25 cm 花盆, 将番茄播种于灭菌的沙壤土(粗砂: 土 = 1: 1) 中。将采集回来的带有大量根结和卵囊的病根小心冲洗, 去掉沙土, 于解剖镜下摘取卵囊。在番茄 2~4 真叶期接种线虫卵块, 接种后花盆放在温室中, 每天浇水, 每周施肥一次。培养 45 d 后, 取根系摘卵块, 于 27.5 °C 光照培养箱中孵化。采用贝曼漏斗分离法收集孵化后的 2 龄根结线虫用 0.1% 次氯酸钠消毒 5 min 后, 离心(4000 rpm)

3 min, 弃上清液, 用无菌水漂洗三次后, 稀释成约 5000 条/mL 的线虫悬浮液备用。

1.1.4 供试昆虫细胞

斜纹夜蛾的卵巢细胞 *Spodoptera litura* cells (SL 细胞): 引自华中师范大学, 于华南农业大学昆虫毒理研究室传代培养。培养基为 Grace's 昆虫细胞培养基, 添加 9% 胎牛血清, 于 27.5 °C 恒温培养。取处于对数生长期的 SL 细胞供试。

1.1.5 主要仪器和试剂

EYELA-1 型旋转蒸发器(日本 Tokyo Rikakikai 公司), 20 L Laborate 4001 旋转蒸发器(德国 Heidolph 公司), 101A-1E 型电热恒温鼓风干燥箱(上海实验仪器有限公司), LRH-300-G II 光照培养箱(广东省医疗器械厂), 双目解剖镜: 日本 Olympus 公司, ZF7 三用紫外分析仪(巩义市予华仪器有限责任公司), Bruker AV-600 核磁共振仪(瑞士 Bruker 公司), ESI 源质谱仪(API 2000): 美国应用生物系统公司, DG-3022 型酶标仪(美国 Bio-Rad 公司)。

柱层析硅胶和 GF254 硅胶板(青岛海洋化工厂), Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶(Sweden 公司), 氯仿、甲醇、丙酮、石油醚和乙酸乙酯均为分析纯(广州化学试剂厂), MTT([3-(4,5-二甲基噻唑-2-)-2,5-二苯基]四氮唑): 美国 Sigma 公司。茶皂素原粉: 中国农科院茶叶研究所提供, 含量 60%; 鱼藤酮: 广州市益农生化有限公司, 纯度为 96.8%; 1.8% 阿维菌素乳油: 广西桂林集琦化工有限公司。

1.2 方法

1.2.1 提取和分离

将粉碎干燥后的植物材料(60 kg)放入容器中, 用甲醇在室温下浸提 72 h 后过滤, 收集滤液, 共提取 3 次。滤液用旋转蒸发器减压蒸馏浓缩得到植物甲醇粗提物(9.8 kg)。将甲醇粗提物用去离子水饱和和悬浮, 依次用石油醚、乙酸乙酯各萃取 3 次, 浓缩后分别得到石油醚萃取物和乙酸乙酯萃取物, 用于生物活性测定。

将窿缘桉树皮的乙酸乙酯萃取层部分(1.0 kg), 拌样(100~160 目硅胶 1.0 kg), 挥干溶剂后装硅胶柱(20 × 150 cm), 先用石油醚: 乙酸乙酯系统梯度洗脱[70:30(30 L), 50:50(10 L)], 再用石油醚: 乙酸乙酯: 甲醇系统梯度洗脱[(50:50):10(24 L), (50:50):30(10 L)], 最后用甲醇(20 L)冲柱。每个梯度洗脱的流分合并浓缩, 得到 5 个流分段, 分别记为 Fr. 1(147.0 g)、Fr. 2(55.5 g)、Fr. 3(61.7

g)、Fr. 4(286.5 g)和 Fr. 5(385.8 g)。

采用硅胶柱层析、葡聚糖凝胶柱层析和溶剂重结晶等方法,对其中 Fr. 1 和 Fr. 3 这 2 个流分段进一步分离。

1.2.2 化合物结构鉴定

通过核磁共振氢谱(^1H NMR, 600 MHz)、碳谱(^{13}C NMR, 150 MHz)、质谱(ESI-MS)解析,并与相关文献报道的数据进行比较,确定化合物的化学结构。

