

# 多孔菌属真菌化学成分及药理活性研究进展

曹素芹<sup>1</sup>,方磊<sup>2</sup>,周洁<sup>2\*</sup>,张永清<sup>1</sup><sup>1</sup>山东中医药大学药学院,济南 250355;<sup>2</sup>济南大学生物科学与技术学院,济南 250022

**摘要:**多孔菌科(Polyporaceae)多孔菌属(*Polyporus*)真菌在我国历史悠久,主要分布在山东、四川、海南、内蒙古等地,具有清热解毒、消肿利咽的功效,临床上用于治疗咽炎、扁桃体炎等。多孔菌属真菌中主要有四环三萜、甾体、倍半萜、芳香族化合物等化学成分,其中四环三萜、甾体是多孔菌属真菌中含量较为丰富的化学成分,具抗肿瘤、抗炎、抗真菌等药理活性。通过查阅近30年国内外文献,对多孔菌属10多种真菌中分离得到的160多个化合物及药理活性进行了综述,为进一步研究多孔菌属真菌的化学成分及药用资源的合理应用与开发提供参考。

**关键词:**多孔菌属;四环三萜;甾体;抗肿瘤;抗炎;药理活性

中图分类号:R932

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2022)Suppl-0142-16

DOI:10.16333/j.1001-6880.2022.S.020

## Research progress on chemical constituents of *Polyporus* fungi and their pharmacological activities

CAO Su-qin<sup>1</sup>, FANG Lei<sup>2</sup>, ZHOU Jie<sup>2\*</sup>, ZHANG Yong-qing<sup>1</sup><sup>1</sup>School of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China;<sup>2</sup>School of Biological Science and Technology, University of Jinan, Jinan 250022, China

**Abstract:** *Polyporus* (Polyporaceae) has a long history in our country. There are about 20 species, mainly distributed in Shandong, Sichuan, Hainan, Inner Mongolia and other places. It has the effects on clearing heat and detoxification, reducing swelling and throat. It has clinically been used to treat pharyngitis and tonsillitis. *Polyporus* fungi mainly include tetracyclic triterpenes, steroids, sesquiterpenes, aromatics and other chemical components. Among them, tetracyclic triterpenes and steroids are rich in chemical ingredients with anti-tumor, anti-inflammatory, anti-bacterial pharmacological activities. By consulting domestic and foreign articles in the past 30 years, more than 160 compounds isolated from more than 10 kinds of *Polyporus* fungi were reviewed, which provides reference for further research on the chemical composition of *Polyporus* fungi and the rational application and development of medicinal resources.

**Key words:** *Polyporus*; tetracyclic triterpenes; steroids; anti-tumor; anti-inflammatory; pharmacological activity

多孔菌属(*Polyporus*)真菌隶属于真菌界(fungi)担子菌门(Basidiomycota)担子菌(Basidiomycetes)伞菌亚纲(Agaricomycetidae)多孔菌目(Polyporales)多孔菌科(Polyporaceae),是一类腐生真菌<sup>[1]</sup>。《中国真菌志》收录的多孔菌科多孔菌属真菌有15个种,主要分布在我国山东、四川、海南、内蒙古等地,其他省份也有少量分布<sup>[2]</sup>。多孔菌属真菌中有许多药用真菌,如茶藨子叶状层菌(*P. ribis*)、桑黄(*P. linteus*)、黄鳞多孔菌(*P. ellisii*)等。目前,

多孔菌属真菌的化学成分和药理活性引起了人们的极大重视,其化学成分主要是四环三萜、甾体、倍半萜、芳香族化合物等,具有抗肿瘤、抗炎、抗真菌等药理活性。通过查阅近30年国内外文献,对多孔菌属10多种真菌中分离得到的160多个化合物及药理作用进行了综述,为进一步研究多孔菌属真菌的化学成分及药用资源的合理应用与开发提供参考。

### 1 化学成分

#### 1.1 四环三萜

四环三萜是多孔菌属真菌中较重要的化学成分,也是多孔菌属真菌中研究较早的成分,具抗肿瘤、抗炎、抗菌、抗氧化等多种药理活性。Li等<sup>[3]</sup>从厚褐针层孔菌(*P. fastuosus*)中提取分离得到一个新

收稿日期:2021-03-10

接受日期:2021-05-10

基金项目:2018年中医药公共卫生服务补助专项(财社[2018]43号)

\*通信作者 Tel:86-531-89736799;E-mail:zhoujie8761@163.com

的羊毛甾烷型四环三萜 lunosta-8, 25-dien-3 $\beta$ -ol (**1**)<sup>[4]</sup>, 其 C<sub>3</sub> 位连有一个  $\beta$ -OH。Feng 等<sup>[5]</sup> 从桑黄中提取分离得到 3 个新的化合物 phellibarins A ~ C (**2** ~ **4**), 化合物 **2** 的 C<sub>3</sub> 和 C<sub>22</sub> 位均有一个  $\alpha$ -OH 取代, C<sub>23</sub> 是一个酮基取代。化合物 **3** 和 **4** 不同的是, **4** 比 **3** 在 C<sub>25</sub> 位多了一个羟基取代。He 等<sup>[6]</sup> 从桦褐孔菌 (*Laetiporus sulphureus*) 石油醚的提取物中提取分离得到 3 个新的羊毛甾烷型四环三萜化合物 fuscoporianoles A ~ C (**5** ~ **7**), 化合物 **5** ~ **7** 的 C<sub>3</sub> 位均是  $\beta$ -OH, 化合物 **5** 的 C<sub>17</sub> 连有一个五元环, C<sub>21</sub> 是一个  $\alpha$ -OH, 化合物 **6** 是由 **7** 的 25 位上的 -OH 被氧化成 -COOH 所得。Tohtahon 等<sup>[7]</sup> 从桦褐孔菌甲醇提取物中提取分离得到 5 个新的羊毛甾烷型三萜化合物 piptolinic acids A ~ E (**8** ~ **12**), 化合物 **8** 的 C<sub>3</sub> 位连有 3-羟基-4-甲氧基羰基-3-甲基丁酰氧基, 化合物 **9** 是 3,4 位开环的羊毛甾烷型三萜化合物, 其 C<sub>3</sub> 位连有 -COOH, 化合物 **10** 是 **9** 的甲基化衍生物。León 等<sup>[8]</sup> 从桦褐孔菌子实体中提取分离得到 1 个新的羊毛甾烷型三萜 3-oxo-sulfurenic acid (**13**) 和 3 个已知的羊毛甾烷型三萜 sulfurenic acid (**14**)、15 $\alpha$ -hydroxytrametenolic acid (**15**)、sulfurenic acid (**16**) 及其衍生物 acetyl eburicoic acid (**17**)、acetyl trametenolic acid (**18**)、15 $\alpha$ -hydroxytrametenolic acid (**19**)。Sofrenic 等<sup>[9]</sup> 从桦褐孔菌子实体中提取分离得到 13 个新的羊毛甾烷型四环三萜化合物 polyporenic acids A ~ I (**20** ~ **28**)、fomitosides A ~ D (**29** ~ **32**), 其中化合物 (**20** ~ **24**) 的侧链 C<sub>25</sub> 位都被氧化为 -COOH, 化合物 **23** 是 **22** 侧链上的  $\alpha$ -OH 被氧化为酮基所得, 化合物 **28** 是 **27** 的 C<sub>16</sub> 位上的  $\alpha$ -OH 被氧化

为酮基所得。化合物 (**29** ~ **32**) 是四环三萜苷类化合物, 其侧链连接一分子葡萄糖。

3, 17, 20-trihydroxy-4-methylpregn-8-en-7-one (**33**) 是 Wu 等<sup>[10]</sup> 从桑黄的培养物中分离得到的羊毛甾烷型四环三萜。Liu 等<sup>[11]</sup> 从桑黄子实体中提取分离得到 4 个羊毛甾烷型四环三萜 gilvsins A ~ D (**34** ~ **37**)。Khalilov 等<sup>[12]</sup> 从桦褐孔菌子实体的甲醇提取物中提取分离得到 5 个羊毛甾烷型三萜化合物 piptolinic acids A ~ E (**38** ~ **42**)。Kawagishi 等<sup>[13]</sup> 从桦褐孔菌中提取分离得到 1 个已知羊毛甾烷型四环三萜 polyporenic acid J (**43**)。Quang 等<sup>[14]</sup> 从桑黄子实体的甲醇提取物中提取分离得到 2 个羊毛甾烷型四环三萜 senexonol (**44**)、crystal (**45**)。Sofrenic 等<sup>[9]</sup> 从桦褐孔菌中提取分离得到 2 个羊毛甾烷型三萜 3 $\alpha$ -acetylpolyporenic acid A (**46**)、(25S)-(+) -12 $\alpha$ -hydroxy-3 $\alpha$ -methylcarboxyacetate-24-methyl-lanosta-8, 24(31)-diene-26-oic acid (**47**)。Kamo 等<sup>[15]</sup> 从桦褐孔菌子实体中提取分离得到 4 个羊毛甾烷型四环三萜 (25S)-(+) -12 $\alpha$ -hydroxy-3 $\alpha$ -malonyloxymethyl-lanosta-8, 24(3)-dien-oic acid (**48**)、(25S, 3'S)-(+) -12 $\alpha$ -hydroxy-3 $\alpha$ -(3'-hydroxy-3'-methylglutaryloxy)-methyl-lanosta-8, 24(31)-dien-26-oic acid (**49**)、(25S, 3'S)-(+) -12 $\alpha$ -hydroxy-3 $\alpha$ -(3'-hydroxy-4'-methoxycarbonyl-3'-methylbutyryloxy)-24-methyl-lanosta-8, 24-(31)-dien-26-oic acid (**50**)、(+) -12 $\alpha$ , 28-dihydroxy-3 $\alpha$ -(3'-hydroxy-3'-methylglutaryloxy)-24-methyl-lanosta-8, 24-dien-26-oic acid (**51**)。化学成分见表 1 和图 1。

