

· 综述 ·

## 近5年波罗蜜属植物化学成分及生物活性研究进展

任刚\*, 彭加兵, 易文芳, 元文君

(江西中医药大学 中药资源与民族药研究中心, 南昌 330004)

**[摘要]** 桑科波罗蜜属植物大多数为传统民间用药, 具有较大的药用开发价值。近年来, 波罗蜜属植物因富含具有显著生物活性的异戊烯基酚性成分而广受植物化学工作者的关注。通过 SciFinder 等数据库平台查阅国内外有关波罗蜜属植物的化学成分与药理作用的报道, 对波罗蜜属植物的化学成分及其药理作用研究的内容进行文献整理和分析。结果表明, 近5年来从波罗蜜属植物中获得70多个新化合物, 大多为异戊烯基酚性化合物, 其骨架类型包括黄酮类, 二氢黄酮类, 查尔酮类, 二氢查尔酮类, 双苯吡酮类, 橙酮类, 黄烷-3-醇类, 2-芳基苯并呋喃类, 1,2-二苯乙烯类; 这些化合物具有抗炎、抗菌、抗氧化、抗肿瘤、细胞毒及抗锥虫及疟原虫、抑制胰脂肪酶、抑制酪氨酸酶、抑制黄嘌呤氧化酶、抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和抑制黑色素生产物活性, 尤其是在抗氧化和细胞毒等方面效果显著。本文从化学成分结构和药理活性两方面对国内外波罗蜜属植物研究概况进行了综述, 以期为该属植物的开发和利用提供参考。

**[关键词]** 波罗蜜属; 异戊烯基黄酮; 非酚性成分; 生理活性

**[中图分类号]** R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2014)21-0234-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfx.2014210234

## Advance on Chemical Constituents from *Artocarpus* Plant and Its Bioactivities in Recent Five Years

REN Gang\*, PENG Jia-bing, YI Wen-fang, YUAN Wen-jun

(Research Center of Natural Resources of Chinese Medicinal Materials and National Medicine, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang, Jiangxi, 330004, China)

**[Abstract]:** Most *Artocarpus* (Moraceae) plants are used as traditional folk medicine and have great medical value. In recent years, a large number of prenylated phenolic compounds with significant bioactivities were isolated from *Artocarpus*, which attracted many attentions of phytochemical researchers. The recent reports on chemical structures and pharmacological effects of chemical constituents from genus *Artocarpus* were searched by SciFinder and the retrieve results were analyzed. The results showed that more than 70 new compounds were reported from *Artocarpus* plants in recent five years. Most of these compounds is isoprenylated phenolic compounds, including flavones, flavanones, chalcones, dihydrochalcones, xanthenes, aurones, flavan-3-ols, 2-arylbenzofuran derivative, and 1, 2-diphenylethylene. These compounds have anti-inflammatory, antibacterial, antioxidant, antitumor, cytotoxic, resistant trypanosomes and plasmodium, inhibiting pancreatic lipase, inhibiting tyrosinase, inhibiting xanthine oxidase, inhibiting-glucosidase and inhibiting melanin production activity. The paper reviews the new chemical compounds of *Artocarpus* plants and their bioactivities, which would provide references for the development and utilization of *Artocarpus* plants.

**[Key words]** *Artocarpus*; prenylated flavonoids; non-phenolic constituents; bioactivity

**[收稿日期]** 20140102(018)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81160509, 81360475); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ4614); 江西省卫生厅中医药科研基金课题(2013A0029)

**[通讯作者]** \*任刚, 博士, 副教授, 从事天然药物活性成分的研究, Tel:0791-87119067, E-mail:firmblue@163.com

波罗蜜属 *Artocarpus* 是桑科中重要的一个属,全球存在 52 个种,分布于东南亚及太平洋的一些岛屿上<sup>[1]</sup>,我国约有 15 种,2 亚种<sup>[2]</sup>。波罗蜜属植物有非常重要的药用价值,许多植物在印度尼西亚、泰国、中国台湾和斯里兰卡被用作传统民间用药。如在台湾,*A. altilis* 的树皮和根皮被用来治疗肝硬化和高血压<sup>[3]</sup>,其花蕾被用来治疗肝硬化和高血压,并被报道具有抗炎和解毒的功效<sup>[4]</sup>;在德国,*A. tonkinensis* 的叶子和根皮的水煎液被用来治疗背痛和风湿病<sup>[5]</sup>;在印度尼西亚,一种被称为“Jamu”的波罗蜜属植物用来消炎和治疗疟疾、发烧、痢疾和肺结核<sup>[6]</sup>;在斯里兰卡,*A. heterophyllus* 和 *A. longifolia* 被用来控制糖尿病人的血糖水平<sup>[7]</sup>。国内外学者对波罗蜜属植物的大量化学及药理研究表明,含有异戊烯基取代基团的酚性化合物是该属植物的主要化学成分,该类成分具有广泛的生物活性。一些学者先后于 1994 年、1998 年及 2008 年对这些研究进展进行了总结。2008 年以来,波罗蜜属植物的化学和活性研究又取得了新的进展,约 70 多个新化合物相继被发现。这些被报道的化合物大部分为异戊烯基酚性成分,除此之外还出现了一些结构新颖的非酚性成分。本文通过查阅国内外相关文献,以化合物的结构类型为线索对这一领域的进展综述如下。

