DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2025.10.026

独活化学成分及药理作用研究进展

白翠慧[1,2],侯国栋[1,2],关永霞[3],郝新宇[4],李慧芬[1],杜玉洁[1],刘青芝[1],郭东晓[2,3]
(1. 山东中医药大学,山东 济南 250355;2. 山东省食品药品检验研究院,中药标准创新与质量评价山东省工程研究中心,中药配方颗粒共性技术山东省工程研究中心,国家药监局胶类产品质量评价重点实验室,山东 济南 250101;3. 经方与现代中药融合创新全国重点实验室,山东 临沂 276006;4. 山东大学口腔医院,口腔生物材料与组织再生山东省工程研究中心,山东 济南 250012)

摘要:独活(Angelica Pubescentis Radix)为伞形科植物重齿毛当归的干燥根,主要分布于我国四川、湖北等地,具有祛风除湿、通痹止痛等功效。目前,已经从独活中鉴定了420种化学成分,主要为香豆素类(107种)和挥发油类(262种)。现代药理学研究表明,独活具有镇痛抗炎、血管保护、抗氧化、中枢调节、抗肿瘤等多种生物活性。系统综述了独活主要化学成分的种类、结构及药理作用,为独活的质量控制、生物活性和开发利用等研究提供参考。

关键词:独活;香豆素;挥发油;镇痛抗炎;抗肿瘤
中图分类号:R285.5 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2025)10-0129-17

Research Progress on Chemical Compositions and Pharmacological Activities of Duhuo(Angelica Pubescentis Radix)

BAI Cuihui[1,2],HOU Guodong[1,2],GUAN Yongxia[3],HAO Xinyu[4],LI Huifen[1],DU Yujie[1],LIU Qingzhi[1],GUO Dongxiao[2,3]
(1. Shandong University of Traditional Chinese Medicine,Jinan 250355,Shandong,China;
2. Shandong Institute for Food and Drug Control,Shandong Engineering Research Center for Standard Innovation and Quality Evaluation of TCM,Shangdong Engineering Research Center for Generic Technologies of Traditional Chinese Medicine Formula Granules,NMPA Key Laboratory for Quality Evaluation of Gelatin Products,Jinan 250101,Shandong,China;
3. State Key Laboratory of Integration and Innovation of Classic Formula and Modern Chinese Medicine,Linyi 276006,Shandong,China;
4. Stomatological Hospital of Shandong University,Shandong Engineering Research Center of Dental Materials and Oral Tissue Regeneration,Jinan 250012,Shandong,China)

Abstract:Duhuo(Angelica Pubescentis Radix) is the dried root of Duhuo(*Angelica pubescens* Maxim. f. biserrata Shan et Yuan),which is mainly distributed in Sichuan and Hubei of China,with the effects of expelling wind and removing dampness,unblocking obstruction and relieving pain in traditional Chinese medicine. A total of 420 chemical compositions have been identified from Duhuo(Angelica Pubescentis Radix),mainly including coumarins(107) and volatile oils(262). Modern pharmacological studies show that Duhuo(Angelica Pubescentis Radix) exhibits a variety of biological activities such as analgesic effect,anti-inflammation,vascular protection,antioxidant effect,central regulation and anti-tumor effect. In this paper,the types,structures and pharmacological effects of the main chemical components of Duhuo(Angelica Pubescentis Radix) were systematically reviewed,which provided a reference for the research on quality control,biological activity,development and utilization.

Keywords:Duhuo(Angelica Pubescentis Radix);coumarins;volatile oils;analgesic and anti-inflammatory effect;anti-tumor effect

基金项目:国家重点研发计划-中医药现代化专项(2023YFC3504100);山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2021CXGC010511);山东省技术创新项目(202350100442);山东软科学研究会"产教融合研究智库专项"(SDRKX-01-202214)

作者简介:白翠慧(1998-),女,山东菏泽人,硕士在读,研究方向:药物分析学。
通讯作者:刘青芝(1985-),女,山东滨州人,副教授,硕士研究生导师,硕士,研究方向:制药工程及药品质量控制。E-mail:qzhiliu@qq.com。
郭东晓(1984-),男,山东淄博人,主任药师,硕士研究生导师,博士,研究方向:中药、保健食品和化妆品质量评价。E-mail:guodx0212@126.com。

独活(Angelica pubescentis radix)别名香独活、肉独活等,为伞形科植物重齿毛当归(*Angelica pubescens* Maxim. f. biserrata Shan et Yuan)的干燥根,药材呈圆柱形,有特异香气,其味苦辛、微温,归肾、膀胱经[1]。独活始载于《神农本草经》,列为上品,具有祛风除湿、通痹止痛的功效,常用于风寒湿痹、腰膝疼痛、少阴伏风头痛等证[2]。独活主要分布在我国安徽、浙江、江西、湖北、四川等地[1,3],其化学成分较为多样,香豆素类、挥发油类为主要成分。现代药理研究表明,独活具有镇痛抗炎、抗氧化、抗肿瘤等药理作用。本文系统综述了独活中主要化学成分的种类、结构及药理作用,为其开发利用提供了参考。

1 化学成分

据目前国内外研究报道,独活主要含香豆素类、挥发油类两大类成分,还含糖类、多烯烃、有机酸、植物甾醇等。经查阅

文献，发现已提取分离得到 420 种，其中以香豆素类、挥发油类为主，如插页XX图 1 所示。

1.1 香豆素类成分

香豆素类化合物是独活的主要活性成分之一，《中华人民共和国药典》即以蛇床子素（angelitriol，75）和二氢欧山芹醇当归酸酯（columbianetin，6）两种香豆素作为独活药材和饮片的质量控制指标。

香豆素类化合物的基本母核为苯骈 α - 吡喃酮，根据取代基和连接方式的不同可分为简单香豆素（Ⅰ型）、呋喃香豆素（Ⅱ型）和吡喃香豆素（Ⅲ型）。目前已分离鉴定出 107 个香豆素类化合物，其中Ⅰ型共有 56 个，Ⅱ型共有 47 个、Ⅲ型共有 4 个。相应化合物见表 1，结构见图 2 - 图 4。

1.2 挥发油类成分

挥发油（volatile oils）又称精油，具有挥发性，可随水蒸气蒸馏且与水不相混溶的油状液体的总称。目前，常见的挥发油萃取方法有水蒸气蒸馏法、顶空液相微萃取、顶空固相微萃取

表 1 独活中香豆素类化学成分

编号	类别	化合物	分子式	分子量	参考文献
1	Ⅰ	isomeranzine	$C_{15}H_{16}O_4$	260.29	[4]
2	Ⅰ	meranzin	$C_{15}H_{16}O_4$	260.29	[4]
3	Ⅲ	hydroxylomatin	$C_{14}H_{14}O_5$	262.08	[4-5]
4	Ⅱ	oxypeucedanine	$C_{16}H_{14}O_5$	286.28	[4]
5	Ⅱ	columbianadin	$C_{19}H_{20}O_5$	328.36	[4]
6	Ⅱ	columbianetin	$C_{14}H_{14}O_4$	246.26	[6]
7	Ⅱ	columbianetin acetate	$C_{16}H_{16}O_5$	288.30	[6]
8	Ⅱ	β - D - glucosyl - columbianetin	$C_{20}H_{24}O_9$	408.14	[6]
9	Ⅰ	peucedanol	$C_{14}H_{16}O_5$	264.10	[6]
10	Ⅱ	angelidiol	$C_{14}H_{14}O_5$	262.08	[6]
11	Ⅱ	angelmarin	$C_{23}H_{20}O_6$	392.13	[6]
12	Ⅱ	pabulenol	$C_{16}H_{14}O_5$	286.08	[6]
13	Ⅱ	imperatorin	$C_{16}H_{14}O_4$	270.09	[6]
14	Ⅱ	cnidilin	$C_{17}H_{16}O_5$	300.10	[6]
15	Ⅱ	byakangelicin	$C_{17}H_{18}O_7$	334.10	[6]
16	Ⅱ	neobyakangelicol	$C_{17}H_{16}O_6$	316.09	[6]
17	Ⅱ	isopimpinellin	$C_{13}H_{10}O_5$	246.22	[6]
18	Ⅰ	ulopterol	$C_{15}H_{18}O_5$	278.12	[6]
19	Ⅰ	osthenol	$C_{14}H_{14}O_3$	230.26	[6]
20	Ⅱ	nodakenetin	$C_{14}H_{14}O_4$	246.09	[6]
21	Ⅱ	isobergapten	$C_{12}H_8O_4$	216.04	[7]
22	Ⅱ	isopsoralen	$C_{11}H_6O_3$	186.03	[7]
23	Ⅰ	angelol A	$C_{20}H_{24}O_7$	376.15	[6]
24	Ⅱ	bergapten	$C_{12}H_8O_4$	216.04	[7]
25	Ⅰ	meranzin hydrate	$C_{15}H_{18}O_5$	278.12	[6]
26	Ⅲ	nodaketin	$C_{19}H_{20}O_5$	328.13	[6]
27	Ⅱ	angenomalin	$C_{14}H_{12}O_3$	228.24	[6-7]
28	Ⅰ	umbelliferone	$C_9H_6O_3$	162.03	[7]
29	Ⅱ	bergaptol	$C_{11}H_6O_4$	202.03	[6-7]
30	Ⅱ	psoralen	$C_{11}H_6O_3$	186.03	[6-7]
31	Ⅰ	scopoletin	$C_{10}H_8O_4$	192.04	[6]
32	Ⅱ	xanthotoxin	$C_{12}H_8O_4$	216.04	[6-7]
33	Ⅱ	nodakenin	$C_{20}H_{24}O_9$	409.15	[7]
34	Ⅱ	isoimperatorin	$C_{16}H_{14}O_4$	270.28	[7]
35	Ⅱ	oxypeucedanin hydrate	$C_{16}H_{16}O_6$	304.29	[6-7]
36	Ⅰ	scoparone	$C_{11}H_{10}O_4$	207.07	[8]
37	Ⅰ	phebalosin	$C_{15}H_{14}O_4$	259.10	[8]
38	Ⅱ	trioxsalen	$C_{14}H_{12}O_3$	229.09	[8]
39	Ⅲ	luvangetin	$C_{15}H_{14}O_4$	259.10	[8]
40	Ⅰ	ostruthin	$C_{19}H_{22}O_3$	299.17	[8]
41	Ⅱ	vaginidiol	$C_{14}H_{14}O_5$	262.26	[9]
42	Ⅱ	isooxypeucedanin	$C_{16}H_{14}O_5$	286.08	[9]
43	Ⅰ	anpubesol	$C_{20}H_{26}O_7$	378.17	[9]
44	Ⅰ	isoangelol	$C_{20}H_{24}O_7$	376.40	[9]
45	Ⅰ	6 - O - β - D - apiofuranosyl - (1→6) - β - D - glucopyranosyl - scopoletin	$C_{20}H_{24}O_{13}$	472.12	[10]
46	Ⅰ	7 - O - β - D - glucopyranosyl - umbelliferone	$C_{15}H_{16}O_8$	324.08	[10]
47	Ⅰ	7 - O - β - D - apiofuranosyl - (1→6) - β - D - glucopyranosyl - umbelliferone	$C_{20}H_{24}O_{12}$	456.13	[10]
48	Ⅱ	columbianin	$C_{26}H_{34}O_{14}$	570.19	[11]
49	Ⅱ	tert - O - β - D - glucopy - ranosyl - (R) - byakangelicin	$C_{23}H_{28}O_{12}$	496.16	[11]
50	Ⅱ	sec - O - β - D - glucopy - ranosyl - (R) - byakangelicin	$C_{23}H_{28}O_{12}$	496.16	[11]
51	Ⅱ	columbianetin propionate	$C_{17}H_{18}O_5$	302.11	[12]
52	Ⅱ	dihydrocolumbianadin	$C_{19}H_{22}O_5$	330.15	[12]
53	Ⅰ	angelol A dehydration	$C_{20}H_{22}O_6$	358.14	[12]
54	Ⅰ	isoangelol dehydration	$C_{20}H_{22}O_6$	358.14	[12]
55	Ⅰ	anpubesol dehydration	$C_{20}H_{24}O_6$	360.16	[12]
56	Ⅰ	angelol C dehydration	$C_{20}H_{24}O_6$	360.16	[12]
57	Ⅰ	osthole	$C_{15}H_{16}O_3$	244.29	[13]
58	Ⅰ	glabra - lactone	$C_{16}H_{16}O_5$	288.10	[14]
59	Ⅰ	angelin	$C_{20}H_{22}O_5$	342.15	[14]
60	Ⅰ	8 - (3 - hydroxy - isovaleryl) - 5,7 - dimethoxycoumarin	$C_{16}H_{18}O_6$	306.11	[14]
61	Ⅰ	coumurrayin	$C_{16}H_{18}O_4$	274.12	[6,14]
62	Ⅰ	7 - methoxy - 8 - senecioylcoumarin	$C_{15}H_{14}O_4$	258.09	[14]
63	Ⅰ	umbelliprenin	$C_{24}H_{30}O_3$	366.22	[14]
64	Ⅱ	sec - O - acetylbyakangelicin	$C_{19}H_{20}O_8$	376.11	[14]
65	Ⅱ	ferulin	$C_{17}H_{16}O_6$	316.09	[14]
66	Ⅱ	xanthotoxol	$C_{11}H_6O_4$	202.16	[15]
67	Ⅰ	4 - methyl - umbelliferyl acetate	$C_{12}H_{10}O_4$	218.21	[15]
68	Ⅰ	7 - demethyl - dihydroangelol C	$C_{19}H_{24}O_7$	365.16	[15]
69	Ⅰ	trans - dehydroosthol	$C_{15}H_{14}O_3$	243.10	[15]
70	Ⅱ	pimpinellin	$C_{13}H_{10}O_5$	247.06	[15]
71	Ⅰ	suberenol	$C_{15}H_{16}O_4$	261.11	[15]
72	Ⅱ	oroselone	$C_{14}H_{10}O_3$	227.07	[15]
73	Ⅱ	isoangenomalin	$C_{14}H_{12}O_3$	229.09	[15]
74	Ⅰ	dehydra - angelol B	$C_{20}H_{22}O_6$	359.15	[15]
75	Ⅰ	angelitriol	$C_{15}H_{18}O_6$	294.11	[15]
76	Ⅰ	6 - [(1R,2R) - 1,2 - dihydroxy - 3 - β - D - glucosyloxy - 3 - methylbutyl] - 7 - methoxycoumarin	$C_{21}H_{28}O_{11}$	456.16	[16]
77	Ⅰ	angepubebisin	$C_{23}H_{28}O_7$	416.18	[17]
78	Ⅰ	peucedanol	$C_{14}H_{16}O_5$	264.10	[18]
79	Ⅰ	apiosylskimmin	$C_{20}H_{24}O_{12}$	456.13	[18]
80	Ⅱ	marmesinin	$C_{20}H_{24}O_9$	408.14	[18]
81	Ⅰ	angelol J	$C_{17}H_{22}O_6$	322.14	[18]
82	Ⅰ	angelol G	$C_{20}H_{24}O_7$	376.15	[19]
83	Ⅰ	angelol B	$C_{20}H_{24}O_7$	376.15	[19]
84	Ⅰ	angelol C	$C_{20}H_{26}O_7$	378.17	[19]

