

五味子属植物木脂素类化学成分及其药理作用研究进展

刘媛媛, 黄仕其, 李玉泽, 樊浩, 张化为, 邓 肿, 宋小妹, 张东东*, 王 薇*

陕西中医药大学药学院, 陕西 咸阳 712046

摘 要: 五味子属 *Schisandra* 隶属于五味子科, 主要含有木脂素类、三萜类、多糖类以及挥发油等化学成分, 临床上常用于治疗肝炎、肝肾移植、阿尔茨海默症和失眠等疾病。现代研究表明五味子属中木脂素类成分为该属植物的主要活性成分, 具有保肝、抗肿瘤、抗病毒、抗氧化和神经保护等药理作用。对五味子属植物中木脂素类化学成分及其药理作用的研究进展进行综述, 为后续该属植物的相关研究开发和综合应用提供参考。

关键词: 五味子属; 木脂素类; 联苯环辛烯型木脂素; 保肝; 抗肿瘤; 抗氧化

中图分类号: R282.710.5 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2022)06-1903-16

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2022.06.034

Research progress on lignans and pharmacological activities in plants of *Schisandra*

LIU Yuan-yuan, HUANG Shi-qi, LI Yu-ze, FAN Hao, ZHANG Hua-wei, DENG Chong, SONG Xiao-mei, ZHANG Dong-dong, WANG Wei

College of Pharmacy, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, China

Abstract: *Schisandra* belongs to the Schisandraceae family. It mainly contains chemical components such as lignans, triterpenes, polysaccharides and volatile oils and is widely used in treatment of hepatitis, liver and kidney transplantation, Alzheimer's disease, insomnia and other diseases. Modern studies have shown that lignans are the main active components of *Schisandra*, with pharmacological effects such as liver protection, antitumor, antiviral, anti-oxidant and neuroprotection. Research progress on lignans and pharmacological activities in plants of *Schisandra* are summarized in this paper, in order to provide references for the research and development and comprehensive application of *Schisandra*.

Key words: *Schisandra* Michx; lignans; dibenzocyclooctadienes lignans; liver protection; antitumor; anti-oxidant

五味子科 (Schisandraceae) 包含五味子属 *Schisandra* Michx 和南五味子属 *Kadsura* Kaemp f. ex Juss, 分布于亚洲东南部和北美东南部^[1], 我国是五味子科植物资源最为丰富的国家, 其中五味子属植物约有 30 种, 我国有 19 种 (表 1), 集中分布于西南部和东南部地区^[2]。目前对于五味子属的研究主要集中在五味子、华中五味子、阿里山五味子、二色五味子、金山五味子、翼梗五味子、兴山五味子、滇藏五味子、合蕊五味子、毛叶五味子、红花五味子、绿叶五味子和鹤庆五味子等。五味子属植物具有收敛固涩、益气生津、补肾宁心等功效, 《神农本草经》《本草纲目》《中药大辞典》等医药著作

对该属植物均有收录, 《中国药典》2020 年版对五味子 (北五味子) 和华中五味子 (南五味子) 的质量标准有详细记载^[3]。该属植物化学成分丰富, 其中木脂素是最主要的一类化学成分, 联苯环辛烯类是五味子属特有的化合物类型, 是五味子属中最有潜力的一类化合物, 在开发免疫调节和抗癌药物方面具有十分广阔的前景, 以华中五味子酮为例的环木脂素具有很好的神经保护作用, 单环氧木脂素在抗肿瘤和抗炎作用方面表现最为突出, 双环氧类木脂素药理活性广泛, 尤其是抗炎和抗菌作用显著, 并且还具有一氧化氮抑制作用。

近年来, 对于五味子属植物的开发应用, 重点

收稿日期: 2021-09-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82174111); 陕西省科技厅自然科学基金基础研究计划项目 (2021JQ-744); 陕西省重点研发计划项目 (2019ZDLSF04-03-02); 陕西中医药大学学科创新团队项目 (2019-YL12)

作者简介: 刘媛媛 (1996—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中草药药效物质基础。E-mail: 763019058@qq.com

*通信作者: 王 薇 (1972—), 女, 博士, 教授, 研究方向为中药药效物质基础及中药炮制。E-mail: 2051003@sntcm.edu.cn

张东东 (1990—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: zhangnatprod@163.com

表 1 五味子属植物的名称

Table 1 Names of *Schisandra* plants

编号	植物名称
a	阿里山五味子 <i>S. arisanensis</i> Hayata
b	二色五味子 <i>S. bicolor</i> Cheng
c	五味子 <i>S. chinensis</i> (Turcz.) Baill
d	金山五味子 <i>S. glaucescens</i> Diels
e	大花五味子 <i>S. grandiflora</i> (Wall.) Hook. f. et Thoms
f	翼梗五味子 <i>S. henryi</i> Clarke
g	兴山五味子 <i>S. incarnata</i> Stapf
h	狭叶五味子 <i>S. lancifolia</i> (Rehd. et Wils.) A. C. Smith
i	小花五味子 <i>S. micrantha</i> A. C. Smith
j	滇藏五味子 <i>S. neglecta</i> A. C. Smith
k	重瓣五味子 <i>S. plena</i> A. C. Smith
l	合蕊五味子 <i>S. propinqua</i> (Wall.) Baill
m	毛叶五味子 <i>S. pubescens</i> Hemsl. et Wils
n	红花五味子 <i>S. rubriflora</i> (Franch). Rehd. et Wils
o	球蕊五味子 <i>S. sphaerandra</i> Stapf
p	柔毛五味子 <i>S. tomentella</i> A. C. Smith
q	绿叶五味子 <i>S. viridis</i> A. C. Smith
r	鹤庆五味子 <i>S. wilsoniana</i> A. C. Smith
s	华中五味子 <i>S. sphenanthera</i> Rehd. et Wils

体现在保健品、食品饮料、红酒和日用化妆品等方面。五味子乙醇提取物在免疫抑制方面的临床研究已成为研究热点,对于单体化合物的研究,在五味子丙素的化学结构基础上合成了治疗肝炎的新药联苯双酯,不仅如此,华中五味子中分离得到的华中五味子酮具有显著的抗氧化活性,尤其针对于阿尔茨海默症的研究进行了大量的药理实验。五味子属植物化学成分丰富,药理活性多样,五味子作为我国著名中药,临床应用广泛。目前对于五味子属植物化学成分及药理活性的研究依然是国内外植物化学领域关注的热点。木脂素作为五味子属植物最为重要的一类化学成分,也是其主要的药理活性成分,近些年来,因其免疫抑制作用突出在临床上用于治疗器官移植而被频繁报道,同时研究还发现五味子众多药理活性的基础物质皆是木脂素类成分。然而对于五味子属中木脂素类成分却少有系统的梳理和总结。因此本文围绕五味子属中木脂素类成分及其药理作用展开综述,对该属 19 种植物中木脂素类化学成分及其碳骨架类型进行详细的分类总结,对该属木脂素的药理活性进行全面的整

理,旨在为该属植物的进一步研究和开发利用提供科学依据。

1 化学成分

近年来,国内外学者从五味子属植物中分离出多种有效成分,发现五味子属果实、茎、叶和根中主要含有木脂素类、三萜类、挥发油、有机酸及多糖类等成分。其中木脂素类为主要化学成分,目前从五味子属植物中分离得到的木脂素类成分有 239 种,从结构上可分为联苯环辛烯木脂素、环木脂素、单环氧木脂素、简单木脂素、7,8-开环木脂素、双环氧木脂素和新木脂素。早在 1978 年, Liu 等^[4]从华中五味子中分离出 5 种木脂素 schisantherins A~E, 张孟亨^[5]从台湾阿里山五味子中提取分离得到 4 个新木脂素 arisantetralones A~D 和 7 个新的联苯环辛烯型木脂素 arisanschinins F~L, Liu 等^[6]从二色五味子中分离出 9 个新的木脂素 schibitubins A~I, 除此之外, Gao 等^[7]从滇藏五味子中发现新木脂素 neglignans A~G, 马文辉^[8]从鹤庆五味子中分离得到 10 个木脂素 schisanwilsonins A~J。

1.1 联苯环辛烯型木脂素

联苯环辛烯型木脂素是五味子属特有的化学成分。此类木脂素的结构中既有联苯的结构,又有联苯与侧链环合成的八元环状结构,其结构两侧苯环的 1~3、12~14 位主要被羟基、亚甲基二氧基或甲氧基取代。 C_6 位的取代基通常是苯甲酸酯、乙酸酯、当归酸酯或顺芷酸酯等酯基。联苯环辛烯型木脂素含有多个手性碳原子,其绝对构型主要依据联苯之间的阻转异构、环辛烯的立体构象以及取代基的立体构型判断。通过圆二色光谱上 235~255 nm 内的科顿效应(cotton effect, CE)推断,CE 为正,联苯为 *R* 构型,CE 为负,联苯为 *S* 构型;通过氢谱和奥弗豪塞尔核效应(nuclear overhauser effect, NOE)来确定化合物环辛烯上取代基的绝对构型。五味子属植物中的联苯环辛烯木脂素(1~143)见表 2,化学结构见图 1 和表 3。

