

香榧不同部位的化学成分和药理活性研究进展

田鑫, 穆文碧, 张建永*

遵义医科大学药学院, 遵义 563000

摘要: 香榧栽培历史悠久, 为中国特有树种, 目前对香榧化学成分的研究多集中在种子和种皮部位上, 而对香榧其他部位的研究尚不充分。本研究拟通过查阅近三十年来香榧相关的国内外文献报道, 对香榧不同部位的化学成分和药理活性进行系统归纳总结, 以为该植物的综合开发和利用提供参考。

关键词: 香榧; 化学成分; 药理活性; 综述

中图分类号: R917

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2021)4-0691-26

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2021.4.019

Research progress on chemical composition and pharmacological activity of different parts of *Torreya grandis*

TIAN Xin, MU Wen-bi, ZHANG Jian-yong*

School of Pharmacy, Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China

Abstract: *Torreya grandis*, as an endemic species, has a long history of cultivation in China. At present, there are some researches on the chemical composition of *Torreya grandis* of seed and seed coat. However, other parts of *Torreya grandis* have not been well studied. The purpose of this study is to review the domestic and international literature on *Torreya grandis* over the past 30 years, and the chemical composition and pharmacological activity of different parts of *Torreya grandis* were systematically summarized, which will provide a reference for the comprehensive development and utilization of *Torreya grandis*.

Key words: *Torreya grandis*; chemical constituents; pharmacological activity; review

香榧 (*Torreya grandis* Fort. et Lindl. ‘Merrillii’), 又名中国榧, 是红豆杉科榧树属榧树, 为我国特有树种、国家二级保护植物, 主产于江浙等地, 但湘黔亦有种植。文献记载, 香榧目前的药用部位是种子, 《神农本草经》中有记载“主腹中邪气, 去三虫, 蛇螫。”认为香榧种子具有驱虫杀虫的功效, 且已被 2020 版《中国药典》收录, 认为其具有杀虫消积、润肺止咳和润燥通便的功效, 现代药理学研究发现其具有抗菌、驱虫、镇咳、抗病毒和抗肿瘤作用, 此外香榧叶提取物被报道具有抗疲劳和抗氧化作用^[1]。

研究发现, 香榧中化学成分的主要结构类型有黄酮类、木脂素类、二萜类、脂肪酸类、挥发油类和氨基酸类等。当下研究也主要聚焦于香榧种子(见图

1) 和假种皮, 而对花、叶等其他部位研究较少(见图 2)。因此, 本文基于近三十年来国内外有关香榧的研究报道, 对其不同部位化学成分和药理活性方面的研究进行综述, 以为香榧的合理应用和深入研究开发提供参考。

1 化学成分

现代研究发现香榧不同部位却含有相似化学成分, 本文按香榧的花、叶、种子、假种皮和外种皮五个部位与化合物类型进行归类总结, 化合物的主要类型有黄酮类、木脂素类、二萜类、脂肪酸类、氨基酸类和挥发油类等。

1.1 黄酮类

目前在香榧假种皮中检测出的黄酮类化合物共四种(见表 1)。其中榧黄素是榧属植物的特有化学成分, 是双黄酮类化合物^[2,3], 具有抗病毒活性^[4]; 托亚埃 I 号、II 号为多取代黄酮类化合物, 具有抗肿瘤活性^[5]; 四甲基阿曼托黄素是 Zhou 等^[6]首次从红豆杉科植物中获得的双黄酮类化合物。此外,

收稿日期: 2020-06-22

接受日期: 2020-10-23

基金项目: 贵州省科技厅创新人才团队(黔科合平台人才[2020]5007); 贵州省教育厅科技拔尖人才支持项目(黔教合 KY 字[2017]078)

* 通信作者 Tel: 86-0851-28642334; E-mail: zhangjianyong2006@126.com

Jia^[1]发现香榧叶的乙酸乙酯部位黄酮类成分较多, 但具体种类尚不清楚。

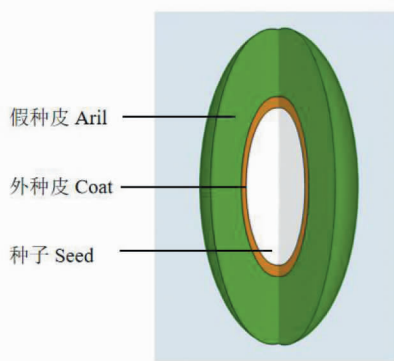


图 1 香榧种子结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of *T. grandis* seed



图 2 香榧图片

Fig. 2 Pictures of *T. grandis*

注:图 A 为香榧花;图 B 为香榧叶;图 C 和 D 为香榧果实;图 E 为香榧假种皮;图 F 和 G 为被外种皮包裹的香榧种子。Note: A: Flowers of *T. grandis*; B: Leaves of *T. grandis*; C and D: Seeds of *T. grandis*; E: Arils of *T. grandis*; F and G: Seeds encased in the coat of *T. grandis*.

表 1 香榧中的黄酮类化合物

Table 1 Flavonoids in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
1	榧黄素 Kayaflavone	假种皮	2,3
2	托亚埃 I 号 Torreyaflavone	假种皮	5
3	托亚埃 II 号 Torreyaflavonololide	假种皮	5
4	四甲基阿曼托黄素 Tetramethyl-amentoflavone	假种皮	6

1.2 木脂素类

香榧的木脂素类成分主要分布于其叶和假种皮部位,关于该类化合物的研究鲜有报道,现已知的木脂素类仅有3种(如表2所示),其中松脂素具有消

肿解毒、抗菌止血、祛风除湿和美容的功效。研究发现,松脂素可以促进成骨细胞的增殖和分化达到抗骨质疏松的作用^[7]。

表2 香榧中的木脂素类化合物

Table 2 Lignans in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
5	松脂素 Pinoresinol	叶、假种皮	6,14
6	(7,8-顺式-8,8'-反式)-2',4'-二羟基-3',5'-二甲氧基落叶松脂素 (7,8-cis-8,8'-trans)-2',4'-Dihydroxy-3',5'-dimethoxylarixin	叶、假种皮	1,39
7	二氢脱水二聚松柏醇 Dihydrodehydrodiconiferylalcohol	假种皮	39

1.3 二萜类

香榧中共发现二萜类化合物79种(见表3),主要分布在假种皮与外种皮,该化合物结构母核类型主要有9种(如图3所示)。香榧酯是He等^[8]从香

榧叶中分离并命名的一个二萜成分,且其在假种皮和外种皮三个部位中均有分布。此外,有研究发现香榧酯是一类全新化学结构类型的抗艾滋病病毒先导化合物^[9]。

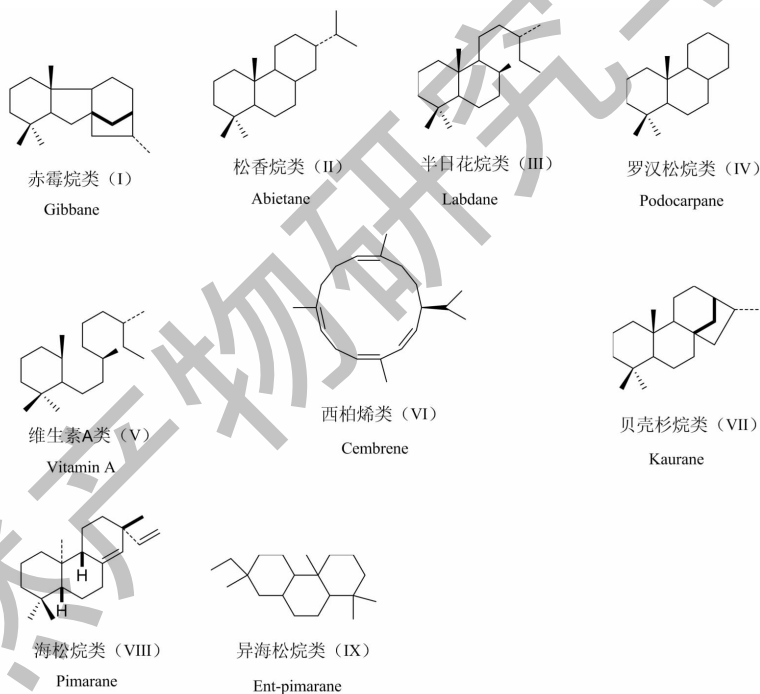


图3 香榧中二萜类成分母核结构

Fig. 3 Nuclear structure of diterpenes in *T. grandis*

表3 香榧中的二萜类化合物

Table 3 Diterpenoids in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	结构类型 Structure type	参考文献 Ref.
8	赤霉素 Gibberellic acid	花	I	10
9	香榧酯 Torreyagrandonate	叶、假种皮、外种皮	II	16,8,55

续表 2(Continued Tab. 2)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	结构类型 Structure type	参考文献 Ref.
10	花柏酚 Hinokiol	叶、假种皮、外种皮	II	1,13,54
11	4-Epiagathadial	叶、假种皮	III	14,36
12	脱氢松香酸 Dehydroabietic acid	叶、假种皮	II	14,44
13	反式瓔珞柏酸 <i>trans</i> -Communic acid	叶、假种皮	III	1,44
14	顺式瓔珞柏酸 <i>cis</i> -Communic acid	叶、假种皮	III	1,44
15	罗汉松烯酮 Padoarpenone	叶、外种皮	IV	15,54
16	松香酸甲酯 Methyl abieta	叶、假种皮	II	15,38
17	6-羟基脱氢松香亭酚 6-Hydroxydehydrorosin	叶	II	8
18	6-羟基脱氢松香亭醇 6-Hydroxydehydroabietinol	叶	II	8
19	植醇 Phytol	种子	无环	26
20	香叶基香叶醇 Geranylgeraniol	种子	直链	26
21	弥罗松酚(铁锈醇) Milosinol (Ferruginol)	种子、假种皮	II	26,38
22	松香油(视黄醇、维生素 A) Retinol (Vitamin A)	种子、假种皮、外种皮	V	31,38,54
23	西柏烯(西松烯、烟草烯、松柏烯) Cembrene	假种皮	VI	37
24	16-贝壳杉烯 16-Kaurene	假种皮	VII	35
25	绰奇烷 Trachylobane	假种皮	绰奇烷	35
26	山达海松酸二烯 Sandaracopimaric acid diene	假种皮	VIII	34
27	芮木泪柏烯 Rimuene	假种皮	VIII	34
28	贝壳杉烯 Kaurene	假种皮、外种皮	VII	34,55
29	8,11,13-松香三烯 8,11,13-Rosintriene	假种皮	II	34
30	脱氢松香烷 Dehydroabietane	假种皮	II	34
31	海松二烯酮 Pimaradienone	假种皮	VIII	34
32	16,18-贝壳杉烯酸 16,18-Kaurene acid	假种皮	VII	58
33	湿地松酸	假种皮	III	58
34	异海松二烯酮 Isopimaradieneone	假种皮	IX	34
35	罗汉松-7-烯-3-醇 Podocarp-7-en-3-ol	假种皮、外种皮	IV	58,54
36	海松酸 Pimaric acid	假种皮、外种皮	VIII	35,54
37	山达海松酸 Sandaracopimaric acid	假种皮	VIII	35
38	异海松酸 Iso-piaric acid	假种皮	IX	34
39	脱氢枞醛 Dehydroabietic aldehyde	假种皮	II	58
40	脱氢枞酸 Abietatrien-19-oic acid	假种皮、外种皮	II	58,54
41	松香酸(枞酸) Abietic acid	假种皮	II	38
42	13-异亚丙基-8,15-罗汉松酸 13-Isopropylidene-8,15-padoarp acid	假种皮	IV	34
43	新枞酸 Neabietic acid	假种皮	II	35
44	7,13,15-枞三烯酸 7,13,15-Abietatrienoic acid	假种皮	II	58
45	日本花柏酸 Japanese pisiferic acid	假种皮	-	58
46	视黄酸 Retinoic acid	假种皮	V	58
47	表迈诺醇 Epimanool	假种皮	-	35
48	13 β -甲基-13-乙烯基-罗汉松-7-烯-3-酮 13 β -Methyl-13-vinyl-podocarp-7-en-3-one	假种皮	IV	35

