

油用牡丹不同部位化学成分与开发利用研究进展

董丽梅, 赵秀娟*, 刘姚, 王琳, 麦任娣

(广东生态工程职业学院园艺系, 广东广州 510520)

摘要: 油用牡丹是我国新兴的木本油料作物, 具有重要的观赏价值和油用价值。牡丹籽油是一种新资源食品, 含有丰富的不饱和脂肪酸, 具有抗氧化、调节糖脂代谢和预防心脑血管疾病等功效, 营养价值和保健作用突出。除油用价值外, 油用牡丹的根、花、叶、籽等部位还含有丰富的生物活性物质, 主要包括单萜苷类、酚及酚苷类、低聚萜类、黄酮类、三萜类、脂肪酸类以及其他类等结构类型, 具有较高的药用价值。目前关于油用牡丹的开发利用主要集中在牡丹籽油, 花和叶等部位的精深加工和综合利用研究还相对滞后, 有待进一步研究和开发。该研究对油用牡丹不同部位(籽、根、花、叶)的化学成分与开发利用两个方面进行综述, 探讨制约油用牡丹精深加工的影响因素, 以期为油用牡丹产业的综合开发利用提供依据。

关键词: 油用牡丹; 不同部位; 化学成分; 开发利用

文章编号: 1673-9078(2021)10-348-361

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.10.0223

Research Progress on Chemical Constituents and Utilization of Different Parts of Oil Peony

DONG Li-mei, ZHAO Xiu-juan*, LIU Yao, WANG Lin, MAI Ren-di

(Department of Horticulture Guangdong Eco-Engineering Polytechnic, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Oil peony is a new woody oil crop in China. It has important ornamental and oil values. Peony seed oil is a new resource food with high nutrition and health value, which contains rich unsaturated fatty acids. It has the effect of antioxidant, regulating the glucose and lipid metabolism, preventing cardiovascular and cerebrovascular diseases. In addition to the oil value, the roots, flowers, leaves, and seeds of oil peony contain many active substances including monoterpene glucosides, phenolics and phenolic glycosides, oligostilbenes, flavonoids, triterpenoids, fatty acids and other constituents. Currently, the development and utilization of oil peony mainly focus on peony seed oil. The deep processing and comprehensive utilization of flowers and leaves of oil peony are still lagged behind, which needs further research and development. In this paper, chemical constituents and utilization of different parts (seed, root, flower and leaf) of oil peony were reviewed, and the influence factors restricting the deep processing of oil peony were discussed, in order to provide the basis for the comprehensive development and utilization of oil peony industry.

Key words: oil peony; different parts; chemical constituents; development and utilization

引文格式:

董丽梅, 赵秀娟, 刘姚, 等. 油用牡丹不同部位化学成分与开发利用研究进展[J]. 现代食品科技, 2021, 37(10): 348-361

DONG Li-mei, ZHAO Xiu-juan, LIU Yao, et al. Research progress on chemical constituents and utilization of different parts of oil peony [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(10): 348-361

牡丹 (*Paeonia suffruticosa* Andr.) 是芍药科芍药属多年生落叶灌木, 原产于中国, 在我国已有 2000 多年的栽培历史, 因其花大色艳、雍容华贵, 自古就

收稿日期: 2021-03-04

基金项目: 广东省质量工程项目 (gdsjyt[2018]194-jpkc41); 广东生态工程职业学院校级科研项目 (2016kykt-xj-zd03)

作者简介: 董丽梅 (1990-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物开发与农产品加工, E-mail: dlm0728@163.com

通讯作者: 赵秀娟 (1969-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 花木和林下经济作物应用与示范推广, E-mail: 744606714@qq.com

有“花中之王”的美称。牡丹不仅具有很高的观赏价值, 还有悠久的药用历史。牡丹主要以根皮入药, 其干燥的根皮又称为“丹皮”, 有清热凉血、活血化瘀、镇痛、通经之效。现代研究还表明牡丹具有抗菌消炎、抗动脉粥样硬化、抗惊厥、保肝、降血糖、增强免疫等多种药理作用^[1]。

油用牡丹是牡丹组植物中产籽出油率 $\geq 22\%$ 的种的统称, 是我国新兴的木本油料作物, 目前主要以凤丹牡丹 (*Paeonia ostii* T. Hong et J.X. Zhang) 和紫斑牡丹 (*Paeonia rockii* T. Hong et J.J. Li) 两个品种为油用

栽培推广对象,在河南洛阳、山东菏泽、安徽铜陵等地广为种植。牡丹籽油含有亚麻酸、亚油酸、油酸等丰富的不饱和脂肪酸,含量可高达90%以上,其中亚麻酸的含量尤其突出,含量可高达40%以上,具有抗氧化、降血糖、降血脂、预防心脑血管疾病等功效,有非常高的营养和保健价值^[2]。2011年,国家卫生部批准牡丹籽油为“新资源食品”,油用牡丹产业迅速发展起来,相关研究也日益增多。目前关于油用牡丹的研究主要集中在种植栽培^[3-5]、牡丹籽油提取^[6-8]等方面,也有学者对油用牡丹不同部位的化学成分进行了研究,报道了一系列活性物质,包括萜类、酚类、黄酮类和脂肪酸类等结构类型^[9,10]。除牡丹籽外,油用牡丹的根、花、叶以及籽油加工副产物等常常被忽视,没有充分利用。油用牡丹根皮富含丹皮酚、芍药苷等活性成分,不仅可作药用,还可用于口腔护理和美容护肤^[10];油用牡丹花中富含芳香醇、多酚等抗氧化活性物质,是制作化妆品、护肤品的良好原料^[9];牡丹籽榨油后产生的饼粕富含蛋白质和单萜苷、低聚芪等活性物质,可进一步开发利用^[11]。本文综述了油用牡丹根、花、叶、籽以及籽粕的化学成分及开发利用现状,旨在为油用牡丹产业的精深加工和综合利用提供理论依据。

1 油用牡丹不同部位化学成分

油用牡丹全身是宝,除了牡丹籽油具有很高的营养价值之外,其他部位也含有丰富的活性物质。目前已经从油用牡丹的根、花、叶、籽以及籽粕中报道了275种化合物,按其结构类型划分包括:单萜苷类(1~41)、酚及酚苷类(42~76)、低聚芪类(77~94)、黄酮类(95~128)、三萜类(129~143)、脂肪酸类(144~179)和其他类化合物(180~275)。

1.1 单萜苷类

单萜苷类成分是油用牡丹籽中的一类特征性化合物,主要为萜烷型骨架,即间位的两个碳被四元环和另外的六元环共同占用,非常稳定,此类化合物大多是由芍药苷元或其类似物与葡萄糖缩合而成。葡萄糖上还经常连接没食子酰基和苯甲酰基,从而形成结构更加复杂的单萜苷类化合物,此类化合物通常性质不稳定,常以互变异构体的形式同时存在^[10]。芍药苷是牡丹中的特征性活性物质,具有抗氧化、抗肿瘤、抗血栓、抗抑郁、抗惊厥、免疫调节、神经保护和生血补血等药理活性。以芍药苷、氧化芍药苷、芍药内酯苷(白芍苷)为主要成分的白芍总苷具有很好的抗炎和免疫抑制活性,可用于治疗类风湿性关节炎^[12,13]。

