

# 植物内生真菌中萜类化合物研究进展

郭晶<sup>1,2</sup>,刘明秀<sup>1</sup>,柴南南<sup>1</sup>,濮兴娜<sup>1</sup>,汪伟光<sup>2</sup>,李艳平<sup>1</sup>

(1. 云南中医药大学 中药学院 云南省南药可持续利用重点实验室,云南 昆明 650500;

2. 云南民族大学 民族药资源化学国家民族事务委员会-教育部重点实验室,云南 昆明 650500)

**摘要:**植物内生真菌中萜类化合物结构新颖,有显著的生物活性.研究表明,植物内生真菌与宿主植物生长的各阶段都有着紧密的关系,植物内生真菌特别是药用植物内生真菌的次级代谢产物更是发现具抗菌活性、抗肿瘤活性、抗炎活性等效果较好,结构丰富化合物的重要资源.本综述对植物内生真菌中萜类化合物进行研究综述,以期对这些化合物的后期研究和开发应用提供参考.

**关键词:**内生真菌;次级代谢产物;萜类;生物活性

**中图分类号:**R284 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-8513(2024)01-0001-16

植物内生真菌是寄生于健康植物体内的真菌,于其各组织、器官内或细胞间隙内完成它的生活周期<sup>[1]</sup>.在与宿主植物进化过程中,它们之间建立互利共生的关系,特别是内生真菌会代谢出活性产物,增强了宿主植物的生长和竞争能力<sup>[2-4]</sup>.目前研究表明,人们对植物内生真菌次级代谢产物总结得出以下几类化学成分:萜类,甾体类,黄酮类,肽类,脂肪族类,生物碱类,酯类和苯丙素类等,且大多具有广泛的药理活性,如抗炎、抗肿瘤、抗菌等<sup>[5]</sup>.萜类化合物结构丰富,多具有较好的生物活性,近年来,从植物来源的内生真菌中获得的萜类化合物越来越多,本文将对该类成分进行综述,为植物内生真菌萜类化合物进一步研究提供借鉴.

## 1 化学成分

萜类化合物是由甲戊二羟酸衍生、且分子骨架以异戊二烯单元(C<sub>5</sub>单元)为基本结构单元的化合物及其衍生物.一般分为单萜、倍半萜、二萜、三萜、四萜等.下面将从单萜、倍半萜、二萜、二倍半萜、三萜等5个方面来介绍来源于植物内生真菌中的萜类成分.

### 1.1 单萜类化合物

从角果木内生青霉属内生真菌 J54<sup>[6-7]</sup>中分离到单萜化合物 citroside A (**1**),抗菌结果表明对大肠杆菌的 MIC 值是 25 μg/mL. Xu 等<sup>[8]</sup>从内生真菌 *Pestalotiopsis foedan* 分离得到 1 个新的单萜,命名为 (3R,4R,6R,7S)-7-hydroxyl-3,7-dimethyl-oxabicyclo[3.3.1]nonan-2-one (**2**). Liu 等<sup>[9]</sup>从内生真菌 *Periconia sp.* F-31 分离出 4 个单萜,分别为 2-carene-5,8-diol-2-carene-8,10diol、2-carene-8-acetamide、8-hydroxy-1,7-exoxy-2-menthene (**3~6**). Qin 等<sup>[10]</sup>从内生真菌 *Umbelopsis dimorpha* SWUKD3.1410 的发酵液中分离得到 monoterpene (**7**).罗萍等<sup>[11]</sup>从旱生卷柏 *Selaginella stauntoniana* 内生真菌赭曲霉 *Aspergillus ochraceus* SX-C7 分离得到 1 个单萜 6-hydroxy-p-menth-4(5)-en-3-one (**8**).见表 1、图 1 所示.

收稿日期:2023-01-13.

基金项目:云南省应用基础研究计划项目面上项目(202201AT070228);云南省南药可持续利用研究重点实验室开放课题(202005AG070157YZ202103).

作者简介:郭晶(1996-),女,硕士研究生.主要研究方向为药物化学.

通信作者:汪伟光(1984-),男,博士,研究员,硕士生导师.主要从事天然产物的基因组导向挖掘、活性评价、生物合成与合成生物学研究.

李艳平(1986-),女,博士,教授,硕士生导师.主要从事中药、天然药物化学成分与生物活性研究.

表1 植物内生真菌中单萜类成分

No.	Compound	Ref.
1	citroside A	[7]
2	(3 <i>R</i> ,4 <i>R</i> ,6 <i>R</i> ,7 <i>S</i> ) - 7 - hydroxyl - 3,7 - dimethyl - oxabicyclo[3.3.1]nonan - 2 - one	[8]
3	2 - carene - 5,8 - diol	[9]
4	2 - carene - 8,10 - diol	[9]
5	2 - carene - 8 - acetamide	[9]
6	8 - hydroxy - 1,7 - epoxy - 2 - menthene	[9]
7	monoterpene	[10]
8	6 - hydroxy - <i>p</i> - menth - 4(5) - en - 3 - one	[11]

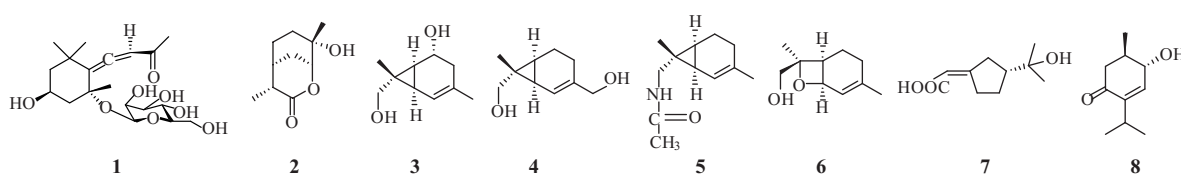


图1 植物内生真菌中单萜类成分

## 1.2 倍半萜类化合物

### 1.2.1 单环倍半萜

Zhang 等<sup>[12-13]</sup>从红树林植物内生真菌 *Trichoderma* sp. Xy24 中分离得到 2 个单环倍半萜二醇 cyclonerodiol B (**9**)、cyclonerodiol (**10**)。贾林川等<sup>[14]</sup>从太子参中鉴定出一株内生真菌 *Penicillium oxalicum*, 在其液体发酵后的次级代谢物种分离鉴定出 (7*S*,11*S*) - (+) - 12 - acetoxysydonic acid (**11**)、(*S*) - (+) - 11 - dehydroxydic acid (**12**)、sydonic acid (**13**)和 1 - hydroxy - boivinianin A (**14**)共 4 个倍半萜类化合物。余紫荆等<sup>[15]</sup>从植物杜英的叶片中分离得到一株内生真菌,经分子生物学方法鉴定为 *Aspergillus versicolor*, 在实验室中以大米麸皮培养基固体培养,经乙酸乙酯萃取、分离得到 8 个化合物,鉴定为 (-) - hydroxysydonic acid (**15**)、12 - acetoxysydonic acid (**16**)、10 - hydroxysydonic acid (**17**)、sydonic acid (**18**)、sydonic acid (**19**)、(*S*) - (+) - 11 - dehydroxydic acid (**20**)、Sydonollb (**21**)、(*R*) - hydroxyboivinianic acid (**22**)。从 *Taxus brevifolia*<sup>[16-17]</sup>的内生真菌中得到倍半萜 pestalotiopsin A ~ D (**23 ~ 26**)、7,14 - diacetate (**27**)、pestalotiopsin E (**28**)。在钩藤健康组织中的内生真菌 *Colletotrichum gloeosporioides* GT - 7 分离得到化合物 colletotrichine B (**29**)<sup>[18]</sup>。

### 1.2.2 双环倍半萜

在角果木 (*Ceriops tagal*) 叶子中的内生真菌 *Penicillium* sp. J - 54, 发酵后分离鉴定出化合物 peniciedesmol B (**30**)<sup>[19-20]</sup>。Liu 等<sup>[19,21]</sup>从黄草乌中鉴定出内生真菌 *Phoma* sp. YE 3135, 从其发酵液中分离得到 phomanolide (**31**)。化合物 annulohpoxylotol A (**32**)是 Li 等<sup>[22]</sup>在茭白 (*Zizania caduciflora*) 叶子内生真菌 *Annulohypoxylon truncatum* 的发酵物中分离得到。Shi 等<sup>[19,23]</sup>从青蒿的新鲜内部组织中分离得到内生真菌 *Trichoderma virens* QA - 8, 大米固体发酵培养,在乙酸乙酯提取液中分离得到 trichocadinins B ~ G (**33 ~ 38**)。从内生真菌 *Eutypella* sp. BBC 13199<sup>[24]</sup>分离得到 ent - 4 - (15) - eudesmen - 11 - ol - 1 - one (**39**)、1 - ent - 4 (15) - eudesmen - 1 $\alpha$ , 11 - diol (**40**)。倍半萜 irpexlactone A (**41**)是 Duan 等<sup>[19,25]</sup>在中华蚊母树 (*Distylium chinense*) 鉴定出内生真菌 *Irpex lacteus* DR10 - 1, 在其发酵液乙酸乙酯萃取液中分离得到。Zhang 等<sup>[12-13]</sup>从内生真菌 *Trichoderma* sp. Xy24 中分离得到 4 个倍半萜,分别为 trichoacorenols B ~ C, 1 $\alpha$  - isopropyl - 4 $\alpha$ , 8 - dimethylspiro[4.5]dec - 8 - ene - 2 $\beta$ , 7 $\alpha$  - diol, 1 $\alpha$  - isopropyl - 4 $\alpha$ , 8 - dimethylspiro[4.5]dec - 8 - ene - 3 $\beta$ , 7 $\alpha$  - diol (**42 ~ 45**)。Wang 等<sup>[26]</sup>对烟草内生菌的大米发酵产物进行分离,得到 15 个倍半萜类化合物,分别为 rhizoperemophilane A ~ J (**46 ~ 55**)、guignarderemophilane D (**56**)、1 $\alpha$  - hydroxyhydrosofukinon (**57**)<sup>[27]</sup>、2 $\beta$  - hydroxy - 1,7(11),9 - eremophilatrien - 8 - one(**58**)<sup>[28]</sup>、guignarderemophilane B (**59**)、PR - toxin dimethyl ac-

