DOI:10.13210/j.cnki.jhmu.20241203.001
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/46.1049.R.20241203.1839.002

两种花椒属香料非挥发性化学成分及药理活性研究进展

粟晓微,陈秋娟,李 睿,张慧婷,刘雨玲,周华锋,苏 健,霍丽妮✉
(广西中医药大学药学院,广西 南宁 530200)

[摘要] 花椒属植物是一类具有药用和食用价值的植物资源,具有广泛的药理活性,如抗肿瘤、抗菌、抗炎、抗氧化、杀虫、抗血小板凝结、抗病毒等活性。在花椒属植物中,花椒和竹叶花椒因其独特的风味而被广泛用作调味香料。这些植物不仅富含挥发油,还含有生物碱、苯丙素、黄酮、萜类等多种化学成分。本文重点综述了这两种天然植物香料非挥发性化学成分及其药理活性,为进一步研究和开发其应用提供参考依据。

[关键词] 花椒属;花椒;竹叶花椒;香料;化学成分;药理活性
[中图分类号] R284.1;R285 [文献标志码] A [文章编号] 2097-5953(2025)06-0463-18

Progress in the study of non-volatile chemical composition and pharmacological activity of two *Zanthoxylum* L. spices

SU Xiaowei, CHEN Qiujuan, LI Rui, ZHANG Huiting, LIU Yuling, ZHOU Huafeng, SU Jian, HUO Lini ✉
(*College of Pharmacy, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning* 530200, *China*)

[*Foundation Project*]: *This study was supported by National Natural Science Foundation of China* (22067001), *High level Talent Team Cultivation Project of "Qihuang Project" of Guangxi University of Traditional Chinese Medicine* (202405), *and Guangxi University of Traditional Chinese Medicine Class B "Guipai Traditional Chinese Medicine Inheritance and Innovation Team" Project* (2022B005)

[*Author*]: *SU Xiaowei*, *E-mail*: 2538236791@*qq.com*.
[*Correspondence to*]: *HUO Lini*, *Professor*, *Master's Supervisor*, *E-mail*: *huolini*@126.*com*.

Received: 2024-09-17 *Revised*: 2024-11-23 *JHMU*, 2025;31(6):463-480

View from specialist: It is creative, and of certain scientific and educational value.

[Abstract] *Zanthoxylum* L. is a group of plant resources known for their medicinal and edible values, exhibiting a wide range of pharmacological activities, including antitumour, antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, insecticidal, antiplatelet-coagulant, antiviral and other effects. Among the *Zanthoxylum* L. plants, *Zanthoxylum Bungeanum* Maxim and *Zanthoxylum armatum* DC. are widely used as flavouring spices because of their distinctive flavour. These plants are not only rich in volatile oils, but also contain alkaloids, phenylpropanoids, flavonoids, terpenoids, and many other chemical constituents. This paper focuses on the review of the non-volatile chemical constituents of these two natural plant spices and their pharmacological activities, to provide a reference basis for their further research and development and application.

[Key words] *Zanthoxylum* L.; *Zanthoxylum Bungeanum* Maxim; *Zanthoxylum armatum* DC.; Spices; Chemical composition; Pharmacological activity

天然香料是具有芳香和辛香等典型风味的天然植物性原料的统称,一般采自植物的果实、种子、皮、根、茎、叶、花等部位[1]。香料在中国有着悠久历史,在食品加工中主要起调味、增香、着色、保鲜、防腐等作用。美国香辛料协会(Americam Spice Association)规定,任何主要用途为食品调味的植物均可归类为食用香料植物[2]。花椒属(*Zanthoxylum* L.)植物全世界约有250种,在我国现有81种36变种,

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(22067001);广西中医药大学"岐黄工程"高层次人才团队培育项目(202405);广西中医药大学B类"桂派中医药传承创新团队"项目(2022B005)
[作者简介] 粟晓微,E-mail: 2538236791@qq.com。
[通讯作者] 霍丽妮,教授,硕士研究生导师,E-mail: huolini@126.com。
[收稿日期] 2024-09-17 [修回日期] 2024-11-23 网络出版时间:2024-12-04 10:55:21

主要分布于云南、山东、海南、四川等地[3]，它们主要包含挥发油类、苯丙素类、生物碱类、黄酮类、三萜类及糖苷类等化学成分[4]。现代药理研究表明花椒属植物具有广泛的药理活性，包括抗肿瘤、抗血小板凝结、杀虫、抗炎、镇痛、抗病毒、抗菌等活性[5]。其中花椒属植物如花椒、竹叶花椒、野花椒、簕欓花椒、墨脱花椒等已有作为食用香料的报道[3,6-9]。相较于其它花椒属植物，花椒和竹叶花椒因含有独特的芳香味及麻味特性，已被广泛用作天然调味品，是最具有代表性且用途最为广泛的的两种药食同源资源[10,11]。

花椒（*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.）又名大椒、秦椒、蜀椒、汉椒、川椒等，其味辛，性温，归脾、胃、肾经，具有温中止痛、杀虫止痒的功效，常用于治疗腹泻、小儿积食、呕吐、腹痛、牙痛等症状[12]。竹叶花椒（*Zanthoxylum armatum* DC.）俗称藤椒、万花针、白总管、竹叶总管、山花椒等，有散寒、行气、杀虫、祛风的功效，可用于治疗腹泻、牙痛和风湿疼痛等症状[13]。

花椒和竹叶花椒主要包含萜烯类、醇类、醛类、酮类、酯类、环氧化合物类及脂肪烃类等多种挥发性化学成分[7]。除此之外，从植物果实、果皮和叶等部位还发现了多种非挥发性化学成分，如生物碱类、苯丙素类、黄酮及其苷类、糖苷类、萜类和酚类等，这些化学成分已被研究证明具有抗肿瘤、抗氧化、抗菌、抗炎和杀虫等多种生物活性[7]。因此，为了进一步理清这两种常用香料非挥发性化学成分与其药理活性之间的关联，本文对花椒与竹叶花椒的国内外文献进行整理归纳及综述，以期为这些香料在医药和保健领域的应用提供科学参考。

1　非挥发性化学成分

目前，已从花椒与竹叶花椒中共分离出302种非挥发性化学成分，包括生物碱类115个，其中酰胺类生物碱71个、异喹啉类生物碱28个、喹啉类生物碱10个、其他类生物碱6个，苯丙素类66个，共含有7个简单苯丙素、18个香豆素、41个木脂素，黄酮及其苷类36个、糖苷类20个、萜类15个、酚类10个。除此之外，从花椒与竹叶花椒中还分离出氨基酸、有机酸、烯酮类、内酯类等化合物。

1.1　生物碱类

从花椒与竹叶花椒中已分离出生物碱类化合物115个，是含量最为丰富的非挥发性化学成分。按其结构可分为酰胺类生物碱（1～71）、异喹啉类生物碱（72～99）、喹啉类生物碱（100～109）以及其他类生物碱（110～115）等，这些生物碱类成分具有抗肿瘤、抑菌、抗炎、镇痛、杀虫等多种药理活性[14]，被认为是植物中最有开发前景的活性成分[15]。

1.1.1　酰胺类生物碱　酰胺类生物碱结构多为链状不饱和脂肪酸酰胺，具有两个及以上共轭双键，具有独特的麻味，又称为花椒麻素，是花椒属植物的特征性成分，常作为花椒麻味风味评价的主要化学指标[16]。目前从花椒与竹叶花椒中共分离得到了71个酰胺类生物碱，如表1和图1所示。其中，大部分酰胺类生物碱来自花椒，仅有29种来自竹叶花椒。化合物α-Sanshool（4）、Dihydrobungeanool（7）、Tetrahydrobungeanool（16）等为两种香料共有成分。除了（竹叶）花椒籽外，其果皮也富含多种酰胺类生物碱。2023年，叶倩女[17]从竹叶花椒果皮中分离鉴定了5个新的酰胺类生物碱（9-12、24）。同年，王玉萍[18]从花椒果皮中也分离得到了两个酰胺类生物碱ZP-amide E（30）与ZP-amide F（31）。

表1　两种花椒属香料的酰胺类生物碱

Tab 1　Amide alkaloids of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
1	Pellitorine	竹叶花椒	19
2	Lanyuamide I	竹叶花椒	19
3	β-Sanshool	花椒	20
4	α-Sanshool	花椒、竹叶花椒	21,22
5	γ-Sanshool	花椒	23
6	Dehydro-γ-sanshool	花椒	23
7	Dihydrobungeanool	竹叶花椒、花椒	19,23
8	竹叶椒素	竹叶花椒	19
9	Zanthoamide M	竹叶花椒	17
10	Zanthoamide J	竹叶花椒	17
11	Zanthoamide K	竹叶花椒	17
12	Zanthoamide L	竹叶花椒	17
13	Hydroxy-β-sanshools	花椒、竹叶花椒	24,25
14	(2E)-N-(2-Hydroxy-2-methypropyl)-2-decatetraenamide	花椒	26

续表

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
15	ZP-amide M	花椒	27
16	Tetrahydrobungeanool	竹叶花椒、花椒	19,26
17	Hydroxy-γ-isosanshool	竹叶花椒、花椒	19,28
18	Hydroxy-ε-sanshools	花椒	28
19	Hydroxy-α-sanshools	花椒、竹叶花椒	24,25
20	Hydroxy-γ-sanshools	花椒	25
21	(2E,4E,7E,11Z)-N-(2-Hydroxy-2-methypropyl)-2,4,7,11-tetradecatetraenamide	花椒	25
22	Isobungeanool	花椒	29
23	(2E,4E,8Z,11Z)-N-(2-Hydroxy-2-methylpropyl)-2,4,8,11-tetradecatertraenamide	花椒	30
24	Zanthoamide N	竹叶花椒	17
25	(2E,6E,8E)-N-(2-Hydroxy-2-methylpropyl)-10-oxo-2,6,8-decatrienamide	花椒	30
26	(2E,6Z,8E)-N-(2-Hydroxy-2-methylpropyl)-10-oxo-2,6,8-decatrienamid	花椒	21
27	ZP-amide A	花椒、竹叶花椒	27,31
28	(2E,7E,9E)-N-(2-Hydroxy-2-methylpropyl)-6,11-dioxo-2,7,9-Dodecatrienamide	花椒	30
29	Zanthoamides A	花椒	32
30	ZP-amide E	花椒、竹叶花椒	18,31
31	ZP-amide F	花椒	18
32	Zanthoamides B	花椒	32
33	6,11-dihydroxy-N-(2-Hydroxy-2-methylpropyl)-2,7,9-dodecatrienamide	花椒	33
34	Bungeanumamide B	竹叶花椒	17
35	(2E,7E,9E)-6-Ethoxy-11-hydroxy-N-(2-hy-droxy-2-methylpropyl)-dodeca-2,7,9-tetradecatetra-enamide	花椒	26
36	(±)-ZP-amide J	花椒	27
37	ZP-amide G	花椒	27
38	Zanthoamides C	竹叶花椒、花椒	17,32
39	ZP-amide D	花椒、竹叶花椒	18,31
40	ZP-amide C	花椒、竹叶花椒	6,31
41	Zanthoamide E	花椒	34
42	(12RS,13SR)-(2E,4E,8E,10E)-N-(2-Hydroxy-2-methypropyl)-12,13-dihydroxy-2,4,8,10-tetrad-ecatetraenamide	花椒	26
43	Zanthoamide F	花椒	34
44	(12RS,13RS)-(2E,4E,9Z,11E)-N-(Hydroxy-2-methypropyl)-12,13-dihydroxy-2,4,8,10-tetradecatetraenamide	花椒	26
45	(10RS,11RS)-(2E,6Z,8E)-10,11-Dihydroxy-N-(2-hydroxy-2-methylpropyl)-2,6,8-dodecatrienam-ide	花椒	33
46	(±)-ZP-amide K	花椒	27
47	(±)-ZP-amide L	竹叶花椒、花椒	17,27
48	ZP-amide H	花椒	27
49	Bugeanumamide A	竹叶花椒、花椒	17,32
50	(2E,7E,9E)-11-Ethoxy-6-hydroxy-N-(2-hydroxy-2-methylpropyl)-dodeca-2,7,9-tetradecatetrae-namide	花椒	26
51	(±)ZP-amide N	花椒	27
52	Timuramide D	竹叶花椒	31
53	ZP-amide I	花椒	27
54	Timuramide C	花椒、竹叶花椒	27,31
55	Zanthoamides D	花椒	32
56	ZP-amide B	竹叶花椒、花椒	17,27
57	ZP-amide-4a	花椒	10
58	Timuramide A	竹叶花椒	31