## 1 化学成分及生物活性

**1.1 异戊烯基黄酮类化合物** 异戊烯基黄酮类化合物是从波罗蜜属植物中分离得到的最主要的化学成分。其结构特点是在黄酮骨架的 C-3,6,8,4(等位置引入了 1~4 个异戊烯基取代。2008 年以来,约 59 个异戊烯基黄酮被作为新化合物发表,其骨架类型包括黄酮、二氢黄酮、查尔酮、二氢查尔酮、双苯吡酮、橙酮、黄烷-3-醇等。异戊烯基侧链在骨架上引入的位置、侧链的长度、侧链部分的环化和羟基化可显著影响化合物的活性。

**1.1.1 黄酮** Yu 等<sup>[8]</sup>从 *A. hypargyreus* 中分离 3 个新的黄酮类化合物 hypargyflavones A~C,其中 hypargyflavone A 表现了对胰脂肪酶的抑制活性 ( $IC_{50}$  2.3  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。越南学者 Nguyen 等<sup>[9]</sup>从 *A. heterophyllus* 木材的甲醇提取物中获得了 4 个对酪氨酸酶具有强烈抑制作用的黄酮 artocarmins A~D ( $IC_{50}$  18.7, 8.4, 40.0, 47.3  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Arung 等<sup>[10]</sup>采用活性跟踪法从 *A. heterophyllus* 的木材中分离了 1 个新的异戊烯基黄酮 3-prenyl luteolin。活性测试表明,该化合物对酪氨酸酶具有显著的抑制活性 ( $IC_{50}$  76.3  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ),并认为 C-3 位置的异戊烯基取代对活性影响较大。另外,3-prenyl luteolin 还可以有效抑制 B16 黑色素瘤细胞生成黑色素 ( $IC_{50}$  56.7  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ),且无细胞毒作用。法国学者 Bourjot 等<sup>[11]</sup>发现,*A. styracifolius* 树皮的乙酸乙酯提取物具有强烈的抗疟原虫活性,进一步的分离从中得到了 2 个活性黄酮 styracifolins A~B,对耐受氯喹的疟原虫 FcB1 株的  $IC_{50}$  分别为 11.1, 2.5  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。马来西亚学者 Ee 等<sup>[12]</sup>从 *A. odoratissimus* 中分离的 artosimmin 能清除 DPPH 自由基 ( $IC_{50}$  32.1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。此外,它对人早幼粒白血病细胞系 (HL-60)

和人乳腺癌细胞系 (MCF-7) 有细胞毒活性 ( $IC_{50}$  分别为 1.1, 3.4  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Ren 等<sup>[13]</sup>研究 *A. rigida* 枝条的化学成分时,从其甲醇提取物中分离了 2 个新的异戊烯基黄酮类化合物 artorigidins A~B。活性测试表明,artorigidin A 对 NF- $\kappa$ B 具有抑制活性 ( $IC_{50}$  2.0  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ );而 artorigidin B 对人类结肠癌细胞株 (HT-29) 有细胞毒活性 ( $ED_{50}$  = 3.4  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Musthapa 等<sup>[14]</sup>采用 VLC(真空液相色谱)法从 *A. elasticus* 木材的甲醇提取物中获得了 artoidonesianin E1。活性测试表明,它对小鼠白血病 P-388 细胞有细胞毒活性 ( $IC_{50}$  5.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Lin 等<sup>[15]</sup>从 *A. communis* 的根皮中分离 2 个新的黄酮类化合物 cyclogeracommunin 和 artoflavone A,其中 cyclogeracommunin 有抑制黄嘌呤氧化酶 (XO) 活性 ( $IC_{50}$  73.3  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ );artoflavone A 对 DPPH 自由基具有清除作用 ( $IC_{50}$  24.2  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Wahyuni 等<sup>[16]</sup>从 *A. champeden* 的树皮中获得了 1 个抗恶性疟原虫 3D7 的异戊烯基黄酮 artopeden A ( $IC_{50}$  0.045  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Zheng 等<sup>[17]</sup>发现,*A. heterophyllus* 木材的乙醇提取物具有抑制酪氨酸酶活性,进一步的分离从中得到了活性黄酮 artocarpfuranol ( $IC_{50}$  47.927  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。越南学者 Dang 等<sup>[18]</sup>从 *A. tonkinensis* 的树叶得到了 1 个黄酮苷类化合物 artonkin-4'-*O*- $\beta$ -D-glucoside。药理研究表明,该化合物具有抗大鼠的关节炎作用,其机制与抑制 T 细胞有丝增殖有关。