etal (60)<sup>[29]</sup>. Chen 等<sup>[30]</sup>对内生菌 *Phomopsis* sp. SYSU-QYP-23 的马铃薯液体培养基分离得到 13 个倍半萜及其衍生物, 分别为 AA03390、eremofortin G、eremofortin F、eremofortin H~J、lithocarin A、petasol、isopetasan、Altioxin C~E、Phomomane (61~73). Luo 等<sup>[31]</sup>从诸葛菜 *Orychopogon violaceus* (L.) O. E. Schulz 的植物内生真菌 *Irpexolactes* OV38 培养基发酵液产物中分离鉴定 8 个倍半萜类化合物, 分别为 irpexolaceus A、tremulenolide D、irpexolaceus B、irpexolactin I~J、irpexolaceus D~F (74~81).

### 1.2.3 多环倍半萜

李薇<sup>[32]</sup>从马铃薯内生真菌 *Bipolaris eleusines* 中分离鉴定出一系列多环倍半萜, 例如 Bipolenin G~N (82~89), Bipolenin D (90), Helminthosporol (91)、Drechslerine B (92)、Helminthosporic acid (93)、Drechslerine A (94)、9-Hydroxyhelminthosporol (95).

倍半萜类化合物见表 2、图 2 所示.

表 2 植物内生真菌中倍半萜类成分

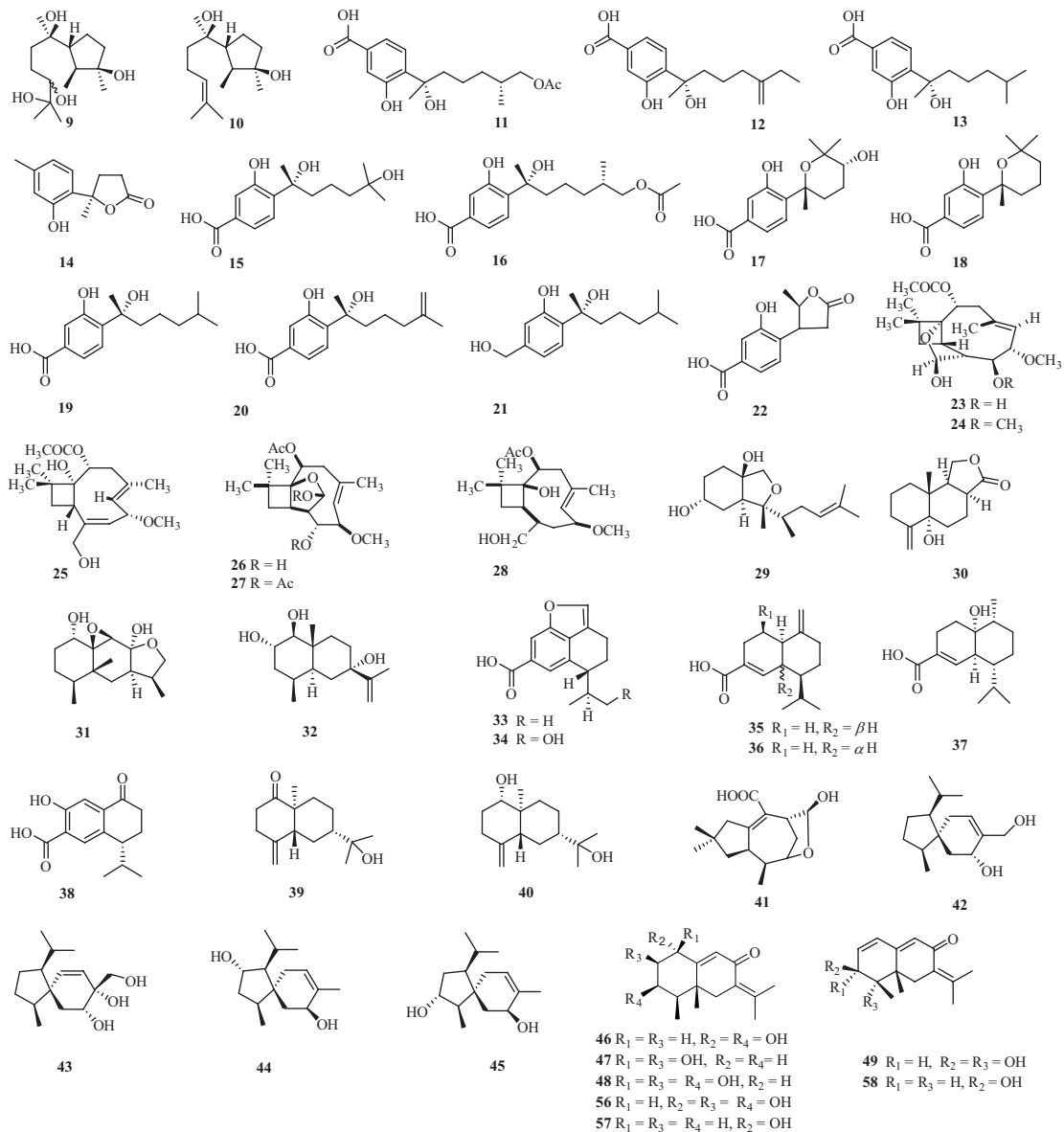
No.	Categ.	Compound	Ref.
9	倍半烯二醇	cyclonerodiol B	[12]
10	(Monocyclic sesquiterpenediol)	cyclonerodiol	[12]
11		(7S,11S) - ( + ) - 12 - acetoxysydonic acid	[14]
12		(S) - ( + ) - 11 - dehydroxydic acid	[14]
13		sydonic acid	[14]
14		1 - hydroxy - boivinianin A	[15]
15		( - ) - hydroxysydonic acid	[15]
16	没药烷型 (Bisabolane)	12 - acetoxysydonic acid	[15]
17		( - ) - (8S,11R) - 11 - hydroxysydonic acid	[15]
18		sydonic acid	[15]
19		sydonic acid	[15]
20		(S) - ( + ) - 11 - dehydroxydic acid	[15]
21		sydonol 1b	[15]
22		(R) - hydroxyboivinianic acid	[15]
23		pestalotiopsin A	[16]
24		pestalotiopsin B	[16]
25		pestalotiopsin C	[16]
26	蛇麻烷型 (Humulane)	pestalotiopsin D	[17]
27		pestalotiopsin E	[17]
28		pestalotiopsin F	[17]
29	其他单环类	colletotrichine B	[18]
30	桉烷型 (Eudesmane)	phomanolide	[20]
31	14 - nordrimane 型	phomanolide	[21]
32	桉烷型 (Eudesmane)	annulohpoxylotol A	[22]
33		trichocadinins B	[23]
34		trichocadinins C	[23]
35	杜松烷型 (Cadinane)	trichocadinins D	[23]
36		Trichocadinins E	[23]
37		trichocadinins F	[23]
38		trichocadinins G	[23]

续表 2

No.	Categ.	Compound	Ref.
39	桉烷型(Eudesmane)	ent - 4 - (15) - eudesmen - 11 - ol - 1 - one	[24]
40		ent - 4(15) - eudesmen - 1 $\alpha$ ,11 - diol	[24]
41	乳菇素烷型(Lactarane)	irpexlacte A	[25]
42	菖蒲烷型(Acorane)	trichoacorenols B	[12]
43		trichoacorenols C	[12]
44		1 $\alpha$ - isopropyl - 4 $\alpha$ ,8 - dimethylspiro[4.5]dec - 8 - ene - 2 $\beta$ ,7 $\alpha$ - diol	[12]
45		1 $\alpha$ - isopropyl - 4 $\alpha$ ,8 - dimethylspiro[4.5]dec - 8 - ene - 3 $\beta$ ,7 $\alpha$ - diol	[12]
46		rhizoperemophilane A	[26]
47	rhizoperemophilane B	[26]	
48	rhizoperemophilane C	[26]	
49	rhizoperemophilane D	[26]	
50	rhizoperemophilane E	[26]	
51	rhizoperemophilane F	[26]	
52	rhizoperemophilane G	[26]	
53	rhizoperemophilane H	[26]	
54	rhizoperemophilane I	[26]	
55	rhizoperemophilane J	[26]	
56	guignarderemophilane D	[26]	
57	1 $\alpha$ - hydroxyhydroisofukinon	[26]	
58	2 $\beta$ - hydroxyl - 1,7(11),9 - eremophilatrien - 8 - one	[27]	
59	艾里莫酚烷型(Eremophilane)	guignarderemophilane B	[28]
60		PR - toxin dimethyl acetal	[29]
61		AA03390	[30]
62		eremofortin G	[30]
63		eremofortin F	[30]
64		eremofortin H	[30]
65		eremofortin I	[30]
66		eremofortin J	[30]
67		lithocarin A	[30]
68		petasol	[30]
69		isopetasan	[30]
70		altiloxin C	[30]
71		altiloxin D	[30]
72		altiloxin E	[31]
73		phomomane	[31]
74	Tremulane 型	irpexolaceus A	[31]
75		tremulenolide D	[31]
76		irpexolaceus B	[31]
77		irpexolactin I	[31]
78		irpexolactin J	[31]
79		irpexolaceus D	[31]
80		irpexolaceus E	[31]
81		irpexolaceus F	[31]