表 1 多孔菌属真菌中的四环三萜成分

Table 1 Tetracyclic triterpenes of *Polyporus* fungi

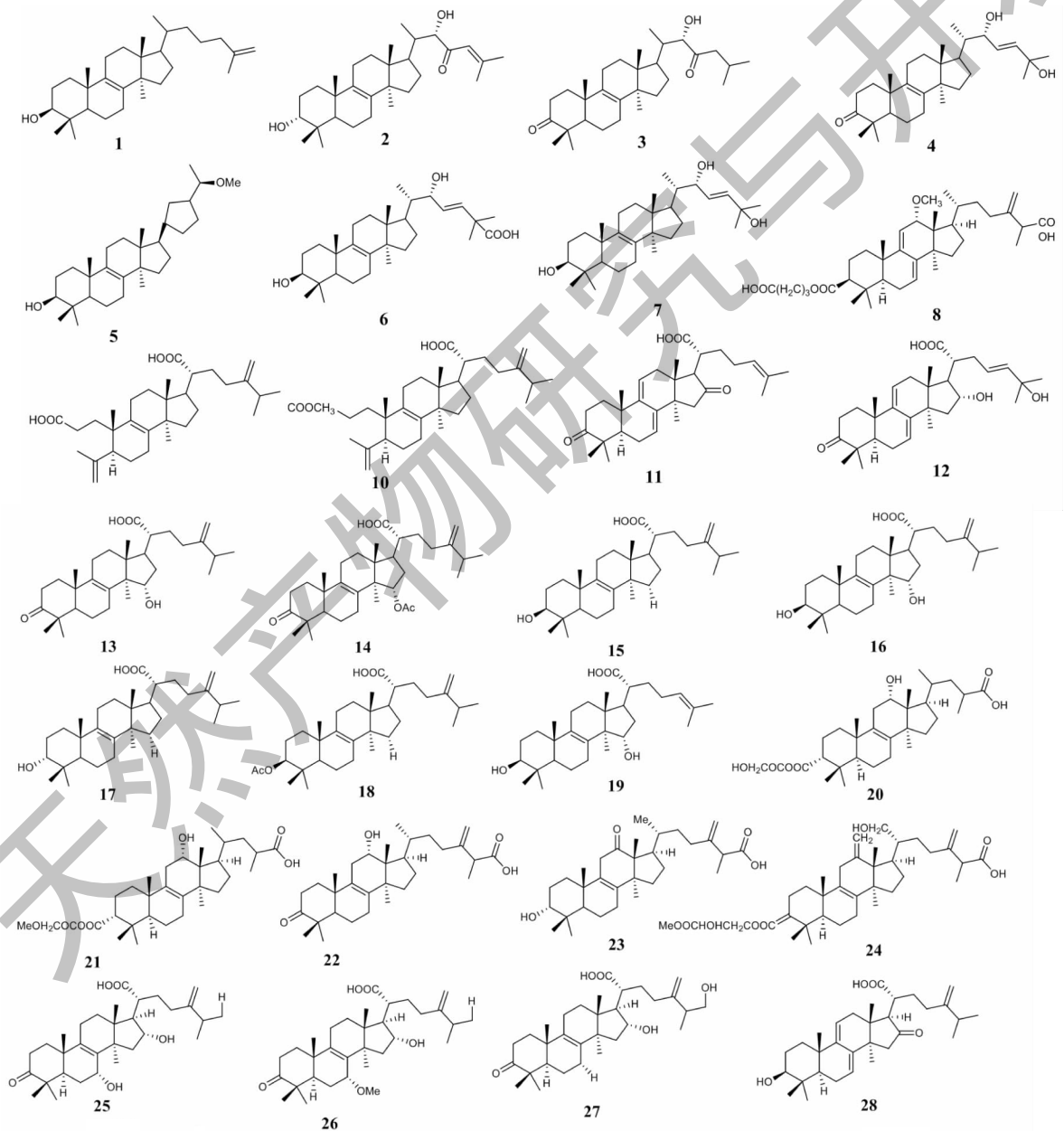
序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
1	Lunosta-8, 25-dien-3 $\beta$ -ol	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub> O	厚蜡针层孔菌	4
2	Phellibarin A	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>3</sub>	桑黄	5
3	Phellibarin B	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>3</sub>	桑黄	5
4	Phellibarin C	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>3</sub>	桑黄	5
5	Fuscoporianol A	C <sub>31</sub> H <sub>52</sub> O <sub>3</sub>	桦褐孔菌	6
6	Fuscoporianol B	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub> O <sub>4</sub>	桦褐孔菌	6
7	Fuscoporianol C	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub> O <sub>3</sub>	桦褐孔菌	6
8	Piptolinic acid A	C <sub>39</sub> H <sub>60</sub> O <sub>8</sub>	桦褐孔菌	7
9	Piptolinic acid B	C <sub>31</sub> H <sub>48</sub> O <sub>4</sub>	桦褐孔菌	7

续表 1 (Continued Tab. 1)

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
10	Piptolinic acid C	$C_{32}H_{50}O_4$	桦褐孔菌	7
11	Piptolinic acid D	$C_{30}H_{42}O_4$	桦褐孔菌	7
12	Piptolinic acid E	$C_{30}H_{44}O_5$	桦褐孔菌	7
13	3-Oxo-sulfurenic acid	$C_{31}H_{48}O_4$	桦褐孔菌	8
14	Sulfurenic acid	$C_{33}H_{50}O_5$	桦褐孔菌	8
15	Eburicoic acid	$C_{31}H_{50}O_3$	桦褐孔菌	8
16	Sulfurenic acid	$C_{31}H_{50}O_4$	桦褐孔菌	8
17	Acetyl eburicoic acid	$C_{33}H_{52}O_4$	桦褐孔菌	8
18	Acetyl trametenolic acid	$C_{32}H_{50}O_4$	桦褐孔菌	8
19	15 $\alpha$ -hydroxytrametenolic acid	$C_{30}H_{48}O_4$	桦褐孔菌	8
20	Polyporenic acid A	$C_{33}H_{50}O_7 + HCOO^-$	桦褐孔菌	9
21	Polyporenic acid B	$C_{48}H_{60}O_{10} + H_3COO^-$	桦褐孔菌	9
22	Polyporenic acid C	$C_{31}H_{48}O_4$	桦褐孔菌	9
23	Polyporenic acid D	$C_{31}H_{48}O_4$	桦褐孔菌	9
24	Polyporenic acid E	$C_{38}H_{60}O_8$	桦褐孔菌	9
25	Polyporenic acid F	$C_{31}H_{48}O_5$	桦褐孔菌	9
26	Polyporenic acid G	$C_{32}H_{50}O_5$	桦褐孔菌	9
27	Polyporenic acid H	$C_{31}H_{48}O_5$	桦褐孔菌	9
28	Polyporenic acid I	$C_{31}H_{46}O_4$	桦褐孔菌	9
29	Fomitoid A	$C_{39}H_{54}O_7$	桦褐孔菌	9
30	Fomitoid B	$C_{39}H_{62}O_{10}$	桦褐孔菌	9
31	Fomitoid C	$C_{44}H_{70}O_{13}$	桦褐孔菌	9
32	Fomitoid D	$C_{37}H_{58}O_9$	桦褐孔菌	9
33	3, 17, 20-Trihydroxy-4-methylpregn-8-en-7-one	$C_{22}H_{34}O_4$	桑黄	10
34	Gilvsin A	$C_{31}H_{50}O_2$	桑黄子实体	11
35	Gilvsin B	$C_{31}H_{50}O_4$	桑黄子实体	11
36	Gilvsin C	$C_{30}H_{48}O_2$	桑黄子实体	11
37	Gilvsin D	$C_{30}H_{48}O_3$	桑黄子实体	11
38	Piptolinic acid F	$C_{31}H_{46}O_5$	桦褐孔菌	12
39	Piptolinic acid G	$C_{31}H_{46}O_5$	桦褐孔菌	12
40	Piptolinic acid H	$C_{31}H_{50}O_4$	桦褐孔菌	12
41	Piptolinic acid I	$C_{31}H_{46}O_4$	桦褐孔菌	12
42	Piptolinic acid J	$C_{30}H_{46}O_4$	桦褐孔菌	12
43	Polyporenic acid J	$C_{30}H_{58}O_4$	桦褐孔菌	13
44	Senexonol	$C_{36}H_{50}O_3$	桑黄	14
45	Crystal	$C_{36}H_{49}BrO_3$	桑黄	14
46	3 $\alpha$ -Acetylpolyporenic acid A	$C_{33}H_{52}O_5$	桦褐孔菌	9
47	(25S)-(+)-12 $\alpha$ -Hydroxy-3 $\alpha$ -methylcarboxyacetate-24-methyllanosta-8, 24(31)-diene-26-oic acid	$C_{35}H_{54}O_7$	桦褐孔菌	9

续表 1 (Continued Tab. 1)

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
48	(25 <i>S</i> )-(+) -12 $\alpha$ -Hydroxy-3 <i>r</i> -malonyloxy-24-methylanosta-8,24(31)-dien-26-oic acid	C <sub>34</sub> H <sub>52</sub> O <sub>6</sub>	桦褐孔菌	15
49	(25 <i>S</i> ,3' <i>S</i> )-(+) -12 $\alpha$ -Hydroxy-3 $\alpha$ -(3'-hydroxy-3'-methylglutaryloxy)-24-methylanosta-8,24(31)-dien-26-oic acid	C <sub>37</sub> H <sub>58</sub> O <sub>7</sub>	桦褐孔菌	15
50	(25 <i>S</i> ,3' <i>S</i> )-(+) -12 $\alpha$ -Hydroxy-3 $\alpha$ -(3'-hydroxy-4'-methoxycarbonyl-3'-methylbutyryloxy)-24-methylanosta-8,24(31)-dien-26-oic acid	C <sub>38</sub> H <sub>60</sub> O <sub>7</sub>	桦褐孔菌	15
51	(+) -12 $\alpha$ ,28-Dihydroxy-3 $\alpha$ -(3'-hydroxy-3'-methylglutaryloxy)-24-methylanosta-8,24(31)-dien-26-oic acid	C <sub>37</sub> H <sub>58</sub> O <sub>8</sub>	桦褐孔菌	15



续图 1 (Continued Fig.1)