**1.1.2 二氢黄酮** Hsu 等<sup>[19]</sup>研究 *A. communis* 化学成分时,从其果实的甲醇提取物中分离的 arcommunols A~B 具有抑制 SK-Hep-1 细胞的增殖活性 ( $IC_{50}$  分别为 2.05, 7.82  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。此外,它们对 HepG2 细胞的增殖也有抑制作用 ( $IC_{50}$  9.19, 5.55  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Ti 等<sup>[20]</sup>从 *A. nitidus* subsp. *lingnanensis* 树干中获得了 1 个新的二氢黄酮苷类化合物 2-hydroxynaringenin 4'-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside。活性测试表明,它对人类肺癌 A549 细胞株有细胞毒性 ( $IC_{50}$  47.3  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。美国学者 Radwan 等<sup>[21]</sup>从 *A. sepicanus* 树叶的乙醇提取物中分离了一个新的异戊烯基二氢黄酮类化合物 Sepicanin A。它具有选择性地抗耐甲氧西林的金黄色葡萄球菌 (MRSA) 活性, $IC_{50}$  和 MIC 值分别为 1.4, 2.9  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

**1.1.3 查尔酮** Di 等<sup>[22]</sup>研究 *A. heterophyllus* 的化学成分时,从其枝条的乙醇提取物中获得了 2 个新的查尔酮类化合物 artocarpusins A~B,其中 artocarpusin A 对人前列腺癌细胞 (PC-3) ( $IC_{50}$  14.1  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 和人肺癌细胞 (H460) ( $IC_{50}$  16.2  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 有细胞毒性。越南学者 Nguyen 等<sup>[9]</sup>从 *A. heterophyllus* 木材的甲醇提取物中得到了 3 个新的查尔酮类化合物 artocarmitins A-C,其中 artocarmitins B-C 表现强烈的酪氨酸酶抑制活性 ( $IC_{50}$  分别为 66.2, 20.6  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。2008 年, Fang 等<sup>[23]</sup>从 *A. Communis* 的树叶中分离了 3 个新的异戊烯基查尔酮类化合物 isolespeol, 5'-geranyl-2', 4', 4-trihydroxychalcone 和 3, 4, 2', 4'-tetrahydroxy-3'-geranyldihydrochalcone, 它们对 SW872 人体脂肪肉瘤细胞均有很强的抑制作用 ( $IC_{50}$  分别为 3.8, 4.1, 4.3  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

**1.1.4 二氢查尔酮** Hsu 等<sup>[24]</sup>发现,从 *A. communis* 树叶

的甲醇提取物中得到了 1 个异戊烯基二氢查尔酮类化合物 arcommunol D。活性测试表明,该化合物具有抗炎作用( $IC_{50}$  18.45  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。日本学者 Jamil 等<sup>[25]</sup>从 *A. lowii* 的树叶中分离了 1 个异戊烯基二氢查尔酮类化合物 2',4'-dihydroxy-4-methoxy-3'-prenyldihydrochalcon。采用电子自旋共振(ESR)波谱测试表明,该化合物具有清除 DPPH 自由基的活性( $IC_{50}$  0.24  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

**1.1.5 双苯吡酮** Rahmani 等<sup>[26-28]</sup>从 *A. obtusus* 中获得了 1 个新颖的双苯吡酮类 pyranocycloartobiloxanthone A。活性测试表明,该化合物具有抗炎、抗菌、抗溃疡和抗细胞凋亡作用。此外,pyranocycloartobiloxanthone A 还能清除 DPPH 自由基( $IC_{50}$  2.0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )。另外,它对人类的早幼粒细胞白血病(HL60)、人类慢性粒细胞白血病(K562)、人雌激素受体(ER+)阳性乳腺癌(MCF7)细胞株有细胞毒性, $IC_{50}$  分别为 0.5, 2.0, 5.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。马来西亚学者 Ee 等<sup>[29]</sup>从 *A. kemando* 的木材中分离的 artomandin 对 HL-60 和 MCF-7 细胞有细胞毒活性, $IC_{50}$  分别为 2.4, 3.1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。此外,它还具有清除 DPPH 自由基的活性( $IC_{50}$  38.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

**1.1.6 橙酮** 越南学者 Huong 等<sup>[30]</sup>从 *A. altilis* 中得到一个异戊烯基橙酮类化合物 artocarpaurone。活性测试表明,它具有清除 DPPH 和 NO 自由基活性, $IC_{50}$  分别为 198.01, 287.1  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。越南学者 Nguyen 等<sup>[31]</sup>研究 *A. altilis* 化学成分时,从其树叶的甲醇提取物中分离了 3 个新的异戊烯基橙酮类化合物 altilisins H~J,这 3 个化合物都具有抑制酪氨酸酶活性( $IC_{50}$  分别为 85.0, 88.9, 98.5  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。此外,它们还具有抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性( $IC_{50}$  4.9, 5.4, 5.1  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。

