

# 紫斑牡丹的化学成分、活性与开发利用研究进展

彭腾腾<sup>1,2</sup>, 范彬<sup>1,2</sup>, 石晓峰<sup>1,2\*</sup>, 王信<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>甘肃中医药大学药学院; <sup>2</sup>甘肃省医学科学研究院, 兰州 730000

**摘要:**紫斑牡丹是我国西北牡丹种群的优势种,其作为地方传统药材,具有较高的食药价值和开发潜力。目前,已经从紫斑牡丹中分离和鉴定出了多种化学成分,包括单萜苷类、酚及酚苷类、黄酮类、低聚芪类、挥发油类、脂肪酸类、甾醇类、单宁类、三萜类等。现代研究表明,紫斑牡丹具有抗氧化、抗菌、抗癌等活性,已将其开发为口含片、软胶囊、口服液、保健化妆品、牡丹酒、花茶等新资源产品。本文主要对近10年国内外有关紫斑牡丹的化学成分进行分类整理,对其活性及开发利用现状进行梳理,并对发展前景进行展望,以期对紫斑牡丹的深入研究和综合开发利用提供参考。

**关键词:**紫斑牡丹;化学成分;活性;开发利用

中图分类号:R932

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2024)4-0717-19

DOI:10.16333/j.1001-6880.2024.4.017

## Research progress on chemical composition, activity, development and utilization of *Paeonia rockii*

PENG Teng-teng<sup>1,2</sup>, FAN Bin<sup>1,2</sup>, SHI Xiao-feng<sup>1,2\*</sup>, WANG Xin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Pharmacy, Gansu University of Traditional Chinese Medicine; <sup>2</sup>Gansu Academy of Medical Sciences, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** *Paeonia rockii* is the dominant species of peony population in northwest China, and as a local traditional medicinal material, which has high food and drug value and development potential. At present, a variety of chemical components have been isolated and identified from *P. rockii*, including monoterpene glycosides, phenols and phenolic glycosides, flavonoids, oligomeric stilbenes, volatile oils, fatty acids, sterols, tannins, triterpenes, etc. Modern research shows that *P. rockii* has antioxidant, antibacterial, anticancer and other activities, and has been developed into new resource products such as oral lozenges, soft capsules, oral liquid, health cosmetics, peony wine, flower tea and so on. This paper mainly classifies and sorts out the chemical components of *P. rockii* at home and abroad in the past ten years, sorts out its activities, development and utilization status, and looks forward to the development prospects, in order to provide reference for the in-depth research and comprehensive development and utilization of *P. rockii*.

**Key words:** *Paeonia rockii*; chemical composition; activity; development and utilization

紫斑牡丹(*Paeonia rockii*)是芍药科(Paeoniaceae)芍药属(*Paeonia*)落叶灌木,主要分布于甘肃、四川、陕西等地,具有观赏、药用、食用价值,在甘肃等地作为传统药材“丹皮”的代用品,为镇痉药,能凉血散瘀,治中风、腹痛等症<sup>[1]</sup>。现代研究表明,紫斑牡丹中的黄酮和酚酸类物质具有抗氧化、抗菌作用,三萜类物质具有抗癌作用等。紫斑牡丹抗逆性强、树冠高大、抗寒耐旱抗盐碱、病虫害少<sup>[2,3]</sup>,在甘肃

兰州等地广泛栽培,资源优势总量丰富。目前,紫斑牡丹已被开发为花茶、口服液等产品,但在部位开发利用上仍存在产品形式单一、精深加工技术滞后、产业链延伸不足等问题,为了促进资源优势转化,亟需开发系列新资源产品<sup>[4]</sup>。本文对近年来国内外有关紫斑牡丹的化学成分、活性及开发利用现状进行综述,以期对紫斑牡丹的深入研究和综合开发利用提供参考。

### 1 化学成分

文献报道的有关紫斑牡丹的化学成分的研究,主要集中在根、叶、花、果实等部位,已从各部位中共分离和鉴定出274个化合物,按其结构类型划分包

收稿日期:2023-05-22

接受日期:2023-08-25

基金项目:甘肃省兰州市人才创新项目(2021-RC-112);甘肃省兰州市科技计划(2020-XG-21)

\*通信作者 Tel:86-931-2302664; E-mail:shixiaofeng2005@sina.com

括:单萜苷类 26 个(1~26), 酚及酚苷类 25 个(27~51), 黄酮类 50 个(52~101), 低聚芪类 16 个(102~117), 挥发油类 77 个(118~194), 脂肪酸类 48 个(195~242), 其他类 32 个(243~274), 其中甾醇类 8 个(243~250), 单宁类 6 个(251~256), 三萜类 12 个(257~268), 其他类 6 个(269~274) 等。

### 1.1 单萜苷类

单萜苷是紫斑牡丹中的一类主要化合物, 其结构大多是芍药苷元或其类似物与糖类缩合而成的单萜。芍药苷是紫斑牡丹中的特征性活性成分, 具有抗抑郁、抗肿瘤、抗炎、镇痛、保肝、保护神经、免疫调节、镇静催眠等多种药效作用<sup>[5]</sup>。从紫斑牡丹中

报道的单萜苷类化合物共 26 个(1~26), 其名称及来源见表 1, 化学结构见图 1。

### 1.2 酚及酚苷类

酚类是由一个或多个芳香环与一个或多个羟基结合而成的一类化合物, 酚苷是苷元分子中的酚羟基与糖的端基碳原子缩合而成的苷。酚及酚苷类化合物具有多种生物活性, 没食子酸具有抗氧化、抗菌等作用<sup>[17,20]</sup>, 丹皮酚具有抗炎、抗肿瘤、代谢调节、镇痛等作用<sup>[21]</sup>。从紫斑牡丹中报道的酚及酚苷类化合物共 25 个(27~51), 其名称及来源见表 2, 化学结构见图 2。

表 1 紫斑牡丹中的单萜苷类化合物  
Table 1 Monoterpene glycosides from *P. rockii*

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
1	白芍苷 R1 Paeoniflorin R1	花粉、籽粕	6,7
2	氧化白芍苷 Oxypaeoniflorin	籽粕	6
3	8-O-去苯甲酰白芍苷 8-Debenzoylpaeoniflorin	籽粕	6
4	牡丹酮-1-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 1-O-β-D-Glucopyransoyl-paeonisuffron	籽粕	6
5	β-Gentiobiosyl-paeoniflorin	籽粕	6
6	Oxypaeonidanin	籽粕	8
7	4-甲氧基芍药苷 4-Methoxy-paeoniflorin	籽粕	8
8	4-甲氧基氧化芍药苷 4-Methoxy-oxypaeoniflorin	籽粕	8
9	吡啶芍药苷 Pyrindylpaeoniflorin	籽粕	8
10	8-O-去苯甲酰芍药苷 8-O-Debenzoylpaeoniflorin	籽粕	8
11	芍药苷 Paeoniflorin	籽、果荚、花、叶、根	8-17
12	氧化芍药苷 Oxypaeoniflorin	籽、果荚、花、叶	8,10-15
13	芍药内酯苷 Albiflorin	花粉、籽、果荚	6,10-14
14	没食子酰芍药苷 Galloylpaeoniflorin	籽、花、叶	13,15
15	没食子酰氧化芍药苷 Galloyloxypaeoniflorin	籽	13
16	苯甲酰芍药苷 Benzoylpaeoniflorin	花粉、籽、果荚、根	7,13,14,17,18
17	苯甲酰氧化芍药苷 Benzoyloxypaeoniflorin	籽、花、叶	13,15,19
18	牡丹皮苷 A Mudanpioside A	籽	13
19	牡丹皮苷 B Mudanpioside B	花、叶、根	15,17
20	牡丹皮苷 C Mudanpioside C	籽、花、叶、根	13,15,17
21	牡丹皮苷 D Mudanpioside D	籽	13
22	牡丹皮苷 E Mudanpioside E	籽	13
23	牡丹皮苷 F Mudanpioside F	籽粕	6
24	牡丹皮苷 J Mudanpioside J	籽	13
25	牡丹皮苷 H Mudanpioside H	籽、花	13,15
26	芍药苷元酮 Paeoniflorigenone	根	18

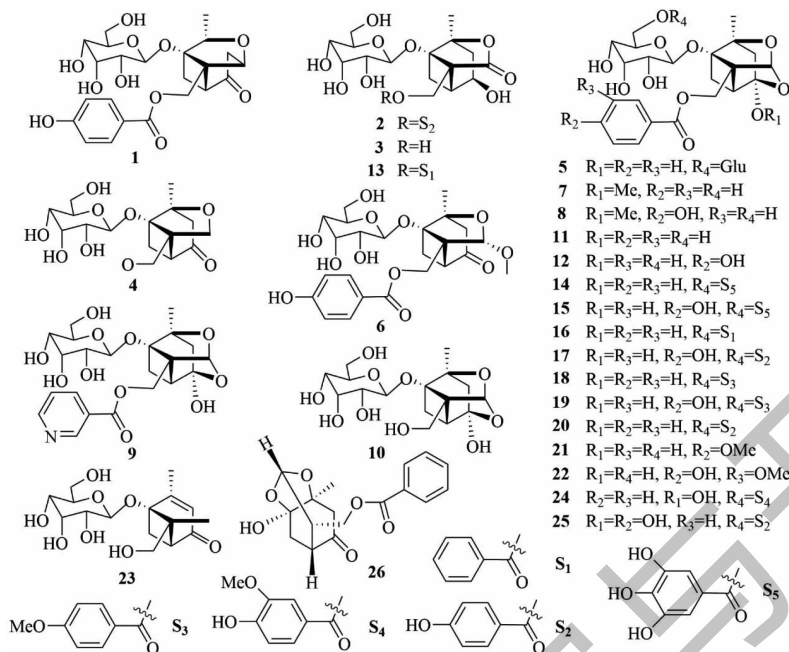


图 1 紫斑牡丹中的单萜苷类化合物结构

Fig. 1 Structures of monoterpene glycosides from *P. rockii*

表 2 紫斑牡丹中的酚及酚苷类化合物

Table 2 Phenols and phenolic glycosides from *P. rockii*

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
27	绿原酸 Chlorogenic acid	籽、叶	13, 22
28	肉桂酸 Cinnamic acid	籽	13
29	4-羟基肉桂酸 4-Hydroxycinnamic acid	籽、果荚、根、叶	14, 17, 22
30	芥子酸 Sinapic acid	籽	13
31	咖啡酸 Caffeic acid	籽	13
32	阿魏酸 Ferulic acid	籽	13, 14
33	没食子酸 Gallic acid	籽、果荚、根、花、叶	12-15, 17, 19, 22
34	没食子酸甲酯 Methyl gallate	籽、果荚、花、叶、根	7, 14, 15, 17
35	没食子酸乙酯 Ethyl gallate	花、叶、根	15, 17
36	苯甲酸 Benzoic acid	花粉、籽、果荚、根	7, 10, 13, 14, 17, 18
37	对羟基苯甲酸 <i>p</i> -Hydroxybenzoic acid	籽、根	13, 17
38	3-甲氧基-4-羟基苯甲酸 3-Methoxy-4-hydroxybenzoic acid	花粉	7
39	邻苯二甲酸 Phthalic acid	籽	13
40	香草酸 Vanillic acid	籽、根	13, 17, 18
41	对羟基苯甲醛 4-Hydroxybenzaldehyde	花粉	12
42	丁香酸 Syringic acid	籽、果荚	14
43	水杨酸 Salicylic acid	籽、果荚	14