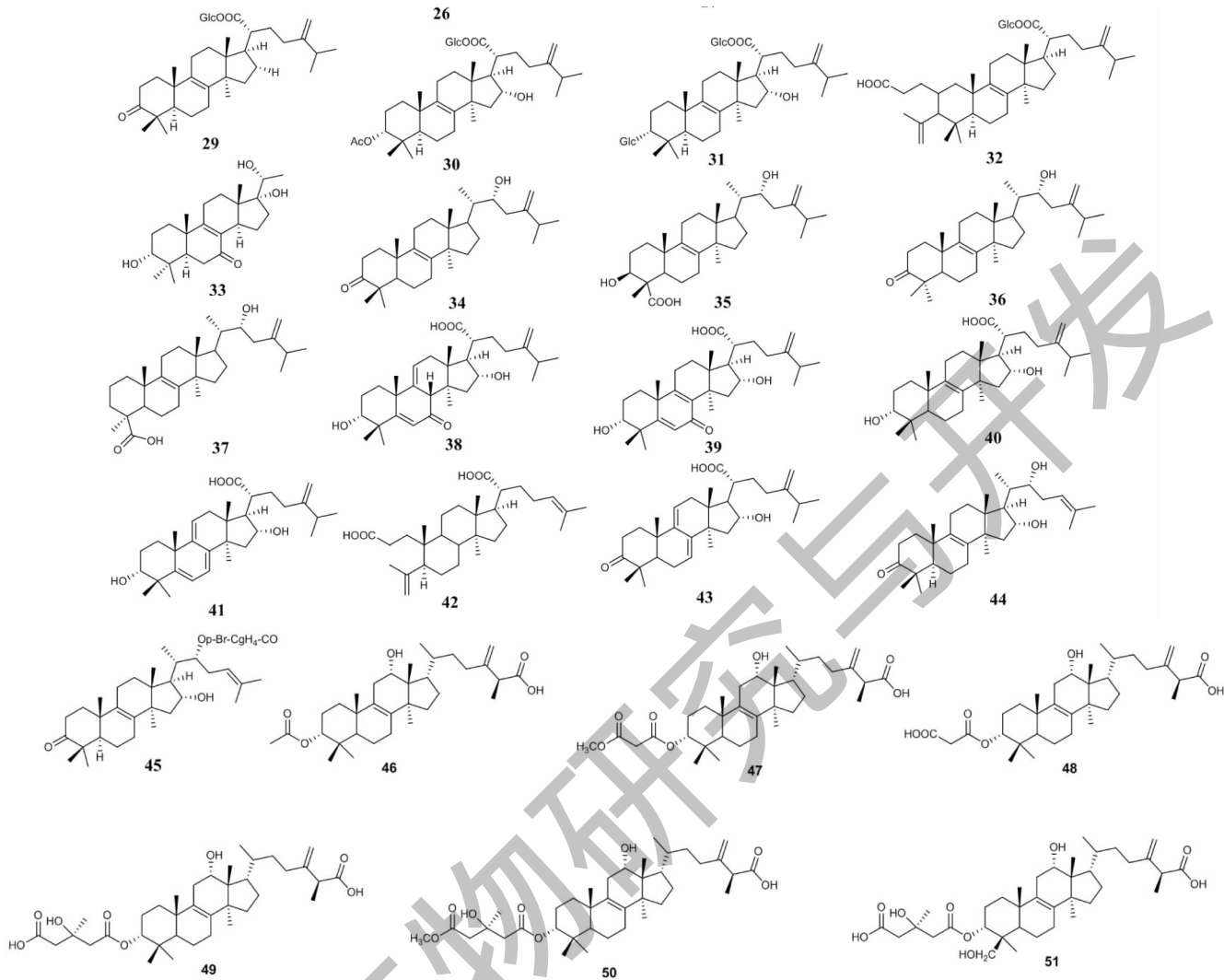


图1 多孔菌属真菌中四环三萜的结构

Fig. 1 Structures of tetracyclic triterpenes of *Polyporus* fungi

## 1.2 甾体类成分

甾体类 (Steroids) 成分也是多孔菌属真菌中含较多且活性较高的一类化合物,具有抗肿瘤、抗炎、抗真菌等多种药理活性。Liu 等<sup>[16]</sup>从茶藨子叶状层菌中首次提取分离得到三个甾体类化合物:麦角甾醇(52)、麦角甾醇-5,8-过氧化物(53)<sup>[17]</sup>、(22*E*,24*S*)-啤酒甾醇(54)<sup>[13]</sup>,化合物52、53的C<sub>3</sub>位都是β-OH,而53的C<sub>5</sub>、C<sub>8</sub>位有一个过氧结构,54的C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>位分别连有α-OH、β-OH。Wang 等<sup>[18]</sup>从多孔菌培养物(*P. ellisii*)中提取分离得到5个新的甾体类成分5β,6β-epoxy-3β,7α,9α-trihydroxy-(22*E*,24*R*)-ergosta-8(14) dien-15-one(55)、5β,6β-epoxy-3β,7α-dihydroxy-(22*E*,24*R*)-ergosta-8(14)22-dien-15-one(56)、5α,6α-epoxy-3β,9α,15α-trihydrox-

y-(22*E*,24*R*)-ergosta-8(14)22-dien-7-one(57)、15α-acetoxy-(22*E*,24*R*)-ergosta-4,6,8(14),22-tetraen-3-one(58)、15β-methoxy-(22*E*,24*R*)-ergosta-4,6,8(14)-tetraen-3-one(59),化合物(55~59)中只有56的C<sub>3</sub>位是β-OH取代,其他都是酮基取代,化合物(55-57)的C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>位都有一个醚键,与氧原子形成了一个三元环结构。化合物55、56的C<sub>15</sub>位是一个酮基取代,C<sub>7</sub>位都连有α-OH,化合物57的C<sub>7</sub>位是酮基,化合物58的C<sub>15</sub>位是一个-COOCH<sub>3</sub>。Qhsawa 等<sup>[19]</sup>从猪苓菌中提取分离得到7个新的甾体化合物 polyporosterones A~G(60~66),化合物(60~66)的侧链不同,62、64的C<sub>22</sub>、C<sub>23</sub>是酮基,化合物60、61、63、65、66的C<sub>22</sub>位均是α-OH。Sun 等<sup>[20]</sup>从猪苓菌的乙酸乙酯提取物中提取分离得到3个新的

麦角甾烷型蜕皮类固醇 polyporoids A ~ C (**67** ~ **69**), 它们的 C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 和 C<sub>14</sub> 位分别是 β-OH、α-OH, C<sub>6</sub> 是酮基取代, 其中化合物 **67** 的 C<sub>16</sub>、C<sub>17</sub>、C<sub>20</sub>、C<sub>22</sub>、化合物 **68** 的 C<sub>25</sub>、C<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>、C<sub>30</sub> 分别与一个氧原子构成了五元环。Zhou 等<sup>[21]</sup> 首次从猪苓菌 (*P. umbellatus*) 中提取分离出 2 个新的甾体化合物 (20S, 22R, 24R)-16, 22-epoxy-3β, 14α, 23β, tetrahydroxyergost-7-en-6-one (**70**)、(23R, 24R, 25R)-23, 26, epoxy-3β, 14α, 21α, 22α-te-tetrahydroxyergost-7-en-6-one (**71**), 化合物 **71** 比 **70** 的 C<sub>2</sub> 位多一个 β-OH, 它们的侧链比较特殊,

化合物 **70** 的 C<sub>16</sub>、C<sub>17</sub>、C<sub>20</sub>、C<sub>21</sub>、化合物 **71** 的 C<sub>23</sub>、C<sub>24</sub>、C<sub>26</sub>、C<sub>28</sub> 分别与氧原子构成了一个五元环。Jin 等<sup>[22]</sup> 从忍冬木层孔菌 (*P. lonicerinus*) 子实体的乙酸乙酯相中提取分离得到 2 个麦角甾醇: 麦角甾醇 (**52**)、麦角甾-7, 22-二烯-3β, 5α, 6β-三醇 (**72**)。Quang 等<sup>[14]</sup> 从桑黄子实体的甲醇提取物中提取分离得到 1 个甾体化合物 25-hydroxyergosta-7, 24 (28)-dien-3β-ol (**73**)。Gao 等<sup>[23]</sup> 从黄鳞多孔菌子实体中提取分离得到 9(11)-脱氢麦角甾醇过氧化物 (**74**)。化学成分见表 2 和图 2。

表 2 多孔菌属真菌中的甾体类成分

Table 2 Steroids of *Polyporus* fungi

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
52	麦角甾醇 Ergosterol	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O	茶藨子叶状层菌	16
53	麦角甾醇-5, 8-过氧化物 Ergosterol peroxide	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>3</sub>	茶藨子叶状层菌	17
54	(22E, 24S)-啤酒甾醇 Cerevisterol	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O <sub>3</sub>	茶藨子叶状层菌	13
55	5β, 6β-Epoxy-3β, 7α, 9α-trihydroxy-(22E, 24R)-ergosta-8(14), 22-dien-15-one	C <sub>28</sub> H <sub>42</sub> O <sub>5</sub>	多孔菌培养物	18
56	5β, 6β-Epoxy-3β, 7α-dihydroxy-(22E, 24R)-ergosta-8(14), 22-dien-15-one	C <sub>28</sub> H <sub>42</sub> O <sub>4</sub>	多孔菌培养物	18
57	5α, 6α-Epoxy-3β, 9α, 15α-trihydroxy-(22E, 24R)-ergosta-8(14), 22-dien-7-one	C <sub>28</sub> H <sub>42</sub> O <sub>5</sub>	多孔菌培养物	18
58	15α-Acetoxy-(22E, 24R)-ergosta-4, 6, 8(14), 22-tetraen-3-one	C <sub>30</sub> H <sub>44</sub> O <sub>3</sub>	多孔菌培养物	18
59	15β-Methoxy-(22E, 24R)-ergosta-4, 6, 8(14), 22-tetraen-3-one	C <sub>29</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	多孔菌培养物	18
60	Polyporusterone A	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O <sub>6</sub>	猪苓菌	19
61	Polyporusterone B	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>6</sub>	猪苓菌	19
62	Polyporusterone C	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>6</sub>	猪苓菌	19
63	Polyporusterone D	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>5</sub>	猪苓菌	19
64	Polyporusterone E	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>5</sub>	猪苓菌	19
65	Polyporusterone F	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O <sub>5</sub>	猪苓菌	19
66	Polyporusterone G	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>5</sub>	猪苓菌	19
67	Polyporoid A	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>7</sub>	猪苓菌	20
68	Polyporoid B	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>7</sub>	猪苓菌	20
69	Polyporoid C	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O <sub>7</sub>	猪苓菌	20
70	(20S, 22R, 24R)-16, 22-Epoxy-3β, 14α, 23β, 25-tetrahydroxyergost-7-en-6-one	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>6</sub>	猪苓菌	21
71	(23R, 24R, 25R)-23, 26-Epoxy-3β, 14α, 21α, 22α-tetrahydroxyergost-7-en-6-one	C <sub>28</sub> H <sub>44</sub> O <sub>6</sub>	猪苓菌	21
72	麦角甾-7, 22-二烯-3β, 5α, 6β-三醇 Ergasta-7, 22-diene-3β, 5α, 6β-triol	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O <sub>3</sub>	忍冬木层孔菌	22
73	25-Hydroxy-ergosta-7, 24 (28)-dien-3β-ol	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub>	桑黄	14
74	9(11)-脱氢麦角甾醇过氧化物 9(11)-Dehydroergosterol peroxide	C <sub>28</sub> H <sub>42</sub> O <sub>3</sub>	黄鳞多孔菌	23

