

# 紫堇属植物非生物碱类成分及药理活性研究进展

朱一栋<sup>1</sup>, 尚莹<sup>1</sup>, 江志波<sup>1,2,3</sup>, 南泽东<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>北方民族大学化学与化学工程学院; <sup>2</sup>宁夏太阳能化学转化技术重点实验室; <sup>3</sup>化工技术基础国家民委重点实验室, 银川 750021

**摘要:** 罂粟科紫堇属 (*Corydalis*) 植物在全球约有 400 余种, 广泛分布于北温带以及非洲南部等地区。在我国, 紫堇属植物作为传统药用已有上千年历史, 紫堇属药材多以全草入药, 性味以甘、寒为主, 具有清热解毒之功效, 多用于治疗感冒发热、疮疡肿痛、溃烂等症。现代药理学研究表明紫堇属植物具有抗炎、镇痛、抑菌、抗肿瘤等多种药理活性。该属生物碱被认为是其药理活性的主要成分, 且很多学者对该类成分进行研究, 但其非生物碱类的成分也是非常丰富的, 具有黄酮、香豆素、木脂素、萜、甾体、有机酸等多种类型的化学成分。考虑到中药药效整体作用的特点, 非生物碱类成分同样值得深入探究。本文主要对紫堇属植物中非生物碱类的化学成分和药理活性进行了总结, 以期为该属植物非生物碱研究及其综合药用价值利用提供参考。

**关键词:** 紫堇属; 非生物碱成分; 药理活性

中图分类号: R284; R285.5

文献标识码: A

## Research progress on non-alkaloid components from *Corydalis* plants and their pharmacological activity

ZHU Yi-dong<sup>1</sup>, SHANG Ying<sup>1</sup>, JIANG Zhi-bo<sup>1,2,3</sup>, NAN Ze-dong<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>School of Chemistry and Chemical Engineering, North Minzu University; <sup>2</sup>Ningxia Key Laboratory of Solar Chemical Conversion Technology, North Minzu University; <sup>3</sup>Key Laboratory for Chemical Engineering and Technology, State Ethnic Affairs Commission, North Minzu University, Yinchuan 750021, China

**Abstract:** There are about 400 species of genus *Corydalis* plants (Papaveraceae) all over the world, which are mainly distributed in northern Temperate Regions and southern Africa. The plants of the genus *Corydalis* were used as folk medicines for thousands of years in China. *Corydalis* species, sweet and cold, are mostly used as whole herbs. They have the effects of clearing heat and detoxifying, and are often used to treat the symptoms of cold and fever, sore abscess, ulceration and other diseases. Modern pharmacological researches have shown that *Corydalis* plants have various pharmacological activities, including anti-inflammatory, analgesic, anti-bacterial, and anti-tumor effects. The alkaloids constituents of this genus, which were widely studied by many scholars

worldwide, are usually considered to be the main pharmacological activities components. However, a large number of non-alkaloid ingredients such as flavonoids, coumarins, lignin, terpenes, steroids, organic acids and other types of chemical components were also discovered. Considering the characteristic of the overall effect of Chinese medicine, it is reasonable to think that non-alkaloid components are also worthy of in-depth exploration. This article mainly summarizes the chemical components and pharmacological activities of non-alkaloids in the genus *Corydalis*. By systematic analysis and summary of the reported literature, it may lay a foundation for the research of non-alkaloids in this genus and their comprehensive medicinal value utilization.

**Key word:** *Corydalis*; non-alkaloid components; pharmacological activities

紫堇属 (*Corydalis*) 是罂粟科中物种最多的属, 在我国约有 300 种, 在全国各地都有分布, 物种数量约占世界的 70%<sup>[1]</sup>, 有 120 多种紫堇属类植物产于青藏高原<sup>[2]</sup>, 在藏药中被广泛应用, 该属植物中的延胡索 *C. yanhusuo*、刻叶紫堇 *C. incisa* 等在藏药医药经典著作《月王药珍》中都有记录<sup>[1][3]</sup>。并且在藏药中记载多具有清热解毒、止血镇痛、活血散瘀、祛风利气之功效<sup>[4]</sup>。后又在本草纲目中考证发现, 有 11 种紫堇属植物被记录在册<sup>[5]</sup>, 与藏药中记载功效相似。该属植物延胡索 *C. yanhusuo*、夏天无 *C. decumbens*、苦地丁 *C. bungeana* 等在 2020 版《中国药典》都有收载, 在临床上具有活血止痛、清热解毒之功效<sup>[6]</sup>。

早在 19 世纪 40 年代开始国外学者首次对其生物碱类化学成分进行研究<sup>[7]</sup>, 后期国内外学者对该属生物碱类成分进行大量的研究, 课题组前期对紫堇属生物碱类成分及现代药理学研究进行了系统的总结<sup>[8]</sup>。虽然生物碱是紫堇属药用植物的特征性成分, 但该属植物中还具有丰富的非生物碱类成分<sup>[9]</sup>, 特别是生长在青藏高原高海拔, 高辐射等极端环境下的紫堇属植物, 这类植物往往需要适应其特殊的环境, 而产生改变生物合成的机制的动力, 生长在青藏高原的该属植物往往都含有较多的黄酮、多酚类的成分<sup>[9,10]</sup>。然而, 现代研究往往侧重于紫堇属植物的生物碱类的成分, 而对非生物碱的成分研究较少。药用植物所表现出来的整体的功效与植物所产生的次级代谢产物密切相关。对于紫堇属植物只有结合其非生物碱类的成分及药理活性的研究, 才能够全面准确地阐明该属植物的药用价值。本文主要对紫堇属植物非生物碱类成分及其药理活性进行总结, 为紫堇属植物药用资源的全面利用提供参考。

## 1 紫堇属植物非生物碱类化学成分

紫堇属植物含有种类较多的化学成分, 除异喹啉生物碱之外, 非生物碱成分种类也很

丰富，主要有黄酮类、苯丙素类、甾体类、萜类等成分。

### 1.1 黄酮类成分

黄酮类化合物是自然界中广泛存在的一类化合物，因其大共轭体系显黄色，且分子中多含有酮羰基，而被称为黄酮。黄酮类的化学成分种类数量繁多，毒性较小，且具有多方面的生物活性。目前从紫堇属植物中分离得到 36 个黄酮类化合物（见表 1 和图 1），主要包括二氢查尔酮类、黄酮类、二氢黄酮类、黄酮苷类、呋酮类、呋酮苷类和花青素苷类成分。

表 1 紫堇属植物黄酮类化合物信息

Table1 information of flavonoids in *Corydalis* plants

序号 No.	化合物 Compound	植物来源 Plant source	文献 Ref.
1	二氢槲皮素 Taxifolin	<i>C. decumbens</i>	11
2	(S)-5-羟基-7-甲氧基黄烷酮 (S)-5-Hydroxy-7-methoxyflavanone	<i>C. conspersa</i>	12
3	(S)-5-羟基-7-甲氧基黄烷酮 2',4'-Dihydroxydihydrochalcone	<i>C. conspersa</i>	12
4	5,7,4'-三羟基二氢黄酮 5,7,4'-Trihydroxydihydroflavone	<i>C. hendersonii</i>	13
5	芹菜素 Apigenin	<i>C. hendersonii</i>	13
6	木犀草素 Luteolin	<i>C. hendersonii</i>	13
7	5-羟基-7,3',4'-三甲氧基异黄酮 5-Hydroxy-3', 4', 6, 7-tetramethoxyflavone	<i>C. saxicola</i>	14
8	槲皮素 Quercetin	<i>C. bungeanae</i> <i>C. impatiens</i>	15-17
9	山柰酚 Kaempferol	<i>C. bungeanae</i> <i>C. impatiens</i>	16,17
10	金圣草黄素 Chrysoeriol	<i>C. hendersonii</i> <i>C. impatiens</i>	17,18
11	5-羟基-7,3',4'-三甲氧基异黄酮 5-Hydroxy-7,3',4'-trimethoxyisoflavone	<i>C. hendersonii</i>	18
12	8-对羟基苯基槲皮素 8-C- <i>p</i> -Hydroxybenzylquercetin	<i>C. impatiens</i>	17
13	8-对羟基苯基山柰酚 8-C- <i>p</i> -Hydroxybenzylkaempferol	<i>C. impatiens</i>	17
14	6-对羟基苯基槲皮素 6-C- <i>p</i> -Hydroxybenzylquercetin	<i>C. impatiens</i>	17
15	1,7-二羟基-3,8-二甲氧基呋酮 1,7-Dihydroxy-3,8-dimethoxyxanthone	<i>C. impatiens</i>	17

