

五味子科植物中环阿屯烷型三萜类成分及其药理作用研究进展

金银萍¹, 焉石¹, 刘俊霞², 王英平^{1*}

1. 中国农业科学院特产研究所, 吉林 长春 130112

2. 吉林农业科技学院, 吉林 吉林 132101

摘要: 环阿屯烷型三萜是一类具有四环体系的三萜类化合物, 在植物中分布广泛, 是五味子科植物中常见的三萜类型之一。对五味子科植物中环阿屯烷型三萜成分的结构分类及药理活性方面的研究进展进行了综述, 为合理开发利用五味子科药用植物资源提供参考。

关键词: 五味子科; 环阿屯烷型三萜类; 抗 HIV; 抗肿瘤; 北五味子属; 南五味子属

中图分类号: R282.71 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2014)04-0582-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2014.04.024

Research progress on cycloartane-type triterpenoids from plants of Schisandraceae and their pharmacological effects

JIN Yin-ping¹, YAN Shi¹, LIU Jun-xia², WANG Ying-ping¹

1. Institute of Special Wild Economic Animals and Plants, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China

2. Jilin Agricultural Science and Technology College, Jilin 132101, China

Key words: Schisandraceae; cycloartane-type triterpenoids; anti-HIV; antitumor; *Schisandra* Michx.; *Kadsura* Juss

五味子科 (Schisandraceae) 隶属于木兰目 (Magnoliales), 分为北五味子属 *Schisandra* Michx. 和南五味子属 *Kadsura* Juss, 是一类重要的传统中药。北五味子属 30 种, 主产于亚洲东部和东南部, 仅 1 种产美国东南部, 我国有 19 种, 南北各地均有分布; 南五味子属 28 种, 主产于亚洲东部和东南部, 我国有 10 种, 产于东南部至西南部^[1]。

五味子科植物中主要成分为木脂素、三萜、挥发油、多糖等。其中主要的药效成分为木脂素, 具有保肝、抑制中枢神经、抗氧化、抗衰老、抗肿瘤等多种药理活性。然而近年来, 发现了许多结构新颖、高度氧化且骨架重排的降三萜、二降三萜、三降三萜、五降三萜及八降三萜等多种新骨架的降三萜类化合物, 同时药理活性实验表明其具有抗 HIV 和抗肿瘤等多种药理活性。

五味子科植物中分到的三萜类化合物主要包括 3 种类型, 羊毛脂烷型三萜^[2]、环阿屯烷型和降

三萜^[3]。本文系统综述了国内外学者对五味子科植物中的环阿屯烷型三萜类化合物的研究进展。

1 化学成分

1.1 完整的环阿屯烷型化合物 (I)

此类化合物的结构特征: C-3 位主要被羰基或羟基取代, 侧链主要为 24 (Z)-烯-26-酸或 22, 26 内酯环。至今在五味子科植物中共发现 8 个完整的环阿屯烷型三萜类化合物 (1~8)。此类化合物中大部分 C-3 位为羰基, C-3 位被羟基取代的化合物包括 schisandrolic acid (1) 和 isoschisandrolic acid (2)。22, 26 内酯环的化合物为 kadsulactone (8)。具体结构见图 1 和表 1。

1.2 3, 4 位碳键断裂开环的环阿屯烷型化合物 (II)

此类化合物的结构特征: C-3, 4 位碳键断裂开环, C-3 位形成羧酸或羧酸衍生物, 侧链主要为 24 (Z)-烯-26-酸或 22, 26 内酯环, 目前分离得到的环阿屯烷型化合物大部分属于此种类型, 共分离得到 31

收稿日期: 2013-10-24

基金项目: 吉林省医药产业发展专项 (YYZX201244, YYZX201286)

作者简介: 金银萍 (1981—), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为天然产物的化学研究。

Tel: (0431) 81919829 E-mail: jinyinping06@163.com

*通信作者 王英平 Tel: (0431)81919806 E-mail: yingpingw@126.com

个化合物(9~39); C-3, 4位碳键断裂开环之后, 经 Baeyer-Villiger 氧化形成七元酯环, 属于此种类型的化合物共 17 个(40~56); C-19 位甲基与 C-9 位脱氢形成的三元环, 在 C-9, 10 位断裂形成七元环, 同时 C-3, 4 位碳键断裂开环之后, 经 Baeyer-Villiger 氧化形成七元酯环, 属于此种类型的化合物共 17 个(57~73); 同时, 采纳 Xiao 等^[3]对此类型三萜的分类规则, 将 C-3, 4 位断裂开环的环阿屯烷型三萜衍生的化合物也归入此类, 属于此种类型的化合物共 5 个(74~78)。具体结构见图 1 和表 1。

1.3 14(13→12)-abeo-环阿屯烷型化合物(III)

