

[26] 嵇晓辉, 闫琛, 刘红伟, 等. 乳腺癌中 EZH2, MMP-2 和 MMP-9 蛋白表达及其临床意义[J]. 临床与病理杂志, 2017 (10): 2067-2071.

[27] Eroğlu A, Ersöz C, Karasoy D, et al. Vascular endothelial growth factor (VEGF) -C, VEGF-D, VEGFR-3 and D2-40 expressions in primary breast cancer: Association with lymph node metastasis[J]. *Adv Clin Exp Med*, 2017, 26(2): 245-249.

[28] 张君薇, 张毅, 穆长征. MMP-2、MMP-9 和 VEGF 与乳腺癌侵袭转移关系的研究[J]. 中国医师杂志, 2010, 12(11): 1490-1493.

[29] 周璇, 廖盼丽, 吴文英, 等. 西黄丸联合 GP 方案对中晚期乳腺癌患者血清 TNF- α , VEGF, MMP-2, MMP-9 水平的影响[J]. 现代生物医学进展, 2017, 17(23): 4525-4528.

[30] 任征远, 马杰, 王一尧, 等. 西黄丸对乳腺荷瘤小鼠外周血和肿瘤组织 VEGF、MMP9 表达的影响[J]. 中成药, 2016, 38(2): 440-443.

[31] 张文娟. 基于中医传承辅助平台的中医药治疗乳腺癌用药规律分析[J]. 世界科学技术: 中医药现代化, 2016, 18(12): 2143-2147.

香椿化学成分及生物活性研究进展

周婵媛¹, 阮婧华², 黄健², 汤瑾², 高源³, 鲁杰², 谢丹², 蓝月玉², 张远², 范东生^{2*}

(1. 贵阳学院, 贵州 贵阳 550005; 2. 贵州中医药大学第一附属医院, 贵州 贵阳 550001; 3. 贵州省食品检验检测所, 贵州 贵阳 550004)

摘要: 香椿为楝科植物, 根皮、树皮、叶和果实均为民族药。目前从香椿中分离得到 150 余个化合物, 包括三萜、生物碱、黄酮、木脂素、香豆素等类。香椿提取物及其化合物具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、降糖、神经保护等生物活性。查阅国内外文献, 对已报道的香椿化学成分和生物活性进行归纳总结, 尤其对其特征成分三萜和稀有生物碱进行系统阐述, 以期为其后续深入的化学成分、生物活性、质量控制研究及开发利用提供参考。

关键词: 香椿; 化学成分; 生物活性

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2020)05-1279-13

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2020.05.033

香椿 *Toona sinensis* (A. Juss.) Roem. 为楝科香椿属植物, 属多年生落叶乔木, 产于我国的华北、华东、中部、南部和西南地区^[1]。香椿的各个部位都具有药用价值, 其功效也不相同, 根皮或树皮称为香椿皮或椿白皮, 味苦、涩, 性微寒, 归大肠、胃经, 具有清热燥湿、涩肠、止血、止带、杀虫功效, 用于泄泻、痢疾、肠风便血、崩漏、带下等症; 叶子称为椿叶, 味辛、苦, 性平, 归脾、胃经, 具有祛暑化湿、解毒、杀虫功效, 用于暑湿伤中、恶心呕吐、食欲不振等症; 果实称为香椿子, 味辛、苦, 性温, 归肺、肝、大肠经, 具有祛风、散寒、止痛功效, 用于外感风寒、风湿痹痛、胃痛等症^[2], 其中香椿皮(干燥树皮)为贵州苗药, 收载于《贵州省中药材、民族药材质量

标准》2003 年版^[3]。目前, 从香椿中已分离鉴定出多种化学成分, 包括三萜、生物碱、黄酮、苯丙素、酚酸、甾体等, 其中 limonoid 和 apotirucallane 型三萜为其主要的特征性成分, limonoid 型生物碱是自然界稀有的一类生物碱。现代药理研究发现香椿提取物及其成分具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、降糖、神经保护等生物活性^[4]。本文基于前人的研究^[5-7], 对香椿的化学成分和生物活性进行了系统归纳总结, 以期为其后续的深入研究及开发利用提供参考。

1 化学成分

1.1 三萜类 三萜类化合物是香椿中主要化学成分, 目前已经从香椿的根、树皮、叶等部位分离到 93 个三萜类化合物, 包括 limonoid、apotirucallane 和 tirucallane 等三萜化合物。见图 1~3。

收稿日期: 2019-06-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81960787); 贵阳市科技局-贵阳学院科技专项(GYU-KYZ[2019-2020]PT24-04); 贵州省科技计划项目(黔科合 LH 字[2017]7146 号、黔科合支撑[2017]2841、黔科合支撑[2018]2821); 贵州省中药、民族医药科学技术研究课题(QZYY2017-079); 贵州省苗医药重点实验室开放课题(黔苗医药 K 字[2017]105); 博士科研启动基金(GYZYYFY-BS-2018[14])

作者简介: 周婵媛(1983—), 女, 博士, 讲师, 从事功能性材料在中药复杂体分离纯化研究。Tel: 13037825795, E-mail: chanchan_jodi@126.com

* 通信作者: 范东生(1983—), 男, 博士, 副主任药师, 从事中药、民族药物物质基础及作用机制研究。Tel: 13037842895, E-mail: fandongsheng1985@sina.com

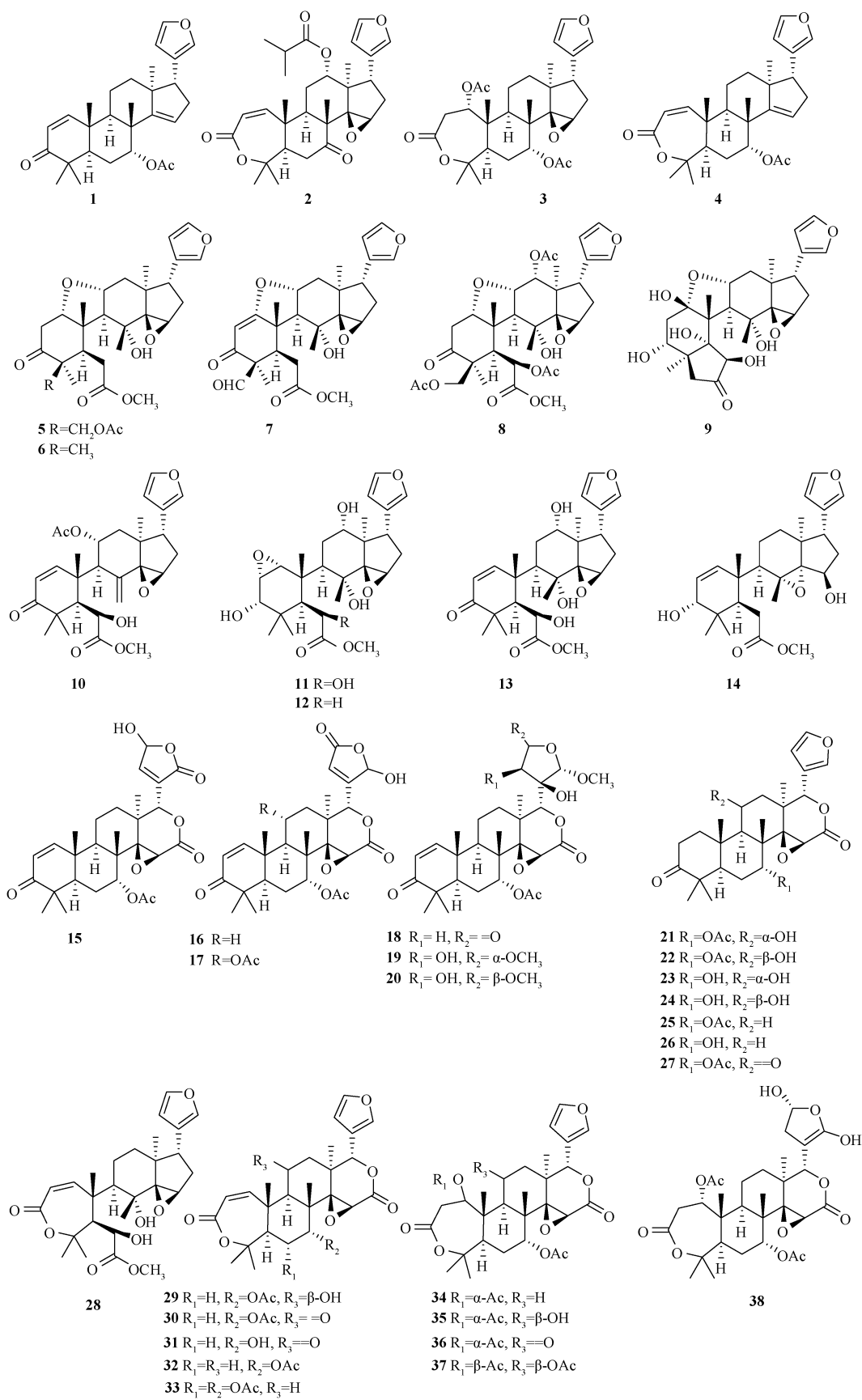


图 1 香椿中 limonoid 型三萜化合物结构

1.1.1 Limonoid 型三萜 柠檬苦素类（limonoid）化合物也称为四降三萜，是一类高度氧化的植物次生代谢物质，由 apotirucallane 或 apoeuphane 骨架的侧链失去 4 个碳原子并通过一系列的氧化和分子重新环化形成^[8]。目前，从香椿的根、树皮、叶子和果实中分离到 38 个 limonoid 类三萜