续表 2 (Continued Tab. 2)

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
44	香草乙酮 Acetovanillone	根	18
45	2',4'-二羟基苯乙酮 Resacetophenone	根	18
46	Mudanoside A	籽	13
47	Mudanoside B	籽	13
48	Suffruticoside A	籽	13
49	对羟基苯乙酸 <i>p</i> -Hydroxy phenylacetic acid	籽	13
50	丹皮酚 Paeonol	籽、果荚、根	13, 14, 18, 23
51	Methyl digallate	花、叶	15

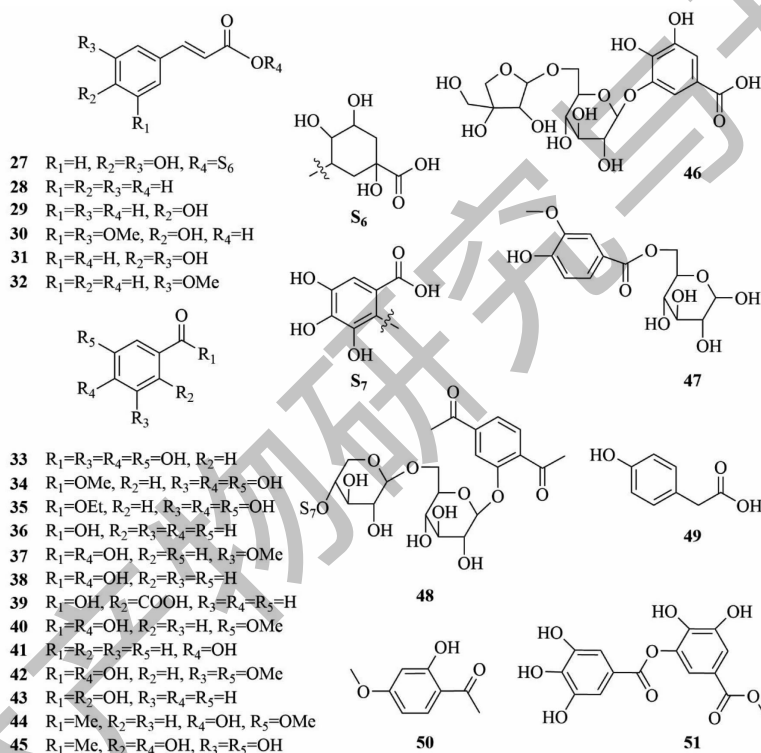


图 2 紫斑牡丹中的酚及酚苷类化合物结构

Fig. 2 Structures of phenols and phenolic glycosides from *P. rockii*

### 1.3 黄酮类

黄酮是指以 2-苯基色原酮为母核,具有 C6-C3-C6 基本碳架的化合物。紫斑牡丹中的黄酮类化合物结构类型包括黄酮、黄酮醇、二氢黄酮、二氢黄酮醇等,主要由木犀草素、槲皮素、山柰酚、异鼠李素、芹菜素及其衍生物和苷类或配糖体组成。木犀草素具有抗炎、抗菌、抗肿瘤、抗氧化、抗病毒<sup>[24]</sup>、延缓衰老及美白作用<sup>[25]</sup>。槲皮素具有抗炎、抗病毒、抗肿瘤、降糖及免疫调节等作用<sup>[26]</sup>。山柰酚具有抗炎、抗氧化、抗抑郁、抗惊厥、抗痴呆、脑缺血损伤保护等

作用<sup>[27]</sup>。异鼠李素具有内皮保护、抗动脉粥样硬化、抗心肌缺血、心肌保护、降血压、抗血栓及血小板凝集、抗氧化等多种心脑血管保护作用,且具有抑制脂肪细胞分化、耐缺氧、抗肿瘤、降糖、抗炎、抗病毒等多种作用<sup>[28]</sup>。芹菜素具有抗炎、抗痉挛、抗菌、抗肿瘤、抗动脉硬化和脑血栓、保肝、降压、镇静抗焦虑、预防骨质疏松和辐射损伤、治疗皮肤疾病等作用<sup>[29]</sup>。从紫斑牡丹中报道的黄酮类化合物共 50 个(52 ~ 101),其名称及来源见表 3,化学结构见图 3。

表3 紫斑牡丹中的黄酮类化合物

Table 3 Flavonoids from *P. rockii*

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
52	木犀草素 Luteolin	籽、果荚、花、叶	14, 15, 30
53	木犀草素-7- <i>O</i> -葡萄糖苷 Luteolin-7- <i>O</i> -glucoside	花、叶	7, 15
54	牡荆素 Vitexin	籽	13
55	荭草苷 Orientin	籽	13
56	野漆树苷 Rhoifolin	花粉	7
57	柯伊利素-7- <i>O</i> - $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷 Chrysoeriol-7- <i>O</i> -glucoside	花粉	7
58	圣草酚 Eriodictyol	籽	13
59	柚皮素 Naringenin	籽	13
60	花旗松素 Taxifolin	籽、果荚、根	14, 17
61	二氢杨梅素 Ampelopsin	叶	22
62	柚皮素-7- <i>O</i> -葡萄糖苷 Naringenin 7- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucoside	籽、果荚	14
63	儿茶素 Catechin	籽、果荚、叶	14, 22
64	表儿茶素 Epicatechin	根、叶	16, 18
65	二氢查尔酮 Dihydrochalcones	籽、果荚	14
66	根皮苷 Phloriin	籽、果荚、叶	14, 22
67	芍药花素-3,5-二葡萄糖苷 Peonin chloride	叶	22
68	天竺葵素-3,5-二葡萄糖苷 Pelargonidin 3,5-diglucoside	叶	22
69	原花青素 B1 Procyanidin B1	籽、果荚	14
70	原花青素 B2 Procyanidin B2	籽、果荚	14
71	槲皮素 Quercetin	花粉、籽、果荚	11, 12, 14, 30
72	槲皮素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> -glucoside	花、叶	15, 19
73	槲皮素-7- <i>O</i> -葡萄糖苷 Quercetin-7- <i>O</i> -glucoside	花、叶	15, 19
74	槲皮素-3,7-二葡萄糖苷 Quercetin-3,7-diglucoside	花、叶	15
75	槲皮素没食子酸葡萄糖苷 Quercetin galloylglucoside	花、叶	15
76	槲皮素-3- <i>O</i> - $\beta$ -D-葡萄糖醛酸苷 Quercetin 3- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucuronide	籽、果荚	14
77	芦丁 Rutin	叶	22
78	杨梅素 Myricetin	叶	22
79	山柰酚 Kaempferol	籽、果荚、花	14, 15, 30
80	8-甲氧基山柰酚 8-Methoxykaempferol	花粉	12
81	紫云英苷 Astragalin	籽、果荚、花、叶	14, 15, 19
82	山柰酚-7- <i>O</i> -葡萄糖苷 Kaempferol-7- <i>O</i> -glucoside	花、叶	15, 19
83	山柰酚-3,7-二- <i>O</i> -葡萄糖苷 Kaempferol-3,7-di- <i>O</i> -glucoside	花、叶	15
84	山柰酚没食子酸葡萄糖苷 Kaempferol galloylglucoside	花、叶	15, 19
85	山柰酚-3- <i>O</i> -葡萄糖基鼠李糖苷 Kaempferol glucosyl rhamnoside	花	15
86	异鼠李素 Isorhamnetin	籽、果荚、花、叶	14, 15, 19, 31
87	异鼠李素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Isorhamnetin-3- <i>O</i> -glucoside	花、叶	15, 19
88	异鼠李素-7- <i>O</i> -葡萄糖苷 Isorhamnetin-7- <i>O</i> -glucoside	花、叶	15
89	异鼠李素-3,7-二- <i>O</i> -葡萄糖苷 Isorhamnetin-3,7-di- <i>O</i> -glucoside	花、叶	15

续表 3 (Continued Tab. 3)

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
90	异鼠李素-3-O-新陈皮苷 Isorhamnetin-3-O-neohesperidoside	籽、果荚	14
91	芹菜素 Apigenin	籽、果荚、花、叶	12, 14, 15, 19
92	芹菜素鼠李糖苷 Apigenin rhamnoglucoside	花、叶	15, 19
93	芹菜素-7-O-葡萄糖苷 Apigenin-7-O-glucoside	花、叶	7, 15
94	芹菜素二葡萄糖苷 Apigenin diglucoside	花、叶	15
95	芹菜素没食子糖苷 Apigenin galloylglucoside	花、叶	15, 19
96	芹菜素-3-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 Apigenin-3-O-β-D-glucoside	籽、果荚	14
97	金丝桃苷 Hyperoside	籽、果荚	14
98	5, 7, 4'-三羟基-8-甲氧基黄酮醇-3-O-β-D-槐糖苷 Sexangularetin-3-O-γ-β-D-sophoroside	花粉	12
99	柠檬黄素 Limocitrin	花粉	7, 12
100	柠檬黄素-3-β-D-葡萄糖苷 Limocitrin-3-O-β-D-glucoside	花粉	7, 12
101	柠檬黄素-槐糖苷 Limocitrin-3-O-γ-β-D-sophoroside	花粉	7, 12

