

茄科倍半萜类化学成分及其药理作用研究进展

谭金燕, 程艳刚[#], 王佳敏, 王世晖, 刘凯丽, 王颖莉*

山西中医药大学, 山西 晋中 030619

摘要: 茄科为被子植物门、管状花目下的植物, 1992 年至今从茄科植物中分离得到 209 个倍半萜类成分, 其类型主要包括链状倍半萜、单环倍半萜、桉叶烷型倍半萜、香根螺烷型倍半萜、愈创木烷型倍半萜等, 药理作用研究表明部分倍半萜类成分具有抗肿瘤、抗炎、抑菌、抗病毒和免疫抑制等活性。主要综述茄科倍半萜类化学成分及其药理作用的研究进展, 为茄科植物的合理开发和综合利用提供科学依据。

关键词: 茄科; 茄属; 倍半萜; 桉叶烷型倍半萜; 香根螺烷型倍半萜; 药理作用; 抗肿瘤

中图分类号: R282.710.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2021)16-5062-16

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.16.031

Research progress on chemical constituents of sesquiterpenoids from Solanaceae plants and their biological activities

TAN Jin-yan, CHENG Yan-gang, WANG Jia-min, WANG Shi-hui, LIU Kai-li, WANG Ying-li

Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China

Abstract: Solanaceae family belongs to Angiospermae, Tubiflorae. A total of 209 sesquiterpenoids have been isolated from Solanaceae plants since 1992, including acyclic-type, monocyclic-type, eudesmane-type, vetispirane-type, guaiacane-type and so on. Pharmacological studies have shown that some sesquiterpenoids have anti-tumor, anti-inflammatory, anti-bacterial, anti-TMV and immunosuppressive effects. Research progress on chemical constituents of sesquiterpenoids from Solanaceae plants and their biological activities are reviewed in this paper, which provides scientific support for the rational development and comprehensive utilization of Solanaceae plants.

Key words: Solanaceae; *Solanum*; sesquiterpenoids; eudesmane-type sesquiterpenoids; vetispirane-type sesquiterpenoids; biological activities; anti-tumor

茄科 (Solanaceae) 为被子植物门、管状花目下的植物, 含有 98 属 2700 余种, 广泛分布于热带及温带地区。茄科中许多植物具有较大的经济意义, 可作为农作物、生物活性分子来源和观赏植物^[1], 如马铃薯 (即洋芋) *Solanum tuberosum* L.、番茄 *S. lycopersicum* Mill.、辣椒 *Capsicum annuum* L.、茄 *S. melongena* L. 和烟草 *Nicotiana tabacum* L. 等茄科植物在日常生活中十分常见^[2]。此外, 宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L.、曼陀罗 *Datura stramonium* Linn. 和天仙子 *Hyoscyamus niger* L. 等也具有极高的药用价值,

近年来吸引了国内外众多研究者的目光^[3-5]。茄科植物中含有多种类型的化学成分, 包括生物碱、黄酮、糖苷、甾体和萜类等^[1]。倍半萜是萜类化合物中最的一类, 一般仅有 15 个碳原子, 但却有着极其丰富的骨架类型, 在天然产物化学研究领域扮演着重要角色^[6]。近年来从茄科植物中发现了许多结构新颖、具有较好生物活性的倍半萜类成分。1992 年前从茄科植物中分离的倍半萜类成分较少, 且大多为植物受到病毒侵袭后的应激产物^[7-9]。因此, 本文对 1992 年至今从茄科植物中分离得到的倍半萜类成

收稿日期: 2020-11-24

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目 (YDZX20201400001518); 中央本级重大增减支项目 (2060302); 山西省卫生健康委科研项目 (2020094); 山西中医药大学科技创新能力培育计划项目 (2021PY-JC-05, 2021PY-JC-09)

作者简介: 谭金燕 (1991—), 讲师, 博士, 研究方向为中药及复方药效物质基础。E-mail: 15636833827@163.com

*通信作者: 王颖莉 (1967—), 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: wyltyut@163.com

[#]并列第一作者: 程艳刚 (1992—), 讲师, 博士, 研究方向为中药及复方药效物质基础与作用机制。E-mail: 931313534@qq.com

分及其药理活性进行归纳总结, 以期为茄科植物的进一步开发利用提供参考。

1 化学成分及其分类

茄科植物中的倍半萜类成分广泛分布于根、茎、叶和花等部位, 且在不同品种间含量差异较大。本文列出了 1992 年至今已公开发表的从茄科植物中分离得到的 209 个倍半萜的植物分布情况 (图 1)。经统计研究发现, 茄科中倍半萜类成分主要分布在辣椒属 *Capsicum* L.、曼陀罗属 *Datura* Linn.、红丝线属 *Lycianthes* (Dunal) Hassl.、枸杞属 *Lycium* L.、烟草属 *Nicotiana* L.、酸浆属 *Physalis* L.、马尿泡属 *Przewalskia* Maxim.、茄属 *Solanum* L. 中, 其中, 茄属、烟草属和曼陀罗属存在数量较多, 分别为 118、41、27 个。目前从茄科植物中分离出的倍半萜类化合物主要为链状倍半萜, 单环倍半萜中的金合欢烷型, 双环倍半萜中的桉叶烷型、香根螺烷型和愈创木烷型等, 此外还

包括如吉马烷型等的其他类型倍半萜。

1.1 链状倍半萜类成分

目前从茄科植物洋芋、茄和毛酸浆 *Physalis pubescens* L. 中共分离得到 5 个链状倍半萜类成分, 具体化合物结构及名称见图 2 和表 1。

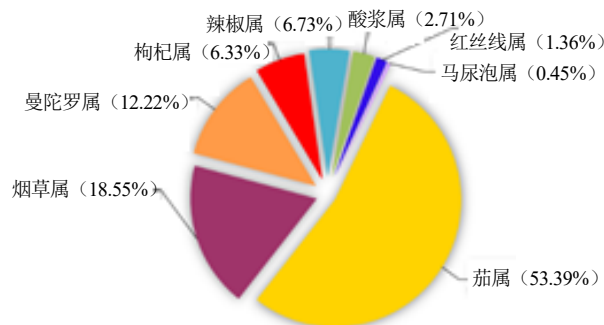


图 1 茄科中 209 个倍半萜类成分的植物分布

Fig. 1 Plants distribution of 209 sesquiterpenoids in Solanaceae

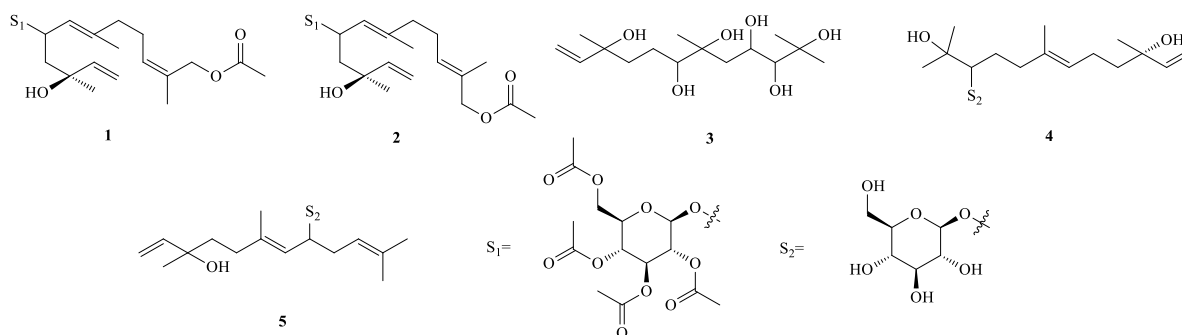


图 2 茄科中的链状倍半萜类成分

Fig. 2 Acyclic sesquiterpenoids from Solanaceae

表 1 茄科中的链状倍半萜类化合物

Table 1 Acyclic sesquiterpenoids from Solanaceae

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
1	(6E,10Z)-12-acetoxy-5-hydroxy-β-nerolidol-5-O-β-D-tetraacetylglucopyranoside	洋芋	叶	10
2	(6E,10E)-12-acetoxy-5-hydroxy-β-nerolidol-5-O-β-D-tetraacetylglucopyranoside	洋芋	叶	10
3	melongenaterpene R	茄	宿萼	6
4	amarantholidoside IV	茄	宿萼	6
5	毛酸浆苷 A	毛酸浆	宿萼	11