1.2.3 福寿螺室内毒杀活性测定

采用药剂浸泡法进行福寿螺的室内杀螺试验^[12]。称取一定量的待测样品,用 DMSO 溶解,然后用去氯水稀释成所需浓度,最终 DMSO 的含量低于 1%。以茶皂素作为对照药剂,含 1% DMSO 的去氯水作为空白对照。用塑料杯盛放 100 mL 药液,每杯放入 10 头幼螺,放入生菜,杯口用纱布封口以防其逃逸。处理 72 h 后,将杯内幼螺转移到盛有去氯水的杯中,24 h 后检查,不动的幼螺视为死亡。按公式(1)和(2)计算福寿螺的死亡率和校正死亡率。

$$\text{死亡率}(\%) = \frac{\text{死虫数}}{\text{处理组虫数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.4 线虫室内毒杀活性测定

采用药剂浸泡法进行室内南方根结线虫毒杀试验^[13]。称取一定量的待测样品,用 DMSO 溶解,然后用无菌水稀释成所需浓度,最终 DMSO 的含量低于 1%。以 1.8% 的阿维菌素乳油作为对照药剂,含 1% DMSO 的无菌水作为空白对照。将 20 μL (含 50~100 头 2 龄线虫)的线虫悬浮液注入 24 孔板内,然后加入 480 μL 药剂,晃动 24 孔板,混合均匀,盖上盖子,放入 27.5 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中。分别在处理 24、48、72 h 后检查线虫死亡情况,按公式(1)和(2)计算线虫死亡率和校正死亡率。

1.2.5 昆虫细胞增殖抑制活性测定

采用 MTT 法^[14,15]研究植物样品和化合物对 SL 细胞的细胞毒性。用 DMSO 或丙酮溶解样品,在超净工作台上以 0.22 μm 的微孔滤膜过滤除菌,用培养基将样品稀释成所需浓度,稀释液中 DMSO 或丙酮的最终含量为 1%。以含 1% DMSO 或丙酮的培养基为对照。每处理浓度设 3 个重复。配制 5 mg/mL 的 MTT 母液,过滤除菌后,置 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱备用。

取对数生长期的 SL 细胞接种于 96 孔板内,每

孔加入 100 μL ,培养 24 h,将 96 孔板翻转倒出培养液,每孔加入 100 μL 一定浓度的供试样品,继续培养 44 h,向各孔加入 10 μL MTT 母液并轻微震荡,继续培养 4 h 后倒出培养液,结束培养,每孔加入 100 μL DMSO,在 490 nm 的波长下,以酶标仪测定吸光度值(OD),整个检测过程需避光。根据公式(3)、(4)换算为细胞抑制率:

$$\text{细胞相对活力}(\%) = \frac{\text{处理组吸光度值}}{\text{对照组吸光度值}} \times 100(3)$$

$$\text{细胞抑制率}(\%) = 1 - \text{细胞相对活力}(\%)(4)$$

2 结果与分析

2.1 化合物的结构鉴定

从窿缘桉树皮甲醇提取物的乙酸乙酯层中共分离得到 3 个化合物,化合物 1(35.0 mg)、2(35.0 mg)和 3(112.2 mg)。

化合物 1 无色不定型粉末, $\text{C}_{39}\text{H}_{54}\text{O}_5$; ^1H NMR ($\text{C}_5\text{N}_5\text{D}$, 600 MHz) δ : 8.02 (1H, d, $J = 16.2$ Hz, H-7'), 7.66 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-2', 6'), 7.22 (2H, H-3', 5'), 6.72 (1H, d, $J = 16.2$ Hz, H-8'), 5.48 (1H, t, H-12), 4.87 (1H, dd, $J = 12.0, 4.8$ Hz, H-3), 1.00 (6H, d, $J = 5.4$ Hz), 0.97 (9H, d, $J = 9.0$ Hz), 0.84 (3H, s); ^{13}C NMR ($\text{C}_5\text{N}_5\text{D}$, 150 MHz) δ : 15.4 (C-23), 17.1 (C-25), 17.3 (C-26), 18.4 (C-6), 23.6 (C-11), 23.7 (C-16), 23.7 (C-30), 24.0 (C-2), 26.1 (C-27), 28.2 (C-15), 28.2 (C-24), 30.9 (C-20), 33.0 (C-22), 33.1 (C-7), 33.2 (C-29), 34.2 (C-21), 37.1 (C-10), 38.1 (C-4), 38.2 (C-1), 39.7 (C-8), 41.9 (C-18), 42.1 (C-14), 46.4 (C-19), 46.6 (C-17), 47.8 (C-9), 55.5 (C-5), 80.5 (C-3), 115.8 (C-3', 5'), 116.8 (C-8'), 122.3 (C-12), 126.2 (C-1'), 130.7 (C-2', 6'), 144.8 (C-13), 145.0 (C-7'), 161.4 (C-4'), 167.3 (C-9'), 180.1 (C-28)。以上数据与文献报道^[16]的波谱数据相似,故化合物 1 鉴定为 3β -O-反式对羟基肉桂酰基-12-烯-28-齐墩果酸。