续表 1 独活中香豆素类化学成分

编号	类别	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	类别	化合物	分子式	分子量	参考文献
85	Ⅰ	angelol I	$C_{20}H_{26}O_7$	378.17	[19]	98	Ⅱ	columbianetin－β－D－glucopyranoside	$C_{20}H_{24}O_9$	394.13	[22]
86	Ⅰ	angelol D	$C_{20}H_{24}O_7$	376.15	[19]	99	Ⅰ	angelol A－3'－β－D－glucoside	$C_{26}H_{35}O_{12}$	539.21	[23]
87	Ⅰ	angelol K	$C_{20}H_{24}O_7$	376.15	[19]	100	Ⅱ	heramandiol	$C_{14}H_{14}O_5$	262.00	[24]
88	Ⅰ	angelol L	$C_{20}H_{26}O_7$	378.17	[19]	101	Ⅰ	2'－deoxymeranzin hydrate	$C_{15}H_{18}O_4$	262.12	[25]
89	Ⅰ	esculin	$C_{15}H_{16}O_9$	341.09	[20]	102	Ⅰ	6－formyl－7－methoxycoumarin	$C_{11}H_8O_4$	204.18	[26]
90	Ⅰ	esculetin	$C_9H_6O_4$	179.03	[20]	103	Ⅰ	6－(3－hydroxy－3－methyl－2－oxobutyl)－7－methoxycoumarin	$C_{15}H_{16}O_5$	275.09	[27]
91	Ⅱ	decuroside V	$C_{20}H_{24}O_{10}$	425.14	[20]	104	Ⅰ	(R)－6－(1,3－dihydroxy－3－methyl－2－oxobutyl)－7－methoxycoumarin	$C_{15}H_{16}O_6$	337.09	[27]
92	Ⅲ	decursinol	$C_{14}H_{14}O_4$	247.10	[20]	105	Ⅰ	angelol N	$C_{20}H_{24}O_7$	421.15	[27]
93	Ⅱ	phellopterin	$C_{17}H_{16}O_5$	301.11	[20]	106	Ⅰ	thamnosmonin	$C_{15}H_{16}O_5$	276.28	[27]
94	Ⅱ	allopsoralen	$C_{11}H_6O_3$	187.04	[20]	107	Ⅱ	hermandiol	$C_{14}H_{14}O_5$	262.08	[27]
95	Ⅱ	angelmanetin	$C_{28}H_{30}O_{12}$	558.50	[21]						
96	Ⅱ	angelmarin－4'－β－D－glucose	$C_{30}H_{32}O_{12}$	584.60	[21]						
97	Ⅰ	tortuoside	$C_{20}H_{26}O_{10}$	426.40	[21]						

和超临界流体萃取等[1]。目前,已在独活中提取分离得到 262 种挥发油类成分,包括酯类、醇类、酚类、简单碳氢化合物等[22]。此类化合物多有抗炎、镇痛等功效。

1.2.1 酸类 从独活中提取的酸类挥发油有 12 种,多为长链脂肪酸,相应化合物见表 2,结构见图 5。

表 2 独活中酸类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
108	3－methyl－butanoic acid	$C_5H_{10}O_2$	102.13	[28]
109	2－methyl－butanoic acid	$C_5H_{10}O_2$	102.13	[28]
110	2,2－dimethyl－3(－2－pro－penyl)－cyclopropanecar－boxylic acid	$C_9H_{14}O_2$	154.21	[28]
111	myristoleic acid	$C_{14}H_{26}O_2$	226.35	[28]
112	palmitoleic acid	$C_{16}H_{30}O_2$	254.41	[28]
113	gamolenic acid	$C_{18}H_{30}O_2$	278.43	[28]
114	n－hexadecanoic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	256.42	[28]
115	roughanic acid	$C_{16}H_{26}O_2$	250.38	[28]
116	7,10－pentadecadiynoic acid	$C_{15}H_{22}O_2$	234.33	[28]
117	angelic acid	$C_5H_8O_2$	100.12	[29]
118	myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	228.37	[29]
119	(Z)－11－hexadecenoic acid	$C_{16}H_{30}O_2$	254.41	[29]

1.2.2 醇类或醚类 从独活中提取的醇类和醚类挥发油有 87 种,相应化合物见表 3,结构见图 6。

1.2.3 醛类 醛类是羰基碳与氢和烃基相连的化合物,在独活中鉴定出 15 种,相应化合物见表 4,结构见图 7。

1.2.4 酯类 酯类是由无机酸或有机酸与醇进行酯化反应缩去水而成,相应化合物见表 5,结构见图 8。

1.2.5 酮类 根据分子中烃基的不同,可分为脂肪酮(262、266、280、281、288)、脂环酮(263～265、267～271、273～277、282～283、285～287、289)和芳香酮(272、278、279、284)等。相应化合物见表 6,结构见图 9。

1.2.6 简单碳氢化合物 独活中分离得到的简单碳氢化合物类挥发油有 80 种,相应化合物见表 7,结构见图 10。

1.3 其他成分

除以上成分外,独活中还含有一些其他类型的化学成分,主要有阿魏酸(ferulic acid,398)、3－O－反式阿魏酰基奎宁酸(3－O－trans－feruloylquinic acid,390)、3－O－反式香豆酰基奎宁酸(3－O－trans－coumaroylquinic acid,391)等简单苯丙酸类,以及胡萝卜苷(daucosterol,379)、豆甾醇(stigmasterol,395)、β－谷固醇(β－sitosterol,396)等植物甾醇类,还有糖类和一些其他成分。相应化合物见表 8,结构见图 11。

2 药理作用

据《神农本草经》《中华人民共和国药典》等记载,独活具有祛风除湿、散寒止痛等功效,可用于治疗风寒湿痹、腰膝疼痛、头痛齿痛等。随着现代药学技术方法的研究发现独活的药理作用主要有镇痛抗炎、心血管保护、抗氧化、中枢调节、抗肿瘤等多种作用。

2.1 镇痛抗炎

独活中结构多样的香豆素类成分具有较好的镇痛抗炎作用。CHEN Y 等[36]通过后爪水肿试验、腹腔毛细血管通透性实验、皮肤窗实验发现提取分离得到的香豆素类成分 columbianadin(5)、columbianetin acetate(7)、bergapten(24)、umbelliferone(28)表现出抗炎和镇痛活性,osthole(57)和 xanthotoxin(32)只有抗炎活性,而 isoimperatorin(34)仅表现出镇痛作用。肿瘤坏死因子－α(TNF－α)、白细胞介素－1β(IL－1β)和白细胞介素－6(IL－6)水平的降低能够减弱瞬时受体电位阳离子通道 1(TRPV1)和蛋白激酶 RNA 样内质网激酶(pERK)的表达,从而产生镇痛作用。LI R L 等[46]通过小鼠神经损伤模型,研究发现独活中香豆素成分 osthole(57)和 columbianadin(5)可能通过降低 TNF－α、IL－1β 和 IL－6 发挥镇痛作用。

独活中的挥发油类成分也有明确的镇痛抗炎活性。FAN L 等[47]以吗啡注射液为阳性对照,采用醋酸致小鼠扭体法与热板法观察独活总挥发油对小鼠的镇痛作用。结果表明,高剂量组可显著减少小鼠扭动次数($P<0.05$,镇痛率可达 76.8%),但对热板所致小鼠疼痛无明显抑制作用,与对照组结果相接近;此外,通过大鼠足肿胀实验观察抗炎作用,低剂量和高剂量组均对足部肿胀有较好的抗炎作用,其机制可能与抑制炎症介质 5－羟色胺(5－HT)的释放有关。SUN W 等[48]研究N－酰基乙醇胺水解酸酰胺酶(NAAA)的水解活性及其对脂多糖(LPS)诱导的小鼠巨噬细胞 RAW264.7 炎症反应模型的抗炎作用,发现独活挥发油的抗炎作用是通过抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞中 NAAA 的水解活性来介导的,从而提高 N－棕榈酰乙醇胺(PEA)水平,进而下调 RAW264.7 细胞中 TNF－α、诱导性一氧化氮合酶(iNOS)和 IL－6 mRNA 的表达,抑制 TNF－α 和一氧化氮(NO)的释放,发挥抗炎作用。

前列腺素(PGs)是一种与炎症紧密相关的重要介质,而环氧化酶(COX)是 PGs 产生的关键酶。QIU J B 等[33]的研究发现,独活乙醇提取物对环氧合酶－1(COX－1)和环氧合酶－2(COX－2)有不同程度的抑制作用。剂量相同时,独活对