续表 2(Continued Tab. 2)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	结构类型 Structure type	参考文献 Ref.
49	4,14-视黄醇 4,14-Retinol	假种皮、外种皮	V	35,55
50	长叶松酸 Palustric acid	假种皮	II	38
51	18-羟基弥罗松酚 18-Hydroxyferruginol	假种皮、外种皮	II	6,54
52	18-氧弥罗松酚 18-Oxoferruginol	假种皮	II	6
53	半日花烷类衍生物	假种皮	III	13
54	松香三烯 Rosintriene	假种皮	II	37
55	枞山烯	假种皮	-	37
56	海松醛 Pimaral	假种皮	VIII	37
57	1,2,3,4a,9,10a-八氢-1,4a-二甲基-7-(1-甲基)-1-松香酸甲酯(脱氢松香酸甲酯) 1,2,3,4a,9,10a-Octahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethyl)-1-abietic acid methylester	假种皮	II	38
58	7-羰基脱氢松香酸甲酯 7-Carbonyldehydroabietic acid methylester	假种皮	II	38
59	8,15-海松酸 8,15-Pimaric acid	假种皮	VIII	40
60	去氢枞 Hydrogen to fir	假种皮	II	41
61	4-表庚二醇 4-Epi-gathadiol	假种皮	III	6
62	15-贝壳杉烯 15-Kaurene	假种皮	VII	47
63	7,16-海松二烯酸 7,16-Pimaradienoic acid	假种皮	VIII	9
64	18-羟基-8,11,13-松香烷三烯-7-酮 18-Hydroxy-8,11,13-rosinatrien-7-one	假种皮	II	9
65	13-脱氧桉酚菲酸 12-Deoxyl-18-carboxyl-nimbidiol	假种皮	II	9
66	新枞酸甲酯 Methylneoabietate	假种皮	II	48
67	枞酸-8,11,13-三烯 Abieta-8,11,13-triene	假种皮	II	49
68	7,15-海松二烯-3-酮 7,15-Pimaradien-3-one	假种皮、外种皮	VIII	49,54
69	Isopimaradien-3-one	假种皮	II	49
70	8(14),15-海松二烯 8(14),15-Pimaradiene	外种皮	VIII	54
71	枞三烯(芳松香三烯) Ar-abietatriene	外种皮	II	54
72	13'-甲基-13-乙烯基-罗汉松-7-烯-3-酮 13'-Methyl-13-vinyl-podocarp-7-en-3-one	外种皮	IV	52
73	(8)14,15-海松二烯-19-醇 8(14),15-Pimaradiene -19-ol	外种皮	VIII	55
74	芳松香三烯-19-醛 Ar-abietatrien-19-al	外种皮	II	54
75	13-异丙基-罗汉松-8,11,13-三烯-15-醛 13-Isopropyl-podocarpa-8,11,13-trien-15-al	外种皮	IV	55
76	脱氢枞酸甲酯 Methyl dehydroabietic acid	外种皮	II	55
77	罗汉松三烯甘油酯 Podocarpatrienol	外种皮	IV	54
78	芳松香三烯-19-酸甲酯 Methyl ar-abietatrien-19-oic acid	外种皮	II	54
79	海松二烯醇 Pimaradienol	外种皮	VIII	54
80	枞酸甲酯 Methyl abietate	外种皮	II	54
81	异海松酸甲酯 Methyl isopimarate	外种皮	IX	54
82	8,13-枞二烯酸甲酯 Methylabieta-8,13-diene-18-oate	外种皮	II	52
83	3-氧基弥罗松酚 3-Oxoferruginol	外种皮	II	54
84	7-氧基脱氢枞酸甲酯 Methyl ester 7-oxodehydroabietic acid	外种皮	II	55
85	12-甲氧基枞酸-8,11,13-三烯-20-甲酯 12-Methoxyabietic acid-8,11,13-triene-20-methyl ester	外种皮	II	52
86	18-松香酸甲酯-8,13-二烯 Methylabieta-8,13-diene-18-oate	外种皮	II	54
87	松香酸甲酯-7,13,15-三烯 Methylabieta-7,13,15-trien-oate	外种皮	II	54

表4 香榧中的三萜类化合物
Table 4 Triterpenoid in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
88	角鲨烯 Squalene	种子	26

1.4 三萜类

目前关于香榧中三萜类化合物的报道很少,只发现了角鲨烯这一种化合物(见表4),且主要分布于种子。

1.5 烷烃、烯烃、炔烃

香榧中的烃类化合物主要分布在假种皮和种子中,现已发现烷烃30种、烯烃68种、炔烃1种(见表5),大都具有挥发性。

表5 香榧中的烷烃、烯烃、炔烃类化合物
Table 5 Alkane, alkene, alkyne compounds in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
烷烃 Alkane			
89	1-乙基-1-甲基-2,4,2-(1-异丙基)-环己烷 1-Ethyl-1-methyl-2,4,2-(1-isopropyl)-cyclohexane	花	11
90	6,6-二甲基-2-亚甲基二环庚烷 6,6-Dimethyl-2-methylene dicycloheptane	叶	11
91	4-亚甲基-1-1-甲基乙基二环庚烷 4-Methylene-1-1-methylethyl dicycloheptane	叶	11
92	1,7,7-三甲基三环庚烷 1,7,7-Trimethyltricycloheptane	叶	11
93	2-环丙基戊烷 2-Cyclopropylpentane	种子	28
94	正十三烷 <i>n</i> -Tridecane	种子	28
95	正壬烷 <i>n</i> -Nonane	种子	28
96	1-甲基乙基环戊烷 1-Methylethylcyclopentane	种子	28
97	2,2,3,4-四甲基戊烷 2,2,3,4-Tetramethylpentane	种子	30
98	2,6,10-三甲基十四烷 2,6,10-Trimethyltetradecane	种子	30
99	正十四烷 Tetradecane	种子	31
100	正十七烷 Heptadecane	种子	31
101	正十九烷 Novecane	种子	31
102	正二十七烷 <i>n</i> -Hexadecane	种子、外种皮	31,55
103	辛基环丙烷 Octylcyclopropane	种子	33
104	2-甲基-1-庚烷 2-Methyl-1-heptane	假种皮	37
105	3,3,5-三甲基庚烷 3,3,5-Trimethylheptane	假种皮	37
106	2,5,6-三甲基癸烷 2,5,6-Trimethyldecane	假种皮	37
107	1-甲基-1-乙基-2-(1-甲基乙基)-4-(1-甲基乙基)-环己烷 1-Methyl-1-ethyl-2-(1-methylethyl)-4-(1-methylethyl)-cyclohexane	假种皮	37
108	18-丙基-1,4,7,10,13,16-六氧化代十六烷 18-Propyl-1,4,7,10,13,16-hexadecanehexadecane	假种皮	37
109	三甲基三环[2.2.1.0(2.6)]庚烷 Trimethyltricyclo[2.2.1.0(2.6)] heptane	假种皮	38
110	4-亚甲基-2,8,8-三甲基-2-乙烯基-二环[5.2.0]壬烷 4-Methylene-2,8,8-trimethyl-2-vinyl-bicyclo[5.2.0] nonane	假种皮	38
111	7-亚甲基-2,4,4-三甲基-2-乙烯基-二环[4.3.0]壬烷 7-Methylene-2,4,4-trimethyl-2-vinyl-bicyclo[4.3.0] nonane	假种皮	38
112	7-异亚丙基-二环[4.1.0]庚烷 7-Isopropylidene-bicyclo[4.1.0] heptane	假种皮	38
113	4-亚甲基-2,8,8-三甲基-2-乙基-二环[5.2.0]壬烷 4-Methylene-2,8,8-trimethyl-2-ethylbicyclo[5.2.0] nonane	假种皮	38

续表 3 (Continued Tab. 3)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
114	5-(1-(5-甲基-[1,3,4]恶二唑-2-基)-2-硝基-苯基)-吡啶环 5-(1-(5-Methyl-[1,3,4] oxadiazol-2-yl)-2-nitro-phenyl)-azepine ring	假种皮	38
115	9-己基正十七碳烷 9-Hexylheptadecane	外种皮	55
116	二十碳烷 Eicosane	外种皮	55
117	1,7,7-三甲基-三[2.2.1.0(2.6)]庚烷 1,7,7-Trimethyl-tricyclo[2.2.1.0(2.6)] heptane	外种皮	53
118	3-乙基-5-(2-乙基丁基)-正十八碳烷 3-Ethyl-5-(2-ethylbutyl)-octadecane	外种皮	55
烯烃 Alkene			
119	3,7-二甲基-1,3,7-辛三烯 3,7-Dimethyl-1,3,7-octatriene	花、叶	11
120	1-甲基-4-1-甲基乙基环己烯 1-Methyl-4-(1-methylethyl)cyclohexene	叶	11
121	1,3-二酮基-4-环戊烯 1,3-Diketo-4-cyclopentene	种子	28
122	2-甲基-3-乙基-1,3-己二烯 2-Methyl-3-ethyl-1,3-hexadiene	种子	28
123	3,7-二甲氧基-1,3,6-三烯 3,7-Dimethoxy-1,3,6-triene	种子	28
124	四氢二聚环戊二烯 Tetrahydrodicyclopentadiene	种子	28
125	E-2-十三碳烯 E-2-Tridecene	种子	28
126	苯并环丁烯 Benzocyclobutene	种子	28
127	1-乙酰基-1-环己烯 1-Acetyl-1-cyclohexene	种子	28
128	3,4-庚二烯 3,4-Heptadiene	种子	28
129	1,7,7-三甲基-2-降冰片烯 1,7,7-Trimethyl-2-norbornene	种子	28
130	2,3-二甲基-环己醇-1,3-烯 2,3-Dimethyl-cyclohexanol-1,3-ene	种子	28
131	苏合香烯(苯乙烯) Styrene	种子	28
132	1,5,5-三甲基-6-乙烯基环己烯 1,5,5-Trimethyl-6-vinyl-cyclohexene	种子	30
133	1,6-十一碳二烯 1,6-Undecadiene	种子	30
134	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-环己烯 1-Methyl-4-(1-methylethyl)-cyclohexene	种子	30
135	2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	种子	30
136	4-乙酰基-1-甲基-环己烯 4-Acetyl-1-methyl-1-cyclohexene	种子	30
137	(1S,4R)-1,2-环氧-对-薄荷-8-烯 (1S,4R)-1,2-Epoxy-p-menthol-8-ene	种子	30
138	反式倍半香桉烯 trans-Semispinene	种子	30
139	5-(1,5-二甲基-4-己基)-2-甲基-1,3-环己二烯 5-(1,5-Dimethyl-4-hexyl)-2-methyl-1,3-cyclohexadiene	种子	30
140	2,4-二甲基苯乙烯 2,4-Dimethylstyrene	种子	31
141	1-十三烯 1-Tridecene	种子	31
142	2,3-二氢-5-甲基-二甲基苯乙烯 2,3-Dihydro-5-methyl-dimethylstyrene	种子	31
143	双戊烯 Dipentene	种子	31
144	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,4-环乙二烯 1-Methyl-4-(1-methylethyl)-1,4-cycloethylenediene	假种皮	37
145	2,6,6-三甲基二环[3.1.1]-2-庚烯 2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]-2-heptene	假种皮	37
146	7,7-三甲基二环[4.1.0]庚-3-烯 7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0] hept-3-ene	假种皮	37
147	3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯 3,7-Dimethyl-1,3,6-octadecanetriene	假种皮	37
148	松柏烯	假种皮	37
149	2-异丙基-5-甲基-9-亚甲基-二环[4.4.0]十烷-1-烯 2-Isopropyl-5-methyl-9-methylene-bicyclo[4.4.0] decane-1-ene	假种皮	38
150	1,3,8-对-薄荷三烯 1,3,8-p-Menthatriene	假种皮	38