化合物 2 无色不定型粉末, $\text{C}_{39}\text{H}_{54}\text{O}_6$; ^1H NMR ($\text{C}_5\text{N}_5\text{D}$, 600 MHz) δ : 8.01 (1H, d, $J = 16.2$ Hz, H-7'), 7.22 (2H, H-2', 6'), 7.16 (2H, d, $J = 9.0$ Hz, H-3', 5'), 6.68 (1H, d, $J = 15.6$ Hz, H-8'), 5.45 (1H, t, H-12), 4.30 (1H, ddd, $J = 4.8, 4.2, 3.6$, H-3), 3.59 (1H, br s, H-2), 2.61 (1H, d, $J = 11.4$ Hz, H-18), 1.21, 1.03, 1.02, 0.98, 0.97, 0.95, 0.94

(s, each 3H); ^{13}C NMR ($\text{C}_5\text{N}_3\text{D}$, 600 MHz) δ : 16.5 (C-25), 17.0 (C-26), 17.1 (C-29), 17.9 (C-23), 18.3 (C-6), 21.0 (C-30), 23.4 (C-11), 23.6 (C-27), 24.5 (C-16), 28.3 (C-15), 28.7 (C-24), 30.7 (C-21), 32.9 (C-7), 37.1 (C-22), 37.9 (C-10), 39.0 (C-20), 39.1 (C-19), 39.5 (C-14), 39.6 (C-4), 39.6 (C-8), 42.2 (C-17), 48.3 (C-1), 49.4 (C-9), 53.1 (C-18), 55.2 (C-5), 66.0 (C-2), 84.7 (C-3), 115.7 (C-3', 5'), 116.4 (C-8'), 125.1 (C-12), 125.9 (C-1'), 130.2 (C-2', 6'), 139.4 (C-13), 144.6 (C-7'), 160.9 (C-4'), 167.4 (C-9'), 179.9 (C-28)。以上数据与文献报道^[17]的波谱数据进行比较,确定化合物**2**为 3β -*O*-反式对羟基肉桂酰基-2 α -羟基-12-烯-28-乌苏酸。

化合物 3 淡黄色针晶, $\text{C}_{21}\text{H}_{18}\text{O}_{12}$; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 600 MHz) δ : 7.46 (1H, s, H-5'), 7.44 (1H, s, H-5), 5.46 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-1''), 3.99 (3H, s, 3-OCH₃), 3.96 (1H, m, H-2''), 3.74 (1H, d, $J = 3.0$ Hz, H-5''), 3.65 (1H, br s, H-3''), 3.25 (1H, t, $J = 9.6$ Hz, H-4''), 1.11 (1H, d, $J = 6.6$ Hz, H-6''); ^{13}C NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 150 MHz) δ : 18.3 (C-6''), 61.2 (3-OCH₃), 69.7 (C-5''), 70.5 (C-2''), 70.8 (C-3''), 72.5 (C-4''), 99.6 (C-1''), 110.8 (C-5), 112.9 (C-6), 114.0 (C-1'), 115.0 (C-5'), 113.9 (C-1), 115.0 (C-6'), 137.9 (C-2), 140.1 (C-3), 142.7 (C-2'), 149.0 (C-4'), 152.5 (C-4), 140.2 (C-3'), 159.7 (C-7'), 160.4 (C-7); ESI-MS: m/z 461 [$\text{M}-\text{H}$]⁻, 以上数据与参考文献^[18]中报道的波谱数据相近,故确定化合物**3**为 3-*O*-methylgallagic acid-4'-*O*- α -L-rhamnopyranoside。

化合物**1**~**3**的化学结构如图1所示。

2.2 化合物对福寿螺幼螺的毒杀活性

测定结果表明,在 50 mg/L 浓度下,处理 72 h

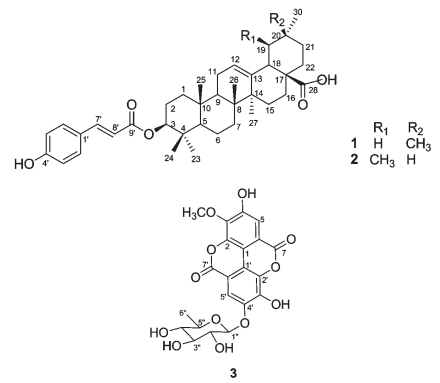


图1 化合物**1**~**3**的化学结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds **1-3**