此类化合物的结构特征: 环阿屯烷型化合物的 C-13, 14 断裂, 并在 C-12, 14 之间形成新的环, C-19 位甲基与 C-9 位脱氢形成的三元环, 在 C-9, C-10 位断裂形成七元环, 同时 C-3, 4 位断裂开环之后, 经 Baeyer-Villiger oxidation 形成七元酯环。这种类型的化合物目前仅在南五味子属植物南五味子 *K. longipedunculata* Finet et Gagn., 中泰南五味子 *K. ananosma* A. C. Smith、异形五味子 *K. heteroclita* (Roxb.) Craib 和黑老虎 *K. coccinea* (Lem.) A. C. Smith 中发现。至今共发现 19 个化合物(79~97)。具体结构见图 1 和表 1。

1.4 降环阿屯烷型化合物(IV)

目前共分离得到 9 个降环阿屯烷型化合物。主要分为 2 种情况: (1) C-17 侧链完全去掉变成羰基,

C-3, 4 位碳键断裂开环, 变成羧酸或羧酸衍生物。目前分离得到的此类化合物包括: micranoic acid B (98)、schiglausin K (99)、schiglausin L (100); (2) C-17 侧链缺乏 C-25、C-26、C-27, 其余侧链碳形成内酯环。目前分离得到的此类化合物包括: lancifodilactone H (101)、sphenasin A (102)、schisanterpene B (103)。另外, 还从狭叶五味子 *S. lancifolia* (Rehd. et Wils.) A. C. Smith 中分离得到 1 个新型结构的降环阿屯烷型三萜 lancifodilactone F (104)。具体结构见图 1 和表 1。

1.5 kadlongilactone-type 环阿屯烷型化合物(V)

此类化合物的结构特征: 由 14(13→12)-abeo-环阿屯烷型化合物经一系列氧化、脱氢、环化等反应, 形成 A~F 环 7/7/5/6/6/6 的化合物。目前仅从南五味子和黑老虎中分离得到 11 个化合物(105~115)。具体结构见图 1 和表 1。

2 药理作用

2.1 抗 HIV 活性

Xiao 等^[3,20]从狭叶五味子中得到的化合物 lancifodilactone H (101)、lancifoic acid A (36)、nigranoic acid (9) 具有抗 HIV-1 的作用, 其 EC₅₀ 值分别为 16.6、16.2、10.3 μg/mL。陈鸿珊等^[17]从异形五味子中得到的化合物 3, 4-secocycloarta-4(28), 17(20), 24Z-triene-3, 26-dioic acid (23), 在体外可抑制 HIV-1 整合酶和逆转录酶的活性, 其 IC₅₀