1.2 环木脂素

环木脂素是由 1 个苯丙素单位中苯环的 6 位和另 1 个苯丙素的 7 位环合形成。红外光谱中,该类木脂素常见的特征性吸收基团有羟基(3600~3100 cm^{-1})、亚甲二氧基(940~920 cm^{-1})和羰基(1700~1660 cm^{-1})。五味子属植物中环木脂素(144~157)的化学结构见图 2 和表 4,化合物名称、植物来源及其部位见表 5。

表 2 五味子属中的联苯环辛烯型木脂素

Table 2 Dibenzo[cyclooctene] lignans in *Schisandra*

编号	化合物名称	来源	部位	文献	编号	化合物名称	来源	部位	文献
1	arisanschinin F	a	A	5	45	interiotherin A	s	B	18
2	arisanschinin G	a	A	5	46	benzoylgomisin P	j	B	14
3	arisanschinin H	a	A	5	47	顺芷酰戈米辛 P	c, j, m, n, r	A, B	8,10,14,22
4	arisanschinin I	a, q	A	5,9	48	戈米辛 R	c, j, n, r	A, B, C	8,10,14,20
5	arisanschinin J	a, q	A	5,9	49	戈米辛 O	c, j, m, n, r	A, B, D	8,10,14,22,31
6	arisanschinin K	a	A	5	50	neglschisandrins C	j	B	32
7	arisanschinin L	a	A	5	51	neglschisandrins D	j	B	32
8	戈米辛 F	a, c, j, q	A, B	5,7,10-11	52	schinegllignans A	j	A	23
9	戈米辛 G	a, c, f, n	A, B	5,10,12-13	53	schinegllignans B	j	A	15
10	epigomisin O	a, c, j, n	A, B	5,10,14-16	54	rubrisandrin A	j, n	A, B	15-16
11	(+)-戈米辛 K ₃	a	A, B	5	55	epigomisin O	j	A	15
12	arisanschinin A	a	A, B	17	56	benzoylgomisin O	j	A	15
13	arisanschinin B	a	A, B	17	57	schisanwilsonin A	j	A	15
14	arisanschinin C	a	A, B	17	58	schisanwilsonin C	j	A	15
15	arisanschinin D	a	A, B	17	59	戈米辛 T	c, j, n	A, B	7,10,15,23
16	schisandrol B	a, s	A, C	17-18	60	acetylgomisin K	j	A	16
17	schisantherin A	a, s	A	17-18	61	(±)-戈米辛 M ₁	j	B	7
18	schisantherin B	a, f, r	A, B	8,19	62	marlignan G	j	B	7
19	kadsurarin	a	A	17	63	isogomisin O	j, n	A, B	7,23
20	kadsumarin	a	A	17	64	angeloylgomisin Q	c, j, n	A, B	7,10,16
21	南五味子素	a	A, B	14,17	65	schisphenin F	j	B	7
22	angeloyl-binankadsurin A	a	A	17	66	interiotherin C	j	B	7
23	actetyl-binankadsurin A	a	A	17	67	angeloylgomisin H	c, j, q	A, B	9-10,21
24	schizanrin F	a	A	17	68	戈米辛 H	c, j, r	A	10,21
25	五味子酯 D	a, c, n, q, r	A, B, C	10-11,17,20	69	tigloylgomisin H	c, j	A, B	10,21
26	kadsuphilol A	a	A	17	70	benzoylgomisin H	c, j, q	A, B	9-10,21
27	kadsuphilol C	a	A	17	71	schisantherin F	l	B	20
28	戈米辛 B	a, j, m, n, q	A, B	17,21-24	72	neglschisandrins F	j	B	21
29	schisandrin B	a, c	A	10,17	73	propinquanin E	l	B	33
30	schisandrin C	a, c	A	10,17	74	propinquanin F	l	B	34
31	戈米辛 C	a, n, q	A, B	11,17,23	75	propinquanins A	l	B	33
32	schisanhenol	a, c, f	A, B	7,10,17	76	propinquanins B	l	B	33
33	戈米辛 J	a, q, r	A	17	77	propinquanins C	l	B	33
34	schisandrin A	d, j	B	25	78	propinquanins D	l	B	33
35	schizandrin B	e	A	26	79	schisantherin I	l	B	33
36	deoxyschisandrin	c, e, f, m, n, j, r	A, B	7-8,10,22-23,26-27	80	heteroclitin A	l	B	33
37	当归酰戈米辛 O	c, g, q	A	10-11,24	81	苯甲酰戈米辛 H	m	A	22
38	苯甲酰戈米辛 O	c, g, j	A	10-11,23	82	angeloylogomisin H	m	A	22
39	schilancifolignans A	h	B, C	28	83	戈米辛 S	c, m, n, q, r	A	8-10,22-23
40	schilancifolignans B	h	B, C	28	84	(-)-戈米辛 L ₁	m	A	22
41	schilancifolignans C	h	B, C	28	85	sphenlignan A	s	B	18
42	micrantherin A	i	B, C	29	86	戈米辛 N	c, n, q	A	10,23-24
43	schisphenlignan M	s	E	30	87	methylgomisin O	q	A	24
44	schisandrol A	s	A	18	88	schirubrisin B	q	A	24
					89	五味子酯 K	q	B, E	34

续表 2

编号	化合物名称	来源	部位	文献	编号	化合物名称	来源	部位	文献
90	schisanwilsonins B	s	A	18	117	schirubrisins A	n	B	16
91	methylisogomisin O	q	B	11	118	schirubrisins B	n	B	16
92	苯甲酰异戈米辛 O	q	B	11	119	schirubrisins C	n	B	16
93	schisphenin G	s	A	18	120	schirubrisins D	n	B	16
94	interiotherins A	q	B	11	121	12-demethylwuweilignan I	n	B	16
95	methylgomisin R	n, q	A, B, C	11,20	122	angeloylgomisin P	c, n	A, B	10,16
96	γ -schizandrin K	q	A	9	123	benzoylgomisin Q	n	B	16
97	红花五味子素	r	A, B	8	124	6 β -hydroxy-schizandrin A	n	B	16
98	(-)-戈米辛 K ₁	r	A	8	125	rubrisandrin B	n	B	16
99	schisantherin C	r	A, B	8	126	戈米辛 U	r	A	8
100	鹤庆五味子丁素	r	A	8	127	鹤庆五味子甲素	r	A	8
101	鹤庆五味子庚素	r	A	8	128	鹤庆五味子乙素	r	A	8
102	鹤庆五味子辛素	r	A	8	129	鹤庆五味子丙素	r	A, B	8
103	鹤庆五味子壬素	r	A	8	130	鹤庆五味子戊素	r	A	8
104	鹤庆五味子癸素	r	A	8	131	鹤庆五味子己素	r	A	8
105	鹤庆五味子子素	r	B	8	132	neglignans E	j	B	7
106	鹤庆五味子丑素	r	B	8	133	neglignans F	j	B	7
107	鹤庆五味子寅素	r	B	8	134	neglignans G	j	B	7
108	鹤庆五味子卯素	r	B	8	135	kadsulignan D	a	A	17
109	鹤庆五味子辰素	r	B	8	136	戈米辛 D	c, j, n, r	A, B	7-8,10,15-16
110	鹤庆五味子午素	r	B	8	137	戈米辛 E	c, j	A	10,15
111	(+)-戈米辛 M ₂	r	B	8	138	neglignans A	j	B	7
112	五味子醇甲	r	B	8	139	neglignans B	j	B	7
113	内南五味子酯乙	n, r	B	8,16	140	neglignans C	j	B	7
114	当归酰戈米辛 R	r	B	8	141	neglignans D	j	B	7
115	鹤庆五味子巳素	r	B	8	142	schisphenone	j	B	7
116	滇藏五味子素 A	m	A	22	143	schiviridin A	q	A, B	11,24