1.2 单环倍半萜类成分

从茄科植物中共分离得到了 28 个单环倍半萜类成分, 且多为金合欢型。该类型倍半萜的结构变化主要发生在 3~6 位以及 6 位的侧链上。在 3 位多出现羰基 (如化合物 6、8~10、13~15) 或不同构型的羟基 (如化合物 11、16、17), 部分与糖基结合成苷 (化合物 12、21、23); 4 位和 5 位常存在双键 (如化合物 6、8~10、13~15), 若 4、5 位未形

成双键, 则 5 位大多被不同构型的甲基、羟基取代 (如化合物 22、23、25); 5、6 位也可形成双键 (如化合物 20、21、29) 或环氧结构 (化合物 24); 6 位除连有侧链外, 还常连有羟基 (如化合物 9、10、13); 6 位上的异戊烯基侧链具有多种取代方式, 其中较为特殊的是部分具有丙二烯结构 (如化合物 16、22、23)。茄科中单环倍半萜类成分的结构及名称见图 3 和表 2。

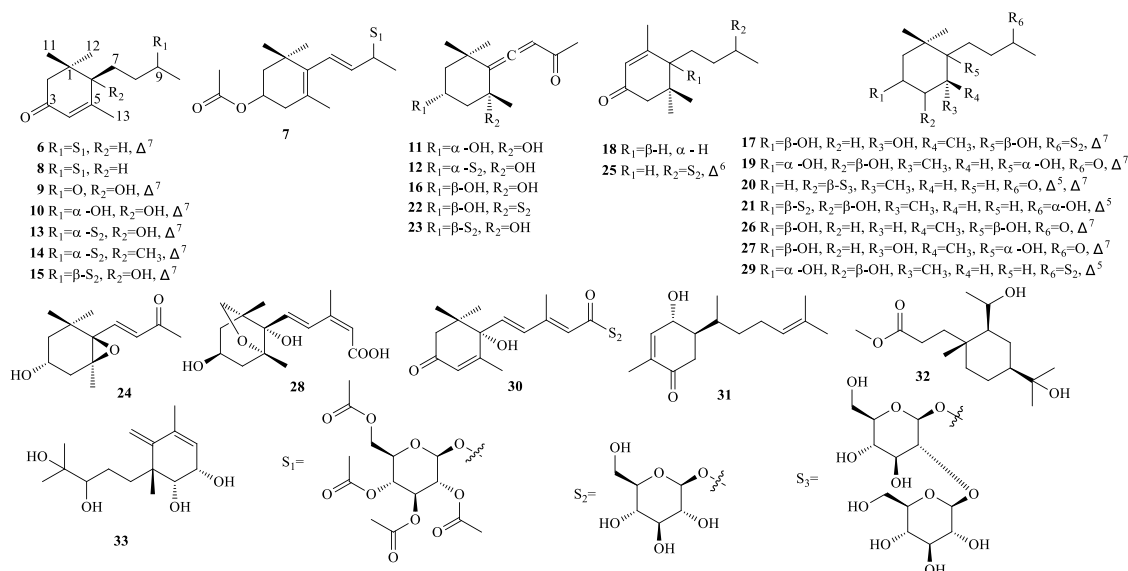


图 3 茄科中的单环倍半萜类成分

Fig. 3 Monocyclic sesquiterpenoids from Solanaceae

表 2 茄科中的单环倍半萜类成分

Table 2 Monocyclic sesquiterpenoids from Solanaceae

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
6	3-oxo- α -ionol- <i>O</i> - β - <i>D</i> -tetraacetylglucopyranoside	洋芋	叶	10
7	3-acetoxy- β -ionol- <i>O</i> - β - <i>D</i> -tetraacetylglucopyranoside	洋芋	叶	10
8	布卢门醇	洋芋	叶	10
9	去氢催吐萝芙木醇	白英 <i>S. lyratum</i> Thunb.	全草	12-13
		<i>Lycium europaeum</i> L.	根、叶	14
10	布卢门醇 A	白英	全草	12-13
11	蚱蜢酮	白英	全草	13
		洋金花 <i>D. metel</i> L.	花	15
12	citroside	洋金花	花	15
13	(6 <i>S</i> ,9 <i>R</i>)-6-hydroxy-3-oxo- α -ionol-9- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	洋金花	花	15
14	(6 <i>R</i> ,9 <i>R</i>)-3-oxo- α -ionol-9- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	洋金花	花、茎	15-16
		烟草	叶	17
15	(6 <i>R</i> ,9 <i>S</i>)-3-oxo- α -ionol- β - <i>D</i> -glucopyranoside	烟草	叶	17
16	白英醇 F	白英	全草	13
17	actinidioionoside	烟草	叶	18
18	(<i>Z</i>)-4-[3'-(β - <i>D</i> -glucopyranosyloxy)butylidene]-3,5,5-trimethyl-2-cyclohexen-1-one	烟草	叶	18
19	白英醇 E	白英	全草	13
20	lyciumionoside B	宁夏枸杞	叶	19
21	(3 <i>S</i> ,4 <i>R</i> ,9 <i>R</i>)-3,4,6-trihydroxymegastigman-5-ene-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	宁夏枸杞	叶	19
22	柑橘苷 A	茄	宿萼	6
		洋金花	叶	20
23	staphylionoside D	洋金花	叶	20
24	3 β -hydroxy-5 α ,6 α -epoxy-7-megastigmen-9-one	白英	全草	13
25	布卢门醇 C	白英	全草	13
26	boscialin	白英	全草	13
27	(3 <i>S</i> ,5 <i>R</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>E</i>)-3,5,6-trihydroxy-7-megastigmen-9-one	茄	宿萼	6
28	二氢红花菜豆酸	洋金花	花	21
29	lyciumionoside A	宁夏枸杞	叶	19
30	abscisic acid- β - <i>D</i> -glucopyranosyl ester	茄	宿萼	6
31	1 α -hydroxy-bisabola-2,10-dien-4-one	白英	全草	22
32	melongenaterpene Q	茄	宿萼	6
33	daturaterpenoid C	洋金花	茎	16

1.3 桉叶烷型倍半萜类成分

截至目前共从茄科植物中分离得到了 75 个桉叶烷型倍半萜类成分, 是茄科中数量最多的倍半萜类型。该类型倍半萜的结构变化主要在于环外羟基的个数、位置、构型、环内双键的位置以及 11、12 位是否存在双键或被羟基取代。桉叶烷型倍半萜类成分中环外羟基的个数、位置及构型均多种多样, 这也是该类型倍半萜结构丰富的重要原因之一; 在 1、2、3、6 位较易出现环外羰基 (如化合物 43、66、79、99); 在 1 位 (如化合物 34、47、83、98)、2 位 (如化合物 38、66、67)、3 位 (如化合物 37、

46、91)、4 位 (如化合物 34、50、79、92)、5 位 (如化合物 44、61、80~82)、6 位 (化合物 64) 和 9 位 (化合物 40~42、55、83) 常存在 1~2 个环内双键; 11 和 12 位也经常出现双键 (如化合物 39、58、84~88) 或被羟基取代 (如化合物 34~38、52、83)。此外, 在白英和洋金花叶中共发现了 4 个桉叶烷型内酯, 其中化合物 92 为 6、12 位成环, 化合物 93~95 为 9, 12 位成环。化合物 100~108 为结构中含有苯环的芳香型倍半萜, 其中化合物 100~102 为缺少 14 位的降桉叶烷型倍半萜。具体化合物结构及名称见图 4 和表 3。