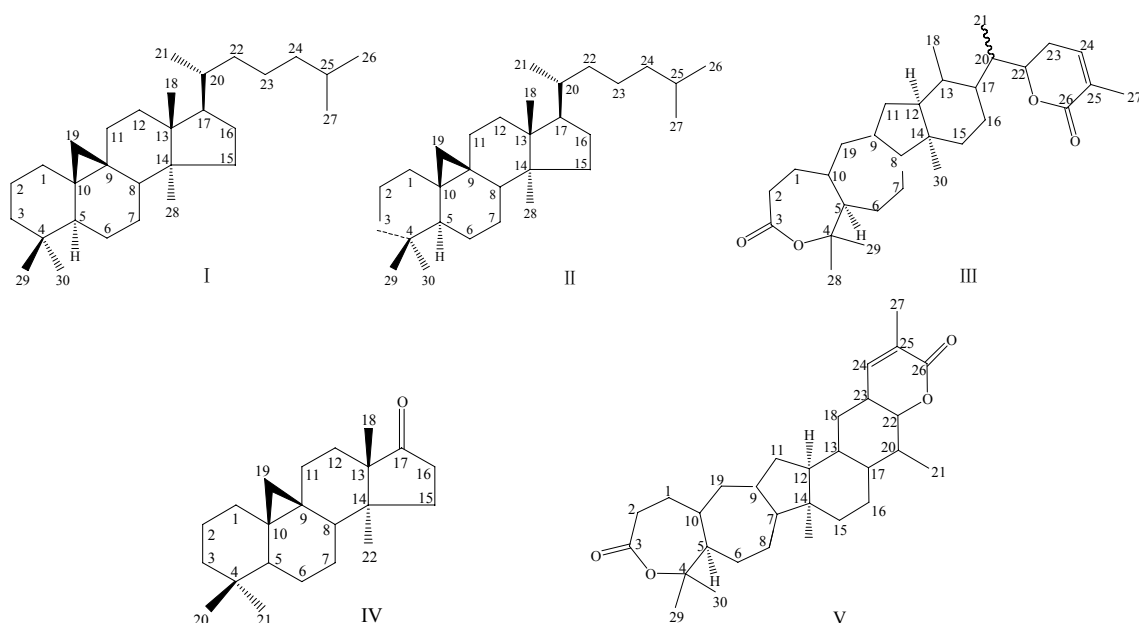


图 1 环阿屯烷型三萜 I~V 的结构母核

Fig. 1 Skeletons (I—V) of cycloartane-type triterpenoids

表1 五味子科环阿屯烷型化合物

Table 1 Compounds of cycloartane-type triterpenoids in plants of Schisandraceae

序号	化合物	类型	结构式	植物来源	来源部位	文献
1	schisandrollic acid	I	C ₃₂ H ₄₈ O ₃	含蕊五味子 <i>S. propinqua</i>	心材	4
2	isoschisandrollic acid	I	C ₃₂ H ₄₈ O ₃	含蕊五味子	心材	4
3	heteroclic acid	I	C ₃₂ H ₄₈ O ₅	异形南五味子	茎	5
4	cycloartenone	I	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	异形南五味子	茎	5
5	schizandronic acid	I	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	松藤 <i>S. nigra</i>	心材	6
6	schisandraflorin	I	C ₃₀ H ₄₈ O ₂	大花五味子 <i>S. grandiflora</i>	全草	7
7	24-methylenecycloartenone	I	C ₃₁ H ₅₀ O	黑老虎	根、茎	8
8	kadsulactone	I	C ₃₃ H ₄₄ O ₃	南五味子	茎	9
9	nigranoic acid	II	C ₃₀ H ₄₆ O ₄	球蕊五味子 <i>S. sphaerandra</i>	茎	10
10	6β-hydroxy nigranoic acid	II	C ₃₀ H ₄₆ O ₅	金山五味子 <i>S. glaucescens</i>	茎	11
11	wuweizilactone acid	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₅	五味子 <i>S. chinensis</i>	叶、茎	12
12	coccinetane A	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₂	黑老虎	地上部分	13
13	coccinetane B	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₄	黑老虎	地上部分	13
14	coccinetane C	II	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	黑老虎	地上部分	13
15	coccinetane D	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	黑老虎	地上部分	13
16	coccinetane E	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	黑老虎	地上部分	13
17	coccinetane F	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	黑老虎	地上部分	13
18	coccinetane G	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	黑老虎	地上部分	13
19	coccinetane H	II	C ₃₂ H ₅₀ O ₄	黑老虎	地上部分	13
20	changnanic acid	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₄	南五味子	根	14
21	kadsulactone acid	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₄	南五味子	根	15
22	polysperlactone B	II	C ₃₂ H ₄₆ O ₆	多子南五味子 <i>K. polysperma</i>	茎	16
23	3, 4-secocycloarta-4(28), 17(20), 24Z-triene-3, 26-dioic acid	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₄	异形南五味子	根、茎	17
24	(8 <i>R</i> , 9 <i>S</i> , 22 <i>R</i>)-3-ethoxy-3-oxo-9, 19-cyclo-3, 4-secolanosta-4(28), 24-dien-26-oic acid 22, 26-lactone	II	C ₃₂ H ₄₈ O ₄	异形南五味子	茎	18
25	(8 <i>R</i> , 9 <i>S</i> , 22 <i>R</i>)-3-ethoxy-3-oxo-9, 19-cyclo-3, 4-secolanosta-4, 24-dien-26-oic acid 22, 26-lactone	II	C ₃₂ H ₄₈ O ₄	异形南五味子	茎	18
26	(8 <i>R</i> , 9 <i>S</i> , 22 <i>R</i>)-3-ethoxy-3-oxo-9, 19-cyclo-3, 4-secolanosta-4(28), 6, 24-trien-26-oic acid 22, 26-lactone	II	C ₃₂ H ₄₆ O ₄	异形南五味子	茎	18
27	schisanlactone E	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₄	南五味子	根	14
28	heteroclitalactone A	II	C ₃₂ H ₄₆ O ₆	异形南五味子	茎	5
29	heteroclitalactone B	II	C ₃₃ H ₄₈ O ₆	异形南五味子	茎	5
30	heteroclitalactone C	II	C ₃₄ H ₅₀ O ₆	异形南五味子	茎	5
31	heteroclitalactone F	II	C ₃₁ H ₄₆ O ₄	异形南五味子	茎	5
32	schiglausin M	II	C ₃₀ H ₄₆ O ₅	金山五味子	茎	11
33	schiglausin N	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₅	金山五味子	茎	11
34	schiglausin O	II	C ₃₁ H ₄₈ O ₆	金山五味子	茎	11
35	propinic lactone A	II	C ₃₁ H ₄₈ O ₅	含蕊五味子	茎	19
36	lancifoic acid A	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₅	狭叶五味子	叶、茎	20
37	angustific acid B	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₇	窄叶南五味子 <i>K. angustifolia</i>	枝干	21