### 1.3 倍半萜

除了四环三萜外, 倍半萜也在多孔菌属真菌中大量存在, 按骨架类型可以分为桉叶烷型倍半萜、愈

创木烷型倍半萜和其他倍半萜等。

#### 1.3.1 桉叶烷型倍半萜

González 等<sup>[24]</sup> 从桑黄中分离出了 2 个新的桉

叶烷型倍半萜  $4\beta, 14\alpha$ -dimethylnor- $5\alpha$ -pregn-8-ene- $4\alpha, 20\alpha$ -dicarboxylic acid (**75**)、 $4\beta, 14\alpha$ -dimethyl-3-nor- $5\alpha$ -pregn-8-ene- $4\alpha, 20\alpha$ -dicarb-oxylate (**76**) 以及已知化合物  $4\beta, 14\alpha$ -dimethyl-7, 11-dioxonor- $5\alpha$ -pregn-8-ene- $4\alpha, 20\alpha$ -dicarb-oxylate (**77**)、 $4\beta, 14\alpha$ -dimethyl-7, 11-dioxo-3-nor- $5\alpha$ -pregnane- $4\alpha, 20\alpha$ -dicarb-oxylate (**78**)、 $4\beta, 14\alpha$ -Dimethyl-oxo-3-nor- $5\alpha$ -pregn-8-ene- $4\alpha$ -carboxylic acid (**79**), 其中化合物 **75** ~ **79** 的

$C_1, C_2$  和  $C_6, C_7$  位分别连有一个五元环, 化合物 **76** 是 **75** 的甲基化衍生物, 化合物 **77, 78** 的  $C_4, C_9$  是酮基取代。Fleck 等<sup>[25]</sup> 从猪苓菌中分离得到 5 个桉叶烷型倍半萜 isodrimenediol (**80**)、7-drimene-3, 11-diol (**81**)、7-drimene-3, 11, 12-triol (**82**)、 $3\beta$ -hydroxycinnamamide (**83**)、 $3\beta$ -hydroxydihydroconfertifolin (**84**), 其中化合物 **80** 是 drimane 型结构生物合成的第一个中间体。化学成分见表 3 和图 3。

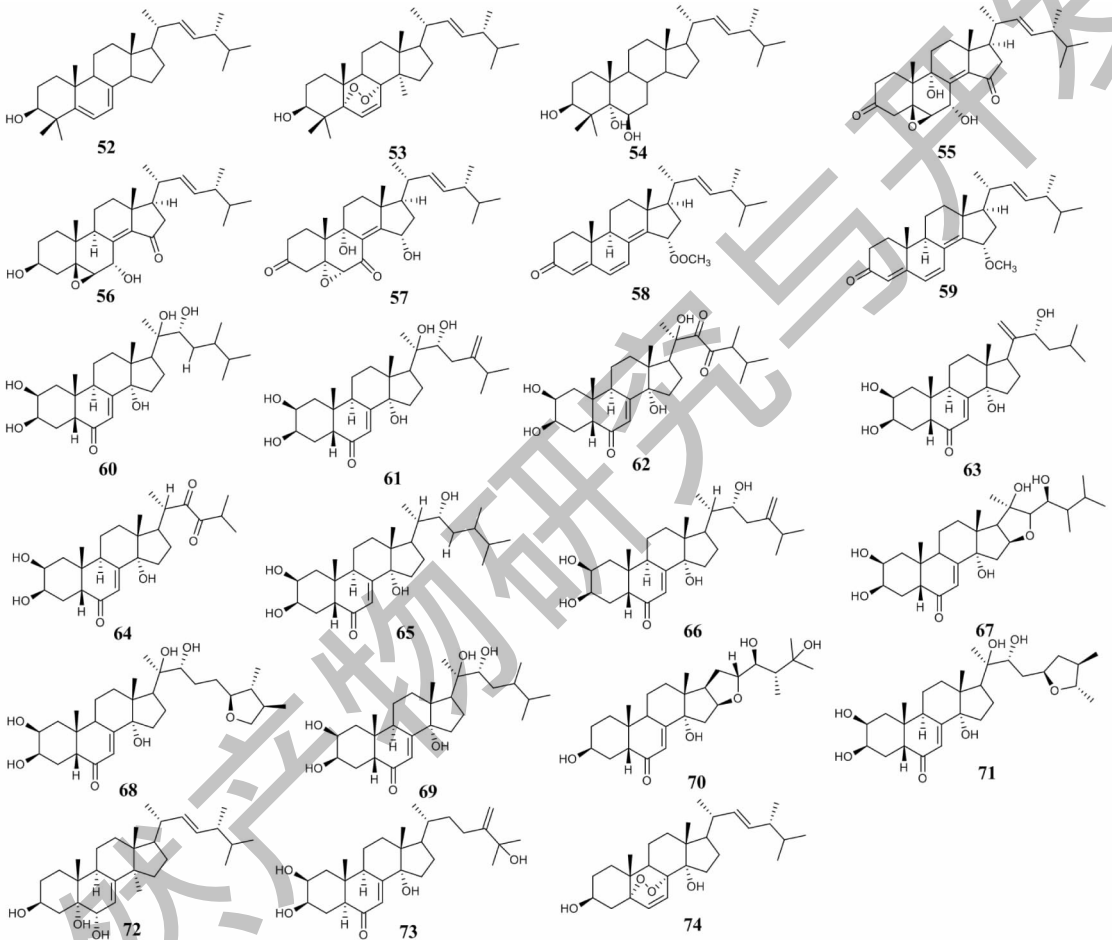


图 2 多孔菌属真菌中甾体化合物的结构

Fig. 2 Structures of steroids of *Polyporus* fungi

表 3 多孔菌属真菌中的桉叶烷型倍半萜成分

Table 3 Eudesmane-type sesquiterpenoids of *Polyporus* fungi

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
<b>75</b>	$4\beta, 14\alpha$ -Dimethyl-3-nor- $5\alpha$ -pregn-8-ene- $4\alpha, 20\alpha$ -dicarboxylic acid	$C_{26}H_{42}O_4$	桑黄	24
<b>77</b>	$4\beta, 14\alpha$ -Dimethyl-7, 11-dioxo-3-nor- $5\alpha$ -pregn-8-ene- $4\alpha, 20\alpha$ -dicarb-oxylate	$C_{26}H_{36}O_6$	桑黄	24
<b>78</b>	$4\beta, 14\alpha$ -Dimethyl-7, 11-dioxo-3-nor- $5\alpha$ -pregnane- $4\alpha, 20\alpha$ -dicarb-oxylate	$C_{26}H_{38}O_6$	桑黄	24
<b>79</b>	$4\beta, 14\alpha$ -Dimethyl-20-oxo-3-nor- $5\alpha$ -pregn-8-ene- $4\alpha$ -carboxylic acid	$C_{23}H_{34}O_3$	桑黄	24
<b>80</b>	Isodrimenediol	$C_{15}H_{26}O_2$	猪苓菌	25

续表3(Continued Tab. 3)

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
81	7-Drimene-3,11-diol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	猪苓菌	25
82	7-Drimene-3,11,12-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	猪苓菌	25
83	3β-Hydroxycinnamamide	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub>	猪苓菌	25
84	3β-Hydroxydihydroconfertifolin	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O <sub>3</sub>	猪苓菌	25

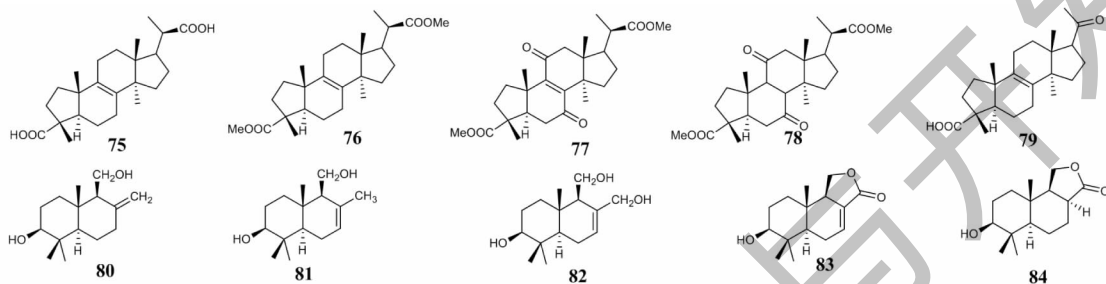


图3 多孔菌属真菌中桉叶烷型倍半萜的结构

Fig. 3 Structures of eudesmane-type sesquiterpenoids of *Polyporus* fungi

## 1.3.2 愈创木烷型倍半萜

Ayer 等<sup>[26]</sup>从桑黄的培养液中提取分离得到 5 个新化合物 tremulenolides A 和 B (85、86)、tremulenedial dibenzyl acetal (87)、tremulenediol C (88)、tremuladienol (89), 化合物(85~87)与 99 相比, 化合物 87 的 C<sub>11</sub>、C<sub>12</sub>位分别连有一个苄基, C<sub>13</sub>、C<sub>14</sub>、C<sub>15</sub>位都是甲基取代, 化合物 85、86 的 C<sub>11</sub>位是酮基取代, 化合物 87 的 C<sub>11</sub>位是苄基取代, 它们均具有新的全氢氮杂碳骨架。Wang 等<sup>[18]</sup>从多孔菌培养物中提取分离得到 3β,9α,15α-trihydroxy-(22E,24R)-10(5→4)-abeoergosta-6,8(14),22-trien-5-one (90)。Wu 等<sup>[10]</sup>从桑黄的培养物中提取分离得到 9 个愈创