续表

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
59	Timuramide B	竹叶花椒	31
60	ZP-amide O	花椒	10
61	ZP-amide P	花椒	10
62	ZP-amide P	花椒	10
63	ZP-amide S	花椒	10
64	2′,3′-Dihydroxy-α-sanshool	花椒	35
65	ZP-amide R	花椒	10
66	ZP-amide T	花椒	10
67	Armatamide	竹叶花椒	19
68	Lemairamin	花椒	36
69	橙黄胡椒酰胺	花椒	37
70	β-[(3-甲氧基-1, 3-二氧正丙基)胺基]苯丙酸甲酯	竹叶花椒	38
71	Obtucarbamate A	花椒	39

1.1.2　异喹啉类生物碱　异喹啉类生物碱是以异喹啉类或四氢异喹啉为基本母核的N-杂环化合物，主要分布在花椒属植物中[40]。目前，从这两种香料中共分离得到28个异喹啉类生物碱，如表2和图2所示。其中，共有22种来自竹叶花椒，4种为两种香料的共有成分，如去甲基白屈菜红碱(72)、(＋)-木兰花碱(95)等。2020年，娄京荣等[41]从花椒中分离得到的化合物伪非洲防己碱(85)为花椒属中首次分离。

1.1.3　喹啉类生物碱　喹啉类生物碱是以喹啉环为基本母核衍生而成的生物碱，广泛分布于芸香科大部分植物中，具有多种生物活性。目前，从花椒和竹叶花椒中共分离得到10个喹啉类生物碱，如表3和图3所示。花椒中发现的喹啉类生物碱不多，仅发现有5种，其中3种为竹叶花椒的共有成分，如合帕洛平(102)、白鲜碱(103)等。

1.1.4　其他类生物碱　除上述几种类型的生物碱外，这些植物香料中还发现了6个其他类生物碱，如表4和图4所示。2020年，吕双等[53]从花椒中分离鉴定出(1S,3S)-1-甲基-1,2,3,4-四氢-β-咔啉-3-羧酸(113)、(3S)-1,2,3,4-四氢-β-咔啉-3-羧酸(114)，这两种化合物为首次从花椒属植物中分离得到。

1.2　苯丙素类

近年来，苯丙素类成分因被证实具有广泛的生物活性而备受关注。按其骨架，可分为简单苯丙素

表2　两种花椒属香料的异喹啉类生物碱

Tab 2　Isoquinoline alkaloids of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
72	去甲基白屈菜红碱	花椒、竹叶花椒	42,43
73	德卡林碱	竹叶花椒、花椒	38,41
74	降白屈菜红碱	竹叶花椒	38
75	Isodecaline	竹叶花椒	43
76	N-nornitidine	竹叶花椒	43
77	11-甲氧基白屈菜红碱	花椒	42
78	乙氧基白屈菜红碱	花椒	44
79	两面针酮B	竹叶花椒	45
80	6-丙酮基二氢白屈菜红碱	竹叶花椒	45
81	6-Acetonyldihydrochelerythrine	竹叶花椒	46
82	6-丙酮基-N-甲基-二氢得卡瑞花椒碱	竹叶花椒	38
83	8-Acetonyldihydrofagaridine	竹叶花椒	47
84	Arnottianamide	竹叶花椒、花椒	38,42
85	伪非洲防己碱	花椒	41
86	Berberine	竹叶花椒	48
87	Sanguinarine	竹叶花椒	48
88	Escholidine perchlorate	竹叶花椒	45
89	别隐品碱	竹叶花椒	45
90	N-Methylanhydrotetrahydroberberrubine A	竹叶花椒	46
91	Allocryptopine	竹叶花椒	46
92	Hunnemannin	竹叶花椒	48
93	小檗红碱	花椒	44
94	Tetrahydropalmatine	竹叶花椒	48
95	(＋)-木兰花碱	竹叶花椒、花椒	43,49
96	Avicine	竹叶花椒	48
97	Laurifoline	竹叶花椒	48
98	L-N-Acetylanonanine	花椒	42
99	花椒棚碱	花椒	41

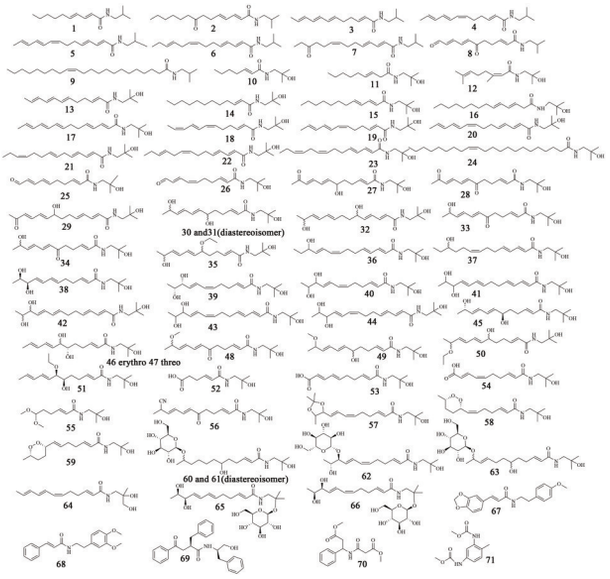

图1 两种花椒香料中的酰胺类生物碱结构

Fig 1 Structures of amide alkaloids in two *Zanthoxylum* L. spices

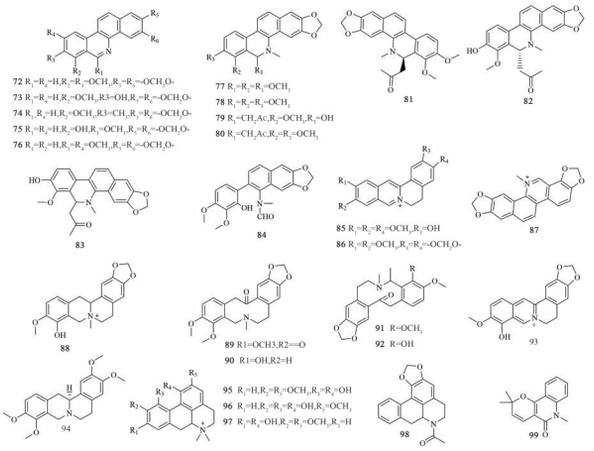

图2 两种花椒属香料中的异喹啉类生物碱结构

Fig 2 Structures of isoquinoline alkaloids in two *Zanthoxylum* L. spices

类、香豆素类、木脂素等。目前从花椒与竹叶花椒中共分离得到66个苯丙素类化合物,以香豆素和木脂素类为主要存在形式。现代药理研究表明,苯丙素类成分具有抗炎、抗肿瘤、杀虫、抗血小板凝结、抗病毒、抗菌等活性[5],是一类有潜力的活性物质。

1.2.1 简单苯丙素类 简单苯丙素类化合物在结构上属于苯丙烷衍生物,依C3侧链的类型不同,可分为苯丙醛、苯丙酸、苯丙醇及其他的衍生物。从这两种花椒属植物中共分离得到7个简单苯丙素,有5种在竹叶花椒中被发现,如表5和图5所示。2023年,翟小雪[55]从竹叶花椒中共分离鉴定出了6种简单苯丙素类化合物(116-120),其中丁香酚(116)、反式阿魏酸(117)、阿魏酸乙酯(118)为首次从芸香科植物中发现。

1.2.2 香豆素类 香豆素类是一类具有苯骈-吡喃酮母核的天然化合物的总称,大多以游离态存在,极少与糖结合成苷。大多数香豆素类化合物都具有特殊香味,也是苦味成分之一[18]。目前,从花椒与竹叶花椒中共分离得到18个香豆素类化合物,其中有7种来自竹叶花椒,仅有2种为它们的共有成分。如表6和图6所示。2021年,Gong等[21]从花椒中分离鉴定出了三种香豆素Umbelliferone(125)、Scopoletin(128)、Xanthotoxin(134),均为首次从花椒中分离得到。

表3 两种花椒属香料的喹啉类生物碱

Tab 3 Quinoline alkaloids of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
100	茵芋碱	花椒、竹叶花椒	42,43
101	香草木宁	花椒	50
102	合帕洛平	竹叶花椒、花椒	48,50
103	白鲜碱	花椒、竹叶花椒	42,43
104	Ribalinine	竹叶花椒	51
105	4-Methoxy-12,12-dimethylcyclopenta furoquinoline-10-carbaldehyde	竹叶花椒	51
106	Methyl-4-Methoxy-12,12dimethylcyclopenta furoquinoline10-carboxylate	竹叶花椒	51
107	Platydesmine	竹叶花椒	38
108	4-甲氧基-1-甲基-2-喹诺酮	竹叶花椒	38
109	青椒碱	花椒	52

1.2.3 木脂素类 木脂素是一类由两分子苯丙素衍生物(即C6-C3单体)聚合而成的天然化合物。木脂素类化合物具有抗癌、抗氧化、抗炎、抗菌、保护肝脏等作用[61]。从这两种香料中共分离得到41个木脂素类化合物,如表7和图7所示。其中,大部分木脂素类化合物均从竹叶花椒中分离得到,结构

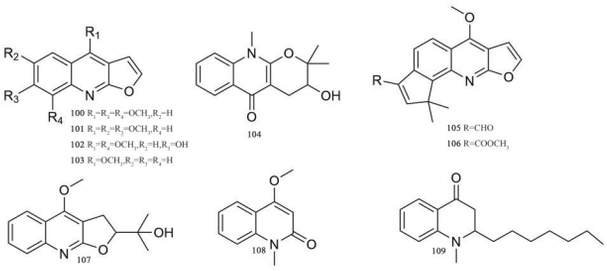

图3　两种花椒属香料中的喹啉类生物碱结构

Fig 3　Structures of quinoline alkaloids in two *Zanthoxylum* L. spices

特征以双四氢呋喃类木脂素为主。仅有6种木脂素类化合物来自花椒，还包含了5种共有成分，如Piperitol(148)、Sesamin(162)、细辛脂素(165)等。2021年，李春丽等[56]从花椒中分离了两种具有抗氧化活性的木脂素：(＋)-南烛木树脂酚(180)与异落叶松脂素(181)，其中化合物181首次从花椒属植物中分离得到。2022年，Sun等[62]也从竹叶花椒首次分离鉴定出Zanthlignan A(160)与Zanthlignan B(171)。