续表 3 (Continued Tab. 3)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
151	<i>S</i> -(<i>E,E</i>)-1-甲基-5-亚甲基-8-异丙基-1,6-环癸二烯 <i>S</i> -(<i>E,E</i>)-1-Methyl-5-methylene-8-isopropyl-1,6-cyclodecadiene	假种皮	38
152	4-乙基-4-甲基-3-(1-异丙烯基)-1-(1-甲基)-环己烯 4-Ethyl-4-methyl-3-(1-isopropenyl)-1-(1-methylethyl)-cyclohexene	假种皮	38
153	2,6-二甲基-2,6-辛二烯 2,6-Dimethyl-2,6-octadiene	假种皮	38
154	1,3,3-三甲基-2-氢甲基-3,3-二甲基-4-(3-甲基丁烯)-环己烯 1,3,3-Trimethyl-2-hydromethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbutene)-cyclohexene	假种皮	38
155	2-异丙基-5-甲基-9-亚甲基二环[4.4.0]癸-1-烯 2-Isopropyl-5-methyl-9-methylenebicyclo[4.4.0]dec-1-ene	假种皮	38
156	<i>E</i> -二十烯 <i>E</i> -Icosene	假种皮	38
157	1,3,6-八碳三烯,3,7-二甲基-(3 <i>E</i>)-(3 <i>Z</i>)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯 1,3,6-Octatriene,3,7-dimethyl-(3 <i>E</i>)-(3 <i>Z</i>)-3,7-dimethyl-1,3,6-octadecane triene	假种皮	41
158	(<i>Z</i>)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯 (<i>Z</i>)-3,7-Dimethyl-1,3,6-octadecane triene	假种皮	41
159	4-甲基-4-乙烯基-(1-甲基乙烯基)-(1-甲基乙基)-(3 <i>R</i> ,反式) 4-Methyl-4-vinyl-(1-methylethenyl)-(1-methylethyl)-(3 <i>R</i> , <i>trans</i>)	假种皮	41
160	古芸香烯	假种皮	41
161	1 <i>H</i> -环戊二烯并[1,3]环丙烯[1,2]苯,八氢-7-甲基-3-亚甲基-4-(1-甲基乙基)- [3 <i>aS</i> -(3 <i>αα</i> ,3 <i>ββ</i> ,4-,7 <i>α</i> ,7 <i>aS</i> [*])]-1-1-caryophyllene caryophyllene 1 <i>H</i> - Cyclopenta[1,3]cyclopropene[1,2]benzene,octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-	假种皮	41
162	[3 <i>aS</i> -(3 <i>αα</i> ,3 <i>ββ</i> ,4 <i>β</i> ,7 <i>α</i> ,7 <i>aS</i> [*])]-1-1-caryophyllene caryophyllene 双环大牛儿烯(双环吉马烯) Bicyclogermaene	假种皮	38
163	2-丙基-5-甲基-9-甲烯基二环[4.4.0]癸-1-烯 2-Propyl-5-methyl-9-methenylbicyclo[4.4.0]dec-1-ene	假种皮	42
164	3-亚甲基-6-异丙基环己烯 3-Methylene-6-isopropylcyclohexene	假种皮	43
165	1,2-二甲基-5-(1-甲基乙炔基)-2-环己烯 1,2-Dimethyl-5-(1-methylvinyl)-2-cyclohexene	假种皮	43
166	1,5,9,9-四甲基-1,4,7-环十一碳三烯 1,5,9,9-Tetramethyl-1,4,7-cycloundecatriene	假种皮	43
167	大香烯	假种皮	43
168	(1 <i>S</i>)-3,7,7-三甲基-二环[4.1.0]-3-庚烯 (1 <i>S</i>)-3,7,7-Trimethyl-bicyclo[4.1.0]-3-heptene	假种皮、外种皮	53
169	双甲烯 Biformene	假种皮	45
170	3,7,7-三甲基-1,3,5-环庚三烯 3,7,7-Trimethyl-1,3,5-cycloheptatriene	假种皮	46
171	6-异丙基-3-甲氧基甲基氧-3-甲基环己烯 6-Isopropenyl-3-methoxymeth-3-methylcyclohexene	假种皮	46
172	α -白菖考烯 α -Calacorene	假种皮	46
173	白菖考烯氧化物 Calacoreneoxide	假种皮	46
174	黏蒿三烯 Artemisiatriene	假种皮	46
175	反式-卡拉烯 <i>trans</i> -Karaene	假种皮	47
176	2-甲基-1-苯基丙烯 2-Methyl-1-phenylpropene	假种皮	48
177	Italicene	假种皮	48
178	2,3-二甲基-1,3-庚二烯 2,3-Dimethyl-1,3-heptadiene	假种皮	50
179	1,2-二甲基苯乙烯 1,2-Dimethylstyrene	假种皮	50
180	冰片烯 Bornylene	假种皮	51
181	γ -木罗烯 γ -Murrolene	假种皮	51
182	1-甲基-4-(1-甲基乙缩醛)-环己烯 1-Methyl-4-(1-methylethylidene)-cyclohexene	外种皮	52

续表 3 (Continued Tab. 3)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
183	劳丹-8(20)-12,14-三烯 Labda-8(20)-12,14-triene	外种皮	55
184	2-异丙基-5-甲基-9-亚甲基-二环[4.4.0]-1-癸烯 2-Isopropyl-5-methyl-9-methylene-bicyclo[4.4.0]-1-decene	外种皮	53
185	3,4-环氧五针松-7,11,15-三烯 3,4-Epoxyembra-7,11,15-triene	外种皮	54
186	1,13-十四二烯 1,13-Tetradadiene	外种皮	59
炔烃 Alkyne			
187	1,5-己二烯-3-炔 1,5-Hexadiene-3-yne	假种皮	33

1.6 醇、醛、羧酸、酮、酯

少排序为:醇(80个) > 醛(49个) > 酯(46个) > 酮

醇、酮、酯主要分布在香榧种子和假种皮;醛和 (32个) > 羧酸(11个)。

羧酸大多在香榧种子中。各成分数量不同,由多到

表 6 香榧中的醇、醛、羧酸、酮、酯类化合物

Table 6 Alcohol, aldehyde, carboxylic acid, ketone, ester in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
醇 Alcohol			
188	4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇 4-Methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexene-1-ol	花	11
189	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇 (Z)-3,7-Dimethyl-2,6-octadien-1-ol	花	11
190	2-甲氧基-1,4-苯二甲醇 2-Methoxy-1,4-phenylenedimethanol	叶、假种皮	14,44
191	4-异丙基苯甲醇 4-Isopropylbenzyl alcohol	叶	15
192	香紫苏醇 Sclareol	叶、假种皮	15,38
193	4-(3-甲氧基-丙烯氧基)-苯-1,2-二醇 4-(3-Methoxy-propenyloxy)-benzene-1,2-diol	叶	1
194	3-呋喃甲醇 3-Furfuryl alcohol	种子	28
195	1-庚醇 1-Heptanol	种子	28
196	1-壬烯-3-醇 1-Nonen-3-ol	种子	28
197	2-亚甲基-环戊醇 2-Methylene-cyclopentanol	种子	28
198	1-戊醇 1-Pentanol	种子	28
199	2,3-丁二醇 2,3-Butanediol	种子	28
200	环己烯醇 Cyclohexenol	种子	28
201	2-甲基-1-正丁醇 2-Methyl-1-n-butanol	种子	28
202	2-呋喃糠醇 2-Furofurfuryl alcohol	种子	28
203	正己醇 n-Hexyl alcohol	种子	28
204	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	种子	28
205	桃金娘醇 Myrtenol	种子	28
206	反-2-辛烯醇 trans-2-Octenol	种子	30
207	D-异蒲勒醇 D-Cyclohexanol	种子	30
208	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇 3,7-Dimethyl-1,6-octadien-3-ol	种子	30
209	反式-薄荷基-2,8-二烯-1-醇 trans-Menthyl-2,8-dien-1-ol	种子	30
210	(1-甲基)-4-亚甲基-二环[3.1.0]-2-醇 (1-Methyl)-4-methylene-bicyclo[3.1.0]-2-ol	种子	30

续表 6 (Continued Tab. 6)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
211	2-羟基-1,4,4-三甲基-二环[3.1.0]-6-甲醇 2-Hydroxy-1,4,4-trimethyl-bicyclo[3.1.0]-6-methanol	种子	30
212	反式香茅醇 <i>trans</i> -Carveol	种子	30
213	香芹醇 Carveol	种子、假种皮	30,46
214	特戊酸-6-柠檬醇 Pivalic acid-6-citrate	种子	30
215	1,2-环十二烷二醇 1,2-Cyclododecanediol	种子	30
216	(2,2,6-三甲基-二环[4.1.0])-1-甲醇 (2,2,6-Trimethyl-bicyclo[4.1.0])-1-methanol	种子	30
217	4,4,6-三甲基-2-环己烯-1-醇 4,4,6-Trimethyl-2-cyclohexene-1-ol	种子	30
218	1,8-对-薄荷二烯-1,2-二醇 1,8- <i>p</i> -menthane-1,2-diol	种子	30
219	白菖醇	种子	30
220	异香叶醇 Isogeraniol	种子	30
221	(5 <i>S</i>)-2,6 α -二甲基-1-9 β -异丙基螺[4.5]-1-烯-10 β -醇 (5 <i>S</i>)-2,6 α -Dimethyl-1-9 β -isopropylspiro[4.5]-1-ene-10 β -ol	种子	30
222	(1 <i>S</i>)-1,6-二甲基-4 β -异乙基-1,2,3,4,4 <i>a</i> β ,7,8,8 <i>a</i> β -八氢化萘-1 β -醇 (1 <i>S</i>)-1,6-Dimethyl-4 β -isoethyl-1,2,3,4,4 <i>a</i> β ,7,8,8 <i>a</i> β -octahydronaphthalene-1 β -ol	种子	30
223	十一醇 Undecanol	种子	31
224	3-癸烯-1-醇 3-Decen-1-ol	种子	31
225	紫苏醇(二氢桔草醇) Perillyl alcohol	种子	31
226	十六烷醇 Hexadecanol	种子	31
227	2-茨醇 2-Propanol	种子	31
228	十七烷醇 Heptadecyl alcohol	种子	31
229	十二烷醇(月桂醇) Dodecanol	种子、假种皮	31,37
230	2-甲基十六烷醇 2-Methylcetylalcohol	种子	31
231	2-十四烷醇 2-Tetradecanol	种子	31
232	1-丁醇,4-(丁基亚硝基氨基)-1-十四烷醇 1-Butanol,4-(butylnitrosoamino)-1-tetradecanol	种子	31
233	骨化醇 Calcitonin	种子	31
234	叔十六硫醇 Tert-hexadecane	种子	31
235	2-(十八氧基)-乙醇 2-(Octadecyloxy)-ethanol	种子	31
236	6-仲辛醇 6-Octanol	种子	31
237	2-呋喃糠醇 2-Furanfuryl alcohol	种子	11
238	1-(1,2-二甲基)-4-甲基-3-环己烯-1-醇 1-(1-Dimethyl)-4-methyl-3-cyclohexene-1-ol	假种皮	37
239	3,7-二甲基-6-烯-1-醇-癸烷 3,7-Dimethyl-6-en-1-ol-decane	假种皮	37
240	2,7-二甲基-2,6-二烯醇 2,7-Dimethyl-2,6-dienol	假种皮	37
241	4-甲基-2-(1,5-二甲基-4-己烯基)-3-环己烯-1-醇 4-Methyl-2-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-3-cyclohexen-1-ol	假种皮	37
242	9-十四碳烯-1-醇 9-Tetradecen-1-ol	假种皮	37
243	8-十二烯-1-醇 8-Dodecen-1-ol	假种皮	37
244	大香烯-4-醇	假种皮	37
245	环癸醇 Cyclodecanol	假种皮	37
246	黑松醇 Topped alcohol	假种皮	38
247	τ -苈茄醇 τ -Solanol	假种皮	38
248	对伞花烃-8-醇 <i>p</i> -Cymene-8-alcohol	假种皮	34