化合物^[9-16]，见图 1、表 1，包括完整四环骨架型（**1**）、A 环开裂型（**2~4**）、B 环开裂型（**5~14**）、D 环开裂型（**15~27**）、A、B 环开裂型（**28**）、A、D 环开裂型（**29~38**）。一般化合物 A 环开裂后重新形成七元内酯环，D 环开裂后酯化重新形成六元内酯环。

表 1 香椿中 limonoid 型三萜三萜化合物

化合物	名称	部位	文献	化合物	名称	部位	文献
1	azadirone	树皮	[9]	20	toonasinemine L	根皮	[10]
2	toonasinenine J	叶子	[11]	21	11 α -hydroxygedunin	树皮	[12]
3	toonin B	根	[13]	22	11 β -hydroxygedunin	树皮	[12]
4	proceranone	根	[13]	23	7-deacetoxy-7 α ,11 α -dihydroxygedunin	树皮	[12]
5	toonasinenine A	叶子	[11]	24	7-deacetoxy-7 α ,11 β -dihydroxygedunin	树皮	[12]
6	toonafolin	叶子	[11]	25	gedunin	树皮	[12]
7	toonasinenine B	叶子	[11]	26	7-deacetoxy-7 α -hydroxygedunin	树皮	[12]
8	toonasinenine C	叶子	[11]	27	11-oxogedunin	树皮	[12]
9	toonasinenine D	叶子	[11]	28	toonasinenine I	叶子	[11]
10	toonasinenine E	叶子	[11]	29	11 β -hydroxy-7 α -obacunyl acetate	叶子	[14]
11	toonasinenine F	叶子	[11]	30	11-oxo-7 α -obacunyl acetate	叶子	[14]
12	toonacilianin D	叶子	[11]	31	11-oxo-7 α -obacunol	叶子	[14]
13	toonasinenine G	叶子	[11]	32	7 α -obacunyl acetate	叶子	[15]
14	toonasinenine H	叶子	[11]	33	6 α -acetoxyobacunol acetate	叶子	[15]
15	photogedunin	树皮	[16]	34	7 α -acetoxydihydronomilin	叶子	[15]
16	toonasinemine H	根皮	[10]	35	11 β -hydroxycneorin G	叶子	[14]
17	toonasinemine I	根皮	[10]	36	11-oxocneorin G	叶子	[14]
18	toonasinemine J	根皮	[10]	37	toonin A	根	[13]
19	toonasinemine K	根皮	[10]	38	cedrellin	叶子	[15]

1.1.2 apotirucallane 型三萜 甘遂烷型三萜认为是 apotirucallane型三萜的前体，由其 C-17 边链的环化形成，一般为四氢呋喃环、四氢吡喃环及七元含氧环等^[17-18]。目前，从香椿的根、皮、叶子和果实中分离到 35 个

apotirucallane型三萜（**39~73**），包括 28 个 C-17 为四氢呋喃环（**39~66**）、5 个 C-17 为四氢吡喃环（**67~71**）、2 个 C-17 为七元含氧环型 apotirucallane 三萜（**72~73**）。见表 2、图 2。

表 2 香椿中 apotirucallane 型三萜化合物

化合物	名称	部位	文献	化合物	名称	部位	文献
39	—	树皮	[9]	57	—	叶子	[19]
40	—	树皮	[9]	58	—	叶子	[19]
41	—	树皮	[9]	59	—	叶子	[19]
42	—	树皮	[9]	60	—	叶子	[19]
43	—	树皮	[9]	61	—	叶子	[19]
44	—	树皮	[9]	62	—	树干	[19]
45	—	叶子	[19]	63	—	树干	[19]
46	—	叶子	[19]	64	—	叶子、树干	[19]
47	—	种子、叶子、树干	[19]	65	—	树皮	[19]
48	—	叶子、树干	[19]	66	—	树皮	[19]
49	—	叶子、树干	[19]	67	—	树皮	[9]
50	—	叶子	[19]	68	—	树皮	[9]
51	—	叶子、树干	[19]	69	—	叶子	[19]
52	—	树干	[19]	70	grandifoliolenone	树皮	[9]
53	—	种子、树干	[19]	71	bourjotinolone A	树皮	[9]
54	—	树干	[19]	72	—	树皮	[9]
55	—	树干	[19]	73	sapelin E acetate	树皮	[9]
56	—	叶子	[19]				

注：—为文献中作者未给化合物命名。

1.1.3 tirucallane 型三萜 从香椿中分离得到 6 个 tirucallane型三萜化合物（**74~79**），其中，化合物**79**在 C-5

和 C-8 之间形成一个过氧桥，见表 3、图 3。

1.1.4 dammarane 型三萜 从香椿中分离得到 11 个



dammarane 型三萜化合物（80~90），见表 3、图 3。

物，包括 2 个羽扇豆烷（91~92）和 1 个齐墩果烷三萜（93），见表 3、图 3。

1. 1. 5 其他三萜 从香椿树皮中分离到 3 个五环三萜化合物

表 3 香椿中 tirucallane 型和其他三萜化合物

化合物	名称	部位	文献	化合物	名称	部位	文献
74	bourjotinolone B	树皮	[16, 20]	84	ocotillone	树皮	[20]
75	piscidinol A	树皮	[9, 20]	85	(20 <i>S</i> , 24 <i>R</i>)-epoxydammarane-12, 25-diol-3-one	树皮	[20]
76	hispidol B	树皮	[9, 20]	86	(20 <i>S</i> , 24 <i>R</i>)-epoxydammarane-3β, 25-diol	树皮	[20]
77	(20 <i>S</i>)-3-oxo-tirucalla-25-nor-7-en-24-oic acid	树皮	[20]	87	methyl shoreate	树皮	[20]
78	4, 4, 14-trimethyl-3-oxo-24-nor-5α, 13α, 14β, 17α, 20 <i>S</i> -chol-7-en-23-oic acid	树皮	[20]	88	shoreic acid	树皮	[20]
79	(20 <i>S</i>)-5α, 8α-epidioxy-3-oxo-24-nor-6, 9 (11)-dien-23-oic acid	树皮	[20]	89	richenone	树皮	[20]
80	(20 <i>S</i> , 24 <i>S</i>)-dihydroxydammar-25-en-3-one	树皮	[20]	90	cabralealactone	树皮	[20]
81	cylindrictone D	树皮	[20]	91	betulinic acid	树皮	[16]
82	hollongdione	树皮	[20]	92	betulin	树皮	[16]
83	20-hydroxy-24-dammaren-3-one	树皮	[20]	93	erythrodiol	树皮	[16]