A-果实 B-茎 C-叶 D-种仁 E-根 F-藤茎, 下表同

A-fruit B-stem C-leaf D-kernel E-root F-ratan, same as below tables

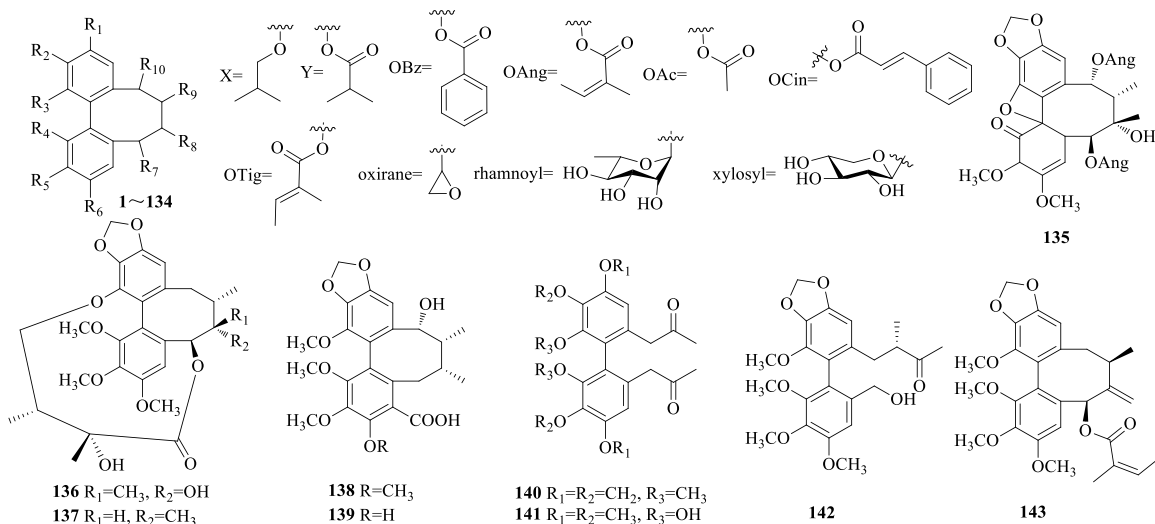


图 1 五味子属中联苯环辛烯型木脂素的化学结构

Fig. 1 Chemical structures of dibenzocyclooctadienes lignans in *Schisandra*

表 3 五味子属中联苯环辛烯型木脂素的取代基

Table 3 Substituent groups of dibenzocyclooctadienes lignans in *Schisandra*

编号	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
1	OH	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
2	OH	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		β -CH ₃	β -CH ₃	
3	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		β -CH ₃	α -CH ₃ , β -OH	α -OAng
4	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	α -OAng	α -CH ₃ , β -OH	β -CH ₃	
5	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -CH ₃ , β -OH	β -CH ₃	
6	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
7	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OTig	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
8	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β -OAng	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	
9	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β -OBz	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	
10	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	α -OH	α -CH ₃	α -CH ₃	
11	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
12	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	β -OBz	α -CH ₃	α -CH ₃	
13	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	α -OAc	α -CH ₃	α -CH ₃	
14	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAc	α -CH ₃ , β -OH	β -CH ₃	α -OCin
15	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -CH ₃	β -CH ₃	α -OAc
16	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	OCH ₃
17	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	
18	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	
19	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -OH, β -CH ₃	β -CH ₃	α -OAc
20	OCH ₂ O		OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	β -CH ₃	α -OAc
21	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OAc
22	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OAng
23	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OAc
24	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	α -OAc
25	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β -OBz	α -CH ₃	α -CH ₃ , β -OH	
26	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OH
27	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	oxirane	α -CH ₃	α -OAng
28	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
29	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
30	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O			α -CH ₃	α -CH ₃	
31	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
32	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
33	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH		α -CH ₃	α -CH ₃	
34	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		β -CH ₃	β -CH ₃	
35	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O			α -CH ₃	α -CH ₃	
36	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
37	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -CH ₃	α -CH ₃	
38	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -CH ₃	α -CH ₃	
39	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OCH ₃
40	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OCH ₃
41	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OAc
42	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃ , β -OAng	α -CH ₃	
43	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β -OAng	oxirane	α -CH ₃	

续表 3

编号	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
44	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	H	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
45	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β -OBz	α -CH ₃	α -CH ₃	
46	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	α -OBz	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
47	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	α -OTig	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
48	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β -OH	α -CH ₃	α -CH ₃	
49	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OH	α -CH ₃	α -CH ₃	
50	OCH ₃	OCH ₃	OCin	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
51	OCH ₃	OCH ₃	OBz	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
52	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH		α -CH ₃	α -CH ₃	
53	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OH		α -CH ₃	α -CH ₃	
54	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	OH		α -CH ₃	α -CH ₃	
55	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	α -OH	α -CH ₃	α -CH ₃	
56	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -CH ₃	α -CH ₃	
57	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
58	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
59	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
60	OAc	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
61	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₂ O			α -CH ₃	α -CH ₃	
62	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	β -OBz	α -CH ₃	α -CH ₃	
63	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	α -OH
64	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	
65	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	β -OAc	α -CH ₃ , β -OH	β -CH ₃	α -OBz
66	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -CH ₃	α -CH ₃	α -OAc
67	OCH ₃	OCH ₃	OAng	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
68	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
69	OCH ₃	OCH ₃	OTig	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
70	OCH ₃	OCH ₃	OBz	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	
71	OH	OCH ₃	OCH ₃	OAng	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
72	OCH ₃	OCH ₃	OAng	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	C ₇ =C ₈	α -CH ₃	α -CH ₃	
73	OCH ₂ O		OH	OH	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	α -OAng
74	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OAng	OCH ₃	OCH ₃		β -CH ₃	α -CH ₃	α -OH
75	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	α -CO(CH ₂) ₄ CH ₃
76	OH	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃	α -CO(CH ₂) ₄ CH ₃
77	OCH ₂ O		OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	α -OH, β -CH ₃	α -OH, β -CH ₃	α -COCH ₂ CH ₃
78	OH	OCH ₃	OCH ₃	OAng	OAng	OAng	β -OAc	β -CH ₃	α -CH ₃	α -OH
79	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -OH, β -CH ₃	α -OAng	α -CO(CH ₂) ₄ CH ₃
80	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OAng	β -CH ₃	α -CH ₃	α -CO(CH ₂) ₄ CH ₃
81	OCH ₃	OCH ₃	OBz	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
82	OCH ₃	OCH ₃	OAng	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
83	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	α -OH	α -CH ₃	α -CH ₃	
84	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₂ O			α -CH ₃	α -CH ₃	
85	OCH ₂ O		OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OH	α -CH ₃	α -CH ₃	
86	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α -CH ₃	α -CH ₃	
87	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -CH ₃ O	α -CH ₃	α -CH ₃	
88	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β -OBz	α -CH ₃ , β -OH	α -CH ₃	

续表 3

编号	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
89	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OTig	OCH ₃	OCH ₃	β-OAc	α-CH ₃	α-CH ₃	α-OH
90	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OTig	β-CH ₃	α-CH ₃	
91	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OCH ₃	α-CH ₃	α-CH ₃	
92	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OBz	α-CH ₃	α-CH ₃	
93	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	H	β-CH ₃	β-CH ₃	α-OBz
94	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OBz	α-CH ₃	α-CH ₃	
95	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OCH ₃	α-CH ₃	α-CH ₃	
96	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α-CH ₃	α-CH ₃	
97	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OAc	α-CH ₃	α-CH ₃	
98	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α-CH ₃	α-CH ₃	
99	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OTig	α-OH, β-CH ₃	α-CH ₃	
100	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OTig	α-CH ₃	α-CH ₃	
101	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OBz	α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
102	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OBz	α-CH ₃	α-CH ₃	
103	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OAng	α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
104	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OTig	α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
105	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OAng	α-CH ₃	α-CH ₃	
106	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OTig	α-CH ₃	α-CH ₃	
107	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OAng	α-CH ₃	α-CH ₃	
108	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OBz	α-CH ₃	α-CH ₃	
109	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OH	α-CH ₃	α-CH ₃	
110	OCH ₂ O		OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α-CH ₃	α-CH ₃	
111	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₂ O			α-CH ₃	α-CH ₃	
112	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
113	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OAng	α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
114	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OAng	α-CH ₃	α-CH ₃	
115	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OAng	oxirane	α-CH ₃	
116	OCH ₃	OCH ₃	OCin	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
117	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	β-OAng	α-CH ₃ , β-CH ₃	α-CH ₃	
118	OCH ₂ O		OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃	β-OBz	α-CH ₃ , β-CH ₃	α-CH ₃	
119	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	β-OAng	α-CH ₃ , β-CH ₃	α-CH ₃	
120	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₂ O		β-OAng	α-OH, β-CH ₃	α-CH ₃	
121	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OCH ₃	α-CH ₃	α-CH ₃	
122	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	α-OAng	α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
123	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OBz	α-OH, β-CH ₃	α-CH ₃	
124	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OAng	α-OH, β-CH ₃	α-CH ₃	
125	OCH ₃	OCH ₃	OH	OH	OCH ₃	OCH ₃		α-CH ₃	α-CH ₃	
126	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OH	α-CH ₃	α-CH ₃	
127	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OCH ₂ CH ₃	α-CH ₃	α-CH ₃	
128	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OCH ₂ CH ₃	α-CH ₃	α-CH ₃	
129	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		β-OCH ₂ CH ₃	α-CH ₃	α-CH ₃	
130	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-Y	α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
131	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-OAC	α-CH ₃ , β-OH	α-CH ₃	
132	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-X	α-CH ₃	α-CH ₃	
133	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	β-X	α-CH ₃	α-CH ₃	
134	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		α-CH ₃	α-CH ₃	α-Y