续表 2

No.	Categ.	Compound	Ref.
82		bipolenin G	[32]
83		bipolenin H	[32]
84		bipolenin I	[32]
85	多环类	bipolenin J	[32]
86		bipolenin K	[32]
87		bipolenin L	[32]
88		bipolenin M	[32]
89		bipolenin N	[32]
90		bipolenin D	[32]
91		helminthosporol	[32]
92	多环类	hrechlerine B	[32]
93		helminthosporic acid	[32]
94		drechslerine A	[32]
95		9 - Hydroxyhelminthosporol	[32]



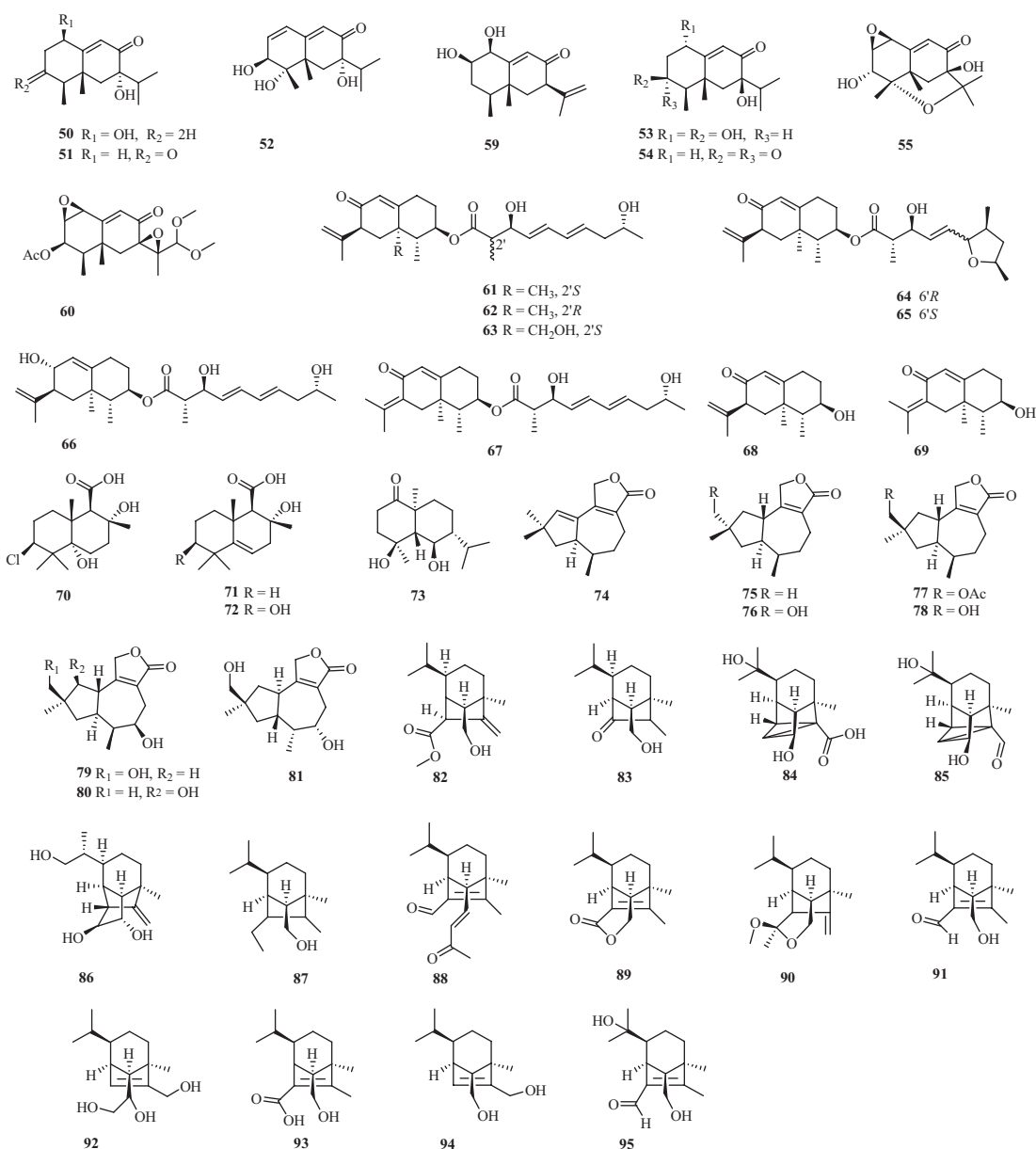


图 2 植物内生真菌中倍半萜类成分

### 1.3 二萜类化合物

#### 1.3.1 紫杉烷型

紫杉醇 (**96**) 是 Stierle 等<sup>[3,33]</sup> 在短叶红豆杉中一株安德紫杉菌 *Taxomyces andreanae* 中发现, 具有较强的抗肿瘤活性。

#### 1.3.2 半日花烷型

半日花烷型二萜类化合物在内生真菌中结构易发生变化, 内酯、环氧、螺环、呋喃环等结构容易形成<sup>[3,34]</sup>。如在雷公藤 (*Tripterygium wilfordii* Hook f.) 中鉴定一株内生真菌 *Fusarium subglutinans*, 分离得到化合物 subglutinol A ~ B (**97 ~ 98**)<sup>[3]</sup>, 具有免疫抑制作用。从美登木 (*Maytenus hookeri*) 叶片组织分离鉴定出内生真菌 *Botryosphaeria* sp., 固体发酵产物中分离得到 12 个二萜化合物<sup>[3,35]</sup>, 分别为 botryosphaerins A ~ E (**99 ~ 103**), 13, 14, 15, 16 - tetranorlabd - 7 - ene - 19, 6 $\beta$ , 12, 17 - diolide (**104**), acrostalidic acid (**105**), acrostalidic acid (**106**), agathic acid (**107**), isocupressic acid (**108**), LL - Z1271 $\beta$  (**109**) 和 CJ - 14445 (**110**)。Yan 等<sup>[3,36]</sup> 从蛇足石杉 (*Huperzia serrata*) 鉴定出内生真菌 *Botryosphaeria* sp. P483, 在其发酵物中得到 2 个新化合物, 命名为 botryosphaerins G ~ H (**111 ~ 112**) 以及 7 个已知的化合物 13, 14, 15, 16 - tetranorlabden - 19, 6 $\beta$ , 12, 17

-diolide (**113**)、Botryosphaerin A (**114**)、 $3\alpha, 10\beta$ -dimethyl-1,2,3,3 $\alpha, 5\alpha, 7, 10\beta, 10$ coctahydro-5,8-dioxa-8-acephenanthrylene-4,9-dione (**115**)、acrostalidic acid (**116**)、bortyosphaerin B (**117**)、LL-Z1271 $\beta$  (**118**)、acrostalic acid (**119**)。

### 1.3.3 Harzianone 型

Zhang 等<sup>[37]</sup>从石榴木(*Xylocarpus granatum*)内生真菌 *Trichoderma* sp. Xy24 发酵液的乙酸乙酯提取物中分离得到 2 个新的化合物,命名为 (9*R*,10*R*)-dihydroharzianone (**120**)、harzianelactone (**121**)。

### 1.3.4 异海松烷型

异海松烷型二萜在的植物内生真菌代谢产物中普遍存在<sup>[3,38]</sup>,Shiono 等<sup>[3,39]</sup>从欧洲山毛榉(*Sylvatica linnaeus*)树干鉴定出内生真菌 *Paraconiothyrium* sp. MY-42,在固体培养物中分离得到 6 个化合物,即 19-( $\alpha$ -D-glucopyranosyloxy)isopimara-7,15-dien-3 $\beta$ -ol (**122**)、19-(2-acetamido-2-deoxy- $\alpha$ -D-glucopyranosyloxy)isopimara-7,15-dien-3 $\beta$ -ol (**123**)、19-( $\alpha$ -D-glucopyranosyloxy)isopimara-7,15-dien-3-one (**124**)、19-(2-acetamido-2-deoxy- $\alpha$ -D-Glucopyranosyloxy)isopimara-7,15-dien-3-one (**125**)、19-( $\alpha$ -D-gLucopyranosyloxy)-3 $\beta$ -hydroxyisopimara-8,15-dien-7-one (**126**)、19-(2-acetamido-2-deoxy- $\alpha$ -D-glucopyranosyloxy)-3 $\beta$ -hydroxyisopimara-8,15-dien-7-one (**127**)。Wu 等<sup>[3,40]</sup>在印楝中鉴定得到内生真菌 *Xylaria* sp. YM 311647,在其培养液中分离得到 3 个化合物,即 14 $\alpha, 16$ -epo,xy-18-norisopimar-7-en-4 $\alpha$ -ol (**128**)、16-O-sulfo-18-norisoimar-19-7-en-4 $\alpha, 16$ -diol (**129**)、9-deoxy-hymatoxin A (**130**)。Yan 等<sup>[41]</sup>在银杏叶中分离得到内生真菌 *Aspergillus* sp. YXf 3,菌株发酵物中分离得到化合物 aspergiloids E (**131**)。Ye 等<sup>[42]</sup>从白芨(*Bletilla Striata*)根茎中分离得到一株内生真菌 *Ilyonectria robusta*,并对其进行液体发酵培养,分离鉴定 5 个新的异海松烷型二萜,为 robustaditerpene A~E (**132~136**)。

