

藜芦属植物化学成分和药理作用的研究进展

成孟华, 饶高雄*

云南中医药大学, 云南 昆明 650500

摘要: 百合科藜芦属 *Veratrum* 植物在我国传统医药中多作为中草药使用, 以其生物活性显著而受到广泛关注。目前已从藜芦属植物中分离得到 325 个化合物, 主要类型包括甾体生物碱类、萜类和黄酮类等化学成分, 具有降血压、抗血小板聚集和抗血栓形成、抗炎和镇痛、抗肿瘤等药理作用。对近年来藜芦属植物化学成分和药理作用的研究进展进行综述, 以期为该属植物的研究与开发提供参考。

关键词: 藜芦属; 甾体生物碱类; 萜类; 黄酮类; 降血压; 抗血小板聚集; 抗血栓形成

中图分类号: R282.710.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2021)18-5758-17

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.18.031

Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of plants from *Veratrum*

CHENG Meng-hua, RAO Gao-xiong

Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China

Abstract: The plants of Liliaceae *Veratrum* are used as Chinese herbal medicine in traditional Chinese medicine. It has attracted wide attention due to its remarkable biological activities. At present, 325 compounds were isolated from *Veratrum*, and the main types include steroidal alkaloids, stibene, flavonoids, and other chemical constituents, which had pharmacological activities, such as lowering blood pressure, antiplatelet aggregation and antithrombotic, anti-inflammatory and analgesic, antitumor, etc. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of plants of *Veratrum* were reviewed in this paper, in order to provide a theoretical basis for rational development and utilization of plants of *Veratrum*.

Key words: *Veratrum* L.; steroidal alkaloids; stibene; flavonoids; lowering blood pressure; antiplatelet aggregation; antithrombotic

百合科 (Liliaceae) 藜芦属 *Veratrum* L. 植物广泛分布于北温带地区,《中国植物志》记载我国有 13 种 1 变种^[1]。此后,陈世忠等^[2]于 1991 年报道发现南川藜芦 *V. nanchuan* S. Z. Chen et G. J. Xu 和贡山藜芦 *V. gongshanense* S. Z. Chen et G. J. Xu 2 个新种。藜芦属植物以其生物活性显著而受到研究关注。藜芦属植物在我国多作为中草药使用,《神农本草经》记载藜芦“主蛊毒,咳逆,泄痢,肠癖,头疡,疥瘙。恶疮,杀诸虫毒,去死肌”^[3];披麻草是云南白药的组方药物^[4]。现代研究表明藜芦属植物成分具有降血压、抗血小板聚集和抗血栓形成、抗炎和镇痛、抗肿瘤等药理作用。本文对近年来藜芦属植物化学成分和药理作用的研究进展进行综述,以期

为该属植物的研究和开发利用提供参考。

1 化学成分

从藜芦属植物中分离得到的次生代谢产物有 349 个,主要是甾体生物碱类、萜类和黄酮类成分,这 3 类成分是藜芦属植物中化合物数量最多、总含量最高的生物活性物质,其中的甾体生物碱类又以数量多、活性强而成为藜芦属植物最具代表性的活性物质。除了上述 3 类主要成分之外,藜芦属植物中还存在香豆素类、木脂素类、植物甾醇类和脂肪酸类等其他成分。

1.1 甾体生物碱类

甾体生物碱是藜芦属的主要生物活性成分,从藜芦属中分离得到的甾体生物碱类化合物主要包括

收稿日期: 2020-10-21

作者简介: 成孟华 (1994—), 女, 云南昭通人, 硕士研究生, 研究方向为中药化学。Tel: 18487178886 E-mail: 2939595486@qq.com

*通信作者: 饶高雄 (1965—), 男。Tel: (0871) 65919635 E-mail: Rao_gx@163.com

西藜芦碱类、介藜芦碱类、藜芦胺类、维藜芦碱类和茄啶碱类化合物。

1.1.1 西藜芦碱类 西藜芦碱类是藜芦属中最重要的一类化学成分，属于异胆甾烷类生物碱，是异甾核和喹诺里西啶桥合而成的杂环骨架六环化合物。

目前已从藜芦属植物中分离纯化得到 64 个西藜芦碱类化合物（1~64），植物来源见表 1、化学结构见图 1。此类成分多具有显著的生物活性，如化合物 41、42 对小鼠白血病 L1210 细胞和人表皮癌 KB 细胞有细胞毒活性^[25]。

表 1 藜芦属植物中的西藜芦碱类生物碱

Table 1 Cevanine type alkaloids in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
1	germalininine	藜芦 <i>V. nigrum</i> L.	5
2	计莫林碱	藜芦	5
3	单乙酰棋盘花碱	藜芦	5
4	计米丁	藜芦	5
5	新计米定	藜芦	5
6	哥特春	阿尔泰藜芦 <i>V. lobelianum</i> Bernh	6
7	狭叶藜芦碱甲	狭叶藜芦 <i>V. stenophyllum</i> Diels	7
8	maackinine	毛穗藜芦 <i>V. maackii</i> Regel	8
9	germitrine	天目藜芦 <i>V. schindleri</i> Loes. f.	9
10	乌苏瑞宁	乌苏里藜芦 <i>V. nigrum</i> var. <i>ussuriense</i> Naikai	10
11	异计莫林	乌苏里藜芦	10
12	15-当归酰基计明碱	兴安藜芦 <i>V. dahuricum</i> (Turcz.) Loes. f.	11
13	计明碱	兴安藜芦	11
14	3-藜芦酰基棋盘花胺	兴安藜芦	11
15	3-藜芦酰基计明碱	兴安藜芦	11
16	棋盘花胺	兴安藜芦	11
17	3-藜芦酰基-15-异戊酰基计明碱	兴安藜芦	11
18	当归酰基棋盘花胺	兴安藜芦	11
19	3-藜芦酰基-15-当归酰基计明碱	兴安藜芦	11
20	3-乙酰基-15-当归酰基计明碱	兴安藜芦	11
21	3,7-二乙酰基-15-当归酰基计明碱	兴安藜芦	11
22	(±)-15- <i>O</i> -(2-methylbutyroyl)germine	乌苏里藜芦	12
23	germinine	阿尔泰藜芦	13
24	3,15-di- <i>O</i> -(2-methylbuty-royl)germine	阿尔泰藜芦	14
25	3-当归酰基计明碱	天目藜芦	15
26	germanitrine	天目藜芦	15
27	neogermitrine	毛穗藜芦	9
28	protoveratridine	毛穗藜芦	9
29	2-methylbutyryzygadenine	天目藜芦	9
30	verussurine	乌苏里藜芦	16
31	germanidin	藜芦	17
32	3-双羟基异戊酰基-15-异戊酰基计明碱	藜芦	18
33	(3 <i>S</i> ,15 <i>S</i>)-3β-当归酰基-15α-乙酰基棋盘花胺	毛叶藜芦 <i>V. grandiflorum</i> (Maxim.) Loes. f.	19
34	neoverataline A	大理藜芦 <i>V. taliense</i> Loes. f.	20
35	neoverataline B	大理藜芦	20
36	shinonomenine	毛叶藜芦	21
37	veramarine	兴安藜芦	22
38	<i>O</i> -acetylveramarine	<i>V. album</i> subsp. <i>lobelianum</i> (Bernh) Suessenguth. Chem	23
39	veraflorizine	毛叶藜芦	21
40	veramarine-3-yl formate	藜芦	24
41	veramadines A	黑紫藜芦 <i>V. maackii</i> var. <i>japonicum</i> (Baker) Loes. f.	25
42	veramadines B	黑紫藜芦	25
43	veralodine	阿尔泰藜芦	26
44	dediacetylpro A	藜芦	5
45	deacetylprotoveratrine B	藜芦	5

续表 1

编号	化合物名称	植物来源	文献
46	protoveratrine A	藜芦	17
47	deacetylprotoveratrine A	藜芦	17
48	xinganveratrine	藜芦	17
49	3-藜芦酰基原藜芦碱	藜芦	18
50	15-异戊酰基-3-藜芦酰基原藜芦碱	藜芦	18
51	germbudine	绿藜芦 <i>V. viride</i> Aiton	27
52	protoveratrine C	白藜芦 <i>V. album</i> L.	28
53	veratrine	沙巴藜芦 <i>V. sabadilla</i> (<i>Asagroea officinalis</i>)	29
54	12 β -hydroxyl veratroylzygadenine	藜芦	30
55	cevadine	长梗藜芦 <i>V. oblongum</i> Loes. f.	31
56	veratridine	藜芦	32
57	15- <i>O</i> -(2-methylbutanoyl)-3- <i>O</i> -veratroylprotoverine	兴安藜芦	33
58	原藜芦碱 B	藜芦	18
59	neojerminalanine	白藜芦	34
60	vanilloylzygadenine	长梗藜芦	31
61	cevine	沙巴藜芦	35
62	3-angeloylzygadenine- β - <i>N</i> -oxide	大理藜芦	36
63	neogermine	黑紫藜芦	25
64	异棋盘花胺	乌苏里藜芦	10