续表 1

序号	化合物	类型	结构式	植物来源	来源部位	文献
38	schinalactone C	II	C ₃₀ H ₄₆ O ₅	华中五味子 <i>S. sphenanthera</i>	茎、根	22
39	kadsuranic acid A	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₄	异形南五味子	茎	23
40	heteroclitalactone M	II	C ₃₂ H ₄₄ O ₇	异形南五味子	茎	24
41	kadsulactone A	II	C ₃₂ H ₄₆ O ₈	异形南五味子	茎	25
42	kadsuphilactone B	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₅	菲律宾南五味子 <i>K. philippinensis</i>	叶、茎	26
43	schisanlactone B	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₄	北五味子属	未知	27
44	kadsudilactone	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₄	黑老虎	茎	9
45	β -D-glucopyranose-1-[(2Z, 6R)-6-[(5aR, 6aS, 8aR, 9R, 11aS, 11bS, 13aR)-tetradecahydro-1, 1, 8a, 11a-tetramethyl-3-oxo-3H, 6H-cyclopenta [5, 6] cyclopropa [1, 8a] naphtha [2, 1-c] oxepin-8-yl]-2-methy-2-heptenoate]	II	C ₃₆ H ₅₆ O ₉	日本南五味子 <i>K. japonica</i>	叶	28
46	β -D-glucopyranose-1-[(2Z, 6R)-6-[(5aR, 6aS, 8aR, 9R, 11aS, 11bS, 13R, 13aS)-tetradecahydro-13-hydroxy-1, 1, 8a, 11a-tetramethyl-3-oxo-3H, 6H-cyclopenta [5, 6]cyclopropa[1, 8a]naphth [2, 1-c]oxepin-8-yl]-2-heptenoate]	II	C ₃₆ H ₅₆ O ₁₀	日本南五味子	叶	28
47	schisphendilactone A	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₅	华中五味子	茎	29
48	kadcocclactone Q	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₆	黑老虎	茎	30
49	angustifodilactone A	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₈	窄叶南五味子	枝干	21
50	angustifodilactone B	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₇	窄叶南五味子	枝干	21
51	renchangelactone A	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₆	仁昌南五味子 <i>K. renchangiana</i>	茎	31
52	henrischinin C	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₅	冀梗五味子 <i>S. henryi</i>	叶、茎	32
53	schinchinenin G	II	C ₃₂ H ₄₈ O ₈	五味子	茎	33
54	schinchinenin H	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₆	五味子	茎	33
55	schisanbilactone A	II	C ₃₂ H ₄₄ O ₆	二色五味子 <i>S. bicolor</i>	茎	34
56	schisanbilactone B	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₆	二色五味子	茎	34
57	schisanlactone A	II	C ₃₀ H ₄₀ O ₄	北五味子属	未知	35
58	heteroclitalactone D	II	C ₃₂ H ₄₂ O ₆	异形南五味子	茎	5
59	heteroclitalactone E	II	C ₃₂ H ₄₀ O ₇	异形南五味子	茎	5
60	heteroclitalactone G	II	C ₃₂ H ₄₀ O ₇	异形南五味子	茎	24
61	heteroclitalactone H	II	C ₃₂ H ₄₀ O ₈	异形南五味子	茎	24
62	heteroclitalactone I	II	C ₃₂ H ₄₂ O ₉	异形南五味子	茎	24
63	heteroclitalactone J	II	C ₃₂ H ₃₈ O ₈	异形南五味子	茎	24
64	heteroclitalactone K	II	C ₃₂ H ₄₂ O ₇	异形南五味子	茎	24
65	heteroclitalactone L	II	C ₃₂ H ₄₄ O ₇	异形南五味子	茎	24
66	schiprolactone A	II	C ₃₂ H ₄₆ O ₆	含蕊五味子	茎	36
67	schisanlactone C	II	C ₃₀ H ₄₀ O ₅	北五味子属	未知	37
68	polysperlactone A	II	C ₃₂ H ₄₀ O ₆	多子南五味子	茎	16
69	lancilactone A	II	C ₃₂ H ₄₀ O ₅	披针叶南五味子 <i>K. lancilimba</i>	茎、根	38
70	lancilactone B	II	C ₃₀ H ₄₈ O ₄	披针叶南五味子	茎、根	38
71	schisphendilactone B	II	C ₃₀ H ₃₈ O ₆	华中五味子	茎	29
72	henrischinin A	II	C ₃₀ H ₄₀ O ₅	冀梗五味子	叶、茎	32
73	henrischinin B	II	C ₃₂ H ₄₂ O ₆	冀梗五味子	茎、根	32
74	angustific acid A	II	C ₃₀ H ₄₀ O ₄	窄叶南五味子	枝干	21