木烷型倍半萜(+)-(3S,6R,7R)-tremulene-6,11,12-tri-ol (91)、(+)-(3S,6S,7S,10S)-tremulene-10,11,12,triol (92)、(+)-(3S,6R,7R,10S)-tremulene-6,10,12,triol (93)、(-)-(2S,3S,6S,7S,9R)-tremul-1(10)-ene-11,12,triol (94)、(-)-(2S,3S,6S,7S,9R)-tremul-1(10)-ene-11,12,14-triol (95)、(-)-(2R,3S,6S,7S,9R)-tremul-1(10)-ene-11,12,14-triol (96)、(-)-(2S,3S,4S,6S,7S)-tremul-1(10)-ene-4,11,12-triol (97)、(+)-(2S,3R,6S,7S)-tremul-1(10)-ene-2,12-diol (98)、(+)-(1R,6S,7S)-tremul-2-ene-12(11)-lac-tone (99)。化学成分见表 4 和图 4。

表4 多孔菌属真菌中的愈创木烷型倍半萜成分

Table 4 Guaiane-type sesquiterpenes of *Polyporus* fungi

编号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
85	Tremulenolide A	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	桑黄	26
86	Tremulenolide B	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	桑黄	26
87	Tremulenedial dibenzyl acetal	C <sub>22</sub> H <sub>29</sub> O <sub>2</sub>	桑黄	26
88	Tremulenediol C	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	桑黄	26
89	Tremuladienol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	桑黄	26
90	3β,9α,15α-Trihydroxy-(22E,24R)-10(5→4)-abeo-ergosta-6,8(14),22-trien-5-one	C <sub>28</sub> H <sub>42</sub> O <sub>4</sub>	多孔菌培养物	18
91	(+)-(3S,6R,7R)-Tremulene-6,11,12-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10
92	(+)-(3S,6S,7S,10S)-Tremulene-10,11,12-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10



续表 4 (Continued Tab. 4)

编号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
93	(+)-(3 <i>S</i> ,6 <i>R</i> ,7 <i>R</i> ,10 <i>S</i> )-Tremulene-6,10,12-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10
94	(-)-(2 <i>S</i> ,3 <i>S</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> ,9 <i>R</i> )-Tremul-1(10)-ene-11,12,14-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10
95	(-)-(2 <i>S</i> ,3 <i>S</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> ,9 <i>S</i> )-Tremul-1(10)-ene-11,12,15-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10
96	(-)-(2 <i>R</i> ,3 <i>S</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> ,9 <i>R</i> )-Tremul-1(10)-ene-11,12,14-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10
97	(-)-(2 <i>S</i> ,3 <i>S</i> ,4 <i>S</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> )-Tremul-1(10)-ene-4,11,12-triol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10
98	(+)-(2 <i>S</i> ,3 <i>R</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> )-Tremul-1(10)-ene-2,12-diol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	桑黄培养物	10
99	(+)-(1 <i>R</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> )-Tremul-2-ene-12(11)-lactone	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub>	桑黄培养物	10

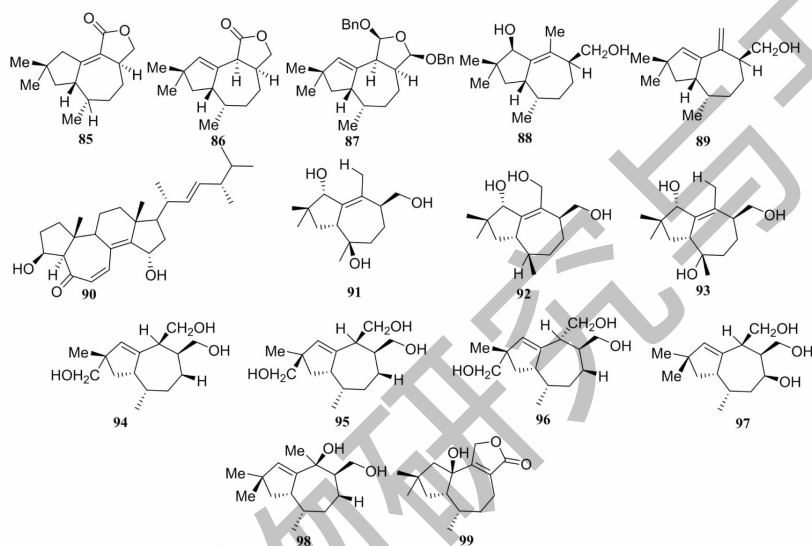


图 4 多孔菌属真菌中愈创木烷型倍半萜的结构

Fig. 4 Structures of guaianane-type sesquiterpenes of *Polyporus* fungi

## 1.3.3 其他倍半萜

他类型倍半萜 phellinignincisteroles A ~ C (100 ~

Wu 等<sup>[10]</sup>从桑黄培养物中提取分离得到 3 个其

102)。化学成分见表 5 和图 5。

表 5 多孔菌属真菌中的其他倍半萜成分

Table 5 Other sesquiterpenes of *Polyporus* fungi

序号 NO.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
100	Phellinignincisterol A	C <sub>21</sub> H <sub>32</sub> O <sub>5</sub>	桑黄培养物	10
101	Phellinignincisterol B	C <sub>21</sub> H <sub>32</sub> O <sub>5</sub>	桑黄培养物	10
102	Phellinignincisterol C	C <sub>21</sub> H <sub>32</sub> O <sub>5</sub>	桑黄培养物	10

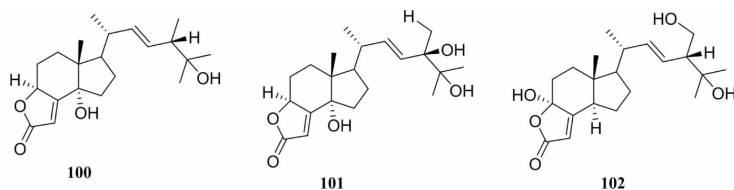


图 5 多孔菌属真菌中其他倍半萜的结构

Fig. 5 Structures of other sesquiterpenes of *Polyporus* fungi

## 1.4 芳香族化合物

芳香族化合物也在多孔菌属真菌中大量存在, Yu 等<sup>[27]</sup>从茶藨子叶状层菌中提取分离得到 drosophilin A (**103**)<sup>[28]</sup>、(*E*)-3,4-二羟基苯亚甲基丙酮 (**104**)<sup>[29]</sup>、protocatechualdehyde (**105**)<sup>[30]</sup>、1,2,4-苯三酚(**106**)<sup>[31]</sup>,其中化合物 **103** 和化合物 **106** 是首次从该真菌中分离得到的,化合物 **103** 是由酮基和邻二酚羟基在苯环上间位取代连接,化合物 **106** 是 4 个氯和一个甲氧基取代苯酚上的氢。Sofrenić 等<sup>[9]</sup>从桦褐孔菌中提取分离得到 2 个新的苯丙醛衍生物 squarrosidine (**107**)、pinillidine (**108**),化合物 **108** 比 **113** 在苯环上多了一个邻二酚羟基取代。Zhang 等<sup>[32]</sup>从黑盖地花菌 (*Albatrellus yasuda*) 中提取分离得到 4 个 grifolin 衍生物: grifolene (**109**)、grifolin (**110**)、neogrifolin (**111**)、grifolic acid (**112**),其中化合物 **109** 是首次从该真菌中分离得到的,化合物 **109** 与 **112** 不同,其 C<sub>7</sub> 位是-COOCH<sub>3</sub> 取代。Ayer 等<sup>[26]</sup>从桑黄子实体中提取分离得到 5-methyl-2-(3,

7,11-trimethyldodeca-2,6,10-triene-nyl) benzoquinone (**113**)、8-methyl-13-phenyltrideca-4,6,8,10,12-pentaen-3-one (**114**)、4-vinylphenol (**115**)、4-vinylresorcinol (**116**) 等芳香族化合物。Jin 等<sup>[22]</sup>从忍冬木层孔菌子实体的乙酸乙酯相中提取分离得到 2 个化合物对羟基苯乙醇 (**117**)、邻羟基苯乙酸 (**118**)。Kawagishi 等<sup>[13]</sup>从桦褐孔菌中提取分离得到 (*E*)-2-(4-hydroxy-3-methyl-2-butenyl)-hydroquinone (**119**)。Ishii 等<sup>[33]</sup>从猪苓菌中提取分离得到 o-methylgrifolin (**120**)、farnesylphenols (**121**)、grifolic acid (**122**)、farnesylphenol (**123**)、monoepoxide (**124**)、isopentenylphenol (**125**)。Mo 等<sup>[34]</sup>从桑黄子实体中提取分离得到 phelligridin A (**126**)。Jain 等<sup>[4]</sup>从木层孔菌中提取分离得到 2,3,5,6-tetrachloro-1,4-dimethoxy benzene (**127**)。He 等<sup>[35]</sup>从桦褐孔菌中提取分离得到 stigmaterol (**128**)。Lee 等<sup>[36]</sup>从桑黄子实体的甲醇提取物中提取分离得到 3 个化合物 chlorophellins A ~ C (**129 ~ 131**)。化学成见表 6 和图 6。

表 6 多孔菌属真菌中的芳香族化合物成分

Table 6 Aromatic compounds of *Polyporus* fungi

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
103	Protocatechualdehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	茶藨子叶状层菌	27
104	1,2,4-苯三酚 1,2,4-Benzenetriol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	茶藨子叶状层菌	27
105	( <i>E</i> )-3,4-二羟基苯亚甲基丙酮 ( <i>E</i> )-3,4-Dihydroxybenzylideneacetone	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	茶藨子叶状层菌	27
106	Drosophilin A	C <sub>7</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	茶藨子叶状层菌	27
107	Squarrosidine	C <sub>27</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	翘鳞环伞菌和桑黄	9
108	Pinillidine	C <sub>28</sub> H <sub>21</sub> O <sub>10</sub>	翘鳞环伞菌和桑黄	9
109	Grifolene	C <sub>24</sub> H <sub>33</sub> O <sub>4</sub>	黑盖地花菌	32
110	Grifolin	C <sub>22</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	黑盖地花菌	32
111	Neogrifolin	C <sub>22</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	黑盖地花菌	32
112	Grifolic acid	C <sub>23</sub> H <sub>32</sub> O <sub>4</sub>	黑盖地花菌	32
113	5-Methyl-2-(3,7,11-trimethyldodeca-2,6,10-trienyl) benzoquinone	C <sub>22</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	桑黄	26
114	8-Methyl-13-phenyltrideca-4,6,8,10,12-pentaen-3-one	C <sub>20</sub> H <sub>22</sub> O	桑黄	26
115	4-Vinylphenol	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	桑黄	26
116	4-Vinylresorcinol	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	桑黄	26
117	对羟基苯乙醇 4-Hydroxyphenethyl alcohol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	忍冬木层孔菌	22
118	邻羟基苯乙酸 2-Hydroxyphenylacetic acid	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	忍冬木层孔菌	22
119	( <i>E</i> )-2-(4-Hydroxy-3-methyl-2-butenyl)-hydroquinone	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	桦褐孔菌	13
120	<i>O</i> -Methylgrifolin	C <sub>23</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	猪苓菌	33
121	Farnesylphenol III	C <sub>22</sub> H <sub>32</sub> O <sub>3</sub>	猪苓菌	33
122	Farnesylphenol V	C <sub>24</sub> H <sub>34</sub> O <sub>4</sub>	猪苓菌	33