16	1-羟基-2,3,5-三甲氧基吡酮 1-Hydroxy-2,3,5-trimethoxyxanthone	<i>C. impatiens</i>	17
17	1-羟基-2,3,4,6-四甲氧基吡酮 1-Hydroxy-2,3,4,6-tetramethoxyxanthone	<i>C. impatiens</i>	17
18	槲皮苷 Quercitrin	<i>C. hendersonii</i>	13
19	紫云英苷 Astragalin	<i>C. hendersonii</i>	13
20	Quercetin-3-O- $\beta$ -D-galactoside	<i>C. saxicola</i>	14
21	Mangiferin	<i>C. saxicola</i>	19
22	Quercetin-3-O-rutinoside	<i>C. saxicola</i>	19
23	Kaempferol-3-O-rutinoside	<i>C. saxicola</i>	19
24	Isorhamnetin-3-O-rutinoside	<i>C. saxicola</i>	19
25	Kaempferol-3-O-rutinosyl-7-O- $\beta$ -D-glucoside	<i>C. saxicola</i>	19
26	异鼠李素-3-O- $\beta$ -D-木糖基(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Isorhamnetin-3-O- $\beta$ -D-xylopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
27	槲皮素-3-O- $\beta$ -D-木糖基(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Quercetin-3-O- $\beta$ -D-xylopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
28	山柰酚-3-O- $\beta$ -D-葡萄糖基(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Kaempferol-3-O- $\beta$ -D-glucopyranoside-(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
29	山柰酚-3-O- $\alpha$ -阿拉伯糖基(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Kaempferol-3-O- $\alpha$ -arabinopyranosyl(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. bungeana</i> <i>C. racemosa</i>	15,21
30	槲皮素-3-O- $\alpha$ -阿拉伯糖基(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Quercetin-3-O- $\alpha$ -arabinopyranosyl(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. bungeana</i>	21
31	山柰酚-3-O- $\alpha$ -阿拉伯糖基(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-葡萄糖苷-7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Kaempferol-3-O- $\alpha$ -arabinopyranosyl(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-glucopyranoside 7-O- $\beta$ -glucopyranoside	<i>C. bungeana</i>	21
32	槲皮素-3-O- $\alpha$ -阿拉伯糖基(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-葡萄糖苷-7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Quercetin 3-O- $\alpha$ -arabinopyranosyl(1 $\rightarrow$ 6 $\prime$ )- $\beta$ -D-glucopyranoside 7-O- $\beta$ -glucopyranoside	<i>C. bungeana</i>	21
33	3-O-(2-O- $\beta$ -D-Xylopyranosyl)- $\beta$ -D-glucopyranosylkaempferol	<i>C. ambigua</i>	22
34	3-O-(2-O- $\beta$ -D-Xylopyranosyl)- $\beta$ -D-glucopyranosylcyanidin	<i>C. ambigua</i>	22
35	3-O- $\beta$ -D-Glucopyranosylcyanidin	<i>C. ambigua</i>	22
36	3-O-(6-O- $\alpha$ -L-Rhamnopyranosyl)- $\beta$ -D-glucopyranosylcyanidin	<i>C. ambigua</i>	22

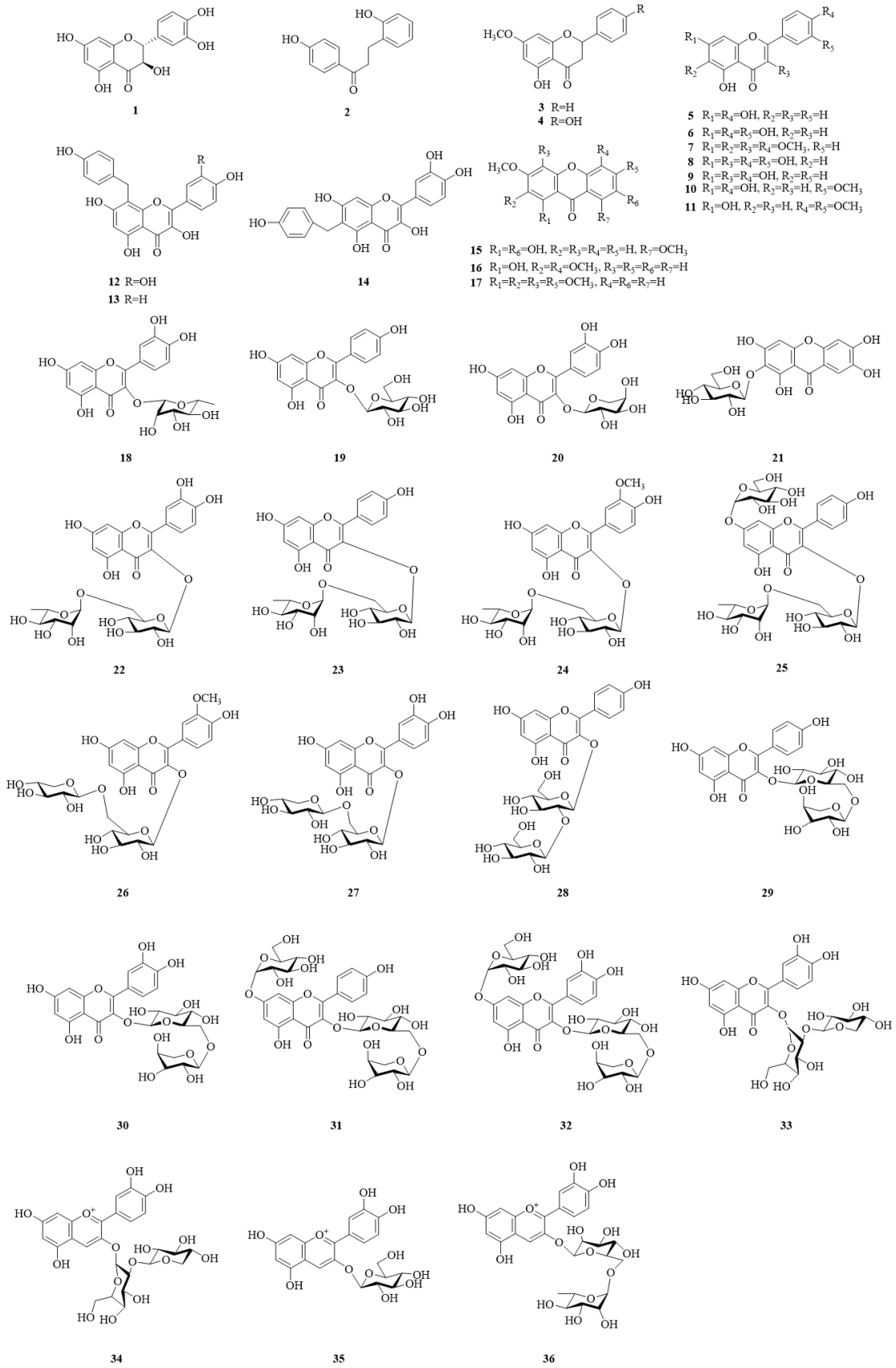


图 1 紫堇属植物黄酮类化合物结构式

Fig. 1 The structure of flavonoids in plants of the genus *Corydalis*

## 1.2 苯丙素类化学成分

苯丙素类的化学成分按照其结构式分类，通常被分为三类：简单苯丙素类，香豆素类和木脂素类。它们的基本母核是由 1 个或多个 C6-C3 的结构单元组成一类庞大的天然化合物。目前紫堇属植物中含有 25 个苯丙素类化合物，主要包括简单苯丙素类、苯丙素苷类、香豆素类、香豆素酯类、香豆素苷类、木脂素类和木脂素苷类成分。具体化合物信息和结构总结如表 2 和图 2。