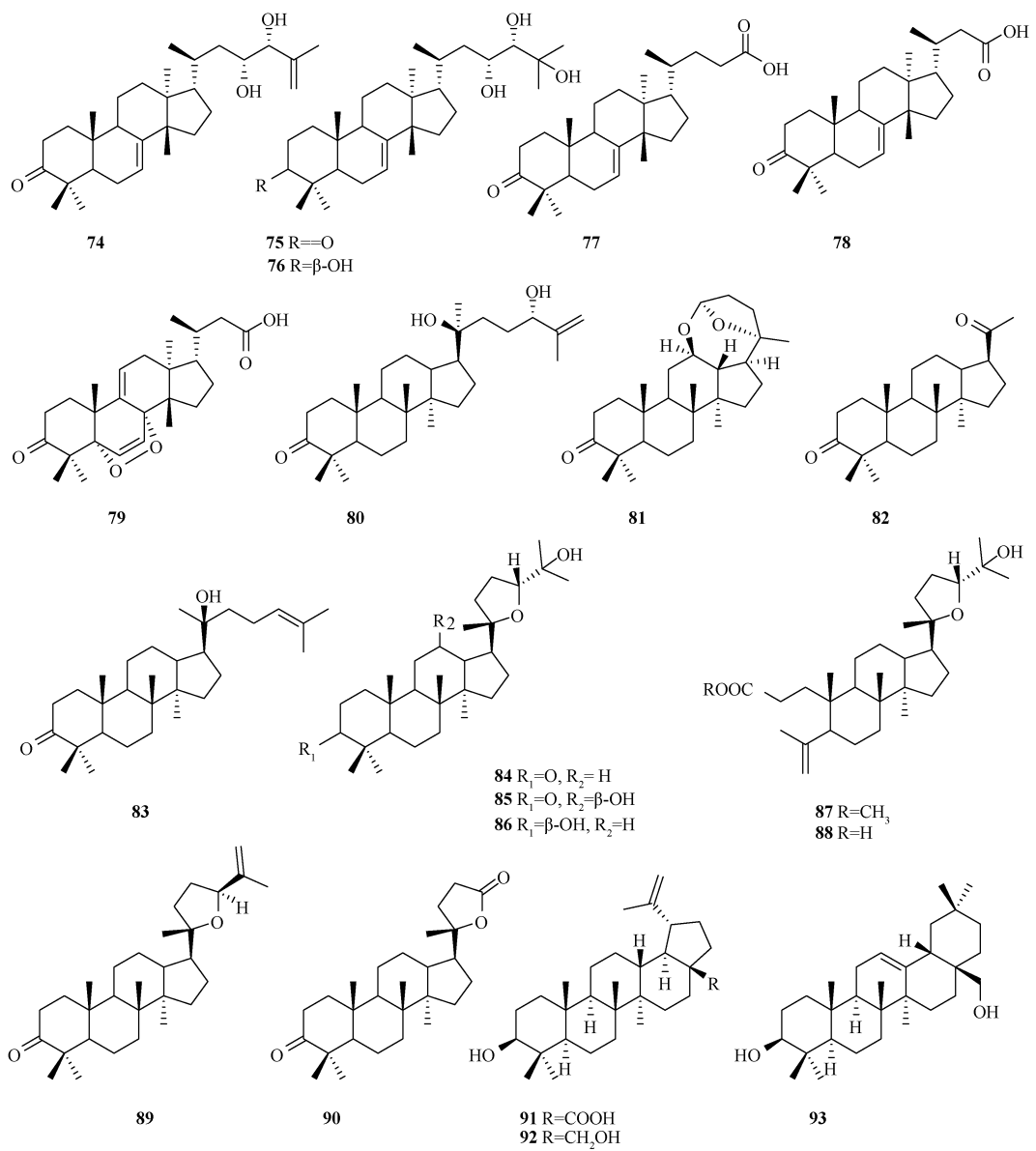


图 3 香椿中 tirucallane 型和其他三萜化合物结构

1.2 生物碱 limonoid 型生物碱是自然界稀有的一类生物碱，其以 limonoid 为基本母核，C-17 位为内酰胺衍生物^[10, 21]。目前，从香椿已分离到 8 个 limonoid 型生物碱化

合物（**94~101**），包括 2 个完整的 limonoid 型（**94~95**）和 6 个 D 环开环的 limonoid 型（**96~101**），见表 4、图 4。

表 4 香椿中 limonoid 生物碱化合物

化合物	名称	部位	文献	化合物	名称	部位	文献
94	toonasinemine A	根皮	[10]	98	toonasin B	树皮	[16]
95	toonasinemine B	根皮	[10]	99	toonasinemine E	根皮	[10]
96	toonasinemine C	根皮	[10]	100	toonasinemine F /toonasin C	根皮、 树皮	[10, 16]
97	toonasinemine D/ toonasin A	根皮、 树皮	[10, 16]			101	

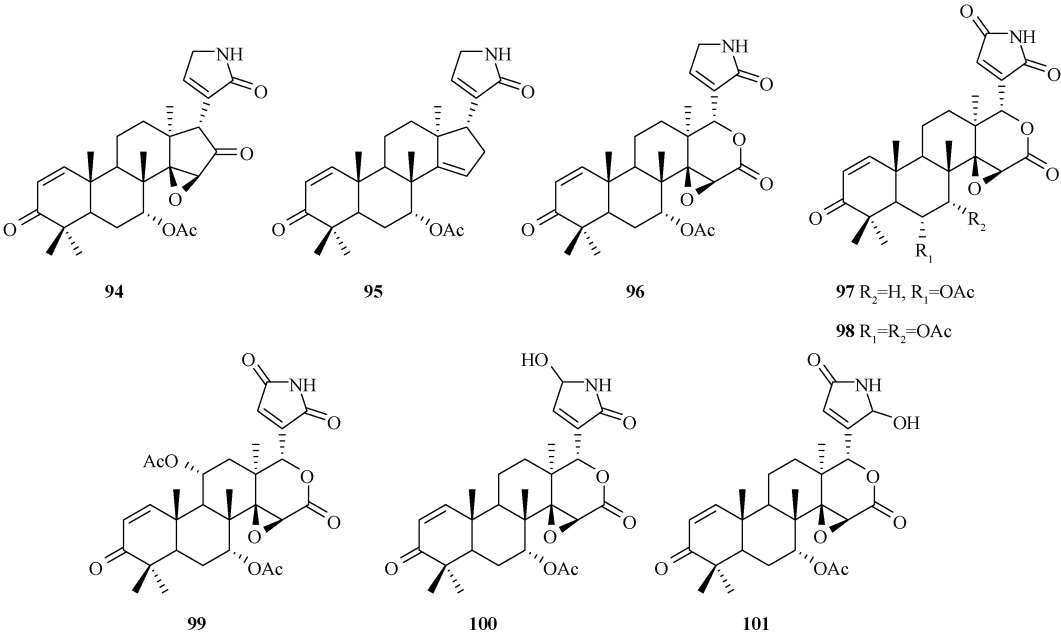


图 4 香椿中 limonoid 型生物碱化合物结构

1.3 黄酮类 黄酮类化合物是香椿中另一类主要的化学成分，从香椿的各个部位中分离到 21 个黄酮及其苷类化合物

（**102~122**）^[22-30]，其中 **121~122** 为黄酮二聚体。见表 5、图 5。

表 5 香椿中黄酮类化合物

化合物	名称	部位	文献	化合物	名称	部位	文献
102	quercetin	树皮、叶子、 果实	[22-24]	113	5, 7-dihydroxy-8- methoxy flavone	树皮	[23, 25]
103	quercetin-3-O-β-D-glucopyranoside	叶子、嫩芽、 树皮	[23, 26-27]	114	myricetin	树皮	[23]
104	quercetin-3-O-α-L-rhamnopyranoside /quercetrin	叶子、嫩芽	[22, 26, 28]	115	myricitrin	树皮	[23]
105	quercetin-3-O-α-L-arabinopyranoside	叶子	[27]	116	demethoxymatteucinol	树干	[29]
106	quercetin-3-O-β-D-galactopyranoside	叶子	[27]	117	matteucinol	树干	[29]
107	rutin	叶子、嫩芽	[26]	118	(+)-catechin	树干、叶子	[28-29]
108	kaempferol	叶子、果实	[22, 24-25]	119	(-)-epicatechin	树干	[29]
109	kaempferol-3-O-β-D-glucopranoside/ astragalin	叶子、嫩芽	[22, 26-28]	120	(-)- epigallocatechin gallate	叶子	[27]
110	kaempferol-3-O-α-L-arabinopyranoside/ juglalin	叶子、嫩芽	[26]	121	procyanidin B3	树干	[29]
111	kaempferol-3-O-α-L- rhamnopyranoside	果实、叶子	[22, 28, 30]	122	procyanidin B4	树干	[29]
112	6, 7, 8, 2'-tetramethoxy-5, -6'-dihydroxy-flavone	叶子	[25]				