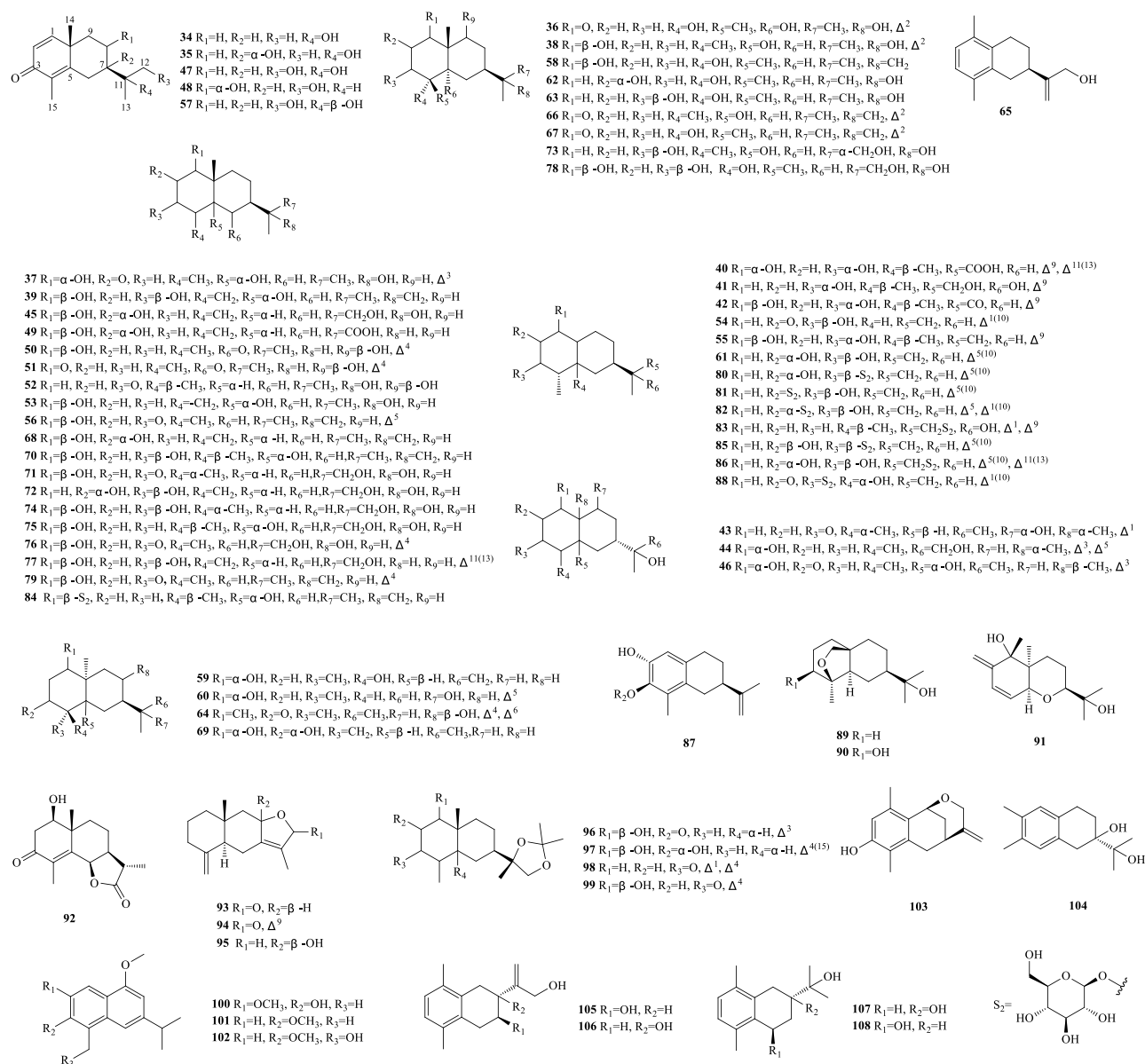


图4 茄科中的桉叶烷型倍半萜类成分

Fig. 4 Eudesmane-type sesquiterpenoids from Solanaceae

表 3 茄科中的桉叶烷型倍半萜类成分

Table 3 Eudesmane-type sesquiterpenoids from Solanaceae

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
34	去氢假虎刺酮	白英	茎	23
		青杞 <i>S. septemlobum</i> Bunge	全草	24
35	canusesnol A	辣椒	茎、根	25
36	canusesnol B	辣椒	茎、根	25
37	canusesnol C	辣椒	茎、根	25
38	canusesnol D	辣椒	茎、根	25
39	canusesnol E	辣椒	茎、根	25
40	canusesnol F	辣椒	茎、根	25
41	canusesnol G	辣椒	茎、根	25
42	canusesnol H	辣椒	茎、根	25
43	白英醇 A	白英	全草	26
44	白英醇 B	青杞	全草	24
		白英	全草	26
45	白英醇 C	白英	全草	12
46	江西白英素 A	白英	全草	27
47	江西白英素 F	青杞	全草	24
		白英	全草	28
48	江西白英素 G	白英	全草	28
49	江西白英素 D	青杞	全草	24
		白英	全草	29
50	balsamiferine B	烟草	叶	30
51	samboginone	烟草	叶	30
52	白英醇 G	白英	全草	31
53	ent-4(15)-eudesmen-1 α ,11-diol	烟草	叶	30
54	glutinosone	烟草	叶	32
55	capsidiol	烟草	叶	32
		<i>Physalis alkekengi</i> L. var. <i>franchetii</i> (Masters) Makino	宿萼、果实	33
56	1 β -hydroxy- α -cyperone	烟草	叶	32
57	arundinol B	烟草	叶	32
58	cyperusol C	烟草	叶	34
59	capillosanane Z	烟草	叶	34
60	capillosanane Y	烟草	叶	34
61	rishitin	烟草	全草	35
		白英	全草	22
62	pterodontriol	茄	宿萼	6
		水茄 <i>S. torvum</i> Swartz	根	36
63	selina-3 β ,4 α ,11-triol	茄	宿萼	6
		水茄	根	36
64	soltorum A	水茄	茎	37
65	solanoid B	白英	全草	22
66	solanoid D	白英	全草	22

续表 3

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
67	(4R,5R,7R,10R)-4-hydroxy-eudesma-2,11-dien-1-one	白英	全草	22
68	甘松醇 A	青杞	全草	24
		白英	全草	22
69	4a β -decahydro-8a α -methyl-4-methylene-6 β -(1-methylethenyl)-1 α , 3 α -naphthalenediol	锦灯笼	宿萼、果实	33
70	dmnetelin G	洋金花	叶	38
71	dmnetelin F	洋金花	叶	38
72	dmnetelin E	洋金花	叶	38
73	dmnetelin D	洋金花	叶	38
74	dmnetelin C	洋金花	叶	38
75	dmnetelin B	洋金花	叶	38
76	(1R,7R,10R,11R)-12-hydroxyl anhuinosol	洋金花	叶	38
77	dmnetelin H	洋金花	叶	38
78	melongenaterpene P	茄	宿萼	6
79	齿叶囊吾醇	青杞	全草	24
80	nicotabacoside B	烟草	叶	17
81	nicotabacoside C	烟草	叶	17
82	nicotabacoside D	烟草	叶	17,35
83	nicotabadiolcoside	烟草	叶	39
84	dmnetelin I	洋金花	叶	38
85	nicotabacoside B	烟草	叶	17
86	rishitin M1-13-O- β -D-glucopyranoside	烟草	叶	40
87	nicotabacoside E	烟草	叶	17,35
88	nicotabacoside F	烟草	叶	17,35
89	soltorum B	水茄	茎	37
90	3 β ,11-dihydroxy-4,14-oxideenantioeudesmane	水茄	根	36
91	physalisitin A	<i>P. alkekengi</i> L. var. <i>franchetii</i>	花萼	41
92	1 β -羟基-1,2-二氢- α -山道年	白英	全草	13,31
93	atractylenolide II	洋金花	叶	38
94	atractylenolide I	白英	全草	23
95	atractylenother	洋金花	叶	38
96	septemlobin E	青杞	全草	42
97	septemlobin D	青杞	全草	43
98	11,12-O-isopropylidenesolajiangxin F	青杞	全草	43
99	江西白英素 H	白英	全草	44
100	7-isopropyl-3,5-dimethoxy-1-methylnaphthalen-2-ol	烟草	叶	35
101	7-isopropyl-2,5-dimethoxy-1-methyl-naphthalene	烟草	叶	35
102	(3-isopropyl-1,6-dimethoxy-naphthalen-5-yl)methanol	烟草	叶	35
103	solanoid A	白英	全草	22
104	physalisitin C	<i>P. alkekengi</i> L. var. <i>franchetii</i>	花萼	41
105	lyciiterpenoid A	中华枸杞 <i>Lycium chinense</i> Mill	根	45
106	lyciiterpenoid B	中华枸杞	根	45
107	lyciiterpenoid C	中华枸杞	根	45
108	1,2,3,4-tetrahydro-4-hydroxy- α , α ,5,8-tetramethyl	中华枸杞	根	45