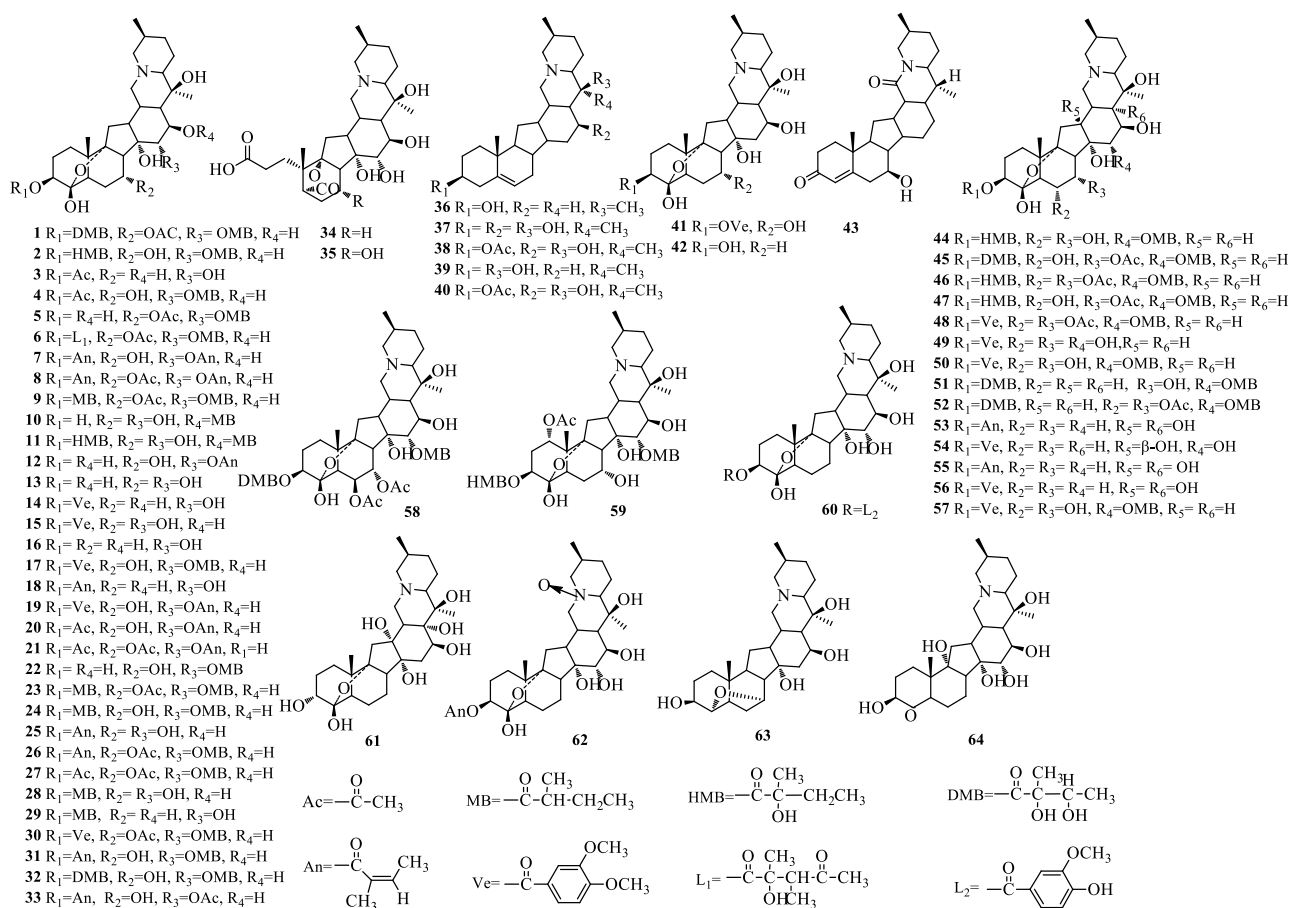


图 1 藜芦属植物中西藜芦碱类生物碱的化学结构

Fig. 1 Chemical structures of cevanine type alkaloids in plants from *Veratrum*

1.1.2 介藜芦碱类 介藜芦碱也是一类具有异甾核结构,且五元环(C环)和六元环(D环)异位的六环生物碱类成分,结构特点是E环断裂后又在C₁₇和C₂₃之间形成氧桥重组为二氢呋喃五元环,且与D环以螺环模式连接。目前已从藜芦属植物中分离得到30个介藜芦碱类化合物(65~94),植物来源见表2、化学结构见图2。此类成分多具有显著的生物活性,如化合物77、93对人神经胶质瘤SF188细胞具有细胞毒活性^[42]。

1.1.3 藜芦胺类 藜芦胺类生物碱与介藜芦碱类似,结构特点是E环断裂后在C₁₇和C₂₃之间没有形成氧桥,没有重构E环。目前已从藜芦属植物中分离得到29个藜芦胺类化合物(95~123),植物来

源见表3、化学结构见图3。虽然此类生物碱数量不多,但往往是含量最多的一类生物碱。

1.1.4 维藜芦碱类 维藜芦碱类生物碱与藜芦胺类结构类似,不存在E环,但F环围绕氮杂环的氮原子有各种结构变化,且大多在C₅和C₆之间有双键。目前已从藜芦属植物分离得到47个维藜芦碱类化合物(124~170),植物来源见表4,化学结构见图4。此类成分多具有显著的生物活性,如化合物137~139对Hedgehog通路具有抑制活性^[48],化合物154、155对人骨髓细胞白血病HL-60细胞、人肝癌SMMC-7721细胞、人肺腺癌A-549细胞、人乳腺癌MCF-7细胞和人结肠癌SW480细胞均具有细胞毒活性^[47]。

表2 藜芦属植物中的介藜芦碱类生物碱

Table 2 Jervine type alkaloids in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
65	乌苏新碱 A	乌苏里藜芦	10
66	乌苏新碱 B	乌苏里藜芦	10
67	N-甲酰乙酯基伪介芬胺	乌苏里藜芦	10
68	N-甲酰甲酯基伪介芬胺	乌苏里藜芦	10
69	介芬胺	兴安藜芦	11
70	伪介芬胺	兴安藜芦	11
71	jervine-3-yl formate	藜芦	24
72	15-β-羟基介芬胺	狭叶藜芦	37
73	O-acetyljervine	藜芦	38
74	verapatulin	兴安藜芦	39
75	verdine	光脉藜芦 <i>Veratrum patulum</i> L.	40
76	1-hydroxy-5,6-dihydrojervine	白藜芦	41
77	(1β,3α,5β)-1,3-dihydroxyjervanin-12-en-11-one	藜芦	42
78	2β-hydroxylverdine	兴安藜芦	43
79	(1β,3β,5β)-1,3-dihydroxyjervanin-12(13)-en-11-one	藜芦	24
80	veratraline C	大理藜芦	4
81	dihydrojervine	大理藜芦	4
82	环杷明	兴安藜芦	11
83	veratrobazine	兴安藜芦	11
84	23-甲氧基环杷明	藜芦	18
85	3-O-β-glucoside-23-methoxylcyclopamine	毛穗藜芦	44
86	cycloposine	山藜芦 <i>V. californicum</i> (Durand)	45
87	13α-羟基-Δ ¹¹ -环杷明	狭叶藜芦	37
88	jerv-5,11-diene-3β,13β-diol	藜芦	24
89	14α-羟基-Δ ¹¹ -环杷明	兴安藜芦	11
90	veratraline A	大理藜芦	4
91	neoverapatuline	藜芦	42
92	veratraline B	大理藜芦	4
93	jervinonez	白藜芦	46
94	6,7-epoxyverdine	大理藜芦	47

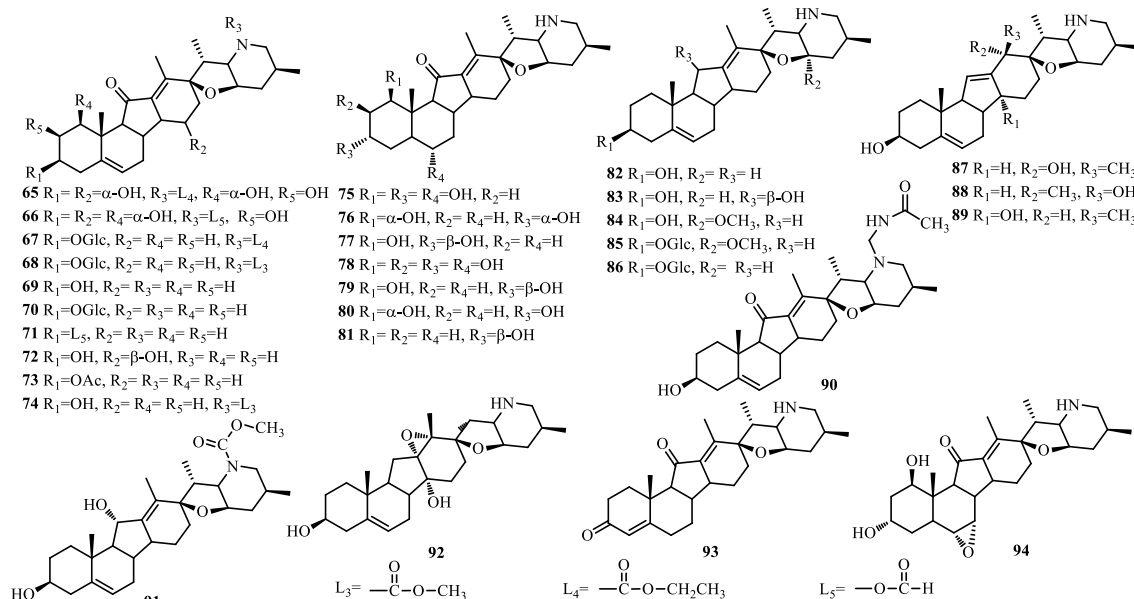


图2 藜芦属植物中介藜芦碱类生物碱的化学结构

Fig. 2 Chemical structures of jervine type alkaloids in plants from *Veratrum*

表3 藜芦属植物中的藜芦胺类生物碱

Table 3 Veratramine type alkaloids in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
95	藜芦胺	兴安藜芦	11
96	藜芦托素	兴安藜芦	11
97	veratramine-3-yl acetate	藜芦	24
98	1 α -hydroxy veratramine	狭叶藜芦	37
99	7 α -hydroxy veratramine	狭叶藜芦	37
100	1 β ,7 α -dihydroxy veratramine	狭叶藜芦	37
101	veratramine-23- <i>O</i> - α -D-glucopyranoside	光脉藜芦	40
102	verarine	毛叶藜芦	48
103	isoveratramine	藜芦	49
104	veratravine D	大理藜芦	50
105	veratravine G	大理藜芦	50
106	veratravine H	大理藜芦	50
107	dihydroveratramine	白藜芦	51
108	(22 <i>S</i> ,23 <i>R</i> ,25 <i>S</i>)-23- <i>O</i> - β -D-glucopyranosyl-5,11,13-veratratrione-3 β ,23-diol	光脉藜芦	52
109	$\Delta^{5,11,13}$ -veratratrione-3 β ,23 β -diol	狭叶藜芦	37
110	20-isoveratramine-23- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	光脉藜芦	53
111	20 β -羟基藜芦托素	藜芦	49
112	5,6-epoxy veratramine	藜芦	54
113	1 β -hydroxy veratramine-1- <i>O</i> -sulfate	藜芦	54
114	dihydroveratram-3-one	毛叶藜芦	55
115	veramanine	白藜芦	34
116	藜芦胺-N-氧化物	蒙自藜芦 <i>V. mengtzeanum</i> Loes. f	56
117	(20 <i>R</i> ,22 <i>S</i> ,25 <i>S</i>)-veratra-5,13-dien-3 β -ol	兴安藜芦	33
118	veratravine A	大理藜芦	50
119	veratravine B	大理藜芦	50
120	veratravine C	大理藜芦	50
121	veratravine E	大理藜芦	50
122	veratravine F	大理藜芦	50
123	<i>N</i> -methyl-veratramine	大理藜芦	50