表 2 紫堇属植物中苯丙素类化学成分信息

Table 2 information of phenylpropanoids in *Corydalis* plants

序号 No.	化合物 Compound	植物来源 Plant source	文献 Ref.
37	Hyunganol II	<i>C. heterocarpa</i>	23,24
38	Isopimpinellin	<i>C. heterocarpa</i>	23,24
39	二甲基咖啡酸 Dimethylcaffeic acid	<i>C. fangshanensis</i>	25
40	咖啡酸甲酯 Methyl caffeate	<i>C. decumbens</i>	11
41	<i>p</i> -Hydroxyphenylferulate	<i>C. impatiens</i>	17
42	绿原酸 Chlorogenic acid	<i>C. saxicola</i> <i>C. decumbens</i>	11,19
43	5- <i>O</i> -阿魏酸奎宁酸 5- <i>O</i> -Feruloylquinic acid	<i>C. saxicola</i> <i>C. racemosa</i>	19,20
44	5- <i>p</i> -Coumaroyl quininc acid	<i>C. saxicola</i>	19
45	3- <i>O</i> -阿魏酰奎尼酸 3- <i>O</i> -Feruloylquinic acid	<i>C. racemosa</i>	19
46	4- <i>O</i> -阿魏酰奎尼酸 4- <i>O</i> -Feruloylquinic acid	<i>C. saxicola</i>	20
47	4-羟基-3-甲氧基桂皮酰基- $\beta$ -D-葡萄糖苷 4-Hydroxy-3-methoxycinnamyl- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. fangshanensis</i>	25
48	6,7-亚甲二氧基二氢异香豆素 6,7-Methylenedioxydihydrocoumarin	<i>C. edulis</i>	26
49	5,7-二羟基香豆素 Esculetin	<i>C. heterocarpa</i> <i>C. impatiens</i>	17,27
50	Cichoriin	<i>C. heterocarpa</i>	27
51	Prionanthoside	<i>C. heterocarpa</i>	27
52	(2'S)-Columbianetin	<i>C. heterocarpa</i>	28-31

53	Libanoridin	<i>C. heterocarpa</i>	29-31
54	Cnidiadin	<i>C. heterocarpa</i>	30,31
55	(2'S,7'S)-O-(2-Methylbutanoyl)-columbianetin	<i>C. heterocarpa</i>	30,31
56	(2'S)-Columbianetin-3'-hydrogen sulfate	<i>C. heterocarpa</i>	30,31
57	(2'S)-Columbianetin-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. heterocarpa</i>	30,31
58	Medioresil	<i>C. edulis</i>	32
59	Syringaresinol	<i>C. edulis</i>	32
60	丁香脂素-4-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Syringaresinol-4-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. fangshanensis</i>	25
61	异落叶松脂醇 9-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷 Isolariciresinol-9-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>C. fangshanensis</i>	25

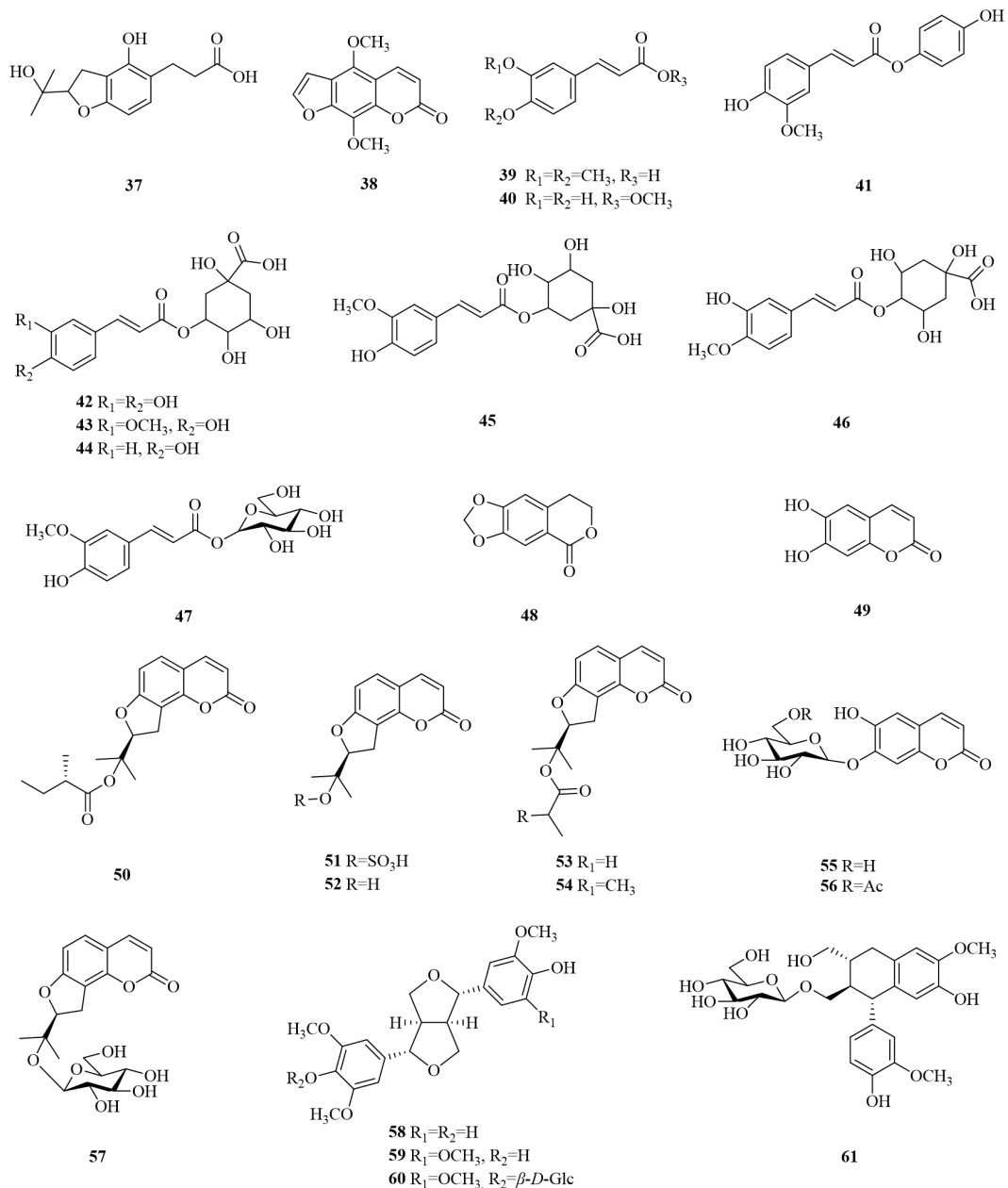


图 2 紫堇属植物苯丙素类化学成分的结构

Fig. 2 The structure of phenylpropanoids in plants of the genus *Corydalis*

### 1.3 甾体类化学成分

甾体化合物是一类从天然药物中提取的具有环戊烷骈多氢菲甾体母核的天然化学成分。目前紫堇属植物中已分离得到 8 个甾体类化学成分，主要包括甾体和甾体苷类成分，具体化学结构和名称总结如表 3 和图 3。



表 3 紫堇属植物中甾体类化学成分信息

Table 3 information of steroids in *Corydalis* plants

序号 No.	化合物 Compound	植物来源 Plant source	文献 Ref.
62	环桉烯醇 Cycloeucalenol	<i>C. saxicola</i>	33
63	$\beta$ -谷甾醇 $\beta$ -Sitosterol	<i>C. saxicola</i> <i>C. conspersa</i> <i>C. yanhusuo</i>	15,33,34
64	豆甾醇 Stigmasterol	<i>C. hendersonii</i> <i>C. yanhusuo</i>	13,34
65	胆固醇 Cholesterol	<i>C. saxicola</i>	35
66	麦角甾醇 Ergosterol	<i>C. saxicola</i>	36
67	Ergosta-4-en-3-one	<i>C. yanhusuo</i>	37
68	胡萝卜苷 Daucosterol	<i>C. saxicola</i>	33,36
69	$\beta$ -谷甾醇- $\beta$ -D-葡萄糖苷 $\beta$ -Sitosterol- $\beta$ -D-glucoside	<i>C. adiantifolia</i>	34

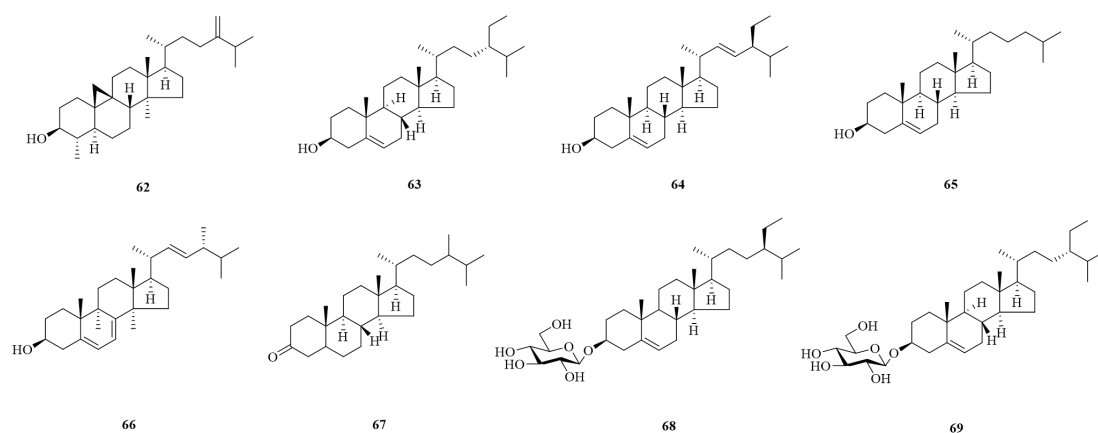


图 3 紫堇属植物甾体类化学成分的结构式

Fig. 3 The structure of of steroids in plants of the genus *Corydalis*

#### 1.4 萜类化学成分

萜类化合物是异戊二烯首尾相连的聚合物及其衍生物，其骨架一般以 5 个碳为基本单位（少数例外）。目前，已从紫堇属植物中分离得到了 29 个萜类化合物，主要包括三萜类、三萜苷类、降碳倍半萜类和降碳倍半萜苷类成分，具体的化合物信息和结构式如表 4 和图