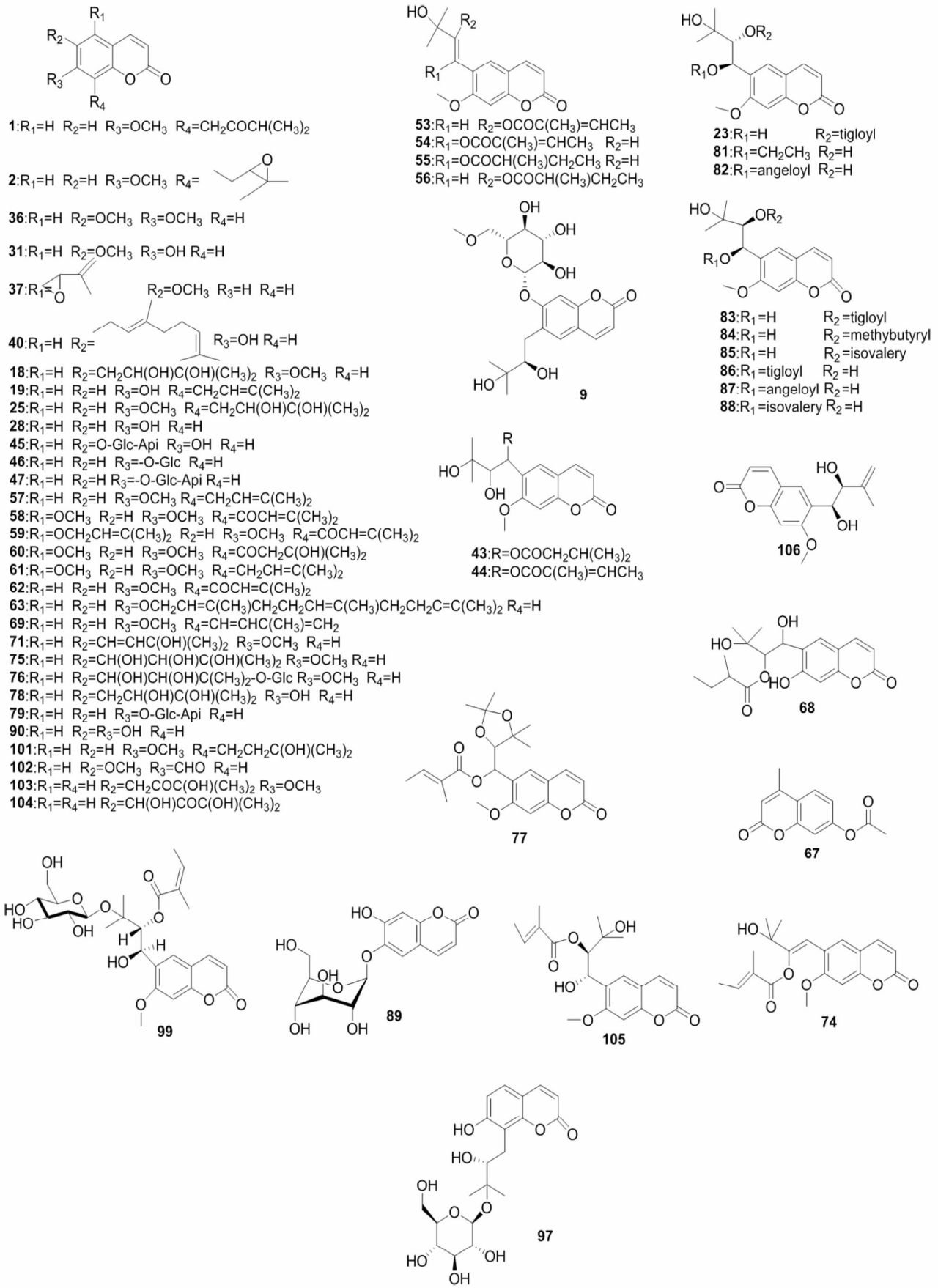


图 2 独活中简单香豆素类结构

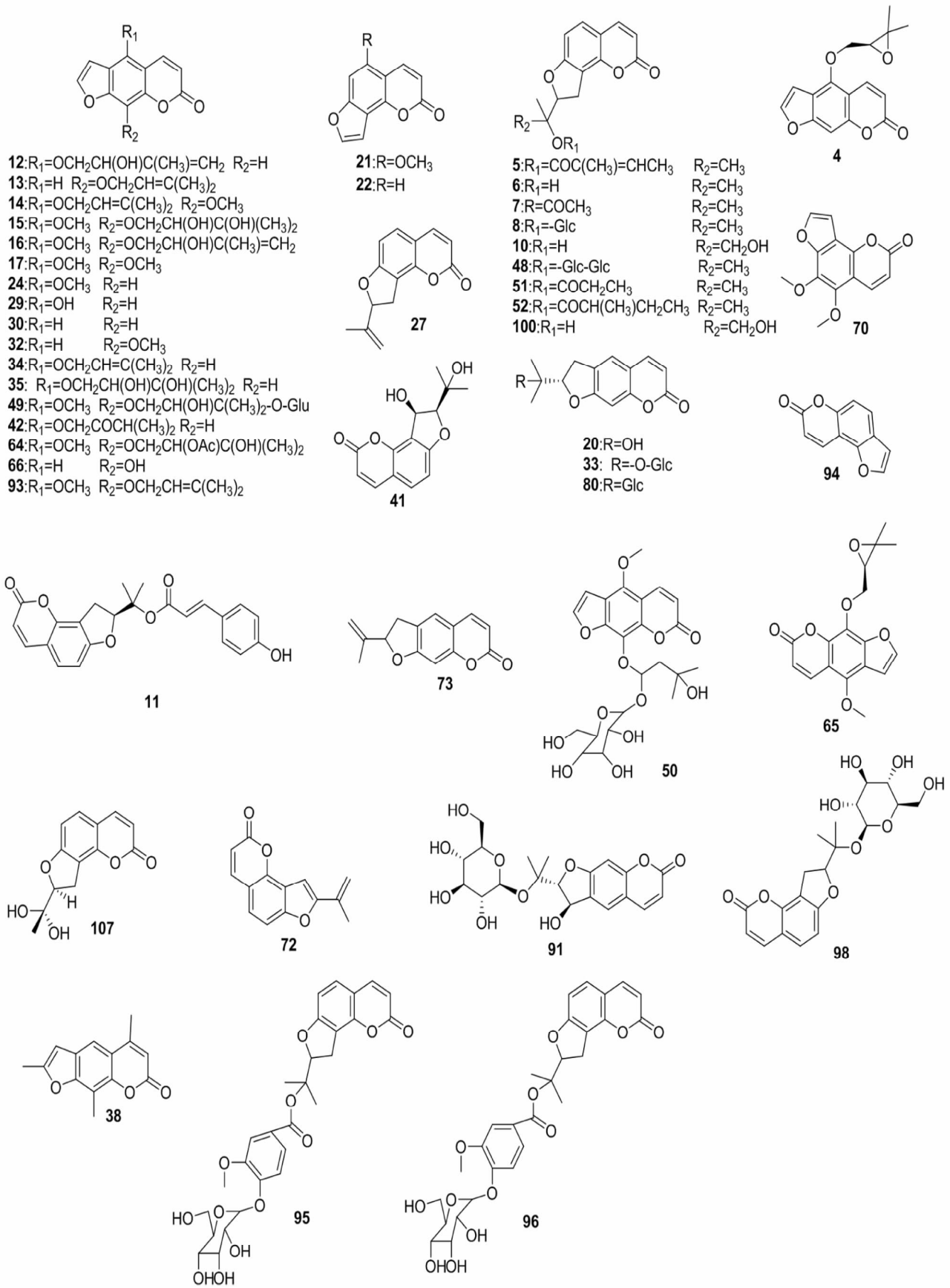


图 3 独活中呋喃香豆素类结构

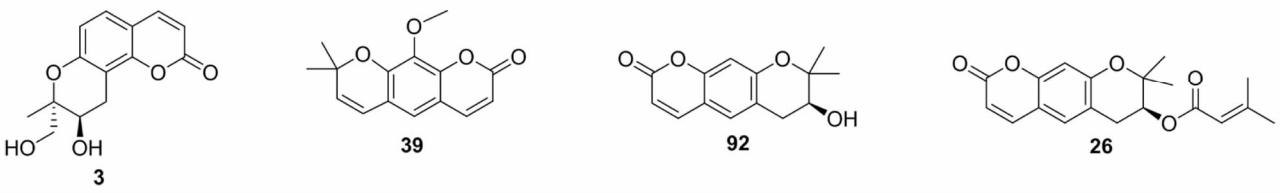


图 4 独活中吡喃香豆素类结构

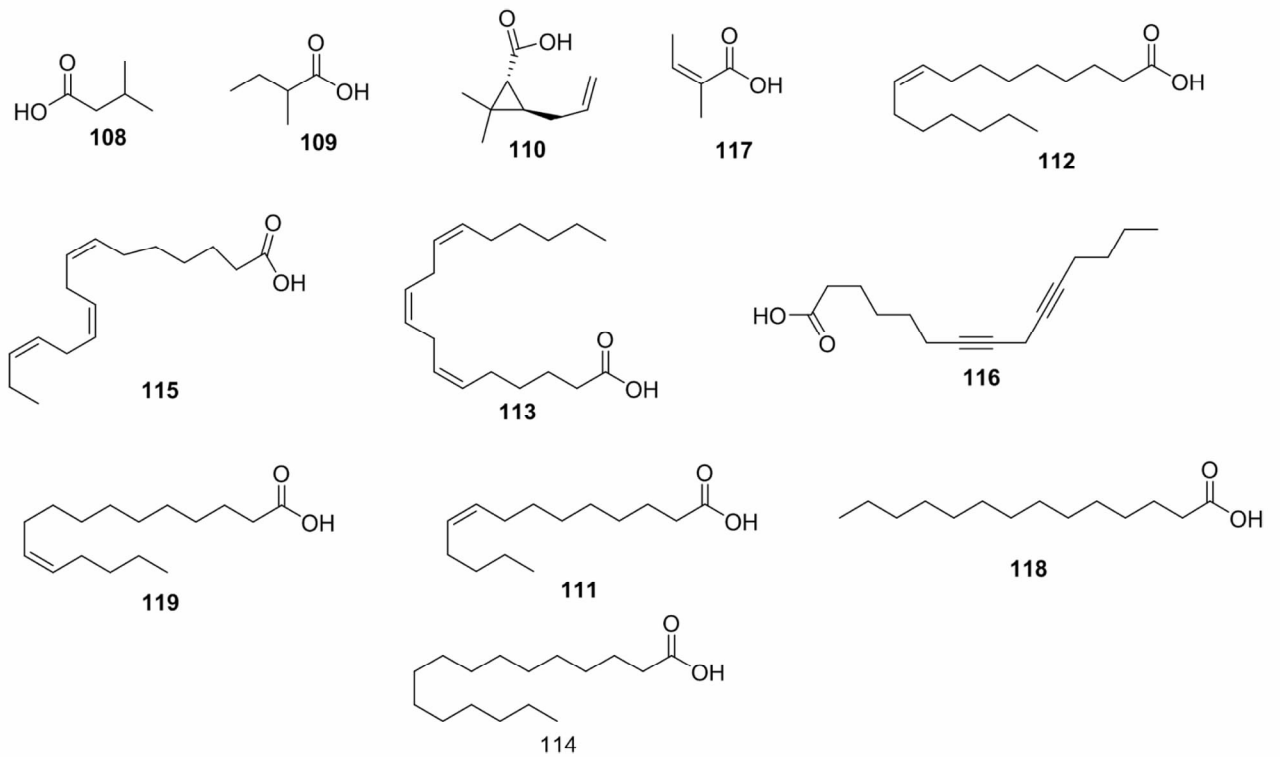


图 5 独活中酸类挥发油结构

表 3 独活中醇类或醚类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
120	(R) -2 -octanol	$C_8H_{18}O$	130.23	[28]	138	2 -(2 -methoxyphenyl) pro -pan -2 -ol	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]
121	linalool oxide	$C_{10}H_{18}O_2$	170.25	[28]	139	4 -methoxybenzene -1,2 -diol	$C_7H_8O_3$	140.14	[28]
122	2 -nonanol	$C_9H_{20}O$	144.25	[30]	140	humulenol	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]
123	4 -methyl -4 -heptanol	$C_8H_{18}O$	130.23	[28]	141	trans -methylisoeugenol	$C_{11}H_{14}O_2$	178.23	[28]
124	2 -methyl -5(-1 -methylethyl) -(1α,2α,5α) -bi -cyclo [3.1.0] hexan -2 -ol	$C_{10}H_{18}O$	154.25	[28]	142	cubenol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[28]
					143	elemol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[28]
125	3 -methyl -3 -nonanol	$C_{10}H_{22}O$	158.28	[28]	144	muurola -4,10(14) -dien -1β -ol	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]
126	p -mentha -1,5 -dien -8 -ol	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]	145	(E) -nuciferol	$C_{15}H_{22}O$	218.33	[28]
127	camphol	$C_{10}H_{18}O$	154.25	[28]	146	spathulenol	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]
128	terpinen -4 -ol	$C_{10}H_{18}O$	154.25	[28]	147	cedrenol	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]
129	p -cymen -8 -ol	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]	148	β -acorenol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[28]
130	α -terpineol	$C_{10}H_{18}O$	154.25	[30]	149	13 -tetradecanolide	$C_{14}H_{26}O_2$	226.35	[28]
131	myrtanol	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]	150	2 -(diethylaminophenyl -methyl) cyclohexanol	$C_9H_{17}NO$	155.24	[28]
132	trans -piperitol	$C_8H_8O_3$	152.15	[28]					
133	trans -carveol	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]	151	α -bisabolol oxide	$C_{15}H_{26}O_2$	238.37	[28]
134	carveol	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]	152	3,4′ -bsopropylidenedi -phenol	$C_{15}H_{16}O_2$	228.29	[28]
135	diosphenol	$C_{10}H_{16}O_2$	168.23	[28]	153	α -bisabolol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[28]
136	phytol	$C_{20}H_{40}O$	296.53	[28]	154	α -cis -santalol	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]
137	p -cymen -7 -ol	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]	155	α -ionol	$C_{13}H_{22}O$	194.31	[28]