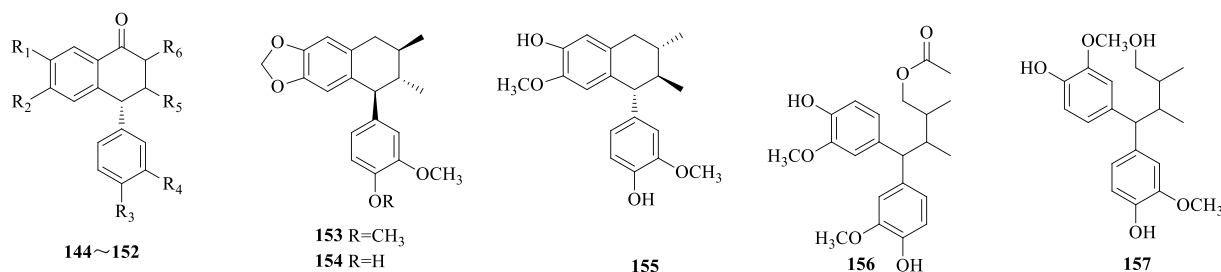


图 2 五味子属中环木脂素的化学结构

Fig. 2 Chemical structures of cycloignans in *Schisandra*

表 4 五味子属中环木脂素的取代基

Table 4 Substituent groups of cycloignans in *Schisandra*

编号	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
144	OH	OCH ₃	OH	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃
145	OCH ₃	OH	OH	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃
146	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃
147	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	α-CH ₃	β-CH ₃
148	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃
149	OCH ₃	OH	OH	OCH ₃	β-CH ₃	α-CH ₃
150	OH	OCH ₃	OH	OCH ₃	β-CH ₃	α-CH ₃
151	OH	OCH ₃	OH	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃
152	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	β-CH ₃	α-CH ₃

表 5 五味子属中的环木脂素

Table 5 Cycloignans in *Schisandra*

编号	化合物名称	来源	部位	文献
144	arisantetralone A	a	A	5
145	arisantetralone B	a	A	5
146	arisantetralone C	a	A	5
147	arisantetralone D	a	A	5
148	(-)-holostyligone	a	A	5
149	wulignan A ₂	f, n	A, B	13,27
150	epiwulignan A ₁	f, n	A, B	13,27
151	wulignan A ₁	f, r	A, B	8,27
152	epischisandrone	f	B	27
153	(-)-galcatin	d	A	35
154	(+)-isootobaphenol	d	A	35
155	4',5'-O-didemethylcyclogalgravin	d	A	35
156	henricines B	f	B	27
157	4,4-di(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)- 2,3-dimethylbutanol	l	B	36

1.3 单环氧木脂素

单环氧木脂素结构的特征在于在简单木质素的基础上存在四氢呋喃结构,如 7-O-7'、9-O-9'或 7-O-9'等结构类型,五味子属中该类成分主要是 7-O-7'

型最为常见,该类结构常具有对称性结构,在氢谱中,可见 2 个 d 峰的甲基信号重叠。在 δ 1.78 左右有 2 个 m 峰的氢信号。五味子属植物中的单环氧木脂素(158~193)见表 6,化学结构见图 3 和表 7。

1.4 简单木脂素

简单木脂素是由 2 分子苯丙素仅通过 β 位的碳原子(C₈-C_{8'})连接而成,该类木脂素可用 EI-MS 测定,多数木脂素可得到分子离子峰,木脂素因有苄基团,从而可以发生苄基裂解。且这类化合物也是其他一些类型木脂素的生源前体。五味子属植物中的简单木脂素(194~226)见表 8,化学结构见图 4 和表 9。

1.5 7,8-开环木脂素

7,8-开环木脂素的骨架是芳基四氢呋喃木脂素 C₇-C₈ 键的氧化裂解。从五味子属的果实、茎和叶中共分离出 9 种化合物。五味子属植物中的 7,8-开环木脂素(227~235)见表 10,化学结构见图 5。

1.6 双环氧木脂素

双环氧木脂素是一种由 2 分子苯丙素相互连接形成具有双联四氢呋喃环结构的木脂素,并且骨架中多具有 4 个手性碳的旋光异构体,在核磁共振碳谱上 C₇ 和 C_{7'} 位的化学位移可达到 85.0 以上,因其结构的对称性,氢谱和碳谱也常会出现重叠信号。(+)-pinorensinol(236)、(+)-syringaresinol(237)和 prinsepiol(238)均来自金山五味子的茎^[25,39],化学结构见图 6。

1.7 新木脂素

新木脂素是由 2 个苯丙素通过侧链、苯环或氧连接形成,且在 C₈ 和 C_{8'} 之间没有化学键。C₉ 位为羟甲基时,碳谱上 δ 89.0、55.5、65.0 为苯联呋喃型新木脂素 C₇、C₈、C₉ 的典型特征。此外,新木脂素还包括 2 个以氧键形式通过氧醚键连接的 C₆-C₃ 单体,因此也称为氧新木脂素。vladinol F(239)可以从金山五味子、小花五味子的茎中分离得到^[30,39],化学结构见图 7。

表 6 五味子属中的单环氧木质素
Table 6 Monoepoxylignans in *Schisandra*

编号	化合物名称	来源	部位	文献
158	zuihonins E	b	B	37
159	zuihonins F	b	B	38
160	ganschisandrin	b	A	6
161	3',3''-dimethoxylarreatricin	b	A	6
162	(+)-9'-hydroxygalbelgin	b	A	6
163	schiglaucin A	d	B	39
164	schiglaucin B	d	B	39
165	(+)-zuihonin A	d	B	25
166	(-)-zuihonin C	d	B	25
167	(+)-chicanine	d	A	35
168	henricines A	f	B	27
169	ganshisandrine	f	B	27
170	(+)-henricin	f, g	A	11
171	(+)-zuihonin C	d, g	A, B	11,39
172	<i>d</i> -表加巴辛	r	F	8
173	galgravin	b	A	6
174	(-)-nectandrin A	b	A	6
175	(-)-futokadsurin A	b	A	6
176	schisanpropinin	l	B	40
177	(-)-machilusins	s	B	37
178	ganschisandrine	s	A, B	37,41
179	(+)-neoolivil	s	B	18
180	schisphenlignan H	s	B	42
181	veraguensin	s	A	43
182	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-7-methoxyl-7-(3,4-methylenedioxyphenyl)-8-hydroxyl-7'-(5'-hydroxy-3'-methoxyphenyl)-8'-methyl-tetrahydrofuran	s	E	44
183	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-7-methoxyl-7-(3,4-methylenedioxy-phenyl)-8-hydroxyl-8'-methyl-7'-(3',4',5'-trimethoxyphenyl)-tetrahydrofuran	s	E	44
184	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-7-methoxyl-7-(3,4-methylenedioxyphenyl)-8-hydroxyl-8'-methyl-7'-(3',4'-methylenedioxyphenyl)-tetrahydrofuran	s	E	44
185	schiglaucin B	s	E	44
186	schiglaucin A	s	E	44
187	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-(7,8- <i>trans</i> -8,8'- <i>trans</i> -7',8'- <i>trans</i>)-7-methoxyl-7-(3,4-methylenedioxy-phenyl)-8-methyl-8'-methyl-7'-(3',4'-dimethoxyphenyl)-tetrahydrofuran	s	E	44
188	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-7-methoxyl-7-(3,4,5-trimethoxyphenyl)-8-methyl-8'-methyl-7'-(3',4'-methylenedioxyphenyl)-tetrahydrofuran	s	E	44
189	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-7-(3,4-methylenedioxyphenyl)-8-methyl-8'-methyl-7'-(3',4'-dihydroxy-phenyl)-tetrahydrofuran	s	E	44
190	talaumidin	s	E	44
191	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-7,8-epoxide-7-(3,4-methylenedioxyphenyl)-8-methyl-8'-methyl-7'-(3',4'-dimethoxyphenyl)-tetrahydrofuran	s	E	44
192	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,7' <i>R</i> ,8' <i>S</i>)-7,8-epoxide-7-(3,4-methylenedioxyphenyl)-8-methyl-8'-methyl-7'-(4'-hydroxy-3'-methoxyphenyl)-tetrahydrofuran	s	E	44
193	epoxyzuonin A	s	E	44