续表 6 (Continued Tab. 6)

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
123	Grifolic acid	C <sub>23</sub> H <sub>32</sub> O <sub>4</sub>	猪苓菌	33
124	Isopentenylphenol	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub>	猪苓菌	33
125	Monoepoxide	C <sub>22</sub> H <sub>32</sub> O <sub>3</sub>	猪苓菌	33
126	Phelligridin A	C <sub>13</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	桑黄	34
127	2,3,5,6-Tetrachloro-1,4-dimethoxybenzene	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	木层孔菌	4
128	Stigmasterol	C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>9</sub>	桦褐孔菌	35
129	Chlorophellin A	C <sub>21</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	桑黄	36
130	Chlorophellin B	C <sub>21</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	桑黄	36
131	Chlorophellin C	C <sub>21</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	桑黄	36

## 1.5 其他类化合物

除上述成分外,多孔菌属真菌中还含有吡喃酮、氨基酸、糖类等成分。Mo 等<sup>[34]</sup>从桑黄子实体中提取分离得到 2 个新的吡喃酮 phelligridins A 和 B (132 和 133), 132 和 136 结构相似,不同的是 C<sub>3</sub> 位-COOH 被甲基化。Wang 等<sup>[37]</sup>从桑黄中提取分离得到 phelligridins C ~ F (134 ~ 137), 其中 134 和 135 是首次从该真菌中分离得到,化合物 136<sup>[38]</sup>是一种独特的吡喃酮。Nagatsu 等<sup>[29]</sup>也从桑黄子实体中提取分离得到 2 个吡喃酮 meshimakobnoles A 和 B (138 和 139)。Gao 等<sup>[23]</sup>从黄鳞多孔菌子实体中首次提取分离得到脑苷脂 B (140)、D-甘露醇 (141), 化合物 140 比 144 少了 2 个 -CH<sub>2</sub>-。Jin 等<sup>[22]</sup>从忍冬木层孔菌子实体的乙酸乙酯相中首次提取分离得到亚油酸甲酯 (142)、2,5-咪喃二甲醇 (143)、脑苷脂 D (144), 化合物 143 的 C<sub>2</sub>、C<sub>5</sub> 位均连有一个甲醇基团。Lourenço 等<sup>[38]</sup>从桑黄中提取分离得到 2 个新的神经酰胺 ceramide A (145) 和 ceramide B (146)。Min 等<sup>[40]</sup>从桑黄子实体中提取分离得到 2 个咪喃衍生物 phellinusfurans A 和 B (147、148), 化合物 147 和 148 是 2 种新型立体异构体。Ayer 等<sup>[26]</sup>从桑黄子实体中分离得到 2,4,6-triphenylhex-1-ene (149)。Gao 等<sup>[41]</sup>从黄鳞多孔菌子实体中分离得到 (2S,3R,4E,8E)-1-(β-D-glucopyranosyl)-3-hydroxy-2-[(R)-2'-hydroxyh-eptadecano-yl] ami-no-9-methyl-4,8-octadecadiene (150)、cerebroside B (151)、cerebroside D (152)。Yu 等<sup>[27]</sup>从茶藨子叶状层菌的乙醇提取物中提取分离得到 4 个化合物,它们是: α-D-(+)-glucose (153)、尿嘧啶核苷 (154)、腺嘌呤核苷 (155)、crototropone (156), 其中化合物 154 和 155 是首次从

该真菌中分离得到的。化学成分见表 7 和图 7。

## 2 药理作用

### 2.1 抗肿瘤

目前,有关多孔菌属真菌的抗肿瘤活性研究较多。据文献报道,煎煮的桦褐孔菌提取液在小白鼠体内有显著的抗肿瘤活性,未煎煮的桦褐孔菌无此活性<sup>[42]</sup>。羊毛甾烷型四环三萜 phellibarins A ~ C (2 ~ 4) 对 LPS 激活的 RAW-264.7 巨噬细胞中一氧化氮 (NO) 表现出抑制作用, IC<sub>50</sub> 值分别为 22.3、20.2 μM, 它们对 5 种人癌细胞系 (SK-BR-3、SMMC-7721、HL-60、PANC-1、A-549) 都表现出显著的细胞毒活性<sup>[5]</sup>。化合物 8 对人早幼粒白血病 HL-60 细胞和人急性单核细胞白血病细胞系 THP-1 有显著的细胞毒活性,其作用机制可能是阻断细胞分裂周期及诱导细胞凋亡, IC<sub>50</sub> 值分别为 1.77、8.21 mM<sup>[7]</sup>。化合物 29 和 31 对人早幼粒白血病细胞 HL-60 的 IC<sub>50</sub> 值分别为 15.8、23.7 μM<sup>[9]</sup>。León 等<sup>[8]</sup>通过 MTT 检测法,发现羊毛甾烷型四环三萜 3-oxo-sulfurenic acid (13), 三个已知的三萜 (14 ~ 16) 及其衍生物 (17 ~ 19) 对人早幼粒白血病细胞 HL-60 也有明显的细胞毒活性。据《中国真菌志》记载<sup>[2]</sup>, 黑柄多孔菌 (*P. melanopus*) 提取物对小白鼠肉瘤 S-180 及艾氏癌的抑制率均为 60%, 其作用机制可能与提高小鼠机体免疫力及诱导细胞凋亡有关。化合物 53 对髓性白血病细胞系 NOMO-1 和 SKM-1 表现出较好的效果, 对肺癌细胞 A549 和乳腺癌细胞 MDA-MB-435 有明显的抑制作用, 其 IC<sub>50</sub> > 10 μmol/L<sup>[43]</sup>。化合物 58 和 136 对测试的所有肿瘤细胞系 (HL-60、SMMC-7721、A-549、MCF-70、SW480) 均表现出较强的细胞毒活性, 其中化合物 58 对 HL-60 细胞的 IC<sub>50</sub> 值为

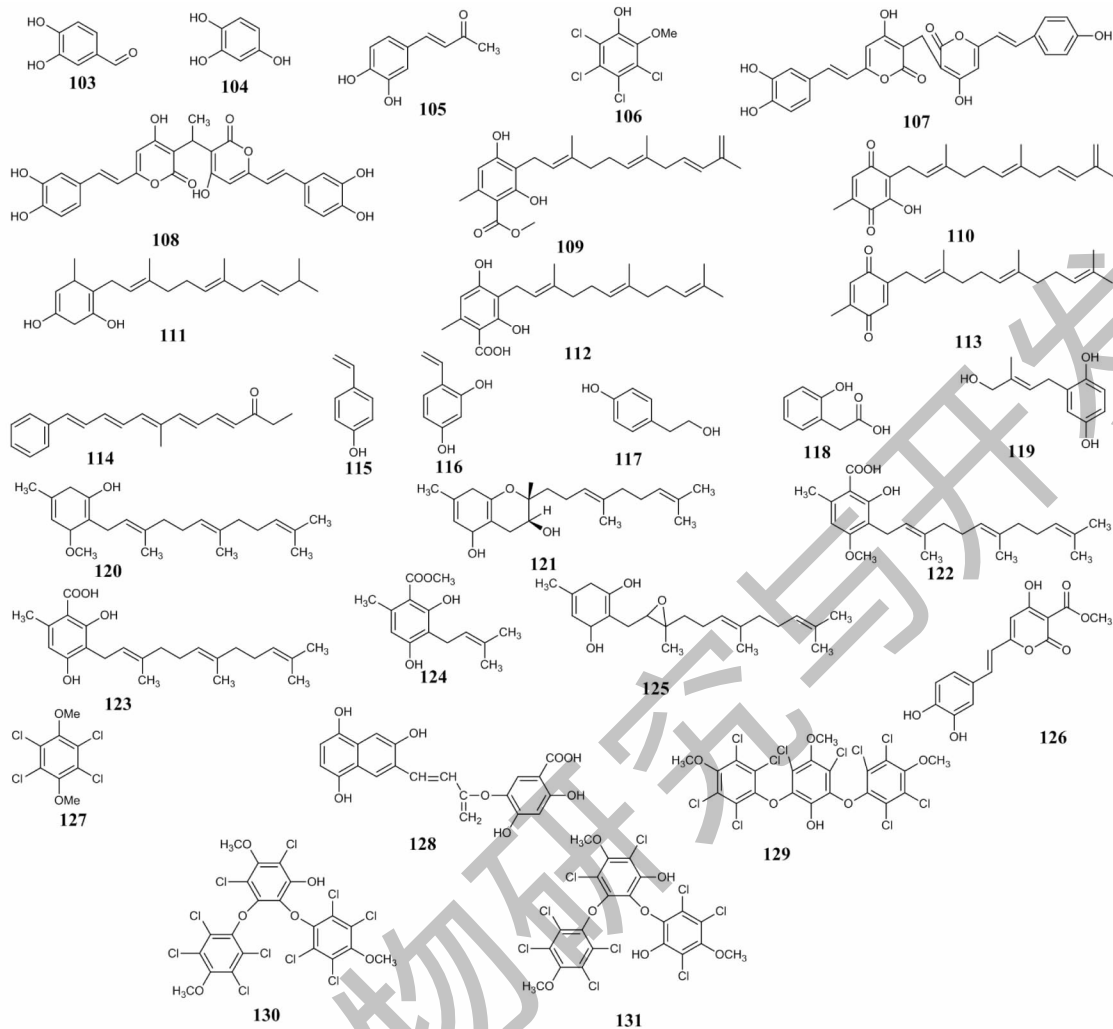


图6 多孔菌属真菌中芳香族化合物的结构

Fig. 6 Structures of aromatic of *Polyporus* fungi

表7 孔菌属真菌中的其他化合物成分

Table 7 Other compounds of *Polyporus* fungi

序号 No.	化合物 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
132	Phelligrudin A	$C_{13}H_8O_6$	桑黄	34
133	Phelligrudin B	$C_{15}H_{12}O_7$	桑黄	34
134	Phelligrudin C	$C_{33}H_{19}O_{13}$	桑黄	18
135	Phelligrudin D	$C_{33}H_{21}O_{13}$	桑黄	18
136	Phelligrudin E	$C_{13}H_5O_8$	桑黄	28
137	Phelligrudin F	$C_{32}H_{19}O_{12}$	桑黄	28
138	Meshimakobnol A	$C_{20}H_{12}O_8$	桑黄	29
139	Meshimakobnol B	$C_{20}H_{12}O_7$	桑黄	29
140	脑苷脂 B Forsythoside B	$C_{41}H_{76}NO_9$	黄鳞多孔菌	23
141	D-甘露醇 <i>D</i> -Mannitol	$C_6H_{14}O_6$	黄鳞多孔菌	23