**1.2 2-芳基苯并呋喃类** Di 等<sup>[22]</sup>从 *A. heterophyllus* 的枝

条中分离了 1 个新的 2-芳基苯并呋喃类化合物 artocarstilene A。活性测试表明,该化合物对 PC-3 和 H460 细胞无细胞毒性。泰国学者 Boonchoo 等<sup>[32]</sup>研究 *A. lakoocha* 的化学成分时,从其根中获得了 3 个对 HSV-1 和 HSV-2 病毒具有抑制作用的 2-芳基苯并呋喃类化合物 artolakoochol, 4-hydroxy-artolakoochol 和 cycloartolakoochol。

**1.3 1,2-二苯乙烯类** Yu 等<sup>[8]</sup>发现, *A. hypargyreus* 树茎的乙醇提取物具有抑制胰脂肪酶活性( $IC_{50}$  8.6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),进一步的分离从中得到了 hypargystilbene A。有意思的是,该化合物对胰脂酶并不具备抑制活性。Ti<sup>[20]</sup>等研究 *A. nitidus* 的化学成分时,从其乙酸乙酯部位分离了 1 个 1,2-二苯乙烯类化合物 artocarpene,该化合物具有清除 DPPH 自由基活性( $IC_{50}$  116.15  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Ren 等<sup>[13]</sup>从 *A. rigida* 枝条的甲醇提取物中分离了 artoristolbene。活性测试表明,它对 HT-29 细胞无细胞毒性,对 NF- $\kappa$ B 也无抑制作用。

**1.4 其他非酚性成分** 波罗蜜属植物以富含异戊烯基酚性成分而著名,而其中的非酚性成分则极少被报道。Shahin<sup>[33]</sup>等从 *A. heterophyllus* 中发现了 6 个新的 *n*-十八烯酰苷类成分。这是首次从波罗蜜属植物中分离的新型非酚性天然产物。本课题组在对波罗蜜属植物化学成分的研究中除了分离酚性成分外,还发现了一些高含量的非酚性成分,如从 *A. styracifolius* 中获得了 2 个高含量的羽扇豆烷型三萜 Lupeol acetate 和 lup-12-ene-3 $\beta$ -ol acetate<sup>[34]</sup>;从 *A. nanchuanensis* 中分离了 4 个螺旋甾烷类化合物 diosgenin, prosapogenin of dioscin, progenin II, diosgenyl-3- $O$ - $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 3)-[ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 4)]- $\beta$ -D-glucoside, 均为首次从桑科植物中报道<sup>[35]</sup>。

表 1 近五年从波罗蜜属植物中分离的新化合物及其生物活性

编号	化合物	相对分子质量	分子式	生物活性	来源
1	styracifolin C	422	C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. styracifolius</i> <sup>[34]</sup>
2	artocarpusin C	338	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[22]</sup>
3	hypargyflavone A	434	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>	抑制胰脂肪酶	<i>A. hypargyreus</i> <sup>[8]</sup>
4	hypargyflavone B	452	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. hypargyreus</i> <sup>[8]</sup>
5	hypargyflavone C	354	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. hypargyreus</i> <sup>[8]</sup>
6	4''-hydroxycycloartocarpesin	452	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[36]</sup>
7	artocarmin A	354	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	抑制酪氨酸酶	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[9]</sup>
8	artocarmin B	500	C <sub>29</sub> H <sub>24</sub> O <sub>8</sub>	抑制酪氨酸酶	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[9]</sup>
9	artocarmin C	530	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>9</sub>	抑制酪氨酸酶	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[9]</sup>
10	artocarmin D	370	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>7</sub>	抑制酪氨酸酶	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[9]</sup>
11	arthypaflavone	368	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. hypargyreus</i> <sup>[37]</sup>
12	3-Prenyl luteolin	354	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>6</sub>	抑制酪氨酸酶及黑色素的生成	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[10]</sup>
13	styracifolin A	504	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>7</sub>	抗锥虫及疟原虫	<i>A. styracifolius</i> <sup>[11]</sup>
14	styracifolin B	506	C <sub>30</sub> H <sub>24</sub> O <sub>7</sub>	抗锥虫及疟原虫	<i>A. styracifolius</i> <sup>[11]</sup>
15	artosimmin	436	C <sub>25</sub> H <sub>34</sub> O <sub>7</sub>	细胞毒,抗氧化	<i>A. odoratissimus</i> <sup>[12]</sup>
16	artorigidin A	504	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>7</sub>	细胞毒	<i>A. rigida</i> <sup>[13]</sup>
17	artorigidin B	504	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>7</sub>	细胞毒	<i>A. rigida</i> <sup>[13]</sup>
18	artorigidin C	500	C <sub>30</sub> H <sub>28</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. rigida</i> <sup>[13]</sup>
19	cyclorigidol	504	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. rigida</i> <sup>[13]</sup>
20	artotonin B	372	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. tonkinensis</i> <sup>[38]</sup>
21	hydroxyartocarpin	452	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. altilis</i> <sup>[39]</sup>