后,所有供试化合物对福寿螺的毒杀活性较弱,所有化合物对福寿螺的毒杀活性明显低于对照药剂茶皂素(表1)。

表1 供试化合物对福寿螺的 72 h 毒杀活性

Table 1 The contact toxicities of the tested compounds against *P. canaliculata* after 72 h

化合物 ¹⁾ Compound	校正死亡率 ²⁾ \pm 标准误 Corrected mortality \pm SE (%)
化合物 1 Compound 1	20.03 \pm 0.58 b
化合物 2 Compound 2	22.14 \pm 1.49 b
化合物 3 Compound 3	9.84 \pm 0.16 c
空白对照 CK	3.33 \pm 3.33 d
茶皂素 Tea saponin	100.00 \pm 0.00 a

¹⁾ 浓度为 50 mg/L; ²⁾ 表中数据为 3 次重复平均值 \pm 标准误, 同列数据后字母相同者表示在 5% 水平上差异较低 (DMRT)。

¹⁾ The concentration of each compound was 50 mg/L; ²⁾ The data (mean \pm SE) in the same column followed by same letters were not significant different at 5% level.

2.3 化合物对南方根结线虫 2 龄幼虫的毒杀活性

在测试浓度为 100 mg/L 时,化合物**1**和**2**对南方根结线虫 2 龄幼虫均表现出较弱的毒杀活性,处理 24、48、72 h 后的死亡率都低于 50%,化合物**3**对南方根结线虫 2 龄幼虫没有毒杀活性。所有化合物的杀线虫活性均低于对照药剂阿维菌素(表2)。

表2 供试化合物对南方根结线虫 2 龄幼虫的毒杀活性

Table 2 Nematicidal activities of the tested compounds against *M. incognita* J_{2s}

化合物 ¹⁾ Compound	校正死亡率 ²⁾ \pm 标准误 Corrected mortality \pm SE (%)		
	24 h	48 h	72 h
化合物 1 Compound 1	4.23 \pm 1.00c	19.12 \pm 2.08b	28.12 \pm 2.92c
化合物 2 Compound 2	5.63 \pm 1.00b	17.65 \pm 2.75c	42.19 \pm 2.21b
化合物 3 Compound 3	0.57 \pm 0.38e	1.64 \pm 0.67e	15.38 \pm 7.81e
空白对照 CK	3.03 \pm 0.57d	7.36 \pm 0.46d	21.31 \pm 1.74d
阿维菌素 Avermectins	100.00 \pm 0.00a	100.00 \pm 0.00a	100.00 \pm 0.00a

¹⁾ 浓度为 100 mg/L; ²⁾ 表中数据为 3 次重复平均值 \pm 标准误, 同列数据后字母相同者表示在 5% 水平上差异较低 (DMRT)。

¹⁾ The concentration of each compound was 100 mg/L; ²⁾ The data (mean \pm SE) in the same column followed by same letters were not significant different at 5% level.

2.4 化合物对 SL 细胞的细胞毒活性

在 20 mg/L 测试浓度下, 化合物 2 表现出较强的细胞毒活性, 处理 48 h 后, 对 SL 细胞增殖的抑制率达 84.03%; 化合物 1 能明显抑制 SL 细胞的增殖, 处理 48 h 后, 抑制率达 71.07%; 除化合物 3 外, 其它 2 个化合物对 SL 细胞增殖的抑制活性均高于对照药剂鱼藤酮(表 3)。

表 3 供试化合物对 SL 细胞 48 h 的增值抑制作用

Table 3 Growth inhibition effect of the tested compounds against SL cells after 48 h

化合物 ¹⁾ Compound	抑制率 ± 标准误 ¹⁾ Inhibitory rates ± SE (%)
化合物 1 Compound 1	71.07 ± 1.14b
化合物 2 Compound 2	84.03 ± 0.46a
化合物 3 Compound 3	44.30 ± 4.41d
鱼藤酮 rotenone	59.85 ± 0.66c

¹⁾ 浓度为 20 mg/L; ²⁾ 表中数据为 3 次重复平均值 ± 标准误, 同列数据后字母相同者表示在 5% 水平上差异较低 (DMRT)。

¹⁾ The concentration of each compound was 20 mg/L; ²⁾ The data (mean ± SE) in the same column followed by same letters were not significant different at 5% level.