续表 6(Continued Tab. 6)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
249	1,5,9-三甲基-12-(1-甲基乙基)-4,8,13-杜法三烯-1,3-二醇 1,5,9-Trimethyl-12-(1-methylethyl)-4,8,13-dufatriene-1,3-diol	假种皮	38
250	1,2,3,4,4a,9,10,10a-八氢-1,4a-二甲基-7-(1-甲基)-1-菲甲醇 1,2,3,4,4a,9,10,10a-Octahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethyl)-1-phenanthrenemethanol	假种皮	38
251	匙桉醇 Spoonful of eucalyptus alcohol	假种皮	41
252	对-2,8-二烯-1-醇 <i>p</i> -2,8-Dien-1-ol	假种皮	43
253	6-辛烯-1-醇 6-Octen-1-ol	假种皮	43
254	4-羟基-2-甲氧基- α -羟基甲基苯乙醇 4-Hydroxy-2-methoxy- α -hydroxymethylphenylethanol	假种皮	6
255	齿小蠹二烯醇 Ipsdienol	假种皮	45
256	反式- <i>p</i> -薄荷-2,8-二烯醇 <i>trans-p</i> -Mentha-2,8-dienol	假种皮	46
257	<i>p</i> -环丙醇 <i>p</i> -Cymenol	假种皮	46
258	对-甲基异丙基苯-8-醇 <i>p</i> -Cymen-8-ol	假种皮	46
259	萜品四醇 Terpinen-4-ol	假种皮	46
260	α,α,p -三甲基苄醇 α,α,p -Trimethylbenzylalcohol	假种皮	50
261	α,α,p -三甲基-3-环己烯甲醇 α,α,p -Trimethyl-3-cyclohexene methanol	假种皮	50
262	顺葛缕醇 <i>cis</i> -Carveol	假种皮	50
263	孟烯醇 Menthenol	外种皮	55
264	反-8(20),13-劳丹二烯-15,19-二醇 (<i>E</i>)-Labda-8(20),13-diene-15,19-diol	外种皮	52
265	4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇 4-Methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol	假种皮、外种皮	11,53
266	[Lar-(1 α ,4 α ,7 β ,7 α β,7 β α)]-十氢-1,1,7-三甲基-4-亚甲基-1H-环丙基[e]-萹-7-醇[Lar-(1 α ,4 α ,7 β ,7 α β,7 β α)]-decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-1H-cyclopropyl[e] fluorene-7-ol	外种皮	53
醛 Aldehyde			
267	3-甲基丁醛 3-Methyl butyraldehyde	花	11
268	壬醛 Nonanal	花、种子	11,28
269	对羟基苯甲醛 <i>p</i> -Hydroxybenzaldehyde	叶、种子	15,27
270	松柏醛 Coniferylaldehyde	种子	27
271	4-羟基肉桂醛 4-Hydroxycinnamaldehyde	种子	27
272	二十八醛 Octacosal	种子	27
273	二十六醛 Hexadecyl aldehyde	种子	27
274	三十醛 Tridecanal	种子	27
275	戊醛 Pentanal	种子	28
276	正己醛 <i>n</i> -Hexanal	种子	28
277	α -呋喃甲醛 α -Furfural	种子	28
278	正庚醛 Heptanal	种子	28
279	(<i>E</i>)-2-庚烯醛 (<i>E</i>)-2-heptenal	种子	28
280	苯甲醛 Benzaldehyde	种子、假种皮	28,46
281	5-甲基-1H-吡咯-2-甲醛 5-Methyl-1H-pyrrole-2-carboxaldehyde	种子	28
282	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	种子	28
283	<i>E</i> -2-辛烯醛 <i>E</i> -2-Octenal	种子	28
284	1-十二醛(月桂醛) 1-Dodecanal	种子	28

续表 6 (Continued Tab. 6)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
285	反式-2-癸烯醛 <i>trans</i> -2-Decenal	种子	30
286	2,4-癸二烯醛 2,4-Decadienal	种子	28
287	2-甲基丁醛 2-Methylbutyraldehyde	种子	28
288	辛醛 Octanal	种子	28
289	1-甲基吡咯-2-甲醛 1-Methylpyrrole-2-carboxaldehyde	种子	28
290	反式-2-壬烯醛 <i>trans</i> -2-Nonenal	种子	28
291	反,反-2,4-癸二烯醛 <i>trans,trans</i> -2,4-Decadienal	种子	28
292	2-十二烯醛 2-Dodecenal	种子	28
293	3-甲基-正丁醛 3-Methyl- <i>n</i> -butyraldehyde	种子	28
294	反式-2-甲基-2-丁烯醛 <i>trans</i> -2-Methyl-2-butenal	种子	28
295	2-乙基-2-丁烯醛 2-Ethyl-2-butenal	种子	28
296	2,2,3-三甲基环戊-3-烯-1-乙醛 2,2,3-Trimethylcyclopent-3-ene-1-acetaldehyde	种子	28
297	乙醛 Acetaldehyde	种子	30
298	3,4-二甲基-3-环己烯甲醛 3,4-Dimethyl-3-cyclohexene formaldehyde	种子	30
299	反式-4-壬烯醛 <i>trans</i> -4-Nonenal	种子	30
300	癸醛 Decanal	种子	30
301	(<i>E,E</i>)-2,4-壬二烯醛 (<i>E,E</i>)-2,4-Nonadienal	种子	30
302	4-酮-壬醛 4-Keto-nonanal	种子	30
303	反式,反式-2,4-癸二烯醛 <i>trans,trans</i> -2,4-Decadienal	种子	30
304	2-十一碳烯醛 2-Undecenal	种子	30
305	4,5-环氧基-2-癸烯醛 4,5-Epoxy-2-decenal	种子	30
306	糠醛(2-呋喃甲醛) 2-Furaldehyde	花、种子	11,31
307	2-乙基己烯醛 2-Ethylhexenal	种子	31
308	十二醛 Dodec aldehyde	种子	28
309	吡咯-2-甲醛 2-Pyrrolicarbaldehyde	种子	28
310	反式-2,4-癸二烯醛 <i>trans</i> -2,4-Decadienal	种子	11
311	异壬烯醛 Nonene aldehyde	种子	33
312	肉豆蔻醛 Myristic aldehyde	假种皮	34
313	α -甜橙醛 α -Sinensal	假种皮	34
314	二甲基-双环[3.1.1]庚-2-烯-2-甲醛 Dimethyl-bicyclic[3.1.1] hept-2-ene-2-carboxaldehyde	假种皮	43
315	富烯醛 Fencholenic aldehyde	假种皮	49
羧酸 Carboxylic acid			
316	丁酸 Butyric acid	叶	11
317	戊酸 Valeric acid	叶	11
318	低羊脂酸(正辛酸) Low-anoic acid (octanoic acid)	种子	18
319	草酸 Oxalic acid	种子	13
320	二十四碳烯酸 Tetracosenoic acid	种子	27
321	乙酸 Acetic acid	种子	28
322	正己酸 <i>n</i> -Hexanoic acid	种子	28

续表 6(Continued Tab. 6)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
323	甲酸 Formic acid	种子	28
324	环壬基草酸 Cyclononyloxalate	种子	28
325	壬酸 Nonanoic acid	种子	30
326	左旋乙酸冰片酸 <i>L</i> -Bornyl acetate	假种皮	37
酮 Ketone			
327	甲基庚烯酮 Methylheptenone	叶	15
328	植酮 Phytone	种子	26
329	羟基丙酮 Hydroxyacetone	种子	28
330	2,5-辛二酮 2,5-Octanedione	种子	28
331	2-甲基四氢呋喃-3-酮 2-Methyltetrahydrofuran-3-one	种子	28
332	2-庚酮 2-Heptanone	种子	28
333	4,5-二甲基-1,3-二氧戊环-2-酮 4,5-Dimethyl-1,3-dioxolane-2-one	种子	28
334	苯乙酮 Acetophenone	种子	28
335	甲基苯基酮 Methyl phenone	种子	28
336	5-甲基-2-己酮 5-Methyl-2-hexanone	种子	28
337	2,4-二羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃-3-酮 2,4-Dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furan-3-one	种子	28
338	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮 2,3-Dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one	种子	28
339	3,5-辛二烯-2-酮 3,5-Octadien-2-one	种子	30
340	左旋香芹酮 <i>L</i> (-)-Carvone	种子	30
341	2,2-二甲基-5-(3-3-甲基环氧基)-环己酮 2,2-Dimethyl-5-(3-3-methylepoxy)-cyclohexanone	种子	30
342	4,4-二苯基丁-3-烯-2-酮 4,4-Diphenylbut-3-en-2-one	种子	30
343	3-甲基-6-(1-甲基亚乙基)-2-环己酮 3-Methyl-6-(1-methylethylidene)-2-cyclohexene-1-one	种子	31
344	茉莉酮 Jasmine	假种皮	34
345	烷异英 Anisoin	假种皮	38
346	雄甾-5-烯-17 β -醇-3-酮 (17 β)-17-Hydroxyandrost-5-en-3-one	假种皮	38
347	2-羟基-3-甲氧基雌酮 2-Hydroxy-3-methoxyestrone	假种皮	38
348	5-甲基-2-异丙基-3-环己烯-1-酮 5-Methyl-2-isopropyl-3-cyclohexene-1-ketone	假种皮	41
349	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	假种皮	42
350	1-甲氧基戈纳-1,3,5(10)-三烯-17-酮 1-Methyl-gona-1,3,5(10)-trien-17-one	假种皮	42
351	2'-羟基-4',6'-二甲氧基二氢查耳酮 2'-Hydroxy-4',6'-dimethoxydihydrochalcone	假种皮	43
352	三甲基二环[4.1.0]-2-庚酮 Trimethylbicyclo[4.1.0]-2-heptanone	假种皮	11
353	优香芹酮 Eucarvone	假种皮	46
354	菊花酮 Chrysanthenone	假种皮	46
355	异佛尔酮 Isophorone	假种皮	46
356	Salvial-4(14)-en-1-one	假种皮	49
357	葛缕酮 Carvone	假种皮	50
358	3,7,7-三甲基二环[4.1.0]-2-庚酮 3,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]-2-heptanone	外种皮	53