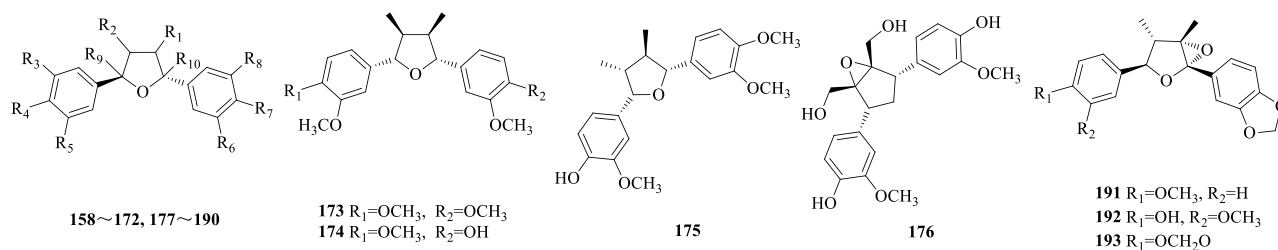


图 3 五味子属中单环氧木脂素的化学结构

Fig. 3 Chemical structures of monoepoxylignans in *Schisandra*

表 7 五味子属中单环氧木脂素的取代基

Table 7 Substituent groups of monoepoxylignans in *Schisandra*

编号	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
158	β -CH ₃	α -OH, β -CH ₃	OCH ₂ O				OCH ₂ O		α -OCH ₃	
159	β -CH ₃	α -OH, β -CH ₃	OCH ₂ O				OCH ₂ O		α -OH	
160	β -CH ₃	β -CH ₃		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃			
161	β -CH ₃	β -CH ₃		OH	OCH ₃	OCH ₃	OH			
162	β -CH ₂ OH	α -CH ₃		OCH ₂ O		OCH ₂ O				
163	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -OH		OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃		α -OCH ₃	
164	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -OH		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O			α -OCH ₃	
165	α -CH ₃	α -CH ₃		OCH ₂ O		OCH ₂ O				
166	α -CH ₃	α -CH ₃		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O				
167	α -CH ₃	α -CH ₃	OCH ₂ O				OH	OCH ₃		
168	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -OH		OCH ₃	OCH ₃		OCH ₃	OCH ₃	α -OCH ₃	
169	β -CH ₃	β -CH ₃		OCH ₃	OCH ₃		OCH ₃	OCH ₃	α -OCH ₃	
170	β -CH ₃	β -CH ₃		OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		
171	α -CH ₃	α -CH ₃		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O				
172	β -CH ₃	β -CH ₃		OCH ₂ O		OCH ₂ O				
177	β -CH ₃	α -H, β -CH ₃	H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		H		
178	β -CH ₃	α -H, β -CH ₃	H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	H		
179	β -CH ₂ OH	α -CH ₂ OH, β -H	H	OCH ₃	OH	H	OH	OCH ₃		
180	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -OH	OCH ₂ O		H	OCH ₃	OCH ₃	OH	α -OCH ₃	
181	α -CH ₃	α -H, β -CH ₃	H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	H		
182	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	OCH ₃	H	OH	OCH ₂ O		H		β -OCH ₃
183	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		H		β -OCH ₃
184	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	H	CH ₂		OCH ₂ O		H		β -OCH ₃
185	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	H	OCH ₂ O		CH ₃	CH ₃	H		β -OCH ₃
186	α -OH, β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		H		β -OCH ₃
187	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₂ O		H		β -OCH ₃
188	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	H	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃		β -OCH ₃
189	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	H	OH	OH	OCH ₂ O		H		
190	β -CH ₃	α -CH ₃ , β -H	H	OCH ₃	OH	OCH ₂ O		H		

表 8 五味子属中的简单木脂素
Table 8 Simple lignans in *Schisandra*

编号	化合物名称	来源	部位	文献
194	pre-gomisin	a	A	5
195	austrobailignan-6	b	A	6
196	oleiferin F	b	A	6
197	(+)-dihydroguaiaretic acid	b	A	6
198	5-[(2 <i>S</i> ,3 <i>R</i>)-4-(3,4-dimethoxyphenyl)-2,3-dimethylbutyl]-1,3-benzodioxole	d	A	35
199	meso-dihydroguaiaretic acid	d	A	35
200	(+)-anwulignan	d	A	35
201	华中五脂素	g	A	11
202	longipedunrin C	n	A, B, C	20
203	pubinerlignan E	n	A, B, C	20
204	2,3-bis[(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)methyl]butanol	n	A, B, C	20
205	schibitubin A	b	A	6
206	schibitubin B	b	A	6
207	schibitubin C	b	A	6
208	schibitubin D	b	A	6
209	schibitubin E	b	A	6
210	schibitubin F	b	A	6
211	tetracentronside B	d	A	35
212	(-)-secoisolariciresinol-9- <i>O</i> -β- <i>D</i> -xylopyranoside	d	B	39
213	arisanschinin E	a	A	17
214	schibitubin G	b	A	6
215	tetracentronside B	d	A	35
216	(8 <i>R</i> ,8' <i>R</i>)-9- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glucopyranosylpiperphilippinin VI	d	A	35
217	(8 <i>R</i> ,8' <i>R</i>)-9'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glucopyranosylpiperphilippinin VI	d	A	35
218	sphenanlignan	s	A	45
219	myristargenol A	s	A, D	37,44
220	schisphenlignan F	s	B	43
221	前戈米辛	s	A, B	43
222	(-)-secoisolariciresinol- <i>O</i> -α- <i>L</i> -rhamnopyranosid	s	B	18
223	(7,8- <i>trans</i> -8,8'- <i>cis</i>)-7-(3,4-dihydroxyphenyl)-7'-(3,4-methylenedioxyphenyl)-8,8'-dimethylbutan-7-diol	s	D	44
224	schisphenin A	s	A	46
225	erythro-1-(3,4-dimethoxyphenyl)-4-(3,4-methylenedioxyphenyl)-2,3-dimethylbutane	s	A	47
226	erythro-austrobailignan-6	s	A	47

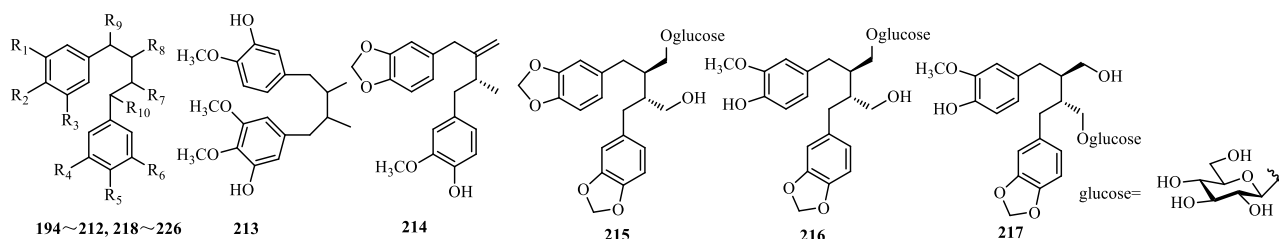


图 4 五味子属中简单木脂素的化学结构

Fig. 4 Chemical structures of simple lignans in *Schisandra*

表 9 五味子属中单环氧木脂素的取代基

Table 9 Substituent groups of monoepoxylignans in *Schisandra*

编号	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
194	OCH ₃	OCH ₃	OH	OH	OCH ₃	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃		
195	OCH ₂ O			OCH ₃	OH		α-CH ₃	β-CH ₃		
196	OCH ₂ O			OCH ₃	OH		α-CH ₃	β-CH ₃	α-OH	
197	OCH ₃	OH		OCH ₃	OH		α-CH ₃	β-CH ₃		
198	OCH ₂ O		OCH ₃	OCH ₃						
199	OCH ₃	OH			OH	OCH ₃	α-CH ₃	α-CH ₃		
200	OCH ₃	OH			OCH ₂ O		α-CH ₃	α-CH ₃		
201	OCH ₂ O			OCH ₃	OCH ₃	OH	β-CH ₃	β-CH ₃		
202	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OH		β-CH ₃	β-CH ₃		
203	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃		β-CH ₃	β-CH ₃		
204	OCH ₃	OH		OCH ₃	OH		β-CH ₃	β-CH ₂ OH		
205	OCH ₃	OH		OCH ₂ O			α-CH ₃	α-CH ₂ OH		
206	OCH ₃	OH		OCH ₃	OH		α-CH ₃	α-CH ₂ OH		
207	OCH ₂ O			OCH ₃	OH		β-CH ₃	β-CH ₂ OH		
208	OCH ₂ O			OCH ₃	OH		β-CH ₃	β-CH ₂ OH		
209	OCH ₃	OH		OCH ₂ O			β-CH ₃	β-CH ₂ OAc		
210	OCH ₃	OH		OCH ₃	OH		β-CH ₃	β-CH ₂ OAc		
211	OCH ₂ O			OCH ₂ O			α-CH ₂ OH	β-CH ₂ Oglucose		
212	OCH ₃	OH		OCH ₃	OH		α-CH ₂ OH	β-CH ₂ Oxylosyl		
219	OCH ₂ O		H	OCH ₃	OCH ₃	OH	β-CH ₃	β-CH ₃		
220	OCH ₃	OH	H	H	OCH ₂ O		α-CH ₃	α-CH ₃		
221	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	OCH ₃	α-CH ₃	H		
222	OH	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OH	β-CH ₃	H		
223	OCH ₃	OH	H	H	OH	OCH ₃	α-CH ₂ OH	β-CH ₂ Orhamnol		
224	H	OCH ₂ O		OH	H	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃		β-OH
225	H	OCH ₂ O		H	OH	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃		β-OH
226	OCH ₂ O		H	H	OCH ₃	OCH ₃	β-CH ₃	β-CH ₃		