续表 1

序号	化合物	类型	结构式	植物来源	来源部位	文献
75	lancilactone C	II	C ₃₀ H ₄₀ O ₄	披针叶南五味子	茎、根	38
76	kadnanolactone B	II	C ₃₀ H ₄₄ O ₅	中泰南五味子	茎	39
77	kadsuphilactone A	II	C ₃₀ H ₄₂ O ₅	菲律宾南五味子	叶、茎	26
78	schisanterpene A	II	C ₃₀ H ₄₆ O ₄	含蕊五味子	茎	40
79	longipedlactone A	III	C ₃₀ H ₄₆ O ₄	南五味子	茎	41
80	longipedlactone B	III	C ₃₀ H ₄₂ O ₅	南五味子	茎	41
81	longipedlactone C	III	C ₃₀ H ₄₈ O ₂	南五味子	地上部分	41
82	longipedlactone D	III	C ₃₀ H ₄₈ O ₄	南五味子	地上部分	41
83	longipedlactone E	III	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	南五味子	地上部分	41
84	longipedlactone F	III	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	南五味子	地上部分	41
85	longipedlactone G	III	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	南五味子	地上部分	41
86	longipedlactone H	III	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	南五味子	地上部分	41
87	longipedlactone I	III	C ₃₀ H ₄₈ O ₃	南五味子	地上部分	41
88	longipedlactone J	III	C ₃₂ H ₅₀ O ₄	异形南五味子	地上部分	42
89	kadcocclactone P	III	C ₃₀ H ₄₀ O ₇	黑老虎	茎	30
90	kadheterilactone A	III	C ₃₀ H ₃₈ O ₆	异形南五味子	茎	23
91	kadheterilactone B	III	C ₃₀ H ₃₈ O ₆	异形南五味子	茎	23
92	longipedlactone K	III	C ₃₂ H ₄₄ O ₉	中泰南五味子	茎	43
93	longipedlactone L	III	C ₃₂ H ₄₂ O ₇	中泰南五味子	茎	43
94	longipedlactone M	III	C ₃₂ H ₄₂ O ₈	中泰南五味子	茎	43
95	longipedlactone N	III	C ₃₂ H ₄₀ O ₈	中泰南五味子	茎	43
96	longipedlactone O	III	C ₃₂ H ₄₂ O ₉	中泰南五味子	茎	43
97	longipedlactone P	III	C ₃₂ H ₄₂ O ₈	中泰南五味子	茎	43
98	micranoic acid B	IV	C ₂₂ H ₃₂ O ₃	小花五味子	叶、茎	44
99	schiglausin K	IV	C ₂₅ H ₃₆ O ₃	金山五味子	茎	11
100	schiglausin L	IV	C ₂₃ H ₃₄ O ₃	金山五味子	茎	11
101	lancifodilactone H	IV	C ₂₇ H ₄₀ O ₅	狭叶五味子	叶、茎	45
102	sphenasin A	IV	C ₂₇ H ₃₈ O ₄	华中五味子	叶、茎	46
103	schisanterpene B	IV	C ₂₇ H ₄₀ O ₄	异形南五味子	茎	47
104	lancifodilactone F	IV	C ₂₅ H ₄₀ O ₆	狭叶五味子	叶、茎	48
105	kadlongilactone A	V	C ₃₀ H ₃₈ O ₆	南五味子	叶、茎	48
106	kadlongilactone B	V	C ₃₀ H ₃₆ O ₆	南五味子	叶、茎	49
107	kadlongilactone C	V	C ₃₁ H ₄₀ O ₆	南五味子	叶、茎	49
108	kadlongilactone D	V	C ₃₀ H ₃₈ O ₆	南五味子	叶、茎	49
109	kadlongilactone E	V	C ₃₁ H ₄₀ O ₆	南五味子	叶、茎	49
110	kadlongilactone F	V	C ₃₀ H ₃₇ O ₇	南五味子	叶、茎	49
111	kadcocclactone K	V	C ₃₁ H ₃₈ O ₇	黑老虎	茎	30
112	kadcocclactone L	V	C ₃₀ H ₃₄ O ₆	黑老虎	茎	30
113	kadcocclactone M	V	C ₃₀ H ₃₄ O ₇	黑老虎	茎	30
114	kadcocclactone N	V	C ₃₀ H ₃₈ O ₇	黑老虎	茎	30
115	kadcocclactone O	V	C ₃₀ H ₃₆ O ₇	黑老虎	茎	30

值分别为 174.17、18.02 $\mu\text{mol/mL}$ ，在 MT-4 细胞内具有明显的抗 HIV 的作用，其 EC_{50} 值为 0.023 6 $\mu\text{mol/mL}$ 。Liang 等^[29]从华中五味子中分得的化合物 schisphendilactone A (47)、B (71)，具有明显的抗 HIV 的作用，其 EC_{50} 值分别为 8.79、1.09 $\mu\text{g/mL}$ 。Sun 等^[21]从窄叶南五味子分得的化合物 angustific acid A (74)，具有明显的抗 HIV 活性，其 EC_{50} 值为 6.1 $\mu\text{g/mL}$ 。Chen 等^[38]从披针叶南五味子 *K. lancilimba* How. 中分得的化合物 lancilactone C (75)，能够抑制 HIV 的复制，其 EC_{50} 值为 1.4 $\mu\text{g/mL}$ 。Xu 等^[23]从异形五味子中得到的化合物 kadsuranic acid A (39) 对 HIV 蛋白酶有明显的抑制活性，抑制率为 89.2% (10 $\mu\text{g/mL}$)；Xiao 等^[47]从狭叶五味子中分得的化合物 lancifodilactone F (104) 具有抗 HIV 的活性，其 EC_{50} 值为 20.69 $\mu\text{g/mL}$ 。