1.4 香根螺烷型倍半萜类成分

香根螺烷型倍半萜是1个五元环和1个六元环通过1个螺原子相连形成的,目前从茄科植物中共分离出52个香根螺烷型倍半萜类成分。从茄科中分离得到的该类型倍半萜约80%来自于茄属植物。香根螺烷型倍半萜的结构变化主要集中在环内双键的个数和位置、六元环上取代基的变化以及烯丙基上的不同取代。该类型倍半萜常在9位存在1个双键(如化合物114~116、133、152~155),少数在6位和9位分别存在1个双键(如化合物117、131、156);六元环上常在8位出现羰基取代(如化合物123~135、145~149、158);6、8、9位常存在不同构型的羟基取代(如化合物109~113、136~144、160);烯丙基上13位的甲基部分常被羟基取代(如化合物124、134、144)或被羟基取代后与糖基结合

成苷(如化合物132、145~147、151)。香根螺烷型倍半萜类成分的结构及名称见图5和表4。

1.5 愈创木烷型倍半萜类成分

愈创木烷型倍半萜在茄科植物中较为少见,目前仅从烟草、水茄、洋金花和茄等植物中共分离得到17个。具体化合物的结构及名称见图6和表5。

1.6 其他类型倍半萜类成分

除上述几种类型的倍半萜外,还从茄科植物中分离得到了32个其他类型的倍半萜类成分,如化合物179为含有6/5/5三环体系的姜黄素型倍半萜;化合物184为花柏烷型倍半萜的衍生物;化合物185为石竹烷型倍半萜;化合物181、189、190则均为吉马烷型倍半萜;而化合物191~199均可以看作是桉叶烷型倍半萜经过结构衍变得到的。具体化合物结构及名称见图7和表6。

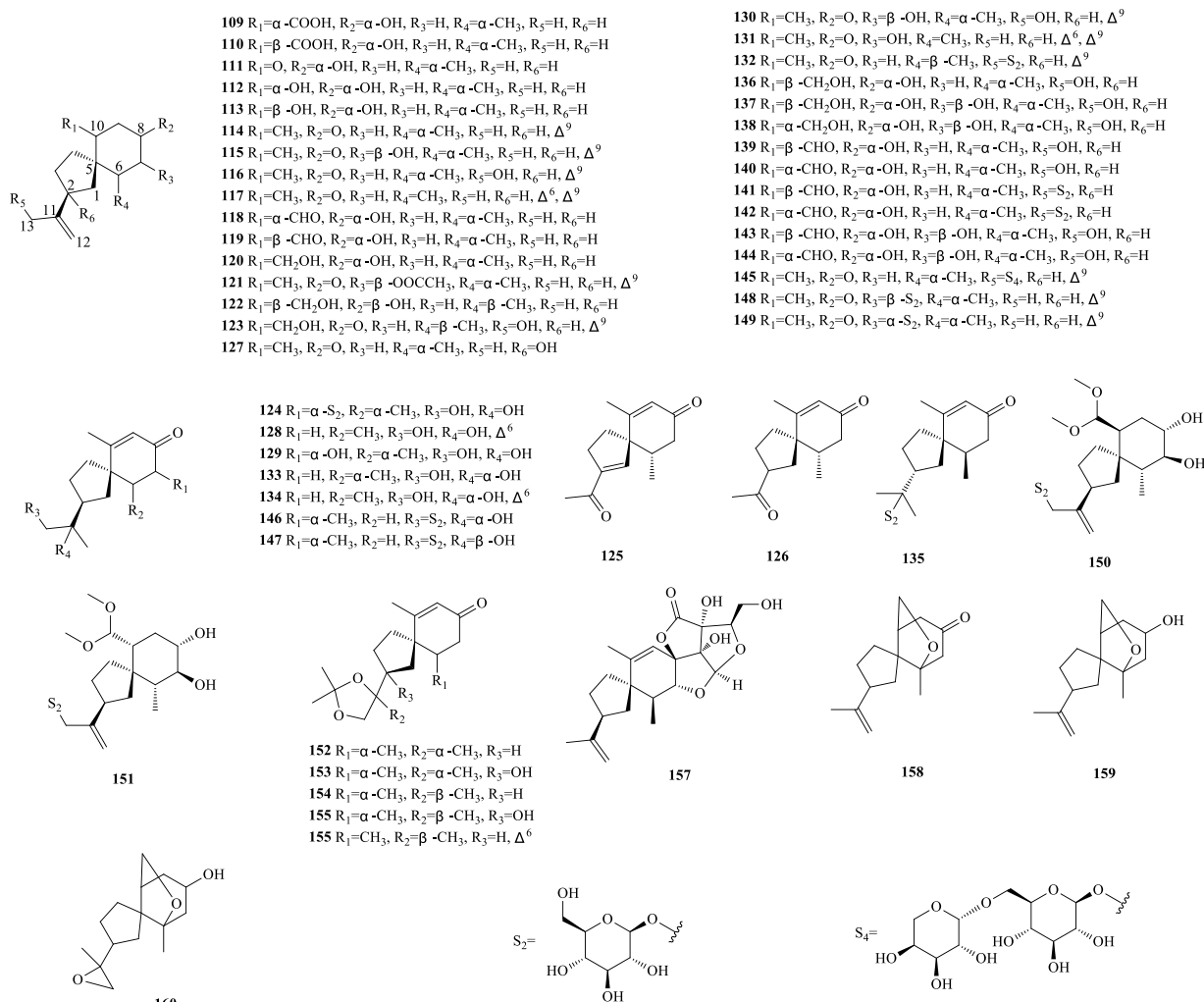


图5 茄科中的香根螺烷型倍半萜类成分

Fig. 5 Vetispirane-type sesquiterpenoids from Solanaceae

表 4 茄科中的香根螺烷型倍半萜类成分
Table 4 Vetispirane-type sesquiterpenoids from Solanaceae

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
109	lubiminoic acid	红茄 <i>S. aethiopicum</i> L.	根	46-47
110	epilubiminoic acid	红茄	根	46
111	aethione	红茄	根	46-47
112	15-norlubiminol	红茄	根	46
113	15-norepilubiminol	红茄	根	46
114	螺岩兰草酮	水茄	茎	37
		红茄	根	46-47
		<i>S. abutiloides</i> (Griseb.) Bitter & Lillo	根	48
		刺天茄 <i>S. indicum</i> Linn.	根	49
		假烟树叶 <i>S. erianthum</i> D. Don	根	50
		马尿泡 <i>Przewalskia tangutica</i> Maxim	全草	51
115	3 β -羟基螺岩兰草酮	红茄	根	46
		<i>S. abutiloides</i>	根	48
116	13-羟基螺岩兰草酮	水茄	茎	37
		红茄	根	46
117	anhydro- β -rotunol	白英	全草	22
		红茄	根	46
118	lubimin	红茄	根	46-47
		<i>S. abutiloides</i>	根	48
119	epilubimin	红茄	根	46
120	lubiminol	红茄	根	47
121	3 β -乙酰氧基螺岩兰草酮	<i>S. abutiloides</i>	根	47
122	canusesnol I	辣椒	根、茎	25
123	canusesnol J	辣椒	根、茎	25
124	(11 <i>R</i>)-12-dihydroxy-6(7)-spirovetiven-8-one-9- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	烟草	叶	40
125	山烟草酮 A	青杞	全草	24
		假烟树叶	根	50
126	山烟草酮 B	假烟树叶	根	50
127	septemlobin C	青杞	全草	52
128	2-(1',2'-dihydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethylspiro[4,5]dec-6,9-dien-8-one	水茄	根	36
129	2-(1',2'-dihydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethyl-9-hydroxy-spirodec-6-en-8-one	白英	全草	13
		水茄	根	36
130	soltorum C	水茄	茎	37
131	spiro[4.5]deca-6,9-dien-8-one-7-hydroxy-6,10-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-(2 <i>R</i> -trans)-(9 <i>Cl</i>)	水茄	茎	37
132	dmetelisproside A	洋金花	叶	20
133	C-1' epimer of (2 <i>R</i> ,5 <i>S</i> ,10 <i>R</i>)-2-(1',2'-dihydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethylspiro[4,5]dec-6-en-8-one	<i>Lycium europaeum</i>	根、叶	14
134	C-1' epimer of 2-(1',2'-di-hydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethylspiro[4,5]dec-6,9-dien-8-one	<i>Lycium europaeum</i>	根、叶	14