表 10 五味子属中的 7,8-开环木脂素

Table 10 7,8-Seco-lignans in *Schisandra*

编号	化合物名称	来源	部位	文献
227	schibitubin I	b	A	6
228	(7'R,8'S)-3,4-dimethoxy-3',4'-methylenedioxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione	d	A	35
229	(7'R,8'S)-3,4-methylenedioxy-3',4'-dimethoxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione	d	A	35
230	neglectahenols A	j	B, C	48
231	neglectahenols B	j	B, C	48
232	neglectahenols C	j	B, C	48
233	neglectahenols D	j	B, C	48
234	marphenol B	j	B, C	48
235	7,8-secohologostylone B	j	B, C	48

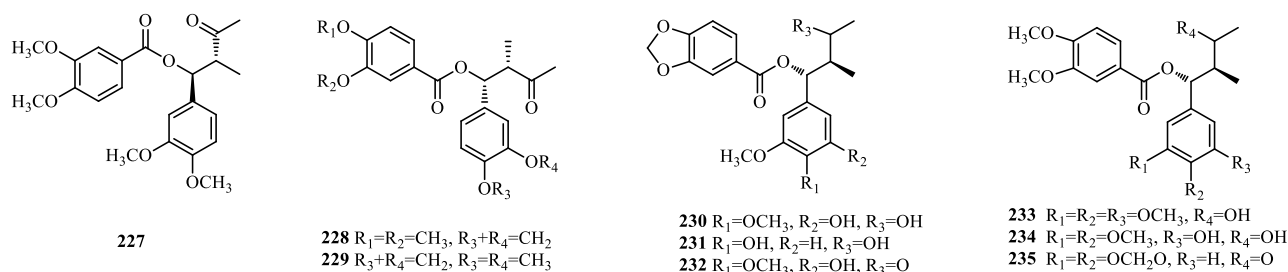


图 5 五味子属中 7,8-开环木脂素的化学结构

Fig. 5 Chemical structures of 7,8-seco-lignans in *Schisandra*

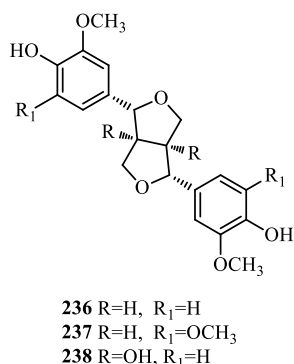


图 6 五味子属中双环氧木脂素的化学结构

Fig. 6 Chemical structures of bisepoxy lignans in *Schisandra*

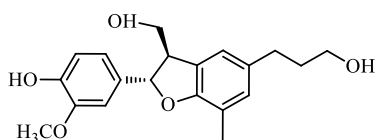


图 7 五味子属中新木脂素的化学结构

Fig. 7 Chemical structure of neolignan in *Schisandra*

2 药理作用

2.1 保肝

Chen 等^[49]研究发现阿里山五味子中(+)-戈米辛 K₃ (**11**) 有显著的抗肝纤维化活性。王菊平等^[50]通过大鼠急性肝内胆淤积造成的肝损伤实验,发现 deoxyschisandrins (**36**) 能通过降低丙氨酸氨基转移酶 (alanine aminotransferase, ALT)、谷氨酸氨基转移酶 (aspartate aminotransferase, AST)、碱性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP) 活性及总胆红素 (total bilirubin, TBIL) 水平,升高肝脏中 Na⁺, K⁺-ATP 酶活性而发挥肝脏保护作用。此外,五味子药渣提取物中木脂素类成分对 CCl₄ 所致大鼠急性肝损伤具有保护作用^[51]。关于华中五味子中木脂素保肝作用的研究最为广泛, Gao 等^[52]发现化合物 (+)-anwulignan (**200**) 可以降低肝脏外周血液中的 AST 和 ALT 活性,其机制可能与激活 p38 丝裂原活化蛋

白激酶通路的抗氧化能力,增加受损细胞的生存能力有关;单体化合物 schisandrol B (**16**) 具有显著的保肝作用,研究人员发现其能够降低对乙酰氨基酚诱导的肝毒性,其作用机制是通过激活核因子 E2 相关因子 2 (nuclear factor NF-E2-related factor 2, Nrf2) /抗氧化反应元件 (anti-oxidant response element, ARE) 途径和调节 Nrf2 靶基因,从而诱导排毒^[53]。此外, schisandrol B 还具有促小鼠肝脏再生功能^[54]。

2.2 抗肿瘤

张孟亭^[5]研究发现阿里山五味子中单体化合物 arisanschinin F (**1**) 对人髓母细胞瘤 Daoy 细胞、结肠癌 WiDr 细胞、人喉表皮样癌 HEP-2 细胞、人乳腺癌 MCF-7 细胞具有明显的细胞毒活性,半数有效量分别为 6.23、6.08、4.12、4.09 μg/mL。二色五味子中分离得到的新木脂素 zuihonins E~F (**158**~**159**) 能够抑制人肝癌 HepG2 细胞、人肺癌 A549 细胞和 MCF-7 细胞的生长^[39]。Chen 等^[21]发现 neglschisandrins F (**72**) 对 A549 细胞具有较好的抑制作用,同时该单体化合物对于人结肠癌 HCT-8 细胞表现出中度的细胞毒性。Gao 等^[55]从合蕊五味子中分离得到化合物 schisantherin F (**71**),研究表明 schisantherin F 可通过抑制半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶-3 (cystein-aspartate protease-3, Caspase-3) 和 Caspase-9 的活性,下调 B 淋巴细胞瘤-2 (B-cell lymphoma-2, Bcl-2) 和上调凋亡相关因子 Bcl-2 相关 X 蛋白 (B-cell lymphoma-2/Bcl-2 associated X protein, Bax) 的表达从而诱导人黑色素瘤 A375 细胞的凋亡;乳腺癌为现今多发疾病,对于此疾病的研究,五味子属绿叶五味子具有显著的药理活性,研究报道其抗肿瘤活性成分有 angelylgomisin H (**67**) 和戈米辛 H (**68**)^[56-57]。Yang 等^[58]发现化合物 (+)-戈米辛 M2 (**111**) 能够抑制乳腺癌干细胞 BCSCs 增殖;除此之外,戈米辛 J (**33**) 对 MCF-7

细胞、乳腺癌 MDA-MB-23 细胞以及其他 11 种癌细胞都具有显著的细胞毒活性^[59]。对于三阴性乳腺癌的研究发现 schisandrin A (34) 可能成为其治疗的潜在候选药物^[60]。

2.3 抗病毒

现代药理学研究表明五味子属植物具有显著的抗病毒作用,孙汉董课题组对五味子属植物进行了广泛的研究,发现五味子属中多种植物具有该药理活性。Chen 等^[61]发现红花五味子中木脂素戈米辛 J、戈米辛 M2、(±)-戈米辛 M1 (61) 具有抗人类免疫缺陷病毒 (human immunodeficiency virus, HIV) 活性, (±)-戈米辛 M1 表现出最有效的抗 HIV 活性。Xue 等^[62]从五味子的果实中分离出的 methylgomisin O (87) 具有很强的抗乙型肝炎病毒 (hepatitis B virus, HBV) 病毒活性,其半数抑制浓度为 5.49 μg/mL。从阿里山五味子中分离出的戈米辛 B (28) 和戈米辛 G (9) 在抗 HBsAg 和 HBeAg 测试中显示出中等活性^[63]。Ma 等^[64]从鹤庆五味子果实部位分离得到抗 HBV 木脂素活性成分 schisanwilsonins A~G, 其中 schisanwilsonins C 抗 HBV 活性最显著。

五味子属中木脂素成分除了对人类 HIV、HBV 等病毒有作用外,对于植物病毒也有一定的研究报道。Wang 等^[65]研究发现红花五味子中 schisanhenol (32) 对烟草花叶病毒具有防治作用,且抗病毒效果强于宁南霉素。此外还发现滇藏五味子中木脂素 neglectahenols E~F 同样具有抗烟草花叶病毒活性^[66]。