表4　两种花椒属香料的其他类生物碱

Tab 4　Other classes of alkaloids in two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
110	吴茱萸次碱	花椒	45
111	2,6,7-Trimethoxy8-(3- methyl-2- butenyl)carbazole-3- carbaldehyde	竹叶花椒	54
112	Methyl-2,6,7-trimethoxy-8- (3-methyl-2-butenyl) carbazole-3-carboxylate	竹叶花椒	54
113	(1S,3S)-1-甲基-1,2,3,4-四氢-β-咔啉-3-羧酸	花椒	53
114	(3S)-1,2,3,4-四氢-β-咔啉-3-羧酸	花椒	53
115	Candicine	竹叶花椒	45

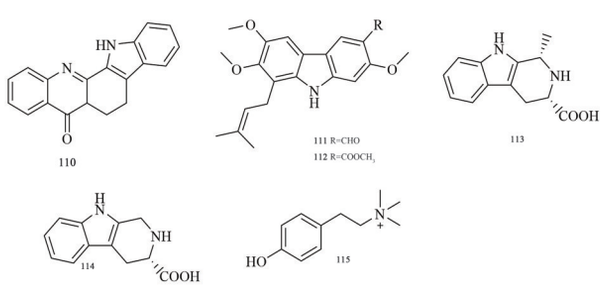

图4　两种花椒属香料中的其他类生物碱结构

Fig 4　Structures of other classes of alkaloids in two *Zanthoxylum* L. spices

表5　两种花椒属香料的简单苯丙素类化合物

Tab 5　Simple phenylpropanoid analogues of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
116	丁香酚	竹叶花椒	55
117	反式阿魏酸	竹叶花椒	55
118	阿魏酸乙酯	竹叶花椒	55
119	3,4,5-三甲氧基肉桂酸	竹叶花椒	55
120	(e)-p-甲氧基肉桂酸甲酯	花椒、竹叶花椒	10,55
121	咖啡酸甲酯	花椒	56
122	绿原酸	花椒	57

1.3　黄酮及其苷类

黄酮类化合物主要是指基本母核为2-苯基色原酮类化合物。该类化合物具有明显的抗氧化活

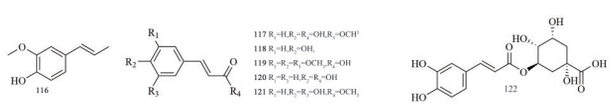

图5　两种花椒属香料的简单苯丙素类结构

Fig 5　Simple phenylpropanoid structures of two *Zanthoxylum* L. spices

性，同时还具有抗炎镇痛、抑菌、保护心脑血管、抗抑郁等药理作用[11]。花椒与竹叶花椒中含大量黄酮类化合物，目前已从这两种香料中共分离出36种黄酮类化合物，多数以糖苷类形式存在，如表8和图8所示。花椒和竹叶花椒的主要黄酮类成分具有相似性，均含有槲皮素(182)、Hyperin(198)、芦丁(209)等9种共有成分。2020年，Ke等[70]从花椒中分离得到一种黄酮8-Prenylkaempfero(192)，它是花椒的主要苦味成分之一，可通过激活苦味受体hTAS2R14，导致信号转导级联，产生苦味。

1.4　糖苷类

糖苷类化合物种类多样，广泛存在于花椒属植物的根、茎等中。目前已从花椒与竹叶花椒中分离得到20个糖苷类化合物，大部分来源于花椒，化合物名称及其结构如表9和图9所示。

1.5　萜类

萜类化合物是花椒属中一类结构类型复杂并且生物活性显著的天然产物，通常具有抗炎、抗肿

表6 两种花椒属香料的香豆素类化合物

Tab 6 Coumarin analogues of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
123	脱肠草素	花椒	50
124	白蜡树素	花椒	50
125	Umbelliferone	花椒、竹叶花椒	21,43
126	Scopoletin	花椒	21
127	7-Hydroxy-4-methyl coumarin	花椒	21
128	欧芹酚	花椒	50
129	6-(2,3-Dihydroxy-3-methylbutyl)-5,7-dimethoxy-2H-1-benzopyran-2-one	竹叶花椒	58
130	6-[(3,3-Dimethyl-2-oxiranyl)methyl]-5,7-dimethoxy-2H-1-benzopyran-2-one	竹叶花椒	58
131	(-)-紫花前胡醇	花椒	49
132	Xanthotoxin	花椒、竹叶花椒	21,55
133	异茴芹素	花椒	39
134	Psoralin	竹叶花椒	22
135	Bergapten	竹叶花椒	43
136	(-)-异紫花前胡内酯	花椒	49
137	异欧前胡素	花椒	39
138	7-Oxo-7*H*-furo-[3,2-g]chromen-9-yl dimethylcarbamate	花椒	59
139	Psoralin	竹叶花椒	60
140	(-)-二氢欧山芹醇	花椒	49

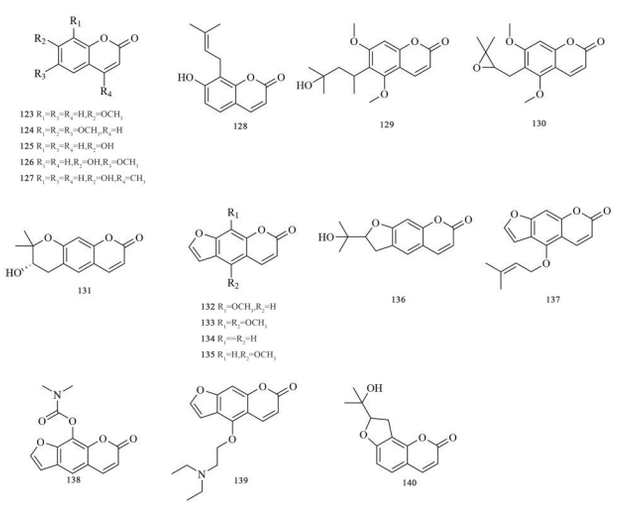

图6 两种花椒属香料中的香豆素类结构

Fig 6 Structures of coumarins in two *Zanthoxylum* L. spices

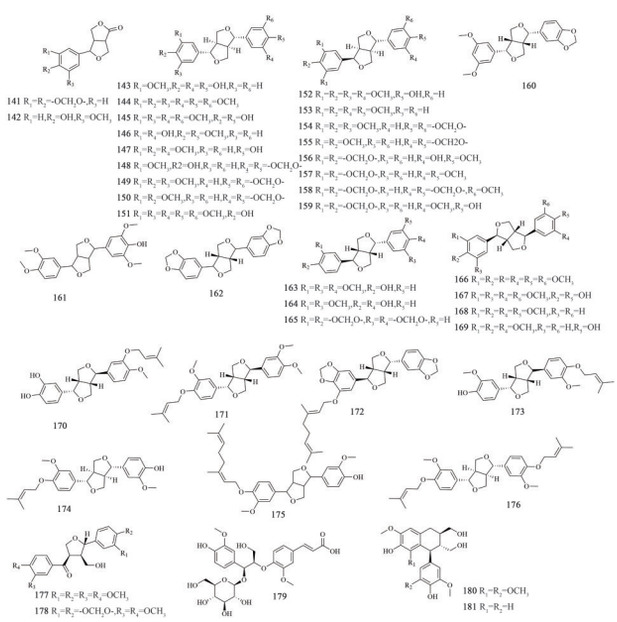

图7 花椒属香料中的木脂素类结构

Fig 7 Structures of lignans in two *Zanthoxylum* L. spices

瘤、抗病毒、抗氧化、抗菌等药理活性。目前,已从这两种花椒属植物中果实、叶中共分离得到15个萜类化合物,以五环三萜类化合物为主,如表10和图10所示。2022年,焦鑫阳等[84]对花椒叶进行研究,分离鉴定出几个萜类物质,如α-Amyrin(238)、羽扇豆醇(241)、齐墩果酸、熊果醇、桦木酸、β-Sitosterol β-D-glucoside(243-246),其中熊果醇(244)为首次从该植物中分离得到。

1.6 酚类

酚类化合物是羟基与芳烃核直接相连形成的有机化合物,广泛存在于自然界中,大多具有香气。目前从这两种植物中分离鉴定出10个酚类化合物,仅有三种来自竹叶花椒,为香草酸(254)、丁香酸甲酯(255)、香草醛(257),如表11和图11所示。

1.7 其他类

除上述的化合物以外,花椒与竹叶花椒中还报道了40个其他类化学成分,包括氨基酸、有机酸、烯酮类化合物以及内酯类化合物。目前,从花椒与竹叶花椒中共发现18种氨基酸,李桂华等[88]经实验分析证实,花椒椒目中含有17种氨基酸,包括天门冬

表7　两种花椒属香料的木脂素类化合物

Tab 7　Lignin analogues of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
141	Acuminatolide	竹叶花椒	63
142	Salicifoliol	竹叶花椒	63
143	(1R,2S,5R,6S)-6-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-(3,4- dihydroxyphenyl)-3,7-dioxabicyclo[3.3.0] octane	竹叶花椒	64
144	里立脂素-B-二甲醚	竹叶花椒	64
145	Syringaresinol	竹叶花椒	43
146	松脂素	竹叶花椒	55
147	松脂醇单甲醚	竹叶花椒	64
148	Piperitol	竹叶花椒、花椒	43,65
149	刚果荜澄窈脂素	花椒	41
150	(-)-Kobusin	竹叶花椒	55
151	de-4′-O-Methylyangambin	竹叶花椒	46
152	(－)-Praderin	竹叶花椒	55
153	(-)- Epieudesmin	竹叶花椒	55
154	Epiaschantin	竹叶花椒	43
155	(-)-Fargesin	竹叶花椒	55
156	Horsfieldin	竹叶花椒	43
157	Methylxanthoxylol	竹叶花椒	60
158	5′-Demethoxyepiexcelsin	竹叶花椒	43
159	Xanthoxylol	竹叶花椒	66
160	Zanthlignan A	竹叶花椒	62
161	4′-O-demethyl magnolin	竹叶花椒	67
162	Sesamin	竹叶花椒、花椒	22,68
163	(＋)-Phylligenin	竹叶花椒	55
164	表松脂酚	竹叶花椒	55
165	细辛脂素	花椒、竹叶花椒	41,55
166	丁香树脂二甲醚	竹叶花椒、花椒	43,41
167	(-)-丁香树脂酚	花椒	41
168	Eudesmin	竹叶花椒、花椒	55,65
169	松脂素单甲基醚	竹叶花椒	55
170	Zanthonin	竹叶花椒	60
171	Zanthlignan B	竹叶花椒	62
172	Armatumin	竹叶花椒	44
173	Planispine A	竹叶花椒	22
174	Pinoresinol-3,3-dimethylallylether	竹叶花椒	43
175	Planispine B	竹叶花椒	62
176	Pinoresinol-di-3,3-dimethylally lether	竹叶花椒	43
177	Magnone A	竹叶花椒	63
178	Magnolone	竹叶花椒	63
179	(7S,8R)-Guaiacylglycerol-ferulic acid ether-7-O-β-Dglucopyranoside	竹叶花椒	69
180	(＋)-南烛木树脂酚	花椒	56
181	异落叶松脂素	花椒	56

氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、氨(NH_3)、组氨酸、精氨酸、脯氨酸。叶倩女[17]从竹叶花椒分离鉴定出L-焦谷氨酸甲酯,为首次从花椒属植物中分离得到。从花椒与竹叶花椒中共发现20种脂肪酸。周婷等[89]从竹叶花椒与花椒中共分离出19种脂肪酸,包括油酸、亚油酸、亚麻酸、棕榈油酸、棕榈酸、硬脂酸、肉豆蔻酸、十五烷酸、11-二十碳烯酸、花生酸、芥酸、山嵛酸、(Z)-9-十六烯酸甲酯、14-甲基十六烷酸、2-己烷基环丙烷辛酸、7,10-十六碳二烯酸和7,10,13-十六碳三烯酸、肉豆蔻油酸、十七碳酸、十七碳一烯酸。吕双等[53]从花椒中分离得到(E)-6-羟基-2,6-二甲基辛-2,7-二烯酸,为首次从花椒属植物中分离得到。除此之外,刘静宜[87]在花椒果皮中发现了1个环庚三烯酮衍生物crototropone,系首次从花椒属植物中发现。王玉萍[18]还从花椒中分离鉴定出一个新的内酯类化合物：2α, 3β-dihydroxy-3α-vanilloylmethyl-γ-lactone,系首次从花椒属植物中分离得到。

2　药理活性

花椒与竹叶花椒这两种香料中的非挥发性化学成分均具有抗肿瘤、抗氧化和抗菌、抗炎、杀虫作

表8 两种花椒属香料的黄酮及其苷类化合物

Tab 8 Flavonoids and their glycosides of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
182	槲皮素	竹叶花椒、花椒	48,71
183	3-甲氧基槲皮素	花椒	72
184	Tambulin	竹叶花椒	73
185	Prudomestin	竹叶花椒	73
186	Ombuin	竹叶花椒	73
187	异鼠李素	花椒、竹叶花椒	74,75
188	山柰酚	竹叶花椒	76
189	Chrysin	竹叶花椒	77
190	Luteolin	竹叶花椒	48
191	Myricetin	竹叶花椒	48
192	8-Prenylkaempfero	花椒	70
193	Quercetin-3-O-α-L-Rhamnopyranosyl	花椒、竹叶花椒	6,17
194	Isorhamnetin 3-O-α-L-rhamnoside	花椒	78
195	Quercetin 3-O-β-glucopyranoside	花椒、竹叶花椒	6,17
196	Quercetin-3-galactoside	竹叶花椒、花椒	17,79
197	茴香苷	花椒	79
198	Hyperin	竹叶花椒、花椒	75,80
199	Afzelin	花椒	78
200	Trifolin	花椒	78
201	Vitexin	竹叶花椒、花椒	22,78
202	Isorhamnetin 7-glucoside	花椒	21
203	Quercetin 3′,4′-dimethyl ether 7-glucoside	花椒	80
204	7-O-α-D-glucosyl-3, 8-dihydroxy-2- (3-hydroxy-4-methoxyphenyl) -5-methoxy-4H-1-benzopyran-4-one	花椒	72
205	Quercetin-7-glucoside	花椒	79
206	Isovitexin	竹叶花椒	22
207	Quercetin 3-O-(6″-O-α-L-rhamnopyranosyl)-β-D-glucopyranoside 7-O-β-Dglucopyranoside	花椒	81
208	Tamarixetin 3,7-bis-O-β-glucopyranoside	花椒	80
209	芦丁	竹叶花椒、花椒	75,79
210	槲皮素-3-O-α-L-鼠李糖-(1-6)-β-D-葡萄糖苷	花椒	6
211	Cypellogin A	花椒	21
212	没食子儿茶素-(4α,8)-没食子儿茶素	花椒	6
213	Hesperidin	竹叶花椒	22
214	Didymin	竹叶花椒	48
215	Eriodictoyl-7-O-rutinoside	竹叶花椒	48
216	Epicatechin	竹叶花椒、花椒	75,82
217	Catechin	竹叶花椒	22

用等多种生物活性。研究还表明,这两种香料中的某些成分还对糖尿病等慢性疾病有预防和治疗作用,另外,竹叶花椒还显示出不同于花椒的保肝作用等潜力,具体药理活性见表12。这些活性的发现为花椒属植物在医药和食品工业中的应用提供了新的视角。随着研究的深入,未来可能会有更多的生物活性被发现,为花椒属植物的综合利用提供科学依据。

2.1 抗肿瘤作用

2019年,Ma等[92]研究发现花椒的氯仿提取物对肝癌细胞(HepG 2)生长抑制率最有效,其半抑制率IC_{50}为0.39 mg/mL。Alam等[95]发现竹叶花椒的甲醇提取物(200 μg/mL)对人乳腺癌细胞MCF-7、MDA MB-468和结直肠癌Caco-2癌细胞株的生长具有显著的抑制作用,并且这种抑制作用呈现出明显的剂量依赖性。近年来,研究发现花椒与竹叶花椒的抗肿瘤活性成分主要与植物中的生物碱有关,特别是酰胺类生物碱具有良好抗肿瘤活性,在开发新型抗肿瘤药物方面具有巨大潜力。2022年,Chen等[107]的研究发现酰胺类化合物对人结肠腺癌细胞(HCT-116)有明显的抑制作用,其中化合物Hydroxy-γ-sanshools(20)活性最为显著,IC_{50}为88.01 μmol/L,且对正常细胞无细胞毒作用,其IC_{50}为481.52 μmol/L。药理机制研究显示化合物20可以抑制细胞生长,诱导形态畸变,并将细胞周期阻滞在G1期,能显著抑制HCT-116细胞中Cyclin D1、CDK 4及PCNA的mRNA和蛋白表达,增加P21、P53、Fas和Caspase 8的mRNA和蛋白表达。叶倩女[17]发现竹叶花椒中的酰胺类化合物Hydroxy-β-sanshools(13)、hydroxy-α-sanshool(19)、Hydroxy-γ-sanshools(20)对胰腺癌细胞(CFPAC-1、PANC-1)具有良好的抑制细胞增殖活性($P<$

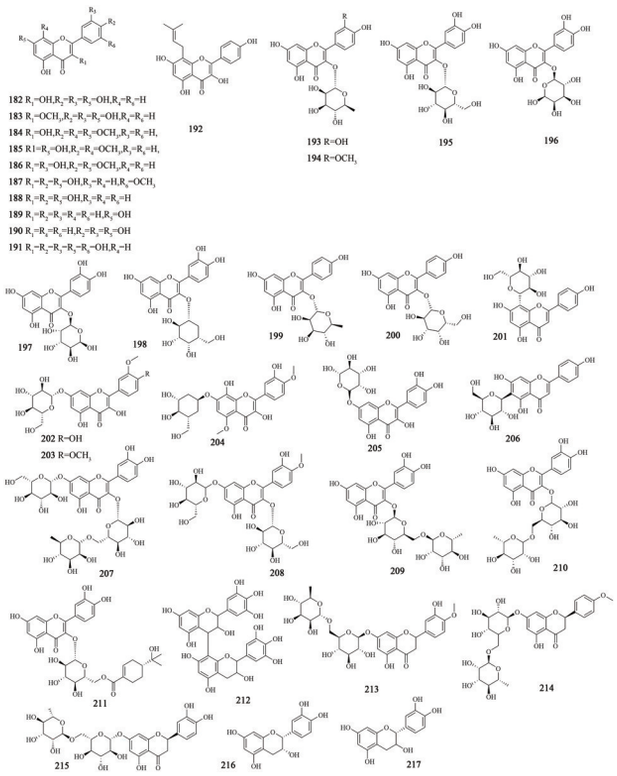

图8　两种花椒属香料中的黄酮及其苷类结构

Fig 8　Flavonoids and their glycoside structures in two *Zanthoxylum* L. spices.

0.001)，其活性可能与烷基酰胺的羟基数目、位置和羰基位置相关。

2.2　抗氧化作用

李春丽等[56]从花椒的正丁醇部位成功分离并鉴定出了一些具有显著抗氧化活性的木脂素类化合物。如(＋)-南烛木树脂酚(181)和异落叶松脂素(182)在$ABTS^+$自由基清除实验中表现出了优异的活性，其IC_{50}值分别为5.7和11.0 μmol/L，与抗氧化效果显著的维生素C(IC_{50}为6.4 μmol/L)相当。Li等[108]通过Fe^{3+}还原、DPPH自由基清除、Fe^{2+}螯和能力测定及OH自由基清除等试验研究发现花椒中的多糖类物质具有较强的抗氧化活性，半数效应剂量(EC_{50})值分别为0.011、0.021、0.056和0.008 mg/mL。2023年，何鑫柱等[109]发现竹叶花椒果皮提取的黄酮类物质清除DPPH自由基的IC_{50}值在14.530～20.833 μg/g，其中主要抗氧化活性成分是山奈酚(188)、Quercetin-3-galactoside(196)与Epicatechin(216)。在2022年的一项研究中，Kesavan等[110]发现，竹叶花椒水提取物可能是通过提升超氧化物歧化酶、还原型谷胱甘肽以及谷胱甘肽过氧化物酶等抗氧化酶的活性降低大鼠血糖水平，并能显著改善口服葡萄糖耐量测试(OGTT)和胰岛素耐量测试(ITT)结果，同时减少脂质过氧化现象。

2.3　抗菌作用

马丹宇[65]研究发现花椒中的酰胺类生物碱γ-Sanshool(5)、木脂素类化合物Piperitol(148)、酚类化合物2，4-Dihydroxy-6-methoxy acetophenone(262)对耐药白色念珠菌(*Monilia albican*)表现显

表9　两种花椒属香料的糖苷类化合物

Tab 9　Glycoside analogues of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
218	苯乙基-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	花椒	6
219	熊果苷	花椒、竹叶花椒	6,17
220	苔黑酚葡糖甙	花椒	6
221	3-甲氧基-5-羟基-1-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	花椒、竹叶花椒	6,17
222	3,5-二甲氧基-4-羟基苯酚-6-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	花椒	6
223	间苯三酚-1-O-β-D- 吡喃葡萄糖苷	花椒	6
224	4-羟基苄基-β-D-葡萄糖苷	竹叶花椒	17
225	3,5-二羟基苯乙醇-3-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	花椒	6
226	3-Methoxyphenethyl alcohol 4-O-β-D-glucopynanoside	花椒	6
227	2-苯乙基-6-O-β-D-葡萄糖苷	花椒	6
228	2-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl) ethyl-O-β-D-glucopyranoside	花椒	6
229	毛柳苷	竹叶花椒	6
230	Threo-3-methoxy-5-hydroxy-phenylpropanetriol-8-O-β-D-glucopyranoside	竹叶花椒	83
231	香豆酸-O-β-D-葡萄糖苷	花椒	6
232	苯基丙酸-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	花椒	6
233	4-O-β-D-Glucopyranosylferulic acid	花椒	6
234	紫丁香苷	花椒、竹叶花椒	6
235	松柏苷	竹叶花椒	6
236	2-Methoxy-4-hydroxy-pheno1-1-O-α-L-rhamnopyranosyl-(1"→6′)-β-D-glucopyranoside	竹叶花椒	83
237	异丁基-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	花椒	6

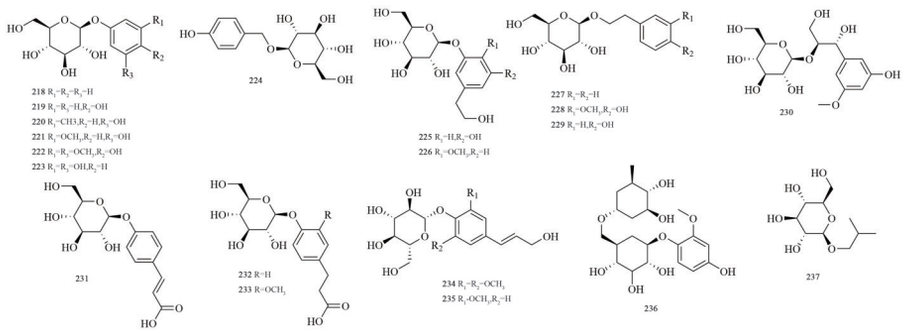

图9 两种花椒属香料中的糖苷类结构

Fig 9 Glycoside structures in two *Zanthoxylum* L. spices.