续表 4

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
135	daturaterpenoid D	洋金花	茎	16
136	melongenaterpene A	茄	根	53
137	melongenaterpene B	茄	根	53
138	melongenaterpene C	茄	根	53
139	melongenaterpene F	茄	根	53
140	melongenaterpene G	茄	根	53
141	melongenaterpene H	茄	根	53
142	melongenaterpene I	茄	根	53
143	melongenaterpene J	茄	根	53
144	melongenaterpene K	茄	根	53
145	melongenaterpene L	茄	根	53
146	(1'S,2R,5S,10R)-2-(1',2'-dihydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethylspiro[4,5] dec-6-en-8-one	白英	全草	13
147	(1'R,2R,5S,10R)-2-(1',2'-dihydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethylspiro[4,5] dec-6-en-8-one	白英	全草	13
148	3-羟基螺岩兰草酮-β-D-葡萄糖苷 A	烟草	叶	54
149	3-羟基螺岩兰草酮-β-D-葡萄糖苷 B	烟草	叶	54
150	melongenaterpene D	茄	根	53
151	melongenaterpene E	茄	根	53
152	江西白英素 I	白英	全草	44
153	7-羟基江西白英素 I	白英	全草	44
154	江西白英素 E	白英	全草	29
155	2-羟基江西白英素 E	白英	全草	29
156	septemlobin F	青杞	全草	42
157	nicotabin A	烟草	叶	55
158	cyclodehydroisolubimin	洋芋	块茎	56
159	cyclolubimin	洋芋	块茎	56
160	11,12-epoxycyclodehydroisolubimin	洋芋	块茎	56

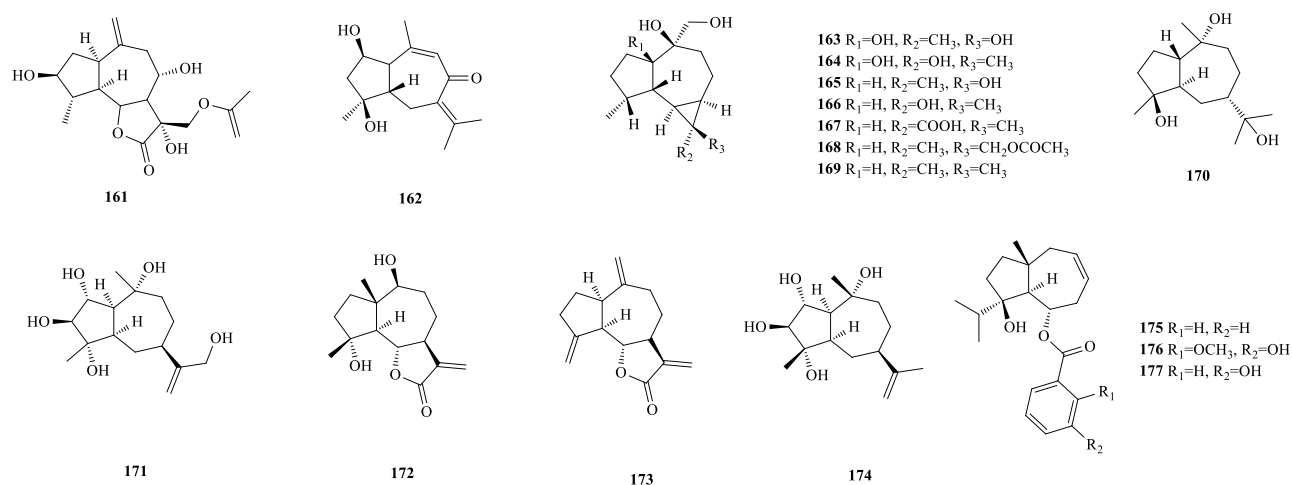


图 6 茄科中的愈创木烷型倍半萜类成分

Fig. 6 Guaiacane-type sesquiterpenoids from Solanaceae

表 5 茄科中的愈创木烷型倍半萜类成分

Table 5 Guaiacane-type sesquiterpenoids from Solanaceae

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
161	tabsesquiterpene A	烟草	叶	57
162	procurcumenol	烟草	叶	34
163	1 β ,10 β ,12,14-tetrahydroxy-allo-aromadendrane	水茄	根	36
164	1 β ,10 β ,13,14-tetrahydroxy-allo-aromadendrane	水茄	根	36
165	10 β ,12,14-trihydroxy-allo-aromadendrane	水茄	根	36
166	10 β ,13,14-trihydroxy-allo-aromadendrane	水茄	根	36
167	soltorum D	水茄	茎	37
168	soltorum E	水茄	茎	37
169	10 β ,14-dihydroxy-allo-aromadendrane	水茄	茎	37
170	1 β ,5 α ,7 β -guaiane-4 β ,10 α ,11-triol	洋金花	全草	58
171	1 β ,5 α ,7 α -11-guaiene-2 α ,3 β ,4 α ,10 α ,13-pentaol	洋金花	全草	58
172	lyciumate	<i>Lycium shawii</i> Roem. & Scult	茎	59
173	dehydrocostus lactone	<i>Lycium shawii</i>	茎	59
174	melongenaterpene O	茄	宿萼	6
175	teferidin	<i>S. schimperianum</i> Hochst	地上部分	60
176	teferin	<i>S. schimperianum</i>	地上部分	60
177	terutinin	<i>S. schimperianum</i>	地上部分	60