4。

表 4 紫堇属植物中萜类化学成分信息

Table 4 information of terpenoids in plants of the genus *Corydalis*

序号 No.	化合物 Compound	植物来源 Plant source	文献 Ref.
70	乌苏酸 Ursolic acid	<i>C. hendersonii</i>	13
71	$\beta$ -Amyrin	<i>C. saxicola</i>	14
72	白桦脂醇 Betulin	<i>C. saxicola</i>	33
73	白桦脂酸 Betulinic acid	<i>C. saxicola</i>	33
74	$\beta$ -香树脂醇乙酸酯 $\beta$ -Amyrin acetate	<i>C. saxicola</i>	33
75	齐墩果酸 (+)-Oleanolic acid	<i>C. saxicola</i>	33
76	Asiatic acid	<i>C. stricta</i>	38
77	Corosolic acid	<i>C. stricta</i>	38
78	Maslinic acid	<i>C. stricta</i>	38
79	Coryternic acid	<i>C. ternata</i>	39
80	3 $\beta$ -羟基-齐墩果烷-11,13(18)-二烯-28-酸 3 $\beta$ -Hydroxy-oleanolane-11,13 (18) - diene-28-acid	<i>C. yanhusuo</i>	40
81	Coryternic acid 3- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucuronopyranoside	<i>C. ternata</i>	39
82	Coryternic acid 3- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucuronopyranoside-6'- <i>O</i> -methyl ester	<i>C. ternata</i>	39
83	7-Epiloliolide	<i>C. tomentella</i>	41
84	3,4-顺-3,4-二羟基- $\beta$ -紫罗兰酮 3,4-cis-3,4-Dihydroxy- $\beta$ -ionone	<i>C. impatiens</i>	42
85	Megastigma	<i>C. impatiens</i>	42
86	9-羟基-4,7-巨豆二烯-3-酮 9-Hydroxy-4,7-megastigmadien-3-one	<i>C. impatiens</i> <i>C. racemosa</i>	42,20
87	Blumenol A	<i>C. impatiens</i>	42
88	黑麦草内酯 Loliolide	<i>C. racemose</i> <i>C. edulis</i>	20,26
89	(+)-去氢催吐萝芙木醇 (+)-Dehydrovomifoliol	<i>C. racemosa</i>	20
90	3-羟基-4,7-巨豆二烯-9-酮 3-Hydroxy-4,7-megastigmadien-9-one	<i>C. racemosa</i>	20

	6,9-二羟基-4,7-巨豆二烯-3-酮-9- <i>O</i> - $\beta$ - <i>D</i> -葡萄糖苷 6,9-		
91	Dihydroxy-4,7-megastigmadien-3-one-9- <i>O</i> - $\beta$ - <i>D</i> -glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
92	3-羟基-5 $\alpha$ ,6 $\alpha$ -环氧- $\beta$ -紫罗兰酮 3-Hydroxy-5 $\alpha$ ,6 $\alpha$ -epoxy- $\beta$ -ionone	<i>C. racemosa</i> <i>C. edulis</i>	20,26
93	Icariside B2	<i>C. racemosa</i> <i>C. edulis</i>	20,43
94	5 $\beta$ ,6 $\alpha$ -二羟基-7-巨豆二烯-9-酮-3- <i>O</i> - $\beta$ - <i>D</i> -葡萄糖苷 5 $\beta$ ,6 $\alpha$ -Dihydroxy-7-megastigmen-9-one-3- <i>O</i> - $\beta$ - <i>D</i> -glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
95	3-羟基-4,7-巨豆二烯-9-酮-3- <i>O</i> - $\alpha$ - <i>L</i> -阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ - <i>D</i> -葡萄糖苷 3-hydroxy-4,7-megastigmadien-9-one-3- <i>O</i> - $\alpha$ - <i>L</i> -arabinopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ - <i>D</i> -glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
96	3-羟基-5 $\alpha$ ,6 $\alpha$ -环氧- $\beta$ -紫罗兰-3- <i>O</i> - $\beta$ - <i>D</i> -木糖基-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ - <i>D</i> -葡萄糖苷 3-hydroxy-5 $\alpha$ ,6 $\alpha$ -epoxy- $\beta$ -ionone-3- <i>O</i> - $\beta$ - <i>D</i> -xylopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ - <i>D</i> -glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
97	3-羟基-5 $\alpha$ ,6 $\alpha$ -环氧- $\beta$ -紫罗兰-3- <i>O</i> - $\alpha$ - <i>L</i> -阿拉伯糖基-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ - <i>D</i> -葡萄糖苷 3-hydroxy-5 $\alpha$ ,6 $\alpha$ -epoxy- $\beta$ -ionone-3- <i>O</i> - $\alpha$ - <i>L</i> -arabinopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ - <i>D</i> -glucopyranoside	<i>C. racemosa</i>	20
98	6'- $\beta$ - <i>D</i> -Xylosylcariside B2	<i>C. edulis</i>	43,44