3 讨论

从我们早期以及本文研究结果发现, 三萜类化合物是窿缘桉树皮的主要化学成分之一, 化合物结构以五环三萜为主, 主要结构类型有: 乌苏烷型、齐墩果烷型和羽扇豆烷型。目前, 我们从窿缘桉树皮中共分离得到 7 个三萜化合物, 包括 2 个新三萜, 其中乌苏烷型 4 个、齐墩果烷型 2 个和羽扇豆烷型 1 个^[10]。三萜类化合物是一类非常有研究价值的化合物, 其已报道的生物活性多种多样, 其中抗肿瘤活性、抗炎活性和机体免疫调节作用是研究的重点。但三萜类化合物杀螺活性和对昆虫细胞的细胞毒活性报道非常少。我们发现目前分离得到的所有三萜化合物均对斜纹夜蛾卵巢细胞 (SL 细胞) 增殖表现出抑制活性, 其中有 3 个三萜对福寿螺具有毒杀活性。除三萜类化合物外, 我们还从窿缘桉树皮中分离得到黄酮类、鞣质类、甾醇类、木脂素类、苯醌类、脂肪酸类和酚酸类等生物活性成分^[11]。这些发现, 为进一步综合开发和利用窿缘桉树皮资源提供了科学依据。

参考文献

1 Qi SX (祁述雄). *Eucalyptus in China* (中国桉树). Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 5-30.

2 Domingues RMA, Sousa GDA, Freire CSR, *et al.* *Eucalyptus globulus* biomass residues from pulping industry as a source of high value triterpenic compounds. *Ind Crop Prod*, 2010, 31:65-70.

3 Domingues RMA, Sousa GDA, Silva CM, *et al.* High value triterpenic compounds from the outer barks of several *Eucalyptus* species cultivated in Brazil and in Portugal. *Ind Crop Prod*, 2011, 33:158-164.

4 Freire CSR, Silvestre AJD, Neto CP, *et al.* Lipophilic extractives of the inner and outer barks of *Eucalyptus globulus*. *Holzforchung*, 2002, 56:372-379.

5 Kim JP, Lee IK, Yun BS, *et al.* Ellagic acid rhamnosides from the stem bark of *Eucalyptus globulus*. *Phytochemistry*, 2001, 57:587-591.

6 Mohamed GA, Ibrahim SRM. Eucalyptone G, a new phloroglucinol derivative and other constituents from *Eucalyptus globulus* Labill. *Arkivoc*, 2007, part 15:281-291.

7 Yun BS, Lee IK, Kim JP, *et al.* Lipid peroxidation inhibitory activity of some constituents isolated from the stem bark of *Eucalyptus globulus*. *Arch Pharm Res*, 2000, 23:147-150.

8 Vankar PS, Srivastava J, Molcanov K, *et al.* Withanolide A series steroidal lactones from *Eucalyptus globulus* bark. *Phytochem Lett*, 2009, 2:67-71.

9 Santos SAO, Freire CSR, Domingues MRM, *et al.* Characterization of phenolic components in polar extracts of *Eucalyptus globulus* Labill. bark by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *J Agric Food Chem*, 2011, 59:9386-9393.

10 Li JJ, Xu HH, Tang WW, *et al.* Two new triterpenoids from the bark of *Eucalyptus exserta* and their molluscicidal and cytotoxic activities. *Fitoterapia*, 2012, 83:383-387.

11 Li JJ, Xu HH. Bioactive compounds from the bark of *Eucalyptus exserta* F. Muell. *Ind Crop Prod*, 2012, 40, 302-306.

12 Plan MRR, Saska I, Cagauan AG, *et al.* Backbone cyclised peptides from plants show molluscicidal activity against the rice pest *Pomacea canaliculata* (golden apple snail). *J Agric Food Chem*, 2008, 56:5237-5241.

13 Ei-Hadad ME, Mustafa MI, Selim SM, *et al.* *In vitro* evaluation of some bacterial isolates as biofertilizers and biocontrol agents against the second stage juveniles of *Meloidogyne incognita*. *World J Microbiol Biotechnol*, 2010, 26:2249-2256.

14 Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival; application to proliferation and cytotoxicity assays. *J Immunol Methods*, 1983, 65:56-63.

15 Li WO (李文欧), Xu HH (徐汉虹), Zhang ZX (张志祥), *et al.* Mechanism of cell toxicity of azadirachtin A to *Trichoplusia ni* Hubner Hi-5 cells. *Kun Chong Xue Bao* (昆虫学报), 2008, 51:824-829.