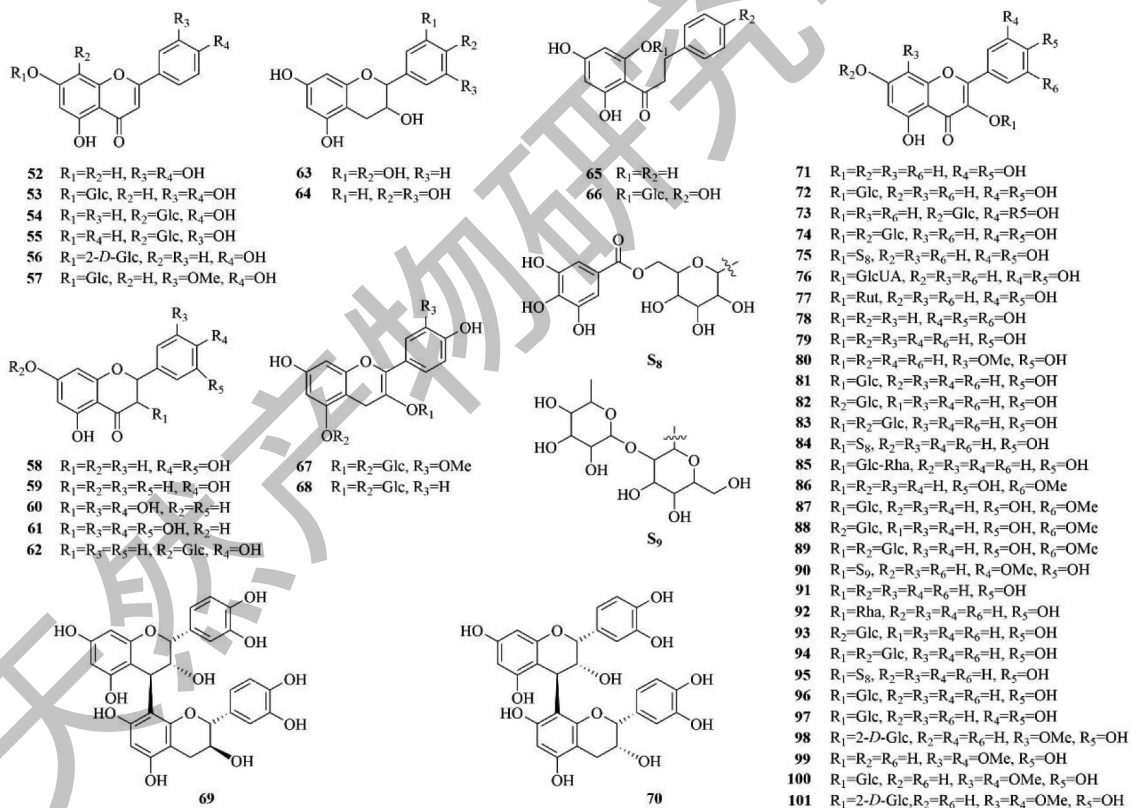


图 3 紫斑牡丹中的黄酮类化合物结构

Fig. 3 Structures of flavonoids from *P. rockii*

#### 1.4 低聚芪类

芪类是指具有 1,2-二苯乙烯骨架聚合物的总称,主要由白藜芦醇及其衍生物聚合而成。白藜芦醇具有抗肿瘤、抗炎、抗菌、抗病毒、神经保护和治疗

糖尿病等作用<sup>[32]</sup>。从紫斑牡丹中报道的低聚芪类化合物共 16 个(102 ~ 117),其名称及来源见表 4,化学结构见图 4。

表 4 紫斑牡丹中的低聚芪类化合物  
Table 4 Aligomeric stilbenes from *P. rockii*

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
102	白藜芦醇 Resveratrol	花粉、籽、果荚	7,9,33-35
103	氧化白藜芦醇 Oxyresveratrol	籽	13
104	反式白藜芦醇 <i>trans</i> -Resveratrol	籽、果荚	16
105	顺式- $\epsilon$ -葡萄素 <i>cis</i> - $\epsilon$ -Viniferin	籽粕	36
106	反式- $\epsilon$ -葡萄素 <i>trans</i> - $\epsilon$ -Viniferin	籽粕	36
107	Pauciflorol E	籽粕	36
108	Ampelopsin B	籽粕	36
109	Hopeafuran	籽粕	36
110	Vitisinol G	籽粕	36
111	Rockiiol C	籽壳	37
112	Gnetin H	籽粕、籽壳	36,37
113	Suffruticosol A	籽粕、籽壳	36,37
114	Suffruticosol B	籽粕、籽壳	36,37
115	Suffruticosol C	籽粕、籽壳	36,37
116	Rockiiol A	籽壳	38
117	Rockiiol B	籽壳	38

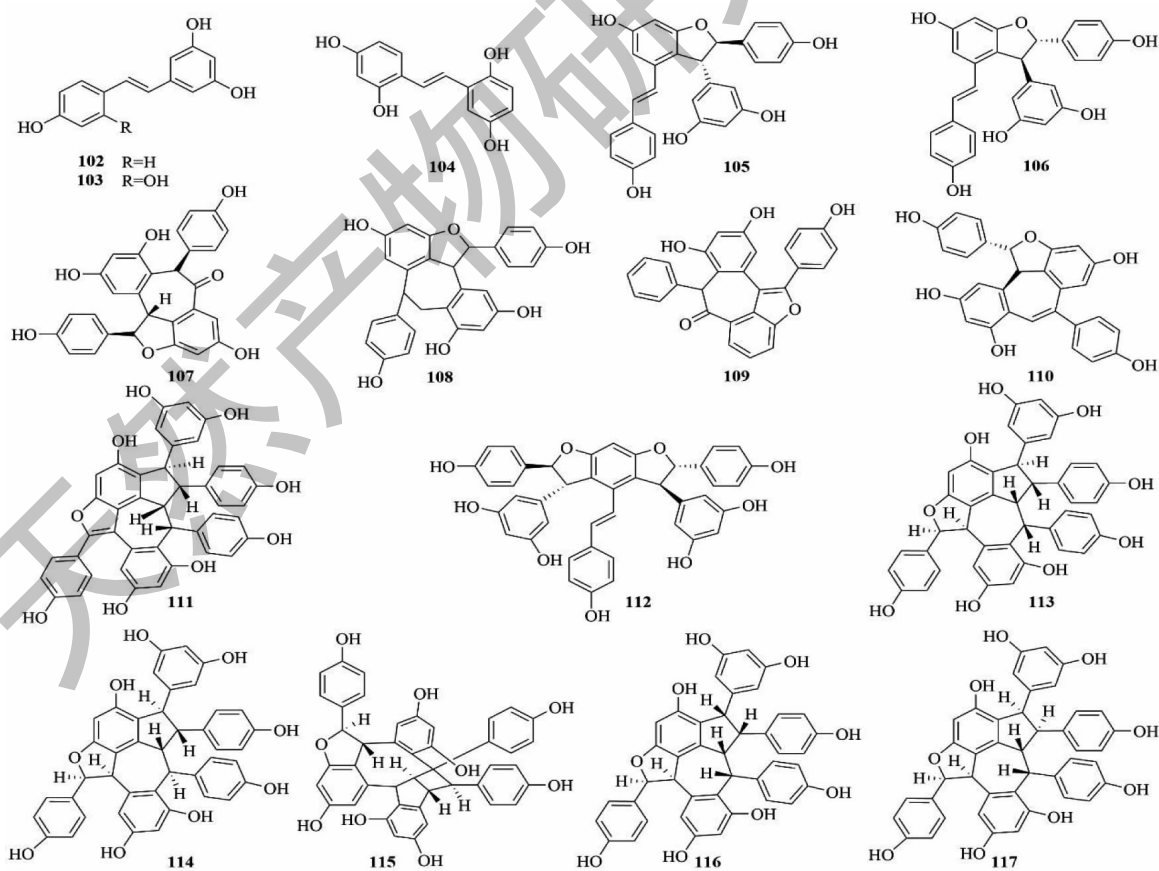


图 4 紫斑牡丹中的低聚芪类化合物结构

Fig. 4 Structures of aligomeric stilbenes from *P. rockii*

## 1.5 挥发油类

挥发油是紫斑牡丹香气的主要来源,化学成分复杂,主要包括芳香烃类、烷烃类、醇类、酯类、醚类、酮类、醛类,其中以香叶醇、十四烷、7-十二碳烯-1-醇-乙酸酯、二十二烷、二十三烷为主<sup>[39]</sup>。挥发油

对心血管、中枢神经、呼吸和胃肠道系统具有生物多样性影响,在抗菌、抗炎、抗癌、抗病毒和吸收增强等方面也发挥着重要作用<sup>[40]</sup>。从紫斑牡丹中报道的挥发油类成分共 77 个(118 ~ 194),其名称及来源见表 5,化学结构见图 5。

表 5 紫斑牡丹中的挥发油类化合物

Table 5 Volatile oils from *P. rockii*

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
118	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	花	39,41,42
119	叶醇 Leaf alcohol	花	39,42
120	松油醇 Terpineol	花	39,42
121	橙花醇 Nerol	花	39,42
122	香叶醇 Geraniol	花	39,41,42
123	香茅醇 Citronellol	花	39,42
124	芳樟醇 Linalool	花	39,42
125	氧化芳樟醇 Linalool oxide	花	39,42
126	正己醇 Hexyl alcohol	花	39,42
127	甲酸己酯 Hexyl formate	花	39,42
128	2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	花	39,42
129	2-庚基呋喃 2-Heptylfuran	花	39,42
130	6-甲基-2-环氧乙烷-5-庚烯-2-醇 6-Methyl-2-(2-oxiranyl)-5-hepten-2-ol	花	39,42
131	壬醛 Nonanal	花	39,42
132	柠檬醛 Citral	花	39,42
133	$\alpha$ -法尼烯 $\alpha$ -Farnesene	花	39,42
134	$\beta$ -古巴烯 $\beta$ -Copaene	花	39,42
135	$\beta$ -毕澄茄烯 $\beta$ -Cadinene	花	39,42
136	石竹烯 Caryophyllene	花	39,41,42
137	3,7-二甲基-2,6-辛二烯酸甲酯 3,7-Dimethyl-2,6-octadienoic acid methyl ester	花	39,42
138	3-甲基-5-丙基-壬烷 3-Methyl-5-propyl-nonane	花	39,42
139	2,4,10-三氧-7-烯-金刚烷 2,4,10-Trioxa-7-enyl-adamantane	花	39,42
140	异戊酸苯乙酯 Phenylethyl isovalerate	花	39,42
141	2-苯乙基酯苯甲酸 2-Phenylethyl este-benzoic acid	花	39,42
142	2-丁基-5-己基-1 <i>H</i> -茝 2-Butyl-5-hexyloctahydro-1 <i>H</i> -indene	花	39,42
143	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	花	39,42
144	邻苯二甲酸二戊酯 Di- <i>n</i> -Amyl phthalate	花	39,42
145	苯甲酸香叶酯 Geranyl benzoate	花	39,42
146	亚麻醇 9,12-Octadecadien-1-ol	花	39,42
147	2-十一烯醛 2-Undecenal	花	39,42
148	十二烷 Dodecane	花	39,42
149	7-十二碳烯-1-醇-乙酸酯 7-Dodecen-1-ol acetate	花	39,42
150	十三醇 Tridecanol	花	39,42