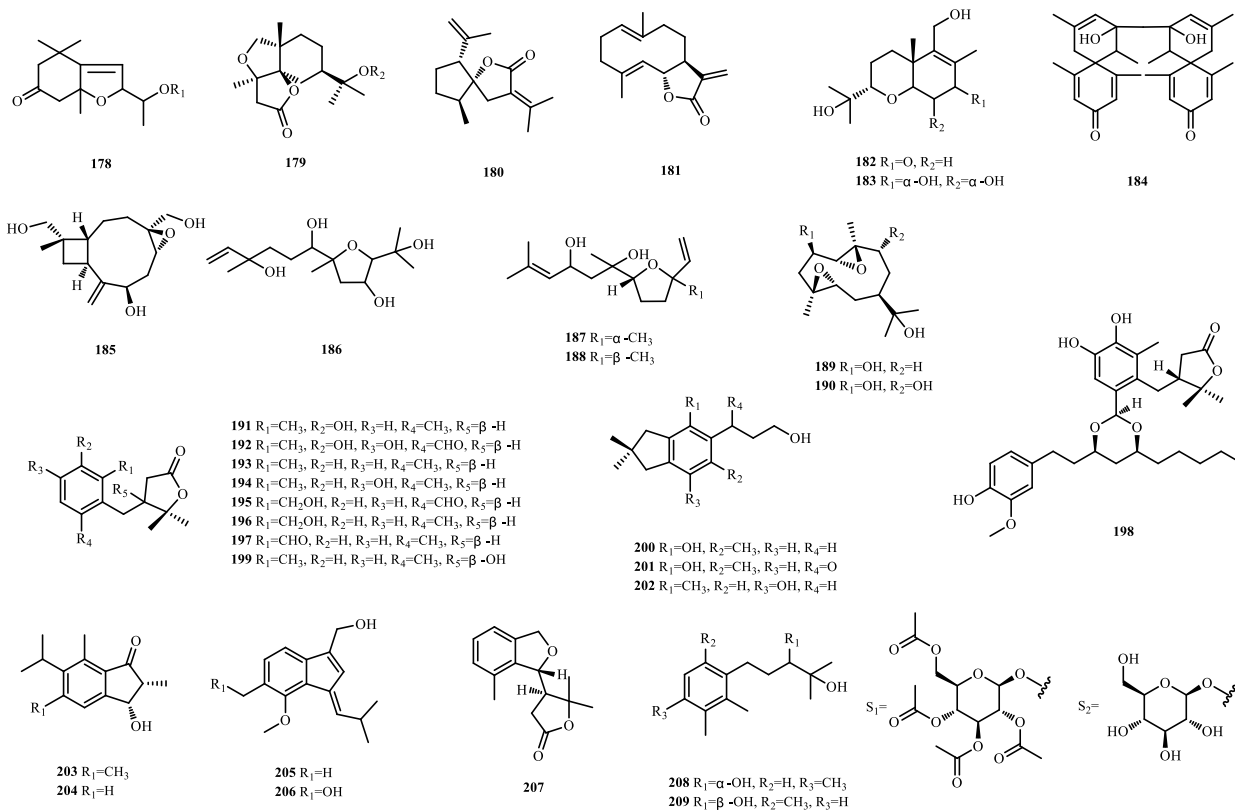


图 7 茄科中的其他类型倍半萜类成分

Fig. 7 Other types sesquiterpenoids from Solanaceae

表 6 茄科中的其他类型倍半萜类化合物

Table 6 Other types sesquiterpenoids from Solanaceae

编号	化合物名称	植物来源	来源部位	文献
178	3,4-dihydro-3-oxo-actinidol- <i>O</i> - β - <i>D</i> -tetraacetyl-glucopyranoside	洋芋	叶	10
179	nicotabactonecoside	烟草	叶	39
180	curcumanolide B	烟草	叶	34
181	costunolide	<i>L. shawii</i>	茎	59
182	daturaterpenoid A	洋金花	茎	16
183	daturaterpenoid B	洋金花	茎	16
184	conoidol A	朝天椒 <i>C. annuum</i> L. var. <i>conoides</i> (Mill.) Irish	果实	61
185	dmetelin A	洋金花	叶	38
186	melongenaterpene S	茄	宿萼	6
187	melongenaterpene T	茄	宿萼	6
188	7,10-epoxy-2,6,10-trimethyldodeca-2,11-diene-4,6-diol	茄	宿萼	6
189	melongenaterpene M	茄	宿萼	6
190	melongenaterpene N	茄	宿萼	6
191	lycifuranone A	白英	全草	22
		假烟树叶	根	50
		麻栗坡红丝线 <i>Lycianthes marlipoensis</i> C. Y. Wu et S. C. Huang	根	62
192	lycifuranone B	麻栗坡红丝线	根	62
193	solafuranone	白英	全草	22
		刺天茄	根	49
		假烟树叶	根	50
194	白英醇 D	白英	全草	12
		青杞	全草	24
195	江西白英素 B	白英	全草	27
196	septemlobin A	青杞	全草	52
197	septemlobin B	青杞	全草	52
198	lycifuranone C	麻栗坡红丝线	根	62
199	solanoid C	白英	全草	22
200	tabasesquiterpene A	烟草	叶	30
201	tabasesquiterpene B	烟草	叶	30
202	tabasesquiterpene C	烟草	叶	30
203	nicosesquiterpene A	烟草	叶	32
204	nicosesquiterpene B	烟草	叶	32
205	nicotianasterpene A	烟草	叶	34
206	nicotianasterpene B	烟草	叶	34
207	江西白英素 C	白英	全草	27
208	physalisitin B	<i>Physalis alkekengi</i> L. var. <i>franchetii</i> (Masters) Makino	花萼	41
209	lyciiterpenoid D	中华枸杞	根	45

2 药理活性

近年来,从茄科植物中发现的倍半萜类成分的药理活性得到了广泛关注,研究结果表明其活性主要包括抗肿瘤、抗炎、免疫抑制、抑菌和抗病毒等。

2.1 抗肿瘤

研究发现,从茄科白英、青杞、烟草、洋金花等植物中分离得到的 45 个倍半萜类成分对小鼠淋巴瘤 P-388 细胞、人结肠癌 HT-29 细胞、人肺癌 A549 细胞等多株细胞系具有不同程度的细胞毒性,本文系统总结了这些倍半萜类成分的细胞毒性,具体结果如表 7 所示。结果显示,茄科中的 21 个桉叶烷型倍半萜、9 个香根螺烷型倍半萜和 8 个单环倍半萜对多种癌细胞具有显著或中等程度的细胞毒性,而链状倍半萜和

其他类型倍半萜并未发现对癌细胞具有细胞毒性。

2.2 抗炎

从茄科植物中分离得到的部分桉叶烷型倍半萜、香根螺烷型倍半萜和愈创木烷型倍半萜也展现出了中等程度的抗炎活性,能抑制脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)诱导的小鼠单核巨噬细胞白血病 RAW264.7 细胞、小鼠小胶质 BV 细胞细胞的一氧化氮释放作用。深入的机制研究还表明,从锦灯笼中分离出来的 2 个桉叶烷型倍半萜 capsidiol (55) 和 4 α -decahydro-8 α -methyl-4-methylene-6 β -(1-methylethenyl)-1 α ,3 α -naphthalenediol (69) 是通过影响核因子 κ B (nuclear factor κ B, NF- κ B) 信号通路发挥抗炎活性,结果见表 7。

表 7 茄科植物中倍半萜类成分的细胞毒性和抗炎活性

Table 7 Cytotoxicity and anti-inflammatory activity of sesquiterpenoids from Solanaceae plants

化合物名称	结构类型	活性结果	文献
去氢催吐萝芙木醇 (9)	单环倍半萜	对人鼻咽癌 HONE-1、人口腔表皮癌 KB、人结肠癌 HT-29 细胞有细胞毒性	12
布卢门醇 A (10)	单环倍半萜	对 HONE-1、KB、HT-29 细胞有细胞毒性	12
白英醇 F (16)	单环倍半萜	对小鼠淋巴瘤 P-388、HT-29 细胞有细胞毒性	13
白英醇 E (19)	单环倍半萜	对 P-388、HT-29 细胞有细胞毒性	13
柑橘苷 A (22)	单环倍半萜	对人胃癌 SGC-7901、人宫颈癌 HeLa 细胞有细胞毒性、抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	20
staphylionoside D (23)	单环倍半萜	抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	20
lyciumionoside A (29)	单环倍半萜	对人肺癌 A549 有细胞毒性	19
1 α -hydroxy-bisabola-2,10-dien-4-one (31)	单环倍半萜	对人肝癌 Hep3B、HepG2 细胞有细胞毒性	23
白英醇 A (43)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HT-29 细胞有细胞毒性	26
白英醇 B (44)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HT-29 细胞有细胞毒性	26
白英醇 C (45)	桉叶烷型倍半萜	对 HONE-1、KB、HT-29 细胞有细胞毒性	12
江西白英素 A (46)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	27
江西白英素 F (47)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	28
江西白英素 G (48)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	28
江西白英素 D (49)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	29
白英醇 G (52)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	31
capsidiol (55)	桉叶烷型倍半萜	抗炎活性的机制可能与 NF- κ B 信号通路相关	33
(4R,5R,7R,10R)-4-hydroxy-eudesma-2,11-dien-1-one (67)	桉叶烷型倍半萜	对 Hep3B、HepG2 细胞有细胞毒性	22
4 α -decahydro-8 α -methyl-4-methylene-6 β -(1-methylethenyl)-1 α ,3 α -naphthalenediol (69)	桉叶烷型倍半萜	抗炎活性的机制可能与 NF- κ B 信号通路相关	33
dmnetelin F (71)	桉叶烷型倍半萜	抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	38
dmnetelin B (75)	桉叶烷型倍半萜	抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	38
(1R,7R,10R,11R)-12-hydroxyl anhuienosol (76)	桉叶烷型倍半萜	抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	38
1 β -羟基-1,2-二氢- α -山道年 (92)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	31

续表 7

化合物名称	结构类型	活性结果	文献
atractylenolide II (93)	桉叶烷型倍半萜	抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	38
atractylenolide (95)	桉叶烷型倍半萜	抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	38
septemlobin E (96)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	42
septemlobin D (97)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	43
11,12-O-isopropylidenesolajiangxin F (98)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	43
江西白英素 H (99)	桉叶烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	44
螺岩兰草酮 (114)	香根螺烷型倍半萜	对人卵巢癌 OVCAR-3 细胞有细胞毒性、抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	49 50
septemlobin C (127)	香根螺烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	52
dmetelisproside A (132)	香根螺烷型倍半萜	对 SGC-7901、HeLa 细胞有细胞毒性	20
江西白英素 I (152)	香根螺烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	44
7-羟基江西白英素 I (153)	香根螺烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	44
江西白英素 E (154)	香根螺烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	29
2-羟基江西白英素 E (155)	香根螺烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	29
septemlobin F (156)	香根螺烷型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	42
nicotabin A (157)	香根螺烷型倍半萜	抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞 NO 释放作用	55
tabesquiterpene A (161)	愈创木烷型倍半萜	对人神经母细胞瘤 SHSY5Y、人前列腺癌 PC-3、人乳腺癌 MCF-7 细胞有细胞毒性	57
1 β ,5 α ,7 α -11-guaiene-2 α ,3 β ,4 α ,10 α ,13-pentaol (171)	愈创木烷型倍半萜	抑制 LPS 诱导的 BV 细胞 NO 释放作用	58
白英醇 D (194)	其他类型倍半萜	对 HONE-1、KB、HT-29 细胞有细胞毒性	12
江西白英素 B (195)	其他类型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	27
septemlobin A (196)	其他类型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	52
septemlobin B (197)	其他类型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	52
江西白英素 C (207)	其他类型倍半萜	对 P-388、HONE-1、HT-29 细胞有细胞毒性	27