1.4 木脂素和香豆素类 从香椿根、皮、叶子和果实中分离到 6 个木脂素类化合物（**123~128**）和 3 个香豆素类

化合物（**129~131**），其中 **125~126** 为降木脂素类化合物。见表 6、图 6。

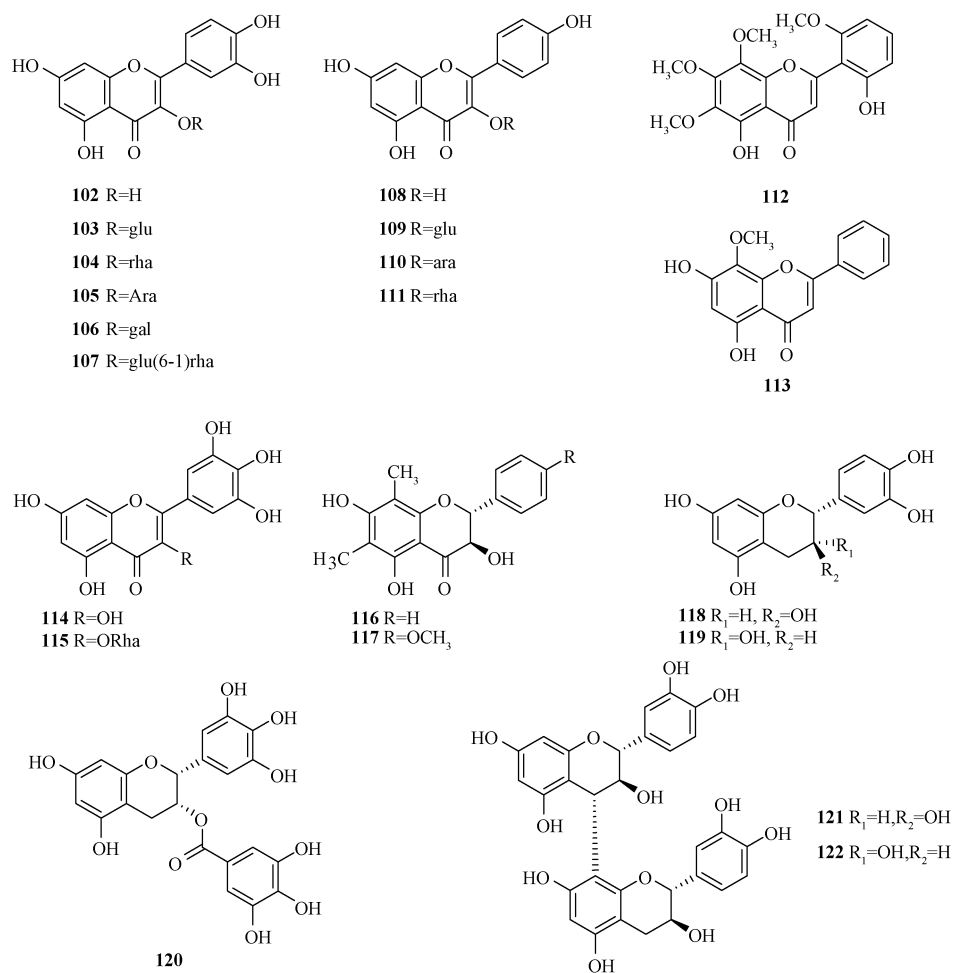


图 5 香椿中黄酮类化合物结构

表 6 香椿中木脂素和香豆素类化合物

化合物	名称	部位	文献	化合物	名称	部位	文献
123	ficusesquilgnan A	果实	[30]	128	lyoniresinol	根	[13]
124	ficusesquilgnan B	果实	[30]	129	scopoletin	树干、叶子	[25,28-29]
125	toonin C	根	[13]	130	isoscopoletin	根	[13]
126	7-methoxy-2-(3, 4-methylenedioxy-phenyl) benzofuran-5-carboxylat	树皮	[31]	131	4,7-dimethoxy-5-methylcoumarin	叶	[28]
127	4-hydroxy-3-methoxy benzeneethanol	根	[13]				

1.5 酚酸类 从香椿中已分离鉴定出 8 个鞣质类化合物（132~139）。见表 7、图 7。

表 7 香椿中鞣质类化合物

化合物	名称	部位	文献
132	gallic acid	枝叶、树干	[26, 29]
133	methyl gallate	枝叶、果实	[22, 24, 26]
134	ethyl gallate	叶、树 干、果实	[22,24-25, 28-29]
135	trigallic acid	枝叶	[26]
136	6- <i>O</i> -galloyl- <i>D</i> -glucopyranose	枝叶	[26]
137	1, 2, 3-tri- <i>O</i> -galloyl-β- <i>D</i> -glu-copyranose	枝叶	[26]
138	1, 2, 3, 6-tetra- <i>O</i> -galloyl-β- <i>D</i> -glucopyranose	枝叶	[26-27]
139	1, 2, 3, 4, 6-penta- <i>O</i> -galloyl-β- <i>D</i> -glucopyranose	枝叶	[22, 26-27]

1.6 甾体类化合物 李争玲等^[24]从香椿子中发现了 β-谷甾醇（140）和豆甾醇（142）；罗晶等^[31]从香椿树皮中分离到了 7β-羟基谷甾醇（141）、豆甾烷-3, 6-二酮（143）、豆甾-4-烯-3-酮（144）、6-羟基豆甾-4-烯-3-酮（145）、豆甾-4-烯-3β, 6β-二醇（146）和过氧化麦角甾醇（147）。见图 8。

1.7 二萜类 Luo 等^[15]从香椿叶中分离到 3 个植物醇类衍生物 2, 6, 10, 15-phytatetraene-14-ol（148）、2, 6, 10-phytatriene-1, 14, 15-triol（149）、phytol（150）；周先丽等^[32]从香椿树皮中分离到（9*S*, 10*E*, 16*R*）-9, 16-dihydroxyoctadec-10-ene-12, 14-diyn-1-yl acetate（151）；Meng 等^[16]从香椿的树皮中分离到 gossweilone（152）。见图 9。

1.8 其他 Li 等^[33]从香椿嫩芽中分离到 3 个含硫化合物

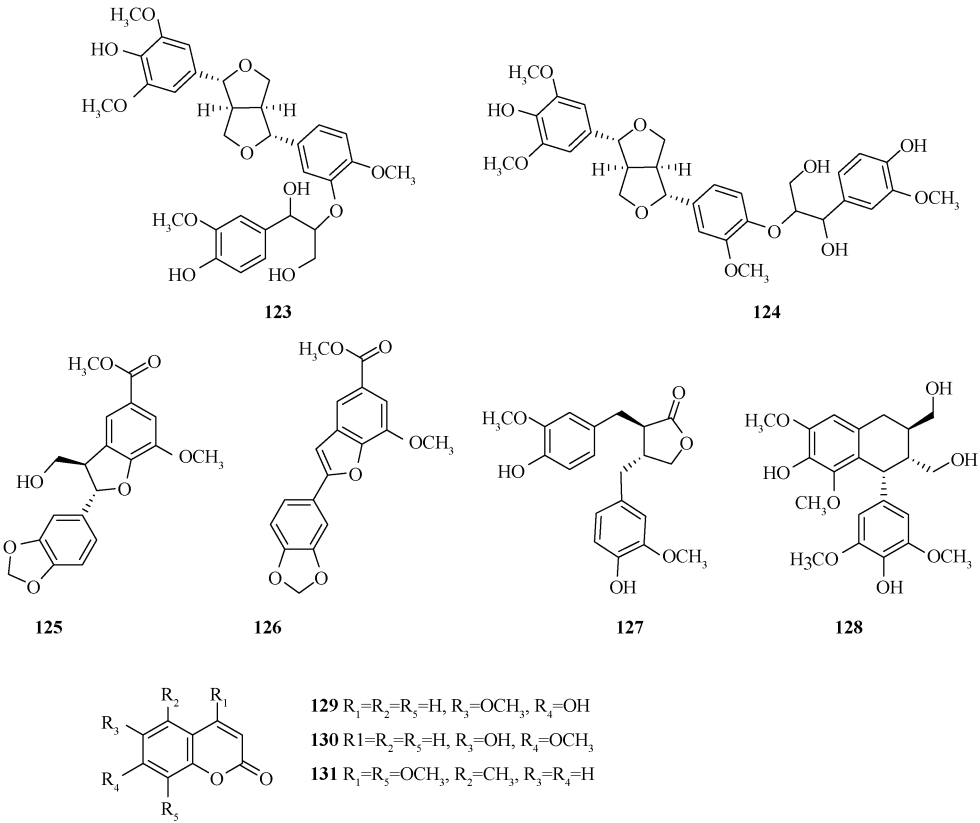


图 6 香椿中木脂素和香豆素类化合物结构

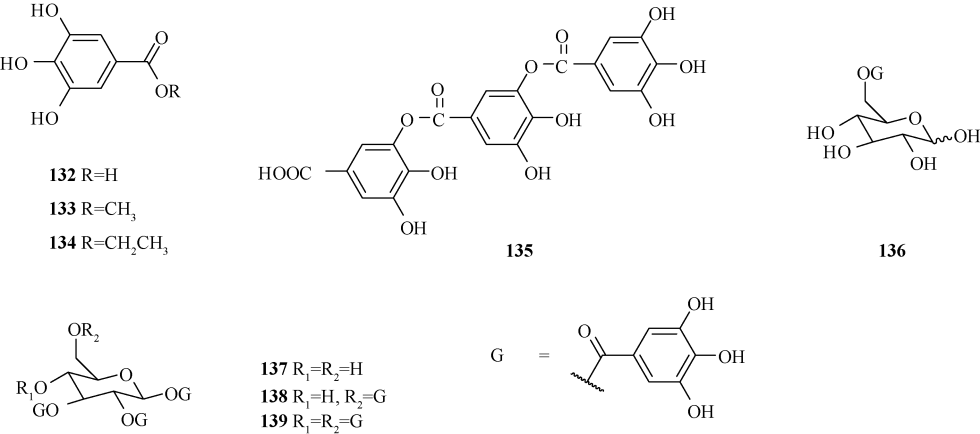


图 7 香椿中鞣质类化合物结构

(*S,S*)- γ -glutamyl- (*cis*-*S*-1-propenyl) thioglycine (**153**)、(*S,S*)- γ -glutamyl- (*trans*-*S*-1-propenyl) thioglycine (**154**)、 γ -glutamyl- (*cis*-*S*-1-propenyl) -cysteine (**155**)；罗晶等^[31]从香椿树皮 95% 乙醇提取物中分离得到铁屎米-6-酮 (**156**)、 α -acetylamino-phenylpropyl α -benzoylamino phenylpropionate (**157**)；侯丽等^[30]从香椿子中分到 3, 5-二羟基苯乙醚 (**158**)、eudesm-4 (15) -ene-1 β , 6 α -diol (**159**)。除此之外，李国成等^[23]从香椿树皮中分离得到二十碳酸乙酯和正二十六烷醇。