表10 两种花椒属香料的萜类化合物

Tab 10 Terpenoids in two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
238	α-Amyrin	花椒、竹叶花椒	84,85
239	α-Amyrin acetate	竹叶花椒	86
240	β-Amyrin	竹叶花椒	85
241	羽扇豆醇	花椒、竹叶花椒	84,85
242	β-Sitosterol	竹叶花椒、花椒	66,87
243	齐墩果酸	花椒	84
244	熊果醇	花椒	84
245	桦木酸	花椒	84
246	β-Sitosterol β-D-glucoside	竹叶花椒	84
247	(1′R, 3′R, 5′R, 8′S)-二氢红花菜豆酸-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	花椒	6
248	(2Z, 4E, 1′S, 2′R, 4′S, 6′R)-Dihydrophaseic acid 4′-O-(6″-O- syringic acid)-β-D-glucopyranoside	竹叶花椒	6
249	(2Z,4E,1′S,2′R,4′S,6′R)- Dihydrophaseic acid -4′- O-(6″-O-vanillic acid)- β-D-gluco pyranoside	竹叶花椒	6
250	Betulalbuside A	花椒	6
251	Betulabuside B	竹叶花椒	17
252	1-Hydroxylinaloyl-6-O-β-D-glucopyranoside	花椒	6

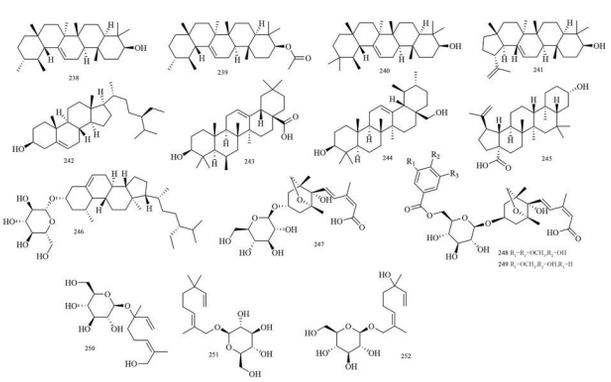

图10 两种花椒属香料中的萜类结构

Fig 10 Terpene structures in two *Zanthoxylum* L. spices

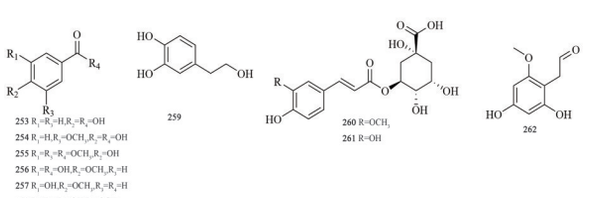

图11 两种花椒属香料中的酚类结构

Fig 11 Phenolic structures in two *Zanthoxylum* L. spices

著抗真菌活性,通过与氟康唑联用,可以有效降低最小抑菌浓度(MIC),比单独用药降低了4倍。姜太玲等[111]用胃蛋白酶水解花椒籽蛋白获得了一种抗菌肽,该抗菌肽对枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和沙门氏菌(*Salmonella*)均具有抑制作用,其中,对枯草芽孢杆菌的抑菌率达到96.79%,且呈现浓度依赖性。Nooreen等[73]从竹叶花椒果实取分离了一种黄酮类化合物Ombuin(295)有广谱抗菌活性,其MIC为125~500 μg/mL。Barkatullah等[99]发现竹叶花椒叶、茎以及果实的提取物对白微球菌(*Micrococcus leutus*)、多杀性巴氏杆菌(*Pasturella multcidia*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)均有一定的抑菌活性。

表11　两种花椒属香料的酚类化合物

Tab 11　Phenolic analogues of two *Zanthoxylum* L. spices

序号	化合物名称	植物来源	参考文献
253	对羟基苯甲酸	花椒	10
254	香草酸	花椒、竹叶花椒	10,55
255	丁香酸甲酯	竹叶花椒	55
256	异香草酸	花椒	10
257	香草醛	竹叶花椒	43
258	没食子酸甲酯	花椒	56
259	羟基酪醇	花椒	6
260	3-O-β-D 阿魏酰奎尼酸	花椒	6
261	5-咖啡酰奎宁酸	花椒	6
262	2,4-Dihydroxy-6-methoxy acetophenone	花椒	65

表12　两种花椒属香料的药理活性

Tab 12　The pharmacological activities of two *Zanthoxylum* L. spices

药理作用		花椒	竹叶花椒
抗肿瘤作用		花椒中许多成分具有抗肿瘤活性，如黄酮类、酰胺类生物碱对肝癌、胃癌、结肠癌等均存在诱导凋亡作用[92-94]。	竹叶花椒提取物及分离鉴定出来的木脂素、酰胺类生物碱等化合物具有抗肿瘤作用，可联合用药以提高疗效并降低毒性，对胰腺癌细胞、胶质瘤细胞、乳腺癌、和结直肠癌等均有抑制活性[31,67,95]。
抗氧化作用		花椒中的花椒提取物、黄酮类、多糖、多酚类等均具有抗氧化作用，能清除超氧阴离子自由基能力、清除羟自由基能力、清除 DPPH 自由基能力等[96]。	竹叶花椒多酚类与黄酮类化合物具有较强的抗氧化活性，存在于竹叶花椒果实、种子、树皮的甲醇提取物中[97]。
抗菌作用		花椒生物碱成分具有良好的抗菌活性，可对炭疽杆菌、枯草杆菌和金黄色葡萄球菌等多种病菌产生完全抑制作用[98]。	竹叶花椒提取物具有广谱抗菌性，对白微球菌、多杀性巴氏杆菌、大肠杆菌和枯草芽孢杆菌等均具有较强的抗菌活性，但其具体抗菌强度可能与花椒有所不同[99]。
其他作用	抗炎作用	花椒中的生物碱、萜类、黄酮类化合物具有抗炎作用，可通过作用于雌激素受体、雄激素受体、磷脂酰肌醇-4,5-二磷酸3-激酶催化亚基γ、凝血酶原、人丁酰胆碱酯酶5个靶点起到降低炎症因子水平的作用[100]。	竹叶花椒具有明显的抗炎作用，可显著抑制促炎细胞因子(TNF-α和IL-6)的产生，且呈现出剂量依耐性[73]。
	杀虫作用	花椒杀虫作用广泛，对于人体的寄生虫及仓储害虫均具有良好的消杀作用[101]。	竹叶花椒具有开发成植物灭虫剂的潜力，其提取物对扭曲血丝虫、小菜蛾等具有杀虫作用[102,103]。
	降血糖	花椒的活性成分可以有效调节血糖，对Ⅱ型糖尿病有显著的治疗价值，其生物碱类、黄酮类、萜类等活性成分降糖作用核心靶点基因为 AKT1、IL-6、HSP90AA1、FOS 和 JUN[104]。	竹叶花椒木脂素类化合物具有良好的体内外降血糖作用，可以抑制α-葡萄糖苷酶，且抑制活性显著[105]。
	保肝作用	未见文献报道	竹叶花椒提取物能够降低人体蛋白新陈代谢的酶，具有显著的保肝活性[106]。

2.4　其他作用

除了上述药理活性以，花椒和竹叶花椒还具有抗炎、杀虫以及降血糖等药理作用。2023年，Zheng等[112]从花椒中分离得到了Hydroxyl-α-sanshool、Hydroxyl-β-sanshool、Hydroxyl-ε-sanshool(18)三种酰胺单体。体外细胞实验显示，三者对炎性因子NO的IC_{50}值分别为14.5、14.7、13.4 μg/mL，显示出了它们在抗炎活性方面的潜力。2020年，Alam等[113]研究发现竹叶花椒果实提取物($P<0.05$)和总生物碱均表现出明显的抗伤害活性($P<0.001$)。这两部分提取物对小鼠足肿胀炎症有明显的降低作用($P<0.01$)。对COX的IC_{50}值分别为15和69 μg/mL，对LOX的IC_{50}值分别为21和62 μg/mL。寇芸芸等[114]的实验结果显示，花椒果皮不同部位提取物均有一定的杀虫活性。正丁醇萃取部分对赤拟谷盗的触杀活性最高，其LC_{50}值为1.086 463 g/mL，石油醚提取部分对赤拟谷盗趋避活性最高，其趋避率可达到93.617%。Singh等[102]研究发现竹叶花椒种子水提物在50 mg/mL浓度下，6 h和8 h时对扭曲血丝虫的LC_{50}分别为59.90 mg/mL、28.92 mg/mL，死亡率为(45.45±4.55)%、(63.64±4.54)%。杨成峻等[57]发现花椒果皮中的多酚粗提物可使糖尿病小鼠空腹血糖降低64.2%，口服糖耐量降低21.42%，可以改善糖尿病小鼠体质量减轻和饮食异常现象，且能抑制α-葡萄糖苷酶活性。Wikul等[105]发现竹叶花椒中的木脂素类化合物Pinoresinol(146)通过竞争性和非竞争性两种方式来抑制α-糖苷酶。Sabir等[77]研究竹叶花椒果实水提取物的体内保肝作用，与对乙酰氨基酚对照组相比，小鼠口服其果实水提取物(100 mg/kg)4天可显著降低血清转氨酶(ALT，AST)和TBARS，并增加过氧化氢酶水平这些研究成果为开发新的治疗药物提供了重要的候选物质。

3　结语

综上所述发现花椒属植物除了含丰富的挥发油外，还有多种非挥发性成分，它们在花椒属植物

的活性和应用方面发挥着举足轻重的作用。目前从花椒属植物花椒、竹叶花椒的果实、叶、果皮等部位中共发现302个非挥发性化学成分，以生物碱类(115个)，苯丙素类(66个)、黄酮及其苷类(36个)为主，还含有少量糖苷类、萜类、酚类等其他类化合物。这些非挥发性化学成分在药理活性方面表现出多方面的潜力，不仅在抗肿瘤、抗真菌、抗氧化等方面显示出显著效果，而且在抗炎、杀虫、降血糖以及保肝等其他药理作用上也具有潜在的应用价值。这些研究结果不仅加深了对花椒属植物药用价值的认识，也为未来开发新的天然药物提供了科学依据。然而，目前对花椒与竹叶花椒功效成分的分析仍停留在基础性研究阶段，部分生物活性成分及其构效关系尚不明确。此外，这两种花椒作为天然植物香料，目前主要还是以原材料的形式使用，其精深加工技术尚在探索之中，因此在医药和食品等领域的开发与应用尚显有限，应用深度亦不足。未来的研究应当聚焦于化合物的分离与纯化、结构的鉴定、作用机制的阐释以及临床前的药理毒理评估，旨在将这些天然化合物转化为安全且有效的治疗药物。

作者贡献度说明：

粟晓微、陈秋娟：收集文献并进行撰写论文；李睿、张慧婷和刘雨玲：核查化合物结构；周华锋和苏健：药理部分核查；霍丽妮：提供研究思路、负责指导论文撰写并对论文进行修改指正。

所有作者声明不存在利益冲突关系。

参考文献

1 蒲丹丹，孟瑞馨，曹博雅，等.SAFE结合GC-MS/O分离分析29种淡香型天然香辛料香气活性成分[J].精细化工，2024，1-17.
Pu DD，Meng RX，Cao BY，et al. Characterization of the aroma-active compounds in 29 elegant spices by SAFE combined with GC-MS/O [J]. Fine Chem，2024，1-17.