### 1.3.5 Guanacastane 型

Yu 等<sup>[3,43]</sup>在何首乌(*Fallopia japonica*)叶片内生真菌 *Cercospora* sp. 的发酵液中分离得到 1 个化合物 cercosporene F (**137**),对人肿瘤细胞系 Hela 有明显的细胞毒作用,IC<sub>50</sub>为 19.3  $\mu$ mol/L。Chen 等<sup>[3,44]</sup>在巴戟天(*Morinda officinalis*)内生真菌 *Trichoderma koningiopsis* A729 中分离得到 2 个化合物 koningiol A~B (**138~139**),具有 Guanacastane 型骨架的二萜生物碱。

### 1.3.6 壳梭孢菌素型

Kim 等<sup>[3,45]</sup>从东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)的小枝条分离出内生真菌 *Periconia* sp.,菌株发酵物中分离鉴定 2 个新化合物,命名为 periconicins A~B (**140~141**)。

### 1.3.7 吡啶二萜型

吡啶二萜型化合物是由香叶基香叶二磷酸(GGPP)和吡啶-3-甘油磷酸酯转化而成<sup>[46-47]</sup>。Gatenby 等<sup>[3,48]</sup>在内生真菌 *Neotyphodium lolii* 发酵物中分离得到 1 个新化合物 14 $\alpha$ -hydroxyterpendole C (**142**)为吡啶二萜型,和 2 个已知化合物 paspaline (**143**)、13-desoxypaxilline (**144**)。从红树林植物海鞘根(*Rhizophora stylosa*)新鲜组织分离出的内生真菌 *M. irregularis* QEN189<sup>[3]</sup>,发酵产物中鉴定出 6 个新的吡啶二萜类化合物,命名为 rhizovarins A~F (**145~150**)和 5 个已知化合物<sup>[3,49]</sup>,即 secopentrem D (**151**)、PC-M4 (**152**)、penitrem A~C (**153~155**)。Zhao 等<sup>[3,50]</sup>在三七根分离到内生真菌 *Drechmeria* sp.,从 *Drechmeria* sp. 发酵液中分离得到 7 个新化合物,命名为 drechmerins A~G (**156~162**)和 4 个已知化合物,即 drechmerins G (**163**)、terpendoles A (**164**)、terpendoles C (**165**)、terpendoles I (**166**)、dehydroxypaxillie (**167**)。Zhang 等<sup>[19,51]</sup>在木果楝(*Xylocarpus granatum* Koenig)中鉴定出内生真菌 *Eupenicillium* sp. HJ002,菌株发酵产物中分离得到化合物 penicilindole A~B (**168~169**)。Elsbaey 等<sup>[19,52]</sup>从白骨壤果实中分离得到内生真菌 *Aspergillus versicolor*,菌株发酵液乙酸乙酯提取液中分离得到 anthcolorin H (**170**),对人肿瘤细胞系 Hela 有微弱的细胞毒作用。

### 1.3.8 银杏内酯型

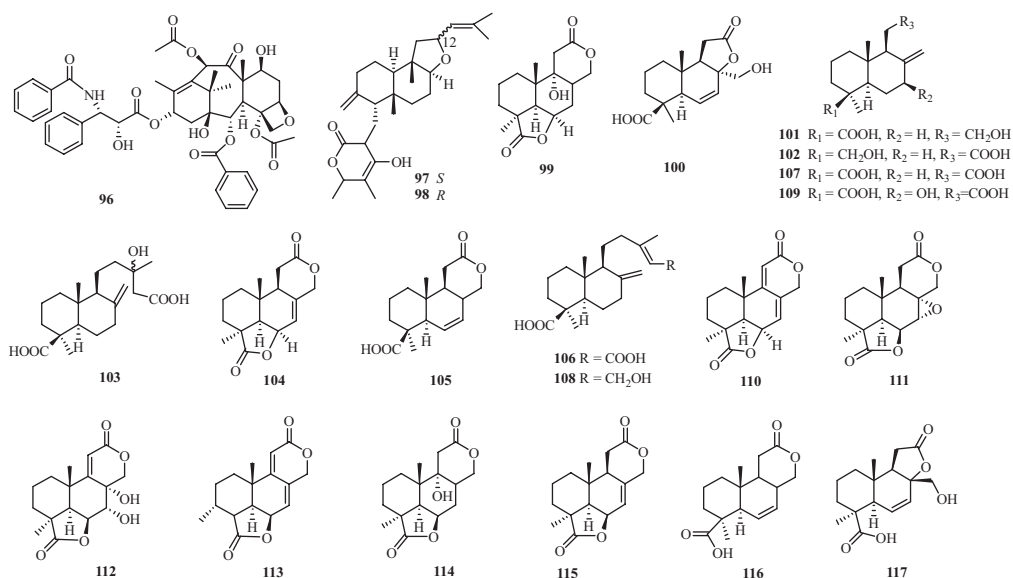
Cui 等<sup>[3,53]</sup>从银杏根皮内生真菌 *Fusarium oxysporum* 液体发酵代谢物中获得银杏内酯 B (**171**)。二萜类化合物见表 3、图 3 所示。

表 3 植物内生真菌中二萜类成分

No.	Compound	Ref.
96	taxol	[33]
97	subglutinol A	[34]
98	subglutinol B	[34]
99	botryosphaerins A	[35]
100	botryosphaerins B	[35]
101	botryosphaerins C	[35]
102	botryosphaerins D	[35]
103	botryosphaerins E	[35]
104	13,14,15,16 - tetranorlabd - 7 - ene - 19,6 $\beta$ ,12,17 - diolide	[35]
105	acrostalidic acid	[35]
106	acrostalic acid	[35]
107	agathic acid	[35]
108	isocupressic acid	[35]
109	LL - Z1271 $\beta$	[35]
110	CJ - 14445	[35]
111	botryosphaerins G	[36]
112	botryosphaerins H	[36]
113	13,14,15,16 - tetranorlabd - 7 - en - 19,6 $\beta$ ,12,17 - diolide	[36]
114	botryosphaerin A	[36]
115	3 $\alpha$ ,10 $\beta$ - dimethyl - 1,2,3,3 $\alpha$ ,5 $\alpha$ ,7,10 $\beta$ ,10c - octahydro - 5,8 - dioxo - acephenanthrylene - 4,9 - dione	[36]
116	acrostalidic acid	[36]
117	botryosphaerin B	[36]
118	LL - Z1271 $\beta$	[36]
119	acrostalic acid	[36]
120	(9 <i>R</i> ,10 <i>R</i> ) - dihydroharzianone	[37]
121	Harzianelactone	[37]
122	19 - ( $\alpha$ - D - glucopyranosyloxy) isopimara - 7,15 - dien - 3 $\beta$ - ol	[39]
123	19 - (2 - acetamido - 2 - deoxy - $\alpha$ - D - glucopyranosyloxy) isopimara - 7,15 - dien - 3 $\beta$ - ol	[39]
124	19 - ( $\alpha$ - D - glucopyranosyloxy) isopimara - 7,15 - dien - 3 - one	[39]
125	19 - (2 - acetamido - 2 - deoxy - $\alpha$ - D - glucopyranosyloxy) isopimara - 7,15 - dien - 3 - one	[39]
126	19 - ( $\alpha$ - D - glucopyranosyloxy) - 3 $\beta$ - hydroxyisopimara - 8,15 - dien - 7 - one	[39]
127	19 - (2 - acetamido - 2 - deoxy - $\alpha$ - D - glucopyranosyloxy) - 3 $\beta$ - hydroxyisopimara - 8,15dien - 7 - one	[40]
128	14 $\alpha$ ,16 - epoxy - 18 - norisopimar - 7 - en - 4 $\alpha$ - ol	[40]
129	16 - O - sulfo - 18 - norisopimar - 7 - en - 4 $\alpha$ ,16 - diol	[40]
130	9 - deoxy - hymatoxin A	[40]
131	aspergiloids E	[35]
132	robustaditerpene A	[41]
133	robustaditerpene B	[42]
134	robustaditerpene C	[42]
135	robustaditerpene D	[42]
136	robustaditerpene E	[42]
136	cercosporene F	[43]
136	koninginol A	[44]
136	koninginol B	[44]
140	periconicins A	[45]
141	periconicins B	[45]