续表 3 独活中醇类或醚类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
156	aromadendrane - 4,10 - diol	$C_{15}H_{26}O_2$	238.37	[28]	181	humulene epoxide	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]
157	(+) - spathulenol	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]	182	trans - sesquisabinene hydrate	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[28]
158	α - copaen - 11 - ol	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]	183	ledene oxide	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[28]
159	2 - isopropyl - 5 - methylan - isole	$C_{11}H_{16}O$	164.24	[28]	184	trimethyl - octahydro - 2hnaphtho[1,2 - b]oxireno[2,3 - c]furan	$C_{15}H_{22}O_2$	234.33	[28]
160	isothymol methyl ether	$C_{11}H_{20}O$	168.28	[28]	185	1 - octanol	$C_8H_{18}O$	130.23	[29]
161	thymohydroquinone dimethyl ether	$C_{12}H_{18}O_2$	194.27	[28]	186	thymol	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[29]
162	myristicin	$C_{11}H_{12}O_3$	192.21	[28]	187	guaiol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[29]
163	3 - methyl - phenol	C_7H_8O	108.14	[28]	188	3 - hexanol	$C_6H_{14}O$	102.17	[30]
164	2 - ethyl - 6 - methyl - phenol	$C_9H_{12}O$	136.19	[28]	189	nerolidol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[29]
165	3 - t - butylphenol	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]	190	phenol,4 - (1,1 - dimethylethyl) - 2 - methyl	$C_{11}H_{16}O$	164.24	[8]
166	2 - methoxy - 4 - vinylphenol	$C_9H_{10}O_2$	150.17	[28]	191	phenol	C_6H_6O	94.11	[29]
167	methyleugenol	$C_{11}H_{14}O_2$	178.23	[28]	192	2 - decanol	$C_{10}H_{22}O$	158.28	[29]
168	paeonal	$C_9H_{10}O_3$	166.17	[28]	193	1 - nonanol	$C_9H_{20}O$	144.25	[29]
169	2,4′- isopropylidenedipheno	$C_{15}H_{16}O_2$	228.29	[28]	194	α,α,4 - trimethylbenzenemethanol	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[29]
170	biosol	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]	195	decyl alcohol	$C_{10}H_{22}O$	158.28	[29]
171	3 - methyl - 6 - (1 - methylethyl) - 2 - cyclohexen - 1 - ol acetate	$C_{10}H_{18}O$	154.24	[28]	196	trans - 2 - undecen - 1 - ol	$C_{11}H_{22}O$	170.29	[29]
172	2 - methoxy - 1,7,7 - tri - methyl - bicyclo[2.2.1]heptane	$C_{11}H_{20}$	168.27	[28]	197	3 - methylveratrote	$C_9H_{12}O_2$	152.19	[29]
173	3,4 - dimethoxytoluene	$C_9H_{12}O_2$	152.19	[28]	198	4 - ethylveratrol	$C_{10}H_{14}O_2$	166.22	[29]
174	2 - methoxy - p - cymene	$C_{11}H_{16}O$	164.24	[28]	199	cis - isolimonenol	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[29]
175	2,5 - dimethoxytoluene	$C_9H_{12}O_2$	152.19	[28]	200	2 - ethyl - 1 - hexanol	$C_8H_{18}O$	130.23	[29]
176	3,5 - dimethoxytoluene	$C_9H_{12}O_2$	152.19	[28]	201	β - bisabolol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[29]
177	antioxine	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]	202	bulnesol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[29]
178	elemicin	$C_{12}H_{16}O_3$	208.25	[28]	203	bicyclo - [3,10] - hexan - 3 - ol	$C_6H_{10}O$	98.14	[31]
179	3,9 - epoxy - 1p - menthene	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]	204	cedrol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[31]
180	2,3 - dihydro - 2,2,4,6 - tetramethyl - benzofuran	$C_{12}H_{16}O$	176.25	[28]	205	globulol	$C_{15}H_{26}O$	222.37	[31]
					206	o - methylphenol	C_7H_8O	108.14	[31]

表 4 独活中醛类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
207	3 - methyl - 2 - butenal	C_5H_8O	84.12	[28]
208	2 - butyn - 1 - aldiethyl acetal	$C_8H_{14}O_2$	142.20	[28]
209	benzeneacetaldehyde	C_8H_8O	120.15	[28]
210	2 - nonenal	$C_9H_{16}O$	140.22	[28]
211	α - thujenal	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]
212	p - cumic aldehyde	$C_{10}H_{12}O$	148.20	[28]
213	phellandral	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]
214	2 - caren - 10 - al	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]
215	safranal	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]
216	furfura	$C_5H_4O_2$	96.08	[29]
217	octanal	$C_8H_{16}O$	128.21	[29]
218	benzaldehyde	C_7H_6O	106.12	[29]
219	decanal	$C_{10}H_{20}O$	156.27	[29]
220	2,3 - dihydro - 2 - methyl - 5 - benzofurancarbaldehyde	$C_{10}H_{10}O_2$	162.19	[29]
221	(Z) - 7 - hexadecenal	$C_{16}H_{30}O$	238.41	[31]

COX - 2 的抑制率大于 COX - 1,这也可能是独活的抗炎镇痛机制之一。孙东东等[34]使用了 3 种经典的抗炎模型和 2 种镇痛模型评价了独活醇提取物的抗炎和镇痛活性,发现独活乙醇提取物在镇痛抗炎方面效果较好。

2.2 血管保护

独活可通过抑制血小板的聚集从而达到对心血管系统的保护作用。LI R Z 等[49]通过对体外二磷酸腺苷(ADP)诱导的大鼠血小板聚集实验评估其作用,在浓度为 1 mg/mL 时,从独活中获得的 8 种香豆素(5 - 7、24、32、34、57、98)均具有明显的血小板聚集抑制活性,进而保护心血管系统。

YAO L 等[50]使用力 - 电转换器检测了化合物 57 对分离的动脉环的松弛作用,结果表明其对收缩的肺动脉环具有剂量依赖性松弛活性,这种作用可通过内皮剥脱和内皮一氧化氮合酶(eNOS)抑制而减弱,证明其松弛作用依赖于内皮完整性和 NO 产生,并由内皮 PI3K/AKT - eNOS - NO 途径介导。CAO Y J 等[51]采用高血压二肾一夹(2K,1C)模型研究了独活中 imperatorin(13)的降压作用,发现该成分降血压作用显著。

2.3 抗氧化

独活中结构多样的多酚类成分具有较强的抗氧化作用,通过抑制自由基的活性从而防止细胞损伤,延缓衰老。羟基是香豆素类成分发挥抗氧化作用的关键基团,羟基的取代位置、数量对抗氧化活性有显著影响,scopoletin(31)与 esculetin(90)相比,甲氧基取代的化合物 31 在清除自由基方面活性较差,而化合物 90 自由基邻醌形式的共振结构导致其活性较强[52]。PRAHADEESH N 等[53]采用标准抗氧化能力(FRAP)测定法和过氧化氢测定法测定了香豆素、4 - 羟基香豆素、化合物 28 和 7 - 羟基 - 4 - 甲基香豆素的抗氧化活性,对比后发现香豆素类结构中 7 位羟基可将过氧化物清除率提高 3 倍以上,4 位增加甲基会降低过氧化物清除能力。

超氧化物歧化酶(SOD)活性和自由基代谢产物丙二醛(MDA)含量是检测抗氧化的两个重要指标。胡昱等[54]通过 H_2O_2 致 SH - SY5Y(人骨髓神经母细胞瘤细胞株)细胞损伤实验发现,独活不同提取物均能显著提高 H_2O_2 所致损伤的SH -