从油用牡丹中报道的单萜苷类化合物共有41个,这些化合物的名称及存在部位见表1。

1.2 酚及酚苷类

酚及酚苷类化合物是油用牡丹根中的一类特征性成分,主要是以丹皮酚及其衍生物为代表。此外还有以苯甲酸为母核的酚酸类成分,如香草酸、原儿茶酸、没食子酸及其衍生物等,以及以苯丙酸为母核的酚酸类成分,如肉桂酸、对香豆酸、阿魏酸、咖啡酸等。酚苷类化合物结构中糖的种类目前报道的主要是蔗糖、阿拉伯糖和葡萄糖三种单糖,糖上还常连接没食子酰基。除丹皮酚与糖缩合成苷外,没食子酸也可直接与糖缩合成苷。油用牡丹中的酚及酚苷类成分具有多种生物活性,如没食子酸具有抗菌、抗炎、抗病毒、抗氧化等活性^[13];丹皮酚具有抗菌消炎、抗肿瘤、抗动脉粥样硬化、抗心肌缺血、抗心律失常、抗胃溃疡等药理活性,在降血糖、降血脂、增强机体免疫和神经保护等方面也有明显的作用^[10,12]。从油用牡丹中报道的酚及酚苷类化合物共有36个,这些化合物的名称及存在部位见表2。

1.3 低聚芪类

芪类化合物是以白藜芦醇或其它二苯乙烯为单体聚合而成的一类具有1,2-二苯乙烯骨架的化合物的总称,分子中都含有C6-C2-C6结构单元,主要分为四大类:二苯乙烯类、菲类、联苄类和双联苄类。白藜芦醇是芪类化合物中发现最早、研究最多、应用最广泛的一种天然产物。油用牡丹中的芪类化合物多以低聚体形式出现,主要为二聚体和三聚体,最高达四聚体,是牡丹籽及籽粕中的特征性成分,具有抗菌、抗炎、抗氧化、抗肿瘤等生物活性^[14,15,31]。从油用牡丹中报道的低聚芪类化合物共有18个,这些化合物的名称及存在部位见表3。

1.4 黄酮类

从油用牡丹中报道的黄酮类化合物共有34个,主要来自于花和叶等部位,结构类型涵盖黄酮、黄酮醇、二氢黄酮和二氢黄酮醇等,主要包括芹菜素、槲皮素、木犀草素、山柰酚以及它们的衍生物和配糖体等。山柰酚具有抗菌、抗炎、预防癌症和糖尿病等功能;木犀草素具有抗炎、抗肿瘤、抗过敏、降血压等活性;槲皮素具有抗炎、抗氧化、抗病毒等作用;芹菜素具有抗菌、抗炎、抗病毒、抗氧化、抗肿瘤、降血糖等多种药理活性^[13]。这些化合物的名称及存在部位见表4。

表 1 油用牡丹中的单萜苷类成分

Table 1 Monoterpene glucosides from oil peony

编号	化合物	部位	参考文献
1	芍药苷 (paeoniflorin)	籽粕、根、花、叶	[14-20]
2	氧化芍药苷 (oxypaeoniflorin)	籽粕、花、叶	[15,16,19-22]
3	10-羟基-芍药苷 (10-hydroxy-paeoniflorin)	籽粕	[16,21]
4	没食子酰芍药苷 (galloylpaeoniflorin)	籽、花、叶	[16,19,21-23]
5	苯甲酰芍药苷 (benzoylpaeoniflorin)	籽、根、花	[16-18,20-24]
6	苯甲酰氧化芍药苷 (benzoyloxypaeoniflorin)	籽、花、叶	[16,19,21-23,25]
7	异麦芽糖芍药苷 (isomaltopaeoniflorin)	籽粕	[21,22]
8	4-甲氧基-芍药苷 (4-methoxy-paeoniflorin)	籽粕、根皮	[16,18,21,22,26]
9	4-甲氧基-氧化芍药苷 (4-methoxy-oxypaeoniflorin)	籽粕	[16,21,22,26]
10	吡啶芍药苷 (pyrindylpaeoniflorin)	籽粕	[16,21,22,26]
11	8-去苯甲酰芍药苷 (8-debenzoylpaeoniflorin)	籽粕	[21,22,26,27]
12	6'-O-香草芍药苷 (6'-O-vanillylpaeoniflorin)	根皮	[18]
13	芍药新苷 (lactiflorin)	根皮	[18]
14	芍药内酯苷 (albiflorin)	籽粕、根皮、花粉	[13,15,16,18,21,22]
15	氧化芍药内酯苷 (oxyalbiflorin)	籽粕	[16,21,22,27]
16	4"-羟基-芍药内酯苷 (4"-hydroxyl-albiflorin)	籽粕	[15]
17	8-O-去苯甲酰芍药内酯苷 (8-O-debenzoyl-albiflorin)	籽粕	[21,22,27]
18	芍药内酯苷 R ₁ (albiflorin R ₁)	籽粕	[15,16,21,22]
19	β -gentiobiosyl-paeoniflorin	籽粕	[15,21,22,27]
20	牡丹酚苷 A (paeostiside A)	籽	[28]
21	牡丹酚苷 B (paeostiside B)	籽	[28]
22	牡丹酚苷 C (paeostiside C)	籽	[28]
23	4,9-dihydroxy-8,10-dehydrothymol-1-O- β -D-glucopyranoside	籽	[22,28]
24	oxypaeonidanin	籽粕	[16,21,22,26]
25	paeonifanin	籽粕	[16,21,22,27]
26	牡丹皮苷 A (mudanpioside A)	籽	[23]
27	牡丹皮苷 B (mudanpioside B)	花、叶	[19]
28	牡丹皮苷 C (mudanpioside C)	根、花、叶、籽	[17,19,23]
29	牡丹皮苷 D (mudanpioside D)	籽	[23]
30	牡丹皮苷 E (mudanpioside E)	籽	[23]
31	牡丹皮苷 F (mudanpioside F)	籽粕	[16,21,22]
32	牡丹皮苷 H (mudanpioside H)	籽、花	[19,23]
33	牡丹皮苷 J (mudanpioside J)	籽	[23]
34	牡丹苷 A (mudanoside A)	籽	[23]
35	牡丹苷 B (mudanoside B)	籽、根	[17,23]
36	(8R)-pigeritone-4-en-9-O- β -D-glucopyranoside	籽粕	[22]
37	paeonirockoside A	籽粕	[22]
38	paeonirockoside B	籽粕	[22]
39	paeonirockoside C	籽粕	[22]
40	芍药苷元酮 (paeoniflorigenone)	根	[24]
41	牡丹酮-1-O- β -D-吡喃葡萄糖苷 (1-O- β -D-glucopyransoyl-paeonisuffron)	籽粕	[15,21,22,27]