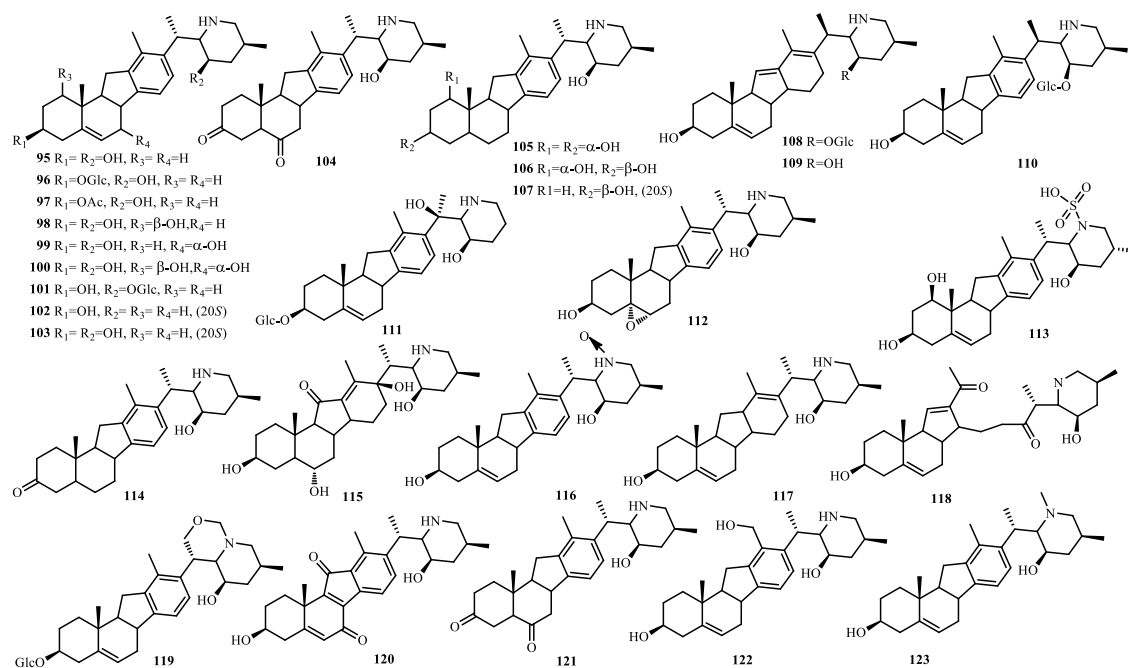


图 3 藜芦属植物中藜芦胺类生物碱的化学结构

Fig. 3 Chemical structures of veratramine type alkaloids in plants from *Veratrum*

表 4 藜芦属植物中的维藜芦碱类生物碱

Table 4 Verazine from type alkaloids in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
124	藜芦嗉	兴安藜芦	11
125	etioline	毛穗藜芦	11
126	verazinine	天目藜芦	9
127	(-)-veramitaline	大理藜芦	36
128	epi-verazine	藜芦	57
129	veralosinine	阿尔泰藜芦	58
130	veralosidine	阿尔泰藜芦	58
131	isoveralosinine	阿尔泰藜芦	59
132	veralosine	阿尔泰藜芦	59
133	16-去乙酰藜芦洛素	阿尔泰藜芦	60
134	hakurirodine	毛叶藜芦	61
135	veralosidinine	阿尔泰藜芦	62
136	(-)-veranigrine	藜芦	63
137	(20R,25R)-12 β -O-acetyl-20 β -hydroxyisoverazine-3-O- β -D-glucopyranoside	毛叶藜芦	48
138	(20R,25R)-12 β -O-acetyl-20 β -hydroxyisoverazine	毛叶藜芦	48
139	isoveralosine	毛叶藜芦	48
140	(-)-teinemine	毛叶藜芦	64
141	isoteinemine	毛叶藜芦	64
142	大理藜芦碱 B	大理藜芦	65
143	狭叶藜芦碱乙	狭叶藜芦	7
144	veramiline-3-O- β -D-glucopyranoside	大理藜芦	66
145	狭叶藜芦碱丁	狭叶藜芦	7
146	alkamine	毛叶藜芦	55
147	大理藜芦碱 D	大理藜芦	67
148	veramiline	<i>V. album</i> subsp. <i>lobelianum</i>	68

续表 4

编号	化合物名称	植物来源	文献
149	veramivirine	绿藜芦	69
150	oblonginine	长梗藜芦	31
151	baikene	毛叶藜芦	70
152	muldamine	山藜芦	71
153	baikeldine	毛叶藜芦	72
154	3- <i>O</i> -acetylveralkamine	大理藜芦	47
155	veralkamine 3-(β - <i>D</i> -glucopyranoside)	大理藜芦	47
156	veralkamine	大理藜芦	47
157	veralomine	天目藜芦	9
158	diacetylveralkamine	阿尔泰藜芦	52
159	glucoveracintine	<i>V. album</i> subsp. <i>lobelianum</i>	73
160	veracintine	<i>V. album</i> subsp. <i>lobelianum</i>	74
161	33-rhamnoveracintine	<i>V. album</i> subsp. <i>lobelianum</i>	75
162	番茄立碇碱	毛穗藜芦	44
163	tomatillidine-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	兴安藜芦	43
164	procevine	毛叶藜芦	21
165	veramine	尖被藜芦 <i>Veratrum oxysepalum</i> Turcz	76
166	(3 <i>S</i> ,8 <i>R</i> ,9 <i>S</i> ,10 <i>R</i> ,13 <i>S</i> ,14 <i>S</i> ,16 <i>R</i> ,17 <i>S</i> ,20 <i>R</i> ,22 <i>S</i> ,25 <i>S</i> ,28 <i>S</i>)- <i>N</i> -ethyl-16,28-secosolanidine-5-ene-3-hydroxy,16,28-epoxy,17,28-epoxy,(3 β)	毛叶藜芦	55
167	verdinine	阿尔泰藜芦	14
168	(20 <i>R</i> ,25 <i>R</i>)-isoveralodinine	毛叶藜芦	48
169	tetrahydroveralkamine	阿尔泰藜芦	52
170	isoecliptalbine	毛穗藜芦	77

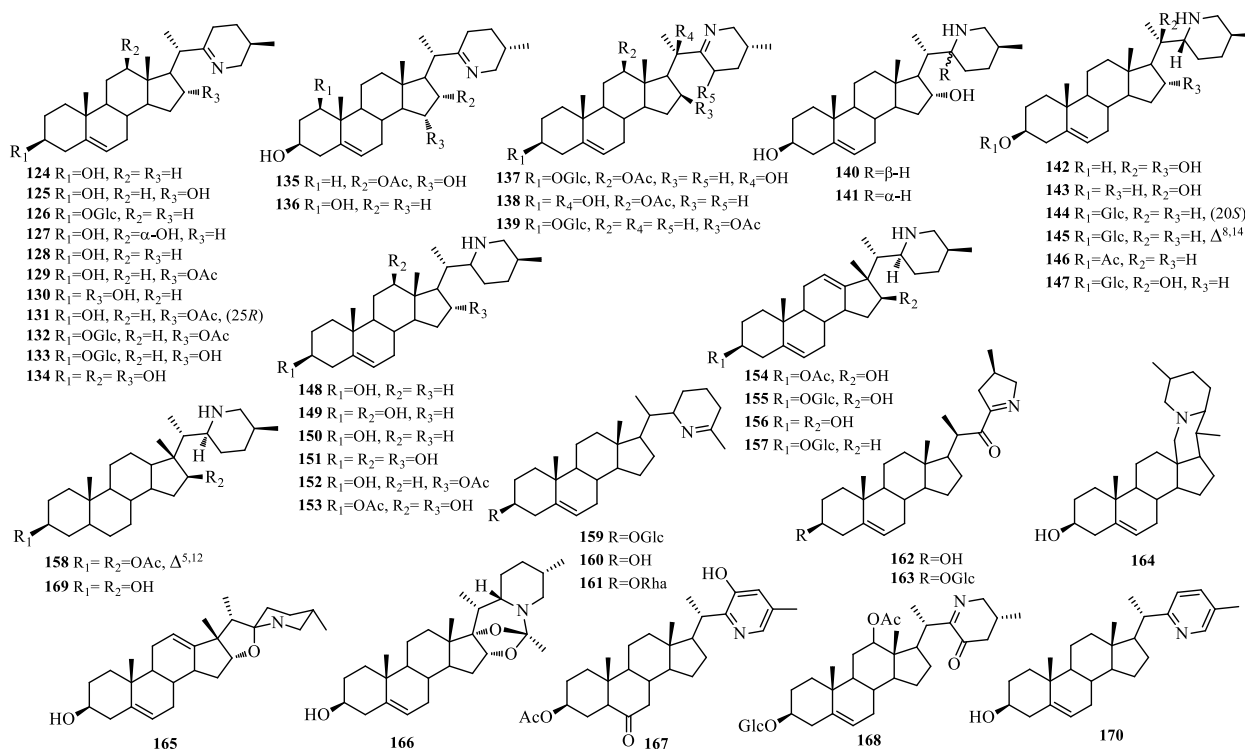


图 4 藜芦属植物中维藜芦碱类生物碱的化学结构

Fig. 4 Chemical structures of verazine type alkaloids in plants from *Veratrum*

1.1.5 茄啶碱类 茄啶碱属于胆甾烷类生物碱，五元环（D 环）和六元环（C 环）正常排列，具有胆甾烷与吲哚里西啶骈合成六环骨架。目前已从藜芦属植物中分离得到 9 个茄啶碱类化合物（171～179），植物来源见表 5、化学结构见图 5。此类生物碱数量不多，但往往是含量较多的一类生物碱。