2 王爱云，李春华.食用香料植物的开发利用研究[J].食品科学，2002，(8)：300-302.
Wang AY，Li CH. Research on the development and utilization of edible spice plants [J]. Food Sci，2002，(8)：300-302.

3 魏英焕.墨脱花椒的化学成分及生物活性研究[D].贵州医科大学，2023.
Wei YH. Study on chemical constituents and biological activities of *Zanthoxylum motuoense* Huang [D]. GuiYang Med Univ，2023.

4 叶倩女，石晓峰，杨军丽.花椒属植物中酰胺类成分的结构与功能研究进展[J].中国中药杂志，2023，48(9)：2406-2418.
Ye QN，Shi XF，Yang JL. Research advance on structure and function of amides in *Zanthoxylum* plants [J]. China J Chin Mater Med，2023，48 (9)：2406-2418.

5 袁海梅，邱露，宋雨，等.花椒属植物苯丙素类成分及其药理活性研究进展[J].中国中药杂志，2021，46(22)：5760-5772.
Yuan HM，Qiu L，Song Y，et al. Phenylpropanoids from *Zanthoxylum* species and their pharmacological activities：A review [J]. China J Chin Mater Med，2021，46(22)：5760-5772.

6 宋彤彤.花椒和竹叶椒的化学成分研究[D].兰州理工大学，2018.
Song TT. Studies on the constituents of *Zanthoxylum bungeanum Maxim* and *Zanthoxylum armature* DC. [D]. Lanzhou Univ Technol，2018.

7 王颖，王亮，李冬雪，等.调味香料麻椒及花椒属植物精油的研究进展综述[J].中国调味品，2021，46(8)：174-179.
Wang Y，Wang L，Li DX，et al. Review on the research progress of essential oils from flavoring spices pepper and *Zanthoxylum* plants [J]. Chin Condiment，2021，46(8)：174-179.

8 张建锋，安海，周礼杰，等.苗药野花椒研究进展[J].微量元素与健康研究，2024，41(4)：29-31.
Zhang JF，An H，Zhou LJ，et al. Research progress of *Zanthoxylum simulans* hance in seedling medicine [J]. Stud Trace Elem Health，2024，41(4)：29-31.

9 周雨晨，陈佳欢.簕欓花椒化学成分及其抑菌活性研究[J].中成药，2024，1-5.
Zhou YC，Chen JH. Chemical constituents from *Zanthoxylum avicennae* and their antibacterial activities [J].Chin Tradit Pat Med，2024，1-5.

10 陈佳欢.花椒的化学成分及生物活性研究[D].沈阳药科大学，2018.
Chen JH. Stidues on the constituents from *zanthoxylum bungeanum* Maxim. and their biologiacal activities [D]. Shenyang Pharmaceutical Univ，2018.

11 唐飞飞，丁昊玥，方丹纯，等.一测多评法同时测定花椒和竹叶花椒中4个黄酮成分[J].药物分析杂志，2024，44(8)：1320-1330.
Tang FF，Ding HY，Fang DC，et al. Simultaneous determination of 4 flavonoids in *Zanthoxyli Pericarpium* and *Pericarpium Zanthoxyli armati* by QAMS[J]. Chin J Pharm Anal，2024，44(8)：1320-1330.

12 舒娟，张雪研，宋爽，等.花椒精油的提取及应用研究进展[J].中国调味品，2023，48(9)：203-207.
Shu J，Zhang XY，Song S，et al. Research progress on extraction and application of *Zanthoxylum bungeanum*

essential oil [J]. Chin Condiment, 2023, 48 (9): 203-207.

13 李燕. 藤椒壳抗氧化、降脂活性部位及其成分研究[D]. 川北医学院, 2023.
Li Y. The antioxidant and lipid-lowering fractions and their chemical components from *Zanthoxylum armatum* DC. husks[D]. North Sichuan Med Coll, 2023.

14 孟亚琴, 王雅, 郭涛. 花椒生物碱活性成分研究现状[J]. 中国食品工业, 2022(10): 110-113.
Meng YQ, Wang Y, Guo T. Research status of alkaloid active ingredients of *Zanthoxylum Bungeanum*[J]. Chin Food Ind,2022(10): 110-113.

15 马丽梅,杨军丽. 花椒属植物抗肿瘤活性成分研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2020,32(2):334-340,357.
Ma LM, Yang JL. Research advance on anti-tumor components of *Zanthoxylum* genus[J]. Nat Prod Re Dev, 2020, 32(2):334-340,357.

16 张红, 杨庆, 陈颖, 等. 中药花椒化学成分及其防治神经精神疾病的研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(11): 1969-1981.
Zhang H, Yang Q, Chen Y, et al. Research progress on chemical constituents of *Zanthoxylum* pericarpium and its prevention and treatment of nervous and mental diseases [J]. Nat Prod Re Dev, 2021, 33 (11): 1969-1981.

17 叶倩女. 竹叶花椒果皮的化学成分及生物活性研究[D]. 甘肃中医药大学, 2023.
Ye QN. Study on chemical constitutes andbiological activities of the pericarpsfrom *Zanthoxylum armatum* DC [D]. Gansu Univ Chin Med, 2023.

18 王玉萍. 花椒果皮正丁醇部位化学成分研究[D]. 西南交通大学, 2023.
Wang YP. Study on chemical constituents of n-butanol fraction of pericarps of *Zanthoxylum Bungeanum* maxim [D], Sou-thwest Jiaotong Univ, 2023.

19 苏光耀, 王奎武. 竹叶椒中酰胺类化学成分研究[J]. 中草药, 2018, 49 (14): 3213-3216.
Su GY, Wang KW. Chemical constituents of amides from *Zanthoxylum planispinum*[J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2018, 49 (14): 3213-3216.

20 Xu B, He WJ, Yang Y, et al. The impacting mechanism of β-sanshool in *Zanthoxylum bungeanum* maxim on the structure of myofibrillar protein in duck meat[J]. LWT, 2023, 182: 114838.

21 Gong Y, Sun WH, Xu TT, et al. Chemical constituents from the pericarps of *Zanthoxylum bungeanum* and their chemotaxonomic significance [J]. Biochem Syst Ecol, 2021, 95(4): 104213.

22 Bhatt V, Sharma S, Kumar N, et al. Simultaneous quantification and identification of flavonoids, lignans, coumarin and amides in leaves of *Zanthoxylum armatum* using UPLCDAD-ESI-QTOF - MS/MS[J]. J Pharmaceut Biomed, 2017, 132: 46-55.

23 Xiong QB, Shi DW, Yamamoto H, et al. Alkylamides from pericarps of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Phytochemistry, 1997, 46(6): 1123-1126.

24 Luo J, Hou XY, Li SS, et al. Degradation and transformation mechanisms of numbing substances: Hydroxyl-α-sanshool & hydroxyl-β-sanshool from *Zanthoxylum bungeanum* exposed to acid environment[J]. Food Chem X, 2022, 14: 100342.

25 齐景梁, 高必兴, 周娟, 等. 高效液相色谱法和紫外-可见分光光度法测定竹叶花椒中2种主要成分的含量[J]. 中国药业, 2021, 30(1): 52-56.
Qi JL, Gao BX, Zhou J, et al. Content determination of two main components in *Zanthoxyli Armati Pericarpium* by HPLC and ultraviolet-visible spectrophotometry[J]. China Pharm, 2021, 30(1): 52-56.

26 王媛. 花椒化学成分及生物活性研究[D]. 西北农林科技大学, 2017.
Wang Y. Study on the *Zanthoxylum bungranum* and the biological activites[D]. Northwest AF Univ, 2017.

27 Chen JH, Zhang T, Zhang QB, et al. Isobutyl hydroxyamides from Sichuan pepper and their protective activity on PC12 cells damaged by corticosterone [J]. J Agr Food Chem, 2018,66(13): 3408-3416.

28 Hou XY, Zhang Y, Peng ZX, et al. Fingerprinting of hydroxyl-sanshools in fried pepper oils by HPLC-DAD in combination with chemometrics[J]. Food Sci Technol, 2023, 183: 114935.

29 张凯峰, 贺鹏杨, 何达海. 花椒中的异丁基酰胺化合物及其对HT22海马神经元铁死亡的抑制作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(1): 18-22,56.
Zhang KF, He PY, He DH. Study on isobutyl amide compounds from *Zanthoxylum bungeanum* and their activities against ferroptosis in HT22 hippocampal cells [J]. Nat Prod Re Dev, 2020, 32(1): 18-22,56.

30 梅莹. 花椒麻味物质基础的研究[D]. 西南交通大学, 2012.
Mei Y. Studies on chemical constituents of *Zanthoxylum bungeanum* maxim [D]. Southwest Jiaotong Univ, 2012.

31 Devkota KP, Wilson J, Henrich CJ, et al. Isobutylhydroxyamides from the pericarp of nepalese *Zanthoxylum armatum* inhibit NF1-defective tumor cell line growth [J]. J Nat Prod, 2013, 76(1): 59-63.

32 Wang Y, Li CH, Luo B, et al. Isobutylhydroxyamides from *Zanthoxylum bungeanum* and their suppression of NO production[J]. Molecules, 2016, 21(10): 1416.

33 张敬文, 赵镭, 史波林, 等. 花椒果皮中化学成分的研究[J]. 华西药学杂志, 2016, 31(2): 109-112.
Zhang JW, Zhao L, Shi BL, et al. Study on the

chemical constituents of pericarps of *Zanthoxylum bungeanum*[J].West Chin J Pharm Sci, 2016, 31(2): 109-112.

34 Wang Y, Liao ZB, Cao R, et al. Isolation, structural characterization and neurotrophic activity of alkylamides from *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Nat Prod Commun, 2017, 12(7): 1121-1124.

35 Dossou KSS, Devkota KP, Morton C, et al. Identification of CB1/CB2 ligands from *Zanthoxylum bungeanum*[J]. J Nat Prod, 2013, 76(11): 2060-2064.