续表 5 (Continued Tab. 5)

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
151	4-甲基十三烷 4-Methyl-tridecane	花	39,42
152	十四烷 Tetradecane	花	39,42
153	1-乙基-9-十四碳烯-1-醇 1-Acetate-9-tetradecen-1-ol	花	39,42
154	正十五烷 Pentadecane	花	39,42
155	3-甲基十五烷 3-Methyl-pentadecane	花	39,42
156	6,9-十五碳二烯-1-醇 6,9-Pentadecadien-1-ol	花	39,42
157	9-十五碳烯丙酸酯 9-Pentadecenyl propanoate	花	39,42
158	植酮 6,10,14-Trimethyl-2-pentadecanone	花	39,42
159	5-十六炔 5-Hexadecyne	花	39,42
160	十六烷 Hexadecane	花	39,42
161	2-甲基-十六烷 2-Methyl-hexadecane	花	39,41,42
162	2-甲基-7-十六碳烯 2-Methyl-7-hexadecene	花	39,42
163	3,7,11,16-四甲基-2,6,10,14-四烯-十六烷醇 3,7,11,16-Tetramethyl-2,6,10,14-tetraen-hexadecanol	花	39,42
164	棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	花	39,42
165	3-十七烯 3-Heptadecene	花	41
166	十七烯 1-Heptadecene	花	39,42
167	十七烷 Heptadecane	花	39,42
168	2-十七烷醇 2-Heptadecanol	花	39,42
169	3-甲基十七烷 3-Methyl-heptadecane	花	39,42
170	2-甲基-7-十八炔 2-Methyl-7-octadecyne	花	39,42
171	十八烷 Octadecane	花	39,42
172	十八烷醛 Octadecyl aldehyde	花	39,42
173	1,2-环氧十八烷 1,2-Epoxyoctadecane	花	39,42
174	9,12,15-十八碳三烯-1-醇 9,12,15-Octadecatrien-1-ol	花	39,42
175	1-十八炔 1-Octadecyne	花	39,42
176	1-十九烯 1-Nonadecene	花	39,42
177	2,3-二甲基-十九烷 2,3-Dimethyl-nonadecane	花	39,42
178	2-甲基二十烷 2-Methyl-eicosane	花	39,42
179	二十一烷 Heneicosane	花	39,42
180	5-甲基二十一烷 5-Methyl-heneicosane	花	39,42
181	二十二烷 Docosane	花	39,42
182	2,21-二甲基二十二烷 2,21-Dimethyl-docosane	花	39,42
183	二十三烷 Tricosane	花	39,42
184	2-甲基二十三烷 2-Methyl-tricosane	花	39,42
185	二十四烷 Tetracosane	花	39,42
186	2-甲基二十四烷 2-Methyl-tetracosane	花	39,42
187	二十五烷 Pentacosane	花	39,42
188	二十六烷 Hexacosane	花	39,42
189	9-辛基-二十六烷 9-Octyl-hexacosane	花	39,42

续表 5 (Continued Tab. 5)

编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
190	三十四烷 Tetratriacontane	花	39,42
191	三十六烷 Hexatriacontane	花	39,42
192	13,17,21-三甲基三十六烷 13,17,21-Trimethyl heptatriacontane	花	39,42
193	四十烷 Tetracontane	花	39,42
194	四十四烷 Tetratetracontane	花	39,42

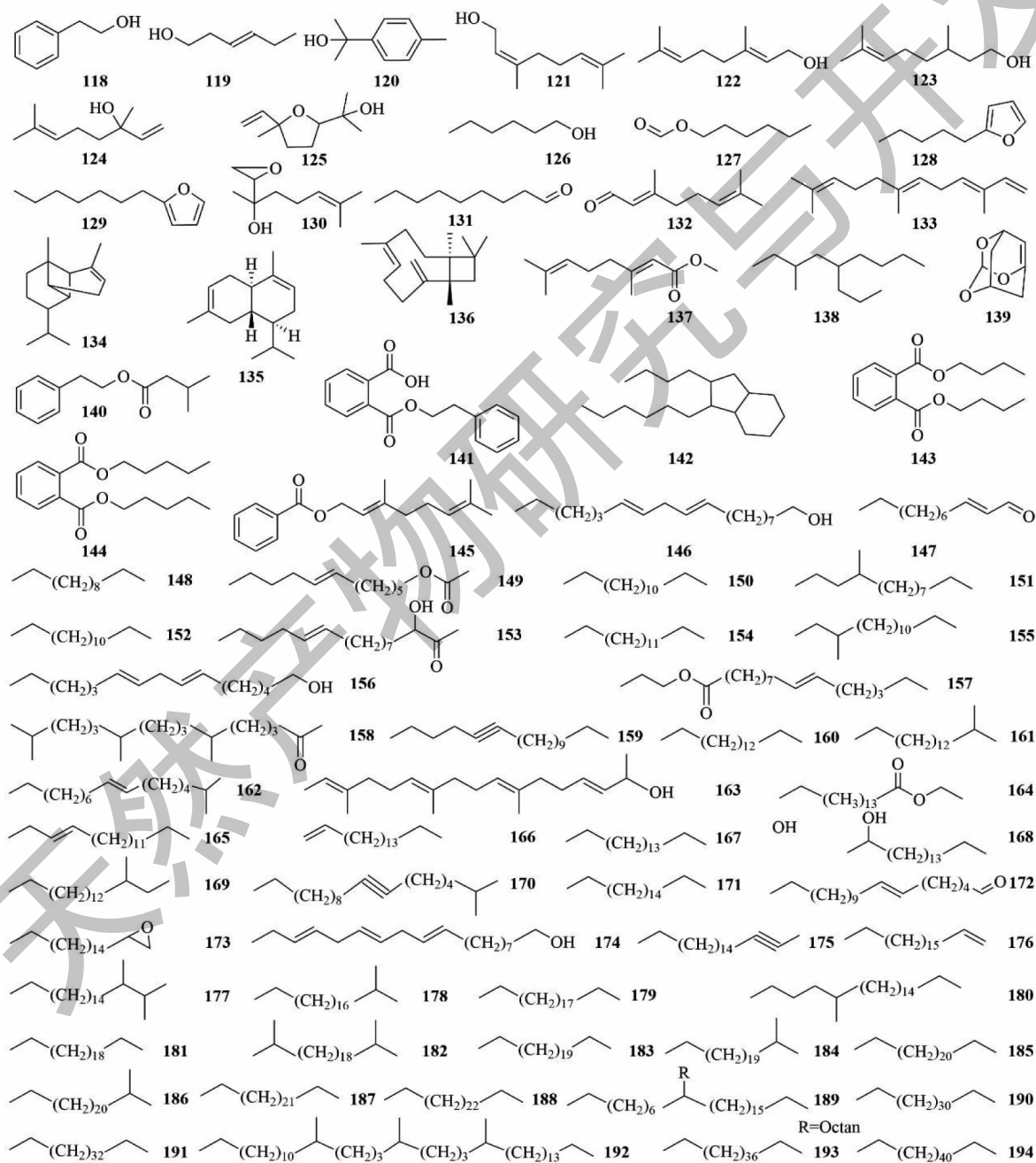


图 5 紫斑牡丹中的挥发油类化合物结构

Fig. 5 Structures of volatile oils from *P. rockii*

## 1.6 脂肪酸类

脂肪酸是一类由碳、氢、氧三种元素组成的化合物,是脂质和细胞膜的重要成分。亚油酸和 $\alpha$ -亚麻酸是两种必需脂肪酸<sup>[43]</sup>,亚油酸具有抗癌、抗致胖、抗动脉粥样硬化作用<sup>[44]</sup>, $\alpha$ -亚麻酸具有心血管保护、抗癌、抗骨质疏松、抗炎、抗氧化、神经保护作用<sup>[45]</sup>。油酸是非必需脂肪酸,具有抗炎、心血管保护、免疫调节、皮肤修复等作用<sup>[46]</sup>。据报道,饱和脂肪酸与不良健康影响有关,而不饱和脂肪酸(如二十碳五烯酸、花生四烯酸),则对母体和后代健康、心血管健康、胰岛素敏感性、代谢综合征、癌症、危重

病人和免疫系统疾病具有保护作用<sup>[47]</sup>。紫斑牡丹花粉中辛酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、 $\gamma$ -亚麻酸含量较高,且饱和脂肪酸占脂肪酸总量的50.45%~73.55%<sup>[48]</sup>;紫斑牡丹籽油中主要含有亚麻酸、亚油酸、油酸、棕榈酸,其中亚麻酸占其总脂肪酸含量的65.23%,且饱和脂肪酸含量占其脂肪酸总量的96.62%<sup>[49]</sup>。从紫斑牡丹中报道的脂肪酸类化合物共48个(195~242),包括饱和脂肪酸20个(195~214),不饱和脂肪酸28个(215~242),其名称及来源见表6,化学结构见图6。