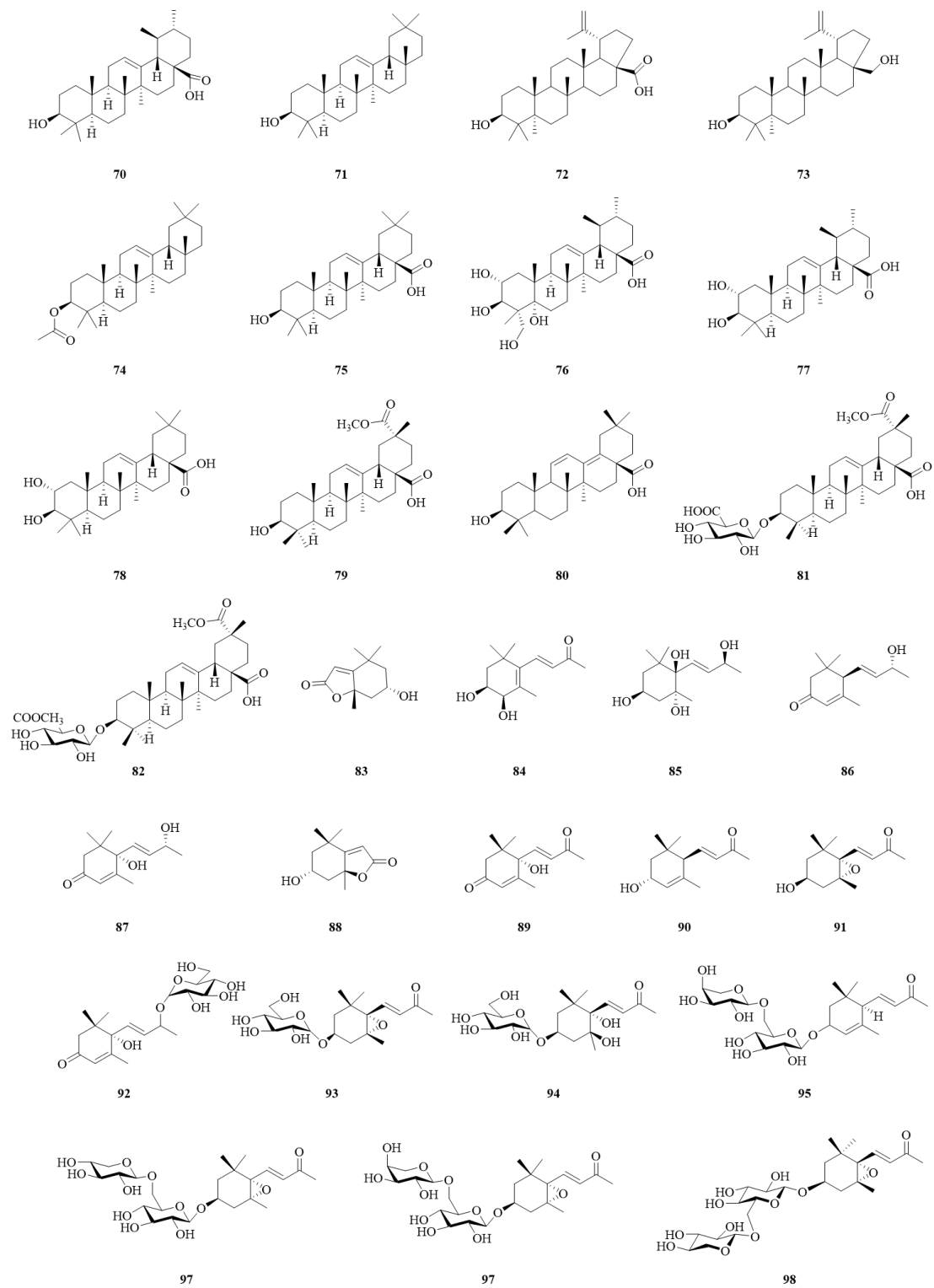


图 4 紫堇属植物萜类化学成分的结构式

Fig. 4 The structure of terpenoids in plants of the genus *Corydalis*

### 1.5 其他类

在紫堇属植物中还存在着许多成分（99~143），比如：糖类、醌类、有机酸类、脂肪醇、酚苷类等各种小分子类的化学成分，我们将其归到了其他类化学成分，具体分离得到的化合物和其结构式总结如下, 见表 5 和图 5。

表 5 紫堇属中其他类化学成分信息

Table 5 Other chemical components in the genus *Corydalis*

序号 No.	化合物 Compound	植物来源 Plant source	文献 Ref.
99	对羟基苯甲醇 <i>p</i> -Hydroxyphenylmethanol	<i>C. impatiens</i>	17
100	1,2,4-苯三酚 1,2,4-Trihydroxybenzene	<i>C. impatiens</i>	17
101	邻苯二酚 1,2-Benzenediol	<i>C. impatiens</i>	17
102	香草醛 Vanillin	<i>C. racemosa</i>	20
103	3-羟基-4-甲氧基苯甲酸 3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid	<i>C. hendersonii</i>	45
104	对羟基苯甲酸 <i>p</i> -Hydroxybenzoic acid	<i>C. hendersonii</i>	46
105	香草乙酮 Apocynin	<i>C. hendersonii</i>	47
106	香草酸 Vanillic acid	<i>C. yanhusuo</i>	48
107	3,4-二羟基苯乙醇 3,4-Dihydroxyphenylethanol	<i>C. impatiens</i>	17
108	对羟基苯甲基乙醚 <i>p</i> -Hydroxybenzylethyl ether	<i>C. impatiens</i>	17
109	4-羟基-3-甲氧基苯乙醇 4-Hydroxy-3-methoxyphenylethanol	<i>C. racemosa</i>	20
110	酪醇 Tyrosol	<i>C. hendersonii</i> <i>C. racemose</i> <i>C. impatiens</i>	17,20,46
111	Bungeanoline F	<i>C. bungeana</i>	49
112	元胡内酯 Coryhumolide	<i>C. impatiens</i>	42
113	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	<i>C. fangshanensis</i>	25
114	(3 <i>S</i> )-5-Guaiacyl-3-hydroxypentanoic methyl ester	<i>C. impatiens</i>	17
115	5,5'-Dimethoxybiphenyl-2,2'-diol	<i>C. edulis</i>	44
116	4,4'-二羟基苯基醚 4,4'-Dihydroxydibenzyl ether	<i>C. impatiens</i>	17
117	Crotolidine	<i>C. racemosa</i>	20

118	Ribonic acid-1,4-lactone	<i>C. yanhusuo</i>	50
119	环己六醇 Cyclohexanehexol	<i>C. yanhusuo</i>	50
120	棕榈酸 Palmitic acid	<i>C. yanhusuo</i>	50
121	2-羟基丙酸 2-Hydroxy propionic acid	<i>C. yanhusuo</i>	50
122	2,3-二羟基丙酸 2,3-Dihydroxypropionic acid	<i>C. yanhusuo</i>	50
123	苹果酸 Malic acid	<i>C. yanhusuo</i>	50
124	琥珀酸 Succinic acid	<i>C. yanhusuo</i>	50
125	硬脂酸酐 Octadecanoic acid	<i>C. yanhusuo</i>	50
126	甘油 Glycerin	<i>C. yanhusuo</i>	50
127	柠檬酸 Citric acid	<i>C. yanhusuo</i>	50
128	Sanleng acid	<i>C. saxicola</i>	19
129	山萘酸 Behenic acid	<i>C. yanhusuo</i>	51
130	富马酸盐 Fumarate	<i>C. yanhusuo</i>	52
131	$\alpha$ -D-葡萄糖 $\alpha$ -D-Glucopyranose	<i>C. yanhusuo</i>	52
132	$\beta$ -D-葡萄糖 $\beta$ -D-Glucopyranose	<i>C. yanhusuo</i>	52
133	D-乳糖 D-Lactose	<i>C. yanhusuo</i>	52
134	大黄素 Emodin	<i>C. yanhusuo</i>	53
135	Heterocarpin	<i>C. heterocarpa</i>	23,24
136	Cnidimol A	<i>C. heterocarpa</i>	23,24
137	Cnidimoside A	<i>C. heterocarpa</i>	23,24
138	Icariside D2	<i>C. hendersonii</i>	45
139	Ethyl-4-( $\beta$ -D-glucopyranosyloxy)-3-methoxybenzoate	<i>C. hendersonii</i>	45
140	Glucoacetosyringone	<i>C. hendersonii</i>	54
141	草夹竹桃苷 Androsin	<i>C. hendersonii</i>	54