2.2 抗癌活性

Tian 等^[4]从含蕊五味子中分得的化合物 schisandrollic acid (1) 和 isoschisandrollic acid (2) 对人肝癌细胞 HepG2 有抑制作用，其 IC_{50} 值分别为 35.64、48.20 $\mu\text{mol/L}$ 。Wang 等^[5]从异形五味子中得到的化合物 schisandronic acid (5) 对肝癌细胞 Bel-7402、胃腺癌细胞 BGC-823 均有抑制作用，其 IC_{50} 值分别 37.05、35.74 $\mu\text{mol/L}$ 。Pu 等^[41]从南五味子中分得的化合物 longipedlactone A~C (79~81)、F (84)、H (86) 对肺癌细胞 A549、结肠癌细胞 HT-29 有明显的细胞毒活性，其 IC_{50} 值均在 0.84~11.38 $\mu\text{mol/L}$ 。Xu 等^[23]报道 longipedlactone A (79)、F (84) 对 HepG2、Bel7402 细胞有明显的细胞毒活性，其 IC_{50} 值分别为 1.22 $\mu\text{mol/L}$ (HepG2)、1.75 $\mu\text{mol/L}$ (HepG2)，1.05 $\mu\text{mol/L}$ (Bel7402)、0.92 $\mu\text{mol/L}$ (Bel7402)。Xu 等^[46]从异形五味子中分到的化合物 schisanterpene B (103) 对 HepG2、Bel7402 细胞具有细胞毒活性，其 IC_{50} 值分别为 61.32、72.93 $\mu\text{mol/L}$ 。Pu 等^[49]从南五味子中分得的化合物 kadlongilactone A (105)、C (107)、D (108)、E (109) 对 A549、HT-29 细胞有明显的抑制活性，其 IC_{50} 值范围在 0.49~2.08 $\mu\text{mol/L}$ 。

Wang 等^[5-6,14,27]从异形五味子中得到的化合物 heteroclitalactone C~E (30、58、59)、schizandronic acid (5)、changnanic acid (20)、schisanlactone B (43) 对急性粒细胞白血病细胞 HL-60 均有抑制作用，其 IC_{50} 值分别为 17.38、6.76、24.57、37.05、50.51、34.72 $\mu\text{mol/L}$ 。刘嘉森等^[14]从南五味子中分

得的化合物 changnanic acid (20) 和 schisanlactone E (27) 对白血病 P388 有明显的抑制作用，其 IC_{50} 值分别为 1、10 $\mu\text{g/mL}$ 。Xue 等^[32]从冀梗五味子分得的化合物 henrischinin A (72)、B (73) 对 HL-60 细胞具有抑制作用， IC_{50} 值分别为 16.5、10.5 $\mu\text{mol/L}$ 。Xu 等^[46]从异形五味子中分到的化合物 schisanterpene B (103) 对 HL-60 细胞有抑制作用，其 IC_{50} 值为 58.07 $\mu\text{mol/L}$ 。Pu 等^[40]从南五味子中分得的化合物 longipedlactone A~C (79~81)、F (84)、H (86) 对 K562 细胞有明显的细胞毒活性，其 IC_{50} 值分别为 2.96、2.72、1.49、3.55、7.58 $\mu\text{mol/L}$ 。Pu 等^[48-49]从南五味子中分得的化合物 kadlongilactone A~E (105~109) 对 K562 有明显的抑制活性，其 IC_{50} 值分别为 1.40 $\mu\text{g/mL}$ 、1.71 $\mu\text{g/mL}$ 、3.61 $\mu\text{mol/L}$ 、1.92 $\mu\text{mol/L}$ 、3.35 $\mu\text{mol/L}$ 。Yang 等^[43]报道 longipedlactone A (79)、F (84)、J (88)、M (94) 对 HL-60 均有抑制作用，其 IC_{50} 值分别为 3.5、2.3、2.0、4.1 $\mu\text{mol/L}$ 。

3 结语

环阿屯烷型三萜是一类具有四环体系的三萜类化合物，在植物中分布广泛，是五味子科中常见的三萜类型之一。近 50 年来，国内外学者对该科植物的化学成分及生物活性的研究非常活跃，得到了系列三萜类和木脂素类化合物，特别是三萜类化合物的研究尤为突出，同时也发现了许多新颖的三萜骨架。这些新的三萜类化合物的发现以及药理活性的研究，不仅丰富了环阿屯烷型三萜类化合物的内容，加深了对五味子科植物化学成分的认识，促进了五味子科植物次生代谢成分的研究，为进一步合理开发利用五味子科药用植物资源提供了新的化学物质基础。

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 (第 30 卷. 第 1 分册) [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [2] 金银萍, 焉石, 刘俊霞, 等. 五味子科植物中羊毛脂烷型三萜类成分及其药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2014, 45(1): 137-143.
- [3] Xiao W L, Li R T, Huang S X, *et al.* Triterpenoids from the Schisandraceae family [J]. *Nat Prod Rep*, 2008, 25(5): 871-891.
- [4] Tian Z, Xu L J, Chen S B, *et al.* Cytotoxic activity of schisandrollic and isoschisandrollic acids involves induction of apoptosis [J]. *Chemotherapy*, 2007, 53(4): 257-262.
- [5] Wang W, Liu J Z, Han J, *et al.* New triterpenoids from