表2 油用牡丹中的酚及酚苷类成分

Table 2 Phenolics and phenolic glycosides from oil peony

编号	化合物	部位	参考文献
42	丹皮酚 (paeonol)	根、籽	[23,24,29]
43	resacetophenone	根	[24]
44	丹皮酚新苷 (apiopaeonoside)	根皮	[18]
45	suffruticoside A	籽	[23]
46	suffruticoside C	籽	[23]
47	suffruticoside E	根皮	[18]
48	虎杖苷 (polydatin)	籽粕	[30]
49	1-(<i>p</i> -hydroxybenzoate)- β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucopyranoside	籽粕	[30]
50	苯甲酸 (benzoic acid)	籽、根	[17,23,24,29]
51	对羟基苯甲酸 (<i>p</i> -hydroxybenzoic acid)	籽、根	[17,23]
52	肉桂酸 (cinnamic acid)	籽	[23]
53	对羟基苯乙酸 (<i>p</i> -hydroxyphenylacetic acid)	籽	[23]
54	邻苯二甲酸 (phthalic acid)	籽	[23]
55	香草酸 (vanillic acid)	籽、根	[17,23,24]
56	没食子酸 (gallic acid)	籽、根、花、叶	[13,17,19,23,29]
57	阿魏酸 (ferulic acid)	花、籽	[20,23]
58	芥子酸 (sinapic acid)	籽	[23]
59	绿原酸 (chlorogenic acid)	花、籽	[20,23,29]
60	儿茶素 catechin	籽	[29]
61	表儿茶素 epicatechin	根、籽	[17,29]
62	咖啡酸 (caffeic acid)	籽	[14,29]
63	乙酰香草酮 (acetovanillone)	根	[24]
64	lawsone	根	[24]
65	没食子酸甲酯 (methyl gallate)	根、花、叶	[17,19,20,25]
66	没食子酸乙酯 (ethyl gallate)	根、花、叶	[17,19]
67	对香豆酸 (<i>p</i> -coumaric acid)	根	[17]
68	5-hydroxy-3 <i>S</i> -hydroxymethyl-6-methyl-2,3-dihydrobenzofuran	根	[17]
69	acetoisovanillone-3- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	根皮	[18]
70	2-hydroxy-acetoisovanillone-3- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	根皮	[18]
71	羟基苯甲酸 (hydroxybenzoic acid)	花、叶	[19,25]
72	双没食子酸甲酯 (methyl digallate)	花、叶	[19,25]
73	对羟基苯甲醛 (<i>p</i> -hydroxybenzaldehyde)	花粉	[13]
74	原儿茶酸 (protocatechuic acid)	花	[20]
75	原花青素 B2 (procyanidin B2)	花	[20]
76	水杨酸 (salicylic acid)	花	[20]

1.5 三萜类

从油用牡丹中报道的三萜类化合物共有 15 个, 主要来自于牡丹根中, 结构类型以齐墩果烷型的五环三萜和降三萜类为主。齐墩果酸具有降血糖、降血脂、

抗动脉粥样硬化、保护肝损伤等药理活性, 临床上可用于治疗急性肝炎。牡丹籽油中还含有链状三萜类化合物角鲨烯, 具有抗氧化、抗肿瘤、抗衰老、抗疲劳、增强免疫等多种功效^[37]。油用牡丹中三萜类化合物的名称及存在部位见表 5。

表3 油用牡丹中的低聚芪类成分

Table 3 Oligostilbenes from oil peony

编号	化合物	部位	参考文献
77	白藜芦醇 (resveratrol)	籽粕	[14]
78	氧化白藜芦醇 (oxyresveratrol)	籽	[23]
79	反式白藜芦醇 (trans-resveratrol)	籽	[29]
80	<i>trans-resveratrol-4'-O-β-D-glucopyranoside</i>	籽粕	[14]
81	rockiiol A	籽粕	[31]
82	rockiiol B	籽粕	[31]
83	rockiiol C	籽粕	[32]
84	gnetin H	籽粕、籽壳	[32-34]
85	suffruticosol A	籽粕、籽壳	[14,32-34]
86	suffruticosol B	籽粕、籽壳	[14,32-34]
87	suffruticosol C	籽粕、籽壳	[32-34]
88	顺式-ε-葡萄素 (<i>cis-ε-viniferin</i>)	籽粕、籽壳	[33,34]
89	反式-ε-葡萄素 (<i>trans-ε-viniferin</i>)	籽粕、籽壳	[14,33,34]
90	pauciflorol E	籽粕	[33]
91	蛇葡萄素 B (ampelopsin B)	籽粕	[33]
92	hopeafuran	籽粕	[33]
93	葡萄素 C (vitisinol C)	籽粕	[33]
94	蛇葡萄素 E (ampelopsin E)	籽粕	[14]

表4 油用牡丹中的黄酮类成分

Table 4 Flavonoids from oil peony

编号	化合物	部位	参考文献
95	芹菜素 (apigenin)	籽、花、叶	[13,14,19,20,25,29]
96	槲皮素 (quercetin)	花粉	[13]
97	木犀草素 (luteolin)	籽、花、叶	[14,19,29]
98	木犀草素-4'-O-β-D-葡萄糖苷 (luteolin-4'-O-β-D-glucopyranoside)	籽粕	[14]
99	木犀草素-7-O-β-D-葡萄糖苷 (luteolin-7-O-β-D-glucoside)	籽粕	[30]
100	山柰酚 (kaempferol)	籽、花	[14,19,29]
101	花旗松素 (taxifolin)	根、花	[17,20]
102	山柰酚-3,7-二-O-β-D-葡萄糖苷 (kaempferol-3,7-di-O-β-D-glucopyranoside)	花、叶	[19,35]
103	异鼠李素 (isorhamnetin)	花、叶	[19,20,25]
104	异鼠李素-3-O-葡萄糖苷 (isorhamnetin-3-O-glucoside)	花、叶	[19,25]
105	紫云英苷 (astragaln)	花、叶	[19,20,25]
106	异鼠李素-7-O-葡萄糖苷 (isorhamnetin-7-O-glucoside)	花	[19]
107	槲皮素-3-O-葡萄糖苷 (quercetin-3-O-glucoside)	花、叶	[19,20,25]
108	金丝桃苷 (hyperoside)	花	[20]
109	isorhamnetin-3-O-neohesperidoside	花	[20]
110	柚皮苷 (naringin)	花	[20]
111	柚皮素 (naringenin)	籽	[23]
112	圣草素 (eriodictyol)	籽	[23]
113	牡荆素 (vitexin)	籽	[23]
114	荭草素 (orientin)	籽	[23]

转下页

接上页			
115	芦丁 (rutin)	籽、花	[20,23,29]
116	木犀草素-7-O-葡萄糖苷 (luteolin-7-O-glucoside)	花、叶	[19]
117	槲皮素-7-O-葡萄糖苷 (quercetin-7-O-glucoside)	花、叶	[19,25]
118	异鼠李素-3,7-二-O-葡萄糖苷 (isorhamnetin-3,7-di-O-glucoside)	花、叶	[19,25]
119	槲皮素-3,7-二-O-葡萄糖苷 (quercetin-3,7-diglucoside)	花、叶	[19]
120	柠檬黄素 (limocitrin)	花粉	[13]
121	8-甲氧基山柰酚 (8-methoxykaempferol)	花粉	[13]
122	柠檬素-3-β-D-葡萄糖苷 (limocitrin-3-β-D-glucoside)	花粉	[13]
123	sexangularetin-3-O-yl-β-D-sophoroside	花粉	[13]
124	limocitrin-3-O-yl-β-D-sophoroside	花粉	[13]
125	二氢山柰酚 (dihydrokaempferol)	花	[36]
126	芹菜素-7-O-β-D-葡萄糖苷 (apigenin-7-O-β-D-glucoside)	花、叶	[19,36]
127	芹菜素-7-O-β-D-新橙皮糖苷 (apigenin-7-O-β-D-neohesperidoside)	花	[36]
128	山柰酚-7-O-β-D-葡萄糖苷 (kaempferol-7-O-β-D-glucopyranoside)	花、叶	[19,25,36]