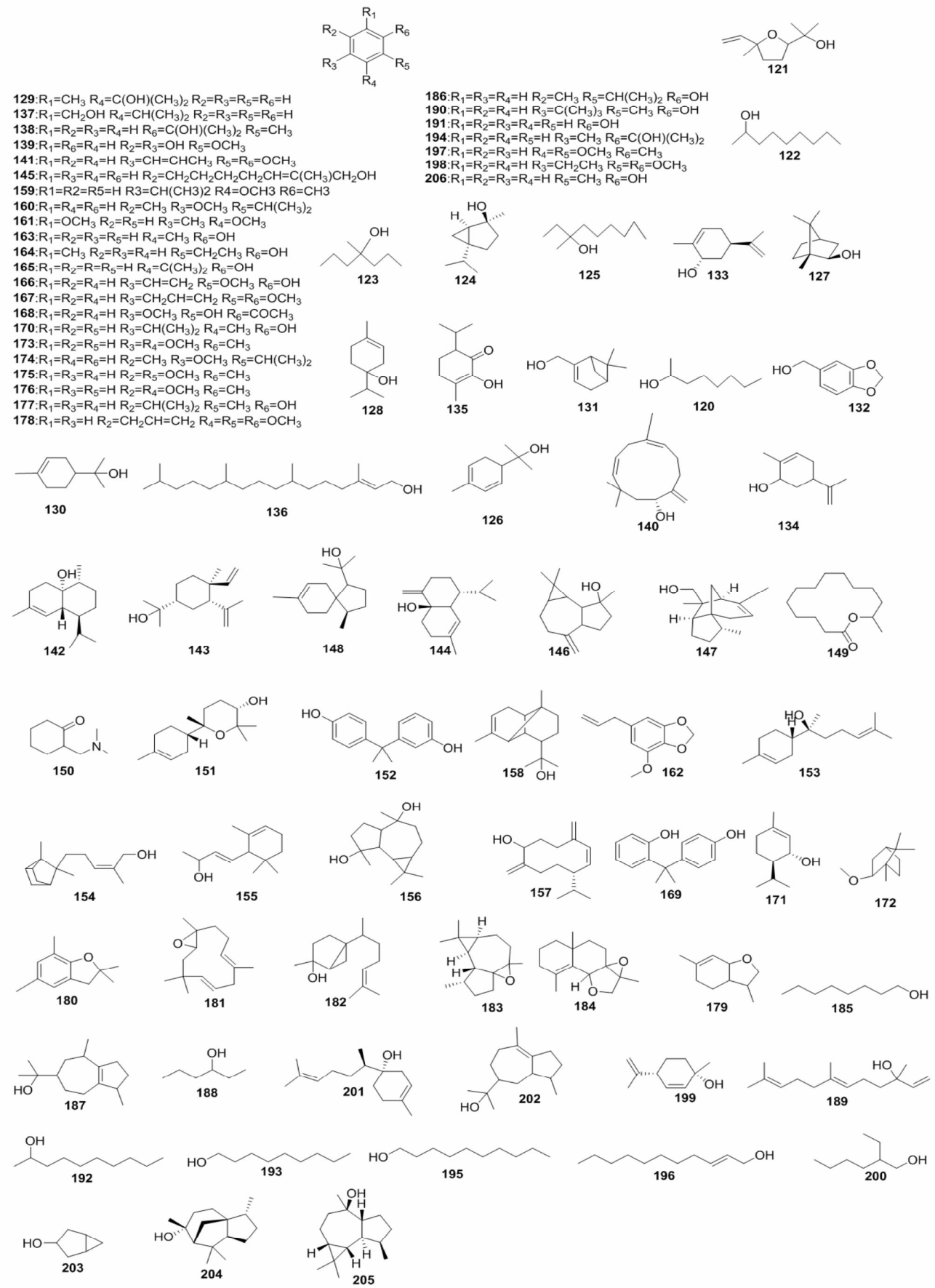


图 6 独活中醇类或醚类挥发油结构

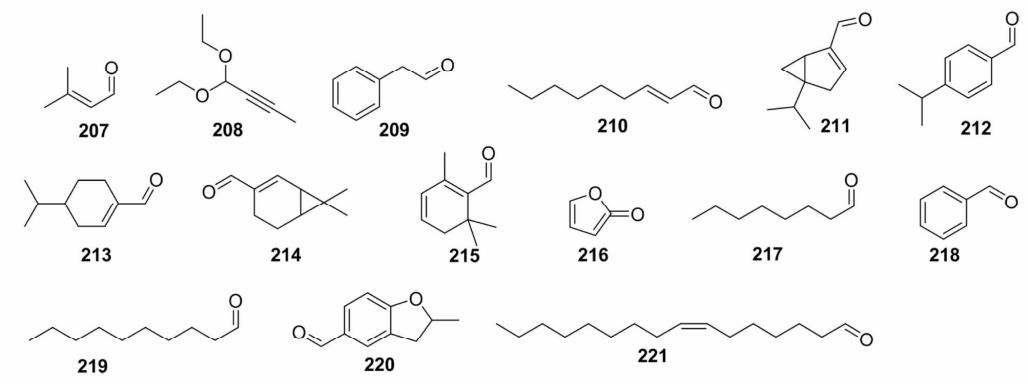


图 7 独活中醛类挥发油结构

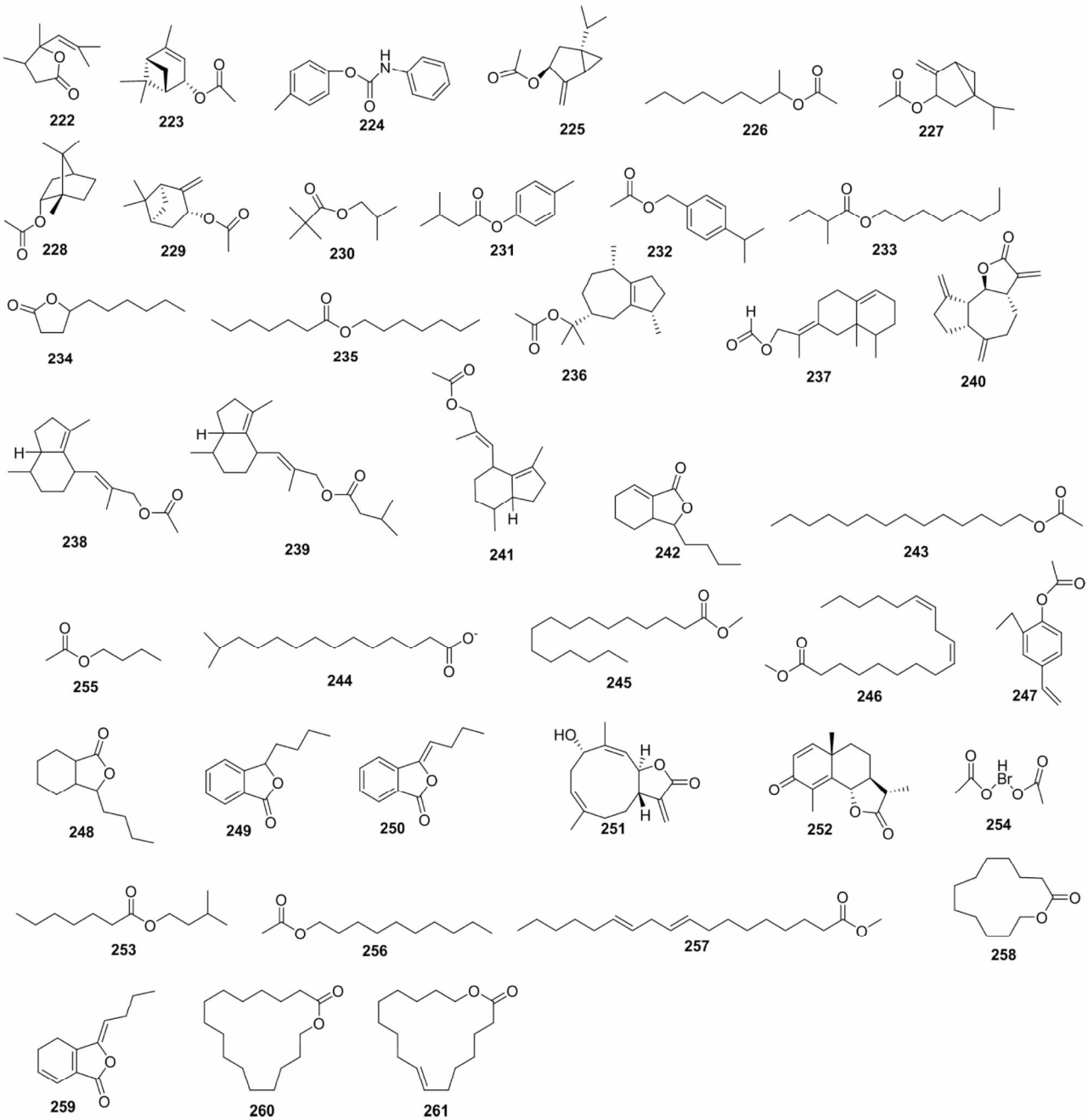


图 8 独活中酯类挥发油结构

表 5 独活中酯类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
222	4 - hydroxy - 3,4,6 - tri - methylhept - 5 - enoic acid lactone	$C_{10}H_{16}O_2$	168.23	[28]	243	1 - tetradecyl acetate	$C_{16}H_{32}O_2$	256.42	[28]
223	cis - verbenol, acetate	$C_{12}H_{18}O_2$	194.27	[28]	244	13 - methyltetradecanoate	$C_{15}H_{29}O_2$ -	241.39	[28]
224	carbamic acid, p - tolyl este	$C_{14}H_{13}NO_2$	227.26	[28]	245	methyl hexadecanoate	$C_{17}H_{34}O_2$	270.45	[28]
225	trans - sabinyl acetate	$C_{12}H_{18}O_2$	194.27	[28]	246	methyl linoleate	$C_{19}H_{34}O_2$	294.50	[28]
226	2 - nonanol, acetate	$C_{11}H_{22}O_2$	186.29	[28]	247	4 - acetoxy - 3 - methoxysty - rene	$C_{11}H_{12}O_3$	192.21	[28]
227	sabinyl acetate	$C_{12}H_{18}O_2$	194.27	[28]	248	hexahydro - 3 - butylphthalide	$C_{12}H_{20}O_2$	196.28	[28]
228	bornyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	196.29	[30]	249	3 - butylphthalide	$C_{12}H_{14}O_2$	190.24	[28]
229	trans - pinocarvyl acetate	$C_{12}H_{18}O_2$	194.27	[28]	250	Z - butylidenephthalide	$C_{12}H_{12}O_2$	188.22	[28]
230	pivalic acid, 2 - methyphenyl ester	$C_9H_{18}O_2$	158.24	[28]	251	hanphyllin	$C_{15}H_{20}O_3$	248.32	[28]
231	p - cresyl isovalerate	$C_{12}H_{16}O_2$	192.25	[28]	252	α - santonin	$C_{15}H_{18}O_3$	246.30	[28]
232	cuminyl acetate	$C_{12}H_{16}O_2$	192.25	[28]	253	3 - methylbutyl heptanoate	$C_{12}H_{24}O_2$	200.32	[29]
233	2 - methyl - butanoic acid, octyl ester	$C_{13}H_{26}O_2$	214.34	[28]	254	bomyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	198.99	[29]
234	γ - decalactone	$C_{10}H_{18}O_2$	170.25	[28]	255	butyl acetate	$C_6H_{12}O_2$	116.16	[32]
235	heptanoic acid, heptyl ester	$C_{14}H_{28}O_2$	228.37	[28]	256	decylacetate	$C_{12}H_{24}O_2$	200.32	[30]
236	guaiac acetate	$C_{17}H_{28}O_2$	264.40	[28]	257	9, 12 - octadecadienoic acid methyl ester	$C_{19}H_{34}O_2$	294.47	[31]
237	isovalencenyl formate	$C_{16}H_{24}O_2$	248.36	[28]	258	α - ionone	$C_{13}H_{20}O$	192.30	[28]
238	trans - valerenyl acetate	$C_{17}H_{26}O_2$	262.40	[28]	259	3 - butylidene - 4,5 - dihy - droiso - benzofuran - 1 (3H) - one	$C_{12}H_{14}O_2$	190.24	[28]
239	valerenyl isovalerate	$C_{20}H_{32}O_2$	304.47	[28]	260	oxacycloheptadecan - 2 - one	$C_{16}H_{30}O_2$	254.41	[28]
240	dehydrocostuslactone	$C_{15}H_{18}O_2$	230.30	[28]	261	oxacycloheptadec - 8 - en - 2 - one	$C_{16}H_{28}O_2$	252.39	[28]
241	cis - valerenyl acetate	$C_{17}H_{26}O_2$	262.40	[28]					
242	trans - sedanolide	$C_{12}H_{18}O_2$	194.27	[28]					

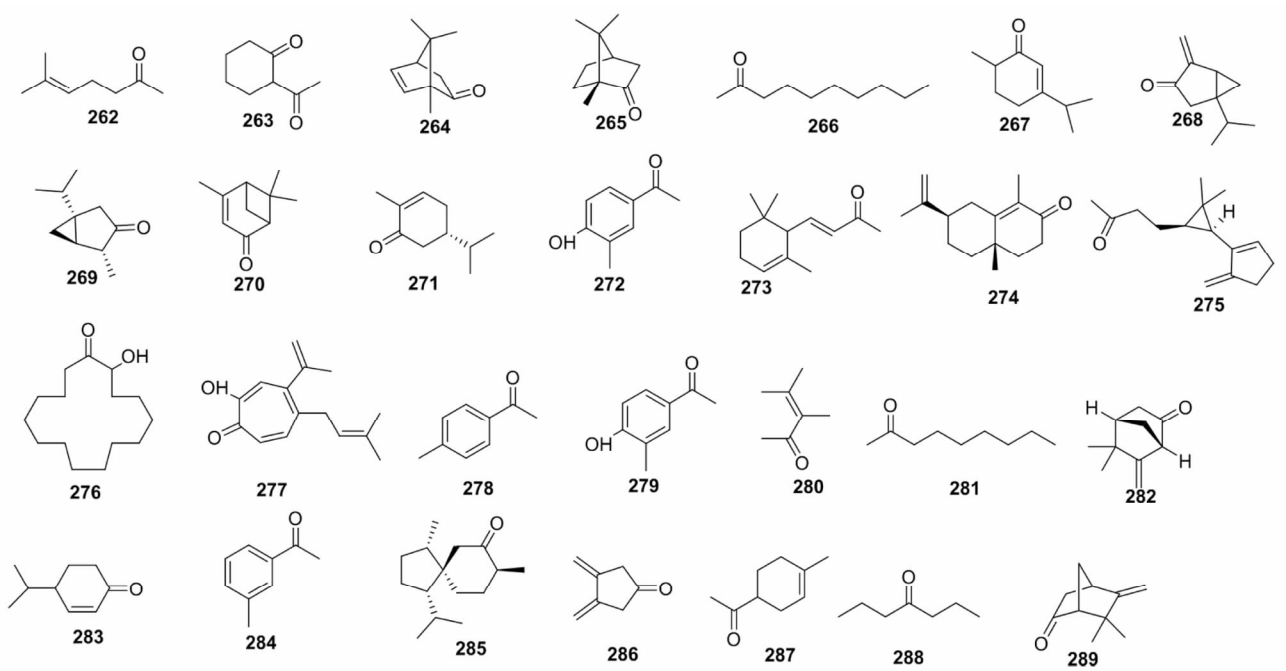


图 9 独活中酮类挥发油结构

表 6 独活中酮类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
262	6 - methyl - 5 - hepten - 2 - one	$C_8H_{14}O$	126.20	[28]	268	sabinone	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]
263	2 - acetyl - cyclohexanone	$C_8H_{12}O_2$	140.18	[28]	269	thujone	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]
264	1, 7, 7 - trimethylbicyclo [2. 2. 1] hept - 5 - en - 2 - one	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]	270	berbenone	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[28]
					271	carvotanacetone	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]
265	camphor	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]	272	4 - hydroxy - 3 - methylaceto - phenone	$C_9H_{10}O_2$	150.17	[28]
266	2 - decanone	$C_{10}H_{20}O$	156.27	[28]					
267	carvenone	$C_{10}H_{16}O$	152.23	[28]	273	6 - methyl - 2 - chromanone	$C_{10}H_{10}O_2$	162.19	[28]

续表 6 独活中酮类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
274	α - cyperone	$C_{15}H_{22}O$	218.34	[28]	283	cryptone	$C_9H_{14}O$	138.21	[29]
275	taylorione	$C_{15}H_{22}O$	218.33	[28]	284	3 - methylacetophenone	$C_9H_{10}O$	134.18	[29]
276	2 - hydroxy - cyclopen - tadecanone	$C_{15}H_{28}O_2$	240.38	[28]	285	acorenone	$C_{15}H_{24}O$	220.35	[29]
277	procerin	$C_{15}H_{18}O_2$	230.30	[28]	286	3,4 - bis (methylene) - cyclopentanone	C_7H_8O	108.14	[29]
278	p - acetyltoluene	$C_9H_{10}O$	134.18	[28]	287	4 - acetyl - 1 - methyl - 1 - cyclohexene	$C_9H_{14}O$	138.21	[29]
279	4 - hydroxy - 3 - methylacetophenone	$C_9H_{10}O_2$	150.17	[29]	288	4 - heptanone	$C_7H_{14}O$	114.19	[32]
280	3,4 - dimethyl - 3 - penten - 2 - one	$C_7H_{12}O$	112.17	[29]	289	6 - camphenone	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[31]
281	2 - nonanone	$C_9H_{18}O$	142.24	[29]					
282	(1S,4S) - 5,5 - dimethyl - 6 - methylenebicyclo[2.2.1]heptan - 2 - one	$C_{10}H_{14}O$	150.22	[29]					