- Kadsura heteroclita* and their cytotoxic activity [J]. *Planta Med*, 2006, 72(5): 450-457.
- [6] Takahashi K, Takani M. Studies on constituents of medicinal plants XIV. Constituents of *Schizandra nigra* Max. (I) [J]. *Chem Pharm Bull*, 1975, 23(3): 538-542.
- [7] Talapatra B, Basak A, Talapatra S K. Terpenoids and related compounds. Part XX. Careaborin, a new triterpene ester from the leaves of *Careya arborea* [J]. *J Indian Chem Soc*, 1981, 58(8): 814-815.
- [8] Li L N, Xue H. Triterpenoids from roots and stems of *Kadsura coccinea* [J]. *Planta Med*, 1986, 52(6): 492-494.
- [9] Tan R, Xue H, Li L N. Kadsulactone and kadsulilactone, two new triterpenoid lactones from *Kadsura* species [J]. *Planta Med*, 1991, 57(1): 87-88.
- [10] Sun H D, Qiu S X, Lin L Z, et al. Nigranoic acid, a triterpenoid from *Schisandra sphaerandra* that inhibits HIV-1 reverse transcriptase [J]. *J Nat Prod*, 1996, 59(5): 525-527.
- [11] Zou J, Jiang J, Diao Y Y, et al. Cycloartane triterpenoids from the stems of *Schisandra glaucescens* and their bioactivity [J]. *Fitoterapia*, 2012, 83(5): 926-931.
- [12] Huang S X, Han Q B, Lei C, et al. Isolation and characterization of miscellaneous terpenoids of *Schisandra chinensis* [J]. *Tetrahedron*, 2008, 64(19): 4260-4267.
- [13] Sy L K, Brown G D. Novel seco-cycloartanes from *Kadsura coccinea* and the assisted autoxidation of a tri-substituted alkene [J]. *Tetrahedron*, 1999, 55(1): 119-132.
- [14] 刘嘉森, 黄梅芬. 五内酯 E 和长南酸的分离与结构 [J]. *化学学报*, 1991, 49(5): 502-506.
- [15] 游志鹏, 廖玫江, 石玉瑚, 等. 长梗南五味子化学成分的研究 [J]. *药学报*, 1997, 32: 455-457.
- [16] Jia Z W, Lu Y, Liao Z X, et al. Two new triterpene lactones from the stems of *Kadsura polysperma* [J]. *Helv Chim Acta*, 2007, 90(6): 1236-1243.
- [17] 陈鸿珊, 肖培根, 彭宗根, 等. 一种 C-3, 4 位断环三萜类化合物及其在防治艾滋病中的应用: 中国, CN1844139A [P]. 2006-10-11.
- [18] Wang W, Liu J Z, Ma X C, et al. Three new cyclolanostane triterpenoids from the ethanol extract of stems of *Kadsura heteroclita* [J]. *Helv Chim Acta*, 2006, 89(9): 1888-1893.
- [19] Lei C, Pu J X, Xiao W L, et al. Propinic lactones A and B, two new triterpenoids from *Schisandra propinqua* var. *propinqua* and the significance in biosynthesis pathway [J]. *Chin J Nat Med*, 2010, 8(1): 1-5.
- [20] Xiao W L, Tian R R, Pu J X, et al. Triterpenoids from *Schisandra lancifolia* with anti-HIV-1 activity [J]. *J Nat Prod*, 2006, 69(2): 277-279.
- [21] Sun R, Song H C, Wang C R, et al. Compounds from *Kadsura angustifolia* with anti-HIV activity [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2011, 21(3): 961-965.
- [22] He F, Pu J X, Huang S X, et al. Schinalactone A, a new cytotoxic triterpenoid from *Schisandra sphenanthera* [J]. *Org Lett*, 2010, 12(6): 1208-1211.
- [23] Xu L J, Peng Z G, Chen H S, et al. Bioactive triterpenoids from *Kadsura heteroclita* [J]. *Chem Biodiv*, 2010, 7(9): 2289-2295.
- [24] Wang W, Xu Z R, Yang M, et al. Structural determination of seven new triterpenoids from *Kadsura heteroclita* by NMR techniques [J]. *Magn Reson Chem*, 2007, 45(6): 522-526.
- [25] Chen Y P, Lin Z W, Zhang H J, et al. A triterpenoid from *Kadsura heteroclita* [J]. *Phytochemistry*, 1990, 29(10): 3358-3359.
- [26] Shen Y C, Lin Y C, Chiang M Y, et al. Kadsuphilactones A and B, two new triterpene dilactones from *Kadsura philippinensis* [J]. *Org Lett*, 2005, 7(15): 3307-3310.
- [27] Liu J S, Huang M F, Ayer W A, et al. Schisanlactone B, a new triterpenoid from a *Schisandra* sp. [J]. *Tetrahedron Lett*, 1983, 24(23): 2355-2358.
- [28] Hayashi K, Suzuki T, Oishi S, et al. Triterpenoid acid derivative: Jpn, JP 05-171671 [P]. 1997-10-06.
- [29] Liang C Q, Luo R H, Yan J M, et al. Structure and bioactivity of triterpenoids from the stems of *Schisandra sphenanthera* [J]. *Arch Pharm Res*, 2014, 37(2): 168-174.
- [30] Gao X M, Pu J X, Xiao W L, et al. Kadcocilactones K-R, triterpenoids from *Kadsura coccinea* [J]. *Tetrahedron*, 2008, 64(51): 11673-11679.
- [31] Chen M, Chen D F. Renchanglactone A, a new triterpenoid lactone from *Kadsura renchangiana* [J]. *Nat Prod Res*, 2008, 22(3): 203-207.
- [32] Xue Y B, Yang J H, Li X N, et al. Henrischinins A-C: Three new triterpenoids from *Schisandra henryi* [J]. *Org Lett*, 2011, 13(6): 1564-1567.
- [33] Song Q Y, Jiang K, Zhao Q Q, et al. Eleven new highly oxygenated triterpenoids from the leaves and stems of *Schisandra chinensis* [J]. *Org Biomol Chem*, 2013, 11(7): 1251-1258.
- [34] Ma W H, He J C, Li L, et al. Two new triterpenoids from the stems of *Schisandra bicolor* [J]. *Helv Chim Acta*, 2009, 92(1): 2086-2091.
- [35] Liu J S, Huang M F. schisanlactone A, a new type of triterpenoid from *Schisandra* sp. [J]. *Tetrahedron Lett*, 1983, 24(23): 2351-2354.