2.4 抗氧化

研究者从阿里山五味子醋酸乙酯部位分离的 arisanschinins E 具有明显的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH) 自由基清除活性^[67]。Wang 等^[68]通过研究不同产地五味子和华中五味子中木脂素抗氧化活性,发现其主要抗氧化活性成分为 schisanhenol 和 schisandrin B (29)。同时 Jiang 等^[44]对华中五味子根部进行了化学成分分离和抗氧化活性研究,所分离得到的木脂素均具有不同程度的清除 DPPH 自由基能力,其中化合物 190 抗氧化活性与维生素 C 相当,并且对人红细胞寿命具有显著的抗氧化溶血作用。此外,五味子总木脂素也具有良好的清除超氧阴离子自由基能力^[69]。

2.5 神经保护

二色五味子中所分离出的 schiglaucin A (163)、

(+)-chicanine (167)、d-表加巴辛 (172)、galgravin (173) 在淀粉样 β 蛋白片段 25-35 (Aβ25-35) 诱导的人神经母细胞瘤 SH-SY5Y 细胞损伤模型中显示具有很好的神经保护活性^[6]。此外,从金山五味子茎中分离出的 2 个新四氢呋喃木脂素 schiglaucin A 和 schiglaucin B (164) 对 SH-SY5Y 细胞损伤同样具有明显的神经保护作用^[35,39]。通过大鼠 Morris 水迷宫实验,于方等^[70]发现华中五味子酮通过影响大鼠海马区核因子-κB 信号转导通路而对阿尔茨海默症发病起到保护作用。此外,有研究发现提高大鼠脑内抗氧化系统活性和促进氧自由基清除,可能是华中五味子酮治疗阿尔茨海默症模型大鼠新的作用机制^[71]。

3 结语与展望

我国五味子属资源丰富,集中分布于西南部和东南部地区,随着对该属植物成分不断深入的研究,其现代药理研究也取得了较大进展,尤其是其主要活性成分木脂素,具有广泛的药理活性,在保肝、抗肿瘤、抗氧化、神经保护方面效果突出。目前对五味子属植物中南北五味子的研究有较详尽的综述,而该属其他植物化学成分和药理作用的报道都相对较少。此外,该属植物仍然没有完整的质量标准可供参考,不同产地五味子指标性成分有一定的差异。

值得注意的是,对于单体化合物的研究与开发,以华中五味子酮、五味子酯甲、五味子醇乙、五味子丙素和五味子酚的研究最为广泛,其中五味子丙素具有很好的治疗肝炎作用,在此结构基础上研发了我国首个治疗肝炎的新药联苯双酯,2004 年治疗肝炎的 I 类新药双环醇的上市更加证明了五味子独具的保肝作用。因此从五味子属植物天然产物中寻找新的具有开发新药价值的先导化合物依然具有十分重要的意义。此外抗氧化作用突出的木脂素类成分有望成为新的抗氧化剂,为研发心脑血管疾病药物奠定基础。用于器官移植免疫抑制效果突出的乙醇提取物,仍然需要不断地研究其药理作用机制。五味子属植物具有很好的增强免疫力、改善记忆力和改善睡眠效果,可用于开发更广泛的保健品。红酒、果糖饮料、护肤品等也需要进一步开发和推广。在临床应用研究方面,有报道称华中五味子叶对骨损伤有一定的治疗作用,应引起重视。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 许利嘉,刘海涛,彭勇,等. 五味子科药用植物亲缘学

- 初探 [J]. 植物分类学报, 2008, 46(5): 692-723.
- [2] 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, 1996: 243.
- [3] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 69, 263.
- [4] Liu C S, Fang S D, Huang M F, *et al.* Studies on the active principles of *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. The structures of schisantherin A, B, C, D, E, and the related compounds [J]. *Sci Sin*, 1978, 21(4): 483-502.
- [5] 张孟亨. 阿里山五味子果实活性木酚素成分之研究 [D]. 台湾: 台湾大学, 2009.
- [6] Liu Y, Yu H Y, Wang Y M, *et al.* Neuroprotective lignans from the fruits of *Schisandra bicolor* var. *tuberculata* [J]. *J Nat Prod*, 2017, 80(4): 1117-1124.
- [7] Gao X M, Wang R R, Niu D Y, *et al.* Bioactive dibenzocyclooctadiene lignans from the stems of *Schisandra neglecta* [J]. *J Nat Prod*, 2013, 76(6): 1052-1057.
- [8] 马文辉. 毛南五味子和鹤庆五味子的化学成分及其抗病毒活性 [D]. 上海: 复旦大学, 2007.
- [9] 刘叶. 绿叶五味子果实化学成分及神经保护作用研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
- [10] 张明晓, 黄国英, 白羽琦, 等. 南、北五味子的化学成分及其保肝作用的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(5): 1017-1025.
- [11] 田添. 两种五味子属药用植物的化学成分及生物活性研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2015.
- [12] 陶媛媛, 杨建红, 张燕, 等. 翼梗五味子木脂素成份的分离与鉴定 [J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2007, 27(1): 65-68.
- [13] Xiao W L, Wang R R, Zhao W, *et al.* Anti-HIV-1 activity of lignans from the fruits of *Schisandra rubriflora* [J]. *Arch Pharm Res*, 2010, 33(5): 697-701.
- [14] 徐秀梅, 廖志华, 陈敏. 滇藏五味子化学成分研究 [J]. 中国药学杂志, 2009, 44(23): 1769-1773.
- [15] Yang G Y, Li Y K, Wang R R, *et al.* Dibenzocyclooctadiene lignans from *Schisandra wilsoniana* and their anti-HIV-1 activities [J]. *J Nat Prod*, 2010, 73(5): 915-919.
- [16] Luo X, Pu J X, Fan P, *et al.* Four new dibenzocyclooctadiene lignans from *Schisandra rubriflora* [J]. *Chin J Nat Med*, 2011, 9(3): 167-172.
- [17] 刘金城. 阿里山五味子活性木脂素成分之研究 [D]. 台湾: 台湾大学, 2008.
- [18] Huang S Q, Zhang D D, Li Y Z, *et al.* *Schisandra sphenanthera*: A comprehensive review of its botany, phytochemistry, pharmacology, and clinical applications [J]. *Am J Chin Med*, 2021, 49(7): 1577-1622.
- [19] 刘嘉森, 黄梅芬, 高耀良. 翼梗五味子的研究 II 翼梗五味子酯和翼梗五味子酸的结构 [J]. 上海: 中国科学院上海药物研究所, 1980, 38(4): 361-370.
- [20] 刘嘉森, 马玉廷. 神农架地区五味子科植物成分的研究 II. 五味子酯 F 的分离与结构研究 [J]. 化学学报, 1988(5): 460-464.
- [21] Chen M, Xu X M, Xu B, *et al.* Neglschisandrins E-F: Two new lignans and related cytotoxic lignans from *Schisandra neglecta* [J]. *Molecules*, 2013, 18(2): 2297-2306.
- [22] 李磊. 毛叶五味子化学成分的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [23] Mu H X, Li X S, Fan P, *et al.* Dibenzocyclooctadiene lignans from the fruits of *Schisandra rubriflora* and their anti-HIV-1 activities [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2011, 13(5): 393-399.
- [24] Tian T, Liu Y, Yu H Y, *et al.* Dibenzocyclooctadiene lignans from the fruits of *Schisandra viridis* [J]. *Chem Nat Compd*, 2015, 51(6): 1046-1048.
- [25] Cai N N, Wang Z Z, Zhu X C, *et al.* Schisandrin A and B enhance the dentate gyrus neurogenesis in mouse hippocampus [J]. *J Chem Neuroanat*, 2020, 105: 101751.
- [26] 刘小霞, 刘芳, 顾蔚. 秦岭地区四种五味子果实木脂素检测 [J]. 中药材, 2013, 36(7): 1053-1055.
- [27] Liu H T, Xu L J, Peng Y, *et al.* Two new lignans from *Schisandra henryi* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2009, 57(4): 405-407.
- [28] Yang G Y, Fan P, Wang R R, *et al.* Dibenzocyclooctadiene lignans from *Schisandra lancifolia* and their anti-human immunodeficiency virus-1 activities [J]. *Chem Pharm Bull*, 2010, 58(5): 734-737.
- [29] 李蓉涛. 五种五味子属药用植物及东紫苏化学成分研究 [D]. 昆明: 中国科学院昆明植物研究所, 2003.
- [30] Huang S Q, Liu Y Y, Li Y Z, *et al.* Dibenzocyclooctadiene lignans from the root bark of *Schisandra sphenanthera* [J]. *Phytochem lett*, 2021, 45: 137-141.
- [31] 王洪洁, 陈延铺. 红花五味子中木脂素成分的化学研究 [J]. 药学学报, 1985, 20(11): 832-841.
- [32] Chen M, Liao Z, Xu X, *et al.* Neglschisandrins C-D: Two new dibenzocyclooctadiene lignans from *Schisandra neglecta* [J]. *Molecules*, 2008, 13(5): 1148-1155.
- [33] Xu L J, Huang F, Chen S B, *et al.* New lignans and cytotoxic constituents from *Schisandra propinqua* [J]. *Planta Med*, 2006, 72(2): 169-174.
- [34] 罗纲, 刘嘉森. 粤北产五味子科植物风沙藤的化学成分研究(II) [J]. 化学学报, 1992, 50(5): 515-520.
- [35] Yu H Y, Chen Z Y, Sun B, *et al.* Lignans from the fruit of *Schisandra glaucescens* with antioxidant and neuroprotective properties [J]. *J Nat Prod*, 2014, 77(6): 1311-1320.
- [36] Huang F, Xu L J, Ganggang S. Antioxidant isolated from *Schisandra propinqua* (Wall.) Baill [J]. *Biol Res*, 2009, 42(3): 351-356.
- [37] 任荣. 华中五味子的化学成分及其抗炎活性研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2009.
- [38] Huang R M, Huang H J, Zhang N L, *et al.* Two new lignans from the stems of *Schisandra bicolor* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(12): 1116-1121.
- [39] Yu H Y, Hao C, Meng F Y, *et al.* Neuroprotective lignans from the stems of *Schisandra glaucescens* [J]. *Planta Med*, 2012, 78(18): 1962-1966.
- [40] Liu M, Hu Z X, Luo Y Q, *et al.* Two new compounds from *Schisandra propinqua* var. *propinqua* [J]. *Nat Prod Bioprospect*, 2017, 7(3): 257-262.
- [41] Li Y F, Jiang Y, Huang J F, *et al.* Four new lignans from *Schisandra sphenanthera* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2013, 15(9): 934-940.
- [42] Liang C Q, Hu J, Luo R H, *et al.* Six new lignans from the