续表 1

编号	化合物	相对分子质量	分子式	生物活性	来源
22	artoindonesianin E1	434	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>	细胞毒	<i>A. elasticus</i> <sup>[14]</sup>
23	cyclogeracommunin	488	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>6</sub>	抑制黄嘌呤氧化酶	<i>A. elasticus</i> <sup>[15]</sup>
24	artoflavone A	450	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>7</sub>	抗氧化	<i>A. elasticus</i> <sup>[15]</sup>
25	artopeden A	396	C <sub>22</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	抗疟原虫	<i>A. champeden</i> <sup>[16]</sup>
26	artoheterophyllin B	504	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[40]</sup>
27	artoheterophyllin C	504	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[40]</sup>
28	artoheterophyllin D	488	C <sub>30</sub> H <sub>32</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[40]</sup>
29	artoindonesianin Z-4	450	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>7</sub>	细胞毒	<i>A. lanceifolius</i> <sup>[41]</sup>
30	artoindonesianin Z-5	450	C <sub>25</sub> H <sub>22</sub> O <sub>8</sub>	细胞毒	<i>A. lanceifolius</i> <sup>[41]</sup>
31	artocarpfuranol	370	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>7</sub>	抑制酪氨酸酶	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[17]</sup>
32	artocarpusin A	502	C <sub>29</sub> H <sub>26</sub> O <sub>8</sub>	细胞毒	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[22]</sup>
33	artocarpusin B	356	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[22]</sup>
34	5'-geranyl-3,4,2',4'-tetrahydroxychalcone	408	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. communis</i> <sup>[24]</sup>
35	artocarmitin A	340	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[9]</sup>
36	artocarmitin B	516	C <sub>30</sub> H <sub>28</sub> O <sub>8</sub>	抑制酪氨酸酶	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[9]</sup>
37	artocarmitin C	546	C <sub>31</sub> H <sub>30</sub> O <sub>9</sub>	抑制酪氨酸酶	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[9]</sup>
38	isolespeol	390	C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>4</sub>	抗肿瘤	<i>A. communis</i> <sup>[23]</sup>
39	5'-geranyl-2',4',4'-trihydroxychalcone	392	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>4</sub>	抗肿瘤	<i>A. communis</i> <sup>[23]</sup>
40	3,4,2',4'-tetrahydroxy-3'-geranyldihydrochalcone	410	C <sub>25</sub> H <sub>30</sub> O <sub>5</sub>	抗肿瘤	<i>A. communis</i> <sup>[23]</sup>
41	pyranocycloartobiloxanthone A	450	C <sub>25</sub> H <sub>22</sub> O <sub>8</sub>	抗炎、抗菌等	<i>A. obtusus</i> <sup>[26-28]</sup>
42	dihydroartoindonesianin C	420	C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. obtusus</i> <sup>[27]</sup>
43	pyranocycloartobiloxanthone B	450	C <sub>25</sub> H <sub>22</sub> O <sub>8</sub>	-	<i>A. obtusus</i> <sup>[27]</sup>
44	artomandin	434	C <sub>25</sub> H <sub>22</sub> O <sub>7</sub>	细胞毒, 抗氧化	<i>A. kemando</i> <sup>[29]</sup>
45	dihydroartoindonesianin C	420	C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. obtusus</i> <sup>[28]</sup>
46	artocarpaurone	404	C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>5</sub>	抗氧化	<i>A. altilis</i> <sup>[30]</sup>
47	altilisin H	404	C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>5</sub>	抑制 α-葡萄糖苷酶及酪氨酸酶	<i>A. altilis</i> <sup>[31]</sup>
48	altilisin I	434	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>	抑制 α-葡萄糖苷酶及酪氨酸酶	<i>A. altilis</i> <sup>[31]</sup>
49	altilisin J	406	C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>5</sub>	抑制 α-葡萄糖苷酶及酪氨酸酶	<i>A. altilis</i> <sup>[31]</sup>
50	arcommunol C	390	C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>4</sub>	细胞毒	<i>A. communis</i> <sup>[24]</sup>
51	arcommunol A	406	C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>5</sub>	抗肿瘤	<i>A. communis</i> <sup>[29]</sup>
52	arcommunol B	390	C <sub>25</sub> H <sub>26</sub> O <sub>4</sub>	抗肿瘤	<i>A. communis</i> <sup>[19]</sup>
53	2-hydroxynaringenin 4'-O-β-D-glucopyranoside	450	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	细胞毒	<i>A. nitidus</i> <sup>[20]</sup>
54	artotonin A	338	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. tonkinensis</i> <sup>[37]</sup>
55	sepicanin A-A	424	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>6</sub>	抗菌	<i>A. sepicanus</i> <sup>[21]</sup>
56	arcommunol D	408	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub>	抗炎	<i>A. communis</i> <sup>[24]</sup>
57	2',4'-dihydroxy-4-methoxy-3'-prenyldihydrochalcone	376	C <sub>21</sub> H <sub>24</sub> O <sub>4</sub>	抗氧化	<i>A. lowii</i> <sup>[25]</sup>
58	artoflavanocoumarin	342	C <sub>18</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. nitidus</i> <sup>[42]</sup>
59	artokin-4'-O-β-D-glucoside	514	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>11</sub>	抗炎	<i>A. tonkinensis</i> <sup>[18]</sup>
60	artocarstilene A	306	C <sub>19</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[22]</sup>
61	artolakoochol	444	C <sub>29</sub> H <sub>32</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. lakoocha</i> <sup>[32]</sup>
62	4-hydroxy-artolakoochol	460	C <sub>29</sub> H <sub>32</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. lakoocha</i> <sup>[32]</sup>
63	cycloartolakoochol	444	C <sub>29</sub> H <sub>32</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. lakoocha</i> <sup>[32]</sup>
64	artoheterophyllin A	408	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. heterophyllus</i> <sup>[40]</sup>
65	artonitidin A	462	C <sub>29</sub> H <sub>34</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. nitidus</i> <sup>[43]</sup>
66	artonitidin B	378	C <sub>24</sub> H <sub>26</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. nitidus</i> <sup>[43]</sup>
67	artopetelin L	408	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. petelotii</i> <sup>[44]</sup>
68	artopetelin M	408	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub>	-	<i>A. petelotii</i> <sup>[44]</sup>
69	hypargystilbene A	380	C <sub>24</sub> H <sub>28</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. hypargyreus</i> <sup>[8]</sup>
70	artoristilbene	308	C <sub>19</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. rigida</i> <sup>[13]</sup>
71	artocarpene	326	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>5</sub> N	抗氧化	<i>A. nitidus</i> <sup>[20]</sup>