142	Hydrangeifolin I	<i>C. saxicola</i>	19
143	Icariside F2	<i>C. saxicola</i>	19

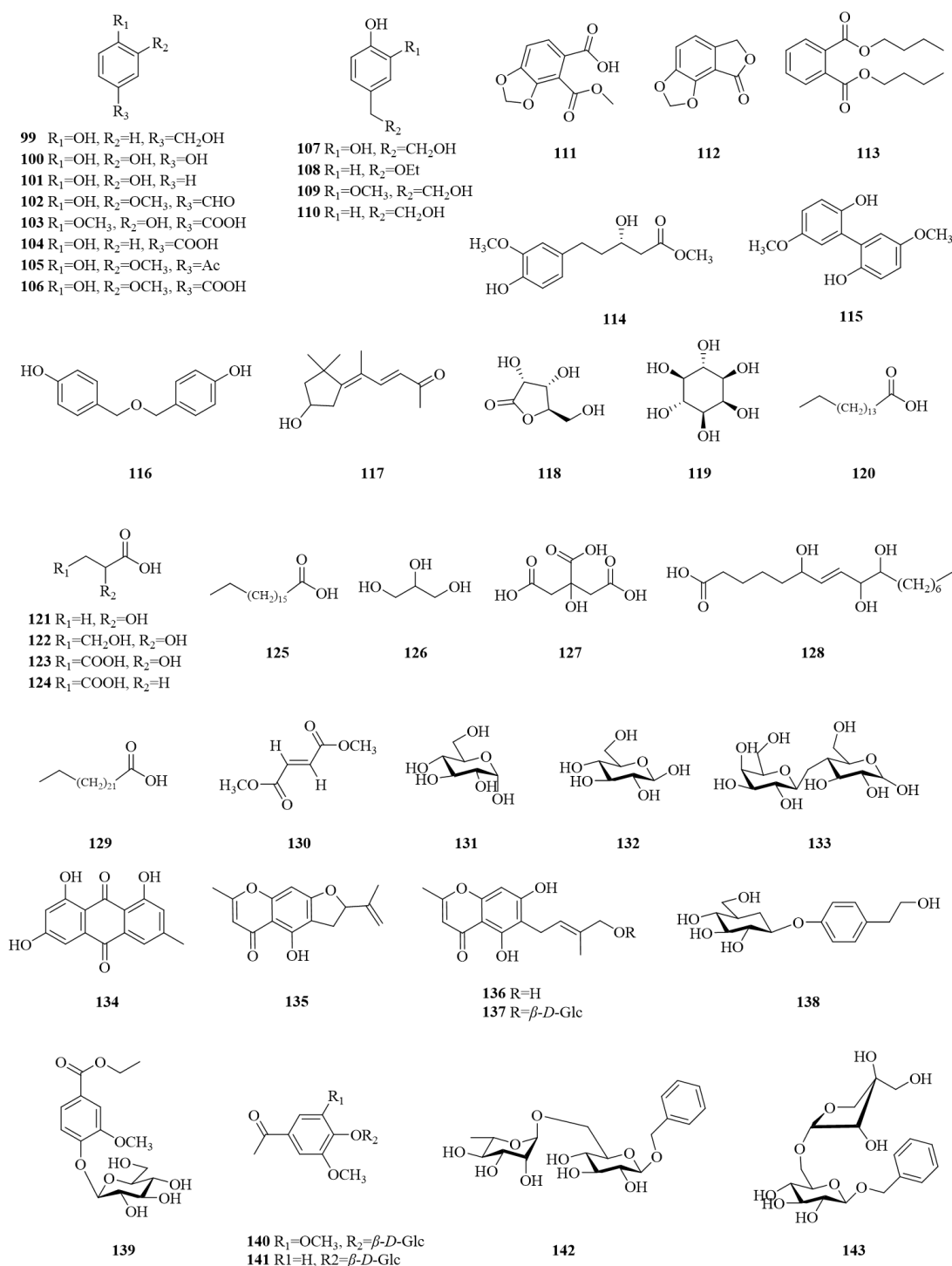


图 5 紫堇属植物其他类化学成分的结构式

Fig. 5 Structure of other chemical components in plants of the genus *Corydalis*

## 2 紫堇属非生物碱类化学成分的药理活性

紫萁属植物中的化学成分除了生物碱类的化学成分外，还具有其他类型的化学成分，比如黄酮类、酚酸类、萜类等，这些非生物碱类的化学成分也具有很重要的药理活性。现代医学研究表明植物中的苯丙素类成分、黄酮类成分以及萜类化学成分具有抗菌，抗炎，抗肿瘤，抗氧化等药理活性<sup>[55-59]</sup>。

## 2.1 抗炎作用

Yin<sup>[54]</sup>通过对矮紫萁的正丁醇萃取部位进行了系统分离，以槲皮素为阳性对照，利用脂多糖（lipopolysaccharide, LPS）诱导 RAW267.4 细胞产生的条件上清刺激 H9c2 大鼠心肌细胞造模对分离得到的单体化合物进行活性筛选。研究发现化合物草夹竹桃苷和 glucoacetosyringone 对细胞的保护率在 30%左右，具有中等保护作用，能够抑制心肌细胞炎症。Kim<sup>[39]</sup>从三裂延胡索分离得到的 coryternic acid 3-*O*- $\beta$ -*D*-glucuronopyrano-side-6'-*O*-methyl ester 能有效抑制 LPS 激活的 BV-2 细胞产生 NO，实验得到的 IC<sub>50</sub> 值为 16.2  $\mu$ mol/L，并且无细胞毒性，该化合物可以通过抑制大脑神经炎症来治疗各种肿瘤和改善神经退行性疾病。

Kim 等<sup>[24]</sup>从异果黄萁中分离得到三个黄酮类化合物和两个香豆素类化合物，并测试了这 5 个化合物对 LPS 诱导的 RAW 264.7 巨噬细胞的抗炎活性。结果显示，heterocarpin 能够以剂量依赖性的方式抑制 NO 的产生，通过蛋白质印迹分析发现 heterocarpin 通过降低促炎细胞因子 TNF- $\alpha$ 、白细胞介素（IL-1 $\beta$ 和 IL-6）的蛋白表达来抑制 NO、前列腺素 E<sub>2</sub> 和促炎细胞因子 TNF- $\alpha$  的产生。因此，heterocarpin 具有显著的抗炎活性，并且该化合物对 RAW 264.7 没有细胞毒性。Kang<sup>[29]</sup>利用异果黄萁中分离得到的香豆素对 LPS 刺激的结肠癌肿瘤细胞 HT-29 抗炎作用进行探究，表明 libanoridin 以剂量依赖性的方式抑制炎症介质的蛋白表达水平，如：一氧化氮合酶、环氧合酶-2、TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$ 。Libanoridin 可被认为是一种潜在的抗炎剂。

## 2.2 抗肿瘤作用

Chang<sup>[23]</sup>通过对异果黄萁进行系统分离得到了 5 个化合物，然后采用四甲基偶氮唑蓝（MTT）的方法<sup>[60]</sup>，测试分离的得到的化合物对培养细胞（人胃癌细胞 AGS、人结肠癌细胞 HT-29、人纤维肉瘤细胞 HT-1080、人乳腺癌细胞 MCF-7 和人白血病细胞 U-937）的抗增殖作用。研究发现分离得到的黄酮类化合物 heterocarpin 对四种肿瘤细胞（除人白血病细胞 U-937）具有显著的细胞毒活性，并且在 100  $\mu$ mol/L 的浓度下，对 AGS，HT-1080 和



MCF-7 的增殖抑制率分别为 42.5%、33.4%和 39.3%，且呈现出剂量-效应关系。而后又对化合物 heterocarpin 的抗肿瘤机制进行了探究，发现 heterocarpin 可以促进 AGS 细胞中促凋亡因子 Bax mRNA 的表达，抑制抗凋亡因子 Bcl-2 mRNA 表达<sup>[61-63]</sup>。此外，heterocarpin 还通过过量产生半胱氨酸蛋白酶和抑制 X 连锁凋亡抑制蛋白来诱导癌细胞的凋亡。Kim<sup>[31]</sup>又通过异果黄堇分离得到 6 个香豆素类化合物，用 MTT 法测试化合物对肿瘤细胞（AGS、HT-29、HT-1080、MCF-7 和 U-937）的抑制作用，研究结果表明 (2'S)-columbianetin-3'-sulfate、libanoridin 和 (2'S)-columbianetin-O-β-D-glucopyranoside 对 AGS, HT-29, HT-1080, MCF-7 均表现出抑制能力，且呈剂量依赖型抑制作用，其中 (2'S)-columbianetin-3'-sulfate 的抑制活性最强，对其抗肿瘤的分子机制探索发现该化合物有效抑制作用是激活 Bax、p53 和 p21 蛋白的表达进而诱导肿瘤细胞凋亡。

Kim<sup>[39]</sup>从三裂延胡索中分离得到了 3 个三萜类化学成分，后又使用磺酰罗丹明 B 生物测定法<sup>[64]</sup>，测试了 3 个萜类成分对人癌细胞（A549、SK-OV-3、SK-MEL-2 和 HCT15）的细胞毒性，化合物 coryternic acid 3-O-β-D-glucuronopyranoside-6'-O-methyl ester 对四种人癌细胞均具有显著的细胞毒性，实验的得到 IC<sub>50</sub> 值分别为 15.16、17.07、13.32 和 11.95 μmol/L。

Deng 等<sup>[25]</sup>通过 MTT 法测试房山紫堇中分离得到的单体化合物对乳腺癌肿瘤细胞（MDA-MB-231、MCF-7）的抑制作用，研究发现化合物二甲基咖啡酸、水仙苷，丁香脂素-4-O-β-D-葡萄糖苷和异落叶松脂醇 9-O-β-D-葡萄糖苷对 MDA-MB-231 具有抑制作用，对应的 IC<sub>50</sub> 值分别为 79.99、42.36、35.33 和 25.68 μmol/L；丁香脂素-4-O-β-D-葡萄糖苷和异落叶松脂醇 9-O-β-D-葡萄糖苷对 MCF-7 具有明显抑制作用，对应的 IC<sub>50</sub> 值分别为 22.84、7.29 μmol/L。

Nan 等<sup>[17][42]</sup>对塞北紫堇乙酸乙酯萃取部位进行了系统的分离研究，并通过 MTT 法对分离得到的化合物进行人肝癌细胞（HepG2、SMMC-7721）的增殖抑制作用测试。结果显示化合物 3,4-顺-3,4-二羟基-β-紫罗兰酮对人肝癌 HepG2 具有较弱的抑制活性，IC<sub>50</sub> 为 24.7 μmol/L，化合物 megastigmane 对人肝癌 SMMC-7721 具有中等抑制活性，IC<sub>50</sub> 为 13.8 μmol/L。后又对塞北紫堇中分离得到酚类成分用 MTT 法对人肝癌细胞（HepG2、SMMC-7721）的增殖抑制作用进行测试。测试结果发现化合物、8-对羟苄基山柰酚和 8-对羟苄基槲皮素对人肝癌 HepG2 具有中等抑制活性，IC<sub>50</sub> 值分别为 16.8、19.2 μmol/L。