表6 紫斑牡丹中的脂肪酸类化合物

Table 6 Fatty acids from *P. rockii*

类型 Type	编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
饱和脂肪酸 Saturated fatty acids	195	己酸 1-Hexanoic acid	花粉	48
	196	辛酸 Octanoic acid	花粉	48
	197	2-己基环丙烷辛酸 2-Ethylcyclopropane octanoic acid	籽	49,50
	198	壬二酸 Azelaic acid	籽	50
	199	癸酸 Decanoic acid	花粉	48
	200	十一烷酸 Undecanoic acid	花粉	48
	201	十二烷酸 Lauric acid-13C	花粉	48
	202	十三烷酸 Tridecylic acid	花粉	48
	203	十四碳酸 Myristic acid	花粉、籽	12,48-52
	204	12-甲基-十四碳酸 12-Methyl myristic acid	籽	50
	205	十五烷酸 Pentadecanoic acid	花粉	48
	206	棕榈酸 Palmitic acid	籽、花粉	13,48-54
	207	14-甲基十六碳酸 14-Methyl palmitic acid	籽	49,50
	208	十七烷酸 Margaric acid	花粉	48,53
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids	209	硬脂酸 Stearic acid	花粉、籽	13,48-54
	210	二十烷酸 Arachidic acid	花粉、籽	48,49,53
	211	二十一烷酸 Heneicosylic acid	花粉、籽	48
	212	二十二烷酸 Docosanoic acid	花粉	48
	213	二十三烷酸 Tricosanoic acid	花粉	48
	214	二十四烷酸 Lignoceric acid	花粉	48
	215	十二碳一烯酸 (Z)-Dodec-2-enoic acid	花粉、籽	48,53
	216	十二碳二烯酸 2Z,4Z-Docosadienoic acid	花粉、籽	48,53
	217	十二碳三烯酸 Docosatrienoic acid	花粉	48
	218	十二碳五烯酸 Docosapentaenoic acid	花粉	48
	219	肉豆蔻油酸 Myristoleic acid	花粉、籽	48,52,53
	220	十五碳烯酸 (10E)-10-Pentadecenoic acid	花粉	48
	221	7-十六烯酸 Hexadec-7-enoic acid	籽	50
	222	9-十六烯酸 Nervonic acid	籽	49,50
223	顺-10-十七碳烯酸 (10Z)-10-Heptadecenoic acid	花粉	48	
224	十七碳一烯酸 Heptadecenoic acid	籽	53	
225	9,15-十八碳二烯酸 9,15-Octadecadiynoic acid	籽	49,50	

续表 6 (Continued Tab. 6)

类型 Type	编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids	226	二十二碳二烯酸 Docosadienoic acid	花粉	48, 53
	227	二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid	花粉	48
	228	棕榈油酸 Palmitoleic acid	籽、花粉	48, 51-53
	229	$\gamma$ -亚麻酸 $\gamma$ -Linolenic acid	花粉	48, 53
	230	$\alpha$ -亚麻酸 $\alpha$ -Linolenic acid	籽	13, 53, 54
	231	亚麻酸 Linolenic acid	花、籽	40, 48-52
	232	油酸 Oleic acid	籽	13, 41, 48-54
	233	异油酸 Linseed oil fatty acids	籽	52
	234	反油酸 Elaidic acid	花粉	48
	235	亚油酸 9,12-Octadecadienoic acid	籽、花	12, 13, 40, 48-54
	236	11-花生烯酸 11( <i>E</i> )-Eicosenoic acid	籽	49, 50
	237	二十碳一烯酸 Eicosenoic acid	籽	52
	238	10,13-二十碳二烯酸 <i>cis</i> -10,13-Eicosadienoic acid	籽	49
	239	9,15-二十碳二烯酸 <i>cis</i> -9,15-Eicosadienoic acid	籽	49
	240	8,11,14-二十碳三烯酸 8,11,14-Eicosatrienoic acid	籽	50
	241	11,14,17-二十碳三烯酸 11,14,17-Eicosatrienoic acid	籽	50
	242	5,8,11,14-二十碳四烯酸 5,8,11,14-Eicosatetraenoic acid	花粉	48

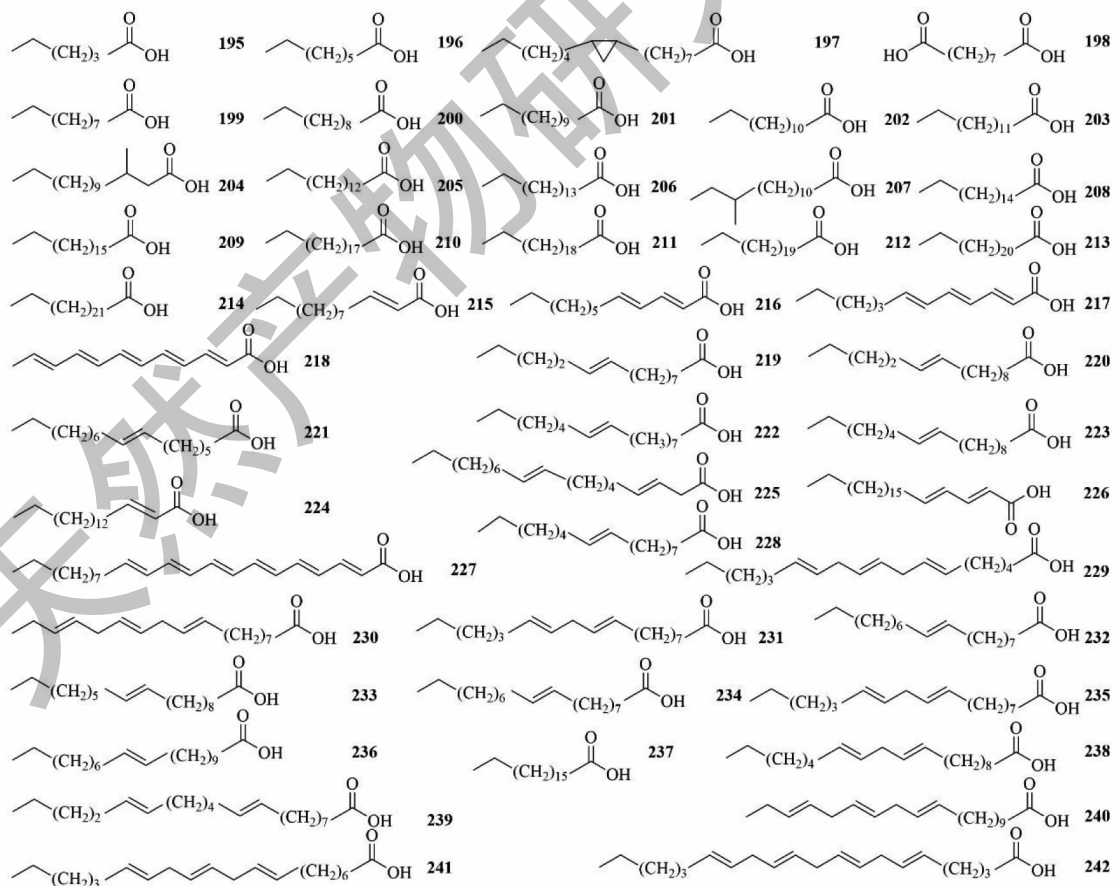


图 6 紫斑牡丹中的脂肪酸类化合物结构

Fig. 6 Structures of fatty acids from *P. rockii*

## 1.7 其他类

甾醇是一类由3个己烷环及一个环戊烷稠合而成的环戊烷多氢菲衍生物,单宁又称鞣酸(鞣质),是分子量为500~3 000的水溶性多酚类化合物,三萜是一类基本母核由30个碳原子所组成的萜类化合物,以游离形式或以与糖结合成苷或酯的形式存在于植物体内。单宁具有抗癌、抗菌、促进血凝、降血压、降血脂、免疫调节等作用<sup>[55]</sup>;植物甾醇具有降

低胆固醇的作用<sup>[56]</sup>; $\beta$ -谷甾醇具有抗菌、抗炎、抗氧化、抗动脉粥样硬化、降脂、抗脱发、抗抑郁、抗衰老、调节骨代谢等作用<sup>[57]</sup>;齐墩果酸具有保肝护肝、降糖、降脂、抗癌、增强免疫力等多种药理活性<sup>[58]</sup>。从紫斑牡丹中报道的其他类化合物共32个(243~274),其中甾醇类8个(243~250),单宁类6个(251~256),三萜类12个(257~268),其他6个(269~274),其名称及来源见表7,化学结构见图7。

表7 紫斑牡丹中的其他类化合物  
Table 7 Other compounds from *P. rockii*

类型 Type	编号 No.	化合物 Compound	来源 Source	参考文献 Ref.
甾醇类 Sterols	243	$\beta$ -谷甾醇 $\beta$ -Sitosterol	花粉、籽	12, 13
	244	胡萝卜苷 Daucosterol	花粉	7
	245	$\Delta^5$ -燕麦甾醇 $\Delta^5$ -Avenasterol	籽	13
	246	$\Delta^7$ -燕麦甾醇 $\Delta^7$ -Avenasterol	籽	13
	247	胆固醇 Cholesterol	籽	13
	248	菜油甾醇 Campesterol	籽	13
	249	孕二醇 Pregnanediol	籽	13
	250	岩藻甾醇 Fucosterol	籽	13
单宁类 Tannins	251	1- <i>O</i> -没食子酰-葡萄糖 1- <i>O</i> -Galloylglucose	花、叶、根、籽	15, 59
	252	1,6-二- <i>O</i> -没食子酰-葡萄糖 1,6-Di- <i>O</i> -galloyl- $\beta$ - <i>D</i> -glucose	花、叶	15
	253	1,3,6-三- <i>O</i> -没食子酰葡萄糖 1,3,6-Tri- <i>O</i> -galloylglucose	根、花、叶	15, 19, 59
	254	1,3,4,6-四没食子酰葡萄糖 1,3,4,6-Tetragalloylglucose	根、花、叶	15, 59
	255	1,2,3,4,6-五没食子酰葡萄糖 1,2,3,4,6-Pentagalloylglucose	根、叶、花	7, 13
	256	6- <i>O</i> -间-没食子酸-1,2,3,4-四- <i>O</i> -没食子酰- $\beta$ - <i>D</i> -葡萄糖 6- <i>O</i> -( <i>m</i> -Galloyl)galloyl-1,2,3,4-tetragalloylglucose	叶	17
	257	羊毛甾醇 Lanosterol	籽	13
	258	环阿屯醇 Cycloartenol	籽	13
三萜类 Triterpenes	259	桦木醇 Betulin	籽	13
	260	Obtusifoldienol	籽	13
	261	角鲨烯 Squalene	籽	13
	262	Akebonic acid	根	18
	263	3 $\beta$ -23-Dihydroxy-11 $\alpha$ ,12 $\alpha$ -epoxy-30-nor-olean-20(29)-en-28-13 $\beta$ -olide	根	18
	264	30-nor-Hederagenin	根	17
	265	Hederagenin	根	17, 18
	266	齐墩果酸 Oleanolic acid	根	17, 18
	267	3 $\beta$ -4 $\beta$ ,23-Trihydroxy-24,30-dinor-olean-12,20(29)-dien-28-oic acid	根	18
	268	白桦脂酸 Betulinic acid	根	18
其他 Others	269	蔗糖 Sucrose	花粉	12
	270	腺苷 Adenosine	花粉	12
	271	维生素 E Vitamin E	籽	60
	272	$\gamma$ -生育酚 $\gamma$ -Tocopherol	籽	13
	273	5-丁基羟基- $\gamma$ -内酯 5-Butylhydroxy- $\gamma$ -lactone	籽	17
	274	乙基阿拉伯吡喃糖苷 Ethyl-arabinopyranoside	籽	17