续表 3

No.	Compound	Ref.
142	14 $\alpha$ - hydroxyterpendole C	[48]
143	Paspaline	[48]
144	13 - desoxypaxilline	[48]
145	rhizovarins A	[49]
146	rhizovarins B	[49]
147	rhizovarins C	[49]
148	rhizovarins D	[49]
149	rhizovarins E	[49]
150	rhizovarins F	[49]
151	secopentrem D	[49]
152	PC - M4	[49]
153	penitrem A	[49]
154	penitrem B	[49]
155	penitrem C	[49]
156	drechmerins A	[50]
157	drechmerins B	[50]
158	drechmerins C	[50]
159	drechmerins D	[50]
160	drechmerins E	[50]
161	drechmerins F	[50]
162	drechmerins G	[50]
163	drechmerins G	[50]
164	terpendoles A	[50]
165	terpendoles C	[50]
166	terpendoles I	[50]
167	dehydroxypaxillie	[50]
168	penicilindole A	[51]
169	penicilindole B	[51]
170	antholorin H	[52]
171	ginkgolide B	[53]



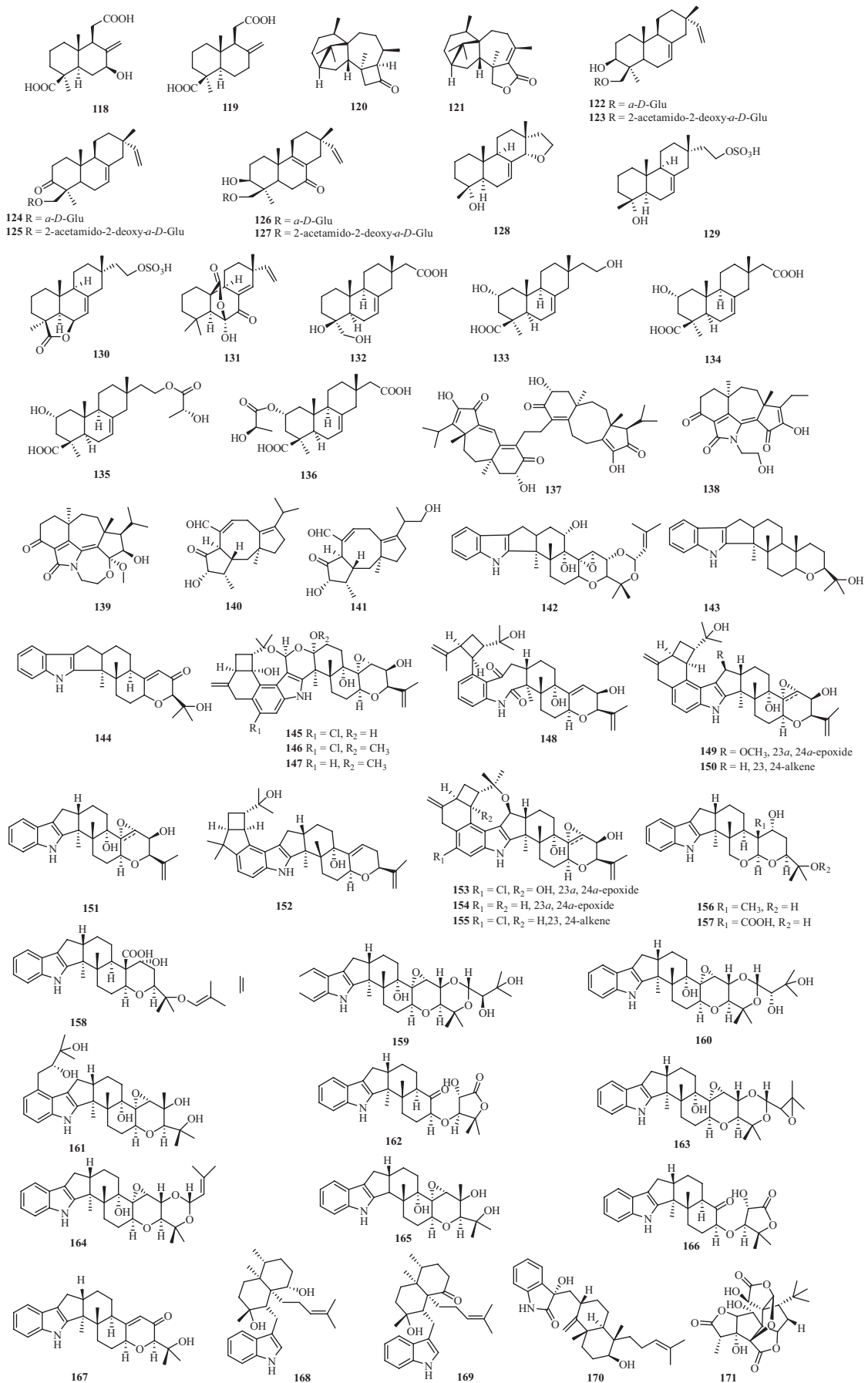


图 3 植物内生真菌中二萜类成分

### 1.4 二倍半萜

Liu 等<sup>[54]</sup>从内生真菌 *Aspergillus terreus* H010 中分离得到 2 个新二倍半萜类化合物,命名为 aspterpenacids A ~ B (**172 ~ 173**). Liu 等<sup>[55]</sup>从内生真菌 *Fusarium proliferatum* MA-84 分离得到 4 个二倍半萜类化合物,为 fusaprolifins A and B (**174 ~ 175**)、terpestacin (**176**)、fusaproliferin (**177**). Zhu 等<sup>[56]</sup>从红树林曲霉属真菌 *Aspergillus ustus* 分离得到 7 个新的二倍半萜类化合物 ophiobolins X ~ Z (**178 ~ 179, 181**)、21-dehydrophiobolin U (**180**)、21-epiophiobolin Z (**182**)、21-epi-phiobolin O (**189**)、deoxyphiobolin K (**191**), 及 11 个已知化合物 ophiobolin K (**183**)、6-epi-phiobolin K (**184**)、phiobolin G (**185**)、6-epiophiobolin G (**186**)、phiobolin P (**187**)、21,21-O-dihydro-6-epiophiobolin G (**188**)、phiobolin O (**190**)、phiobolin Q (**192**)、phiobolin H (**193**)、5,6-diepiophiobolin H (**194**)、phiobolin U (**195**). 见表 4、图 4 所示.

### 1.5 三萜类化合物

Qin<sup>[57]</sup>等从狭叶南五味子内生真菌 *Penicillium ochrochloron* SWUKD4.1850 中分离纯化得到 5 个新三萜类化合物,命名为为 Kadanguslactone A ~ E (**196 ~ 200**), 以及 10 个已知三萜类化合物 nigranoic acid、henrischinin A - B、lancifodilactone C - D、schirubridilactone D、wuweizidilactone D、micrandilactone C、23 $\alpha$ -hydroxynigranoic acid、7 $\beta$ -hydroxynigranoic acid (**201 ~ 210**). Liang 等<sup>[58]</sup>从内生真菌 *Hypoxylon* sp. 6269 分离得到化合物 integracide A (**211**)、integracide E (**212**). 陈亮亮等<sup>[59]</sup>从角果木内生革孔菌属真菌 J5 中分离到 3 个三萜类化合物 14-acetoxy-15-hydroxyirpexan、15 $\alpha$ -hydroxytrametenolic acid 和 3 $\beta$ -hydroxylanosta-8,24-dien-21-oic acid (**213 ~ 215**). 见表 5、图 5 所示.

表 4 植物内生真菌中二倍半萜类成分

No.	Compound	Ref.
<b>172</b>	aspterpenacids A	[54]
<b>173</b>	aspterpenacids B	[54]
<b>174</b>	fusaprolifins A	[55]
<b>175</b>	fusaprolifins B	[55]
<b>176</b>	terpestacin	[55]
<b>177</b>	fusaproliferin	[55]
<b>178</b>	phiobolins X	[56]
<b>179</b>	phiobolins Y	[56]
<b>180</b>	21-dehydrophiobolin U	[56]
<b>181</b>	phiobolin Z	[56]
<b>182</b>	21-epi-phiobolin Z	[56]
<b>183</b>	phiobolin K	[56]
<b>184</b>	6-epi-phiobolin K	[56]
<b>185</b>	phiobolin G	[56]
<b>186</b>	6-epiophiobolin G	[56]
<b>187</b>	phiobolin P	[56]
<b>188</b>	21,21-O-dihydro-6-epiophiobolin G	[56]
<b>189</b>	21-epi-phiobolin	[56]
<b>190</b>	phiobolin O	[56]
<b>191</b>	deoxyphiobolin K	[56]
<b>192</b>	phiobolin Q	[56]
<b>193</b>	phiobolin H	[56]
<b>194</b>	5,6-diepiophiobolin H	[56]
<b>195</b>	phiobolin U	[56]

表 5 植物内生真菌中三萜类成分

No.	Compound	Ref.
<b>196</b>	kadanguslactone A	[57]
<b>197</b>	kadanguslactone B	[57]
<b>198</b>	kadanguslactone C	[57]
<b>199</b>	kadanguslactone D	[57]
<b>200</b>	kadanguslactone E	[57]
<b>201</b>	nigranoic acid	[57]
<b>202</b>	henrischinin A	[57]
<b>203</b>	henrischinin B	[57]
<b>204</b>	lancifodilactone C	[57]
<b>205</b>	lancifodilactone D	[57]
<b>206</b>	schirubridilactone D	[57]
<b>207</b>	wuweizidilactone D	[57]
<b>208</b>	micrandilactone C	[57]
<b>209</b>	23 $\alpha$ -hydroxynigranoic acid	[57]
<b>210</b>	7 $\beta$ -hydroxynigranoic acid	[57]
<b>211</b>	integracide A	[58]
<b>212</b>	integracide E	[58]
<b>213</b>	14-acetoxy-15-hydroxyirpexan	[59]
<b>214</b>	15 $\alpha$ -hydroxytrametenolic acid	[59]
<b>215</b>	3 $\beta$ -hydroxylanosta-8,24-dien-21-oic acid	[59]