表 5 油用牡丹中的三萜类成分

Table 5 Triterpenoids from oil peony

编号	化合物	部位	参考文献
129	齐墩果酸 (oleanolic acid)	籽粕、根	[14,24,30]
130	白桦脂酸 (betulinic acid)	籽粕、根	[14,24,30]
131	常春藤皂苷元 (hederagenin)	籽粕、根	[14,17,24]
132	30-降常春藤皂苷元 (30-norhederagenin)	根	[17,24]
133	11α,12α-epoxy-3β,4β,13β-trihydroxy-24,30-dinor-olean-20(29)-en-28,13β-olide	根	[24]
134	3β,23-dihydroxy-30-nor-olean-12,20-dien-28-oic acid	根	[24]
135	3β,4β,23-trihydroxy-24-nor-olean-12-en-28-oic acid	根	[24]
136	11α,12α-epoxy-3β,23-dihydroxy-30-nor-olean-20(29)-en-28,13β-olide	根	[24]
137	akebonic acid	根	[24]
138	23-羟基白桦脂酸 (23-hydroxybetulinic acid)	根	[24]
139	paeonenoide A	根	[24]
140	paeonenoide C	根	[24]
141	3β,4β,23-trihydroxy-24,30-dinorolean-12,20(29)-dien-28-oic acid	根	[17,24]
142	芍药二酮 (palbinone)	根	[24]
143	角鲨烯 (squalene)	籽	[37]

1.6 脂肪酸类

牡丹籽油中的不饱和脂肪酸含量可高达 90%以上, 主要为亚麻酸、亚油酸和油酸, 其中亚麻酸含量占 31.56%~66.85%, 亚油酸含量 20.57%~28.12%, 油酸含量 15.22%~27.73%; 饱和脂肪酸主要为硬脂酸和棕榈酸, 其中硬脂酸含量 0.18%~4.14%, 棕榈酸含量 3.76%~13.36%^[37]。从油用牡丹中报道的脂肪酸类化合物共有 36 个, 包括 13 个不饱和脂肪酸 (144~156) 和 23 个饱和脂肪酸 (157~179), 主要来自于牡丹籽油, 这些化合物的名称及存在部位见表 6。亚麻酸具

有降血脂、降低胆固醇、抗衰老、抗过敏、增强免疫等功效; 亚油酸具有抗氧化、抗肿瘤、预防糖尿病和心脑血管疾病等作用; 油酸具有预防动脉粥样硬化和冠心病等作用^[2,38-42]。其中亚麻酸和亚油酸是人体不能合成必须从食物中获得的必需脂肪酸, 亚麻酸被称为“植物脑黄金”^[38]。植物油中的脂肪酸主要是含有偶数碳的直链羧酸, 但是牡丹籽油中含有具有抗癌活性的奇数碳脂肪酸, 如十五烷酸、十七烷酸、二十三烷酸等。此外, 还含有少量环状结构的脂肪酸, 如 2-己基环丙烷辛酸、2-辛基环丙烷辛酸等^[40,42]。

表 6 油用牡丹中的脂肪酸类成分

Table 6 Fatty acids from oil peony

化合物种类	编号	化合物名称	部位	参考文献	
不饱和脂肪酸	144	亚麻酸 (linolenic acid)	籽	[38-42]	
	145	亚油酸 (linoleic acid)	籽	[38-42]	
	146	油酸 (oleic acid)	籽	[38-42]	
	147	棕榈油酸 (palmitoleic acid)	籽	[38,40-42]	
	148	15-methyl-11-hexadecenoic acid	籽	[39]	
	149	7,10-octadecendioic acid	籽	[40,42]	
	150	二十碳一烯酸 (eicosenoic acid)	籽	[40-42]	
	151	十二碳烯酸 (dodecenoic acid)	籽	[38]	
	152	十六碳二烯酸 (hexadecadienoic acid)	籽	[38]	
	153	十七碳一烯酸 (heptadecenoic acid)	籽	[38,41]	
	154	二十碳二烯酸 (eicosadienoic acid)	籽	[38,41]	
	155	芥酸 (erucic acid)	籽	[38]	
	156	二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid)	籽	[41]	
	饱和脂肪酸	157	硬脂酸 (stearic acid)	籽	[38-42]
		158	棕榈酸 (palmitic acid)	籽	[38-42]
		159	辛酸 (octanoic acid)	籽	[39]
160		8-羧基-辛酸 (8-oxo-octanoic acid)	籽	[39]	
161		9-羧基-壬酸 (9-oxo-nonanoic acid)	籽	[39]	
162		十二烷酸 (lauric acid)	籽	[39]	
163		10-羧基-癸酸 (10-oxo-decanoic acid)	籽	[39]	
164		壬二酸 (azelaic acid)	籽	[39]	
165		豆蔻酸 (myristic acid)	花、籽	[38-42]	
166		十五烷酸 (pentadecanoic acid)	籽	[39,40,42]	
167		十七烷酸 (heptadecanoic acid)	籽	[38-42]	
168		9,10,12-trimethoxy-stearic acid	籽	[39]	
169		8,10-dimethoxy-stearic acid	籽	[39]	
170		花生酸 (arachidic acid)	籽	[38-42]	
171		11-hydroxy-nonadecanoic acid	籽	[39]	
172		山嵛酸 (docosanoic acid)	籽	[38-40,42]	
173		木焦油酸 (tetracosanoic acid)	籽	[38-40,42]	
174		二十六烷酸 (hexacosanoic acid)	籽	[39]	
175		2-己基环丙烷辛酸 (2-hexylcyclopropaneoctanoic acid)	籽	[40,42]	
176		2-辛基环丙烷辛酸 (2-octylcyclopropaneoctanoic acid)	籽	[40,42]	
177		二十三烷酸 (tricosanoic acid)	籽	[38,40,42]	
178		二十一烷酸 (heneicosanoic acid)	籽	[38]	
179		己酸 (caproic acid)	花	[43]	

1.7 其他类

除上述化学成分外,油用牡丹中还含有其他多种成分,如单宁类(180~186)、甾醇类(187~189)和维生素 E 类(190~194)以及烷烃类(195~212)、芳香族类(213~231)、萜烯类(232~239)、酯类

(240~253)、醇类(254~262)和其他类(263~275)等挥发性成分,这些化合物的名称及存在部位见表 7。其中单宁类成分主要存在于油用牡丹的花和叶中,甾醇类和维生素 E 类成分主要存在于牡丹籽油中,挥发性成分主要存在于牡丹籽油和花中。单萜烯类和芳香族类物质赋予牡丹花独特的香味,并具有抗菌、抗氧

化等生物活性^[43]。单宁类成分具有抗菌、抗氧化、抗病毒、抗肿瘤以及免疫调节活性^[35]。植物甾醇具有降低胆固醇、预防动脉粥样硬化和心血管系统疾病、保护胃黏膜、促进新陈代谢和调节激素水平等生理功能，维生素 E 具有抗氧化、抗衰老、调节免疫、预防冠心病和癌症等作用^[37,41]。