- leaves and stems of *Schisandra sphenanthera* [J]. *Fitoterapia*, 2013, 86: 171-177.
- [43] Huang H C, Lin Y C, Fazary A E, *et al.* New and bioactive lignans from the fruits of *Schisandra sphenanthera* [J]. *Food Chem*, 2011, 128(2): 348-357.
- [44] Jiang K, Song Q Y, Peng S J, *et al.* New lignans from the roots of *Schisandra sphenanthera* [J]. *Fitoterapia*, 2015, 103: 63-70.
- [45] 蒋司嘉. 五味子和华中五味子的木脂素类化学成分研究 [D]. 上海: 复旦大学, 2003.
- [46] 陈聿桢. 红花八角果实和阿里山五味子果实活性成分的研究 [D]. 台湾: 台湾大学药学研究所, 2010.
- [47] 宋秋艳. 秦岭两种五味子属植物化学成分结构及其抗病毒活性研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [48] Gao X M, Mu H X, Wang R R, *et al.* 7,8-secolignans from *Schisandra neglecta* and their anti-HIV-1 activities [J]. *J Braz Chem Soc*, 2012, 23(10): 1853-1857.
- [49] Chen Y C, Liaw C C, Cheng Y B, *et al.* Anti-liver fibrotic lignans from the fruits of *Schisandra arisanensis* and *Schisandra sphenanthera* [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2013, 23(3): 880-885.
- [50] 王菊平, 李小芹, 李永春. 五味子甲素对急性肝内胆汁淤积大鼠肝功能的保护作用研究 [J]. *亚太传统医药*, 2018, 14(6): 32-33.
- [51] 陶小芳, 宿树兰, 江署, 等. 五味子药渣提取物中木脂素类成分分析及其对急性肝损伤模型大鼠的保护作用 [J]. *中草药*, 2016, 47(17): 3051-3057.
- [52] Gao J Q, Yu Z P, Jing S, *et al.* Protective effect of anwulignan against D-galactose-induced hepatic injury through activating p38 MAPK-Nrf2-HO-1 pathway in mice [J]. *Clin Interv Aging*, 2018, 13: 1859-1869.
- [53] Jiang Y M, Wang Y, Tan H S, *et al.* Schisandrol B protects against acetaminophen-induced acute hepatotoxicity in mice via activation of the NRF2/ARE signaling pathway [J]. *Acta Pharmacol Sin*, 2016, 37(3): 382-389.
- [54] Li X, Sun J, Fan X, *et al.* Schisandrol B promotes liver regeneration after partial hepatectomy in mice [J]. *Eur J Pharmacol*, 2018, 818: 96-102.
- [55] Gao D, Qu Y, Wu H. Inhibitory effects of schisantherin F from *Schisandra propinqua* subsp. *sinensis* on human melanoma A375 cells through ROS-induced mitochondrial dysfunction and mitochondria-mediated apoptosis [J]. *Nat Prod Res*, 2020, 34(10): 1486-1489.
- [56] Zhang J, Shi L L, Zheng Y N. Dibenzocyclooctadiene lignans from *Fructus Schisandrae Chinensis* improve glucose uptake *in vitro* [J]. *Nat Prod Commun*, 2010, 5(2): 231-234.
- [57] Hou X T, Deng J G, Zhang Q, *et al.* Cytotoxic ethnic Yao medicine Baizuan, leaves of *Schisandra viridis* A. C. Smith [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 194: 146-152.
- [58] Yang Y G, Hao E W, Pan X L, *et al.* Gomisin M2 from Baizuan suppresses breast cancer stem cell proliferation in a zebrafish xenograft model [J]. *Aging*, 2019, 11(19): 8347-8361.
- [59] Jung S, Moon H I, Kim S, *et al.* Anticancer activity of gomisin J from *Schisandra chinensis* fruit [J]. *Oncol Rep*, 2019, 41(1): 711-717.
- [60] Xu X, Rajamanicham V, Xu S, *et al.* Schisandrin A inhibits triple negative breast cancer cells by regulating Wnt/ER stress signaling pathway [J]. *Biomed Pharmacother*, 2019, 115: 108922.
- [61] Chen M, Kilgore N, Lee K H, *et al.* Rubrisandrins A and B, lignans and related anti-HIV compounds from *Schisandra rubriflora* [J]. *J Nat Prod*, 2006, 69(12): 1697-1701.
- [62] Xue Y B, Li X F, Du X, *et al.* Isolation and anti-hepatitis B virus activity of dibenzocyclooctadiene lignans from the fruits of *Schisandra chinensis* [J]. *Phytochemistry*, 2015, 116: 253-261.
- [63] Wu M D, Huang R L, Kuo L M, *et al.* The anti-HBsAg (human type B hepatitis, surface antigen) and anti-HBeAg (human type B hepatitis, e antigen) C₁₈ dibenzocyclooctadiene lignans from *Kadsura matsudai* and *Schizandra arisanensis* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2003, 51(11): 1233-1236.
- [64] Ma W H, Lu Y, Huang H, *et al.* Schisanwilsonins A-G and related anti-HBV lignans from the fruits of *Schisandra wilsoniana* [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2009, 19(17): 4958-4962.
- [65] Wang Q Y, Deng L L, Liu J J, *et al.* Schisanhenol derivatives and their biological evaluation against tobacco mosaic virus (TMV) [J]. *Fitoterapia*, 2015, 101: 117-124.
- [66] Wang H, Yang J X, Lou J, *et al.* 7,8-Secolignans from the fruits of *Schisandra neglecta* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2015, 17(1): 27-32.
- [67] Liu C C, Abd El-Razek M H, Liaw C C, *et al.* Arisanschinins A-E, lignans from *Schisandra arisanensis* hay [J]. *Planta Med*, 2010, 76(14): 1605-1610.
- [68] Wang X T, Yu J H, Li W, *et al.* Characteristics and antioxidant activity of lignans in *Schisandra chinensis* and *Schisandra sphenanthera* from different locations [J]. *Chem Biodivers*, 2018, 15(6): e1800030.
- [69] 马莹慧, 冯波, 朱鹤云, 等. 北五味子中总木脂素类成分的抗氧化及抗炎活性研究 [J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(11): 25-30.
- [70] 于方, 拓西平, 吕建勇, 等. 华中五味子酮对阿尔茨海默病样大鼠学习记忆功能及海马区核因子 κ B、诱导型一氧化氮合酶表达的影响 [J]. *第二军医大学学报*, 2007, 28(12): 1351-1355.
- [71] 吕建勇, 拓西平, 于方. 华中五味子酮对阿尔茨海默病模型大鼠学习记忆的影响及其机制的研究 [J]. *山西医药杂志*, 2007, 36(1): 27-29.

[责任编辑 崔艳丽]