续表 1

编号	化合物	相对分子质量	分子式	生物活性	来源
69	hypargystilbene A	380	C <sub>24</sub> H <sub>28</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. hypargyreus</i> <sup>[8]</sup>
70	artoristilbene	308	C <sub>19</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub>	-	<i>A. rigida</i> <sup>[13]</sup>
71	artocarpene	326	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>5</sub> N	抗氧化	<i>A. nitidus</i> <sup>[20]</sup>
72	<i>n</i> -octadec-9-enoyl- $\alpha$ -rhamnopyranoside	428	C <sub>24</sub> H <sub>44</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. heterophyllum</i> <sup>[33]</sup>
73	<i>n</i> -octadec-9,12-dienoyl- $\alpha$ -rhamnopyranosid	426	C <sub>24</sub> H <sub>42</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. heterophyllum</i> <sup>[33]</sup>
74	<i>n</i> -octadec-9,12-dienoyl- $\beta$ -glucopyranoside	442	C <sub>24</sub> H <sub>42</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. heterophyllum</i> <sup>[33]</sup>
75	<i>n</i> -octadec-9-enoyl- $\beta$ -glucopyranoside	444	C <sub>24</sub> H <sub>44</sub> O <sub>7</sub>	-	<i>A. heterophyllum</i> <sup>[33]</sup>
76	<i>n</i> -octadec-9-enoyl- $\beta$ -arabinopyranoside	414	C <sub>23</sub> H <sub>42</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. heterophyllum</i> <sup>[33]</sup>
77	<i>n</i> -octadec-9-enoyl- $\alpha$ -xylopyranoside	414	C <sub>23</sub> H <sub>42</sub> O <sub>6</sub>	-	<i>A. heterophyllum</i> <sup>[33]</sup>

注:化合物 1~59 为黄酮类;60~68 为 2-芳基苯并呋喃类;69~71 为 1,2-二苯乙烯类;72~77 为 *n*-十八烯酰苷类。

## 2 展望

因为富含结构新颖、活性显著的异戊烯基酚性成分,桑科波罗蜜属植物已成为天然药物化学研究的热点,目前国内外多个课题组正专注于此属的研究。可以预见,将来会有更多结构新颖的化合物被发现。但是需要指出的是,当前对波罗蜜属植物的化学研究大多聚焦于其酚性成分,而同样作为其次生代谢产物组成之一的非酚性成分则极少见诸报道。本课题组对该属植物化学成分的研究<sup>[34-35,45]</sup>发现,除开异戊烯基酚性成分外,一些非酚性成分在波罗蜜属植物中也有较高的含量,其中的一些非酚性成分还具有潜在的化学分类学意义。因此,笔者认为,全面阐明波罗蜜属植物的化学成分,不仅有利于该属植物的综合开发与利用,而且可为该属的分类学研究积累有价值的化学资料。

## [参考文献]

[1] Mabberley D J. The plant-book, 2nd edition [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997:58.