表 7 油用牡丹中的其他类成分

Table 7 Other constituents from oil peony

化合物种类	编号	化合物名称	部位	参考文献
单宁类	180	1- <i>O</i> -galloyl- β -D-glucose	花、叶	[19,35]
	181	1,2,3,4,6-penta- <i>O</i> -galloyl- β -D-glucopyranose	花	[20,35]
	182	五没食子酰葡萄糖 (pentagalloyl glucose)	花、叶	[19]
	183	四没食子酰葡萄糖 (tetragalloyl glucose)	花、叶	[19,25]
	184	二没食子酰葡萄糖 (digalloyl glucose)	花、叶	[25]
	185	三没食子酰葡萄糖 (trigalloyl glucose)	花、叶	[19]
	186	6- <i>O</i> -(<i>m</i> -galloyl)galloyl-1,2,3,4-tetragalloylglucose	叶	[19]
甾醇类	187	β -谷甾醇 (β -sitosterol)	籽	[37]
	188	γ -谷甾醇 (γ -sitosterol)	籽	[37]
	189	岩藻甾醇 (fucosterol)	籽	[37]
维生素 E 类	190	α -生育酚 (α -tocopherol)	籽	[37]
	191	γ -生育酚 (γ -tocopherol)	籽	[37]
	192	δ -生育酚 (δ -tocopherol)	籽	[37]
	193	α -生育三烯酚 (α -tocotrienol)	籽	[37]
	194	γ -生育三烯酚 (γ -tocotrienol)	籽	[37]
烷烃类	195	十二烷 (dodecane)	籽	[39]
	196	十三烷 (tridecane)	籽	[39]
	197	十四烷 (tetradecane)	籽、花	[39,43]
	198	十五烷 (pentadecane)	籽、花	[39,43]
	199	十六烷 (hexadecane)	籽、花	[39,42,43]
	200	癸烷 (decane)	籽	[42]
	201	十一烷 (hendecane)	籽	[42]
	202	十七烷 (heptadecane)	籽、花	[42,43]
	203	十八烷 (octadecane)	籽、花	[42,43]
	204	十九烷 (nonadecane)	籽	[42]
	205	二十烷 (eicosane)	籽	[42]
	206	十七烷基环己烷 (heptadecylcyclohexane)	籽	[42]
	207	二十四烷 (tetracosane)	籽	[42]
	208	二十五烷 (pentacosane)	籽	[42]
209	二十六烷 (hexacosane)	籽	[42]	
210	二十七烷 (heptacosane)	籽	[38]	
211	二十八烷 (octacosane)	籽	[38]	
212	二十一烷 (heneicosane)	籽	[38]	
芳香族类	213	丁基苯 (butylbenzene)	籽	[39]
	214	异丁烯基苯 (isobutylenebenzene)	籽	[39]
	215	2-丁烯基-苯 (2-butenyl-benzene)	籽	[39]
	216	戊基苯 (phenylbenzene)	籽	[39]
	217	1-戊烯基-苯 (1-pentenyl-benzene)	籽	[39]

转下页

接上页				
	218	己基苯 (hexylbenzene)	籽	[39]
	219	庚基苯 (heptylbenzene)	籽	[39]
	220	2,6-ditertbutyl-benzoquinone	籽	[42]
	221	2,6-ditertbutyl-methylphenol	籽	[42]
	222	2,6-ditertbutyl-4-methoxyphenol	籽	[42]
	223	3,5-ditertbutyl-4-methoxy-1,4-dihydrobenzaldehyde	籽	[42]
	224	2,4-二叔丁基-苯酚 (2,4-di-tert-butylphenol)	籽	[38]
	225	α -甲基苯乙烯 (α -methylstyrene)	花	[43]
	226	苯乙酮 (acetophenone)	花	[43]
	227	苯乙醛 (phenylacetaldehyde)	花	[43]
	228	苯并吡啶 (pyridyl phenyl ketone)	花	[43]
	229	肉桂醛 (cinnamic aldehyde)	花	[43]
	230	1,3,6-三甲氧基苯 (1,3,5-trimethoxybenzene)	花	[43]
	231	1,2,3,4-四甲氧基苯 (1,2,3,4-tetramethoxybenzene)	花	[43]
	232	月桂烯 (myrcene)	花	[43]
	233	α -水芹烯 (α -phellandrene)	花	[43]
	234	α -松油烯 (α -terpinene)	花	[43]
萜烯类	235	柠檬烯 (limonene)	花	[43]
	236	β -罗勒烯 (β -ocimene)	花	[43]
	237	γ -松油烯 (γ -terpinene)	花	[43]
	238	反式柠檬醛 (<i>trans</i> -citral)	花	[43]
	239	波斯菊萜 (cosmene)	花	[43]
	240	顺式氧化芳樟醇 (<i>cis</i> -linalool oxide)	花	[43]
	241	反式氧化芳樟醇 (<i>trans</i> -linalool oxide)	花	[43]
	242	芳樟醇 (linalool)	花	[43]
	243	二氢芳樟醇 (dihydrolinalool)	花	[43]
	244	苯甲醇 (hydroxybenzyl alcohol)	花	[43]
	245	苯乙醇 (phenylethyl alcohol)	花	[43]
醇类	246	3-薷烯-2-醇 (3-carene-2-ol)	花	[43]
	247	<i>trans</i> -3,7-linalool oxide	花	[43]
	248	γ -松油醇 (γ -terpineol)	花	[43]
	249	苯氧乙醇 (phenoxyethanol)	花	[43]
	250	橙花醇 (nerol)	花	[43]
	251	苯丙醇 (phenylpropanol)	花	[43]
	252	3,7-dimethyl-2,6 octadien-1-ol	花	[43]
	253	肉桂醇 (cinnamic alcohol)	花	[43]
	254	邻苯二甲酸二甲酯 (dimethyl phthalate)	花	[43]
	255	己二酸二异丙酯 (diisopropyl adipate)	花	[43]
	256	对羟基苯甲酸乙酯 (ethyl <i>p</i> -hydroxybenzoate)	花	[43]
酯类	257	邻苯二甲酸二乙酯 (diethyl phthalate)	花	[43]
	258	2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	花	[43]
	259	磷酸三丁酯 (tributyl phosphate)	花	[43]
	260	邻苯二甲酸二异丁酯 (diisobutyl phthalate)	花	[43]

转下页

接上页				
	261	邻苯二甲酸二丁酯 (dibutyl phthalate)	花	[43]
	262	十六酸乙酯 (ethyl hexadecanoate)	花	[43]
	263	5-butylhydroxy- γ -lactone	根	[17]
	264	ethyl α -L-arabinopyranose	根	[17]
	265	4-壬烯醛 (4-nonenal)	籽	[39]
	266	壬醛 (nonaldehyde)	籽	[39]
	267	2-戊基-噻吩 (2-pentylthiophene)	籽	[39]
	268	十六烷基乙烯基醚 (cetyl vinyl ether)	籽	[38]
其他类	269	十四烷基环氧乙烷 (1,2-epoxyhexadecane)	籽	[38]
	270	二辛基酮 (dioctyl ketone)	籽	[38]
	271	糠醛 (furaldehyde)	花	[43]
	272	环己酮 (cyclohexanone)	花	[43]
	273	2-呋喃基甲基酮 (2-furyl methyl ketone)	花	[43]
	274	甲氧基苯肼 (2-oxime-2-methoxy-pheny)	花	[43]
	275	5-甲基-糠醛 (5-methyl furfural)	花	[43]

表8 油用牡丹不同部位化学成分分类

Table 8 Classification of chemical constituents in different parts of oil peony

化合物类型	籽	根	花	叶	合计
单萜苷类 (Monoterpene glucosides)	37	10	9	6	41
酚及酚苷类 (Phenolics and phenolic glycosides)	18	17	11	5	36
低聚芪类 (Oligostilbenes)	18	0	0	0	18
黄酮类 (Flavonoids)	10	1	28	13	34
三萜类 (Triterpenoids)	4	14	0	0	15
脂肪酸类 (Fatty acids)	36	0	2	0	36
其他类 (Others)	44	2	54	6	96
合计 (Total)	167	44	104	30	276