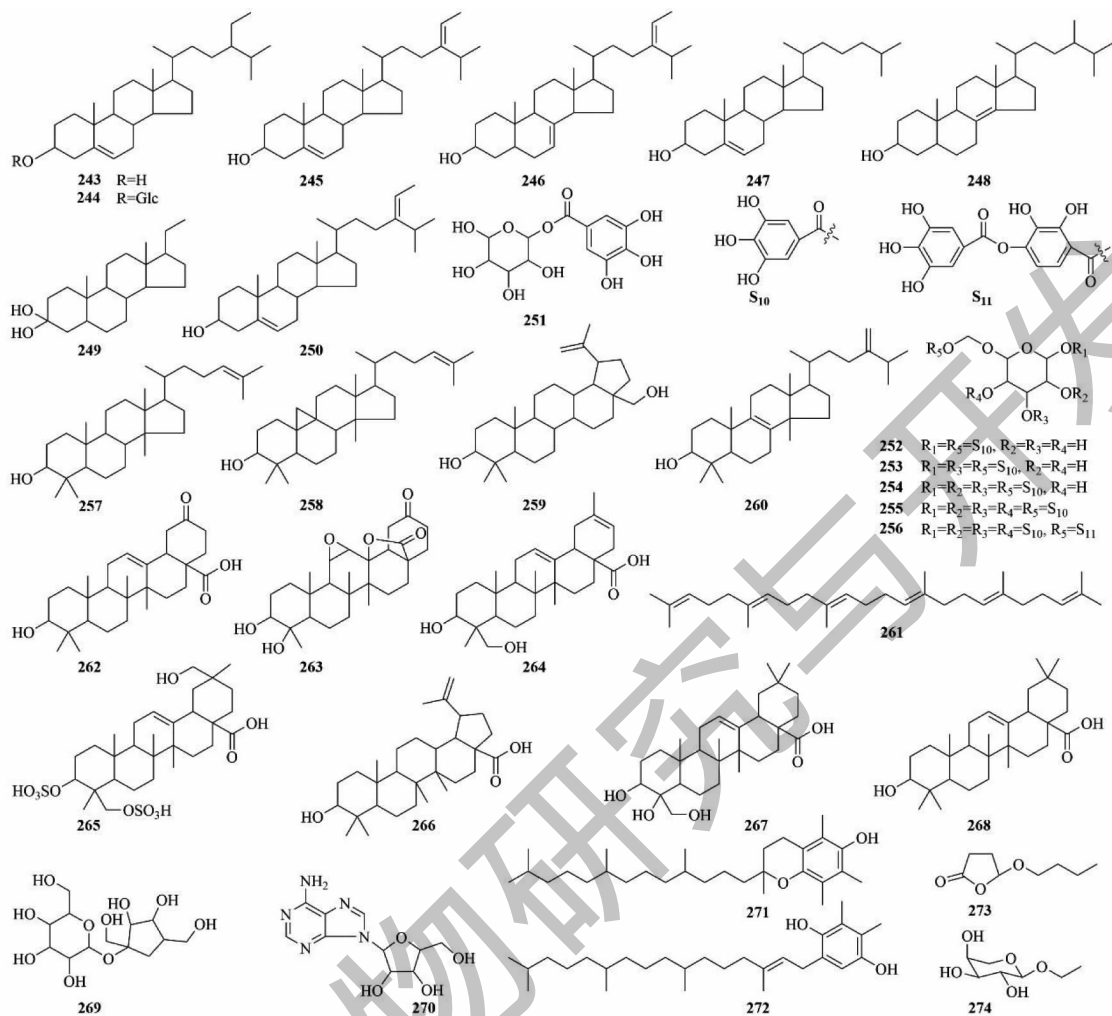


图7 紫斑牡丹中的其他类化合物结构

Fig. 7 Structures of other compounds from *P. rockii*

## 1.8 矿质元素

紫斑牡丹中除了存在以上化学成分外,在其胚和胚乳中还含有K、Na、Ca、Mg 4种人体必需的常量元素及Fe、Cu、Zn、Mn、Ni、B 与人体健康和生命有关的微量元素<sup>[61]</sup>,且Mg、Zn、Mn、Fe、K、Na、Li、Ni 8种元素在胚乳中的含量低于胚,Ca、Cu、Pb、B 在胚乳中的含量高于胚<sup>[62]</sup>。此外,花粉中的矿质元素也较为丰富,其中常量元素K、Mg、Ca 和微量金属元素Zn、Fe、Mn 含量最高<sup>[63]</sup>。

## 1.9 紫斑牡丹不同部位化学成分的差异

紫斑牡丹不同部位存在一些相同的化学成分,但种类和含量都有较大差异,各部位都存在主要的特征性成分(见表8)。整体上看,单萜苷类成分主要存在于牡丹籽中,酚及酚苷类成分主要存在于牡丹籽和根中,黄酮类成分主要存在于牡丹花、叶、籽

中,低聚芪类成分主要存在于牡丹籽中,挥发油类成分只存在于牡丹花中,脂肪酸类成分主要存在于牡丹籽和花中,甾醇类成分主要存在于牡丹籽中,单宁类成分主要存在于牡丹花和叶中,三萜类成分主要存在于牡丹根中;其中,单萜苷类、酚及酚苷类、黄酮类成分为五个部位的共有成分,且从花和籽中分离和鉴定出的化合物最多。然而,紫斑牡丹中的化学成分受多方面因素的影响,除了不同提取分离方法会影响其不同部位的化学成分外,产地、生态环境、采收时间、生长年龄、栽培技术、加工处理方法等因素也会影响紫斑牡丹不同部位化学成分的種類和含量。

## 2 活性

文献报道的有关紫斑牡丹的活性主要有抗氧化、抗菌、抗癌等,由表9可知,紫斑牡丹发挥抗氧化

表 8 紫斑牡丹不同部位化学成分分类

Table 8 Classification of chemical components of different parts of *P. rockii*

类型 Type	根 Root	叶 Leaf	花 Flower	果荚 Pod	籽 Seed	合计 Total
单萜苷类 Monoterpene glycosides	5	6	10	4	24	26
酚及酚苷类 Phenols and phenolic glycosides	10	6	7	7	19	25
黄酮类 Flavonoids	2	27	29	17	21	50
低聚芪类 Oligomeric stilbenes	-	-	1	2	16	16
挥发油类 Volatile oils	-	-	77	-	-	77
脂肪酸类 Fatty acids	-	-	31	-	28	48
甾醇类 Sterols	-	-	2	-	7	8
单宁类 Tannins	4	5	5	-	1	6
三萜类 Triterpenes	7	-	-	-	5	12
其他 Others	-	-	2	-	4	6
合计 Total	28	44	164	30	125	274

作用的主要是黄酮和多酚类成分;发挥抗菌作用的主要是黄酮和酚酸类成分,其中没食子酸及其衍生物的抗菌效果较好,此外白藜芦醇及其聚合物也具有抗菌作用;发挥抗癌作用的主要是三萜类成分,其中白桦酸和齐墩果酸的抗癌效果较好。

## 2.1 抗氧化

紫斑牡丹花、叶具有体内和体外抗氧化能力,其抗氧化的主要有效成分为黄酮、酚酸和单宁类<sup>[19,20]</sup>,叶片多糖也有抗氧化作用<sup>[64]</sup>,且叶的抗氧化活性明显优于花,花和叶的乙酸乙酯提取物的抗氧化活性优于其他溶剂提取物<sup>[65]</sup>。紫斑牡丹果实甲醇提取物的抗氧化活性与总酚和总类黄酮含量显著相关<sup>[13]</sup>,且牡丹果荚和种皮提取物抗氧化能力较牡丹籽仁更强<sup>[17]</sup>。紫斑牡丹花粉提取物抗氧化能力较强,且50%乙醇提取物抗氧化能力最好,其抗氧化活性与黄酮和酚类成分相关<sup>[30]</sup>。此外,紫斑牡丹根部极性甲醇提取物及其正丁醇部分,以及从中分离出的没食子酸衍生物具有很强的清除自由基效力<sup>[17]</sup>。

## 2.2 抗菌

紫斑牡丹花、叶提取物具有抗菌作用,且甲醇提取物对表皮葡萄球菌抑制效果最好,乙酸乙酯提取物对金黄色葡萄球菌抑制效果更佳,网络药理学预测表明,紫斑牡丹花、叶的抗菌成分主要是黄酮和酚酸,抗菌机制主要是抑制细菌蛋白的合成<sup>[20]</sup>。紫斑牡丹果荚和种皮的甲醇提取物较牡丹籽甲醇提取物具有更强的抗菌和抗神经炎症活性<sup>[16]</sup>,果荚和籽的

甲醇提取物对金黄色葡萄球菌和普通变形杆菌的抑菌效果最强<sup>[13]</sup>。紫斑牡丹籽丙酮提取物对细菌菌株表现出显著的抑制效果,从中分离出的新的白藜芦醇三聚体均对革兰氏阳性菌表现出很强的抗菌活性<sup>[34,35]</sup>。紫斑牡丹根部极性甲醇提取物及其正丁醇可溶性组分,以及从中分离得到的没食子酸衍生物,具有抑制真菌和白色念珠菌生长的能力<sup>[17]</sup>。

## 2.3 抗癌

紫斑牡丹根部三氯甲烷可溶性提取物及其主要成分对人类癌细胞系(黑色素瘤 M-14,结肠癌 HT-29,乳腺癌 MCF-7)细胞增殖和凋亡具有影响,且其中两种三萜类化合物白桦酸和齐墩果酸以及粗提取物具有细胞毒性,能选择性地诱导 M-14 黑色素瘤细胞系中的细胞凋亡,该效应能被半胱天冬酶抑制剂 z-VAD-fmk 逆转,表明这种作用是由半胱天冬酶-3 激活介导的<sup>[18]</sup>。