1.1.6 其他类生物碱 除了上述 5 类主要的代表性生物碱成分之外，藜芦属植物中也存在少数其他类型的生物碱化合物，化学结构见图 6。从毛叶藜芦中分离得到吲哚生物碱 neoechinulin A（180）和吡咯生物碱 acortatarins A（181）^[55]，从兴安藜芦中分离得到秋水仙碱（182）、钩吻素子（183）^[11,81]，从藜芦中分离得到藜芦喹诺里西丁碱（184）和烟酸

（185）^[5]，从乌苏里藜芦里面分到橙黄胡椒酰胺（186）和刺孢麴霉碱（187）^[82-83]。

表 5 藜芦属植物中的茄啶碱类生物碱

Table 5 Solanidine type alkaloids in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
171	表红介藜芦碱	毛叶藜芦	55
172	茄定碱	毛叶藜芦	55
173	rubijervine	藜芦	42
174	异红介藜芦碱	天目藜芦	78
175	rubivirine	绿藜芦	69
176	isorubijervosine	<i>V. eschscholtzii</i> Gray	79
177	β1-查茄碱	狭叶藜芦	7
178	γ-solanine	阿尔泰藜芦	80
179	veralobine	阿尔泰藜芦	72

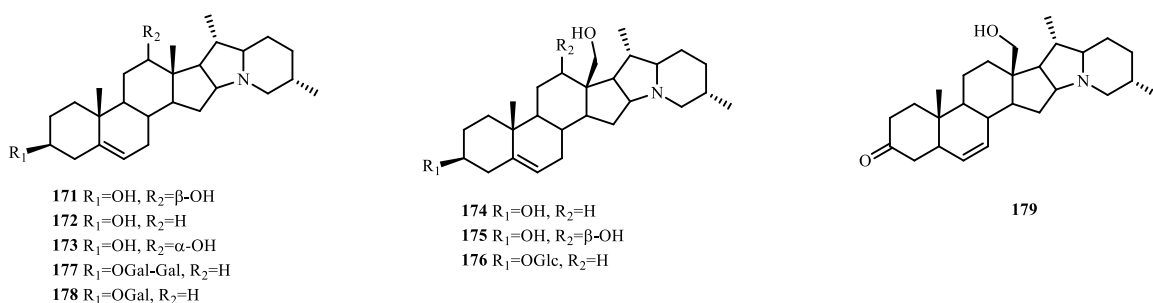


图 5 藜芦属植物中茄啶碱类生物碱的化学结构

Fig. 5 Chemical structures of solanidine type alkaloids in plants from *Veratrum*

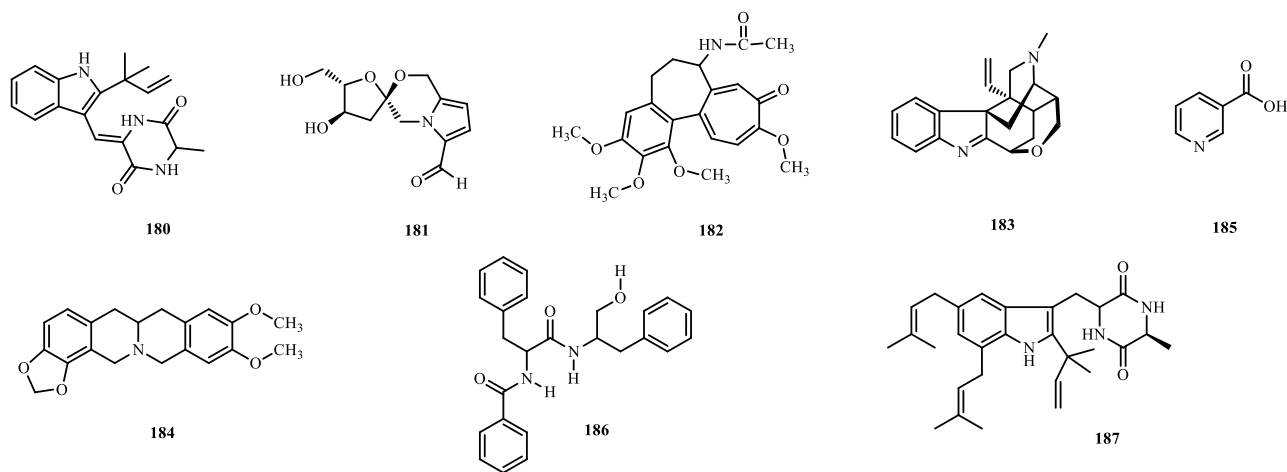


图 6 藜芦属植物中其他类生物碱的化学结构

Fig. 6 Chemical structures of other alkaloids in plants from *Veratrum*

1.2 芪类

芪类是具有二苯乙烯基本母核的一类酚性成分，按其结构可分为二苯乙烯类、二苯乙基类和菲类^[84]。目前已从藜芦属植物中分离得到 31 个芪类

化合物（188～218），植物来源见表 6、化学结构见图 7。此类成分因为普遍存在较多的酚羟基而具有很强的抗氧化活性，典型代表是白藜芦醇（190）及其类似物。

表 6 藜芦属植物中的芪类化合物

Table 6 Stilbenes type compounds in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
188	3,5,4'-三羟基二苯乙烯	藜芦	5
189	<i>E</i> -白藜芦醇苷	兴安藜芦	11
190	白藜芦醇	兴安藜芦	11
191	4'-甲基白藜芦醇苷	兴安藜芦	11
192	2'-羟基白藜芦醇-3- <i>O</i> -葡萄糖苷	兴安藜芦	11
193	白藜芦醇-4'- <i>O</i> -葡萄糖苷	兴安藜芦	11
194	2'-羟基白藜芦醇-4'- <i>O</i> -葡萄糖苷	兴安藜芦	11
195	5-甲基白藜芦醇-3,4'- <i>O</i> -二葡萄糖苷	兴安藜芦	11
196	3,3',4,5'-四羟基二苯乙烯	狭叶藜芦	37
197	resveratrol-3- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glucopyranoside	大理藜芦	50
198	桑皮苷 E	毛叶藜芦	85
199	isorhapontin	大理藜芦	86
200	(<i>E</i>)-白藜芦醇-4,3'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -二吡喃葡萄糖苷	毛穗藜芦	87
201	(<i>E</i>)-3'-甲基白藜芦醇-3,4'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -二吡喃葡萄糖苷	毛穗藜芦	87
202	(<i>E</i>)-白藜芦醇-3,5- <i>O</i> -β- <i>D</i> -二吡喃葡萄糖苷	毛穗藜芦	87
203	(<i>E</i>)-2'-羟基白藜芦醇-3- <i>O</i> -β- <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷	毛穗藜芦	87
204	(<i>E</i>)-2'-羟基白藜芦醇-3,4'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -二吡喃葡萄糖苷	毛穗藜芦	87
205	3,5,2',4'-四羟基芪	乌苏里藜芦	88
206	5-methylresveratrol-3,4'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -diglucopyranoside	兴安藜芦	89
207	4'-methylresveratrol-3- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glycoside	兴安藜芦	89
208	oxyresveratrol-4'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glycoside	兴安藜芦	89
209	oxyresveratrol-3,4'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -diglycoside	兴安藜芦	89
210	oxyresveratrol-3- <i>O</i> -β- <i>D</i> -glycoside	兴安藜芦	89
211	氧化白藜芦醇-2- <i>O</i> -β- <i>D</i> -葡萄糖苷	藜芦	90
212	(<i>Z</i>)-2'-羟基白藜芦醇-3,4'- <i>O</i> -β- <i>D</i> -二吡喃葡萄糖苷	毛穗藜芦	87
213	桑皮苷 F	毛叶藜芦	85
214	verussustilbene	乌苏里藜芦	91
215	2,3',4,5'-四羟基二苯乙烯	藜芦	5
216	(<i>Z</i>)-白藜芦醇苷	兴安藜芦	11
217	桑皮苷 A	毛叶藜芦	85
218	桑皮苷 D	毛叶藜芦	85

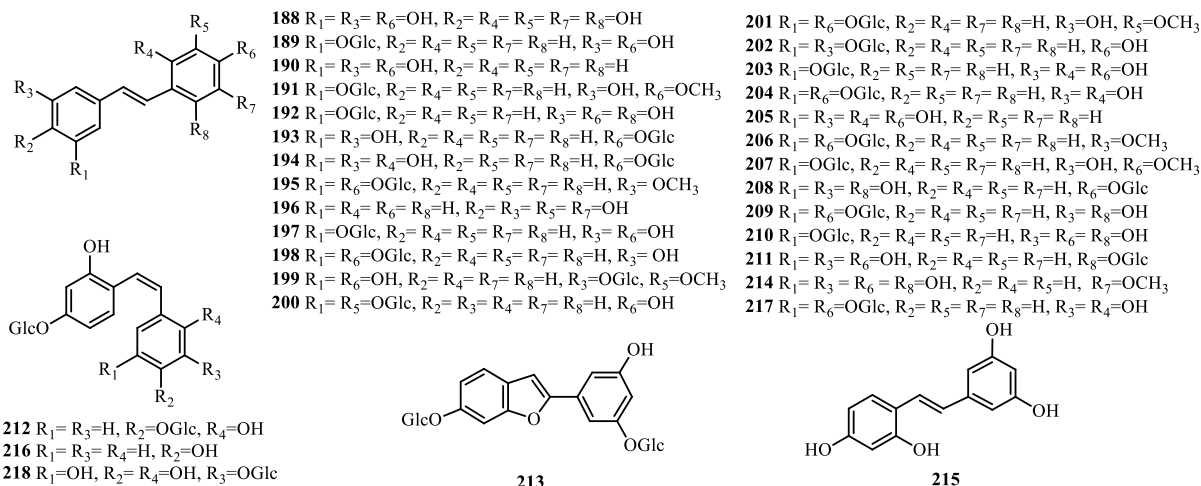


图 7 藜芦属植物中芪类化合物的化学结构

Fig. 7 Chemical structures of stilbenes in plants from *Veratrum*

1.3 黄酮类

黄酮类是藜芦属植物中除了芪类成分之外的另一类酚性成分,目前已经从藜芦属植物中分离得到 46 个黄酮类化合物(219~264),其植物来源见

表 7、化学结构见图 8。此类成分具有多方面的生物活性,如化合物 252 对人肝癌 HepG-2 细胞、MCF-7 细胞和人肺腺癌 A549 细胞具有细胞毒作用^[92]。