## 2.3 抗氧化活性

Kim<sup>[30]</sup>从异果黄堇中分离得到 6 个二氢呋喃香豆素类化合物，并通过三种不同的生物测定方法（DPPH、羟基、超氧自由基清除）<sup>[65-67]</sup>对 6 个香豆素成分进行研究。探究发现在对 DPPH 自由基清除活性实验中，化合物 (2'S,7'S)-O-(2-methylbutanoyl)-columbianetin 和 (2'S)-columbianetin-3'-hydrogensulfate 对 DPPH 自由基清除能力最强，它们在浓度为 100  $\mu\text{mol/L}$  时的清除率分别为 49%和 61%。在羟基自由基清除实验中，所有化合物对羟基自由基的产生均表现出很强的清除能力，且呈剂量依赖性,即使在浓度为 1  $\mu\text{mol/L}$  时，与对照相比，化合物的抑制活性也均超过了 60%。在超氧阴离子自由基的清除实验中，化合物 (2'S)-columbianetin-O- $\beta$ -D-glucopyranoside 和 (2'S)-columbianetin-3'-hydrogen sulfate 表现出显著的清除作用，在浓度为 10  $\mu\text{mol/L}$  时，清除率分别为 41%和 48%。

## 2.4 细胞保护作用

Zhao 等<sup>[68]</sup>观察山柰酚和芹菜素对  $\text{H}_2\text{O}_2$  诱导的心肌细胞凋亡过程中对线粒体损伤的影响，研究发现山柰酚和芹菜素均能有效地抑制  $\text{H}_2\text{O}_2$  诱导的心肌细胞的凋亡过程，且山柰酚的抗氧化作用比芹菜素强，探究它们的作用机制发现，可能依赖于抑制线粒体膜电位降低和细胞色素 C 的释放。Tang 等<sup>[69]</sup>在探究山柰酚和槲皮素对乳鼠心肌细胞缺氧复氧损伤的保护作用中得到山柰酚和槲皮素具有显著的抗心肌细胞缺氧损伤的能力,与其抗氧化的药理作用有关的结论。与 Zhao 等人研究结论相互佐证。

Ahn<sup>[28]</sup>从异果黄堇中分离得到(2'S)-columbianetin，并探究该化合物对中波紫外线（UVB）诱导的角质细胞（HaCaT）损伤的保护作用。结果表明该化合物有效抑制了 UVB 处理的 HaCaT 中活性氧的产生，还可有效阻滞细胞周期中的 sub-G1 的过程；在分子层面，该化合物可以有效抑制基质金属蛋白酶的表达。同时，(2'S)-Columbianetin 还可调控凋亡信号调节激酶-丝裂原活化蛋白激酶的信号通路，显著降低了该通路中蛋白的磷酸化，有效保护了 HaCaT 免受 UVB 的损伤。

## 3 结语与展望

紫堇属植物在我国分布广泛，资源丰富，化学成分复杂且多样。本文共总结了 143 个化学成分，主要包括黄酮类、苯丙素类、甾体类、萜类。特别是生长在高寒、高海拔等地的小花黄堇、高山紫堇、东北延胡索等，因其独特的生长环境和气候会产生许多酚类、黄酮类的化学成分，这类成分具有较好的抗氧化和抗肿瘤的作用。在异果黄堇中也有一

些结构新颖的香豆素类成分，具有良好的抗炎和细胞保护的作用，值得进一步探究。从药理作用来看，该属植物中分的化学成分相关活性的研究不够全面，缺乏抗菌、抗病毒以及免疫调节等方面药理活性的研究；大多数药理活性多在植物粗提物上进行，对单体化合物的研究较浅。此外，我们还应深入对化学成分的药理作用机制和药理作用靶点、有效成分的含量与其药理活性之间的关系以及对构效关系的研究。紫堇属植物种类繁多，本文主要对已报道 17 种紫堇属植物进行总结。为了深入研究该属植物的药用价值，还应对该属其他植物的化学成分和药理活性进一步研究。因此，系统全面地了解紫堇属植物的化学成分和药用价值，可以为该属植物深层次的开发和利用提供科学依据。

### 参考文献

- 1 Li HM,et al.Varieties and standards of *Corydalis* medicinal[J].China J Chin Mater Med(中国中药杂志),2022,47:2257-2265.
- 2 Wu ZY.Flora of Tibet(西藏植物志)[M].Beijing:Science Press,1985:2.
- 3 Bai RZN,et al.Yuewang Yaozhen(月王药诊)[M].Beijing:The Ethnic Publishing House,1985.
- 4 Zhang XF,et al.The investigation on Qinghai *Corydalis* medicinal plant resources and their exploitation[J].Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药),1997,8:70.
- 5 Xu P,et al.Herbalogical textual research on *Corydalis* DC[J].China J Chin Mater Med(中华中医药杂志),2012,27:540-543.
- 6 Chinese Pharmacopoeia Commission.Pharmacopoeia of the People's Republic of China:Vol I(中华人民共和国药典:第一部)[M].Beijing:China Medical Science Press,2020:145,210,291.
- 7 Manske RHF.The alkaloids of fumariaceus plants:*Corydalis cornuta* Royle[J].Can J Res,1946,24:66.
- 8 Deng CF,et al.Research progress of benzyloquinoline components from genus *Corydalis*[J].Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2024,36:694-716.
- 9 Shang WQ,et al.Phytochemical and pharmacological advance on Tibetan medicinal plants of *Corydalis*[J].China J Chin Mater Med(中国中药杂志),2014,39:1190-1198.
- 10 Zhang HY,et al.Evolutionary inspirations for drug discovery[J].Trends Pharmacol Sci,2010,31:443-448.
- 11 Yan LP,et al.Research progress in *Corydalis decumbens*[J].J Anhui Agric Sci(安徽农业科学),2022,50:5-7.
- 12 Que S,et al.Chemical constituents form *Corydalis conspersa*[J].Chin Tradit Pat Med(中成药),2016,38:2405-2408.

- 13 Gao YP,et al.Chemical constituents of *Corydalis hendersonii*[J].Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2016,22:60-63.
- 14 Wang QZ,et al.A new alkaloid from the herb of *Corydalis saxicola*[J].Chin J Nat Med(中国天然药物),2009,7:414-416.
- 15 Min TT.Study on anti-liver injury active ingredient and quality standard of Tibetan *Corydalis impatiens*(Pall.) Fisch.[D].Nanchang:Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine(江西中医药大学),2023.
- 16 Li MZ,et al.Study on anti-inflammatory active components and mechanism of *Corydalis Bungeanae* Herba[J].China J Chin Mater Med(中国中药杂志),2020,45:2586-2594.
- 17 Nan ZD,et al.Phenolic compounds with cytotoxic activity form *Corydalis impatiens*[J].Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2020,32(07):1164-1170.
- 18 Wei CH,et al.Analytical studies on *Corydalis hendersonii* Hemsl by UHPLC-Q-TOF-MS[J].J Jiangxi Univ Tradit Chin Med(江西中医药大学学报),2018,30:65-68.
- 19 Xie GY,et al.Chemical constituents and antioxidative,anti-inflammatory and anti-proliferative activities of wild and cultivated *Corydalis saxicola*[J].Ind Crop Prod,2021,169:113647.
- 20 Yao HN.Study on the chemical constituents of *Corydalis racemosa*[D].Beijing:Beijing University of Chinese Medicine(北京中医药大学),2020.
- 21 Xie C,et al.Flavonoid glycosides and isoquinolinone alkaloids from *Corydalis bungeana*[J].Phytochemistry,2004,65:3041-3047.
- 22 Kumi Y,et al.Blue flower coloration of *Corydalis ambigua* requires ferric ion and kaempferol glycoside[J].Biosci Biotechnol Biochem,2021,85:61-68.
- 23 Chang S,et al.Evaluation of a furochromone from the halophyte *Corydalis heterocarpa* for cytotoxic activity against human gastric cancer(AGS) cells[J].Food Funct,2016,7:4823-4829.
- 24 Kim YA,et al.Anti-inflammatory activity of heterocarpin from the salt marsh plant *Corydalis heterocarpa* in LPS-induced RAW 264.7 macrophage cells[J].Molecules,2015,20:14474-14486.
- 25 Deng WF,et al.Chemical constituents from the aerial parts of *Corydalis fangshanensis* and their inhibitory effects on breast cancer cells proliferation[J].Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2024,36:252-259.
- 26 Chao LH.Study on the Weak-Polarity components and chemical constituents analysis of *Corydalis edulis* Maxim[D].Beijing:Beijing University of Chinese Medicine(北京中医药大学),2018.