表 7 独活中简单碳氢化合物类挥发油成分

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
290	α - pinene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]	331	β - curcumene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
291	camphene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]	332	cuparene	$C_{15}H_{22}$	202.33	[28]
292	3 - methylnonane	$C_{10}H_{22}$	142.28	[30]	333	α - cuprenene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
293	sabinene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]	334	β - sesquiphellandrene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[30]
294	β - pinene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]	335	β - cadinene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
295	β - myrcene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]	336	γ - bisabolene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
296	α - phellandrene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]	337	dauca - 4(11),8 - diene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
297	3 - carene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]	338	α - bisabolene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[21]
298	4 - carene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[28]	339	4 - α - acoradiene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
299	p - cymene	$C_{10}H_{14}$	134.22	[28]	340	4,8,8 - trimethyl - 2 - methylene - 4 - vinybicyclo[5.2.0]nonane	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
300	β - phellandrene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[28]					
301	γ - terpinene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[28]	341	γ - muurolene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
302	2 - methyl - 1 - methylene - 3 - (1 - methylethenyl) - cyclo - pentane	$C_{10}H_{16}$	136.23	[28]	342	italicene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
					343	cedrene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
303	p - cymenene	$C_{10}H_{12}$	132.20	[28]	344	α - cedrene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
304	1 - methyltricyclo [2.2.1.0(2,6)] heptane	C_8H_{12}	108.18	[28]	345	α - elemene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[21]
					346	β - guaiene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
305	(E) - 5 - undecene,7 - meth - yl	$C_{12}H_{24}$	168.32	[28]	347	β - himachalene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
306	trans - 1,4 - dimethylcy - clooctane	$C_{10}H_{20}$	140.27	[28]	348	α - himachalene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]
307	cyclosativene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	349	silphiperfola - 4,7(14) - diene	$C_{15}H_{22}$	202.33	[28]
308	daucene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	350	1,7 - di - iso - propylnaph - thalene	$C_{16}H_{20}$	212.33	[28]
309	β - elemene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[21]	351	eremophilene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[33]
310	sesquithujene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	352	1 - methyl - 2 - (3 - methylpentyl) cyclopropane	$C_{10}H_{20}$	140.27	[33]
311	(-) - α - cedrene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]					
312	β - cunebene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	353	acenaphthylene	$C_{12}H_8$	152.19	[33]
313	α - funebrene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[8]	354	d - limonene	$C_{10}H_{16}$	136.23	[33]
314	alloaromadendrene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	355	o - cymene	$C_{10}H_{14}$	134.22	[33]
315	himachala - 2,4 - diene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	356	nonane	C_9H_{20}	128.26	[30]
316	cis - α - bergamotene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[21]	357	eudesma - 4(14),11 - diene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[30]
317	sesquisabinene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	358	m - cymene	$C_{10}H_{14}$	134.22	[30]
318	aristolene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	359	1 - methyl - 1,4 - cyclohexadiene	C_7H_{10}	94.15	[30]
319	β - famesene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	360	4 - methylene - 1 - (1 - methylethyl) - bicyclo [3,1,0]hex - 2 - ene	$C_{10}H_{14}$	134.22	[30]
320	β - barbatene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]					
321	humulene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[21]	361	1,3,3 - Trimethyl - tricyclo[2.2.1.02,6]heptane	$C_{10}H_{16}$	136.23	[30]
322	8 - methyl - 1 - decene	$C_{11}H_{22}$	154.29	[28]					
323	aristolochene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	362	cyclohexene	C_6H_{10}	82.14	[31]
324	isoitalicene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	363	benzene - 1 - methyl - 2 - (1 - methylethyl)	$C_{10}H_{14}$	134.22	[31]
325	α - curcumene	$C_{15}H_{22}$	202.33	[28]	364	3,6 - dimethyloctane	$C_{10}H_{22}$	142.28	[31]
326	β - selinene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	365	9 - methyl - 1 - undecene	$C_{12}H_{24}$	168.32	[31]
327	cis - α - bisabolene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	366	10 - methyl - 1 - undecene	$C_{12}H_{24}$	168.32	[31]
328	α - selinene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[30]	367	pentylbenzene	$C_{11}H_{16}$	148.24	[31]
329	isodaucene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[28]	368	toluene	C_7H_8	92.14	[31]
330	β - bisabolene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[21]	369	zingiberene	$C_{15}H_{24}$	204.35	[31]

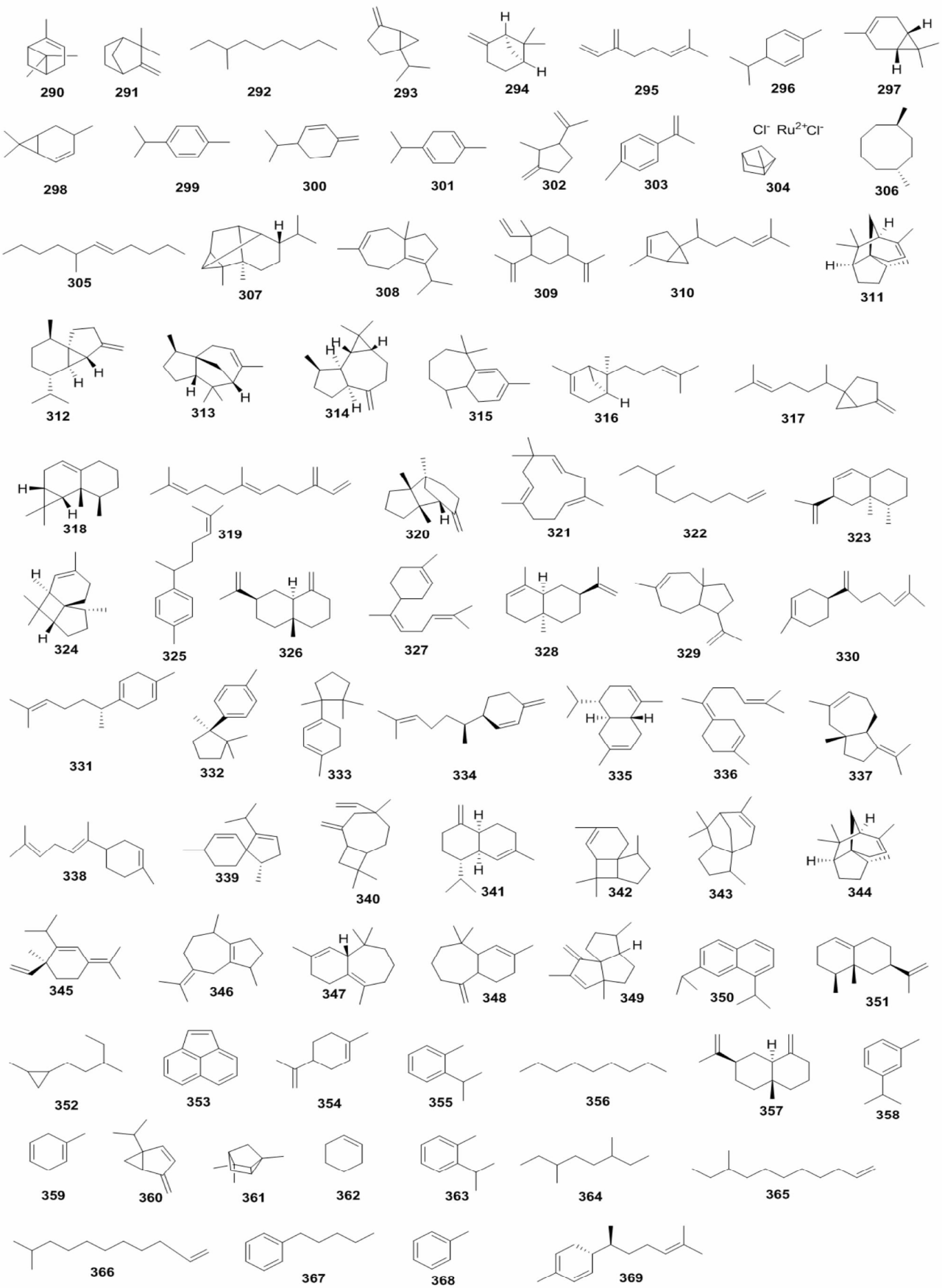


图10 独活中简单碳氢化合物类挥发油结构

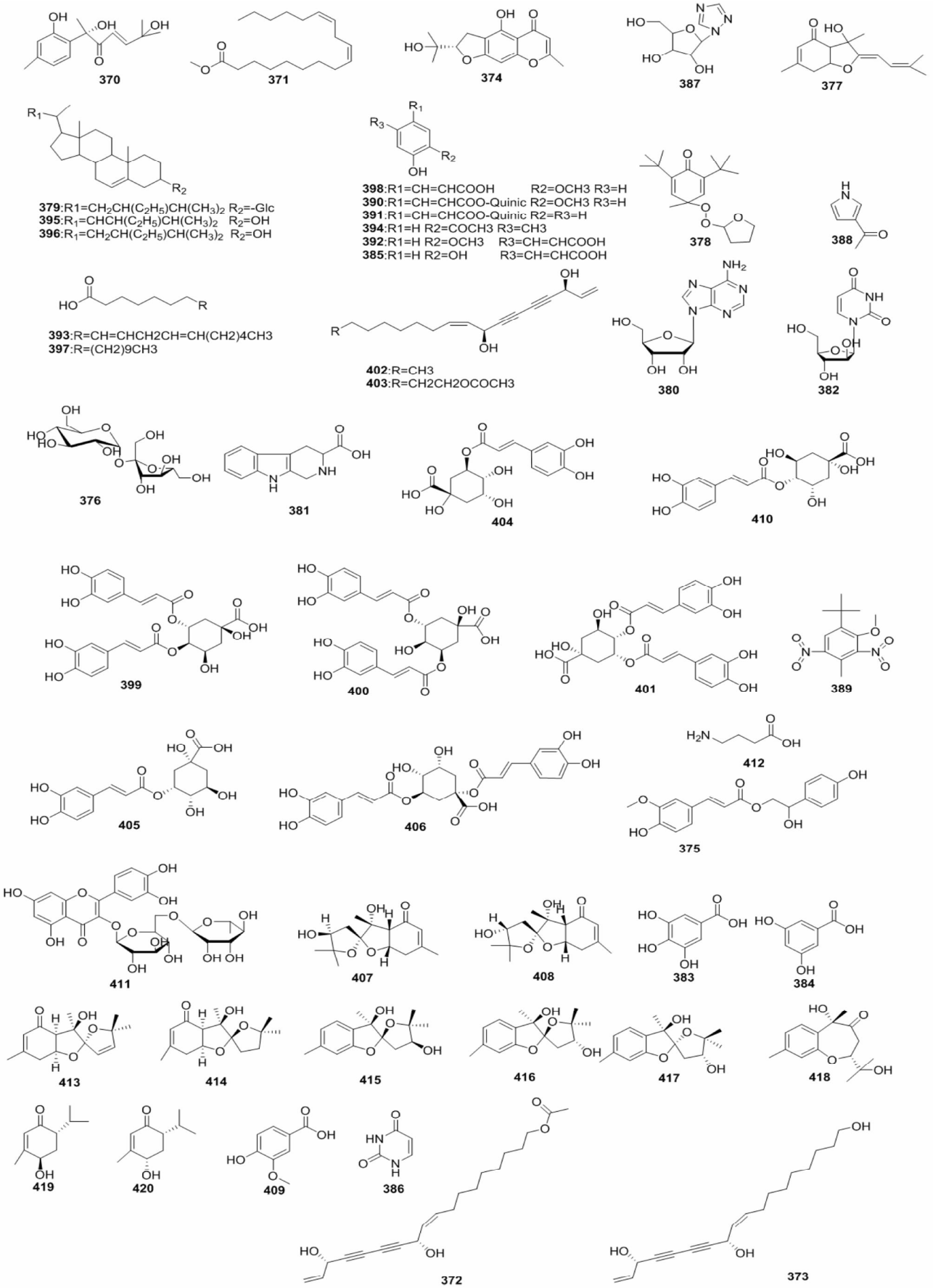


图 11 独活中其他化合物结构

表 8 独活中其他类化合物

编号	化合物	分子式	分子量	参考文献	编号	化合物	分子式	分子量	参考文献
370	ligustiphenol	$C_{15}H_{21}O_4$	265.32	[4]	394	2 - hydroxy - 4 - methylacetophenon	$C_9H_{10}O_2$	150.07	[36]
371	methyl linoleate	$C_{19}H_{34}O_2$	294.47	[4]	395	stigmasterol	$C_{29}H_{48}O$	412.38	[36]
372	(11S,16S,9Z) - 9,17 - octadecadiene - 12,14 - diyne - 1,11,16 - triol	$C_{18}H_{26}O_3$	290.40	[4]	396	β - sitosterol	$C_{29}H_{50}O$	414.39	[36]
					397	stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	284.27	[36]
373	(11S,16S,9Z) - 9,17 - octadecadiene - 12,14 - diyne - 1,11,16 - triol,1 - acetate	$C_{18}H_{26}O_3$	290.40	[4]	398	ferulic acid	$C_{10}H_{10}O_4$	194.06	[37]
					399	isochlorogenic acid B	$C_{25}H_{24}O_{12}$	516.45	[37]
374	(+) - visamminol	$C_{15}H_{16}O_5$	276.28	[4]	400	isochlorogenic acid A	$C_{25}H_{24}O_{12}$	516.45	[37]
375	decursidate	$C_{18}H_{18}O_6$	330.33	[4]	401	isochlorogenic acid C	$C_{25}H_{24}O_{12}$	516.45	[37]
376	sucrose	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342.11	[13]	402	falcarindiol	$C_{17}H_{24}O_2$	260.18	[38]
377	bisabolangelone	$C_{15}H_{20}O_3$	248.14	[15]	403	11(S),16(R) - dihydroxy - octadeca - 9Z,17 - dien - 12,14 - diyn - 1 - yl acetate	$C_{20}H_{28}O_4$	332.20	[38]
378	angepubefurin	$C_{19}H_{30}O_4$	322.21	[17]					
379	daucosterol	$C_{35}H_{60}O_6$	576.44	[18]	404	3 - O - caffeoylquinic acid	$C_{16}H_{18}O_9$	354.31	[39]
380	adenosine	$C_{10}H_{13}N_5O_4$	267.10	[18]	405	5 - O - caffeoylquinic acid	$C_{16}H_{18}O_9$	354.31	[39]
381	2,3,4,9 - tetrahydro - 1H - pyrido[3,4 - b]indole - 3 - carboxylic acid	$C_{12}H_{12}N_2O_2$	216.09	[18]	406	1,5 - dicaffeoylquinic acid	$C_5H_{24}O_{12}$	516.45	[40]
					407	angesesquid A	$C_{15}H_{22}O_5$	280.17	[41]
382	uridine	$C_9H_{12}N_2O_6$	244.07	[34]	408	angesesquid B	$C_{15}H_{22}O_5$	280.17	[41]
383	gallic acid	$C_7H_6O_5$	169.01	[20]	409	vanillic acid	$C_8H_8O_4$	168.15	[23]
384	3,5 - dihydroxybenzoic acid	$C_7H_6O_4$	153.02	[20]	410	4 - dicaffeoylquinic acid	$C_{16}H_{18}O_9$	354.31	[42]
385	caffeic acid	$C_9H_8O_4$	180.04	[21]	411	rutin	$C_{27}H_{30}O_{16}$	610.15	[43]
386	uracil	$C_4H_4N_2O_2$	112.09	[21]	412	γ - aminobutyric acid	$C_4H_9NO_2$	103.06	[44]
387	1 - (β - D - ribofuranosyl) - lH - 1,2,4 - tri	$C_7H_{11}N_3O_4$	201.18	[21]	413	angepubesin A	$C_{15}H_{21}O_4$	265.14	[45]
					414	angepubesin B	$C_{15}H_{23}O_4$	267.16	[45]
388	3 - acetyl - 1H - pyrroline	C_6H_7NO	109.13	[28]	415	angepubesin C	$C_{15}H_{20}O_4$	287.13	[45]
389	musk ambrette	$C_{12}H_{16}N_2O_5$	268.27	[28]	416	angepubesin D	$C_{15}H_{20}O_4$	287.13	[45]
390	3 - O - trans - feruloylquinic acid	$C_{17}H_{20}O_9$	368.11	[30]	417	angepubesin E	$C_{15}H_{20}O_4$	287.13	[45]
391	3 - O - trans - coumaroylquinic acid	$C_{16}H_{18}O_8$	338.10	[30]	418	angepubesin F	$C_{15}H_{20}O_4$	287.13	[45]
392	isoferulic acid	$C_{10}H_{10}O_4$	194.06	[30]	419	(4R,6S) - 4 - hydroxypiperitone	$C_{10}H_{18}O_2$	170.25	[45]
393	linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	280.24	[35]	420	(4S,6S) - 4 - hydroxypiperitone	$C_{10}H_{18}O_2$	170.25	[45]