表 7 藜芦属植物中的黄酮类化合物
Table 7 Flavonoids in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
219	异鼠李素	藜芦	5
220	4'-甲氧基-异鼠李素-3-O-鼠李糖苷	藜芦	5
221	3-甲氧基异鼠李素	藜芦	5
222	3,5,7,4'-四羟基-3'-甲氧基黄酮	藜芦	5
223	3-甲氧基槲皮素	藜芦	5
224	4'-甲氧基-异鼠李素-3-O-β-D-葡萄糖苷	藜芦	5
225	3-甲氧基-异鼠李素-7-O-β-D-葡萄糖苷	藜芦	5
226	异鼠李素-3-O-β-D-葡萄糖苷	藜芦	5
227	异鼠李素-3-O-鼠李糖苷	藜芦	5
228	3,5,7-三羟基-3',5'-二甲氧基黄酮	藜芦	5
229	5,7,3',5'-四羟基黄酮	藜芦	5
230	槲皮素-7-O-鼠李糖苷	藜芦	5
231	槲皮素	兴安藜芦	11
232	金合欢素	兴安藜芦	11
233	3',4',7-三甲基木犀草素	兴安藜芦	11
234	4'-甲基异鼠李素	兴安藜芦	11
235	木犀草素	兴安藜芦	11
236	芹菜素	兴安藜芦	11
237	山柰酚	兴安藜芦	11
238	金合欢素-7-O-葡萄糖苷	兴安藜芦	11
239	芹菜素-7-O-葡萄糖苷	兴安藜芦	11
240	木犀草素-7-O-葡萄糖苷	兴安藜芦	11
241	4',5,7 三羟基-6-甲氧基黄酮-7-O-葡萄糖苷	兴安藜芦	11
242	异泽兰素	兴安藜芦	11
243	4'-羟基-3',5'-二甲氧基黄酮-7-O-葡萄糖苷	兴安藜芦	11
244	kaempferol-3-O-rhamnopyranoside	天目藜芦	15
245	acacetin-7-O-glucoside	兴安藜芦	92
246	chrysoeriol-7-O-glucoside	毛叶藜芦	93
247	4'-methoxyl-glucotricin	藜芦	94
248	nepetin 4'-glucoside	大理藜芦	50
249	pectolinarigenin	兴安藜芦	92
250	isokaempferide	天目藜芦	95
251	7,4'-二甲氧基-4-羟基橙酮-6-O-β-D-葡萄糖苷	兴安藜芦	43
252	(Z)-7-4'-dimethoxy-6-hydroxyl-aurone-4-O-β-glucopyranoside	兴安藜芦	96
253	kaempferol-3-O-(2-O-acetyl-rhamnopyranoside)	天目藜芦	15
254	kaempferol-3-O-(2,4-O-diacetyl-rhamnopyranoside)	天目藜芦	15
255	kaempferol-3-O-(3,4-O-diacetyl-rhamnopyranoside)	天目藜芦	15
256	kaempferol-3-O-(2,3,4-O-triacetyl-rhamnopyranoside)	天目藜芦	15
257	槲皮素-3-O-葡萄糖苷	兴安藜芦	11
258	槲皮素-3-O-鼠李糖苷	兴安藜芦	11
259	异槲皮苷	藜芦	18
260	quercetin-3-O-sophoroside	兴安藜芦	92
261	5-hydroxy-4',7-dimethoxyflavone	兴安藜芦	92
262	(Z)-4-methoxy-6,4'-dihydroxyaurone	天目藜芦	15
263	白杨素	毛叶藜芦	85
264	槲皮素-4'-O-β-D-葡萄糖苷	毛叶藜芦	85

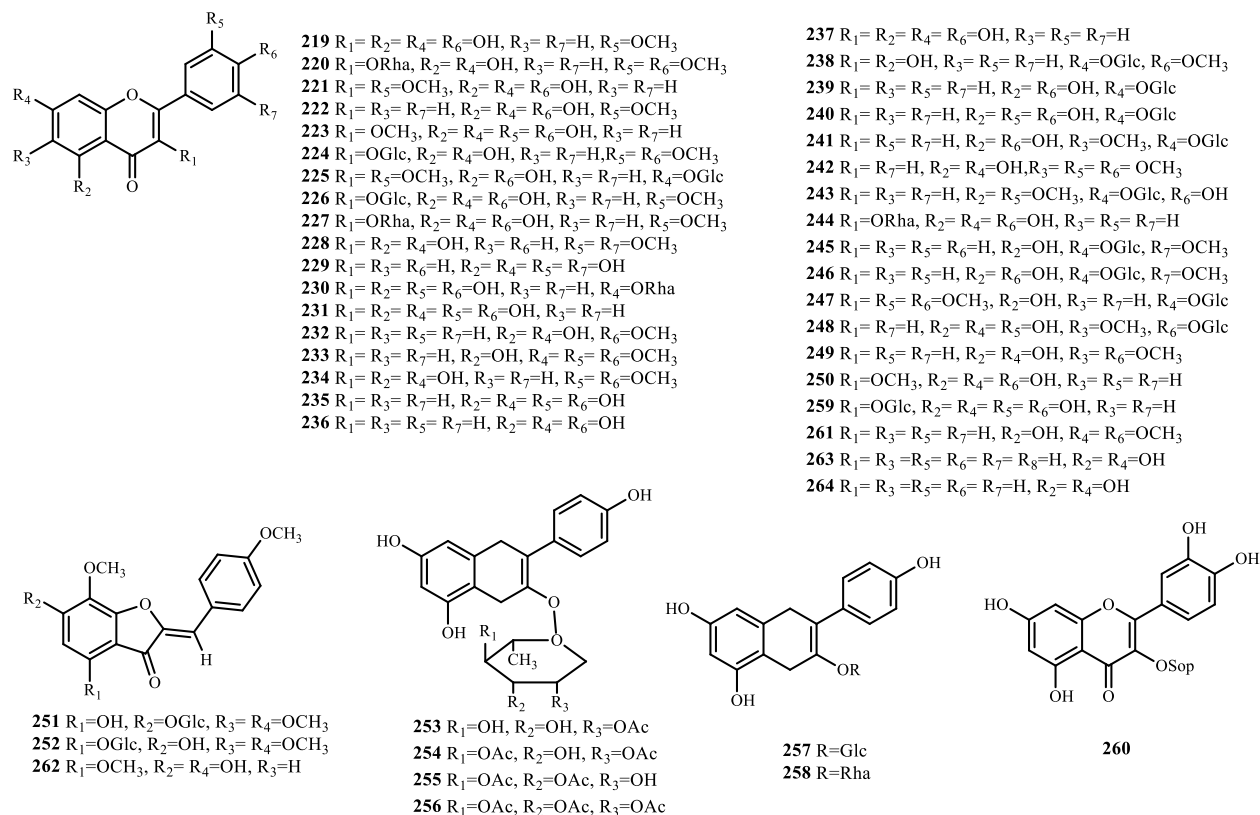


图 8 藜芦属植物中黄酮类化合物的化学结构

Fig. 8 Chemical structures of flavonoids in plants from *Veratrum*

1.4 其他成分

除了上述主要类型的化学成分外, 藜芦属植物中还含有脂肪酸类、植物甾醇类、木脂素类、二肽

类、五环三萜类和香豆素类化合物等其他成分(265~325), 植物来源见表 8。但这些成分大多是高等植物中普遍含有的一般成分。

表 8 藜芦属植物中的其他类成分

Table 8 Other constituents in plants from *Veratrum*

编号	化合物名称	植物来源	文献
265	阿魏酸	藜芦	5
266	阿魏酸甲醚	藜芦	5
267	4-甲氧基肉桂酸	藜芦	5
268	对羟基肉桂酰阿魏酸	藜芦	5
269	2,3-二羟基丙酸	藜芦	5
270	齐墩果酸	藜芦	5
271	白桦脂酸	藜芦	5
272	6,7-二羟基香豆素	藜芦	5
273	二甲基色原酮	藜芦	5
274	5,7-二羟基色原酮	藜芦	5
275	3,3'-二羟基 4,4'-二甲氧基联苯	藜芦	5
276	1,2,3-邻苯三酚	藜芦	5
277	苯甲酸	兴安藜芦	11
278	蜡醇	兴安藜芦	11
279	对羟基苯甲酸乙酯	天目藜芦	15
280	紫丁香酸	天目藜芦	15