[2] 中国植物志编委会. 中国植物志. 第 23(1)卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998:46.

[3] Chen C C, Huang Y L, Ou J C. Three new prenylflavones from *Artocarpus altilis* [J]. J Nat Prod, 1993, 56(9):1594.

[4] Patil A D, Freyer A J, Killmer L, et al. A new dimeric dihydrochalcone and a new prenylated flavone from the bud covers of *Artocarpus altilis*: potent inhibitors of cathepsin K[J]. J Nat Prod, 2002, 64(6):624.

[5] Lien T P, Hipperger H, Porzel A, et al. Constituents of *Artocarpus tonkinensis* [J]. Pharmazie, 1998, 53(5):353.

[6] Hakim E H, Asnizar, Yurnawilis, et al. Artoindesianin P, a new prenylated flavone with cytotoxic activity from *Artocarpus lanceifolius*[J]. Fitoterapia, 2002, 73:668.

[7] Fernado M R, Nalinie Wickramasinghe S M D, Thabrew M I, et al. Effects of *Artocarpus heterophyllum* and *Asteracanthus longifolia* on glucose tolerance in normal human subjects and in maturity-onset diabetic patients [J]. J Ethnopharm, 1991, 31(3):277.

[8] Yu M H, Zhao T, Yan G R, et al. New isoprenylated

flavones and stilbene derivative from *Artocarpus hypargyreus*[J]. Chem Biodivers, 2012, 9(2):394.

[9] Nguyen N T, Nguyen M H K, Nguyen H X, et al. Tyrosinase inhibitors from the wood of *Artocarpus heterophyllum*[J]. J Nat Prod, 2012, 75(11):1951.

[10] Arung E T, Shimizu K, Tanaka H, et al. 3-Prenyl luteolin, a new prenylated flavone with melanin biosynthesis inhibitory activity from wood of *Artocarpus heterophyllum*[J]. Fitoterapia, 2010, 81(6):640.

[11] Bourjot M, Apel C, Martin M T, et al. Antiplasmodial, antitypanosomal, and cytotoxic activities of prenylated flavonoids isolated from the stem bark of *Artocarpus styracifolius*[J]. Planta Medica, 2010, 76(14):1600.

[12] Ee G C L, Teo S H, Rahmani M, et al. Artosimmin-a potential anti-cancer lead compound from *Artocarpus odoratissimus*[J]. Nat Prod Commun, 2010, 7(3):240.

[13] Ren Y L, Kardono L B S, Riswan S, et al. Cytotoxic and NF- $\kappa$ B inhibitory constituents of *Artocarpus rigida* [J]. J Nat Prod, 2010, 73(5):949.

[14] Musthapa I, Juliawaty L D, Syah Y M, et al. An oxepinoflavone from *Artocarpus elasticus* with cytotoxic activity against P-388 cells[J]. Arch Pharm Res, 2009, 32(2):191.

[15] Lin K W, Liu C H, Tu H Y, et al. Antioxidant prenylflavonoids from *Artocarpus communis* and *Artocarpus elasticus* [J]. Food Chem, 2009, 115(2):558.

[16] Wahyuni T S, Ekasari W, Widyawaruyanti A, et al. Artopeden A, a new antiplasmodial isoprenylated flavone from *Artocarpus champeden*[J]. Heterocycles, 2009, 79(6):1121.

[17] Zheng Z P, Cheng K W, To J T K, et al. Isolation of tyrosinase inhibitors from *Artocarpus heterophyllum* and use of its extract as antibrowning agent [J]. Mol Nut Food Res, 2008, 52(12):1530.

[18] Dang D T N, Eriste E, Liepinsh E, et al. A novel anti-inflammatory compound, artonkin-4'-O-glucoside, from