续表 6 (Continued Tab. 6)

序号 No.	化合物 Compound name	分子式 Molecular formula	来源 Source	文献 Ref.
142	亚油酸甲酯 Methyl linoleate	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	忍冬木层孔菌	22
143	2,5-呋喃二甲醇 Furan-2,5-diylldimethanol	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	忍冬木层孔菌	22
144	脑苷脂 D	C <sub>43</sub> H <sub>81</sub> NO <sub>9</sub>	忍冬木层孔菌	22
145	Ceramide A	C <sub>47</sub> H <sub>95</sub> NO <sub>5</sub>	桑黄	37
146	Ceramide B	C <sub>48</sub> H <sub>97</sub> NO <sub>5</sub>	桑黄	37
147	Phellinusfuran A	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	桑黄子实体	38
148	Phellinusfuran B	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	桑黄子实体	38
149	2,4,6-Triphenylhex-1-ene	C <sub>24</sub> H <sub>24</sub>	桑黄	26
150	(2 <i>S</i> ,3 <i>R</i> ,4 <i>E</i> ,8 <i>E</i> )-1-( $\beta$ - <i>D</i> -Glucopyranosyl)-3-hydroxy-2- [( <i>R</i> )-2'-hydroxyheptadecanoyl] amino-9-methyl-4,8-octadecadiene	C <sub>42</sub> H <sub>78</sub> NO <sub>9</sub>	黄鳞多孔菌	39
151	Cerebroside B	C <sub>41</sub> H <sub>76</sub> NO <sub>9</sub>	黄鳞多孔菌	39
152	Cerebroside D	C <sub>43</sub> H <sub>81</sub> NO <sub>9</sub>	黄鳞多孔菌	39
153	$\alpha$ - <i>D</i> -(+)-Glucose	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	茶藨子叶状层菌	27
154	尿嘧啶核苷 Uridine	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	茶藨子叶状层菌	27
155	腺嘌呤核苷 Adenosine	C <sub>10</sub> H <sub>13</sub> N <sub>5</sub> O <sub>4</sub>	茶藨子叶状层菌	27
156	Crototropon	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	茶藨子叶状层菌	27

22.8  $\mu\text{M}$ <sup>[18]</sup>。化合物(60~66)对白血病细胞 L-1210 有显著的活性,其作用机制主要是抑制细胞增殖和诱导细胞分化<sup>[19]</sup>,这些研究证明该属化合物有显著的抗肿瘤作用。

## 2.2 抗炎

从桦褐孔菌中提取分离得到羊毛甾烷型四环三萜化合物 46 和 47 是有效的抗炎剂,其作用机制是抑制 3 $\alpha$ -羟基类固醇脱氢酶(HSD),对细菌透明质酸酶有显著的选择性,但对牛透明质酸酶(HAase)没有影响<sup>[9]</sup>。在 TPA 诱导的炎症测试中,麦角甾烷型蜕皮类固醇(67~69)及五种已知化合物均显示出有效的抗炎活性(ID<sub>50</sub> 值在 0.117~0.682 IM/ear)<sup>[20]</sup>,以上研究均表明多孔菌属真菌在抗炎方面具有显著的抗炎活性。

## 2.3 抗氧化、抗真菌

化合物 134 和 135 能抑制蛋白酪氨酸磷酸酶 1B(PTP1B),在浓度为 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  时,它们对大鼠肝微粒体脂质过氧化的抑制率为 77.9%,其作用机制可能是清除氧化自由基和加快新陈代谢<sup>[37]</sup>。León 等<sup>[8]</sup>从桦褐孔菌子实体中提取分离得到的 acetyl eburicoic acid(17)是最有效的凋亡诱导剂。化合物 phellinins A 和 B(138 和 139)、chlorophellin C(140)在清除氧化自由基方面也有显著作用<sup>[36]</sup>。桑

黄水提取物在还原能力测定中有较强的抗氧化活性,其 EC<sub>50</sub> 值在 0.47 至 14.83 mg/mL 的范围内<sup>[45]</sup>。从桑黄菌丝体的碱性提取物中分离出的高分子量多糖 PL-N 被超声波降解,体外抗氧化活性测定表明,降解的低分子量 PL-N 组分具有更强的羟自由基清除能力以及更高的 TEAC 和 FRAP 值。通过体外抗氧化活性测试,结果显示,裂蹄木层孔菌多糖的抗氧化能力与浓度有关,其作用机制是清除羟自由基和超氧阴离子自由基<sup>[46]</sup>。从桑黄中分离得到的芳香族化合物 4-乙烯基苯酚(157)对大多数真菌的检测均表现出显著的活性<sup>[26]</sup>。Dai 等<sup>[47]</sup>通过抑菌谱、抑菌影响因素、细胞电导率等试验分析,桦褐孔菌多酚有较强抑菌效果,其在 40~120  $^{\circ}\text{C}$  热稳定性较好,且对金黄色葡萄球菌的抑制效果最好。通过对茶藨子叶状层菌抑菌活性研究,发现该真菌的二氯甲烷提取物的抑菌活性最强,对番茄早疫病菌的抑菌率可达 69.7%<sup>[48]</sup>。有学者研究发现,桦褐孔菌水提液有抑制 HIV-1 蛋白酶的作用,也可用于治疗普通流感病毒。

## 2.4 其他作用

化合物 44、45 和 74 均可抑制 RAW 264.7 细胞中一氧化氮(NO)的产生<sup>[14]</sup>。化合物 95、96、100 和 3-羟基-11,12-*O*-异丙基二烯(158)对苯肾上腺素引

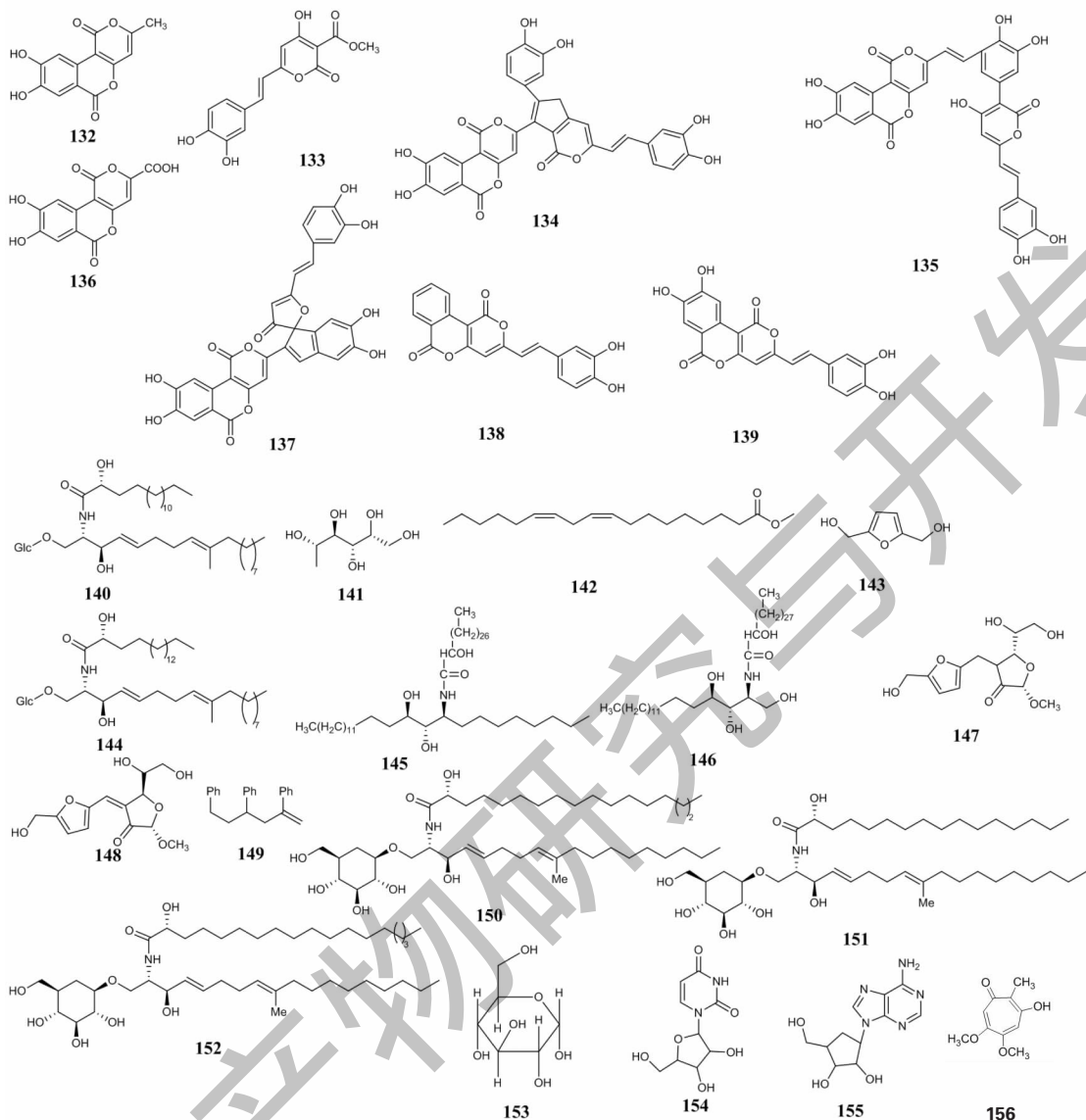


图7 多孔菌属真菌中其他化合物的结构

Fig. 7 Structures of other compounds of *Polyporus* fungi

起的血管收缩有显著的血管松弛活性,舒张速率与空白对照相比,分别为 35.7%、45.4%、46.6%、32.1%<sup>[10]</sup>。化合物 **140** 表现出有效 PPAR- $\alpha$  激动作用,在治疗 2 型糖尿病方面效果显著,其作用机制可能是改善机体氧化应激实现的<sup>[36]</sup>。从桑黄子实体中提取分离得到的水溶性多糖 (PRP) (**159**) 可有效刺激淋巴细胞的增殖<sup>[11]</sup>。茶蔗子中的花色苷还对近视有一定的好处,其作用机制是影响眼睛晶状体的屈光率,有研究发现其提取物对表皮组织损伤也有显著效果。化合物落叶松萜酸 (**160**) 有抑制汗腺分泌作用,临床上用于治疗多汗症,如手汗、脚汗。它还有强心作用,小剂量有兴奋平滑肌作用,高浓度