酯 Ester

续表 6 (Continued Tab. 6)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
359	甲基丙烯酸烯丙酯 Allylmethacrylate	花	11
360	1,7,7-三甲基-二环[2.2.1]庚烷-2-醇乙酸酯(乙酸冰片酯、乙酸龙脑酯) Bornyl acetate	花、假种皮、外种皮	11,38,59
361	棕榈酸甲酯 Methylpalmitate	叶、种子、假种皮	15,30,37
362	乙酸异龙脑酯 Isobornylacetate	叶、种子、假种皮	15,33,51
363	戊酸甲酯 Methylvalerate	叶	11
364	3,4-二羟基苯甲酸甲酯 Methyl-3,4-dihydroxybenzoate	叶	1
365	丙烯酸-3-苯基-丙烯酯 3-Phenyl-propeneacrylate	叶	1
366	γ -羟基丁酸内酯 γ -Hydroxybutyrolactone	种子	28
367	乙酸-2-糠酯 2-Furfurylacetate	种子	28
368	甲基-5,6-二脱氢-哌啶酮-5-羧酸酯 Methyl-5,6-didehydro-piperidone-5-carboxylate	种子	28
369	对乙酸戊烯酯 <i>p</i> -Pentenyl acetate	种子	30
370	香叶酸甲酯 Methyl geranate	种子、假种皮	30,38
371	桉叶硫醚乙酯 Eucalyptus thioetherethylester	种子	30
372	肉豆蔻酸异丙酯 Isopropylmyristate	种子	31
373	邻苯二甲酸二异丁酯 Diisobutylphthalate	种子	31
374	邻苯二甲酸正丁异辛酯 <i>n</i> -Butyloctylphthalate	种子	31
375	乙酸薄荷酯 Menthylacetate	种子、假种皮	33,51
376	棕榈油酸甲酯 Methyl- <i>cis</i> -9-hexadecenoate	种子	30
377	十七碳酸甲酯 Methylheptacarbonate	种子	30
378	亚油酸甲酯 Methylinoleate	种子	30
379	反-11-十八碳一烯酸甲酯 <i>trans</i> -11-Octadecylate monomethylester	种子	30
380	硬脂酸甲酯 Methylstearate	种子	30
381	顺-5,11,14-二十碳三烯酸甲酯 <i>cis</i> -5,11,14-Eicosatrienoate	种子	30
382	8,11-二十碳二烯酸甲酯 Methyl-8,11-icosadienoate	种子	30
383	顺-11,14-二十碳二烯酸甲酯 <i>cis</i> -11,14-Eicosadienoic acid methylester	种子	30
384	顺-11-二十碳一烯酸甲酯 Methyl- <i>cis</i> -11-eicosenoate	种子	30
385	油酸甲基酯 Methyloleate	假种皮	37
386	棕榈酸乙酯 Palmitic acid ethylester	假种皮	34
387	己二酸二异辛酯 Bis-(2-ethylhexyl)-adipate	假种皮	47
388	3,7-二甲基-6-辛酸甲酯 3,7-Dimethyl-6-octanoic acid methylester	假种皮	37
389	酞酸二异丁酯 Dibutyl phthalate	假种皮	37
390	1-硝基-3,4-二甲基-3-环己烯基新戊酸甲酯 1-Nitro-3,4-dimethyl-3-cyclohexenylmethylpivalate	假种皮	38
391	氯甲酸癸酯 Decylchloroformate	假种皮	38
392	乙基-9-十六烯酸甲酯 Ethyl-9-hexadecenoic acid methylester	假种皮	38
393	1-金刚烷-4-溴丁酸甲酯 1-Adamantane-4-bromobutyric acid methylester	假种皮	38
394	环丙甲酸-(金刚烷-1)-甲酯 Cyclopropanoic acid-(adamantane-1)-methylester	假种皮	38
395	茴香酸金钢烷酯 Auranyl anisate	假种皮	38
396	(S)-(-)-香茅酸甲酯 (S)-(-)-Citronella acid methyl ester	假种皮	41
397	乙酸异丁酯 Isobutylacetate	假种皮	41

续表 6(Continued Tab. 6)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
398	硬脂酸丁酯(十八酸正丁酯) <i>n</i> -Butylstearate	假种皮	41
399	1,7,7-三甲基二环[2.2.1]庚-2-醇乙酸酯 1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1] heptan-2-olacetate	假种皮	43
400	乙酸 α -松油醇酯 α -Terpineolacetate	假种皮	43
401	环丙甲酸甲酯 Cyclopropionate	假种皮	11
402	乙酸十四烷基酯 Myrtenylacetate	假种皮	46
403	9-十六碳烯酸乙酯 9-Hexadecenoic acid ethylester	假种皮	47
404	油酸乙酯 Ethyloleate	假种皮	58

1.7 苯、萘、蒽、菲、茛

量较少,共 57 种(见表 7),其中又以苯和苯酚类居

目前苯、萘、蒽、菲、茛这五类化合物在香榧中数多。

表 7 香榧中的苯、萘、蒽、菲、茛类化合物

Table 7 Benzene, naphthalene, anthracene, phenanthrene, perylene compounds in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
405	邻苯二酚 Catechol	叶	1
406	6-羟基脱氢松香榧酚	叶	13
407	4-甲氧基邻苯二酚 4-Methoxyproocatechol	种子	27
408	甲苯 Toluene	种子、假种皮	28,50
409	3,4,5-三甲氧基甲苯 3,4,5-Trimethoxytoluene	种子	28
410	4-(1-甲基-丙基)-苯酚 4-(1-Methyl-propyl)-phenol	种子	30
411	苯 Benzene	种子、假种皮	28,41
412	间异丙基甲苯 <i>m</i> -Isopropyltoluene	种子	28
413	4-异丙烯基甲苯 4-Isopropenyltoluene	种子	28
414	1,2,3-三甲氧基-5-甲基苯 1,2,3-Trimethoxy-5-methylbenzene	种子	28
415	对伞花烃(<i>p</i> -对异丙基甲苯) 4-Isopropyltoluene (<i>p</i> -Cymene)	种子、假种皮、外种皮	28,46,59
416	2-异丙基-1-甲氧基-4-甲基苯 2-Isopropyl-1-methoxy-4-methylbenzene	种子	30
417	1,2,4-三甲氧基苯 1,2,4-Trimethoxybenzene	种子	30
418	2-烯丙基-2,4-二甲氧基-3-甲苯 2-Allyl-2,4-dimethoxy-3-toluene	种子	30
419	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-苯 1-1-(1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-4-benzene	种子	30
420	1,2,3,4-四甲氧基苯 1,2,3,4-Tetramethoxybenzene	种子	30
421	丙基苯 Propylbenzene	种子	31
422	1-甲氧基-4-丙烯基苯 1-Methoxy-4-propenylbenzene	种子	31
423	1,2,3-三甲氧基苯 1,2,3-Trimethoxybenzene	种子	31
424	3,3',5,5'-四甲基联苯 3,3',5,5'-Tetramethylbiphenyl	种子	31
425	八氢-7-亚基-3-亚甲基-4-异丙基-环丙并[1.3]-环戊并[1.2]苯 Octahydro-7-ylidene-3-methylene-4-isopropyl-cyclopropyl[1.3]-cyclopenta[1.2] benzene	假种皮	38

续表 7 (Continued Tab. 7)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
426	2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基)-苯酚 2,2'-Methylenebis-(4-methyl-6-tert-butyl)-phenol	假种皮	38
427	2,2'-亚甲基双[6-(1,1-二甲基乙基)]-4-甲基苯酚 2,2'-Methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)]-4-methylphenol	假种皮	38
428	(-)-反式丁香酚 (-)- <i>trans</i> -Pincarvenol	假种皮	46
429	(<i>E</i>)-香芹酚 (<i>E</i>)-Carveol	假种皮	46
430	(<i>Z</i>)-香芹酚 (<i>Z</i>)-Carveol	假种皮	46
431	2-四氟乙氧基硝基苯 2-Tetrafluoroethoxynitrobenzene	假种皮	38
432	5-(1-(4-乙氧苯基)乙基)-6-甲氧基-1,3-苯并二恶茂 5-(1-(4-Ethoxyphenyl)ethyl)-6-methoxy-1,3-benzodioxo	假种皮	38
433	五甲基苯 Pentamethylbenzene	假种皮	41
434	(3a <i>S</i> ,3b <i>R</i> ,4 <i>S</i> ,7 <i>R</i> ,7a <i>R</i>)-7-甲基-3-亚甲基-4-(丙-2-基)-八氢-1 <i>H</i> -环戊[1.3]环丙[1.2]苯 (3a <i>S</i> ,3b <i>R</i> ,4 <i>S</i> ,7 <i>R</i> ,7a <i>R</i>)-7-Methyl-3-methylidene-4-(propan-2-yl)- octahydro-1 <i>H</i> -cyclopenta[1.3]cyclopropan[1.2]benzene	假种皮	41
435	甲基异丁香酚 Methyl-iso-eugenol	假种皮	41
436	2-甲基乙酰苯 2-Methylacetophenone	假种皮	48
437	异丁基苯 Isobutylbenzene	假种皮	50
438	2-甲基-1-丙烯基苯 2-Methyl-1-propenylbenzene	外种皮	59
439	1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-萘 1,6-Dimethyl-4-(1-methylethyl)-naphthalene	种子	30
440	1-甲基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢化萘 1-Methyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8a-hexanaphthalene	假种皮	37
441	4,7-二甲基-1-(1-甲基)-1,2,4a,8,8a-六氢化萘 4,7-Dimethyl-1-(1-methyl)-1,2,4a,8,8a-hexanaphthalene	假种皮	37
442	1,2,3,4,4a,7-六氢-1,6-二甲基-4-异丙基萘 1,2,3,4,4a,7-Hexahydro-1,6-dimethyl-4-isopropyl-naphthalene	假种皮	38
443	7-甲基-4-亚甲基-1-异丙基-(1 α ,4 α ,8 α , α)八氢化萘 7-Methyl-4-methylene-1-isopropyl-(1 α ,4 α ,8 α , α)octahydronaphthalene	假种皮	38
444	十氢化-1,1,4a-三甲基-6-亚甲基-5-(3-甲基-2,4-戊二烯)-萘 Decahydro-1,1,4a-trimethyl-6-methylene-5-(3-methyl-2,4-pentadiene)-naphthalene	假种皮	38
445	1,2,3,4,4A,7-六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-萘 1,2,3,4,4A,7-Hexane-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-naphthalene	假种皮	38
446	2-甲基萘 2-Methylnaphthalene	假种皮	41
447	2,6-二甲基萘 2,6-Dimethylnaphthalene	假种皮	41
448	萘 Naphthalene	假种皮	42
449	1-甲基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢化萘 1-Methyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8a-hexanaphthalene	假种皮	43
450	4,7-二甲基-1-(1-甲基)-1,2,4a,5,6,8a-六氢化萘 4,7-Dimethyl-1-(1-methyl)-1,2,4a,5,6,8a-hexanaphthalene	假种皮	43
451	1-甲基-4,7-二甲基-1,2,4a,8,8a-六氢化萘 1-Methyl-4,7-dimethyl-1,2,4a,8,8a-hexanaphthalene	假种皮	43
452	1-甲基-4,7-二甲基-1,2,3,4,4a,7-六氢化萘 1-Methyl-4,7-dimethyl-1,2,3,4,4a,7-hexanaphthalene	假种皮	43
453	(1 <i>S</i> -顺)-1,2,3,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萘 (1 <i>S</i> -顺)-1,2,3,4-四氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-萘 (1 <i>S</i> - <i>cis</i>)-1,2,3,5,6,8a-Hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-naphthalene- (1 <i>S</i> - <i>cis</i>)-1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-naphthalene	外种皮	53
454	9-乙基-1,2,3,4,5,6,7,8-八氢蒽 9-Ethyl-1,2,3,4,5,6,7,8-octahydroanthracene	假种皮	38
455	7-异丙基-1,1,4a-三甲基-1,2,3,4,4a,9,10,10a-八氢菲 7-Isopropyl-1,1,4a-trimethyl-1,2,3,4,4a,9,10,10a-octahydrophenanthrene	假种皮	38