1.8 油用牡丹不同部位化学成分的差异

油用牡丹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8)。总的来说,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;低聚芪类成分只存在于牡丹籽中;黄酮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;脂肪酸类成分主要存在于牡丹籽油中;萜烯类、烷烃类、芳香族类、酯类、醇类等其他类成分主要存在于牡丹籽油和花中;其中单萜苷类成分、酚及酚苷类成分和黄酮类成分是四个部位的共有成分。不同的提取分析方法会影响油用牡丹各部位的化学成分,如溶剂提取法和超临界 CO₂ 萃取法,大分子成分和非挥发性成分较多;而顶空固相微萃取法和水蒸气蒸馏法,小分子成分和挥发性成分较多。此外,栽培品种、生长环境、采收时间、加工方法等也会影响油用牡丹不同部位化学成分的種類和含量。

2 油用牡丹不同部位开发利用

2.1 油用牡丹籽

牡丹籽油富含亚麻酸、亚油酸、油酸等丰富的不饱和脂肪酸,具有抗氧化、降血糖、降血脂、预防心脑血管疾病等功效,是一种高档营养保健食用油。除了食用之外,牡丹籽油还是制作护肤品和化妆品的好原料。高婷婷等^[44]研究表明,牡丹籽油在 240~420 nm 有较强的吸收,能较好地吸收紫外线 UVB 和 UVA,可作为基底油添加在防晒霜和隔离霜中,具有一定的防晒美白功效。周畅^[45]研究表明牡丹籽油对人体皮肤有保湿作用,可缓解皮肤干燥,促进皮肤新陈代谢,使皮肤水润有弹性,并探索了牡丹籽油作为化妆品基础油的加工工艺。牡丹籽油中的 VA 和 VE 含量较高,对缓解皮肤老化和角质硬化脱皮、皮肤干燥和皱裂以及治疗黄褐斑有一定效果,可进一步加工成化妆品^[46]。牡丹籽出油率一般在 20%~30%,因此榨油后至

少会产生 70% 的饼粕，牡丹籽饼粕富含蛋白质，可进一步加工成食品，也可作饲料。目前利用牡丹籽饼粕开发的产品有牡丹蛋白粉、牡丹植物蛋白饮料、牡丹多肽、牡丹酵素等^[11]。此外，油用牡丹籽仁还可加工成口嚼片，是一种营养价值高、老少皆适宜的功能保健品^[47]。

2.2 油用牡丹根

油用牡丹根皮可入药，尤以“凤丹”为佳，又称“丹皮”，丹皮炮制品主要有生品、酒炙、清炒及炭炒等，除直接作药材之外，还可加工成丹皮饮片、丹皮浓缩颗粒等^[48]。丹皮在中药处方中应用甚广，《中华人民共和国药典》收录的含丹皮的复方制剂多达 30 余种，例如六味地黄颗粒、金匱肾气浓缩丸、血美安胶囊、知柏地黄丸等^[12]。丹皮除了可用于降血糖、降血压、抗肿瘤、抗过敏以及心血管系统疾病等治疗外，还可用于口腔护理、美容护肤以及皮肤病治疗等方面。以丹皮为主要原料可制作牙膏、含漱液、口香糖、鼻炎口服液等，还可配伍其他中草药制作美白面膜和祛斑软膏，可用于治疗色斑、粉刺和湿疹，有美容护肤的功效^[49]。

2.3 油用牡丹花

牡丹花是一种较好的天然营养保健资源，其中油用品种“凤丹”牡丹的花被国家列为新食品原料^[1]，以油用牡丹花为原料可制作成牡丹羹、牡丹酱以及牡丹糕等特色产品^[50]。油用牡丹花经特殊工艺可制成具有安神养血、清热解毒、美容养颜等功效的牡丹花茶，也可经发酵制作成纯天然牡丹花汁饮料^[9]。以牡丹花为原料酿制的牡丹花露酒、牡丹花发酵酒、牡丹花葡萄酒等也越来越受欢迎^[1]。油用牡丹花中还含有丰富的黄酮、多酚以及挥发油等活性成分，具有较强的抗氧化作用，是制作化妆品、护肤品的良好原料^[9]。姜宇^[51]研究了化妆品用牡丹花精油和籽油的制备工艺及其功效，将牡丹花精油和牡丹籽油按不同配比混合，优选出一种具有天然牡丹香气的复配化妆品基础油。除此之外，牡丹花粉也具有很高的营养价值，富含蛋白质和多种活性物质，已被开发成口服液，还可作为保健面条、酸奶等的辅料^[1,52]。

2.4 油用牡丹叶

目前对油用牡丹叶的开发利用研究较少，以牡丹嫩叶或春季牡丹芽为原料可制成茶叶，牡丹叶还可用作染料。牡丹叶中含有大量黄酮类、酚酸类等活性物质，其总黄酮对大肠杆菌、沙门氏菌等多种致病菌均

有抑制作用，是一种潜在的药用资源^[1]。

3 油用牡丹开发利用存在的主要问题及发展对策

目前油用牡丹加工产品主要以牡丹籽油为主，产品形式单一，且花和叶等部位的精深加工和开发利用较为滞后。制约油用牡丹精深加工利用的因素主要有：

(1) 营养价值挖掘不充分，不同部位的健康效应缺乏系统研究；(2) 活性物质不明确，虽然已有部分化学成分从油用牡丹不同部位报道，但发挥功效的化学成分未被解析；(3) 专用加工技术缺乏，现有提取加工技术导致活性物质损失严重，难以兼顾高活性与高得率；(4) 产品类型比较单一，难以满足个性化与多元化的消费需求。

针对油用牡丹加工利用中存在的主要问题，可采取以下对策：(1) 利用现代营养学手段研究油用牡丹不同部位的保健功效和作用机制，明确其营养价值；

(2) 应用多种波谱技术表征油用牡丹不同部位中活性物质的化学结构，解析各部位的活性物质基础；(3) 针对油用牡丹不同部位中活性物质的种类和理化特性，建立适用的配套加工技术，最大程度地保留活性物质；(4) 针对不同人群的消费需求，精准设计产品，促使油用牡丹产业向食品营养、医药保健、日用化工等精深加工领域延伸。

4 总结与展望

4.1 油用牡丹作为新型木本油料作物，不仅具有很高的油用价值，其根、花、叶以及籽油加工副产物中还含有丰富的活性物质，主要包括单萜苷类、酚及酚苷类、低聚芪类、黄酮类、三萜类、脂肪酸类以及其他类等结构类型，具有很高的开发潜力。但目前关于油用牡丹的开发利用主要集中在牡丹籽油，其他部位还有待进一步研究和开发。本文对油用牡丹不同部位（籽、根、花、叶）的化学成分与开发利用两个方面进行综述，并探讨了制约油用牡丹精深加工的影响因素，以期对油用牡丹产业的综合开发利用提供依据。

4.2 近年来，为了降低我国食用油对外依存度，确保国家粮油安全，国务院办公厅印发了《关于加快木本油料产业的发展意见》，大力倡导发展木本油料产业。油用牡丹作为三大重点开发的木本油料作物之一，深受国家和地方政府的重视，种植面积和产量年年攀升。未来油用牡丹产业将充分发挥其食用、药用、观赏和文化价值，加速向食品营养、医药保健、日用化工、旅游观光、生态保护等领域延伸，促进一二三产业融