- the leaves of *Artocarpus tonkinensis* suppresses experimentally induced arthritis [J]. *Scan J Immunol*, 2009, 69(2):110.
- [19] Hsu C L, Shyu M H, Lin J A, et al. Cytotoxic effects of geranyl flavonoid derivatives from the fruit of *Artocarpus communis* in SK-Hep-1 human hepatocellular carcinoma cells [J]. *Food Chem*, 2011, 127(1):127.
- [20] Ti H H, Wu P, Lin L D, et al. Stilbenes and flavonoids from *Artocarpus nitidus* [J]. *Fitoterapia*, 2011, 82(4):662.
- [21] Radwan M M, Raquel R G, Manly S P, et al. Sepicanin A-A new geranyl flavanone from *Artocarpus sepicanus* with activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) [J]. *Phytochemistry Lett*, 2009, 2(4):141.
- [22] Di X X, Wang S Q, Wang B, et al. New phenolic compounds from the twigs of *Artocarpus heterophyllus* [J]. *Drug Discov Ther*, 2013, 7(1):24.
- [23] Fang S C, Hsu C L, Yu Y S, et al. Cytotoxic effects of new geranyl chalcone derivatives isolated from the leaves of *Artocarpus communis* in SW 872 human liposarcoma cells [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(19):8859.
- [24] Hsu C L, Chang F R, Tseng P Y, et al. Geranyl flavonoid derivatives from the fresh leaves of *Artocarpus communis* and their anti-inflammatory activity [J]. *Planta Medica*, 2012, 78(10):995.
- [25] Jamil S, Sirat H M, Jantan I, et al. A new prenylated dihydrochalcone from the leaves of *Artocarpus lowii* [J]. *J Nat Med*, 2008, 62(3):321.
- [26] Sidahmed H M A, Hashim N M, Amir J, et al. Pyranocycloartobioxanthone A, a novel gastroprotective compound from *Artocarpus obtusus*, against ethanol-induced acute gastric ulcer *in vivo* [J]. *Phytomed*, 2013, 20:834.
- [27] Hashim N M, Rahmani M, Ee G C L, et al. Antiproliferative activity of xanthenes isolated from *Artocarpus obtusus* [J]. *J Biomed Biotechnol*, 2012, 130(627):1.
- [28] Hashim N, Rahmani M, Sukari M A, et al. Two new xanthenes from *Artocarpus obtusus* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2010, 12(2):106.
- [29] Ee G C L, Teo S H, Rahmani M, et al. Artomandin, a new xanthone from *Artocarpus kemando* (Moraceae) [J]. *Nat Prod Res*, 2011, 25(10):995.
- [30] Huong T T, Nguyen X C, Tram L H, et al. A new prenylated aurone from *Artocarpus altilis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(9):923.
- [31] Nguyen T T M, Nguyen X H, Dang H P, et al. Three new geranyl auronones from the leaves of *Artocarpus altilis* [J]. *Phytochem Lett*, 2012, 5(3):647.
- [32] Sritularak B, Tantrakarnsakul K, Likhitwitayawuid K, et al. New 2-arylbenzofurans from the root bark of *Artocarpus lakoocha* [J]. *Molecul*, 2010, 15:6548.
- [33] Shahin N, Kazmi I, Ali M. Glycosides from the leaves of *Artocarpus heterophyllus* [J]. *Int J Pharm Pharm Sci*, 2012, 4(Suppl. 3):449.
- [34] Ren G, Xiang H Y, Hu Z C, et al. A new isoprenylated flavone from the root bark of *Artocarpus styracifolius* [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2013, 46:97.
- [35] Ren G, Hu Z C, Xiang H Y, et al. Chemical constituents from the fruiting branches of *Artocarpus nanchuanensis* endemic to China [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2013, 51(8):98.
- [36] Nguyen C B, Nguyen T H A, Tran V S. Studies on chemical constituents of *Artocarpus heterophyllus* growing in Vietnam: Part II-a new flavonoid, triterpenoid [J]. *Tap Chi Hoa Hoc*, 2012, 50(1):121.
- [37] 乔欣,赵婷,王萌,等.白桂木中的黄酮类化合物 [J]. *中国中药杂志*, 2011, 36(21):2975.
- [38] Ma J P, Qiao X, Pan S, et al. New isoprenylated flavonoids and cytotoxic constituents from *Artocarpus tonkinensis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2010, 12(7):586.
- [39] Shamaun S S, Rahmani M, Hashim N M, et al. Prenylated flavones from *Artocarpus altilis* [J]. *J Nat Med*, 2010, 64(4):478.
- [40] Zheng Z P, Chen S B, Wang S Y, et al. Chemical components and tyrosinase inhibitors from the twigs of *Artocarpus heterophyllus* [J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(15):6649.
- [41] Musthapa I, Latip J, Takayama H, et al. Prenylated flavones from *Artocarpus lanceifolius* and their cytotoxic properties against P-388 cells [J]. *Nat Prod Commun*, 2009, 4(7):927.
- [42] Ti H H, Lin L D, Ding W B, et al. A new flavan-3-ol from *Artocarpus nitidus* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(6):555.
- [43] Zhao T, Yan G R, Pan S L, et al. New isoprenylated 2-arylbenzofurans and pancreatic lipase inhibitory constituents from *Artocarpus nitidus* [J]. *Chem Biodivers*, 2009, 6(12):2209.
- [44] Shen H, Hou A J. Prenylated 2-arylbenzofurans from *Artocarpus petelotii* [J]. *Nat Prod Res*, 2008, 22(16):1451.
- [45] 任刚,相恒云,胡志成,等.二色波罗蜜根皮的化学成分研究 [J]. *中国新药杂志*, 2013, 22(14):1700.

[责任编辑 邹晓翠]