- [36] Chen Y G, Qin G W, Xie Y Y. A novel triterpenoid lactone, schiprolactone A, from *Schisandra propinqua* (Wall.) Hook. f. et Thorns [J]. *Chin J Chem*, 2001, 19(3): 304-307.
- [37] 刘嘉森, 黄梅芬. 五内酯丙和五内酯丁的结构研究 [J]. 化学学报, 1984, 42(5): 464-469.
- [38] Chen D F, Zhang S X, Wang H K, et al. Novel anti-HIV lancelactone C and related triterpenes from *Kadsura lancelimba* [J]. *J Nat Prod*, 1999, 62(1): 94-97.
- [39] Yang J H, Wen J, Du X, et al. Triterpenoids from the stems of *Kadsura ananosma* [J]. *Tetrahedron*, 2010, 66(46): 8880-8887.
- [40] 肖培根, 周英, 杨俊山, 等. 一种新三萜化合物及其提取分离方法: 中国, CN1335308A [P]. 2002-2-13.
- [41] Pu J X, Li R T, Xiao W L, et al. Longipedilactones A-I, nine novel triterpene dilactones possessing a unique skeleton from *Kadsura longipedunculata* [J]. *Tetrahedron*, 2006, 62(25): 6073-6081.
- [42] Pu J X, Yang L M, Xiao W L, et al. Compounds from *Kadsura heteroclita* and related anti-HIV activity [J]. *Phytochemistry*, 2008, 69(5): 1266-1272.
- [43] Yang J, Pu J X, Wen J, et al. Cytotoxic triterpene dilactones from the stems of *Kadsura ananosma* [J]. *J Nat Prod*, 2010, 73(1): 12-16.
- [44] Li R T, Han Q B, Zhao A H, et al. Micranoic acids A and B: two new octanortriterpenoids from *Schisandra micrantha* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2003, 51(10): 1174-1176.
- [45] He F, Li X Y, Yang G Y, et al. Nortriterpene constituents from *Schisandra sphenanthera* [J]. *Tetrahedron*, 2012, 68(2): 440-446.
- [46] Xu L J, Huang F, Chen S B, et al. A new triterpene and dibenzocyclooctadiene ligand from *Schisandra propinqua* (Wall.) Baill [J]. *Chem Pharm Bull*, 2006, 54(4): 542-545.
- [47] Xiao W L, Li R T, Li S H, et al. Lancifodilactone F: a novel nortriterpenoid possessing a unique skeleton from *Schisandra lancifolia* and its anti-HIV activity [J]. *Org Lett*, 2005, 7(7): 1263-1266.
- [48] Pu J X, Xiao W L, Lu Y, et al. Kadlongilactones A and B, two novel triterpene dilactones from *Kadsura longipedunculata* possessing a unique skeleton [J]. *Org Lett*, 2005, 7(22): 5079-5082.
- [49] Pu J X, Huang S X, Ren J, et al. Isolation and structure elucidation of Kadlongilactones C-F from *Kadsura longipedunculata* by NMR spectroscopy and DFT computational methods [J]. *J Nat Prod*, 2007, 7(22): 1706-1711.