合发展,逐步走向深层次、多领域、全方位开发的综合利用之路。

参考文献

- [1] 王斌利,王新娣,董颖,等.牡丹的食药价值研究进展[J].甘肃医药,2017,36(2):96-98
WANG Bin-li, WANG Xin-di, DONG Ying, et al. Research progress on edible and medicinal value of peony [J]. Cansu Medical Journal, 2017, 36(2): 96-98
- [2] 毛善巧,李西俊.牡丹籽油的研究进展及油用牡丹综合利用价值分析[J].中国油脂,2017,42(5):123-126
MAO Shan-qiao, LI Xi-jun. Progress in peony seed oil and comprehensive utilization value of oil peony [J]. China Oils and Fats, 2017, 42(5): 123-126
- [3] 熊凯,韩懂博,李丹丹,等.油用牡丹丰产栽培技术研究进展[J].陕西林业科技,2017,6:90-94
XIONG Kai, HAN Dong-bo, LI Dan-dan, et al. Research progress on cultivation technology of oil peony [J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2017, 6: 90-94
- [4] 田福忠,周天华,王宜磊,等.油用牡丹丰产栽培综合管理技术[J].农村经济与科技,2020,31(3):50-52
TIAN Fu-zhong, ZHOU Tian-hua, WANG Yi-lei, et al. Comprehensive management techniques for high yield cultivation of oil peony [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2020, 31(3): 50-52
- [5] 张海燕.油用牡丹的发展优势及其丰产栽培管理技术[J].现代园艺,2016,5:60-61
ZHANG Hai-yan. Development advantage of oil peony and its high yield cultivation and management techniques [J]. Xiandai Horticulture, 2016, 5: 60-61
- [6] 史小锋,任力民.超临界 CO₂ 萃取牡丹籽油的研究进展[J].粮食加工,2016,41(6):47-54
SHI Xiao-feng, REN Li-min. Research advance on preparation of peony seed oil by supercritical carbon dioxide extraction [J]. Grain Processing, 2016, 41(6): 47-54
- [7] 夏振平,刘旭富.油用牡丹籽油提取工艺和保鲜效果[J].食品工业,2019,40(6):101-104
XIA Zhen-ping, LIU Xu-fu. Extraction technology and preservation effect of seed oil of peony [J]. The Food Industry, 2019, 40(6): 101-104
- [8] 王慧娟,吴正奇,叶文祥,等.油用牡丹籽油的水酶法提取工艺优化[J].食品工业,2020,41(4):72-77
WANG Hui-juan, WU Zheng-qi, YE Wen-xiang, et al. Optimization of aqueous enzymatic extraction of peony seed oil [J]. The Food Industry, 2020, 41(4): 72-77
- [9] 张涛,高天姝,白瑞英,等.油用牡丹利用与研究进展[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2015,32(2):143-149
ZHANG Tao, GAO Tian-shu, BAI Rui-ying, et al. Utilization and research progress of oil peony [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2015, 32(2): 143-149
- [10] 翟春梅,孟祥瑛,付敬菊,等.牡丹皮的现代药学研究进展[J].中医药信息,2020,37(1):109-114
ZAI Chun-mei, MENG Xiang-ying, FU Jing-ju, et al. Research progress of peony bark in modern pharmacy [J]. Information on Traditional Chinese Medicine, 2020, 37(1): 109-114
- [11] 杨德,李露,薛淑静,等.油用牡丹综合利用技术研究进展[J].湖北农业科学,2017,56(21):4097-4100
YANG De, LI Lu, XUE Shu-jing, et al. Research progress on comprehensive utilization technology of oil peony [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(21): 4097-4100
- [12] 焦少珍.牡丹皮有效成分的药理及分析方法研究进展[J].肇庆学院学报,2006,27(5):46-50
JIAO Shao-zhen. Summary on analysing methods of cortex moutan and its preparation [J]. Journal of Zhaoqing University, 2006, 27(5): 46-50
- [13] 王新娣,石晓峰,刘东彦,等.紫斑牡丹花粉乙酸乙酯部位化学成分研究[J].天然产物研究与开发,2019,31(11):1912-1918
WANG Xin-di, SHI Xiao-feng, LIU Dong-yan, et al. Chemical constituents from ethyl acetate extract of *Paeonia rockii* pollen [J]. Natural Product Research and Development, 2019, 31(11): 1912-1918
- [14] Tian X, Guo S, Zhang S S, et al. Chemical characterization of main bioactive constituents in *Paeonia ostii* seed meal and GC-MS analysis of seed oil [J]. Journal of Food Biochemistry, 2020, 44(1): e13088
- [15] 刘普,李亮,邓瑞雪,等.凤丹籽饼粕单萜苷类成分的研究[J].中国药学杂志,2013,48(17):1445-1448
LIU Pu, LI Liang, DENG Rui-xue, et al. Monoterpene glucosides in seed cakes of *Paeonia ostii* [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2013, 48(17): 1445-1448
- [16] Liu P, Zhang Y, Gao J Y, et al. HPLC-DAD analysis of 15 monoterpene glycosides in oil peony seed cakes sourced from different cultivation areas in China [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 118: 259-270
- [17] Picerno P, Mencherini T, Sansone F, et al. Screening of a polar extract of *Paeonia rockii*: composition and antioxidant and antifungal activities [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 138(3): 705-712