## 3 开发利用

随着对紫斑牡丹研究的持续深入,有关紫斑牡丹的产品授权专利也在逐渐增多,已开发出了一些具有食药价值的功能性保健产品。Zhao 等<sup>[66-69]</sup>以紫斑牡丹籽油、精油、叶提取物为原料,通过乙酯化和尿素包含、真空乳化等操作,制备出了紫斑牡丹软胶囊和润肤霜。Shen<sup>[39]</sup>、Cao<sup>[70]</sup>、Mou<sup>[71]</sup>、Lv 等<sup>[72]</sup>分别通过对紫斑牡丹花采用隔离窖制、湿发酵处理、热风循环、微波等处理,得到了紫斑牡丹花茶。Lu 等<sup>[73]</sup>以紫斑牡丹籽、花瓣、花蕊等为原料,制备出了食用保健化妆品。Shi<sup>[74]</sup>、Wang 等<sup>[75]</sup>通过对紫斑牡

表9 紫斑牡丹不同部位的成分及生物活性  
Table 9 Composition and activity of different parts of *P. rockii*

部位 Part	提取溶剂 Extract solvent	活性成分 Active component	活性 Activity
花 Flower	甲醇/乙醇/乙酸乙酯	黄酮/多酚	抗氧化
叶 Leaf	水/甲醇/乙酸乙酯	多糖/黄酮/酚酸	抗菌
果实 Fruit	甲醇	黄酮/多酚	抗氧化
	丙酮	白藜芦醇三聚体	抗菌
根 Root	甲醇/正丁醇	没食子酸衍生物	抗氧化/抗菌
	三氯甲烷	白桦酸/齐墩果酸	抗癌

丹花采用发酵和滤渣浸提等操作,制备出了紫斑牡丹酒。Zheng等<sup>[76]</sup>将紫斑牡丹花粉通过冻融、超声波处理、过滤等操作,制备出了紫斑牡丹花粉口服液,Shi等<sup>[77]</sup>以紫斑牡丹花粉为原料,通过考察辅料与工艺,制备出了口含片。

虽然紫斑牡丹已被开发为了系列产品,但在其开发利用上,仍存在药效物质基础研究不足、食药价值挖掘不充分、产品形式单一、精深加工滞后、产业链延伸不足、专业加工技术缺乏等制约性因素。为了补齐短板,促进紫斑牡丹资源优势转化,可采用以下对策:(1)加强政策扶持和科研投入力度,助力技术资源优势形成;(2)系统性地研究不同部位的药效物质基础,评价安全性和有效性,明确其食药价值;(3)针对不同的消费人群,精准设计产品,向食品营养、医药保健、日用化工等精深加工和新资源产品领域延伸;(4)推动成果转化,将技术资源转化为产业优势;(5)加强专业人才的培养,传承专用加工技术。

#### 4 结语与展望

紫斑牡丹作为油用牡丹栽培品种之一,已成为我国西北地区具有资源优势的木本油料作物,除了牡丹籽具有较高的油用价值外,因其根、叶、花、果荚、籽粕等部位中含有单萜苷类、酚及酚苷类、黄酮类、低聚芪类、三萜类等活性物质,开发前景也十分广阔。目前,对紫斑牡丹的开发利用主要集中在牡丹籽和花上,果荚、籽粕等废弃部位的研究较少,尤其是对废弃部位中的单体化合物的活性研究较少,后续可以单体成分的活性研究作为切入点,明确药效物质基础,并将其作为天然活性物质来源,进一步开发为系列功能性产品。

牡丹籽油自2011年被国家卫生部批准为新资源食品以来,油用牡丹种植面积逐年攀升,未来紫斑

牡丹的观赏、食用、药用价值将充分发挥,继续向食品营养、医药保健、日用化工等精深加工领域和旅游观光产业延伸。本文从紫斑牡丹的化学成分、活性和开发利用三个方面展开综述,并展望发展前景和探讨制约性因素,以期为紫斑牡丹的深入研究和综合开发利用提供参考。

#### 参考文献

- 1 Flora of China Editorial Committee. Chinese Academy of Sciences. Flora of China(中国植物志)[M]. Beijing: Science Press, 2019.
- 2 Peng MG. Physiological responses and drought resistance of *Paeonia rockii* under PEG-6000 simulated drought stress [D]. Lanzhou: Northwest Normal University(西北师范大学), 2014.
- 3 Zhang JP. Study on cold resistance of *Paeonia rockii* in Gansu[D]. Lanzhou: Northwest Normal University(西北师范大学), 2014.
- 4 Wang WC, et al. Current situation and development countermeasures of *Paeonia rockii* seed industry in Gansu Province [J]. Gansu Agric Sci Technol(甘肃农业科技), 2022, 53: 12-14.
- 5 Zhang YG, et al. New progress in pharmacological action of paeoniflorin[J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2019, 50:3735-3740.
- 6 Liu P, et al. Isolation and Identification of monoterpene glucosides from seed cake of *Paeonia rockii*[J]. Food Sci(食品科学), 2017, 38:87-92.
- 7 Wang XD, et al. Chemical composition of *Paeonia rockii* pollen and its antioxidant activity *in vitro*[J]. Chin Tradit Pat Med(中成药), 2023, 45(6):1858-1863.
- 8 Liu P, et al. Isolation and identification of monoterpene glucosides from seed cake of oil peony[J]. J Chin Inst Food Sci Technol(中国食品学报), 2018, 18:283-294.



- 9 Du XQ. Research on the separation process of the main medicinal components of *Paeonia rockii* [D]. Harbin: Northeast Forestry University(东北林业大学), 2016.
- 10 Liu DY, et al. The HPLC method simultaneously determined the content of four components in the seed meal of *Paeonia suffruticosa* Andr. var. *papaveracea* (Andr.) Kerner [J]. J Chin Med Mater(中药材), 2019, 42:2607-2610.
- 11 Zhang GQ, et al. HPLC characteristic chromatogram and assay of four components for pollen of *Paeonia rockii* [J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志), 2019, 39:2020-2027.
- 12 Wang XD, et al. Chemical constituents from ethyl acetate extract of *Paeonia rockii* pollen [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2019, 31:1912-1918.
- 13 Wang XQ, et al. Integrated profiling of fatty acids, sterols and phenolic compounds in tree and herbaceous peony seed oils: marker screening for new resources of vegetable oil [J]. Foods, 2020, 9:770.
- 14 Bai ZZ, et al. Bioactive components, antioxidant and antimicrobial activities of *Paeonia rockii* fruit during development [J]. Food Chem, 2020, 343:128444.
- 15 Li JH, et al. Identification of chemical composition of leaves and flowers from *Paeonia rockii* by UHPLC-Q-exactive orbitrap HRMS [J]. Molecules, 2016, 21:947.
- 16 Bai ZZ, et al. Comprehensive metabolite profile of multi-bioactive extract from tree peony (*Paeonia ostii* and *Paeonia rockii*) fruits based on MS/MS molecular networking [J]. Food Res Int, 2021, 148:110609.
- 17 Picerno P, et al. Screening of a polar extract of *Paeonia rockii*: composition and antioxidant and antifungal activities [J]. J Ethnopharmacol, 2011, 138:705-712.
- 18 Teresa M, et al. Triterpenoid constituents from the roots of *Paeonia rockii* ssp. *rockii* [J]. J Nat Prod, 2011, 74:2116-2121.
- 19 Bao YT, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activities of the flowers and leaves from *Paeonia rockii* and identification of their antioxidant constituents by UHPLC-ESI-HRMS<sup>n</sup> via pre-column DPPH reaction [J]. Molecules, 2018, 23:392.
- 20 Bao YT, et al. Exploration on antibacterial activity and mechanism of flowers and leaves from *Paeonia rockii* based on network pharmacology [J]. China J Chin Mater Med(中国中药杂志), 2018, 43:779-785.
- 21 Yang SJ, et al. Pharmacological effects and application of paeonol [J]. Pharmacol Clin Chin Mater Med(中药药理与临床), 2022, 38:237-241.
- 22 Tang DD, et al. Analysis on pigments and antioxidant activity in red-leaf of *Paeonia rockii* var. *purpurea* [J]. North Hortic(北方园艺), 2015, 350:79-86.
- 23 Zhang T, et al. HPLC fingerprints analysis and paeonol content of roots of oil peony introduced into Guizhou [J]. Zhejiang Agric Sci(浙江农业科学), 2020, 61:2355-2359.
- 24 Wang Q, et al. Progress in pharmacological effect and preparation of luteolin [J]. J Beijing Union Univ(北京联合大学学报), 2022, 36:59-63.
- 25 Zhan X, et al. Research progress on physiological action and preparations of luteolin [J]. China Surfactant Deterg Cosmet(日用化学工业), 2023, 53:437-444.
- 26 Liu SW, et al. Advances in the pharmacological effects of quercetin [J]. Chin J Lung Dis; Electron Ed(中华肺部疾病杂志:电子版), 2020, 13:104-106.
- 27 Li KR, et al. Research advances in the pharmacological effects of kaempferol and its derivatives in nervous system diseases [J]. J Southwest Med Univ(西南医科大学学报), 2021, 44:412-416.
- 28 Teng D, et al. Research progress of isorhamnetin in pharmacodynamics [J]. Clin J Tradit Chin Med(中医药临床杂志), 2016, 28:593-596.
- 29 Fu HY, et al. Pharmacological effects of apigenin; research advances [J]. J Int Pharm Res(国际药学研究杂志), 2020, 47:787-792.
- 30 Wang BL. Studies on the the quality standard and antioxidant activity of pollen of *Paeonia rockii* [D]. Lanzhou: Gansu University of Traditional Chinese Medicine(甘肃中医药大学), 2017.
- 31 Wang XD, et al. Qualitative and quantitative analysis of isorhamnetin and content determination of total flavonoids from pollen of *Paeonia rockii* [J]. Sci Technol Food Ind(食品工业科技), 2017, 38:248-252.
- 32 Chen XL, et al. Research progress on pharmacological action and mechanism of resveratrol [J]. Chin Wild Plant Resour(中国野生植物资源), 2022, 41:67-76.
- 33 Li GW, et al. Processing technique of macroporous absorption resin purification resveratrol from *Paeonia rockii* seeds [J]. J Gansu Univ Tradit Chin Med(甘肃中医药大学学报), 2019, 36:26-30.
- 34 Wang KL, et al. Distribution of resveratrol in different parts of several plants [J]. Bull Bot Res(植物研究), 2015, 35:638-640.
- 35 Zhang SS, et al. Study on extracting technology of resveratrol in purple peony seeds by ultrasonic extraction [J]. Guangzhou Chem Ind(广州化工), 2018, 46:93-95.
- 36 Liu P, et al. Oligostilbenes study from seed cakes of *Paeonia rockii* [J]. Chin Pharm J(中国药学杂志), 2014, 49:1018-1021.
- 37 Liu P, et al. Resveratrol trimers from seed cake of *Paeonia*