2.3 抑菌和抗病毒

茄科中目前发现的抗病毒类倍半萜大多是从烟草中分离出来的, 它们中的部分化合物展现出了较强的抗烟草花叶病毒活性。Shang 等^[30]从烟草叶中分离出的具有较为新颖骨架的倍半萜 tabesquiterpene B (201) 具有显著的抗烟草花叶病毒活性, 抑制率高达 35.2%, 高于了阳性药宁南霉素。Shen 等^[32,34]也从烟草叶中分离得到了抗烟草花叶病毒活性高于阳性药的倍半萜 nicosquiterpene A (203)、nicosquiterpene B (204) 和 nicotianasterpene A (204), 抑制率分别为 36.7%、45.6%、33.6%。此外, 研究发现从茄科茄属植物红茄以及矮树番茄中分离得到的香根螺烷型倍半萜 solavetivone (114)、lubimin (118) 和 3 β -acetoxysolavetivone (121) 也可抑制土传病原体尖孢镰刀菌的生长^[48-49]。

2.4 免疫抑制

从水茄的茎中分离出的倍半萜类化合物

soltorvum A (64)、solavetivone (114)、13-hydroxysolavetivone (116)、spiro[4.5]deca-6,9-dien-8-one-7-hydroxy-6,10-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-(2*R-trans*)-(9CI) (131)、soltorvum E (168) 能显著抑制刀豆蛋白 A 诱导的脾细胞增殖, 展现出一定的免疫抑制活性, 且呈现剂量相关性^[38]。

2.5 其他活性

从枸杞属植物 *L. europaeum* L. 中分离出的 4 个倍半萜类化合物 C-1' epimer of (2*R,5S,10R*)-2-(1',2'-dihydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethylspiro[4.5]dec-6-en-8-one (133)、C-1' epimer of 2-(1',2'-di-hydroxy-1'-methylethyl)-6,10-dimethyl-spiro[4.5]dec-6,9-dien-8-one (134)、dehydrovomifoliol (9) 和 vomifoliol (10) 展现出了抗氧化和乙酰胆碱酯酶抑制活性^[14]。

3 结语

茄科植物中蕴含有丰富的倍半萜类成分, 除了从茄属植物发现了较多种类和数量的倍半萜外, 还

从茄科其他属中发现了一些结构新颖的倍半萜类化合物,如从烟草叶中分离得到的含有特殊 6/5/5 三环体系的姜黄素型倍半萜(179)、从洋金花根中分离并鉴定出的具有新骨架的倍半萜 182、193。因此对茄科植物,特别是除茄属外的其他属植物进行深入系统的化学成分研究,可能发现结构新颖、活性显著的倍半萜类成分,对丰富天然产物种类、优化茄科植物学分类情况具有重大意义,随着研究的深入必将有越来越多的倍半萜类成分从茄科植物中被发现。

此外,许多茄科植物中的倍半萜类成分在抗肿瘤、抗炎等方面展现出了突出的活性,但目前的研究多集中于成分体外活性筛选,其在体活性及作用机制研究还鲜有报道,有待进一步深入挖掘,以期能进一步阐明构效关系,扩大茄科中倍半萜类成分的应用范围。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Afroz M, Akter S, Ahmed A, et al. Ethnobotany and antimicrobial peptides from plants of the Solanaceae family: An update and future prospects [J]. *Front Pharmacol*, 2020, 11: 565.
- [2] Hančinský R, Mihálik D, Mrkvová M, et al. Plant viruses infecting *Solanaceae* family members in the cultivated and wild environments: A review [J]. *Plants*, 2020, 9(5): E667.
- [3] Li Q W, Zhang R, Zhou Z Q, et al. Phenylpropanoid glycosides from the fruit of *Lycium barbarum* L. and their bioactivity [J]. *Phytochemistry*, 2019, 164: 60-66.
- [4] Cherie Melaku B, Amare G G. Evaluation of antidiabetic and antioxidant potential of hydromethanolic seed extract of *Datura stramonium* Linn (Solanaceae) [J]. *J Exp Pharmacol*, 2020, 12: 181-189.
- [5] Küpeli Akkol E, İlhan M, Kozan E, et al. Insecticidal activity of *Hyoscyamus niger* L. on *Lucilia sericata* causing myiasis [J]. *Plants*, 2020, 9(5): E655.
- [6] Zhao D Y, Liu Y, Sun Y P, et al. Sesquiterpenoids with diverse carbon skeletons from the sepals of *Solanum melongena* L. [J]. *Fitoterapia*, 2020, 142: 104517.
- [7] Jassbi A R, Zare S, Asadollahi M, et al. Ecological roles and biological activities of specialized metabolites from the genus *Nicotiana* [J]. *Chem Rev*, 2017, 117(19): 12227-12280.
- [8] Uegaki R, Fujimori T, Kubo S, et al. Sesquiterpenoid stress compounds from *Nicotiana* species [J]. *Phytochemistry*, 1981, 20(7): 1567-1568.
- [9] Stoessel A, Stothers J B, Ward E W B. Sesquiterpenoid stress compounds of the Solanaceae [J]. *Phytochemistry*, 1976, 15(6): 855-872.
- [10] Tazaki H, Ohta N, Nabeta K, et al. Structure of sesquiterpene glucosides from potato leaves [J]. *Phytochemistry*, 1993, 34(4): 1067-1070.
- [11] 杨蒙, 陈重, 李笑然, 等. 毛酸浆宿萼的化学成分研究 (I) [J]. *中草药*, 2013, 44(3): 253-256.
- [12] Ren Y, Shen L, Zhang D W, et al. Two new sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* with cytotoxic activities [J]. *Chem Pharm Bull*, 2009, 57(4): 408-410.
- [13] 岳喜典, 姚芳, 张雷, 等. 白英中的倍半萜类化合物 [J]. *中国中药杂志*, 2014, 39(3): 453-456.
- [14] Bendjedou H, Barboni L, Maggi F, et al. Alkaloids and sesquiterpenes from roots and leaves of *Lycium europaeum* L. (Solanaceae) with antioxidant and anti-acetylcholinesterase activities [J]. *Nat Prod Res*, 2019: 1-5.
- [15] Kuang H X, Yang B Y, Xia Y G, et al. Chemical constituents from the flower of *Datura metel* L [J]. *Arch Pharm Res*, 2008, 31(9): 1094-1097.
- [16] Liu Y, Guan W, Lu Z K, et al. New sesquiterpenoids from the stems of *Datura metel* L. [J]. *Fitoterapia*, 2019, 134: 417-421.
- [17] Yang C Y, Geng C G, Huang X Y, et al. Noreudesmane sesquiterpenoids from the leaves of *Nicotiana tabacum* [J]. *Fitoterapia*, 2014, 96: 81-87.
- [18] Yue X D, Qu G W, Li B F, et al. Two new C13-norisoprenoids from *Solanum lyratum* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(5): 486-490.
- [19] Wang Y, Zhao B, Ma H R, et al. Two new sesquiterpenoid glycosides from the leaves of *Lycium barbarum* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2016, 18(9): 871-877.
- [20] Guo R, Liu Y, Pan J, et al. A new sesquiterpenoid with cytotoxic and anti-inflammatory activity from the leaves of *Datura metel* L [J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(4): 607-613.
- [21] 刘艳, 杨炳友, 刘涤航, 等. 洋金花倍半萜类化合物的分离与鉴定 [J]. *中医药学报*, 2015, 43(2): 7-9.
- [22] Li S S, Cheng Z Y, Zhang Y Y, et al. Sesquiterpenoids from the herbs of *Solanum lyratum* and their cytotoxicity on human hepatoma cells [J]. *Fitoterapia*, 2019, 139: 104411.
- [23] Yu S M, Kim H J, Woo E R, et al. Some sesquiterpenoids and 5 α , 8 α -epidioxysterols from *Solanum lyratum* [J]. *Arch Pharmacol Res*, 1994, 17(1): 1-4.
- [24] 聂秀萍, 张雷, 姚芳, 等. 青杞中的倍半萜类化合物 [J]. *中国中药杂志*, 2015, 40(8): 1514-1517.
- [25] Kawaguchi Y, Ochi T, Takaishi Y, et al. New sesquiterpenes from *Capsicum annuum* [J]. *J Nat Prod*, 2004, 67(11): 1893-1896.