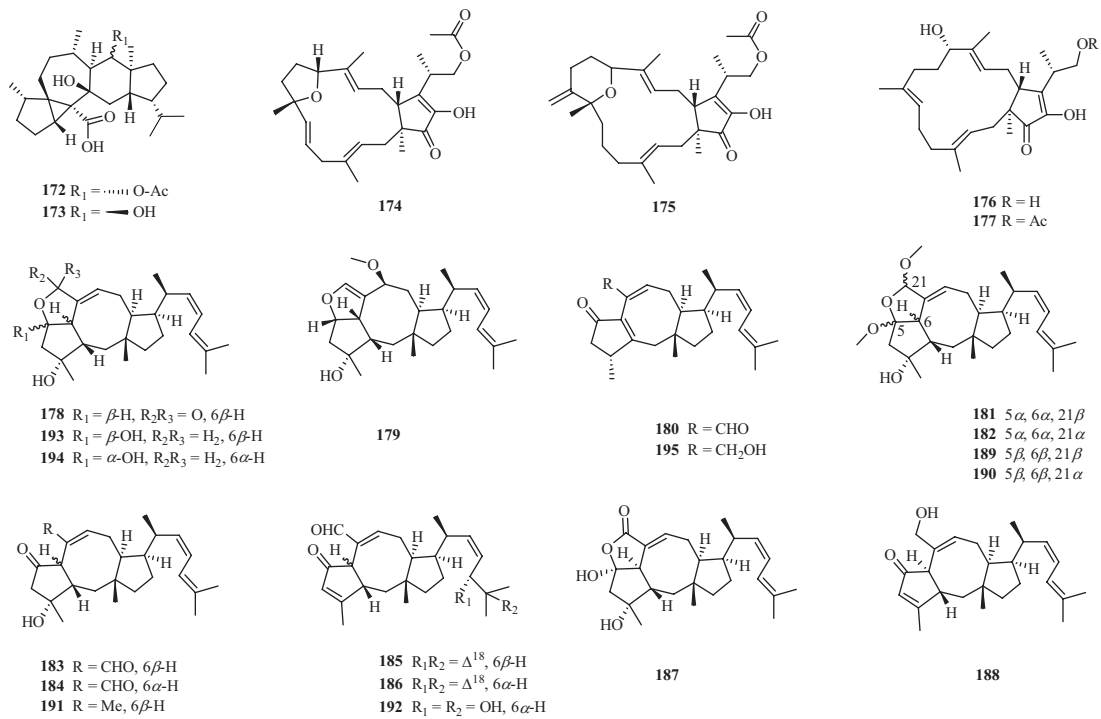


图 4 植物内生真菌中二倍半萜类成分

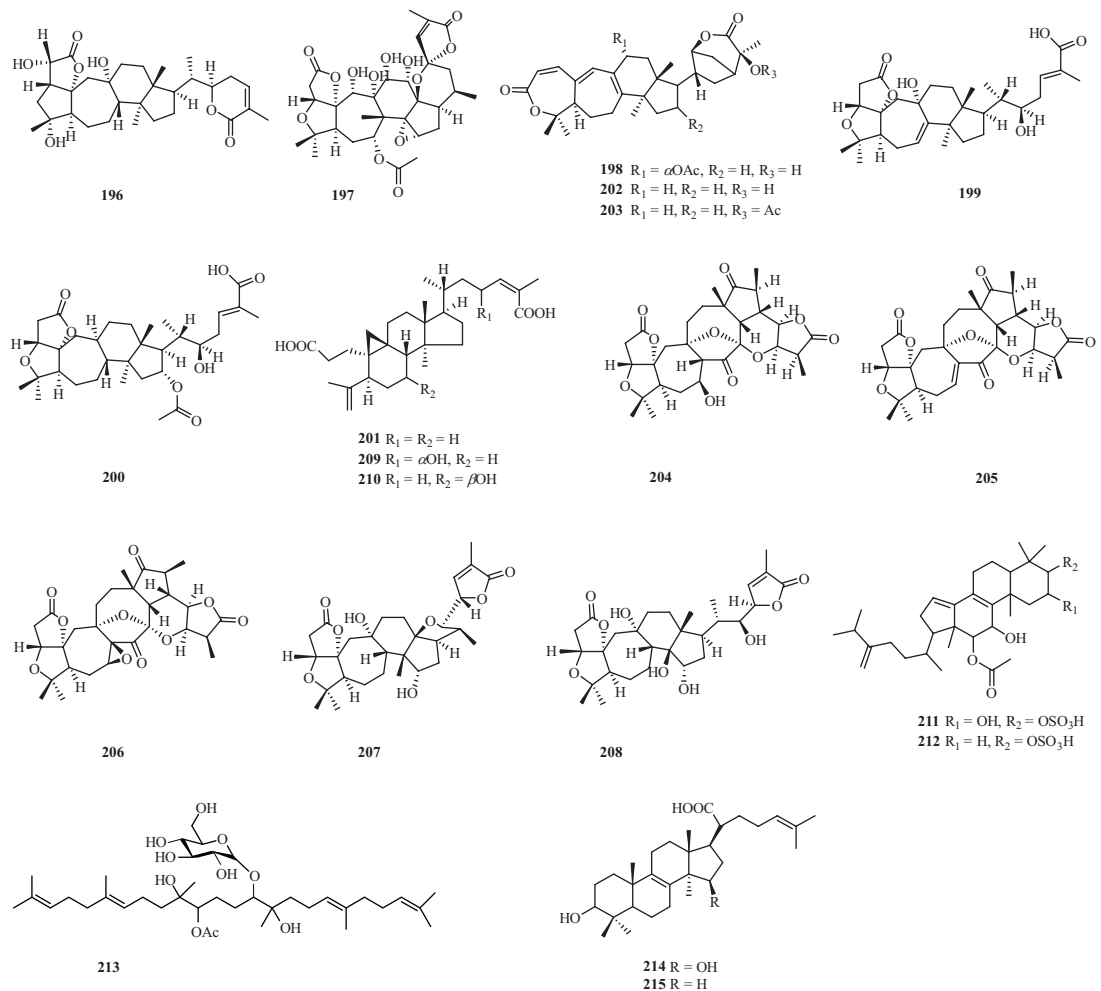


图 5 植物内生真菌中三萜类化合物

## 2 生物活性

### 2.1 抗炎活性

Zhang 等<sup>[12]</sup>在内生真菌分离得到的倍半萜化合物 cyclonerodiol B (**9**)和化合物  $1\alpha$ -isopropyl- $4\alpha,8$ -dimethylspiro[4.5]dec-8-ene- $3\beta,7\alpha$ -diol (**45**),通过抑制脂多糖诱导的 BV2 细胞 NO 产生,表现出显著的神经抗炎活性,0.1  $\mu\text{mol/L}$  时抑制率分别为 75.0%、39.2%,比姜黄素更强,阳性对照,0.1  $\mu\text{mol/L}$  时抑制率为 21.1%<sup>[12]</sup>. 红树林内生菌 *Phomopsis* sp. SYSU-QYP-23 的马铃薯液体培养基分离鉴定倍半萜类化合物 eremofortin I~J (**64**~**65**)对 LPS 诱导的 RAW 264.7 细胞 NO 的释放有较强的抑制活性,半抑制浓度值分别为 8.6 和 9.2  $\mu\text{mol/L}$ . AA03390 (**61**)、eremofortin H (**63**)、lithocarin A (**66**)、petasol (**67**)表现出中等抑制活性(L-NMMA:15.0  $\mu\text{mol/L}$ )<sup>[30]</sup>. 诸葛菜内生真菌 *Irpexolacteus* OV38 培养基发酵液产物中分离鉴定 irpexolaceus D (**79**)、irpexolaceus F (**81**),在 50  $\mu\text{g/mL}$  浓度下,化合物 **81** (50.2%)对 NO 生成的抑制作用强于化合物 **79** (47.3%)<sup>[31]</sup>.