- rockii*[J]. *Molecules*,2014,19:19549-19556.
- 38 Liu P, et al. Two new resveratrol trimers with antibacterial activities from seed cake of *Paeonia rockii* [J]. *Chem Nat Compd*,2017,53:51-55.
- 39 Wu Y, et al. Comparison in essential oil components of different varieties at varied altitudes of *Paeonia rockii*[J]. *J Beijing For Univ*(北京林业大学学报),2020,42:150-160.
- 40 Huang LS, et al. Advances in herbal volatile oil and aromatic herbs[J]. *China J Chin Mater Med*(中国中药杂志),2009,34:1605-1611.
- 41 Shen QY, et al. Preparation and main aroma analysis of *Paeonia rockii* tea [J]. *Subtrop Plant Sci*(亚热带植物科学),2020,49:351-357.
- 42 Wu Y, et al. Application of GC × GC coupled with TOF - MS for the trace analysis of chemical components and exploration the characteristic aroma profile of essential oils obtained from two tree peony species(*Paeonia rockii* and *Paeonia ostii*) [J]. *Eur Food Res Technol*,2021,247:2591-2608.
- 43 Tvrzicka E, et al. Fatty acids as biocompounds: their role in human metabolism, health and disease; a review. part 1: classification, dietary sources and biological functions [J]. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*,2011,155:117-130.
- 44 Den Hartigh LJ. Conjugated linoleic acid effects on cancer, obesity, and atherosclerosis; a review of pre-clinical and human trials with current perspectives[J]. *Nutrients*,2019,11:370.
- 45 Kim KB, et al.  $\alpha$ -Linolenic acid: nutraceutical, pharmacological and toxicological evaluation [J]. *Food Chem Toxicol*,2014,70:163-78.
- 46 Sales-Campos H, et al. An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease[J]. *Mini Rev Med Chem*,2013,13:201-210.
- 47 Kremmyda LS, et al. Fatty acids as biocompounds: their role in human metabolism, health and disease; a review. Part 2: fatty acid physiological roles and applications in human health and disease [J]. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*,2011,155:195-218.
- 48 Li Y, et al. Analysis of fatty acids in *Paeonia rockii* pollen from Gansu Province [J]. *Chin J Mod Appl Pharm*(中国现代应用药学),2017,34:849-853.
- 49 Lian P, et al. Determination of fatty acid composition in *Paeonia rockii* seeds oil by GC-MS [J]. *North Hortic*(北方园艺),2016,364:125-127.
- 50 Li LL, et al. Optimization of chemical leaching extraction process and fatty acid composition of *Paeonia rockii* seed oil [J]. *Sci Technol Food Ind*(食品工业科技),2015,36:230-234.
- 51 Gen YY, et al. Variation analysis of fruit characteristics and primary nutrients in *Paeonia rockii* introduced to Guizhou [J]. *Food Sci Technol*(食品科技),2016,41:73-76.
- 52 Han P, et al. Polygene regulation of high accumulation of carbon 18 unsaturated fatty acids in seeds of *Paeonia rockii*[J]. *Mol Plant Breed*(分子植物育种),2019,17:2101-2108.
- 53 Li ZX, et al. Comparative analysis of fatty acid composition in seed kernel and coat of *Paeonia rockii* seeds [J]. *Seed*(种子),2010,29:34-36.
- 54 Zhang SS, et al. Comparison of seed oil fatty acids between *Paeonia ostii* 'Feng Dan' and *Paeonia rockii* from 6 regions [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*(中国粮油学报),2021,36:84-90.
- 55 Chuang KT, et al. Tannins and human health: a review [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*,1998,38:421-64.
- 56 Plat J, et al. Mechanisms underlying the health benefits of plant sterol and stanol ester consumption [J]. *J AOAC Int*,2015,98:697-700.
- 57 Chen YK, et al. Advances on pharmacology of  $\beta$ -sitosterol [J]. *J Guangdong Pharm Univ*(广东药科大学学报),2021,37:148-153.
- 58 Huang XT, et al. Research progress of oleanolic acid and its derivatives [J]. *Chin J Med Chem*(中国药物化学杂志),2022,32:707-725.
- 59 Bai ZZ, et al. A novel strategy for unveiling spatial distribution pattern of gallotannins in *Paeonia rockii* and *Paeonia ostii* based on LC-QTRAP-MS [J]. *Metabolites*,2022,12:326.
- 60 He DP. Analysis of nutritional components of *Paeonia rockii* pollen for Linxia oil [J]. *For Sci Technol*(林业科技通讯),2017(3):57-58.
- 61 Zhou XM, et al. Determination of mineral elements in endosperm of two tree peony species by ICP-AES [J]. *Chin J Spectrosc Lab*(光谱实验室),2011,28:3218-3221.
- 62 Zhou XM, et al. Determination of mineral elements in the endosperm and embryo of flare tree peony by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry [J]. *J Anal Sci*(分析科学学报),2012,28:557-560.
- 63 Wang XD, et al. Optimization of wall-breaking technology and determination of metal elements in *Paeonia rockii* pollen [J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学),2022,50:167-171 + 213.
- 64 Zhu Y, et al. Comparison of hydroxyl radical scavenging ability of polysaccharides in leaves of *Paeonia rockii* [J]. *J Jiangsu Agric Sci*(江苏农业科学),2016,44:341-342.
- 65 Zeng R. The use of a peony group plant or its extract(一种牡

- 丹组植物或其提取物的用途):CN105433388A[P]. 2016-03-30.
- 66 Zhao QL. Peony essential oil softgel capsule and preparation method thereof(一种牡丹精油软胶囊及其制备方法):CN101647872[P]. 2010-02-17.
- 67 Zhao QL. A method of extracting  $\alpha$ -linolenic acid from *Paeonia rockii* seeds to make softgels(一种从紫斑牡丹籽中提取 $\alpha$ -亚麻酸制成软胶囊的方法):CN101653429B[P]. 2011-12-28.
- 68 Zhao QL. *Paeonia rockii* moisturizer and preparation method thereof(紫斑牡丹润肤霜及其制备方法):CN101642422B[P]. 2011-03-16.
- 69 Zhao QL. *Paeonia rockii* capsules(紫斑牡丹胶囊):CN101711579B[P]. 2012-09-19.
- 70 Cao BP. A production process of *Paeonia rockii* bud tea(一种紫斑牡丹芽茶的制作工艺):CN111937991A[P]. 2020-11-17.
- 71 Mou B. Method for preparing *Paeonia rockii* flower crown tea by microwave and hot air cycle(一种微波和热风循环制备紫斑牡丹花冠茶的方法):CN113693149A[P]. 2021-11-26.
- 72 Lv XX. A kind of *Paeonia rockii* whole flower combination tea and processing method thereof(一种紫斑牡丹全花组合茶及其加工方法):CN114794280A[P]. 2022-07-29.
- 73 Lu YJ. A method of producing edible health cosmetics from *Paeonia rockii* seeds(一种利用紫斑牡丹籽生产可食用保健化妆品的的方法):CN108785166B[P]. 2021-06-04.
- 74 Shi JY. A production method of *Paeonia rockii* petal wine(一种紫斑牡丹花瓣酒的生产方法):CN113186057A[P]. 2021-07-30.
- 75 Wang TT. *Paeonia rockii* wine production process(紫斑牡丹酒生产工艺):CN103981074B[P]. 2015-08-12.
- 76 Zheng AX. Peony pollen oral liquid and preparation method thereof(牡丹花粉口服液及其制备方法):CN101647871B[P]. 2011-09-14.
- 77 Shi XF. Peony pollen lozenges and preparation method thereof(一种牡丹花粉口含片及其制备方法):CN107048295A[P]. 2017-08-18.

(上接第 606 页)

- 3 Hassan AS, Hofni A, Abourehab MAS, et al. Ginger extract-loaded transethosomes for effective transdermal permeation and anti-inflammation in rat model [J]. Int J Nanomed, 2023, 18: 1259-1280.
- 4 Assiry AA, Ahmed N, Almuaddi A, et al. The antioxidant activity, preliminary phytochemical screening of *Zingiber zerumbet* and antimicrobial efficacy against selective endodontic bacteria [J]. Food Sci Nutr, 2023, 11: 4853-4860.
- 5 Deng XH, Chen DD, Sun XJ, et al. Effects of ginger extract and its major component 6-gingerol on anti-tumor property through mitochondrial biogenesis in CD8(+) T cells [J]. J Food Sci, 2022, 87: 3307-3317.
- 6 Yousuf R, Verma PK, Sharma P, et al. Neuroprotective effect of quercetin and *Zingiber officinale* on sodium arsenate-induced neurotoxicity in rats [J]. Food Sci Nutr, 2023, 11: 2964-2973.
- 7 Chen CJ, Chen XT, Mo QM, et al. Cytochrome P450 metabolism studies of [6]-gingerol, [8]-gingerol, and [10]-gingerol by liver microsomes of humans and different species combined with expressed CYP enzymes [J]. RSC Adv, 2023, 13: 5804-5812.
- 8 Jiao WY, Sang YX, Wang XH, et al. Effects of 6-shogaol on glucose uptake and intestinal barrier integrity in Caco-2 cells [J]. Foods, 2023, 12: 503.
- 9 Liu LQ, Liu YH, Zhao CX, et al. Comparative analysis of main active constituents in ginger samples collected from different origins [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2015, 27: 1016-1021.
- 10 Zhang Y, Chen ZL, Guo CY, et al. Determination of saffrole and its derivatives in ginger by SPE-GC-MS [J]. Food Ind (食品工业), 2022, 43: 283-286.
- 11 Ma K, Tian P, Zhang DW, et al. The Optimization study of the HPLC-DAD fingerprint for *Zingiber officinale* [J]. Lishizhen Med Mater Med Res (时珍国医国药), 2017, 28: 2051-2054.
- 12 Song Y, Luo YQ, Li GW, et al. Study on the UPLC fingerprint of ginger based on multivariate chemical pattern recognition analysis [J]. China Pharm (中国药师), 2022, 25: 1173-1178.
- 13 Li ZY, Liu XX, Feng YW, et al. Establishment of UPLC fingerprint and quantitative analysis of four components of *Curcumae Longae Rhizoma* standard decoction [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2023, 35: 807-818.