36 魏冬青, 张永红, 徐沁, 等. 花椒素的发现及其抗衰老作用[C]//中国保健协会美容保健分会. 第十九届东南亚地区医学美容学术大会论文汇编. 上海交通大学生命科学技术学院, 2019:12.
Wei DQ, Zhang YH, Xu Q, et al. Discovery of xanthoxylin and its anti-aging effect[C]// China Health Care Association Beauty Health Care Branch. Compilation of papers of the 19th Southeast Asian Medical Cosmetology Academic Congress. School of Life Sciences and Biotechnology, 2019: 12

37 寇芸芸. 花椒成分分析和杀虫活性研究[D]. 武汉轻工大学, 2015.
Kou YY. The extraction process and Insecticidal activity research of *Zanthoxylum*[D]. Wuhan Polytechnic Univ, 2015.

38 陈玉, 胡昀, 贺红武, 等. 竹叶椒化学成分的研究[J]. 中草药, 2013, 44(24): 3429-3434.
Chen Y, Hu Y, He HW, et al. Chemical constituents from barks of *Zanthoxylum planispinum*[J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2013, 44(24): 3429-3434.

39 王文泽, 赵燕燕, 李铣, 等. 椒目化学成分研究[J]. 中草药, 2008(2): 184-186.
Wang WZ, Zhang Y, Li X, et al. Study on the chemical constituents of capsicales[J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2008(2): 184-186.

40 袁海梅, 张崟, 邹亮, 等. 花椒属植物非苯丙素类成分研究进展[J]. 中草药, 2021, 52(22): 7044-7056.
Yuan MM, Zhang Y, hou L, et al.Research progress on non-phenylpropanoid constituents from plants of *Zanthoxylum* species[J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2021, 52(22): 7044-7056.

41 娄京荣, 郑重飞, 李莹, 等. 花椒茎的化学成分Ⅱ[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(10): 141-147.
Lou JR, Zheng CF, Li Y, et al. Chemical constituents from stems of *Zanthoxylum bungeanum*[J].Chin J Exp Traditi Med Form, 2020, 26(10): 141-147.

42 任丽娟, 谢凤指. 花椒根的生物碱研究[J]. 药学学报, 1981, (9): 672-677.
Ren LJ, Xie FZ. Alkaloids from the root of *Zanthoxylum bungeaum* maxim[J]. Acta Pharm Sin, 1981, (9): 672-677.

43 郭涛. 竹叶椒(*Zanthoxylum armatum* DC.)和簕欓(Z. avicenna(Lam.)DC.)的化学成分及竹叶椒镇痛抗炎活性研究[D].复旦大学, 2011.

44 任振华. 不同种质花椒生物碱的含量分析[D]. 西北农林科技大学, 2013.
Ren ZH. Analysis of alkaloids content indifferent germplasm *Zanthoxylum bungeagum*[D]. Northwest AF Univ, 2013.

45 唐小凤. 竹叶椒的化学成分研究[D]. 兰州理工大学, 2016.
Tang XF. Study on chemical constituents of *Zanthoxylum armature* DC[D]. Lanzhou Univ Technol, 2016.

46 Wang YR, Mai SY, Li YH, et al. Extraction optimization of six alkaloids and four lignans in *Zanthoxylum armatum* by orthogonal design and ultra-fast liquid chromatography - tandem quadrupole mass spectrometry[J]. J Anal Chem, 2020, 75(4): 459-467.

47 Tan SB, Guo T, Tang XF, et al. Chemical constituents of *Zanthoxylum armatum*. II[J]. Chem Nat Compd, 2018, 54(5): 1027-1028.

48 Sahu R, Kar RK, Sunita P, et al. LC-MS characterized methanolic extract of *Zanthoxylum armatum* possess anti-breast cancer activity through Nrf2-Keap1 pathway: An in-silico, *in vitro* and *in vivo* evaluation[J]. J Ethnopharmacol, 2021, 269(2021): 113758.

49 娄京荣, 郑重飞, 李莹, 等. 花椒茎的化学成分[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(11): 161-166.
Lou JR, Zheng CF, Li Y, et al. Chemical constituents from stems of *Zanthoxylum bungeanum*[J].Chin J Exp Traditi Med Form, 2019, 25(11): 161-166.

50 陈素珍, 薛智. 花椒果皮中化学成分的研究[J]. 中草药, 1985, 16(4): 2-4.
Chen SZ, Xuan Z. Study on chemical constituents in *Zanthoxylum bungeanum* peel[J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 1985, 16(4): 2-4.

51 Samad A, Adeel M, Khan D, et al. Two new bioactive furoquinoline alkaloids from *Zanthoxylum armatum*[J]. Asian J Chem, 2015, 27(7): 2468-2472.

52 刘锁兰, 魏璐雪. 药用花椒化学成分的含量测定[J]. 中草药, 1991, 22(1): 16-18.
Liu SL, Wei LX. Determination of chemical components of prickly ash for medicinal purposes[J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 1991, 22(1): 16-18.

53 吕双, 陈佳欢, 张涛, 等. 花椒果皮化学成分分离鉴定[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(1): 133-138.
Lv S, Chen GH, Zhang T, t al .Chemical constituents of pericarps of *Zanthoxylum bungeanum*[J].Chin J Exp Traditi Med,2020, 26(1): 133-138.

54 Samad A, Badshah S, Khan D, et al. New prenylated carbazole alkaloids from *Zanthoxylum armatum*[J]. J

Asian Nat Prod Res, 2014, 16(12): 1126-1131.

55 翟小雪. 竹叶花椒和中药阿魏的化学成分及生物活性研究[D]. 兰州: 西北民族大学, 2023.
Zai XX. Studies on the chemical constituents and biological activities of *Zanthoxylum armatum* DC. and asafetida[D]. Northwest Minzu Univ, 2023.

56 李春丽, 孟宪华, 尚贤毅, 等. 花椒化学成分及其抗氧化活性[J]. 中草药, 2021, 52(10): 2869-2875.
Li CL, Meng XH, Shang XY, et al. Constituents of *Zanthoxylum bungeanum* pericarps and their anti-oxidative activity [J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2021, 52(10): 2869-2875.

57 杨成峻, 陈明舜, 刘成梅, 等. 花椒果皮多酚类成分鉴定及降血糖活性[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 271-278.
Yang CJ, Chen MS, Liu CM, et al. Chemical composition and hpyerglycemic activity of phenolic extract from *Zanthoxylum bungeanum* pericarps [J]. Food Sci, 2023, 44(2): 271-278.

58 Liang X, Han X. Fragmentation pathways of synthetic and naturally occurring coumarin derivatives by ion trap and quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. Rapid Commun Mass Sp, 2015, 29(17): 1596-1602.

59 Chai T, Zhang WH, Jiao H, et al. A new coumarin from pericarps of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim[J]. J Chem Res, 2021, 45(11-12):1047-1051.

60 Bhatt V, Sharma S, Kumar N, et al. A new lignan from the leaves of *Zanthoxylum armatum*[J]. Nat Prod Commun, 2017, 12(1): 1934578X1701200.

61 陈艳,饶朝龙,李美凤,等.藤椒的活性成分与开发应用研究[J].中国调味品,2018,43(3):163-166.
Chen Y, Rao ZL, Li MF, et al. Research on the active ingredients and development and application of *Zanthoxylum armatum DC*. [J]. Chin Condiment, 2018, 43(3): 163-166.

62 Sun Y, Zeng QH, LU HQ, et al. Two new lignans from *Zanthoxylum armatum*[J]. Nat Prod Res, 2022, 36(13):3331-3336.

63 Zhang W, Wang Y, Geng Z, et al. Antifeedant activities of lignans from stem bark of *Zanthoxylum armatum* DC. against tribolium castaneum[J]. Molecules, 2018, 23(3): 617.

64 杨光忠, 胡昀, 陈玉. 竹叶椒木脂素成分的研究[C].中华中医药学会(China Association of Chinese Medicine), 青海省中医药管理局, 青海省中医药学会. 药用植物化学与中药资源可持续发展学术研讨会论文集(上). 中南民族大学药学院; 中南民族大学化学与材料科学学院, 2009, 78-81.
Yang GZ, Hu Y, Chen Y. Study on lignan components of bamboo and pepper [C]. China Association of Chinese Medicine, Qinghai Administration of Traditional Chinese Medicine, Qinghai Society of Traditional Chinese Medicine. Proceedings of the Symposium on Medicinal Plant Chemistry and Sustainable Development of Chinese Medicine Resources (Part 1. School of Pharmacy, Central South University for Nationalities; School of Chemistry and Materials Science, Central South University for Nationalities, 2009, 78-81.

65 马丹宇. 特色食品花椒叶抗菌活性物质挖掘[D]. 昆明: 云南大学, 2022.
Ma DY. Special food *Zanthoxylum* leaves antibacterial active substances excavation[D]. Yunnan Univ, 2022.

66 Zhai XX, Meng XH, Wang CB, et al. Anti-hypoxic active constituents from the twigs of *Zanthoxylum armatum* DC. and their chemotaxonomic significance[J]. Biochem Syst Ecol, 2022, 104: 104480.

67 Mukhija M, Dhar KL, Kalia AN. Bioactive lignans from *Zanthoxylum alatum* Roxb stem bark with cytotoxic potential[J]. J Ethnopharmacol, 2014, 152(1): 106-112.

68 Wu TT, Hou AJ, Hong ZY, et al. Extracts of *Zanthoxylum bungeanum* regulate cholesterol accumulation induced by sterols and LPS *in vitro* and *in vivo*[J]. J Chin Pharm Sci, 2012, 21(6):582-590.

69 Guo T, Tang XF, Chang J, et al. A new lignan glycoside from the stems of *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Nat Prod Res, 2017, 31(1): 16-21.

70 Ke JX, Cheng JX, Luo QY, et al. Identification of two bitter components in *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. andexploration of their bitter taste mechanism through receptor hTAS2R14[J]. Food Chem, 2020, 338: 127816.

71 吴亮亮, 石雪萍, 张卫明. 花椒总黄酮提取技术研究及黄酮成分分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(2): 16-20.
Wu LL, Shi XP, Zhang WM. Study on etraction technology and component analysis of total flavonoids from *Zanthoxylum Bungeanum* [J]. Food Res Dev, 2011, 32(2): 16-20.

72 吴妍, 杨秀芳, 曹晓晖, 等. 大红袍花椒化学成分的研究[J]. 中成药, 2018, 40(2): 379-382.
Wu Y, Yang XF, Cao XH, et al. Chemical constituents from *Zanthoxylum bungeanum* Dahongpao [J]. Chin tradit pat med, 2018, 40(2): 379-382.

73 Nooreen Z, Singh S, Singh DK, et al. Characterization and evaluation of bioactive polyphenolic constituents from *Zanthoxylum armatum* DC: A traditionally used plant[J]. Biomed Pharmacother, 2017,89: 366-375.

74 吴亮亮, 石雪萍, 张卫明. 反相高效液相色谱法测定花椒的3种黄酮苷元的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2010, 46(12): 1441-1443.
Wu LL, Shi XP, Zhang WM. RP-HPLC determination of 3 favonoid aglycones in *Zanthoxylum Bungeanum*[J]. Phy Tes Chem Anal (Part B: Chem Anal), 2010, 46

(12): 1441-1443.