### 2.2 抗菌活性

单萜类化合物(3*R*,4*R*,6*R*,7*S*)-7-hydroxyl-3,7-dimethyl-oxabicyclo[3.3.1]nonan-2-one (**2**)对灰霉霉和芝麻疫菌均具有较强的抗真菌活性,MIC 值分别为 3.1  $\mu\text{g/mL}$ <sup>[8]</sup>. 卫矛科美登木属美登木叶片组织内生真菌 *Botryosphaeria* sp. 固体培养物中分离得到化合物 CJ-14445 (**110**)当浓度为 50  $\mu\text{g/disk}$  时,对白色念珠菌(*Candida albicans*)、酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)和 *Penicillium avel-laneum* UC-4376 存在抗真菌活性,抑菌圈分别为 2.3、2.5、1.0 cm<sup>[35]</sup>. 石杉科中草药蛇足石杉分离得到葡萄孢霉 *Botryosphaeria* sp. P483 发酵物中四降半日花烷型化合物 botryosphaerins G~H (**111**~**112**)以及 7 个已知的化合物,即 13,14,15,15-tetranorlabden-19,6 $\beta$ ,12,17-diolide (**113**)、Botryosphaerin A (**114**)、 $3\alpha,10\beta$ -dimethyl-1,2,3,3 $\alpha$ ,5 $\alpha$ ,7,10 $\beta$ ,10coctahydro-5,8-dioxa-8-acephenanthrylene-4,9-dione (**115**)、acrostalidic acid (**116**)、bortyosphaerin B (**117**)、LL-Z1271 $\beta$  (**118**)、acrostalic acid (**119**),对禾谷镰刀菌(*Gaeumannomyces graminis*)、串珠镰刀菌(*Fusarium moniliforme*)、茄病镰刀菌(*Fusarium solani*)、尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)和稻瘟病菌(*Pyricularia oryzae*)等 5 种真菌有较强的抑菌活性<sup>[3,36]</sup>.

### 2.3 抗肿瘤活性

Pulici 等<sup>[3,16]</sup>在内生真菌 *Eupenicillium* sp. HJ002 分离得到的二萜类化合物 penicilindole A (**23**)和 B (**24**),均对 A549 和 HepG2 表现出不同程度的细胞毒性,与阳性对照 5-氟烷( $\text{IC}_{50}$  = 36.8,76.9  $\mu\text{mol/L}$ )相比,化合物 **24** 对 A549 和 HepG2 的抑制效果最好,其  $\text{IC}_{50}$  值分别为 5.5 和 1.5  $\mu\text{mol/L}$ .

### 2.4 其它活性

余紫荆等<sup>[15]</sup>在内生真菌 *Aspergillus versicolor* 中分离得到倍半萜类化合物 phomanolide (**22**),其对抗甲型流感病毒效果( $\text{IC}_{50}$  = (2.96  $\pm$  0.64)  $\mu\text{g/mL}$ )比阳性药剂阿比朵尔( $\text{IC}_{50}$  = (0.15  $\pm$  0.04)  $\mu\text{g/mL}$ )稍弱<sup>[15]</sup>.

## 3 结语与展望

植物内生真菌的发现已有 100 多年,活性成分研究较慢,尤其是诱导内生真菌活性物质的产生和富集的研究,是近年才被关注的领域.在分离鉴定菌种时,也应进一步研究植物内生真菌诱导萜类化合物的生成途径、生物活性与构效的关系,并找到其作用部位,这将为萜类化合物的应用提供理论基础<sup>[3]</sup>.另外,需要优化培养内生真菌的条件,特别是真菌生长状态良好,未明显减弱,且容易产生次级代谢产物的条件.综上,将优化内生菌生长条件与所分离的活性化合物方法、构效关系共同考虑,对植物内生真菌萜类活性成分的开发利用具有深远意义.

### 参考文献:

- [1] ZHAO J, SHAN T, MOU Y, et al. Plant-derived bioactive compounds produced by endophytic fungi[J]. Mini-Rev Med Chem, 2011, 11: 159-168.
- [2] CORDIER G, KLEMENS R, ALBERT B. Isolation, identification and cultivation of endophytic fungi from medicinal plants for the

- production and characterization of bioactive fungal metabolites [J]. Journal of Southern Medical University, 2008, 75 (1): 894 – 897.
- [3] 权晨曦, 丁建海. 植物内生真菌二萜活性成分的研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(05): 878 – 891.
- [4] STROBEL G A. Endophytes as sources of bioactive products [J]. Microbes Infect, 2003, 5(6): 535 – 544.
- [5] 王宁宁. 猫儿屎内生真菌 DS37 次生代谢产物的研究 [D]. 陕西科技大学, 2019.
- [6] 白猛, 郑彩娟, 蔡月, 等. 乐东黄芩的化学成分及抗菌活性 [J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2018, 31(02): 143 – 146.
- [7] 丘柳明, 左文健, 王辉, 等. 角果木内生真菌 *Penicillium* sp. J54 代谢产物及活性研究 [J]. 中国海洋药物, 2014, 34(2): 17 – 21.
- [8] DING G, LIU S, GUO L, et al. Antifungal metabolites from the plant endophytic fungus *Pestalotiopsis foedan* [J]. J Nat Prod, 2008, 71(4): 615 – 518.
- [9] LIU J M, ZHANG D W, DU W Y, et al. Four new monoterpenoids from an endophytic fungus *Periconia* sp. F – 31 [J]. J Asian Nat Prod Res, 2017: 541 – 549.
- [10] QIN D, WANG L, HAN M, et al. Effects of an endophytic fungus *umbelopsis dimorpha* on the secondary metabolites of hostplant *kadsura angustifolia* [J]. Front, 2017, 19(6): 541 – 549.
- [11] 罗萍, 邵刚, 张升琪, 等. 旱生卷柏内生真菌 *Aspergillus ochraceus* SX – C7 次生代谢产物研究 [J]. 中草药, 2020, 51(15): 3856 – 3862.
- [12] ZHANG M, ZHAO J L, LIU J M, et al. Neural anti – inflammatory sesquiterpenoids from the endophytic fungus *Trichoderma* sp. XY 24 [J]. J Asian Nat Pro Res, 2017, 19(7): 1 – 8.
- [13] LI Y, LI X, KIM S K, et al. Golmaenone, a new diketopiperazine alkaloid from the marinederived fungus *Aspergillus* sp. [J]. Chemi. Pharma. Bull, 2004, 52(3): 375.
- [14] 贾林川, 胡晓峰, 邵露, 等. 太子参内生真菌草酸青霉中 1 个新的香豆酮类化合物 [J]. 中草药, 2020, 51(22): 5681 – 5686.
- [15] 余紫荆, 谭明慧, 包尚松, 等. 杜英内生真菌 *Aspergillus versicolor* 倍半萜类次级代谢产物及 (8S) – hydroxysydnonic acid 的含量测定研究 [J]. 三峡大学学报, 2019, 41(04): 102 – 107.
- [16] PULICI M, SUGAWARA F, KOSHINO H, et al. Metabolites of *Pestalotiopsis* sp., endophytic fungi of *Taxus brevifolia* [J]. Phytochemistry, 1997, 46, 313 – 319.
- [17] PULICI M, SUGAWARA F, KOSHINO H, et al. A new isodrimeninol from *Pestalotiopsis* sp. [J]. J Nat Prod, 1996, 59, 47 – 48.
- [18] CHEN X W, YANG Z D, SUN J H, et al. Colletotrichine B, a new sesquiterpenoid from *Colletotrichum gloeosporioides* GT – 7, a fungal endophyte of *Uncaria rhynchophylla* [J]. Nat Prod Res, 2018, 33(1): 108 – 112.
- [19] 黄燕, 曾东强, 唐文伟, 等. 植物内生真菌生物活性成分研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(08): 1419 – 1437.
- [20] CHEN L, QIU L, WANG P, et al. New eudesmane – type sesquiterpenoids from the mangrover rived endophytic fungus *Penicillium* sp. J – 54 [J]. Mar Drugs, 2018, 16(4): 108.
- [21] LIU S S, JIANG J X, HUANG R W, et al. A new antiviral 14 – nordrimane sesquiterpenoid from an endophytic fungus *Phoma* sp. YE3135 [J]. Phytochem Lett, 2019, 29: 75 – 78.
- [22] LI W, SUN Y N, LEE C, et al. Annulohpoxylotol A and B, new sesquiterpenoids from the endophytic fungus *Annulohypoxylon truncatum*, are natural NF –  $\kappa$ B inhibitors [J]. Arch Pharm Res, 2017, 40(2): 152 – 158.
- [23] SHI X S, MENG L H, LI X M, et al. Trichocadinins B – G: antimicrobial cadinane sesquiterpenes from *Trichoderma virens* QA – 8, an endophytic fungus obtained from the medicinal plant *Artemisia argyria* [J]. J Nat Prod, 2019, 82: 2470 – 2476.
- [24] ISAKA M, PALASARN S, LAPANUN S, et al.  $\gamma$  – Lactones and enteudesmane sesquiterpenes from the endophytic fungus *Eutypella* sp. BCC 13199 [J]. J Nat Prod, 2009, 72, 1720 – 1722.
- [25] DUAN X X, QIN D S, GAO H C, et al. Irpexlacte A – D, four new bioactive metabolites of endophytic fungus *Irpexlacteus DR10 – 1* from the waterlogging tolerant plant *Distylium chinense* [J]. Phytochem Lett, 2019, 32: 151 – 156.
- [26] WANG A, YIN R, ZHOU Z, et al. Eremophilane – type sesquiterpenoids from the endophytic Fungus *Rhizopycnis vagum* and their Antibacterial, cytotoxic, and phytotoxic activities [J]. Front. Chem, 2020, 8: 596889.
- [27] BOHLMANN F, KNOLL K H. Naturally occurring terpene derivatives 200. Two new eremophilane derivatives from *senecio suaveolens* [J]. Liebigs Ann Chem, 1979, 470 – 472.
- [28] LIN A, WU G, GU Q, et al. New eremophilane – type sesquiterpenes from an Antarctic deep sea derived fungus, *Penicillium* sp. PR19 N – 1 [J]. Arch. Pharmacol Res, 2014, 37(7): 839 – 844.