续表 8

编号	化合物名称	植物来源	文献
281	3,4-二羟基苯甲酸	天目藜芦	15
282	对羟基苯甲酸	天目藜芦	15
283	胡萝卜苷	天目藜芦	15
284	β -谷甾醇	天目藜芦	15
285	豆甾醇	天目藜芦	15
286	6,8,9-trihydroxy-dihydrotheaspirane	天目藜芦	15
287	veraphenol	大理藜芦	17
288	正二十三醇甘油酯	藜芦	18
289	正十七烷酸甘油酯	藜芦	18
290	软脂酸-1-甘油单酯	兴安藜芦	39
291	neoveratrenon	兴安藜芦	39
292	1-[11-(ferulyloxy)undecanoyl]glycerol	兴安藜芦	39
293	正十二烷酸甘油酯	光脉藜芦	40
294	正二十五烯酸甘油酯	光脉藜芦	40
295	甘露醇	兴安藜芦	43
296	14abeo-3 β -hydroxyandrost-12(13)-en-17-one	大理藜芦	50
297	heneicosylic acid	毛叶藜芦	55
298	monostearin	毛叶藜芦	55
299	棕榈酸	毛叶藜芦	55
300	松脂素	毛叶藜芦	55
301	雅姆皂苷元	毛叶藜芦	55
302	蜡酸	蒙自藜芦	56
303	硬脂酸	蒙自藜芦	56
304	白花前胡甲素	毛叶藜芦	85
305	藜芦呋喃素	乌苏里藜芦	88
306	litseaefolioside B	藜芦	90
307	1-O-反式对香豆酰甘油	藜芦	90
308	1,3-O-二反式对香豆酰甘油	藜芦	90
309	间苯二酚	藜芦	90
310	4-hydroxybenzoic	天目藜芦	95
311	3,5-dihydroxybenzyl alcohol	天目藜芦	95
312	3,5-dihydroxybenzal dehyde	天目藜芦	95
313	正二十八烷醇	黑紫藜芦	97
314	二十六烷酸单甘油酯	藜芦	98
315	丁香脂素	藜芦	98
316	薯蓣次苷 A	藜芦	98
317	棕榈酸乙酯	阿尔泰藜芦	99
318	亚油酸乙酯	阿尔泰藜芦	99
319	香草酸	毛穗藜芦	100
320	壬烷酸单甘油酯	毛穗藜芦	100
321	栲皮树脂醇	毛穗藜芦	100
322	异阿魏酸	乌苏里藜芦	101
323	3,5-二羟基苯甲酸	乌苏里藜芦	101
324	2-(3-hydroxy-2,5-dimethoxyphenyl)-7-methoxybenzofuran-6-ol	乌苏里藜芦	101
325	3 β -hydroxy- $\Delta^{5,16}$ -pregnadiene-20-one	毛叶藜芦	102

2 药理活性

现代研究表明藜芦属植物成分具有降血压、抗血小板聚集和抗血栓形成、抗炎和镇痛、抗肿瘤等药理作用。

2.1 降血压

甾体生物碱为藜芦属植物中最早发现具有降血压活性的药物。李淑媛等^[103]研究发现盐酸乌苏里藜芦碱 1 $\mu\text{g/kg}$ 可使受试动物的血压、左室内压、左室内压变化速率、左室做功指数、心肌耗氧指数发生显著降低 ($P < 0.01$)，盐酸乌苏里藜芦碱 3 $\mu\text{g/kg}$ 使 CO 明显减少 ($P < 0.05$)。提示盐酸藜芦碱的降血压作用主要是通过扩张血管、降低心脏负荷来实现的，有效剂量的降血压作用持续时间可达 30 min 以上。Li 等^[104]通过采用免疫细胞化学定量方法观察乌苏里藜芦 30 $\mu\text{g/kg}$ 能增强肾性高血压大鼠 (rebal hypertensive rats, RHA) 脑内的 C1、C2、A5 区儿茶酚胺能神经元的活性，发挥其降血压作用。李伟等^[105]通过椎动脉和股静脉给药，发现黑藜芦生物碱对血压无明显影响，发现其降血压作用部位不在中枢。

2.2 抗血小板聚集和抗血栓形成

脑卒中和冠心病是比较常见的慢性疾病，对生活和工作的影响有重大影响，严重者会导致死亡，目前无法根治，只能控制，因此开发治疗脑卒中和冠心病的药物刻不容缓。Dai 等^[89]在兴安藜芦里面分离得到 6 个芪类化合物 (206~210)，对花生四烯酸诱导的血小板聚集具有明显的抑制作用，化合物 206 显示出较强的血小板聚集活性，半数抑制浓度 (half inhibit concentration, IC_{50}) 值为 383.6 $\mu\text{mol/L}$ 。Tang 等^[106]发现兴安藜芦里面的化合物 17 对花生四烯酸诱导的血小板聚集有显著的抑制作用，剂量为 100 $\mu\text{mol/L}$ 时，抑制率为 92.0%。

潘平等^[107]研究发现乌苏里藜芦中的化合物 32 具有较强的抗动脉、静脉血栓形成作用，作用机制与化合物 32 抗血小板作用和抗凝作用有关。韩国柱等^[108]研究表明 iv 乌苏里藜芦碱 7.2~42.9 $\mu\text{g/kg}$ 导致血管阻塞时间显著延长，且具有明显的剂量相关性，乌苏里藜芦碱 30 $\mu\text{g/kg}$ 产生的抗动脉血栓形成作用与赖氨匹林 18.0 mg/kg 的作用相当。杨静娴等^[109]研究表明 iv 乌苏里藜芦碱 15、30、45 $\mu\text{g/kg}$ 可显著降低血小板聚集率，使血浆血栓素 A_2 (thromboxane A_2 , TXA_2) 水平降低，前列腺素 I_2 (prostaglandin I_2 , PGI_2) 水平升高，其机制可能与升

高血浆 $\text{PGI}_2/\text{TXA}_2$ 有关。王世盛等^[110]研究表明乌苏里藜芦中分离得到的甾体生物碱乌苏瑞宁 (10) 3.44 $\mu\text{g/kg}$ 时抑制率为 34.35%，高于阳性对照药赖氨匹林的抑制率 (23.06%)。

2.3 抗炎和镇痛

李琼^[50]首次报道了大理藜芦中介藜芦碱类生物碱具有抗炎和镇痛性能。周世清等^[111]发现一粒止痛丹在安全剂量下能提高对热刺激的痛阈，对醋酸所致的扭体反应亦有明显的抑制作用。

2.4 抗肿瘤

抗肿瘤药物开发一直是人们所关注的健康问题，同时也是一个难点，寻找新途径、新思路研发抗肿瘤药物至关重要。甾体类生物碱是藜芦属植物抗肿瘤活性的主要成分，近年来成为抗肿瘤药物的研发热点。

Tang 等^[106]研究发现在小鼠胚胎细胞 NIH/3T3 中，化合物 13、82、95 能显著抑制 Hedgehog 通路；化合物 82 对小鼠人胰腺癌 PANC-1 细胞肿瘤的生长具有较强的抑制作用，在 5.0、15.0、50.0 mg/kg 剂量下，抑制率分别为 40.64%、44.37%、46.77%。Gao 等^[48]研究结果显示，化合物 139、168 对 Hedgehog 通路有较强的抑制活性，这些活性生物碱可能是治疗各种癌症 Hedgehog 通路的抑制剂。Christov 等^[59]通过对人 *MDR1* 基因转染的小鼠淋巴瘤细胞进行测试，发现化合物 27、129、136 具有较强的抗增殖活性， IC_{50} 分别为 21.76、22.69、20.76 $\mu\text{g/mL}$ 。汤建^[11]对兴安藜芦总提取物、总生物碱及单体化合物抑制肿瘤细胞增生的活性研究及体内抗肿瘤活性研究证明，藜芦中的化合物 86、95 具有较强的肿瘤细胞毒活性，对 A-549 细胞、PANC-1 细胞、人肝癌 QGY-7703 细胞、人 T 细胞白血病 6T-CEM 细胞有显著肿瘤细胞毒活性，对 4 种肿瘤细胞的 IC_{50} 分别为 17.71、18.16、34.00、14.94 $\mu\text{g/mL}$ 和 13.47、12.35、35.35、12.51 $\mu\text{g/mL}$ ，化合物 95 在质量浓度为 3.125 $\mu\text{g/mL}$ 时仍然具有活性。推测介芬胺类生物碱可能是藜芦抗肿瘤活性的物质基础。

3 结语和展望

藜芦作为我国传统中药配伍“十八反”里重要的内容之一，藜芦属多种植物在我国民间均入药。本属植物化学成分十分丰富，主要有甾体生物碱类、芪类、黄酮类、脂酸类、酚酸类、甾醇类、木脂素类、苯丙呋喃类、噁唑类衍生物、五环三萜类以及香豆素类化合物^[112]，具有降血压、抗血小板聚

集和抗血栓形成、抗炎和镇痛、抗肿瘤等作用。

藜芦属植物作为一个有生物活性,但是又具有强烈毒性的植物,有上千年的用药历史,尽管国内外对藜芦属的化学成分和药理活性做了大量研究,但仍有不足;现阶段对藜芦属植物的研究主要集中在藜芦全药和提取物,单体化合物的活性报道很少,多数药理活性发挥作用的机制尚不明确,在其药理作用机制尚未明确的条件下,如何合理开发利用其药用价值尤其重要。由于其毒性强烈,这意味着产生药效的同时也会产生毒副作用,限制了其大量开发利用,因此增效减毒、存效减毒是藜芦作为药物能否被广泛接受的关键。在藜芦属的研究上面还有一些种南川藜芦、贡山藜芦、小花藜芦 *V. micranthum* Wang et Tang、总状藜芦 *V. nigrum* var. *paniculatum* Y. Ren 等在化学成分及药理活性方面的研究比较薄弱。随着大健康产业的开发,对藜芦属植物的活性成分需要进行深入、系统的研究,以便更好地开发藜芦属的资源。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