2 生物活性

2.1 抗炎、镇痛 阮志鹏等^[34]发现香椿叶水提取物可以抑制二甲苯致小鼠耳廓和角叉菜胶致大鼠足肿胀，其作用

可能与降低足组织中 NO 和 PGE2 的量有关。杨艳丽等^[35]发现香椿子总酚对佐剂型关节炎大鼠有一定的治疗作用，能减轻大鼠足趾肿胀度、降低脾脏指数和胸腺指数，改善踝关节病理组织形态。Yang 等^[36]发现香椿叶水提取物能改善 CLP 诱导败血症小鼠的存活率，可减少小鼠的肺损伤，其与减少 NO 的产生和 iNOS 酶的表达，增加 HO-1 的表达有关。在体实验表明香椿叶水提取物能抑制 LPS 诱导转基因小鼠 NF- κ B 的激活，体外实验表明其能降低小肠中 TX-NL4B 及 RAW 264.7 中 TXNL4B、iNOS、COX-2 的表达，这些与调节 NF- κ B 通路有关^[37]。Su 等^[38]发现香椿叶水提取物对醋酸致小鼠扭体有一定的镇痛作用。本实验中化合物 (**2**、**5**~**12**) 具有一定的抗炎活性，在 100 μ mol/L 下能抑制

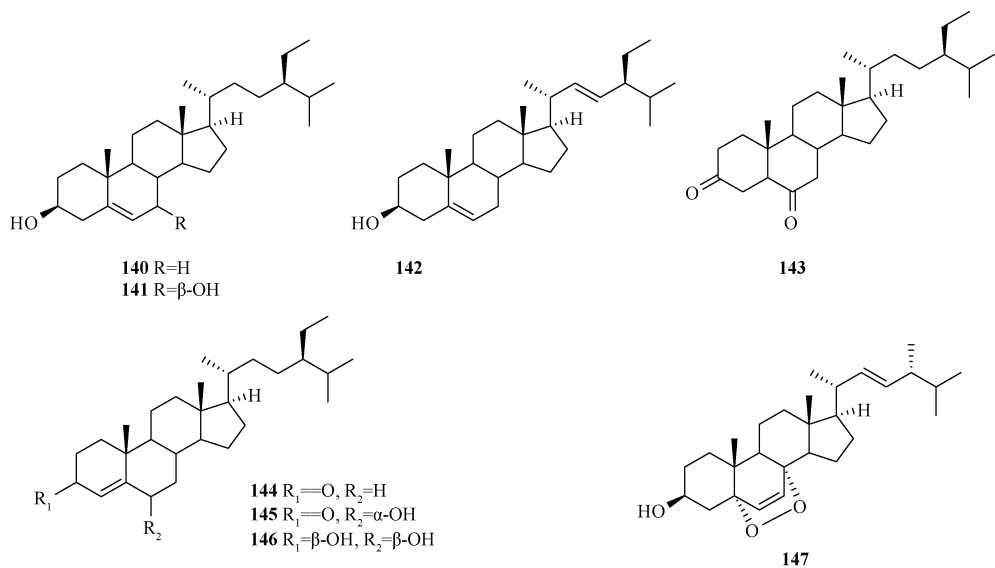


图 8 香椿中甾体类化合物结构

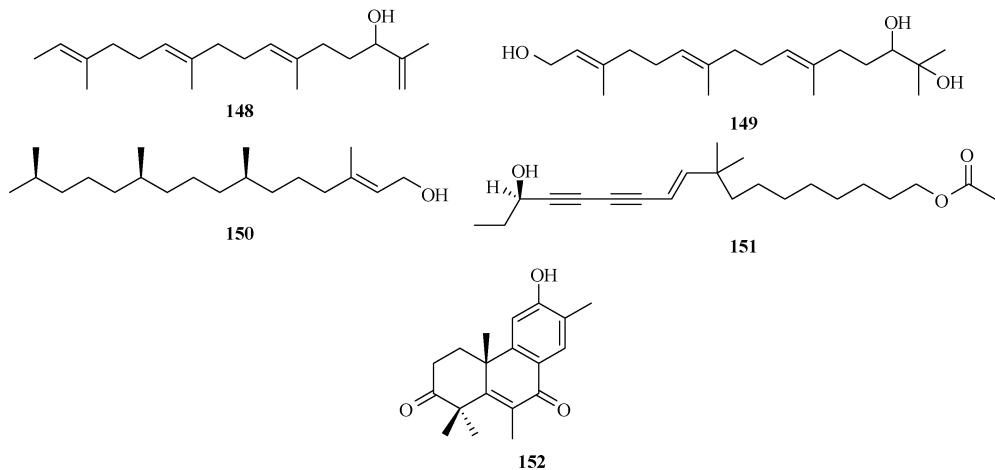


图 9 香椿中二萜类化合物结构

COX-1 和 COX-2 产生^[11]，化合物（16~17、94~95、100）能显著抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞产生 NO^[10]，见表 8。

表 8 香椿中各化合物抗炎活性

化合物	抑制率/(%) ^a		化合物	IC ₅₀ /(μmol·L ⁻¹)
	COX-1	COX-2		
2	30.2	19.7	16	12.56
5	88.1	35.6	17	20.68
6	89.8	37.6	94	10.21
7	92.7	39.3	95	20.05
8	91.1	40.2	100	12.56
9	95.2	40.1		
10	44.3	21.4		
11	53.1	24.4		
12	44.3	20.7		

注意：^a化合物浓度为 100 μmol/L。

2.2 抗氧化 香椿叶水提物具有较强的抗氧化能力，具有清除自由基、较强的还原力和金属螯合能力，它能阻止 AAPH-诱导人红细胞的氧化溶血、脂质过氧化和 SOD 活力

下降^[39]。香椿叶水提取物对 AAPH-诱导人脐静脉内皮细胞细胞（ECs）氧化损伤具有保护作用，并成剂量依赖性。其能抑制 AAPH- ECs 中 ROS 产生、MDA 形成、SOD/过氧化氢酶活性和 Bax/Bcl-2 失调^[40]。香椿叶乙醇提取物对 H₂O₂ 诱发小鼠氧化应激有一定的保护作用，这与增加肝脏中过氧化氢酶、铜/锌 SOD、GPx、GR 和 GST 的活性有关，其还能加强 AOE 的活性，增加肝脏的解毒能力^[41]。体内研究发现，大鼠灌胃厌氧发酵的香椿叶提取物能显著增加肝组织中抗氧化酶的活性，增加过氧化氢酶（CAT）、谷胱甘肽过氧化酶（GPx）和超氧化物歧化酶（SOD）的 mRNA 表达和 CAT 蛋白的水平^[42]。从香椿叶中分离得到的三萜类化合物（2、9~11、13~14、28）也具有清除自由基的能力^[11]，见表 9。

2.3 抗肿瘤 Chang 等^[43]发现香椿叶提取物能抑制 A549 细胞增生，有效抑制 cyclin D1 和 E 的表达，有效阻断细胞周期进程，并且能激活 caspase-3 蛋白，从而诱导细胞凋亡。Yang 等^[44]发现香椿叶提取物能诱导 HL-60 细胞凋亡，并呈

表 9 香椿中各化合物的清除自由基活性

化合物	DPPH IC ₅₀ /($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	ABTS ⁺⁺ IC ₅₀ /($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)
2	73.1	167.3
9	104.0	52.2
10	62.1	124.7
11	244.7	256.1
13	59.2	119.8
14	51.3	109.7
28	71.0	160.1