- [18] Sun L, Hu H P, Chen X X, et al. Two new acetovanillone glycosides from the water-soluble fraction of *Paeonia ostii* [J]. Natural Product Research, 2019, 10: 1-5
- [19] Li J H, Kuang G, Chen X H, et al. Identification of chemical composition of leaves and flowers from *Paeonia rockii* by UHPLC-Q-exactive orbitrap HRMS [J]. Molecules, 2016, 21(7): 947
- [20] Xie L H, Yan Z G, Li M C, et al. Identification of phytochemical markers for quality evaluation of tree peony stamen using comprehensive HPLC-based analysis [J]. Industrial Crops and Products, 2020, 154: 112711
- [21] Deng R X, Yang X, Wang Y X, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of monoterpene glycoside from oil peony seed cake [J]. Journal of Food Science, 2018, 83(12): 2943-2953
- [22] Liu P, Zhang Y, Xu Y F, et al. Three new monoterpene glycosides from oil peony seed cake [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 111: 371-378
- [23] Wang X Q, Li C H, Xing C, 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(6): 770
- [24] Mencherini T, Picerno P, Festa M, et al. Triterpenoid constituents from the roots of *Paeonia rockii* ssp. *rockii* [J]. Journal of Natural Products, 2011, 74(10): 2116-2121
- [25] Bao Y T, Qu Y, Li J H, 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-HRMSⁿ via pre-column DPPH reaction [J]. Molecules, 2018, 23(2): 392
- [26] 刘普,张丽娜,孟文娟,等.油用牡丹籽饼粕单萜苷的分离、纯化及结构鉴定[J].中国食品学报,2018,18(12):283-294
LIU Pu, ZHANG Li-na, MENG Wen-juan, et al. Isolation and identification of monoterpene glucosides from seed cake of oil peony [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(12): 283-294
- [27] 刘普,许艺凡,刘佩佩,等.紫斑牡丹籽饼粕单萜苷类成分的分离鉴定[J].食品科学,2017,38(18):87-92
LIU Pu, XU Yi-fan, LIU Pei-pei, et al. Isolation and identification of monoterpene glucosides from seed cake of *Paeonia rockii* [J]. Food Science, 2017, 38(18): 87-92
- [28] Qin J J, Mao Y Y, Li J L, et al. Aromatic monoterpene glycosides from the seeds of *Paeonia ostii* [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2017, 19(12): 1149-1154
- [29] Zhang X X, Zhang G, Jin M, et al. Variation in phenolic content, profile, and antioxidant activity of seeds among different *Paeonia ostii* cultivated populations in China [J]. Chemistry and Biodiversity, 2018, 15(5): e1800093
- [30] 刘普,卢宗元,邓瑞雪,等.凤丹籽饼粕化学成分研究[J].中草药,2013,44(22):3105-3108
LIU Pu, LU Zong-yuan, DENG Rui-xue, et al. Chemical constituents from seed cake of *Paeonia ostii* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2013, 44(22): 3105-3108
- [31] Liu P, Li X F, Gao J Y, et al. Two new resveratrol trimers with antibacterial activities from seed cake of *Paeonia rockii* [J]. Chemistry of Natural Compounds, 2017, 53(1): 51-55
- [32] Liu P, Wang Y R, Gao J Y, et al. Resveratrol trimers from seed cake of *Paeonia rockii* [J]. Molecules, 2014, 19(12): 19549-19556
- [33] 刘普,牛亚琪,邓瑞雪,等.紫斑牡丹籽饼粕低聚芪类成分研究[J].中国药学杂志,2014,49(12):1018-1021
LIU Pu, NIU Ya-qi, DENG Rui-xue, et al. Oligostilbenes study from seed cakes of *Paeonia rockii* [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2014, 49(12): 1018-1021
- [34] Zhang L N, Liu P, Gao J Y, et al. Profiling and simultaneous quantitative determination of oligostilbenes in *Paeonia ostii* seed shell from different geographical areas in China and their comparative evaluation [J]. Phytochemical Analysis: PCA, 2019, 30(4): 464-473
- [35] 闫慧娇,王志伟,陈燕平,等.凤丹牡丹花瓣化学成分研究[J].山东科学,2017,30(3):12-16
YAN Hui-jiao, WANG Zhi-wei, CHEN Yan-ping, et al. Research on tannins and flavonoid from the flower petals of *Paeonia suffruticosa* Andr. cv. Fengdan [J]. Shandong Science, 2017, 30(3): 12-16
- [36] Zhang H F, Li X F, Wu K, et al. Antioxidant activities and chemical constituents of flavonoids from the flower of *Paeonia ostii* [J]. Molecules, 2017, 22(1): 5
- [37] 代慧慧,魏安池,李晓栋,等.牡丹籽油开发应用的研究进展[J].粮食与油脂,2016,29(1):4-6
DAI Hui-hui, WEI An-chi, LI Xiao-dong, et al. Research progress in the development and application of peony seed oil [J]. Cereals & Oils, 2016, 29(1): 4-6
- [38] 秦亚龙,彭峰,束晓春,等.凤丹牡丹籽油提取及其脂肪酸组分分析[J].分子植物育种,2016,14(7):1847-1851
QIN Ya-long, PENG Feng, SHU Xiao-chun, et al. Extract of peony (*Paeonia ostii* 'Fengdan') seed oils and analysis of its fatty acid components [J]. Molecular Plant Breeding, 2016, 14(7): 1847-1851
- [39] 咎丽霞,陈君红,霍科科,等.牡丹籽油脂脂肪酸成分分析及微

- 胶囊化工艺优化[J].粮食与油脂,2018,31(11):32-35
ZAN Li-xia, CHEN Jun-hong, HUO Ke-ke, et al. Analysis of fatty acid composition from peony seed oil and optimization of microcapsules processing [J]. Cereals & Oils, 2018, 31(11): 32-35
- [40] 周海梅,马锦琦,苗春雨,等.牡丹籽油的理化指标和脂肪酸成分分析[J].中国油脂,2009,34(7):72-74
ZHOU Hai-mei, MA Jin-qi, MIAO Chun-yu, et al. Physicochemical indexes and fatty acid composition of peony seed oil [J]. China Oils and Fats, 2009, 34(7): 72-74
- [41] 聂莹,朱大洲,孙君茂,等.牡丹籽油成分研究及基于营养视角下的产业对策[J].食品科技,2020,45(11):192-196
NIE Ying, ZHU Da-zhou, SUN Jun-mao, et al. Study on the components from peony seeds oil and its strategy in nutritional view [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(11): 192-196
- [42] 戚军超,周海梅,马锦琦,等.牡丹籽油化学成分 GC-MS 分析[J].粮食与油脂,2005,11:22-23
QI Jun-chao, ZHOU Hai-mei, MA Jin-qi, et al. Analysis of the chemical constituents in peony seed oil by GC-MS [J]. Cereals & Oils, 2005, 11: 22-23
- [43] 郭耀东,王佳蒙,张昂,等.商洛油用牡丹花精油挥发性成分 SPME/GC-MS 分析[J].陕西农业科学,2019,65(1):53-56
GUO Yao-dong, WANG Jia-meng, ZHANG Ang, et al. Analysis of volatile component SPME/GC-MS in peony essential oil in Shangluo [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2019, 65(1): 53-56
- [44] 高婷婷,王亚芸,任建武.GC-MS 法分析牡丹籽油的成分及其防晒效果的评定[J].食品科技,2013,38(6):296-299
GAO Ting-ting, WANG Ya-yun, REN Jian-wu. Analysis of the composition in peony seed oil by GC/MS and evaluation in the sunscreen effect [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(6): 296-299
- [45] 周畅.牡丹籽油作为化妆品基础油的开发研究[D].上海:上海交通大学,2015
ZHOU Chang. The study on peony seed oil as cosmetic base oil [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2015
- [46] 刘德晶,焦晓旭.油用牡丹产业发展现状及对策[J].西部林业科学,2015,44(2):170-173
LIU De-jing, JIAO Xiao-xu. New thoughts on the development of the oil peony industry in China [J]. Journal of West China Forestry Science, 2015, 44(2): 170-173
- [47] 郭培锦,王鑫玥,李静仪,等.油用牡丹籽仁口嚼片的研发[J].食品工业,2020,41(1):12-14
GUO Pei-jin, WANG Xin-yue, LI Jing-yi, et al. Research and development of functional food of peony seed kernel for oil use [J]. The Food Industry, 2020, 41(1): 12-14
- [48] 伍淳操,郭小红,刘霞,等.近 5 年牡丹皮现代药理学作用研究进展[J].中国新药杂志,2020,29(3):45-48
WU Chun-cao, GUO Xiao-hong, LIU Xia, et al. Advances in modern pharmaceutical action of moutan cortex in recent five years [J]. Chinese Journal of New Drugs, 2020, 29(3): 45-48
- [49] 李媛媛,郑艳,黄军祥,等.牡丹皮的综合利用现状与产业发展分析[J].现代中药研究与实践,2012,26(4):83-85
LI Yuan-yuan, ZHENG Yan, HUANG Jun-xiang, et al. Analysis of comprehensive utilization and industrial development of cortex moutan [J]. Research and Practice on Chinese Medicines, 2012, 26(4): 83-85
- [50] 游玉明,杨帆,熊运海.牡丹花的综合利用与开发前景[J].北方园艺,2011,1:67-69
YOU Yu-ming, YANG Fan, XIONG Yun-hai. Comprehensive utilization and development prospect of peony flowers [J]. Northern Horticulture, 2011, 1: 67-69
- [51] 姜宇.化妆品用牡丹花精油和籽油的制备工艺及其功效研究[D].扬州:扬州大学,2019
JIANG Yu. Study on preparation process and efficacy of tree peony essential oil and seed oil for cosmetics [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019
- [52] 韩晨静,孟庆华,陈雪梅,等.我国油用牡丹研究利用现状与产业发展对策[J].山东农业科学,2015,47(10):125-132
HAN Chen-jing, MENG Qing-hua, CHEN Xue-mei, et al. Research and utilization progresses and industrial development strategies of oil seed peony in China [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015, 47(10): 125-132