75 周孟焦, 何鑫柱, 李朝俊, 等. 基于UPLC-Q-TOF-MS技术的竹叶花椒果皮中黄酮类成分分析[J]. 食品工业, 2023, 44(2): 308-311.
Zhou MJ, He XZ, Li JC, et al. Analysis of flavonoids in the peel of *Zanthoxylum armatum* DC. by UPLC-Q-TOF-MS [J]. Food Ind, 2023, 44 (2): 308-311.

76 徐林. 藤椒水提液中黄酮含量测定及抑菌、抗氧化活性的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
Xu L. Researchon the flavonid sand antioxidant and antibact erial activity of water extract from *Zanthoxylum armatum* DC prodr [D]. Sichuan Agricultural Univ, 2016.

77 Sabir SM, Texeira Rocha JB, Boligon AA, et al. Hepatoprotective activity and phenolic profile of *Zanthoxylum alatum* Roxb. fruit extract[J]. Pak J Pharm Sci, 2017, 30(5): 1551-1556.

78 Zhang YJ, Wang DM, Yang LN, et al. Purification and characterization of flavonoids from the leaves of *Zanthoxylum bu-ngeanum* and correlation between their structure and antioxidant activity[J]. Plos One, 2014, 9(8): e105725.

79 石雪萍, 吴亮亮, 张卫明. 高速逆流色谱法分离花椒中的黄酮化合物[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 6-10.
Shi XP, Wu LL, Zhang WM. Separation and preparation of flavonoids from *Zanthoxylum bungeanum* by high-speed countercurrent chromatography[J]. Food Sci, 2013, 34(12): 6-10.

80 Xiong QB, Shi DW, Mizuno M. Flavonol glucosides in pericarps of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Phytochemistry, 1995, 39(3): 723-725.

81 Wang Y, Zhong LJ, Liu XH, et al. ZYZ-772 prevents cardiomyocyte injury by suppressing Nox4-derived ROS production and apoptosis[J]. Molecules, 2017, 22(2): 331.

82 王文泽, 赵余庆, 李铣. 椒目的化学成分[J]. 沈阳药科大学学报, 2006, (2): 91-92,108.
Wang WZ, Zhao YQ, Li X. Chemical constituents from seeds of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim [J]. J Shenyang Pharm Univ, 2006, (2): 91-92,108.

83 Guo T, Dai LP, Tang XF, et al. Two new phenolic glycosides from the stem of *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Nat Prod Res, 2017, 31(20): 2335-2340.

84 焦鑫阳, 李军, 孙立秋, 等. 花椒叶化学成分研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2022, 38(3): 60-62,66.
Jiao XY, Li J, Sun LQ, et al. Chemical constituents from leaves of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim [J]. J Qiqihaer Univ (Nat Sci Ed), 2022, 38(3): 60-62,66.

85 Kalia NK, Singh B, Sood RP. A new amide from *Zanthoxylum armatum*[J]. J Nat Prod, 1999, 62(2): 311-312.

86 Agnihotri S, Wakode S, Ali M. Chemical constituents isolated from *Zanthoxylum armatum* stem bark [J]. Chem Nat Compd, 2017, 53(5): 880-882.

87 刘静宜. 花椒果皮乙酸乙酯部位化学成分及生物活性研究[D]. 西南交通大学, 2023.
Liu JY. Study on The chemical composition and biological activity of ethyl acetate part of pericarps of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim [D]. Southwest Jiaotong Univ, 2023.

88 李桂华, 付黎敏, 薛开发. 花椒种籽化学成分分析研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1994, (4): 21-26.
Li GH, Fu LM, Xue KF. Analytical studies on the chemical composition of pepper seeds[J]. J Henan Univ Technol(Nat Sci Edi) 1994, (4): 21-26.

89 周婷, 蒲彪, 姜欢笑, 等. 不同方法提取的藤椒油脂肪酸组成成分分析[J]. 核农学报, 2015, 29(7): 1323-1328.
Zhou T, Pu B, Jiang HX, et al. Analysis of fatty acid compositions in *Zanthoxylum armatum* DC. oil with different extraction methods[J]. J Nucl Agric Sci, 2015, 29(7): 1323-1328.

90 魏宁果, 范芳芳, 安瑜, 等. 基于主成分和聚类分析的不同产地花椒脂肪酸组成的研究[J]. 中国调味品, 2024, 49(8): 170-174.
Wei NG, Fan FF, An Yet al. Study on composition of fattyAcids in *Zanthoxylum bungeanum* from different places of origin based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Chin Condiment, 2024, 49 (8): 170-174.

91 李亚南, 葛国琴, 陈江琳, 等. 不同省份花椒的脂肪酸组成及相似性分析[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(16): 167-176.
Li YN, Ge GQ, Chen JL , et al. Fatty acid composition and similarity analysis of *Zanthoxylum bungeanum* from different Chinese provinces[J]. Food Res Dev, 2023, 44(16): 167-176.

92 Ma Y, Li X, Hou L, et al. Extraction solvent affects the antioxidant, antimicrobial, cholinesterase and HepG2 human hepatocellular carcinoma cell inhibitory activities of Zanthoxylum bungeanum pericarps and the major chemical components[J]. Ind Crop Prod, 2019, 142: 111872.

93 李品艾, 李晓莉, 张玲. 花椒提取物对人胃癌细胞增殖及凋亡作用的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12091-12092.
Li PA, Li XL, Zhang L. Study on the effect of pericarpium zanthoxyli extracts on proliferation and apoptosis of SGC-7901 cell [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(20): 12091-12092.

94 Zhang Y, Dong H, Zhang J, et al. Inhibitory effect of hyperoside isolated from *Zanthoxylum bungeanum* leaves on SW620 human colorectal cancer cells *via* induction of the p53 signaling pathway and apoptosis[J]. Mol Med Rep, 2017, 16(2): 1125.

95 Alam F, Najum Us Saqib Q, Waheed A. Cytotoxic activity of extracts and crude saponins from *Zanthoxylum*

armatum DC. against human breast (MCF-7, MDA-MB-468) and colorectal (Caco-2) cancer cell lines [J]. Bmc Complem Altern M, 2017, 17(1): 368.

96 李春丽. 花椒中的化学成分及其生物活性的研究[D]. 西北民族大学, 2021.
Li CL. Study on the chemical constituents and biological activities of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim [D]. Northwest Minzu Univ, 2021.

97 Phuyal N, Jha PK, Raturi PP, et al. Total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activities of fruit, seed, and bark extracts of *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Sci World J, 2020, 2020: 8780704.

98 席少阳, 郭延秀, 马晓辉, 等. 花椒化学成分及药理作用的研究进展[J]. 华西药学杂志, 2021, 36(6): 717-722.
Xi SY, Guo YX, Ma XH, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Zanthoxylum*[J]. West China J Pharm Sci, 2021, 36(6):717-722.

99 Barkatullah, Ibrar M, Muhammad N, et al. Antimicrobial evaluation, determination of total phenolic and flavoniod contents in *Zanthoxylum armatum* DC [J]. J Med Plants Res, 2012, 6(11): 2105-2110.

100 贺梦媛,张兵,徐桐,等. 花椒化学成分、药理作用研究进展及质量标志物预测分析[J]. 山东中医杂志,2022, 41(12):1351-1358.
He MY, Zhang B, Xu T, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of Huajiao (*Zanthoxyli Pericarpium*) and predictive analysis of quality markers[J]. Shandong J Tradit Chin Med,2022,41(12):1351-1358.

101 凌智群, 魏居国, 程宝宏, 等. 花椒功效的初步考证[J]. 陕西中医学院学报, 2008, (4): 73-76.
Ling ZQ, Wei JG, Cheng BH, et al. Preliminary investigation of the benefits of *Zanthoxylum bungeanum* [J].J Shaanxi Univ Chin Med, 2008, (4): 73-76.

102 Singh G, Singh R, Verma PK, et al. Anthelmintic efficacy of aqueous extract of *Zanthoxylum armatum* DC. seeds against haemonchus contortus of small ruminants [J]. J Parasit Dis, 2016, 40(2): 528-532.

103 Kumar V, Reddy SG, Chauhan U. Chemical composition and larvicidal activity of *Zanthoxylum armatum* against diamond back moth, plutella xylostella [J]. Nat Prod Res, 2016, 30(6): 689-692.

104 Huang Y, Gong Z, Yan C, et al. Investigation on the mechanisms of *zanthoxylum bungeanum* for treating diabetes mellitus based on network pharmacology, molecular docking, and experiment verification[J]. Biomed Res Int, 2023, 2023: 9298728.

105 Wikul A, Damsud T, Kataoka K, et al. (+)-Pinoresinol is a putative hypoglycemic agent in defatted sesame (Sesamumindicum) seeds though inhibiting a-glucosidase [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2012, (22): 5215-5217.

106 Verm Nitin , Khosa RL. Hepatoprotective activity of leaves of *Zanthoxylum armatum* DC. in CCl4 induced hepatotoxicity in rats[J]. Indian j Biochem Bio, 2010, 47(2): 124-127.

107 Chen ZJ, Tan LL, Xin F, et al. Hydroxy-γ-sanshool from *Zanthoxylum bungeanum* (prickly ash) induces apoptosis of human colorectal cancer cell by activating P53 and caspase 8[J]. Front Nutr, 2022, 9: 914638.

108 Li P, Zhou L, Mou Y, et al. Extraction optimization of polysaccharide from *zanthoxylum bungeanum* using RSM and its antioxidant activity[J]. Int J Biol Macromol, 2015, 72: 19-27.

109 何鑫柱, 李潮俊, 周孟焦, 等. 竹叶花椒黄酮类物质抗氧化活性及其谱效关系[J]. 农产品加工, 2023(12): 54-57.
He XZ, Li CJ, Zhou MJ, et al. Spectrum-effect relationship of antioxidant activity of flavonoids from *zanthoxylum armatum* DC[J]. Agric prod process, 2023(12): 54-57.

110 Kesavan K, Govindasamy H, Gopalan S, et al. Antidiabetic and antioxidant activity of *Zanthoxylum armatum* DC. on type 2 diabetic rats[J]. Intl J Life Sci Pharma Res, 2022, (3): L173-180.

111 姜太玲, 吴红洋, 申光辉, 等. 花椒籽蛋白抗菌肽的抑菌作用及其稳定性研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(8): 129-135.
Jiang TL, Wang HY, Shen GH, et al. Antibacterial activity and stability of antimicrobial peptides in Chinese prickly ash seed proteins[J]. Mod Food Sci Technol, 2015, 31(8): 129-135.

112 Zheng X, Xiang AY, Lian ZL, et al. Efficient isolation of polyunsaturated amides from *Zanthoxylum bungeanum* and assessment of their anti-inflammatory potential [J]. Sep Purif Technol, 2023, 330: 125298.

113 Alam F, Din KM, Rasheed R, et al. Phytochemical investigation, anti-inflammatory, antipyretic and antinociceptive activities of *Zanthoxylum armatum* DC extracts: *In vivo* and *in vitro* experiments[J]. Heliyon, 2020, 6(11): e05571.

114 寇芸芸, 陈新, 王旭, 等. 花椒提取物的杀虫活性研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(7): 1-4.
Kou YY, Chen X, Wang X, et al. The insecticidal activity study of different *Zanthoxylum e*xtraction[J]. Food Res Dev, 2015, 36(7): 1-4.

[本文编辑] 雷 燕 宋睿璞 朱 昊