SY5Y 细胞中 SOD 活性，有效减少 MDA 含量。

2.4 中枢调节

p38 蛋白激酶(p38MAPK)的激活是缺血低灌注损伤引起神经元凋亡的重要信号转导通路之一，可通过调节 B 淋巴细胞瘤 - 2(Bcl - 2)、兔抗人单克隆抗体(Bax)和胱天蛋白酶 3(Caspase - 3)的表达影响细胞凋亡。独活可通过抑制痴呆模型大鼠脑中 p38MAPK 的表达，提高 Bcl - 2/Bax 比值，从而抑制痴呆大鼠神经细胞的凋亡[55-56]。

JIAO Y 等[57]用 APP/PS1 双转基因阿尔茨海默模型小鼠，采用 HE 染色、尼氏染色检测独活总香豆素对阿尔茨海默模型小鼠脑内椎体细胞和尼氏体的影响，用免疫荧光组织化学法观察脑内神经元的变化，并采用 Hoechst33258 染色观察神经细胞凋亡。在独活总香豆素提取物浓度为 14.4 mg/kg 时，神经丝蛋白表达增强，神经细胞凋亡减少，显著保护 APP/PS1 双转基因小鼠免受神经损伤。CHOI G 等[58]研究发现，香豆素类成分 28 可以通过 N - 甲基 - D - 天冬氨酸(NMDA)和 α - 氨基 - 3 - 羟基 - 5 - 甲基 - 4 - 异恶唑丙酸(AMPA)受体调节胆碱能信号和突触可塑性，来改善东莨菪碱(SCOP)诱导的认知障碍小鼠学习和记忆能力，其作用机制是抑制 SCOP 减少乙酰胆碱的合成，从而保护神经系统。

YAN Y 等[59]评估了化合物 57 对过氧化氢(H_2O_2)诱导的损伤骨髓源性神经干细胞(BM - NSC)的保护作用。结果表明，化合物 57 可以增加大鼠磷酸化 AKT 蛋白(p - AKT)和胞内磷脂酰肌醇激酶(PI3K)，保护 BM - NSCs 免受氧化应激损伤，改善神经退行性疾病的炎症环境，从而提高移植神经干细胞 NSCs 的存活率。

2.5 抗肿瘤

独活中的香豆素类成分具有较好的抗肿瘤活性，对胃癌、肺癌、乳腺癌、结肠癌、卵巢癌、肾癌等多种癌症细胞有效[60]。

林黎等[61]通过体外细胞实验，采用 MTT 法检测不同浓度独活醇提物及化合物 57 的细胞毒性，发现独活醇提物对人胃癌细胞 MKN - 45、BGC - 823、人肺癌细胞 A459、人乳腺癌细胞 MCF - 7 及人结肠癌细胞 LOVO 的抑制作用较弱，而化合物 57 的抑制作用较强，表明化合物 57 可能是独活发挥抗肿瘤活性的重要成分之一。JIANG G 等[62]评价了化合物 57 对卵巢癌细胞的抑制作用，以正常卵细胞作对照，卵巢癌细胞的细胞活力显著降低，但对正常卵巢细胞没有影响，其机制可能与抑制周期素 B1 抗体(Cyclin B1)和细胞周期依赖性蛋白激酶 2(Cdc2)表达诱导 G2/M 细胞周期停滞，从而诱导细胞凋亡抑制细胞增殖有关。

PANNO M L 等[63]、WANG X 等[64]通过流式细胞仪检测化合物化合物 24 和化合物 30 对人乳腺癌 MCF - 7/ADR 细胞的影响，结果表明，化合物 30 抑制 MCF - 7/ADR 乳腺癌细胞增殖，化合物 24 诱导癌细胞凋亡。WANG X 等[65]用 28 对人

肾细胞癌(RCC)进行了研究,结果发现该成分通过 PI3Kγ 抑制剂的 p110γ 催化亚基体外调节 RCC 细胞相关增殖蛋白、凋亡蛋白和细胞周期控制蛋白的表达,抑制肿瘤细胞增殖诱导其凋亡,并呈剂量依赖性。YANG H B 等[66]评估了化合物 34 对人 BGC-823 胃癌细胞的抗增殖和凋亡作用,其通过将细胞周期阻滞在 G2/M 期来显著抑制细胞增殖,并增加 Bcl-2 相关 X 蛋白基因(Bax)表达,从而减少 Bcl-2 表达来诱导细胞凋亡。ZHANG X 等[67]发现化合物 32 对人胃癌 SGC-7901 细胞具有显著的抑制作用,并呈浓度依赖性,其作用与诱导 Fas/FasL 蛋白表达上调相关。

3 独活的应用及未来展望

独活作为传统中药,在我国已有两千多年的应用历史,其化学成分比较丰富多样,香豆素、挥发油为其主要成分,广泛用于镇痛、抗炎、抗氧化、心血管系统保护、抗肿瘤等方面。独活寄生汤作为经典的中医传统名方,具有祛风除湿、活血通痹、补益肝肾等功效。含独活制剂荆防颗粒是目前预防和治疗感冒的一线中成药,临床上广泛应用于防治感冒、流感等呼吸系统疾病。

但是,在独活的开发利用方面还存在一些问题。首先,独活的伪品较多,如山独活、九眼独活、新疆羌活等,其外观性状和化学成分与正品独活相似,不同地区采集的独活成分也不尽相同,因而需要开展进一步的研究,开发识别独活正伪品、质量优劣及功效差异的方法。其次,目前对独活药效物质的研究尚不彻底,其中活性成分对疾病的作用机制、靶点和途径尚未科学阐明。综上,应对独活化学成分及其药理活性进一步深入研究,为其临床使用提供充足的依据。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020.
[2] 黄原娟. 神农本草经:珍藏版[M]. 天津:天津科学技术出版社,2021.
[3] 周璐丽,曾建国. 独活化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国现代中药,2019,21(12):1739-1748.
[4] 曹刘丹,胡晨,顾琼,等. 独活化学成分及抗骨质疏松活性评价[J]. 时珍国医国药,2022,33(12):2918-2923.
[5] LEE H K,OH S R,KWON O K,et al. Isolation of coumarins and ferulate from the roots of *Angelica purpuraefolia* and the antitumor activity of khellactone[J]. Phytother Res,2007,21(5):406-409.
[6] 李欠,姬党通,高慧. 基于质谱成像技术的独活鲜根中香豆素类成分的空间分布特征研究[J]. 中草药,2023,54(11):3438-3445.
[7] 顿珠次仁,邓敏芝,朱根华,等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS 技术快速分析裂叶独活中香豆素类成分[J]. 中药新药与临床药理,2022,33(1):105-114.
[8] 周璐丽. 独活化学成分及其抗菌、抗氧化活性研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2020.
[9] 朱艳. 不同产地独活有效成分的比较[D]. 沈阳:辽宁中医药大学,2007.
[10] 丁希飞,冯煦,董云发,等. 独活香豆素类成分的研究[J]. 中成药,2009,31(7):1102-1104.
[11] DING X F,FENG X,DONG Y F,et al. Studies on chemical constituents of the roots of *Angelica pubescens*[J]. Zhong Yao Cai,2008,31(4):516-518.
[12] WANG B,LIU X H,ZHOU A,et al. Simultaneous analysis of coumarin derivatives in extracts of *Radix* Angelicae pubescentis (Duhuo) by HPLC-DAD-ESI-MSn technique[J]. Anal Methods,2014,6(19):7996-8002.
[13] YANG Y,ZHU R,LI J,et al. Separation and enrichment of three coumarins from *Angelicae pubescentis Radix* by macroporous resin with preparative HPLC and evaluation of their anti-inflammatory activity[J]. Molecules,2019,24(14):2664.
[14] HATA K,NISHINO T,HIRAI Y,et al. On coumarins from the fruits of *Angelica pubescens* Maxim (author's transl)[J]. Yakugaku Zasshi,1981,101(1):67-71.
[15] YANG X W. Analysis of the chemical composition of Angelicae Pubescentis *Radix* by ultra-performance liquid chromatography and quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry[J]. J Chin Pharm Sci,2019,28(3):145-159.
[16] DING X F,FENG X,DONG Y F,et al. A new angelol-type coumarin glucoside from *Angelica pubescens*[J]. Chin Chem Lett,2008,19(10):1237-1239.
[17] YANG X W,ZHANG C Y,ZHANG B G,et al. Novel coumarin and furan from the roots of *Angelica pubescens* f. biserrata[J]. J Asian Nat Prod Res,2009,11(8):698-703.
[18] 柳江华,姚新生. 重齿毛当归化学成分及其抗人血小板与抗炎作用的研究[J]. 沈阳药科大学学报,1995(2):116.
[19] LIU J H,XU S X,YAO X S,et al. Angelol-type coumarins from *Angelica pubescence* F. biserrata and their inhibitory effect on platelet aggregation[J]. Phytochemistry,1995,39(5):1099-1101.
[20] TIAN Z H,SUN L P,CHI B Q,et al. Affinity ultrafiltration and UPLC-HR-Orbitrap-MS based screening of neuraminidase inhibitors from *Angelica pubescens*[J]. J Chromatogr B,2022,1208:123398.
[21] 赵邯涛. 独活醇提物的保肝活性及化学成分研究[D]. 重庆:西南大学,2022.
[22] ZHANG Y,YANG Y,SHANG Y,et al. Optimization of the purifying process for columbianetin-β-D-glucopyranoside from *Angelicae pubescentis Radix* and evaluation of its analgesic activity using hot plate test[J]. Evid Based Complement Alternat Med,2021,2021:9944270.
[23] ZHAO H T,YANG J,CHEN Q F. A new coumarin glucoside from *Angelica pubescens*[J]. Nat Prod Res,2025,39(3):526-530.
[24] LIU J H,XU S X,YAO X S,et al. Further studies on chemical constituents of Angelica pubescens F. biserrate[J]. Yaoxue Xuebao,1996,31(1):63-67.
[25] ZHANG C Y,ZHANG B G,YANG X W. Studies on the chemical constituents of the root of Angelica pubescens f. biserrata[J]. Pharm J Chin PLA,2007,23(4):241.
[26] PAL D,SAHA S. Coumarins:an important phytochemical with therapeutic potential[M]. Plant-derived Bioactives. Singapore:Springer Singapore,2020:205-222.
[27] NI F,XIE X,HUAI X,et al. Three undescribed coumarins from the roots of *Angelica pubescens*[J]. Nat Prod Res,2024,38(17):2927-2933.
[28] 钱沉鱼,陈啸天,肖雪,等. 基于全二维气相色谱-四极杆飞行时间质谱高通量检测独活挥发油化学成分[J]. 分析测试学报,2022,41(1):78-90.
[29] 贾淑云,王斌. HS-GC-MS 法测定绩独活中挥发性成分[J]. 安徽医药,2014,18(8):1429-1433.
[30] YANG X,LIU Y,TAO H,et al. GC-MS analysis of essential oils from radix angelicae pubescentis[J]. China Journal of Chinese Materia Medica,2006,31(8):663-666.
[31] YAO H P,HE Y B. Analysis of the volatile components of DH (Angelica pubescens Maxim. f. biserrata) by gas chromatography-

mass spectrometry and multivariate curve resolution[J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2016, 22(15): 54 - 57.