续表 7 (Continued Tab. 7)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
456	7-乙烯基-1,2,3,4,4a,4b,5,6,7,8,8a,9-十氢-1,1,4b,7-四甲基菲 7-Vinyl-1,2,3,4,4a,4b,5,6,7,8,8a,9-decahydro-1,1,4b,7-tetramethylphenanthrene	假种皮	38
457	1,2,3,4,5,6,7,8-八氢-1-甲基菲 1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydro-1-methylphenanthrene	假种皮	38
458	7-异丙基-1,4a,7-三甲基-1,2,3,4,4a,4b,5,6,7,9,10,12-十二氢菲 7-Isopropyl-1,4a,7-trimethyl-1,2,3,4,4a,4b,5,6,7,9,10,12-dodecahydrophenanthrene	假种皮	38
459	7-异丙基-1,1,4a-三甲基色氨酸-1,2,3,4,4a,9,10,10a-八氢菲 7-Isopropyl-1,1,4a-threemethyltryptophan-1,2,3,4,4a,9,10,10a-eighthydrogen	假种皮	41
460	(4a <i>S</i> -反)-1,2,3,4,4a,9,10,10a-八氢-1,1,4a-三基-7-(1-甲基乙基)-菲 (4a <i>S</i> - <i>trans</i>)-1,2,3,4,4a,9,10,10a-Octahydro-1,1,4a-triyl-7-(1-methylethyl)-phenanthrene	外种皮	53
461	二十氢菲 Twenty hydrogen perylene	假种皮	38

1.8 脂肪酸

香榧种子中的脂肪酸分为不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸,其中不饱和脂肪酸 32 种、饱和脂肪酸 12 种(见表 8)。此外假种皮中也有少量脂肪酸。Chen 等^[56]研究发现,榧属种子中不饱和脂肪酸含量较

高,是优质的植物油;而饱和脂肪酸以山嵛酸和棕榈酸为主,其中山嵛酸是其特征性成分。Niu 等^[26]首次在香榧种子油中发现一种特殊的不饱和脂肪酸—金松酸,即顺 5,11,14-二十碳三烯酸。

表 8 香榧中的脂肪酸类化合物

Table 8 Fatty acid compounds in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acid			
462	棕榈油酸 Palmitoleic acid	种子	56
463	十七碳一烯酸 Heptaenoic acid	种子	18
464	油酸 Oleic acid	种子、假种皮	25,34
465	亚油酸 Linoleic acid	种子、假种皮	25,58
466	亚麻酸 Linolenic acid	种子	25
467	二十碳一烯酸 Eicosenoic acid	种子	26
468	二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	种子	13
469	二十碳三烯酸 Eicosatrienoic acid	种子	18
470	花生四烯酸 Arachidonic acid	种子、假种皮	18,34
471	二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid	种子	18
472	十八碳三烯酸 Octadecatrienoic acid	种子	21
473	十八碳二烯酸 Octadecadienoic acid	种子	21
474	9,12-亚油酸(9,12-十八碳二烯酸) 9,12-Octadecadienoic acid	种子、假种皮	22,34
475	9-十八碳烯酸 9-Octadecenoic acid	种子、假种皮	22,58
476	8,11-十八碳二烯酸 8,11-Octadecadienoic acid	种子	22
477	8-十八碳烯酸 8-Octadecenoic acid	种子	22
478	9,12,15-十八碳三烯酸 9,12,15-Octadecatrienoic acid	种子、假种皮	22,34
479	11,13-二十碳二烯酸 11,13-Eicosadienoic acid	种子	22
480	11-二十碳烯酸 11-Eicosenoic acid	种子	22

续表 8 (Continued Tab. 8)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
481	十六碳烯酸 Hexadecenoic acid	种子	13
482	亚麻油酸 Linoleic	种子	20
483	金松酸(顺 5,11,14-二十碳三烯酸) <i>cis</i> -5,11,14-Eicosatrienoic acid	种子	60
484	顺 11-花生一烯酸 <i>cis</i> -11-Arachidonic acid	种子	29
485	顺 5,11-花生二烯酸 <i>cis</i> -5,11-Arachidonic acid	种子	29
486	顺 11,14-花生二烯酸 <i>cis</i> -11,14-Arachidonic acid	种子	29
487	7,10-十六碳二烯酸 7,10-Hexadecadienoic acid	种子	32
488	9-十六碳烯酸 9-Hexadecenoic acid	假种皮	58
489	11-十八碳烯酸 11-Octadecenoic acid	假种皮	58
490	9,12-十八碳烯酸 9,12-Octadecenoic acid	假种皮	58
491	9,12,15-十八碳烯酸 9,12,15-Octadecenoic acid	假种皮	58
492	(<i>Z</i>)-9-棕榈油酸(9-十六碳烯酸) (<i>Z</i>)-9-Hexadecenoic acid (Palmitoleic acid)	假种皮	35
493	(<i>E</i>)-9-十八碳烯酸 (<i>E</i>)-9-Octadecenoic acid	假种皮	35
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid			
494	软脂酸(棕榈酸、十六烷酸) Palmitic acid	种子、假种皮	33,51
495	十七烷酸 Heptadecanoic acid	种子	18
496	硬脂酸(十八烷酸) Stearic acid	种子、假种皮	25,47
497	木焦油酸 Lignoceric acid	种子	18
498	月桂酸(十二烷酸) Lauric acid	种子	13
499	肉豆蔻酸(十四烷酸) Myristic acid	种子	13
500	二十烷酸(花生酸) Arachidic acid	种子	33
501	山嵛酸(二十二酸) Behenic acid	种子	25
502	12-甲基-肉豆蔻酸 12-Methyl-myristic acid	假种皮	34

1.9 氨基酸

研究发现香榧种子中富含除色氨酸外的七种人体必需氨基酸,以及十二种非必需氨基酸(见表9),

其中牛磺酸、胱氨酸和酪氨酸为早产儿的必需氨基酸。

表 9 香榧中的氨基酸类化合物

Table 9 Amino acid compounds in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
必需氨基酸 Essential amino acid			
503	缬氨酸 Valine	种子	61
504	异亮氨酸 Isoleucine	种子	61
505	亮氨酸 Leucine	种子	61
506	赖氨酸 Lysine	种子	61
507	甲硫氨酸(蛋氨酸) Methionine	种子	61
508	苯丙氨酸 Phenylalanine	种子	61
509	苏氨酸 Threonine	种子	61

续表 9(Continued Tab. 9)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
非必需氨基酸 Nonessential amino acid			
510	酪氨酸 Tyrosine	种子	61
511	谷氨酸 Glutamic acid	种子	61
512	天冬氨酸 Aspartic acid	种子	61
513	丝氨酸 Serine	种子	61
514	甘氨酸 Glycine	种子	61
515	组氨酸 Histidine	种子	61
516	精氨酸 Arginine	种子	61
517	丙氨酸 Alanine	种子	61
518	脯氨酸 Proline	种子	61
519	鸟氨酸 Ornithine	种子	61
520	牛磺酸 Taurine	种子	61
521	胱氨酸 Cystine	种子	61

1.10 挥发油类

挥发油类成分包括单萜类和倍半萜类。单萜类成分包括 α -侧柏烯、茨烯、 β -水芹烯、月桂烯、柠檬烯、 α -蒎烯等 114 种,遍布于香榧的各个部位,其中茨烯和 β -水芹烯类是其五个部位的共有成分,而 α -蒎烯和柠檬烯相对在假种皮中含量较多。各部位单萜类化合物的数量排序为:假种皮(86 种) > 种子(38 种) > 外种皮(28 种) > 叶(17 种) > 花(9 种)。目前从香榧中分离得到的倍半萜类化合物有 α -萜澄茄烯、石竹烯、可巴烯和橙花叔醇等 133 种,其中

α -萜澄茄烯、石竹烯、可巴烯是五个部位共有的倍半萜类化合物。各部位倍半萜类化合物的数量排序为:假种皮(95 种) > 外种皮(39 种) > 种子(38 种) > 叶(17 种) > 花(7 种)。

1.11 其他

除上述化学成分外,从香榧中还分离得到了维生素、生育酚类、糖类、甾醇类和吡嗪类等多种化合物(见表 10)。黎章矩等^[24]首次从香榧种子中发现含量丰富的烟酸、叶酸、维生素 B₂ 等 B 族维生素。

表 10 香榧中的其他类化合物
Table 10 Other compounds in *T. grandis*

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
522	吲哚乙酸 Indole-3-acetic acid	花	10
523	脱落酸 Abscisic acid	花	10
524	(-)-土青土香烯	花	11
525	大叶香烯 Geraniol	花	11
526	α -贝母烯 α -Fritene	花	11
527	腐胺 Putrescine H ₂ N	花	12
528	亚精胺 Spermidine	花	12
529	精胺 Spermin	花	12
530	α -维生素 E α -Vitamin E	种子	19
531	β -维生素 E β -Vitamin E	种子	19
532	菜油甾醇 Campesterol	种子	26

续表 10(Continued Tab. 10)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
533	α -生育酚 α -Tocopherol	种子	26
534	β -生育酚 β -Tocopherol	种子	26
535	γ -生育酚 γ -Tocopherol	种子	27
536	δ -生育酚 δ -Tocopherol	种子	20
537	高良姜醋酸 Galangal acetate	种子	23
538	Miogadial	种子	23
539	麦胶蛋白 Gluten	种子	13
540	氨 Ammonia	种子	24
541	豆甾醇 Stigmasterol	种子	20
542	胡萝卜苷 Daucosterol	种子	27
543	2-甲基吡嗪 2-Methylpyrazine	种子	28
544	2,6-二甲基吡嗪 2,6-Dimethylpyrazine	种子	28
545	2-乙基-吡嗪 2-Ethyl-pyrazine	种子	28
546	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪 3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine	种子	28
547	2,5-二甲基吡嗪 2,5-Dimethylpyrazine	种子	28
548	2-乙基-6-甲基-吡嗪 2-Ethyl-6-methyl-pyrazine	种子	28
549	1,3-吡嗪 1,3-Pyrazine	种子	28
550	2-乙酰基吡啶 2-Acetylpyridine	种子	28
551	六氢吡啶 Hexahydropyridine	种子	28
552	吡啶 Pyridine	种子	28
553	3-羟甲基吡啶 3-Hydroxymethylpyridine	种子	28
554	3-甲氧基吡啶 3-Methoxypyridine	种子	28
555	苯甲醚 Anisole	种子	28
556	对羟基苯甲醚 <i>p</i> -Hydroxyanisole	种子	28
557	邻苯二甲醚 Collar dimethyl ether	种子	11
558	对苯二甲醚 <i>p</i> -Xylylene ether	种子	28
559	2-正戊基呋喃 2- <i>n</i> -Pentylfuran	种子	28
560	1,2-二乙酰基肼 1,2-Diacetylhydrazine	种子	28
561	二甲基二硫 Dimethyl disulfide	种子	28
562	甲乙酐 Formic acetic anhydride	种子	28
563	吡咯 Pyrrole	种子	28
564	3,4-二氢吡喃 3,4-Dihydro-2H-pyran	种子	28
565	二甲基三硫 Dimethyl trisulfide	种子	28
566	11-十八炔腈 11-Octadecynitrile	种子	28
567	1-糠基吡咯 1-(Furan-2-ylmethyl)-1H-pyrrole	种子	28
568	多酚 Polyphenol	种子	29
569	β -王巴烯	种子	30
570	1,4-二甲基吡唑 1,4-Dimethylpyrazole	种子	30
571	2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	种子	30