剂量和时间的依赖性，其凋亡机制与细胞色素 C 从线粒体内膜释放到胞浆，引发其下游 caspase-3 活化，可以降解 PARP，使 Bcl-2/Bax 比值降低，诱导 HL-60 细胞凋亡，其机制与线粒体的结构与功能有关；还可以诱导产生大量 ROS，而 ROS 直接参与死亡调节。香椿叶提取物 TSL-1 对 H441、H520 和 H661 细胞增生有抑制作用，IC₅₀ 值分别为 0.20、0.25、0.12 mg/mL，其机制可能是通过上调 p27 水平，进而抑制 cyclin D1 和 CDK4 表达，导致细胞被阻滞在 G1 期，并降低 Bcl-2 表达，同时增加 Bax 表达，从而抑制细胞增殖，诱导细胞凋亡^[45]。香椿叶提取物能诱导肾细胞癌凋亡，改变线粒体膜电位，可通过线粒体膜电位下降，细胞色素 C 从线粒体内膜释放到胞浆，引发其下游 caspase-3、7、9 激活和 PARP 降解、减少 Bcl-2 和热休克蛋白表达，还可以诱导产生大量 ROS，而 ROS 直接参与死亡调节^[46]。Wu 等^[47] 研究香椿叶挥发油对 SGC7901、HepG2、HT29 细胞的增殖有抑制作用，IC₅₀ 值分别为 70.38、82.20、99.94 $\mu\text{g/mL}$ ，在质量浓度大于 100 $\mu\text{g/mL}$ 时，对 HUVE 细胞无毒性。挥发油对 SGC7901 细胞的抑制作用呈剂量依赖性，与上调 Bax 和 caspase-3 和下调 Bcl-2 表达有关。Chang 等^[37] 发现香椿叶的 TSL2 部位抑制 SKOV3 细胞的增殖，使其停滞在 G2/M；TSL2 能抑制模型动物卵巢癌细胞的增殖，抑制作用呈剂量依赖性。Mitsui 等^[19] 发现从香椿中分离得到的 23 个 apotirucallane 型三萜化合物对 P-388 细胞有细胞毒性，其 IC₅₀ 在 0.26~9.9 mg/mL。化合物（6~9、16、74、76、83、87~88）也具有细胞毒性，见表 10。

表 10 香椿中各化合物细胞毒性 IC₅₀ 值

化合物	IC ₅₀ /($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)						
	A-549	CHG-5	HCT15	HeLa	HepG2	MDA-MB-231	SGC-7901
6	9.7	9.6	—	9.0	—	9.8	—
7	5.7	5.0	5.7	6.2	5.5	6.0	6.0
8	9.7	8.3	—	8.1	9.1	9.4	9.4
9	2.3	2.8	2.6	2.9	3.0	2.7	2.1
16	—	—	—	—	3.25	—	—
74	5.2	—	—	—	—	—	6.1
76	6.4	—	—	—	—	—	—
83	—	—	—	—	—	—	9.8
87	7.1	—	—	—	—	—	—
88	6.0	—	—	—	—	—	—

注：—表示没有检测细胞毒性。

2.4 降糖 胰岛素抵抗对 2 型糖尿病的发病机制至关重要，Liu 等^[48] 研究表明香椿叶 95% 乙醇提取物降低高脂饮

1288

食（HFD）诱导小鼠的血糖，刺激小鼠脂肪组织中的 PPAR γ 和脂联素表达改善的胰岛素敏感性，还与激活骨骼肌中 AMPK 刺激葡萄糖摄取有关。Wang 等^[49] 发现香椿叶水提取物能改善四氧嘧啶糖尿病大鼠血浆中胰岛素的水平，进而介导葡萄糖转运蛋白 4（GLUT4）来完成降糖作用。香椿叶超临界 CO₂ 提取物能增加 3T3-L1 脂肪细胞对葡萄糖的消耗，呈剂量依赖性^[50]。糖尿病并发症严重威胁着人类健康，是终末期肾病、神经病变等的主要原因。香椿子乙醇提取物能够改善糖尿病大鼠周围神经病变，其作用机制与降低血糖、抑制氧化应激、调节 NGF- β 、TNF- α 和 IF-6 有关^[51]。

2.5 神经保护 香椿水提取物正丁醇萃取部位对大鼠大脑中动脉闭塞诱导的局灶性脑缺血损伤具有保护作用，可减少局部缺血诱导的急性脑梗塞、脑含水量和神经损伤，减少缺血脑组织中脂质过氧化、环氧合酶-1 和血栓素的水平，提高谷胱甘肽过氧化酶、超氧化物歧化酶的活性，其神经保护作用与抗氧化和抗炎有关^[52]。Wang 等^[53] 研究发现香椿叶水提取物能抑制 LPS 诱导的 BV-2 细胞的炎症，减少 NO 生成，能抑制 TNF- α 分泌和 iNOS 蛋白的表达。Liao 等^[54] 发现香椿叶、根和皮提取物可减少 SAMP8 脑中 β -淀粉样蛋白质沉淀和认知衰退。

2.6 抗血管生成 内皮细胞增殖是血管新生的重要环节，Hseu 等^[55] 研究香椿叶提取物（50~100 g/mL）显著抑制鸡胚绒毛尿囊膜（CAM）血管生成，在体外实验表明椿叶提取物能够抑制由 VEGF 诱导 EA.hy 926 和 HUVECs 细胞的增殖、迁移和微管形成，其可以通过减少 cyclin D1、cyclin E、CDK4、pRb、VEGFR-2 和 eNOS 的表达阻滞 EA.hy 926 停在 G0/G1 期。

2.7 抗菌 Wu 等^[47] 采用微量稀释法测定了香椿叶挥发油对甲氧西林敏感金黄色葡萄球菌和耐甲氧西林金黄色葡萄球菌都有抑制作用，最小抑菌浓度（MIC）分别为 0.125、1 mg/mL。

2.8 生殖系统作用 Poon 等^[56] 发现香椿提取物能降低人绒毛膜促性腺激素诱导的小鼠睾丸间质细胞睾酮的产生，并呈剂量依赖性，还能抑制 dbcAMP 诱导睾酮的产生，其作用与抑制 cAMP-PKA 信号通路和神经甾体合成代谢酶活性有关。香椿叶提取物能改善氧化压力下雄性小鼠精子质量和睾丸功能，这与其抗氧化作用有关^[57]。

2.9 抗病毒 香椿叶水提物具有抗 H1N1 病毒作用，有效抑制 H1N1 在 MDCK 细胞上形成菌斑，EC₅₀ 值为 20.4 $\mu\text{g/mL}$ 。其提取物能抑制病毒在感染的 A549 细胞中基因荷载，下调 H1N1 病毒感染后 A549 细胞对黏附分子和趋化因子（VCAM-1、ICAM-1、E-选择素、IL-8，等）的表达^[58]。香椿叶提取物在体外能抑制 SARS-CoV 病毒^[59]。

2.10 其他 香椿叶水提物能促使原代大鼠肾上腺皮质细胞产生肾上腺类固醇，呈时间和剂量相关性，其作用与 cAMP 依赖性 PKA，类固醇生成酶和 StAR 的表达有关^[60]。香椿叶水提取物具有抗肝纤维化作用，减少胶原形成和

TGFb1, 通过增加解毒和代谢保护肝脏^[61]。

3 安全性评价 Liao 等^[62]采用 Ames、急性毒性和亚慢性毒性试验评价香椿叶水提物的安全性。Ames 试验表明, 提取物对 TA98、TA100、TA102、TA1535 等菌株无产生回复突变的作用; 急性毒性试验表明, ICR 小鼠以 5 000 mg/kg 剂量连续 14 d 灌服提取物, 各组动物未见明显毒性反应; 亚慢性毒性试验表明, ICR 小鼠以 1 000 mg/kg 剂量连续 28 d 灌服提取物, 雄性小鼠的体质量和进食量、生化和组织指标均未发现明显异常, 但雌性小鼠体质量、进食量和肺器官系数降低, 生化和组织指标正常。研究发现发酵的香椿叶具有较强的抗氧化作用, 采用同样安全评价方法发现其也无明显的毒副作用^[63]。

4 结语与展望

香椿的根、茎、叶、果实均可入药, 嫩芽为蔬菜, 其在我国分布广泛、资源丰富, 具有较大的开发前景。本文对 2000 至 2018 年香椿的化学成分和生物活性文献进行系统综述, 从中分离得到三萜、生物碱、黄酮、苯丙素、酚酸、甾体等化合物 159 个, 其提取物及化学成分具有较好的抗菌、抗炎、镇痛、抗氧化、神经保护、抗癌、降糖等生物活性, 香椿叶的水提取物无毒性。近几年, 国内外学者从香椿中发现了新颖的三萜和生物碱类化合物, 但是对这些化合物的生物活性及作用机制研究的非常少; 其提取物具有多种药理活性, 但药效物质基础尚不明确。因此, 对化合物的生物活性和活性部位的物质基础有待进一步的研究。目前, 以黄酮类化合物为指标建立香椿含有量的测定方法^[64-65], 尚未见以三萜类化合物为指标的含有量测定方法的报道, 有待进一步研究。

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, 1997.

[2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999.

[3] 贵州省药品监督管理局. 贵州省中药材、民族药材质量标准(2003 版)[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003.

[4] De Leo M, Milella L, Braca A, et al. Cedrela and Toona genera: a rich source of bioactive limonoids and triterpenoids[J]. *Phytochem Rev*, 2018, 17(4): 751-783.