[32] CHEN D, DU Z, LIN Z, et al. The chemical compositions of Angelica pubescens oil and its prevention of UV - B radiation - induced cutaneous photoaging[J]. Chemistry & Biodiversity, 2018, 15(10): e1800235.

[33] QIU J B, XU Q, JIANG X H. Effects of ethanol extract of Angelicae Pubescentis Radix on cyclooxygenase[J]. China Medical Herald, 2011, 8(16): 42 - 43.

[34] 孙东东,徐晓芳,严世海,等. 独活水提部位化学成分的 HPLC - ESI - Q - TOF - MS 分析[J]. 天然产物研究与开发,2014,26(1): 69 - 76.

[35] 古维新,张忠义,周本杰,等. 超临界 CO_2 - 分子蒸馏对独活化学成分的萃取与分离[J]. 广东药学院学报,2002(2):85 - 86.

[36] CHEN Y, TSAI H, WU T. Anti - inflammatory and analgesic activities from roots of Angelica pubescens[J]. Planta Medica, 1995, 61(1): 2 - 8.

[37] GE A H, MA W F, WANG C P, et al. Ultra high performance liquid chromatography with photodiode array detector and quadrupole time - of - flight tandem mass spectrometry coupled with discriminant analysis to evaluate Angelicae pubescentis radix from different regions[J]. Journal of Separation Science, 2014, 37(18): 2523 - 2534.

[38] LIU J H, ZSCHOCKE S, REININGER E, et al. Inhibitory effects of Angelica pubescens f. biserrata on 5 - lipoxygenase and cyclooxygenase[J]. Planta Medica, 1998, 64(6): 525 - 529.

[39] WAN C, LI S, LIU L, et al. Caffeoylquinic acids from the aerial parts of *Chrysanthemum coronarium* L[J]. Plants (Basel), 2017, 6(1): 10.

[40] SCHRAM K, MIKETOVA P, SLANINA J, et al. Mass spectrometry of 1,3 - and 1,5 - dicaffeoylquinic acids[J]. J Mass Spectrom, 2004, 39(4): 384 - 395.

[41] LI M, WEN J, NI F, et al. Anti - inflammatory activity of two new sesquiterpenoids from Radix Angelicae Pubescentis[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2019, 2019: 343 - 347.

[42] DING M, BAI Y, LI J, et al. A diol - based - matrix solid - phase dispersion method for the simultaneous extraction and determination of 13 compounds from *Angelicae pubescentis radix* by ultra high - performance liquid chromatography[J]. Front Pharmacol, 2019, 10: 227.

[43] YANG W. Divide the light intensity of light method to measurese Radix Angelcae Pubesentis inside the flavonoid's research[J]. Science & Technology Information, 2007, 26: 391.

[44] LI R, HE Y, ZHANG Q, et al. Study on γ - aminobutyric acid, an antiarrhythmic active component of traditional Chinese medicine Duhuo[J]. J Beijing Med Univ, 1989, 21: 376.

[45] TIAN D M, CAO L Y, LI Q W, et al. Benzannulated 5,5 - spiroketal sesquiterpenes from the roots of *Angelica pubescens*[J]. Bioorg Chem, 2021, 107: 104604.

[46] LI R L, ZHAO C, YAO M N, et al. Analgesic effect of coumarins from *Radix angelicae* pubescentis is mediated by inflammatory factors and TRPV1 in a spared nerve injury model of neuropathic pain[J]. J Ethnopharmacol, 2017, 195: 81 - 88.

[47] FAN L, LI L, HE H F. Pharmacological studies on antiinflammatory and analgesic effects of Radix angelicae pubeascentis's volatile oil[J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2009, 13(2): 133 - 134.

[48] SUN W, YANG L, QIU Y, et al. Identify nature N - acylethanolamide - hydrolyzing acid amide (NAAA) inhibitor: effect of angelicae pubescentis *Radix* on anti - inflammation[J]. Zhongguo Zhongyao Zazhi, 2011, 36(22): 3161 - 3166.

[49] LI R Z, HE Y Q, CHIAO M, et al. Studies of the active constituents of the Chinese drug "Duhuo" *Angelica pubescents*[J]. Yaoxue Xuebao, 1989, 24(7): 546 - 551.

[50] YAO L, LU P, LI Y M, et al. Osthole relaxes pulmonary arteries through endothelial phosphatidylinositol 3 - kinase/Akt - *ENOS* - NO signaling pathway in rats[J]. Eur J Pharmacol, 2013, 699(1 - 3): 23 - 32.

[51] CAO Y J, HE X, WANG N, et al. Effects of imperatorin, the active component from *Radix* Angelicae (Baizhi), on the blood pressure and oxidative stress in 2K, 1C hypertensive rats[J]. Phytomedicine, 2013, 20(12): 1048 - 1054.

[52] BUBOLS G B, VIANNA DDA R, MEDINA - REMON A, et al. The antioxidant activity of coumarins and flavonoids[J]. Mini Rev Med Chem, 2013, 13(3): 318 - 334.

[53] PRAHADEESH N, SITHAMBARESAN M, MATHIVENTHAN U. A study on hydrogen peroxide scavenging activity and ferric reducing ability of simple coumarins[J]. Emerg Sci J, 2018, 2(6): 417.

[54] 胡昱,赵丹,张晓丹,等. 独活不同提取部位抑制 H_2O_2 诱导的 SH - SY5Y 细胞损伤[J]. 中国实验方剂学杂志,2013,19(24): 184 - 188.

[55] 张杰,杜文彬. 独活对痴呆大鼠脑中 p38MAPK 信号转导通路的影响[J]. 中国老年学杂志,2010,30(11): 1514 - 1515.

[56] 谢映红,张杰. 祛风除湿中药独活对痴呆大鼠脑内凋亡蛋白Bcl - 2/Bax 的影响[J]. 中华保健医学杂志,2011,13(6): 459 - 460.

[57] JIAO Y, HU Y, ZHAO D, et al. The neuroprotective effect of total coumarins of Angelica Pubescentis on APP/PS1 double transgenic AD model mouse[J]. Chin Med Pharmaco Clinic, 2014, 30: 67 - 70.

[58] CHOI G, KIM H, CHO J, et al. Umbelliferone ameliorates memory impairment and enhances hippocampal synaptic plasticity in scopolamine - induced rat model[J]. Nutrients, 2023, 15(10): 2351.

[59] YAN Y, LI S, LI H, et al. Osthole protects bone marrow - derived neural stem cells from oxidative damage through PI3K/Akt - 1 pathway[J]. Neurochemical Research, 2017, 42: 398 - 405.

[60] LIN L, QIAN X P, LIU B R. Research progress on the chemical constituents and the anti - tumor activity of Angelica pubescens[J]. Journal of Modern Oncology, 2011, 2: 373 - 376.

[61] 林黎,钱晓萍,刘宝瑞,等. 独活醇提物及其单体蛇床子素体外抗肿瘤活性的实验研究[J]. 现代肿瘤医学,2013,21(9): 1930 - 1932.

[62] JIANG G, LIU J, REN B, et al. Anti - tumor effects of osthole on ovarian cancer cells in vitro[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 193: 368 - 376.

[63] PANNO M L, GIORDANO F, PALMA M G, et al. Evidence that bergapten, independently of its photoactivation, enhances p53 gene expression and induces apoptosis in human breast cancer cells[J]. Current Cancer Drug Targets, 2009, 9(4): 469 - 481.

[64] WANG X, CHENG K, HAN Y, et al. Effects of psoralen as an anti - tumor agent in human breast cancer MCF - 7/ADR cells[J]. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 2016, 39(5): 815 - 822.

[65] WANG X, HUANG S, XIN X, et al. The antitumor activity of umbelliferone in human renal cell carcinoma via regulation of the p110γ catalytic subunit of PI3Kγ[J]. Acta Pharmaceutica, 2019, 69(1): 111 - 119.

[66] YANG H B, GAO H R, REN Y J, et al. Effects of isoimperatorin on proliferation and apoptosis of human gastric carcinoma cells[J]. Oncology Letters, 2018, 15(5): 7993 - 7998.

[67] ZHANG X, WEI C, HE L, et al. Xanthotoxin induces apoptosis in SGC - 7901 cells through death receptor pathway[J]. Chinese Herbal Medicines, 2018, 10(4): 437 - 444.

独活化学成分及药理作用研究进展

（正文见 129－144 页）

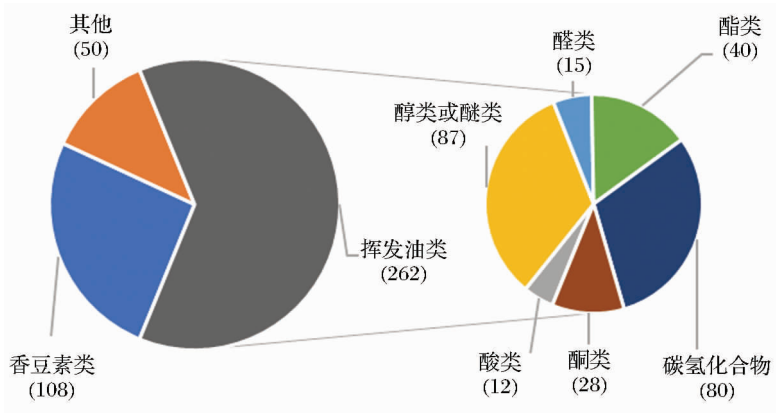


图 1　独活中化合物类别及数量

烟毒暴露的机体毒性研究进展

（正文见 182－188 页）

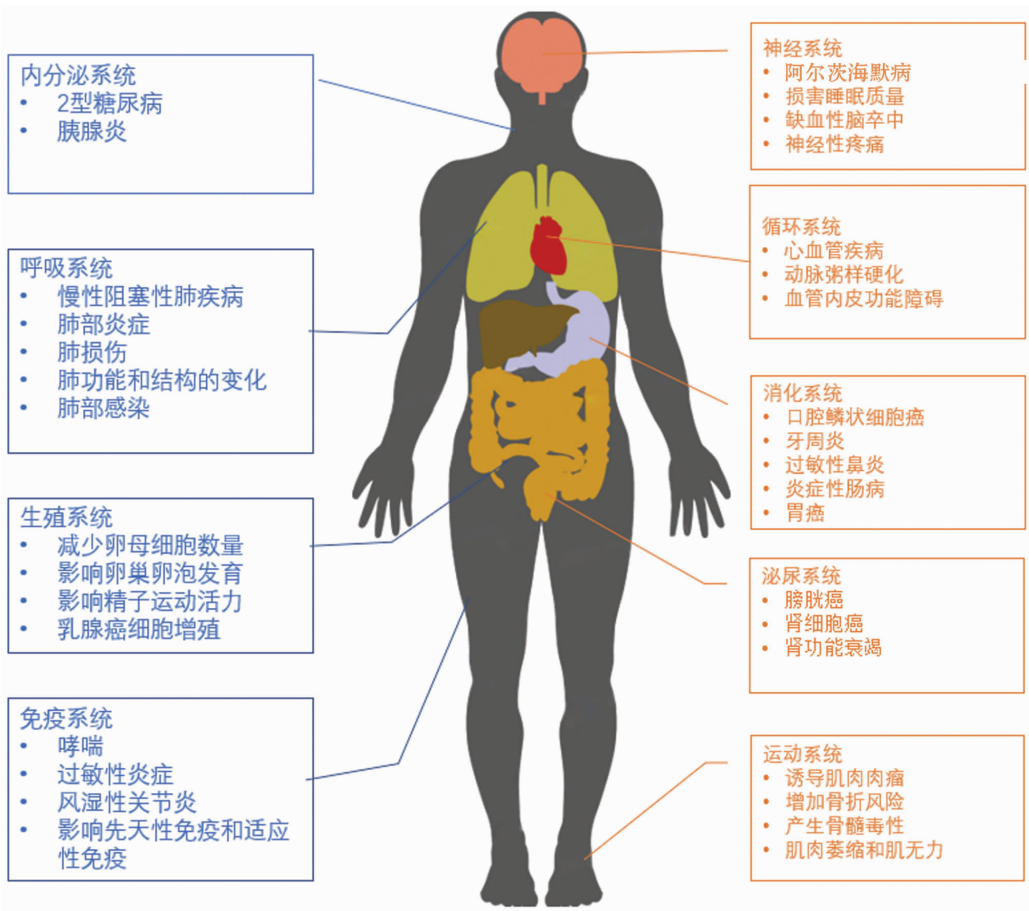


图 1　烟毒相关疾病