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(第十四卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 19-30.
- [2] 陈世忠, 徐国钧, 徐珞珊, 等. 藜芦属药用植物两新种 [J]. 中国药科大学学报, 1991, 22(6): 338-340.
- [3] 魏·吴普. 神农本草经 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1996: 57.
- [4] Li Q, Yang K X, Zhao Y L, et al. Potent anti-inflammatory and analgesic steroidal alkaloids from *Veratrum taliense* [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 179: 274-279.
- [5] 李慧梁. 岩黄连活性成分系统研究及藜芦毒性成分研究 [D]. 上海: 第二军医大学, 2006.
- [6] Bondarenko N V. Alkaloids of *Veratrum lobelianum*. iv [J]. *Chem Nat Compd*, 1972, 8(6): 800-801.
- [7] 梁光义, 孙南君. 狭叶藜芦中活性成分的化学研究: I. 狭叶藜芦碱乙的结构以及其它成分的鉴定 [J]. 药学学报, 1984, 19(2): 131-136.
- [8] Zaho W, Tezuka Y, Kikuchi T, et al. Studies on the constituents of *Veratrum* plants. I. Constituents of *Veratrum maackii* Reg.; isolation and structure determination of a new alkaloid, maackinine [J]. *Chem Pharm Bull*, 1989, 37(11): 2920-2928.
- [9] Huang H Q, Li H L, Tang J, et al. Steroidal alkaloids from *Veratrum schindleri* and *Veratrum maackii* [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2008, 36(5/6): 430-433.
- [10] 周雪峰. 乌苏里藜芦化学成分分离和鉴定 [D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [11] 汤建. 兴安藜芦抗肿瘤活性成分的发发现及结构修饰 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [12] Zhao W J, Tezuka Y, Kikuchi T, et al. Studies on the constituents of *Veratrum* plants. II. Constituents of *Veratrum nigrum* L. var. *ussuriense*. (1). Structure and ¹H- and ¹³C-nuclear magnetic resonance spectra of a new alkaloid, verussurinine, and related alkaloids [J]. *Chem Pharm Bull*, 1991, 39(3): 549-554.
- [13] Shakirov R. New C-nor, D-homosteroid alkaloid germinine from *Veratrum lobelianum* [J]. *Chem Nat Compd*, 1997, 33(4): 479-480.
- [14] Shakirov R, Kul'Kova V V, Nakhatov I. Alkaloids of *Veratrum lobelianum* verdinine and 3,15-di-O-(2-methylbutyryl) germinine [J]. *Chem Nat Compd*, 1995, 31(1): 79-82.
- [15] 黄海强. 柴胡属植物化学成分和质量控制研究及天目藜芦化学成分研究 [D]. 上海: 第二军医大学, 2010.
- [16] Tezuka Y, Kikuchi T, Zhao W, et al. (+)-Verussurinine, a new steroidal alkaloid from the roots and rhizomes of *Veratrum nigrum* var. *ussuriense* and structure revision of (+)-verabenzoamine1 [J]. *J Nat Prod*, 1998, 61(11): 1397-1399.
- [17] Li H L, Tang J, Liu R H, et al. Characterization and identification of steroidal alkaloids in the Chinese herb *Veratrum nigrum* L. by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization with multi-stage mass spectrometry [J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2007, 21(6): 869-879.
- [18] 王斌. 藜芦的化学成分研究 [D]. 上海: 第二军医大学, 2007.
- [19] 时嘉敏, 刘兴鸿, 何翠林, 等. 毛叶藜芦中 1 个新的生物碱 [J]. 中草药, 2020, 51(13): 3365-3371.
- [20] Zhou C X, Liu J Y, Ye W C, et al. Neoverataline A and B, two antifungal alkaloids with a novel carbon skeleton from *Veratrum taliense* [J]. *Tetrahedron*, 2003, 59(30): 5743-5747.
- [21] Kaneko K, Kawamura N, Kuribayashi T, et al. Structures of two cevanine alkaloids, shinonomenine and veraflorizine, and a cevanidane alkaloid, procevine, isolated from illuminated *Veratrum* [J]. *Tetrahedron Lett*, 1978, 19(48): 4801-4804.
- [22] Tang J, Li H L, Shen Y H, et al. Steroidal alkaloids from *Veratrum dahuricum* [J]. *Chem Nat Compd*, 2008, 44(3): 407-408.
- [23] Pavelčík F, Tomko J. Alkaloids of *Veratrum album* subspecies *lobelianum* (Bernh.) Suessenguth. XXX. Structure of O-acetylveramarine [J]. *Acta Crystallogr Sect*

- B, 1979, 35(8): 1790-1793.
- [24] Kang C, Han J H, Oh J, *et al.* Steroidal alkaloids from *Veratrum nigrum* enhance glucose uptake in skeletal muscle cells [J]. *J Nat Prod*, 2015, 78(4): 803-810.
- [25] Tanaka N, Suto S, Kobayashi J. Veramadines A and B, new steroidal alkaloids from *Veratrum maackii* var. *japonicum* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2011, 59(7): 909-912.
- [26] Samikov K, Shakirov R, Yunusov S Y. The structure and configuration of veralodine [J]. *Chem Nat Compd*, 1974, 8(6):751-756.
- [27] Myers G S, Glen W L, Morozovitch P, *et al.* Gerbudine, isogermidine and veratetrine three new hypotensive alkaloids from veratrum [J]. *J Am Chem Soc*, 1952, 74(12): 3198-3199.
- [28] Saksena A K, McPhail A T. Structure of protoveratrine C, a new alkaloid from provoveratrine [J]. *Tetrahedron Lett*, 1982, 23(8): 811-814.
- [29] Wright C R A, Luff A P. XLI.—The alkaloids of the veratrums. Part I. The alkaloids of *Veratrum sabadilla* (*Asagroeae officinalis*) [J]. *J Chem Soc, Trans*, 1878, 33: 338-359.
- [30] Cong Y, Wang J H, Wang R, *et al.* A study on the chemical constituents of *Veratrum nigrum* L. processed by rice vinegar [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2008, 10(7/8): 619-624.
- [31] Kadota S, Chen S Z, Li J X, *et al.* A steroidal alkaloid from *Veratrum oblongum* [J]. *Phytochemistry*, 1995, 38(3): 777-781.
- [32] 敖书华, 刘磊. HPLC 研究藜芦-丹参配伍后藜芦定的含量 [J]. 亚太传统医药, 2009, 5(1): 17-18.
- [33] 赵朗, 欧志强, 王刊, 等. 兴安藜芦中甾体生物碱成分的研究 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(23): 3039-3042.
- [34] Atta-Ur-rahman, Ali R A, Ashraf M, *et al.* Steroidal alkaloids from *Veratrum album* [J]. *Phytochemistry*, 1996, 43(4): 907-911.
- [35] Barton D H, Jeger O, Prelog V, *et al.* The constitutions of cevine and some related alkaloids [J]. *Experientia*, 1954, 10(3): 81-90.
- [36] Zhou C X, Tan R X, Ye W C, *et al.* ChemInform abstract: Steroidal alkaloids from *Veratrum taliense* [J]. *ChemInform*, 2001, 32(3): 283-286.
- [37] 吕轶峰. 狭叶藜芦的化学成分研究与部分生物碱的生物转化 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2008.
- [38] 谢娜. 藜芦杀虫活性成分研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [39] Cong Y, Guo J G, Liu J. Two new chemical constituents of *Veratrum dahuricum* (Turcz.) Loes. f. [J]. *Helv Chim Acta*, 2013, 96(2):345-349.
- [40] 韩旭然. 光脉藜芦的化学成分研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [41] Atta-ur-Rahman, Ali R A, Gilani A, *et al.* Isolation of antihypertensive alkaloids from the rhizomes of *Veratrum album* [J]. *Planta Med*, 1993, 59(6): 569-571.
- [42] Cong Y, Jia W, Chen J, *et al.* Steroidal alkaloids from the roots and rhizomes of *Vertrum nigrum* L. [J]. *Chem Inform*, 2007, 38(37): 1038-1042.
- [43] 李静. 兴安藜芦的化学成分研究 [D]. 开封: 河南大学, 2014.
- [44] 朱花兰. 毛穗藜芦乙酸乙酯部位化学成分研究 [D]. 开封: 河南大学, 2014.
- [45] Keeler R F. Teratogenic compounds of *Veratrum californicum* (Durand). VII. The structure of the glycosidic alkaloid cycloposine [J]. *Steroids*, 1969, 13(5): 579-588.
- [46] Atta-ur-Rahman, Ali R A, Choudhary M I, *et al.* New steroidal alkaloids from rhizomes of *Veratrum album* [J]. *J Nat Prod*, 1992, 55(5): 565-570.
- [47] Sun Y, Chen J X, Zhou L, *et al.* Three new pregnane alkaloids from *Veratrum taliense* [J]. *Helvetica Chimica Acta*, 2012, 95(7): 1114-1120.
- [48] Gao L J, Chen F Y, Li X Y, *et al.* Three new alkaloids from *Veratrum grandiflorum* Loes with inhibition activities on Hedgehog pathway [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2016, 26(19): 4735-4738.
- [49] 王蓓. 藜芦和宽叶藜芦的化学成分及其生物活性研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
- [50] 李琼. 披麻草根化学成分及其生物活性研究 [D]. 昆明: 中国科学院大学, 2015.
- [51] Wilson S R, Strand M F, Krapp A, *et al.* Hedgehog antagonists cyclopamine and dihydroveratramine can be mistaken for each other in *Veratrum album* [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2010, 53(3): 497-502.
- [52] Li H J, Jiang Y, Li P. Chemistry, bioactivity and geographical diversity of steroidal alkaloids from the Liliaceae family [J]. *Nat Prod Rep*, 2006, 23(5): 735-752.
- [53] Tezuka Y, Kikuchi T, Zhao W, *et al.* Two new steroidal alkaloids, 20-isoveratramine and verapatuline, from the roots and rhizomes of *Veratrum patulum* [J]. *J Nat Prod*, 1998, 61(9): 1078-1081.
- [54] 陈柯羽. 岩黄连中小檗碱型生物碱生物合成途径相关基因的研究及藜芦中甾体生物碱的微生物转化 [D]. 上海: 第二军医大学, 2011.
- [55] 张谨. 毛叶藜芦根部化学成分研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [56] 杨崇仁, 刘润民, 周俊, 等. 蒙自藜芦的甾体生物碱研究 [J]. 云南植物研究, 1987, 9(3): 359-364.
- [57] Jeong K H, Jin K S, Hoon K S, *et al.* Three melanogenesis inhibitors from the roots of *Veratrum nigrum* [J]. *Korean J*