[5] 邢莎莎, 陈 超. 香椿化学成分及药理作用研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(17): 8978-8979; 8981.

[6] 王旭波, 顾芹英, 沈玉萍, 等. 香椿的化学成分研究进展[J]. *南京中医药大学学报*, 2014, 30(4): 396-400.

[7] Peng W, Liu Y, Hu M, et al. *Toona sinensis*: a comprehensive review on its traditional usages, phytochemistry, pharmacology and toxicology[J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2019, 29(1): 111-124.

[8] Tan Q G, Luo X D. Meliaceous limonoids: chemistry and biological activities[J]. *Chem Rev*, 2011, 111(11): 7437-7522.

[9] Mitsui K, Saito H, Yamamura R, et al. Apotirucallane and tirucallane triterpenoids from *Cedrela sinensis*[J]. *Chem Pharm*

Bull, 2007, 55(10): 1442-1447.

[10] Li J H, Li Y, An F L, et al. Limonoids with modified furan rings from root barks of *Toona sinensis*[J]. *Tetrahedron*, 2016, 72(47): 7481-7487.

[11] Hu J, Song Y, Mao X, et al. Limonoids isolated from *Toona sinensis* and their radical scavenging, anti-inflammatory and cytotoxic activities[J]. *J Funct Foods*, 2016, 20: 1-9.

[12] Mitsui K, Saito H, Yamamura R, et al. Hydroxylated gedunin derivatives from *Cedrela sinensis*[J]. *J Nat Prod*, 2006, 69(9): 1310-1314.

[13] Dong X J, Zhu Y F, Bao G H, et al. New limonoids and a dihydrobenzofuran norlignan from the roots of *Toona sinensis*[J]. *Molecules*, 2013, 18(3): 2840-2850.

[14] Mitsui K, Maejima M, Fukaya H, et al. Limonoids from *Cedrela sinensis*[J]. *Phytochemistry*, 2004, 65(23): 3075-3081.

[15] Luo X D, Wu S H, Ma Y B, et al. Limonoids and phytol derivatives from *Cedrela sinensis*[J]. *Fitoterapia*, 2000, 71(5): 492-496.

[16] Meng Q Q, Peng X R, Lu S Y, et al. Lactam triterpenoids from the bark of *Toona sinensis*[J]. *Nat Prod Bioprospect*, 2016, 6(5): 239-245.

[17] 张 耀, 汪俊松, 孔令义. 甘遂烷型三萜的研究进展[J]. *中草药*, 2010, 41(10): 1733-1739.

[18] Shilpi J A, Saha S, Chong S L, et al. Advances in chemistry and bioactivity of the genus *Chisocheton Blume*[J]. *Chem Biodivers*, 2016, 13(5): 483-503.

[19] Mitsui K, Maejima M, Saito H, et al. Triterpenoids from *Cedrela sinensis*[J]. *Tetrahedron*, 2005, 61(44): 10569-10582.

[20] Tang J, Xu J, Zhang J, et al. Novel tirucallane triterpenoids from the stem bark of *Toona sinensis*[J]. *Fitoterapia*, 2016, 112: 97-103.

[21] Zhu J, Lu X, Fan X, et al. A new cytotoxic salannin-class limonoid alkaloid from seeds of *Azadirachta indica* A. Juss[J]. *Chin Chem Lett*, 2018, 29(8): 1261-1263.

[22] Yang H, Gu Q, Gao T, et al. Flavonols and derivatives of gallic acid from young leaves of *Toona sinensis* (A. Juss.) Roemer and evaluation of their anti-oxidant capacity by chemical methods[J]. *Pharmacogn Mag*, 2014, 10(38): 185-190.

[23] 李国成, 余晓霞, 廖日房, 等. 香椿树皮的化学成分分析[J]. *中国医院药学杂志*, 2006, 26(8): 949-952.

[24] 李争玲, 王旭波, 冉顶诗, 等. 香玲子的化学成分研究[J]. *中国药房*, 2013, 24(27): 2540-2541.

[25] 罗晓东, 吴少华, 马云保, 等. 椿叶的化学成分研究[J]. *中草药*, 2001, 32(5): 390-391.

[26] Wang K J, Yang C R, Zhang Y J. Phenolic antioxidants from Chinese toon (fresh young leaves and shoots of *Toona sinensis*) [J]. *Food Chem*, 2007, 101(1): 365-371.

[27] 孙小祥, 杨娅娅, 盛玉青, 等. 香椿叶中多酚类成分的研究[J]. *中成药*, 2016, 38(9): 1974-1977.

[28] 沈玉萍, 钟雄雄, 余筱洁, 等. 中药香椿叶的化学成分研究[J]. *中国药学杂志*, 2013, 48(1): 22-24.

[29] Zhao J, Zhou X W, Chen X B, et al. α -Glucosidase inhibitory

- constituents from *Toona sinensis*[J]. *Chem Nat Compd*, 2009, 45(2): 244-246.
- [30] 侯 丽, 付艳辉, 唐贵华, 等. 香椿子的化学成分研究[J]. 云南中医学院学报, 2011, 34(6): 21-23; 27.
- [31] 罗 晶, 伍振峰, 万 娜, 等. 香椿树皮的亲脂性成分研究[J]. 中国药科大学学报, 2016, 47(6): 683-687.
- [32] 周先丽, 王鹏程, 罗 琴, 等. 香椿树皮化学成分的研究[J]. 中药材, 2017, 40(5): 1119-1122.
- [33] Li J X, Eidman K, Gan X W, *et al*. Identification of (*S*, *S*) - γ -glutamyl- (*cis*-*S*-1-propenyl) thioglycine, a naturally occurring norcysteine derivative, from the chinese vegetable *Toona sinensis* [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61 (31): 7470-7476.
- [34] 阮志鹏, 陈玉丽, 林丽珊. 香椿叶水提物对小鼠炎症抑制作用[J]. 中国公共卫生, 2010, 26(3): 334-335.
- [35] 杨艳丽, 陈 超. 香椿子总多酚对佐剂型关节炎大鼠的治疗作用[J]. 中国现代应用药学, 2012, 29(12): 1073-1077.
- [36] Yang C J, Chen Y C, Tsai Y J, *et al*. *Toona sinensis* leaf aqueous extract displays activity against sepsis in both *in vitro* and *in vivo* models[J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2014, 30(6): 279-285.
- [37] Hsiang C Y, Hseu Y C, Chang Y C, *et al*. *Toona sinensis* and its major bioactive compound gallic acid inhibit LPS-induced inflammation in nuclear factor- κ B transgenic mice as evaluated by *in vivo* bioluminescence imaging [J]. *Food Chem*, 2013, 136 (2): 426-434.
- [38] Su Y F, Yang Y C, Hsu H K, *et al*. *Toona sinensis* leaf extract has antinociceptive effect comparable with non-steroidal anti-inflammatory agents in mouse writhing test [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2015, 15: 70.
- [39] Hseu Y C, Chang W H, Chen C S, *et al*. Antioxidant activities of *Toona sinensis* leaves extracts using different antioxidant models[J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46(1): 105-114.
- [40] Yang H L, Chen S C, Lin K Y, *et al*. Antioxidant activities of aqueous leaf extracts of *Toona sinensis* on free radical-induced endothelial cell damage[J]. *J Ethnopharmacol*, 2011, 137(1): 669-680.
- [41] Yu W J, Chang C C, Kuo T F, *et al*. *Toona sinensis* Roem leaf extracts improve antioxidant activity in the liver of rats under oxidative stress [J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50 (6): 1860-1865.
- [42] Chen G H, Huang F S, Lin Y C, *et al*. Effects of water extract from anaerobic fermented *Toona sinensis* Roemor on the expression of antioxidant enzymes in the Sprague-Dawley Rats [J]. *J Funct Foods*, 2013, 5(2): 773-780.
- [43] Chang H C, Hung W C, Huang M S, *et al*. Extract from the leaves of *Toona sinensis* Roemor exerts potent antiproliferative effect on human lung cancer cells[J]. *Am J Chin Med*, 2002, 30(2-3): 307-314.
- [44] Yang H L, Chang W H, Chia Y C, *et al*. *Toona sinensis* extracts induces apoptosis via reactive oxygen species in human promyelocytic leukemia cells[J]. *Food Chem Toxicol*, 2006, 44(12): 1978-1988.
- [45] Yang C J, Huang Y J, Wang C Y, *et al*. Antiproliferative effect of *Toona sinensis* leaf extract on non-small-cell lung cancer[J]. *Transl Res*, 2010, 155(6): 305-314.
- [46] Chen Y C, Chien L H, Huang B M, *et al*. *Toona sinensis* (aqueous leaf extracts) induces apoptosis through the generation of ROS and activation of intrinsic apoptotic pathways in human renal carcinoma cells[J]. *J Funct Foods*, 2014, 7: 362-372.
- [47] Wu J G, Peng W, Yi J, *et al*. Chemical composition, antimicrobial activity against staphylococcus aureus and a pro-apoptotic effect in SGC-7901 of the essential oil from *Toona sinensis* (A. Juss.) Roem. leaves[J]. *J Ethnopharmacol*, 2014, 154(1): 198-205.
- [48] Liu H W, Huang W C, Yu W J, *et al*. *Toona sinensis* ameliorates insulin resistance via AMPK and PPAR γ pathways [J]. *Food Funct*, 2015, 6(6): 1855-1864.
- [49] Wang P H, Tsai M J, Hsu C Y, *et al*. *Toona sinensis* Roem (Meliaceae) leaf extract alleviates hyperglycemia via altering adipose glucose transporter 4[J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46 (7): 2554-2560.
- [50] Hsieh T J, Tsai Y H, Liao M C, *et al*. Anti-diabetic properties of non-polar *Toona sinensis* Roem extract prepared by supercritical-CO₂ fluid[J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(3): 779-789.
- [51] Wang X, Li W Z, Kong D, *et al*. Ethanol extracts from *Toona sinensis* seeds alleviate diabetic peripheral neuropathy through inhibiting oxidative stress and regulating growth factor[J]. *Indian J Pharm Sci*, 2016, 78(3): 307-312.
- [52] Yan Y, Min Y, Min H, *et al*. *n*-Butanol soluble fraction of the water extract of Chinese toon fruit ameliorated focal brain ischemic insult in rats via inhibition of oxidative stress and inflammation[J]. *J Ethnopharmacol*, 2014, 151(1): 176-182.
- [53] Wang C C, Tsai Y J, Hsieh Y C, *et al*. The aqueous extract from *Toona sinensis* leaves inhibits microglia-mediated neuroinflammation[J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2014, 30(2): 73-81.
- [54] Liao J W, Hsu C K, Wang M F, *et al*. Beneficial effect of *Toona sinensis* Roemor on improving cognitive performance and brain degeneration in senescence-accelerated mice [J]. *Brit J Nutr*, 2006, 96(2): 400-407.
- [55] Hseu Y C, Chen S C, Lin W H, *et al*. *Toona sinensis* (leaf extracts) inhibit vascular endothelial growth factor (VEGF) -induced angiogenesis in vascular endothelial cells [J]. *J Ethnopharmacol*, 2011, 134(1): 111-121.
- [56] Poon S L, Leu S F, Hsu H K, *et al*. Regulatory mechanism of *Toona sinensis* on mouse leydig cell steroidogenesis[J]. *Life Sci*, 2005, 76(13): 1473-1487.
- [57] Yu B C, Yu W J, Huang C Y, *et al*. *Toona sinensis* leaf aqueous extract improves the functions of sperm and testes via regulating testicular proteins in rats under oxidative stress[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2012, 2012: 681328.
- [58] You H L, Chen C J, Eng H L, *et al*. The effectiveness and mechanism of *Toona sinensis* extract inhibit attachment of pandemic influenza A (H1N1) virus[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, 2013: 479718.