- [29] DARSIH C, PRACHYAWARAKORN V, WIYAKRUTTA S, et al. Cytotoxic metabolites from the endophytic fungus *Penicillium chermesinum*; discovery of a cysteine – targeted Michael acceptor as a pharmacophore for fragment – based drug discovery, bio-conjugation and click reactions[J]. RSC Adv, 2015, 5, 70595 – 70603.
- [30] YAN C, HIU H G, ZOU G, et al. Bioactive sesquiterpene derivatives from mangrove endophytic fungus *Phomopsis* sp. SYSU – QYP – 23; Structures and nitric oxide inhibitory activities[J]. Bioorg Chem, 2021, 107, 104530.
- [31] LUO H Z, JIANG H, SUN B, et al. Sesquiterpenoids and furan derivatives from the *Orychphr aagmus violaceus* (L.) O. E. Schulz endophytic fungus *Irpex lacteus* OV38[J]. Phytochemistry, 2022, 194: 112996.
- [32] 李薇. 白黄小薄孔菌等三种真菌的化学成分及生物活性研究[D]. 中南民族大学, 2019.
- [33] STIERLE A, STROBEL G, STIERLE D. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreanae*, an endophytic fungus of pacific yew[J]. Science, 1993, 260(5105): 214 – 216.
- [34] SUN H D, et al. Diterpene Chemistry[M]. Bei – jing: Chemical Industry Press, 2011: 18 – 24.
- [35] YUAN L, ZHAO P, MA J, et al. Labdane and tetranorlabdane diterpenoids from *Botryosphaeria* sp. MHF, an endophytic fungus of *Maytenushookeri*[J]. Helv Chim Acta, 2009, 92: 1118 – 1125.
- [36] CHEN Y M, YANG Y H, LI X N, et al. Diterpenoids from the endophytic fungus *Bot – ryosphaeria* sp. P483 of the Chinese herbal medicine *Huperzia serrate*[J]. Molecules, 2015, 20: 16924 – 16932.
- [37] ZHANG M, LIU J M, ZHAO J L, et al. Two new diterpenoids from the endophytic fungus *Trichoderma* sp. Xy24 isolated from mangrove plant *Xylocarpus granatum*[J]. Chin Chem Lett, 2016, 27: 957 – 960.
- [38] SUN H D, et al. Diterpene Chemistry[M]. Bei – jing: Chemical Industry Press, 2011, 168 – 174.
- [39] SHIONO Y, KIKUCHI M, KOSEKI T, et al. Isopimarane diterpene glycosides, isolated from endophytic fungus *Paraconiothyrium* sp. MY – 42[J]. Phytochemistry, 2011, 72: 1400 – 1405.
- [40] WU X H, HE J, LI X N, et al. Guaiane sesquiterpenes and isopimarane diterpenes from an endophytic fungus *Xylaria* sp. [J]. Phytochemistry, 2014, 105: 197 – 204.
- [41] YAN T, GUO Z K, JIANG R, et al. New flavonol and diterpenoids from the endo – phytic fungus *Aspergillus* sp. YX13[J]. Planta Med, 2013, 79: 348 – 352.
- [42] YE K, IV X, ZHANG X, et al. Immunosuppressive isopimarane diterpenes from cultures of the endophytic fungus *Ilyonectria robusta*[J]. Front Pharmacol, 2021, 12, 766441.
- [43] FENG R, NIU F X, WANG S B, et al. Guanacastane diterpenoids from the plant endophytic fungus *Cercospora* sp. [J]. J. Nat. Prod. 2014, 77: 873 – 881.
- [44] SHEN S, LI H, CHEN Y, et al. Three new diterpenes and two new sesquiterpenoids from the endophytic fungus *Trichoderma koningiopsis* A729[J]. Bioorg Chem, 2019, 86: 368 – 374.
- [45] KIM S, SHIN D S, LEE T, et al. Periconicins, two new fusicoccane diterpenes produced by an endophytic fungus *Periconia* sp. with antibacterial activity[J]. J Nat Prod, 2004, 67: 448 – 450.
- [46] BYRNE K M, KEVIN M, JOHN J, et al. Biosynthesis of nodulisporic acid A: precursor studies[J]. J Am Chem Soc, 2002, 124: 7055 – 7060.
- [47] KYRIAKIDIS N, WAIGHT E S, DAY J B, et al. Novel metabolites from *penicillium crustosum*, including penitrem, a tremorgenic mycotoxin[J]. Appl Environ Microbiol, 1981, 42(1): 61.
- [48] GATENBY W A, WILKINS A L, MILES C O, et al. Terpendole M, a novel indole diterpenoid isolated from *Lolium perenne* infected with the endophytic fungus *Neotyphodium lolii*[J]. J Agr Food Chem, 1999, 47: 1092 – 1097.
- [49] GAO S S, LI X M, WILLIAMS K, et al. Rhizovarins A – F, indole – diterpenes from the mangrove-derived endophytic fungus *Mucor irregularis* QEN – 189[J]. Nat Prod, 2016, 79: 2066 – 2074.
- [50] ZHAO J C, WANG Y L, ZHANG T Y, et al. Indole diterpenoids from the endophytic fungus *Drechmeria* sp. , as natural antimicrobial agents[J]. Phytochemistry, 2018, 148: 21 – 28.
- [51] ZHENG C J, BAI M, ZHOU X M, et al. Penicilindoles A – C, cytotoxic indole diterpenes from the mangrove – derived fungus *Eupenicillium* sp. HJ002[J]. J Nat Prod, 2018, 81: 1045 – 1049.
- [52] ELSBAEY M, TANAKA C, MIYAMOTO T. New secondary metabolites from the mangrove endophytic fungus *Aspergillus versicolor*[J]. Phytochem Lett, 2019, 32: 70 – 76.
- [53] CUI Y, YI D, BAI X, et al. Ginkgolide B produced endophytic fungus (*Fu – sariumoxysporum*) isolated from *Ginkgo biloba*[J]. Fitoterapia, 2012, 83: 913 – 920.

- [54] LIU Z M, CHEN Y, CHEN S H, et al. Aspterpenacids A and B, Two sesterterpenoids from a mangrove endophytic fungus *Aspergillus terreus* H010[J]. *Org Lett*, 2016, 18(6): 1406 – 1409.
- [55] LIU D, LI X M, LI C S, et al. Sesterterpenes and 2H – Pyran – 2 – ones ( =  $\alpha$  – Pyrones) from the mangrove – derived endophytic fungus *Fusarium proliferatum* MA – 84[J]. *Helv Chim Acta*, 2013, 96(3), 437 – 444.
- [56] ZHU T, LU Z, FAN J, et al. Ophiobolins from the Mangrove Fungus *Aspergillus ustus*[J]. *J Nat Prod*. 2018, 81(1): 2 – 9.
- [57] QIN D, SHEN W, GAO T, et al. Kadanguslactones A – E, further oxygenated terpenoids from *Kadsura angustifolia* fermented by a symbiotic endophytic fungus, *Penicillium ochrochloron* SWUKD4. 1850[J]. *Phytochemistry*, 2020, 174: 112335.
- [58] LIANG H Q, ZHANG D W, GUO S X, et al. Two new tetracyclic triterpenoids from the endophytic fungus *Hypoxylon* sp. 6269 [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2018, 20: 951 – 956.
- [59] 陈亮亮, 王佩, 王昊, 等. 角果木内生真菌 *Corioloropsis* sp. J5 代谢产物及活性研究[J]. *中国海洋药物*, 2016, 35(2): 7 – 12.

## Research progress of terpenoids in endophytic fungi

GUO Jing<sup>1,2</sup>, LIU Ming-xiu<sup>1</sup>, CHAI Nan-nan<sup>1</sup>,  
PU Xing-na<sup>1</sup>, WANG Wei-guang<sup>2</sup>, LI Yan-ping<sup>1</sup>

(1. School of Chinese Materia Medica and Yunnan Key Laboratory of Southern Medicinal Resource,  
Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China;

2. State Ethnic Affairs Commission – Key Laboratory of Chemistry for Ethnic Medicine Resources, Ministry  
of Education, Yunnan Minzu University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Terpenoids from endophytic fungi of plant have novel structures and significant biological activities. The researches showed that endophytic fungus are closely related to each stage of plant growth. The plant endophytes, especially secondary metabolites of medicinal endophytes, are important resources for discovering new compounds with antibacterial activity, antitumor activity and anti – inflammatory activity. In this review, the terpenoids from endophytic fungi were reviewed in order to provide reference for later research and development.

**Key words:** endophytic fungi; secondary metabolite; terpenoids; biological activity

(责任编辑 王煜丹)

---

## 版权声明

本刊已加入清华光盘版(中国知网)、超星期刊出版平台、万方数据——数字化期刊群、重庆维普中文科技期刊数据库、华艺线上图书馆、中国科技论文在线等多家权威数据库,凡在本刊发表文章的同时会被以上网站转载,作者向本刊所投稿件,均视为愿意进入上述各期刊数据库,作者著作权使用费已含在本刊所付的稿酬中,凡有异议者,请另投他刊或特别声明。

本刊编辑部