- Pharmacogn*, 2002, 33(4):399-403.
- [58] Khashimov A M, Shakirov R, Yunusov S Y. A study of the alkaloids of the epigeal part of *Veratrum lobelianum* the structure of veralosinine [J]. *Chem Nat Compd*, 1971, 7(6): 751-755.
- [59] Christov V, Mikhova B, Ivanova A, et al. Steroidal alkaloids of *Veratrum lobelianum* Bernh. and *Veratrum nigrum* L. [J]. *Z Naturforsch C J Biosci*, 2010, 65(3/4): 195-200.
- [60] 汤建, 李慧梁, 黄海强, 等. 藜芦属植物化学成分的研究近况 [J]. *药学进展*, 2006, 30(5): 206-212.
- [61] Kaneko K, Seto H, Motoki C, et al. Biosynthesis of rubijervine in *Veratrum grandiflorum* [J]. *Phytochemistry*, 1975, 14(5/6): 1295-1301.
- [62] Shakirov R, Yunusov S Y. Structure of veralosidine [J]. *Chem Nat Compd*, 1973, 9(4): 472-474.
- [63] Christov, V., B. Mikhova, and D. Selenge, (-)-veranigrine, a new steroidal alkaloid from *Veratrum nigrum* L. [J]. *Fitoterapia*, 2009, 80(1): 25-27.
- [64] Kaneko K, Tanaka M W, Takahashi E, et al. Teinimine and isoteinimine, two new alkaloids from *Veratrum grandiflorum* [J]. *Phytochemistry*, 1977, 16(10): 1620-1622.
- [65] 闵知大, 谭仁祥, 郑启泰, 等. 大理藜芦碱 B 的结构及其绝对构型的确定 [J]. *药学学报*, 1988, 23(8): 584-587.
- [66] Mizuno M, Tan R X, Zhen P, et al. Two steroidal alkaloid glycosides from *Veratrum taliense* [J]. *Phytochemistry*, 1990, 29(1): 359-361.
- [67] 谭仁祥, 闵知大. 大理藜芦中甾体和异甾体生物碱的研究 [J]. *南药译丛*, 1986, 10(1): 87-88.
- [68] Vassová A, Votický Z, Tomko J. Structure of veramiline, an alkaloid from *Veratrum album* subsp. *Lobelianum* (Bernh.) Suessenguth [J]. *Chem Informationsdienst*, 1978, 9(12): 3643-3645.
- [69] El Sayed K A, McChesney J D, Halim A F, et al. Two steroidal alkaloids from *Veratrum viride* [J]. *Phytochemistry*, 1995, 38(6): 1547-1550.
- [70] Itô S, Miyashita M, Fukazawa Y, et al. Structure of baickeine, a *Veratrum* alkaloid [J]. *Tetrahedron Lett*, 1972, 13(29): 2961-2964.
- [71] Gaffield W, Wong R Y, Lundin R E, et al. Structure of the steroidal alkaloid muldamine and its deacetyl derivative [J]. *Phytochemistry*, 1982, 21(9): 2397-2400.
- [72] 张蒙珍, 高丽娟, 徐世芳, 等. 藜芦属植物甾体生物碱及其药理活性研究进展 [J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(21): 79-92.
- [73] Tomko J. *Veratrum* alkaloids. XXIX. Glucoveracintine, a new glycoalkaloid from *Veratrum album* subspecies *Lobelianum* (Bernh.) Suessenguth [J]. *Chem pap*, 1978, 32(1):120-123.
- [74] Tomko J, Brázdrová V, Votický Z. *Veratrum* alkaloids XXII Veracintine-a novel type of *Veratrum* alkaloid with a pyrroline ring [J]. *Tetrahedron Lett*, 1971, 12(32): 3041-3044.
- [75] Grancai D, Suchy V, Tomko J, et al. *Veratrum* alkaloids. 33. Rhamnoveracintine-a new glycoalkaloid from *Veratrum album* ssp. *lobelianum* (Bernh.) Suessenguth [J]. *Chem Pap*, 1986, 40(6):835-838.
- [76] Bondarenko N V. Alkaloids of *Veratrum oxysepalum* [J]. *Chem Nat Compd*, 1982, 18(4): 504-505.
- [77] Cong Y, Zhu H L, Zhang Q C, et al. Steroidal alkaloids from *Veratrum maackii* Regel with genotoxicity on brain-cell DNA in mice [J]. *Helv Chim Acta*, 2015, 98(4): 539-545.
- [78] 周剑侠, 康露, 沈征武. 天目藜芦生物碱成分研究 [J]. *中国药学杂志*, 2006, 41(18): 1379-1381.
- [79] Klohs M W, Draper M D, Keller F, et al. Alkaloids of *Veratrum eschscholtzii* Gray. I. The glycosides* [J]. *J Am Chem Soc*, 1953, 75(9):2133-2135.
- [80] Shakirov R, Yunusov S Y. Alkaloids of *Veratrum lobelianum* isolation of γ -solanine [J]. *Chem Nat Compd*, 1975, 11(2): 279-280.
- [81] 全香花, 朴惠善, 孙向红, 等. 兴安藜芦的化学成分研究 [J]. *中国药学杂志*, 2003, 38(12): 914-916.
- [82] 赵伟杰. 乌苏里藜芦中橙黄胡椒酰胺的分离鉴定 [J]. *中国中药杂志*, 1998, 23(1): 41.
- [83] 赵伟杰, 郭永涸, 手塚康弘, 等. 藜芦生物碱中刺孢藜霉碱的分离与鉴定 [J]. *中国中药杂志*, 1991, 16(7): 425-426.
- [84] 斯建勇. 天然芪类化合物的研究概况 [J]. *天然产物研究与开发*, 1994, 6(4): 71-79.
- [85] 时嘉敏, 林立五, 何翠林, 等. 毛叶藜芦的化学成分研究 [J]. *华西药学杂志*, 2020, 35(2): 117-121.
- [86] Zhou C X, Kong L D, Ye W C, et al. Inhibition of xanthine and monoamine oxidases by stilbenoids from *Veratrum taliense* [J]. *Planta Med*, 2001, 67(2): 158-161.
- [87] 李沙沙. 毛穗藜芦地上部分化学成分及藜芦生物碱药代动力学研究 [D]. 开封: 河南大学, 2016.
- [88] 王世盛, 赵伟杰, 闻伟峰, 等. 乌苏里藜芦茎叶化学成分研究 [J]. *中草药*, 2008, 39(11): 1604-1606.
- [89] Dai L M, Tang J, Li H L, et al. A new stilbene glycoside from the *n*-butanol fraction of *Veratrum dahuricum* [J]. *Chem Nat Compd*, 2009, 45(3): 325-329.
- [90] 王淑慧, 张屏, 伊丽娜, 等. 蒙药材藜芦的化学成分和抗氧化活性研究 [J]. *中药材*, 2018, 41(3): 608-612.
- [91] 赵伟杰, 手塚康弘, 菊池彻. 乌苏里藜芦中芪类化合物

- 的化学研究 [J]. 中国药物化学杂志, 1998, 8(1): 35-37.
- [92] Tang J, Li H L, Li Y L, *et al.* Flavonoids from rhizomes of *Veratrum dahuricum* [J]. *Chem Nat Compd*, 2007, 43(6): 696-697.
- [93] Hanawa F, Tahara S, Mizutani J. Antifungal stress compounds from *Veratrum grandiflorum* leaves treated with cupric chloride [J]. *Phytochemistry*, 1992, 31(9): 3005-3007.
- [94] Li H L, Tang J, Liu R H, *et al.* Two new flavanone glycosides from *Veratrum nigrum* L. [J]. *Nat Prod Res*, 2009, 23(2): 122-126.
- [95] Huang H Q, Li H L, Tang J, *et al.* A new aurone and other phenolic constituents from *Veratrum schindleri* Loes. F [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2008, 36(7): 590-592.
- [96] Guo J G, Chen Y S, Li J, *et al.* A new aurone glycoside from *Veratrum dahuricum* (Turcz.) Loes. F [J]. *Acta Pharm Sin*, 2015, 50(3): 337-339.
- [97] 周剑侠, 康露, 沈征武. 黑紫藜芦化学成分研究 [J]. 中国药物化学杂志, 2006, 16(5): 303-305.
- [98] 刘静. 功劳木和藜芦化学成分研究及功劳木质量控制研究 [D]. 开封: 河南大学, 2012.
- [99] Tabanca N, Ali Z, Bernier U R, *et al.* Bioassay-guided isolation and identification of *Aedes aegypti* larvicidal and biting deterrent compounds from *Veratrum lobelianum* [J]. *Open Chem*, 2018, 16(1): 324-332.
- [100] 李海艳. 毛穗藜芦中氯仿部位的化学成分研究 [D]. 开封: 河南大学, 2014.
- [101] 闻伟锋. 乌苏里藜芦化学成分的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [102] Kaneko K, Watanabe M, Mitsuhashi H. 3 β -Hydroxy- $\Delta^{5,16}$ -pregnadien-20-one from *Veratrum grandiflorum* [J]. *Phytochemistry*, 1973, 12(6): 1509-1510.
- [103] 李淑媛, 李卫平, 李传勋, 等. 盐酸乌苏里藜芦碱对麻醉犬血流动力学研究 [J]. 中国药理学杂志, 1997, 32(7): 25-27.
- [104] Li H, Gao G Y, Li S Y. Effects of *Veratrum nigrum* alkaloids on central catecholaminergic neurons of renal hypertensive rats [J]. *Acta Pharmacol Sin*, 2000, 21(1): 23-28.
- [105] 李伟, 陆艳娟, 王清, 等. 黑藜芦生物碱的降压作用机制 [J]. 中国老年学杂志, 2012, 32(1): 97-99.
- [106] Tang J, Li H L, Shen Y H, *et al.* Antitumor and antiplatelet activity of alkaloids from *Veratrum dahuricum* [J]. *Phytother Res*, 2010, 24(6): 821-826.
- [107] 潘平, 赵伟杰, 吕莉, 等. 乌苏里藜芦生物碱单体新计巴丁的抗血栓作用 [J]. 中国新药杂志, 2008, 17(13): 1121-1124.
- [108] 韩国柱, 李欣燕, 吕莉, 等. 乌苏里藜芦碱抗血栓作用的研究 [J]. 中草药, 2003, 34(12): 1107-1110.
- [109] 杨静娴, 史相国, 徐志立, 等. 乌苏里藜芦碱抗血栓作用机制的研究 [J]. 中国医药指南, 2010, 8(32): 177-178.
- [110] 王世盛, 周雪峰, 韩旭然, 等. 乌苏里藜芦中的甾体生物碱及其抗血小板聚集活性研究 [A] // 第十届全国药用植物及植物药学术研讨会论文集 [C]. 昆明: 中国植物学会, 2011: 114.
- [111] 周世清, 尹才渊, 杨亚斯, 等. 一粒止痛丹的药理研究 [J]. 中成药研究, 1982, 4(10): 30-32.
- [112] 余茜, 温鼎声, 逆慧慧. 2种藜芦属植物化学成分及其抗真菌活性研究 [J]. 中草药, 2021, 52(15): 4455-4462.

[责任编辑 崔艳丽]