续表 10(Continued Tab. 10)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
572	1,4-桉叶素 1,4-Cineole	种子	30
573	2-乙基-5-丁基噻唑 2-Ethyl-5-butylthiazole	种子	30
574	1 α ,6 β -二乙酰氧基-9 β -苯甲酰氧基- β -二氢沉香呋喃 1 α ,6 β -Diacetoxy-9 β -benzoyloxy- β -dihydrouan	种子	30
575	1 氢-蒾 1 H-Indene	种子	31
576	乙二醇十二烷基醚 2-(Dodecyloxy) ethanol	种子	31
577	藜芦醚(1,2-二甲氧基苯) Veratrole	假种皮	34
578	卡拉烯 Caranenes	假种皮	58
579	白千层醇	假种皮	34
580	β -木香醇 β -Costol	假种皮	58
581	胡萝卜醇(叶黄素) Carrot alcohol	假种皮	55
582	二甲醚 Dimethylether	假种皮	34
583	十六烷基二甲基叔胺 Cetyldimethyltertiaryamine	假种皮	37
584	4,4'-二氢噻喃 4,4'-Ditetrahydrothioan	假种皮	38
585	雌三醇 Estriol	假种皮	38
586	桉酮甲基醚 Acetophenone methyl ether	假种皮	47
587	异龙脑 Isoborneol	假种皮	46
588	Myrental	假种皮	46
589	<i>E,E</i> -波斯菊萜 <i>E,E</i> -Cosmene	假种皮	46
590	新麦角酚 Neolyratol	假种皮	48
591	天芥菜碱 Heliotridine	假种皮	48
592	藤黄醇 Thunberginol	假种皮	48
593	α -Terpinoline	假种皮	49
594	ρ -Cymenene	假种皮	49
595	Viridiflorol	假种皮	49
596	檀香紫罗兰 Sandaracopimaradiene	假种皮	49
597	β -异侧柏烯	假种皮	50
598	紫苏油烯	假种皮	50
599	隐酮	假种皮	50
600	杜松油烯	假种皮	50
601	拉登二醇 Labdenediol	外种皮	54
602	凹顶藻卡拉醇 Laukalaol	外种皮	54
603	维生素 B ₁ Vitamin B ₁	种子	24
604	维生素 B ₂ Vitamin B ₂	种子	24
605	维生素 D ₃ Vitamin D ₃	种子	24
606	烟酸 Niacin	种子	24
607	叶酸 Folate	种子	24
608	阿拉伯糖 Arabic candy	种子	17
609	半乳糖 Galactose	种子	17
610	葡萄糖 Glucose	种子	13

续表 10(Continued Tab. 10)

编号 No.	化合物 Compound	部位 Part	参考文献 Ref.
611	木糖 Xylose	种子	17
612	甘露糖 Mannose	种子	17
613	果糖 Fructose	种子	17
614	3,4-二羟基苯甲酸 3-O- β -D-葡萄糖苷 3,4-Dihydroxybenzoic acid 3-O- β -D-glucoside	叶、假种皮	14,44
615	β -谷甾醇 β -Sitosterol	叶、种子、假种皮	8,27,6

Wang 等^[27]从香榧种子中首次分离得到对羟基苯甲醛、4-甲氧基邻苯二酚、松柏醛、4-羟基肉桂醛和胡萝卜苷,其中前四个化合物也是首次在榧属植物中获得。Zhou^[6]从香榧假种皮中首次获得 18-氧弥罗松酚、18-羟基弥罗松酚、花柏酚、四甲基阿曼托黄素、4-表庚二醇、5-羟基龙脑、松脂素、4-羟基-2-甲氧基- α -羟基甲基苯乙醇、二氢去氢二聚松柏醇,以及新的天然产物(7,8-顺式-8,8'反式)-2',4'二羟基-3,5-二甲氧基落叶松脂素。

1.1 2 香榧不同部位成分的差异

香榧中不同部位存在一些相同的化学成分,但

种类和含量有较大差异(见表 11)。提取和制作方法影响香榧各部位成分的含量,如香榧假种皮精油的制备,采用超临界 CO₂ 萃取法,其大分子香味成分和非挥发性成分较多;换以水蒸气蒸馏法,则发现挥发性组分居多^[38]。不同方法检测香榧外种皮香精中的主要成分,水蒸气蒸馏所得成分为 δ -杜松烯, β -萜澄茄油烯,古巴烯和右旋柠檬烯等;超临界二氧化碳流体萃取所得主要成分为 δ -杜松烯,古巴烯, β -萜澄茄油烯和 γ -杜松烯^[57]。

表 11 香榧不同部位化学成分分类

Table 11 Classification of chemical components in different parts of *T. grandis*

化合物类型 Type of compound	花 Flower	叶 Leaf	种子 Seed	假种皮 Aril	外种皮 Testa	合计 Total
黄酮类 Flavonoid	0	0	0	4	0	4
木脂素类 Lignan	0	2	0	3	0	5
二萜类 Diterpene	1	10	5	56	29	101
三萜类 Triterpene	0	0	1	0	0	1
烷 Alkane、烯 Alkene、炔 Alkyne	2	5	34	50	10	101
醇 Alcohol、醛 Aldehyde、羧酸 Carboxylic acid、酮 Ketone、酯 Ester	7	13	133	73	6	232
苯 Benzene、萘 Naphthalene、蒽 Anthracene、菲 Phenanthrene、芘 Perylene	0	2	19	36	4	61
脂肪酸 Fatty acid	0	0	34	15	0	49
氨基酸 Amino acid	0	0	19	0	0	19
单萜类 Monoterpene	9	17	38	86	28	178
倍半萜类 Sesquiterpene	7	17	38	95	39	196
其他 Others	8	2	59	26	2	97
合计 Total	34	68	381	445	122	1044

2 药理活性

2.1 抑菌作用

香榧抑菌作用的研究大多集中于假种皮。研究发现假种皮精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌作用较强,而且新鲜假种皮精油比干燥的更有

效^[48]。进一步研究发现,10 mg/mL 假种皮乙醇提取物对黄瓜枯萎病菌、水稻稻瘟病菌、玉米小斑病菌、黄瓜霜霉病菌和番茄早疫病菌的抑制率均可达到 40% 以上,2 mg/mL 的香榧假种皮挥发油对这 5 种病菌的菌丝生长抑制率可达到 85% 以上^[43,62]。

此外,研究发现香榧假种皮挥发油可抑制根霉、灰葡萄孢霉、指状青霉和扩展青霉4种真菌生长,其中对根霉的抑制作用最强,半数抑制浓度(IC_{50})可达 $1.90 \mu\text{g}/\text{mL}$ ^[45]。又有研究从假种皮中提取分离出的18-氧弥罗松酚和四甲基阿曼托黄素可使瘟霉孢子菌丝体变形,最小浓度分别为 $8 \mu\text{g}/\text{mL}$ 和 $63 \mu\text{g}/\text{mL}$ ^[6]。

此外香榧叶精油对黑曲霉菌、蜡样芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、铜绿假单胞菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌都具有较强的抑制活性,其最低抑菌浓度分别为 0.2 、 0.4 、 0.6 、 0.6 、 0.8 、 $0.8 \text{ mg}/\text{mL}$ ^[15]。香榧外种皮挥发油对枯草芽孢杆菌、酿酒酵母有一定的抑制作用,但对大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌和黑曲霉的抑制活性很低或没有活性^[59]。

2.2 抗氧化作用

香榧叶、茎、种子、假种皮、外种皮的提取物体外均有一定的抗氧化活性,其中有研究发现香榧不同部位的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除能力排序为:种子>叶>外种皮,这可能与香榧种子和叶中的总酚和缩合单宁含量有关。进一步研究发现香榧不同部位对2,2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐($ABTS^+ \cdot$)的清除能力排序为:种子>叶>茎>假种皮>外种皮^[63]。

2.3 降血糖作用

与叶、茎、假种皮、外种皮相比,香榧种子的 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力最强($IC_{50} = 0.14 \text{ mg}/\text{mL}$),有望成为降血糖活性成分的天然潜在来源。进一步研究发现黄酮类化合物对香榧种子抑制 α -葡萄糖苷酶活性的贡献最大,其次为单宁类化合物^[63]。

2.4 抗肿瘤作用

有学者从香榧叶中分离提取到的香榧酯、花柏酚、4-epiagathadiol和3,4-二羟基苯甲酸3- O - β -D-葡萄糖苷都有细胞毒活性,对海虾的半数致死浓度(LC_{50})值分别为 7.7 、 8.0 、 8.8 、 $4.2 \mu\text{g}/\text{mL}$ 。香榧叶提取物中的3,4-二羟基苯甲酸3- O - β -D-葡萄糖苷在 $10 \mu\text{g}/\text{mL}$ 时可抑制Huh7和HepG2人肝癌细胞生长,抑制率分别为67%和69%^[14]。香榧假种皮正丁醇部位对海虾的细胞毒活性强于假种皮的乙醇、石油醚和乙酸乙酯部位, LC_{50} 为 $227.8 \mu\text{g}/\text{mL}$ 。有研究采用小鼠H22肝癌细胞同种异体移植模型探讨发现香榧假种皮正丁醇部位可以抑制肿瘤生长,高(4 g/kg)、中(2 g/kg)、低(1 g/kg)剂量组的抑制

率分别为60.15%、51.88%和22.56%,其表现出一定的剂量依赖性且不会损伤肝脏^[44]。

2.5 其他

有研究采用香榧叶提取物对大鼠进行预防用药实验,结果显示其可降低高脂模型大鼠的血清胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)水平,预防高脂血症的发生^[64]。进一步有研究发现香榧叶乙醇提取物可以显著提高小鼠肝糖原和肌糖原含量,降低小鼠血清中乳酸、尿素氮和丙二醛含量,显著延长小鼠负重游泳时间,具有良好的抗疲劳作用^[1]。

有研究对香榧种子提取物进行了黄嘌呤氧化酶(XOD)活性抑制实验,研究发现酚酸和单宁类化合物为香榧种子中抑制XOD活性的主要作用成分,提示其有治疗痛风和高尿酸血症的潜力^[63]。香榧种子提取物中的烟酸和叶酸具有助消化、滋润皮肤等功效,为香榧的消积美容功效提供了科学根据^[24]。

假种皮中的四甲基阿曼托黄素可抑制肝炎病毒HbsAg和HbeAg对细胞的毒性。此外,假种皮提取物香榧酯在体外具有显著的抗艾滋病毒活性,其 IC_{50} 、 EC_{50} 和治疗指数分别为 $125 \mu\text{g}/\text{mL}$ 、 $1.51 \mu\text{g}/\text{mL}$ 和82.7,有望成为抗艾滋病的良药^[6]。香榧假种皮精油还可有效的驱蚊,其浓度达到500 mg/L时,对白纹伊蚊的12小时致死率达到100%^[46]。研究发现香榧外种皮在 $1.443 \sim 28.87 \text{ mg}/\text{mL}$ 范围内,随着时间的延长,对酪氨酸酶的最终抑制率可达15%,可见其有较强的酪氨酸酶抑制活性^[65]。

3 结论与展望

香榧作为我国特有的珍稀树种之一,其叶、种子、假种皮等部位具有多种化学成分,药理活性丰富。因此,本文对国内外近三十年来香榧的相关报道进行归纳总结,对其不同部位的化学成分及药理活性研究进行了综述。针对香榧目前的研究,存在几点不足:1. 现有针对香榧花和叶的研究较少;2. 已检测出的黄酮类和木脂素类化合物数量较少;3. 药理活性内容有待深入探索。为后续更好地开发利用香榧,未来工作的开展方向可以为:1. 提取、分离和鉴定香榧花和叶中的化合物;2. 香榧中黄酮类和木脂素类化合物有深入挖掘的潜力;3. 进一步研究香榧药理活性及其作用机制。