- [26] Dai S J, Shen L, Ren Y. Two new eudesmane-type sesquiterpenoids from *Olanum lyratum* [J]. *Nat Prod Res*, 2009, 23(13): 1196-1200.
- [27] Yao F, Song Q L, Zhang L, *et al.* Solajiangxins A-C, three new cytotoxic sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* [J]. *Fitoterapia*, 2013, 89: 200-204.
- [28] Li G S, Yao F, Zhang L, *et al.* Two new cytotoxic sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* [J]. *Chin Chem Lett*, 2013, 24(11): 1030-1032.
- [29] Yao F, Song Q L, Zhang L, *et al.* Three new cytotoxic sesquiterpenoids from *Solanum lyratum* [J]. *Phytochem Lett*, 2013, 6(3): 453-456.
- [30] Shang S Z, Zhao W, Tang J G, *et al.* Antiviral sesquiterpenes from leaves of *Nicotiana tabacum* [J]. *Fitoterapia*, 2016, 108: 1-4.
- [31] Nie X P, Yao F, Yue X D, *et al.* New eudesmane-type sesquiterpenoid from *Solanum lyratum* with cytotoxic activity [J]. *Nat Prod Res*, 2014, 28(9): 641-645.
- [32] Shen Q P, Xu X M, Li L, *et al.* Sesquiterpenes from the leaves of *Nicotiana tabacum* and their anti-tobacco mosaic virus activities [J]. *Chin Chem Lett*, 2016, 27(5): 753-756.
- [33] Hu H X, Xu L T, Gao H, *et al.* Chemical constituents from *Physalis Calyx seu Fructus* and their inhibitory effects against oxidative stress and inflammatory response [J]. *Planta Med*, 2020, 86(16): 1191-1203.
- [34] Shen Q P, Xu X M, Liu C B, *et al.* Two new sesquiterpenes from the leaves of *Nicotiana tabacum* and their anti-tobacco mosaic virus activities [J]. *Nat Prod Res*, 2016, 30(22): 2545-2550.
- [35] Shang S Z, Zhao W, Tang J G, *et al.* 14-Noreudesmane sesquiterpenes from leaves of *Nicotiana tabacum* and their antiviral activity [J]. *Phytochem Lett*, 2016, 17: 173-176.
- [36] Yuan P L, Guo F J, Zheng K K, *et al.* Nine sesquiterpenes from *Solanum torvum* [J]. *Nat Prod Res*, 2016, 30(15): 1682-1689.
- [37] Yuan P L, Wang X P, Jin B L, *et al.* Sesquiterpenes with immunosuppressive effect from the stems of *Solanum torvum* [J]. *Phytochem Lett*, 2016, 17: 126-130.
- [38] Tan J Y, Liu Y, Cheng Y G, *et al.* Anti-inflammatory sesquiterpenoids from the leaves of *Datura metel* L. [J]. *Fitoterapia*, 2020, 142: 104531.
- [39] Yang C Y, Geng C G, Ma Y B, *et al.* Two new sesquiterpenoid glycosides from *Nicotiana tabacum* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2014, 16(6): 611-616.
- [40] Feng X, Wang J S, Luo J, *et al.* Two new sesquiterpene glucosides from the leaves of *Nicotiana tabacum* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2009, 11(7): 675-680.
- [41] Zhang J L, Zhou F F, Li Y Z, *et al.* New sesquiterpenoids with COX-2 inhibitory activity from the medical plant *Physalis. Alkekengi* L. var. *franchetii* [J]. *Fitoterapia*, 2020, 141: 104470.
- [42] Song Q L, Zhang L, Li G S, *et al.* Cytotoxic sesquiterpenoid derivatives from the whole plant of *Solanum septemlobum* [J]. *Chem Nat Compd*, 2018, 54(1): 69-72.
- [43] Zhang L, Lin H Q, Li G S, *et al.* New sesquiterpenoid derivatives from *Solanum septemlobum* with cytotoxicities [J]. *Nat Prod Res*, 2015, 29(20): 1889-1893.
- [44] Li G S, Yao F, Zhang L, *et al.* New sesquiterpenoid derivatives from *Solanum lyratum* and their cytotoxicities [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2014, 16(2): 129-134.
- [45] Huang Y P, Xia Z, Xu W, *et al.* Lyciiterpenoids A-D, four new rearranged eudesmane sesquiterpenoids from *Lycii Cortex* [J]. *Nat Prod Res*, 2020: doi:10.1080/14786419.2020.1719485.
- [46] Nagase H, Nagaoka T, Watanabe A, *et al.* Sesquiterpenoids from the roots of *Solanum aethiopicum* [J]. *Z Naturforsch C J Biosci*, 2001, 56(3/4): 181-187.
- [47] Nagaoka T, Goto K, Watanabe A, *et al.* Sesquiterpenoids in root exudates of *Solanum aethiopicum* [J]. *Z Naturforsch C J Biosci*, 2001, 56(9/10): 707-713.
- [48] Yokose T, Katamoto K, Park S, *et al.* Anti-fungal sesquiterpenoid from the root exudate of *Solanum abutiloides* [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2004, 68(12): 2640-2642.
- [49] Syu W J, Don M J, Lee G H, *et al.* Cytotoxic and novel compounds from *Solanum indicum* [J]. *J Nat Prod*, 2001, 64(9): 1232-1233.
- [50] Chen Y C, Lee H Z, Chen H C, *et al.* Anti-inflammatory components from the root of *Solanum erianthum* [J]. *Int J Mol Sci*, 2013, 14(6): 12581-12592.
- [51] 邵俊杰, 彭勇, 何春年, 等. 马尿泡化学成分的分与鉴定 [J]. 沈阳药科大学学报, 2013, 30(11): 840-845.
- [52] Zhang L, Li G S, Yao F, *et al.* Three new sesquiterpenoids from *Solanum septemlobum* with cytotoxic activities [J]. *Phytochem Lett*, 2015, 11: 173-176.
- [53] Yin X, Liu Y, Pan J, *et al.* Melongenaterpenes A-L, vetispirane-type sesquiterpenoids from the roots of *Solanum melongena* [J]. *J Nat Prod*, 2019, 82(12): 3242-3248.
- [54] Feng X, Wang J S, Luo J, *et al.* A pair of sesquiterpene glucosides from the leaves of *Nicotiana tabacum* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2010, 12(3): 252-256.
- [55] Feng T, Li X M, He J, *et al.* Nicotabin A, a sesquiterpenoid derivative from *Nicotiana tabacum* [J]. *Org Lett*, 2017, 19(19): 5201-5203.

- [56] Desjardins A E, Gardner H W, Weltring K M. Detoxification of sesquiterpene phytoalexins by *Gibberella pulicaris* (*Fusarium sambucinum*) and its importance for virulence on potato tubers [J]. *J Ind Microbiol*, 1992, 9(3/4): 201-211.
- [57] Chen Y K, Meng C Y, Su Z B, et al. A new sesquiterpene from *Nicotiana tabacum* and its cytotoxicity [J]. *Asian J Chem*, 2014, 26(8): 2246-2248.
- [58] Mai N T, Cuc N T, Anh H L T, et al. Two new guaiane sesquiterpenes from *Datura metel* L. with anti-inflammatory activity [J]. *Phytochem Lett*, 2017, 19: 231-236.
- [59] Rehman N U, Hussain H, Al-Riyami S A, et al. Chemical constituents isolated from *Lycium shawii* and their chemotaxonomic significance [J]. *Rec Nat Prod*, 2018, 12(4): 380-384.
- [60] Al-Oqail M, Hassan W H, Ahmad M S, et al. Phytochemical and biological studies of *Solanum schimperianum* Hochst [J]. *Saudi Pharm J*, 2012, 20(4): 371-379.
- [61] Chen C Y, Kao C L, Yeh H C, et al. A New Dimeric Sesquiterpenoid from *Capsicum annuum* var. *conoides* [J]. *Chem Nat Compd*, 2020, 56(2): 257-258.
- [62] Guo F J, Li Y C. New sesquiterpenoids from *Lycianthes marlipoensis* [J]. *Helv Chim Acta*, 2005, 88(8): 2364-2369.

[责任编辑 崔艳丽]