[59]

Chen C J, Michaelis M, Hsu H K, *et al.* *Toona sinensis* Roem tender leaf extract inhibits SARS coronavirus replication [J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 120(1): 108-111.

[60]

Chen Y C, Liang Y L, Huang Y L, *et al.* Mechanism of *Toona sinensis*-stimulated adrenal steroidogenesis in primary rat adrenal cells[J]. *J Funct Foods*, 2015, 14: 318-323.

[61]

Fan S, Chen H N, Wang C J, *et al.* *Toona sinensis* Roem (Meliaceae) leaf extract alleviates liver fibrosis via reducing TGFβ1 and collagen[J]. *Food Chem Toxicol*, 2007, 45(11): 2228-2236.

[62]

Liao J W, Chung Y C, Yeh J Y, *et al.* Safety evaluation of water extracts of *Toona sinensis* Roemor leaf[J]. *Food Chem Toxicol*, 2007, 45(8): 1393-1399.

[63]

Liao J W, Yeh J Y, Lin Y C, *et al.* Mutagenicity and safety evaluation of water extract of fermented *Toona sinensis* Roemor leaves[J]. *J Food Sci*, 2009, 74(1): T7-T13.

[64]

顾芹英, 李慧华, 秦 冬, 等. RP-HPLC 法测定香椿叶中槲皮素-3-*O*-α-*L*-鼠李糖苷 [J]. 中成 药, 2014, 36 (3): 577-579.

[65]

葛重宇, 林 玲, 顾芹英, 等. UPLC 法同时测定香椿芽中 8 种黄酮醇苷[J]. 中成 药, 2017, 39(9): 1873-1876.

苦木化学成分及生物活性研究进展

邓延秋¹, 赵立春^{1,2}, 唐红珍¹, 蔡少芳¹, 王静妮¹, 罗永秋¹, 张振伟^{1,2*}
(1. 广西中医药大学, 广西南宁 530200; 2. 广西壮瑶药工程技术研究中心, 广西南宁 530200)

摘要: 苦木为我国传统中药, 是苦木科苦树属植物, 具有清热解毒、祛湿等功效, 临床药用价值高。苦木中含有生物碱类、苦木内酯类、三萜类等多种成分, 具有抗肿瘤、抗炎、抗病毒、对心血管系统的作用等多种生物活性。本文综述了近十年来苦木的化学成分及生物活性研究进展, 以期为进一步研究和开发苦木资源提供参考。
关键词: 苦木; 化学成分; 生物活性
中图分类号: R284. 1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2020)05-1291-06
doi:10. 3969/j.issn.1001-1528. 2020. 05. 034

苦木 *Picrasma quassioides* (D. Don) Benn. 为苦木科苦木属植物, 是我国民间常用中药。苦木药材及其饮片收载于 2015 年版《中国药典》一部, 具有清热解毒、祛湿等功效, 临床主要用于风热感冒、咽喉肿痛、湿热泻痢、湿疹、疮疖、蛇虫咬伤^[1]。苦木资源丰富, 国外分布于印度北部、不丹、尼泊尔、朝鲜和日本等地, 国内主产于我国黄河流域及其以南各省区, 以广东、广西山区资源最为丰富^[2]。苦木具有广泛的生物活性和较高的临床应用价值, 国内外学者对其进行了大量的基础研究。已报道的苦木化学成分主要有生物碱类、三萜类、苦木苦味素类、醌类、甾醇、皂苷等, 现代药理研究表明, 苦木具有抗癌、降压、抗蛇毒、抑制转氨酶等作用^[3]。本文综述近十年来苦木研究的新发现、新进展, 以期为苦木资源的后续研究和开发提供参考。

1 化学成分

近 10 年来, 从苦木中分离鉴定的化合物约有 64 个,

其中生物碱类 18 个 (1~18)、苦木苦味素 14 个 (19~32)、三萜类 27 个 (33~59)、其他类 5 个 (60~64)。见图 1~4。

1.1 生物碱 Jiao 等^[4]从苦木茎中分得到 quassidine E (1)、quassidine F (2)、quassidine G (3)、quassidine H (4)、铁屎米-6-酮-14-丁酸 (5)、3- (1, 1-二甲氧基甲基) -β-咔巴啉 (6)、6, 12-二甲氧基-3-甲酰基-β-咔巴啉 (7), 其中化合物 1 同时含有铁屎米-6-酮和 β-咔巴啉结构。Lai 等^[5]通过 IR、HR-ESI-MS、1D 和 2D 核磁共振手段从苦木茎分离鉴定了 6-羟基-β-咔巴啉-1-羧酸 (8)。Gong 等^[6]报道了 4-羟甲基-铁屎米 [4, 5-*b*] 呋喃-6-酮 (9)、11-羟基-5-甲氧基-铁屎米-6-酮 (10)、1-羟甲基-8-羟基-β-咔巴啉 (11) 以及 6-羟基-1-乙氧甲酰基-β-咔巴啉 (12), 其中化合物 9 为首次从苦木植物中分离得到的具有呋喃环结构的高度共轭铁屎米酮化合物。林清华等^[7]通过硅胶、ODS 和凝胶等柱层析色谱法以及 NMR、MS 等

收稿日期: 2019-04-14
基金项目: 中国-东盟传统医药发展研究中心开放课题项目 (0501801708); 广西中医药大学中药学优势学科建设专项课题项目 (050170035); 广西一流学科 (中药学) 建设项目 (05019040)
作者简介: 邓延秋 (1985—), 女, 硕士, 助理研究员, 从事中药、天然产物化学成分研究。Tel: (0771) 4953557, E-mail: 517031105@qq.com
* 通信作者: 张振伟 (1984—), 男, 博士, 副教授, 从事天然产物提取分离及不对称合成研究。Tel: 18169648696, E-mail: charliezh@163.com