参考文献

- Jia XH. Study on the chemical analysis and antioxidant, anti-fatigue activity of *Torreya* leaves [D]. Zhangjiang: Zhejiang

- A&F University(浙江农林大学),2017.
- 2 He GF, et al. Diflavone of *Torreya longifolia* and its taxonomic significance[J]. Acta Phytotaxon Sin(植物分类学报), 1983, 21:433-435.
 - 3 Ma ZW, et al. Distribution of diflavones in Taxaceae genera [J]. Acta Phytotaxon Sin(植物分类学报), 1985, 23: 192-915.
 - 4 Mutsuo K, et al. Hinokiflavone and kayaflavone as antiviral agents; Jpn Part; 01221314 [P]. 1989-01-22.
 - 5 Zeng GZ, et al. Anticancer flavones from *T. species*; PCR Part; 1046904 [P]. 1990-10-14.
 - 6 Zhou DZ. Studies on the active chemical constituents of *Torreya* [D]. Shanghai: The Second Military Medical University (第二军医大学), 2001.
 - 7 Hu QY, et al. Effects of rosin disglucosinolates and rosin in eucommia ulmoides on the expression of OPG and RANKL in osteoblasts [J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志), 2018, 24: 181-186.
 - 8 He GF, et al. A new diterpene from *Torreya* seed plant endemic to China [J]. J Integr Plant Biol, 1985, 3: 300-303.
 - 9 Zhou DZ. Research and structural modification of anti-HIV lead compounds in *Torreya* [D]. Shanghai: The Second Military Medical University (第二军医大学), 2004.
 - 10 Huang HH, et al. HPLC analysis of endogenous hormones in female buds of *Torreya* [J]. J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报), 2005, 4: 390-395.
 - 11 Guo L. Analysis of volatile components in different tissues of *Torreya grandis* and preparation of activated carbon by its shell [D]. Anhui: Anhui Agricultural University (安徽农业大学), 2014.
 - 12 Xu MR, et al. Changes of endogenous polyamines during differentiation of female flower bud of *Torreya grandis* cv. Merrillii [J]. J Zhejiang For Sci Technol(浙江林业科技), 2008, 3: 13-16.
 - 13 Chen LG, et al. The main species of *Torreya* and its development value [J]. South China Fruit(中国南方果树), 2005, 5: 36-37.
 - 14 Duan FF, et al. Studies on chemical constituents and bioactivities of leaves of *Torreya grandis* [J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2018, 49: 4791-4797.
 - 15 Zeng L, et al. Studies on chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of *Torreya grandis* leaves oil [J]. J Chin Cereals Oils Assoc(中国粮油学报), 2020, 35: 98-104.
 - 16 He GF, et al. Constituents and chemical classification of *Torreya grandis* leaves oil [J]. J Univ Chin Acad Sci(中国科学院大学学报), 1986, 24: 454-457.
 - 17 Yu M. Study on the seeds proteins and aqueous extracts of cake from *Torreya grandis* [D]. Jiangsu: Jiangnan University (江南大学), 2017.
 - 18 Yu WW, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of *Torreya grandis* seed oil and analysis of the fatty acid [J]. Sci Technol Food Ind(食品工业科技), 2012, 33: 297-299.
 - 19 Ren CY, et al. Analysis of main chemical components in camellia oil, olive oil, walnut oil and torreya seeds oil [J]. J Food Saf Qual(食品安全质量检测学报), 2015, 6: 5011-5016.
 - 20 He ZY, et al. Chemical components of cold pressed kernel oils from different *Torreya grandis* cultivars [J]. Food Chem(食品科学), 2016, 209: 196-202.
 - 21 Ni L, et al. Composition and Free Radical Scavenging Activity of Kernel Oil from *Torreya grandis*, *Carya cathayensis*, and *Myrica rubra* [J]. Iran J Pharm Res, 2014, 13: 221-226.
 - 22 Ni QX, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of oils from two *Torreya grandis* varieties seeds and their physicochemical and antioxidant properties [J]. Food Sci Technol, 2015, 60: 1226-1234.
 - 23 Liu MX, et al. Bioassay-guided isolation of active substances from Semen Torreyae identifies two new anthelmintic compounds with novel mechanism of action [J]. J Ethnopharmacol, 2018, 224: 421-428.
 - 24 Li ZJ, et al. Component analysis and nutritional evaluation of *Torreya grandis* seed [J]. J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报), 2005, 22: 540-544.
 - 25 Tian JX, et al. Physicochemical properties and fatty acid analysis of *Torreya grandis* seed oil formation [J]. J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报), 1989, 1: 16-22.
 - 26 Niu LY, et al. Analysis of fatty acids and unsaponifiable compounds in *Torreya grandis* seed oil [J]. J Chin Cereals Oils Assoc(中国粮油学报), 2011, 26: 52-55.
 - 27 Wang HD. Study on chemical composition, antioxidant activity and soluble protein of *Torreya grandis* seed [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University(上海交通大学), 2008.
 - 28 Wang Y, et al. The aroma components of *Torreya grandis* seed kernel were studied by static headspace-temperature combination [J]. J Chin Cereals Oils Assoc(中国粮油学报), 2014, 29: 116-121.
 - 29 Mao JH, et al. Structural identification of sciadonic acid and component analysis of *Torreya grandis* seed oil [J]. China Oils Fats(中国油脂), 2017, 42: 135-139.
 - 30 Ren QH, et al. Effect of two kinds of processing methods on fatty acids and aroma components of *Torreya grandis* [J]. J Anhui Agr Univ(安徽农业大学学报), 2018, 45: 988-995.
 - 31 Zhao D. Changes of aroma components of *Torreya grandis*

- during toasting and the processing technology optimization for undressed seed [D]. Zhejiang: Zhejiang A&F University (浙江农林大学), 2019.
- 32 Wu F, et al. GC-MS analysis of fatty acids from *Torreya grandis* and *Camellia oleifera* seed [J]. Chin Wild Plant Resour (中国野生植物资源), 2014, 33: 36-39.
- 33 Kang ZQ, et al. Components of the extract and essential oil from Chinese *Torreya* [J]. J Chin Mass Spectrom Soc (质谱学杂志), 1985, 6: 25-30.
- 34 Yu YJ, et al. Extraction of essential oil from *Torreya grandis* cv. *Merrillii* aril using different isolation methods, and identification of its chemical compositions by GC-MS [J]. J Nucl Agr Sci (核农学报), 2014, 28: 1421-1429.
- 35 Gu Y, et al. Influence of extraction techniques on composition of the extracts from aril of *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. Chem Ind For Prod (林产化学与工业), 2012, 32: 8-14.
- 36 Zhou DZ, et al. Diterpenoids from aril of *Torreya grandis* cv. *Merrillii* [J]. Chin Tradit Herb Drug (中草药), 2002, 10: 15-17.
- 37 Chen Y, et al. Analysis of essential oil and petrol ether extract from the episperm of *Torreya grandis* by GC-MS [J]. Hubei Agr Sci (湖北农业科学), 2012, 51: 1670-1672.
- 38 Tong XQ, et al. Extraction technology and GC-MS analysis of essential oil from aril of *Torreya grandis* cv. *Merrillii* [J]. J Zhejiang For Sci Tech (浙江林业科技), 2014, 31: 11-14.
- 39 Zhou DZ, et al. The lignins from *Torreya grandis* cv. *Merrillii* [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2004, 4: 269-271.
- 40 Li DM, et al. Main chemical compositions in aril of *Torreya grandis* [J]. Biomass Chem Eng (生物质化学工程), 2012, 46: 22-26.
- 41 Chang H, et al. A comparative study of SDE and HS-SPME methods for analyzing volatile components in aril of *Torreya grandis* cv. *Merrillii* [J]. J Anhui Agr Univ (安徽农业大学学报), 2017, 44: 761-767.
- 42 Chen ZD, et al. Studies on isolating volatile oil of *Torreya grandis* by supercritical-CO₂ fluid extraction [J]. China Pharm (中国药房), 2003, 9: 14-16.
- 43 Zhu QP, et al. Microwave-assisted extraction of essential oil from aril of *Torreya grandis* and its inhibitory activity against phytopathogenic fungi [J]. Jiangsu Agr Sci (江苏农业科学), 2013, 41: 309-311.
- 44 Duan FF. Study on chemical constituents separation and biological activity of *Torreya grandis* aril [D]. Zhejiang: Zhejiang A&F University (浙江农林大学), 2018.
- 45 Yu YJ. Extraction, chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from *Torreya grandis* cv. *Merrillii* aril [D]. Ningbo: Ningbo University (宁波大学), 2015.
- 46 Bao JF. Studies on components of aril of *Torreya grandis* and its biological activity [D]. Zhejiang: Zhejiang University (浙江大学), 2010.
- 47 Yu YJ, et al. Extraction technology and analysis of main components of *Torreya grandis* aril [J]. J Chin Inst Food Sci Tech (中国食品学报), 2015, 15: 97-105.
- 48 Li B, et al. Component analysis and comparison of inhibitory effect of essential oil from fresh and dried aril of *Torreya grandis* [J]. Chin Wild Plant Resour (中国野生植物资源), 2017, 36: 14-17.
- 49 Yu YJ, et al. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil from *Torreya grandis* cv. *Merrillii* arils [J]. J Essent Oil Bear Plants, 2016, 19: 1170-1180.
- 50 Lin ZM, et al. A study on the composition of the essential oil of the crust of the *Torreya grandis* [J]. Acta Sci Nat Univ Pekinensis (北京大学学报: 自科版), 1988, 6: 705-708.
- 51 Yu XY, et al. Aril structure and its aromatic oil in *Torreya grandis* Fort. ex Lindl [J]. J Hangzhou Univ (杭州大学学报: 自科版), 1986, 3: 347-351.
- 52 Liang YQ, et al. Study on the chemical constituents of the extractive from episperm of *Torreya grandis* by supercritical CO₂ and steam distillation method [J]. China For Sci Technol (林业科技开发), 2009, 23: 36-39.
- 53 Liu LH, et al. Analysis of volatile oil from the episperm *Torreya* in Xiyuan of Dongyang [J]. J Jinhua Polytech (金华职业技术学院学报), 2012, 12: 80-83.
- 54 Wang BB, et al. Supercritical CO₂ extraction of *Torreya grandis* episperm and its chemical components [J]. J Nanjing For Univ: Nat Sci (南京林业大学学报: 自科版), 2008, 4: 91-94.
- 55 Wang BB. Study on the chemical composition of the extractive from the episperm of *Torreya grandis* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University (南京林业大学), 2008.
- 56 Chen ZD, et al. Determination of oil contents and fatty acids in seeds of *Torreya* Arn. in China [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 1998, 8: 8-9.
- 57 Feng T, et al. Extraction of *Torreya grandis* shell essential oil and identification of its components [J]. Food Ind (食品工业), 2009, 3: 69-72.
- 58 Yu YJ, et al. Process optimization and principal component analysis of extracts from Chinese *Torreya* by supercritical CO₂ technology [J]. J Chin Cereals Oils Assoc (中国粮油学报), 2015, 30: 67-73.
- 59 Hu LY, et al. Studies on extraction technology of volatile oil from *Torreya grandis* shell and its antibacterial activity [J]. Food Ind (食品工业), 2011, 32: 74-76.