则抑制,中毒量可使延脑中血管运动中枢和呼吸中枢先兴奋后麻痹<sup>[49]</sup>。

### 3 结语

综上所述,多孔菌属真菌历史悠久,临床疗效确切,从中分离得到的 160 多个化合物,主要为四环三萜、甾体、芳香族、氨基酸及糖类等,数量多,结构复杂,因此,不断分出新颖的化合物是该属真菌化学成分研究的关键问题之一。通过查阅国内外相关文献,目前,国内外学者对多孔菌属真菌化学成分及药理活性的研究较少。因此,多孔菌属真菌有较大的研究潜力,我们有必要对多孔菌属真菌的化学成分和药理活性进行更加深入地研究,从而为多孔菌属

真菌化学成分的研究及药用资源的合理应用与开发提供重要的参考资料。

### 参考文献

- Zhu MQ, et al. Evolution of Polyporales classification and advances on taxonomic studies of Polyporales in China [J]. J Northwest Forest Univ (西北林学院学报), 2004 (1): 98-101.
- Zhao JD. Flora Fungorum Sinicorum; Vol. 3 Polyporaceae (中国真菌志: 第三卷 多孔菌科) [M]. Beijing: Science Press (科学出版社), 1998: 269-282.
- Li R, et al. Research Progress on chemical constituents and biological activities of fungi of the genus *Trichopora* [J]. J Trop Biol (热带生物学报), 2017, 8: 488-494.
- Jain AC, et al. Isolation of lanosta-8, 25-dien-3 $\beta$ -ol from the fungus *Fomes fastuosus* [J]. Phytochemistry, 1984, 23: 2392-2394.
- Feng T, et al. Chemical constituents and their bioactivities of mushroom *Phellinus rhubarbarinus* [J]. J Agr Food Chem, 2016, 64: 1945-1949.
- He J, et al. Three new triterpenoids from *Fuscoporia obliqua* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2001, 3(1): 55-61.
- Tohtahon Z, et al. Cytotoxic lanostane triterpenoids from the fruiting bodies of *Piptoporus betulinus* [J]. Phytochemistry, 2017, 143: 98-103.
- León F, et al. Lanostanoid triterpenes from *Laetiporus sulphureus* and apoptosis induction on HL-60 human myeloid leukemia cells [J]. J Nat Prod, 2004, 67: 2008-2011.
- Sofrenic I, et al. Cytotoxic triterpenoids and triterpene sugar esters from the medicinal mushroom *Fomitopsis betulina* [J]. Phytochemistry, 2021, 181: 112580.
- Wu X, et al. Homo- and heptanor-sterols and tremulane sesquiterpenes from cultures of *Phellinus igniarius* [J]. J Nat Prod, 2010, 73: 1294-1300.
- Liu HK, et al. Lanostane-triterpenoids from the fungus *Phellinus gilvus* [J]. Phytochemistry, 2009, 70: 558-563.
- Khalilov Q, et al. Piptolinic acids F-J, five new lanostane-type triterpenoids from *Piptoporus betulinus* [J]. Nat Prod Res, 2019, 33: 3044-3051.
- Kawagishi H, et al. Novel hydroquinone as a matrix metalloproteinase inhibitor from the mushroom, *Piptoporus betulinus* [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2002, 66: 2748-2750.
- Quang DN, et al. Sterols from a vietnamese wood-rotting *Phellinus* sp. [J]. Z Naturforsch Sect B, 2007, 62: 289-292.
- Kamo T, et al. Anti-inflammatory lanostane-type triterpene acids from *Piptoporus betulinus* [J]. J Nat Prod, 2003, 66: 1104-1106.
- Liu YH, et al. Studies on the chemical constituents of *Phylloporia ribis* [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2005, 28: 998-999.
- Ma WG, et al. Ergosterol peroxides from *Cryptoporus volvatius* [J]. Acta Bot Yunnan (云南植物研究), 1994, 16: 196-200.
- Wang S, et al. Six novel steroids from culture of basidiomycete *Polyporus ellisii* [J]. Nat Prod Bioprospect, 2012, 2(6): 240-244.
- Ohsawa T, et al. Studies on constituents of fruit body of *Polyporus umbellatus* and their cytotoxic activity [J]. Chem Pharm Bull, 1992, 40(1): 143-147.
- Sun Y, et al. New anti-inflammatory ergostane-type ecdysteroids from the sclerotium of *Polyporus umbellatus* [J]. Chem Pharm Bull (Tokyo), 2008, 18: 3417-3420.
- Zhou WW, et al. Two new polyporusterones isolated from the sclerotia of *Polyporus umbellatus* [J]. Chem Pharm Bull, 2007, 55: 1148-1150.
- Jin L, et al. Chemical constituents from sporophore of *Phellinus lonicerinus* [J]. Chin J Exp Tradit Med Form (中国实验方剂学杂志), 2016, 22(24): 55-58.
- Gao JM, et al. A study on the chemical constituents from *Polyporus ellissi* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2003, 28: 943-946.
- Gonzalez AG, et al. Two new triterpene acids from *Phellinus pomaceus* [J]. J Chem Soc Perk T 1, 1986: 551-554.
- Fleck WF, et al. Isolation of isodrimenediol, a possible intermediate of drimane biosynthesis from *Polyporus arcularius* [J]. J Nat Prod, 1996, 59: 780-781.
- Ayer WA, et al. The tremulanes, a new group of sesquiterpenes from the aspen rotting fungus *Phellinus tremulae* [J]. J Org Chem, 1993, 58: 7529-7534.
- Yu XL, et al. Chemical constituents from *Phylloporia ribis* and their *in vitro* antiviral activities [J]. Chin Tradit Pat Med (中成药), 2020, 42: 1777-1781.
- Hiebl J, et al. Identification of a fungi-derived terrestrial halogenated natural product in wild boar (*Sus scrofa*) [J]. J Agr Food Chem, 2011, 59: 6188-6192.
- Nagatsu A, et al. Identification of novel substituted fused aromatic compounds, meshimakobnol A and B, from natural *Phellinus linteus* fruit body [J]. Tetrahedron Lett, 2004, 45: 5931-5933.
- Ohmura K, et al. Sesquiterpene glucosides and a phenylbutanoid glycoside from *Hypochoeris radicata* [J]. Phytochemistry, 1989, 28: 1919-1924.
- Guo YS, et al. Chemical constituents from *Origanum vulgare* [J]. Chin Pharm J (中国药学杂志), 2012, 47(14): 1109-

- 1113.
- 32 Zhang L, Dong ZJ, Liu JK. A New grifolin derivative from the mushroom *Albatrellus yasuda* (Polyporaceae) [J]. Acta Bot Yunnan (云南植物研究), 2009, 31:187-189.
- 33 Ishii N, et al. Studies on the constituents of *Polyporus dispersus* and *P. confluens* [J]. Chem Pharm Bull, 1988, 36:2918-2924.
- 34 Mo SY, et al. Two pyrone derivatives from fungus *Phellinus igniarius* [J]. Chin Chem Lett, 2003, 14:704-706.
- 35 He J, et al. Studies on chemical constituents of *Fuscoporia obliqua* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2001, 32(1):6-8.
- 36 Lee IK, Polychlorinated compounds with PPAR- $\gamma$  agonistic effect from the medicinal fungus *Phellinus ribis* [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2008, 18:4566-4568.
- 37 Wang Y, et al. Structures, biogenesis, and biological activities of pyrano[4,3-c] isochromen-4-one derivatives from the fungus *Phellinus igniarius* [J]. J Nat Prod, 2007, 70:296-299.
- 38 Wang Y, et al. A Unique highly oxygenated pyrano[4,3-c][2]benzopyran-1,6-dione derivative with antioxidant and cytotoxic activities from the fungus *Phellinus igniarius* [J]. Org Lett, 2005, 7:1675-1678.
- 39 Lourenco A, et al. Ceramides from the fungus *Phellinus pini* [J]. Phytochemistry, 1996, 43:617-620.
- 40 Min BS, et al. Two novel furan derivatives from *Phellinus linteus* with anti-complement activity [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2006, 16:3255-3257.
- 41 Gao JM, et al. New glycosphingolipid containing an unusual sphingoid base from the basidiomycete *Polyporus ellisii* [J]. Lipids, 2001, 36:521-527.
- 42 Huang NL. *Fuscoporia obliqua*, a mysterious folk medicinal fungus in Russia [J]. Edible Fungi China (中国食用菌), 2002(4):7-8.
- 43 Ding YY, et al. Chemical constituents from *Phellinus igniarius* and their anti-tumor activity *in vitro* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2016, 41:3042-3048.
- 44 Kim SH, et al. Anti-inflammatory and related pharmacological activities of the n-BuOH subfraction of mushroom *Phellinus linteus* [J]. J Ethnopharmacol, 2004, 93(1):141-146.
- 45 Yan JK, et al. Ultrasonic effects on the degradation kinetics, preliminary characterization and antioxidant activities of polysaccharides from *Phellinus linteus* mycelia [J]. Ultrason Sonochem, 2016, 29:251-257.
- 46 Zhu XT, et al. Extraction and antioxidant activities of polysaccharides from *Phellinus linteus* [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2016, 28:761-765.
- 47 Dai HY, et al. Antibacterial activity of polyphenols from *Inonotus obliquus* [J]. China Brew (中国酿造), 2020, 39(11):109-115.
- 48 Niu XY, et al. Preliminary study on fungicidal activity of *Saxifragae* [J]. Acta Agr Bor-Occid Sin (西北农业学报), 1996, 5(2):62-66.
- 49 Kang HS, et al. A sphingolipid and tyrosinase inhibitors from the fruiting body of *Phellinus linteus* [J]. Arch Pharm Res, 2004, 27:742-750.