- 27 Xie C, et al. Antibacterial activity of the Chinese traditional medicine, Zi Hua Di Ding[J]. *Phytother Res*, 2004, 18: 497-500.
- 28 Ahn BN, et al. Protective effect of (2'S)-columbianetin from *Corydalis heterocarpa* on UVB-induced keratinocyte damage[J]. *J Photoch Photobio B*, 2012, 109: 20-27.
- 29 Kang KH, et al. Anti-inflammatory effect of coumarins isolated from *Corydalis heterocarpa* in HT-29 human colon carcinoma cells[J]. *Food Chem Toxicol*, 2009, 47: 2129-2134.
- 30 Kim AY, et al. Antioxidant activity of dihydro furocoumarins from *Corydalis heterocarpa*[J]. *Biotechnol Bioproc E*, 2014, 19: 771-779.
- 31 Kim AY, et al. Constituents of *Corydalis heterocarpa* and their anti-proliferative effects on human cancer cells[J]. *Food Chem toxicol*, 2010, 48: 722-728.
- 32 Chao H, et al. Chemical constituents from whole herbs of *Corydalis edulis*[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*(中草药), 2018, 49: 1508-1520.
- 33 Wang QZ, et al. Chemical constituents of *Corydalis saxicola*[J]. *Chin J Nat Med*(中国天然药物), 2007, 5: 31-34.
- 34 Ali Iftikhar, et al. Phytochemical isolation and biological activities of *Corydalis adiantifolia* from Baltistan[J]. *J Chem Soc Pakistan*, 2019, 41: 535-543.
- 35 Mao YA. Chemical constituents and activity of *Corydalis saxicola* bunting[D]. Nanning: Guangxi Medical University(广西医科大学), 2006.
- 36 Shi JW, et al. Phytochemical investigation of *Corydalis yanhusuo*[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2011, 23: 647-651.
- 37 Guan XF, et al. Advances in studies on chemical constituents and pharmacological effects of *Corydalis yanhusuo*[J]. *Chem Eng*(化学工程师), 2020, 34: 57-60.
- 38 Ma T, et al. Simultaneous determination of five triterpenic acids in four *Corydalis* herb medicines by reversed-phase high performance liquid chromatography-fluorescence-mass spectrometer(RP-HPLC-FLD-MS) based on pre-column derivatization[J]. *J Liq Chromatogr R T*, 2018, 41: 49-57.
- 39 Kim KH, et al. New triterpenoids from the tubers of *Corydalis ternata*: structural elucidation and bioactivity evaluation[J]. *Planta Med*, 2011, 77: 1555-8.
- 40 Shi JM, et al. Phytochemical investigation of *Corydalis yanhusuo*[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2011, 23: 61-65.

- 41 Long XN,et al.A novel alkaloid from *Corydalis tomentella*[J].China J Chin Mater Med(中国中药杂志),2021,46:5020-5026.
- 42 Nan ZD,et al.Chemical constituents of *Corydalis impatiens* and their inhibitory effect on proliferation of hepatoma cells[J].Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2020,26:163-168.
- 43 Peng ZT.Study on the strong-polarity components and proinsulin secretion activity of *Corydalis edulis* Maxim[D].Beijing:Beijing University of Chinese Medicine(北京中医药大学),2018.
- 44 Peng ZT,et al.A new nor-sesquiterpene glycoside from *Corydalis edulis*[J].Chin Materia Med(中国中药杂志),2020,45(03):579-583.
- 45 Zhou XC,et al.Two new isoquinoline alkaloids from *Corydalis hendersonii*[J].China J Chin Mater Med(中国中药杂志),2023,48:3508-3515.
- 46 Yi WW,et al.Chemical constituents from the ethyl acetate extract of *Corydalis hendersonii*[J].J Chin Med Mater(中药材),2020,43:2159-2162.
- 47 Yin X,et al.Chemical constituents from a Tibetan herbal medicine *Corydalis hendersonii*[J].China J Chin Mater Med(中国中药杂志),2018,43:1758-1763.
- 48 Zhang XL.Review on research progress of chemical constituents of *Corydalis yanhusuo* W.T.Wang[D].Shenyang:Shenyang Pharmaceutical University(沈阳药科大学),2008.
- 49 Yang H,et al.Structurally diverse isoquinoline and amide alkaloids with dopamine D2 receptor antagonism from *Corydalis bungeana*[J].Fitoterapia,2022,159:105175.
- 50 Liu Z,et al.Water-soluble non-alkaloid chemical constituents contained in *Corydalis yanhusuo* by trimethylsilyl derivatization GC-MS[J].Med Plant,2013,4:35.
- 51 Zhou Q.Review on research progress of chemical constituents of *Corydalis yanhusuo* W.T.Wang and the chemical characteristic expression of the herbal medicine characteristic system[D].Beijing:Peking Union Medical College(北京协和医院),2012.
- 52 Feng ZL,et al.Research progress on chemical components and pharmacological effects of *Corydalis yanhusuo*[J].Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2018,30:2000-2008.
- 53 Shi JM,et al.Phytochemical investigation of *Corydalis yanhusuo*[J].Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2011,23:647-651.
- 54 Yin X.A Study on the chemical constituents and pharmacological activities of Tibetan medicine *Corydalis*

- hendersonii*[D].Beijing:Beijing University of Chinese Medicine(北京中医药大学),2017.
- 55 Dong Y,et al.Research progress on pharmacological action and toxicity mechanism of coumarins[J].Chin Tradit Herb Drugs(中草药),2023,54:5462-5472.
- 56 Wang JH,et al. A study on inhibition of SARS-CoV 2 main protease by flavonoids[J].Chin Arch Tradit Chin Med(中华中医药学刊),2023,41:13-16.
- 57 Yang HF,et al.Research progress on the pharmacological effects of triterpenoid compounds[J].J Hubei Univ Sci Technol:Med Sci(湖北科技学院学报:医学版),2023,37:67-69.
- 58 Qin HZ,et al.Research progress on the efficacy and mechanism of flavonoids on gastric ulcer[J].Hubei Agric Sci(湖北农业科学),2022,61:145-148.
- 59 Wang ST,Kong WH,Wen LL,et al.Research progress on mechanism of triterpenoids in prevention[J].Chin Tradit Herb Drugs(中草药),2023,54:6128-6138.
- 60 Song YQ,et al.Study of oxyresveratrol on the proliferation,migration,invasion and autophagy of hepatocellular carcinoma cells[J].Pharmacol Clin Chin Mater Clin Med(中药药理与临床),2018,34:46-50.
- 61 Miyashita T,et al.Tumor suppressor p53 is a regulator of bcl-2 and bax gene expression *in vitro* and *in vivo*[J].Oncogene,1994,9:1799-1805.
- 62 Roy N,et al.,The c-IAP-1 and c-IAP-2 pro-teins are direct inhibitors of specific caspases[J].Embo J,1997,16:6914-6925.
- 63 Deveraux QL,et al.IAP family proteins—suppressors of apoptosis[J].Genes Dev,1999,13:239–252.
- 64 Skehan P,et al.New colorimetric cytotoxicity assay for anticancer-drug screening[J].J Natl Cancer Inst,1990,82:1107–1112.
- 65 Nanjo F,et al.Scavenging effects of tea catechins and their derivatives on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical[J].Free Radical Bio Med,1996,21:895-902.
- 66 Rosen GM,et al.Spin trapping of superoxide and hydroxyl radicals[J].Methods Enzymol,1984:198-209.
- 67 Guo Q,et al.ESR study on the structure-antioxidant activity relationship of tea catechins and their epimers[J].Biochim Biophys Acta,1999,1427:13-23.
- 68 Zhao CC,et al.Effect of kaempferol,apigenin on injury of mitochondria in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced cardiomyocyte apoptosis[J].Chin J Pathophysiol(中国病理生理杂志),2008,24:1431-1433.
- 69 Tang XL,et al.Protective effects of kaempferol and quercetin on hypoxia/reoxygenation and peroxidation

injury in neonatal cardiomyocytes[J].Pharmacol Clin Chin Mater Clin Med(中药药理与临床),2012,28:56-59.

收稿日期: 2024-06-07                      接收日期:

基金项目: 北方民族大学研究生创新项目(YCX23176, YCX23181); 北方民族大学科研启动基金(2021KYQD35); 国家自然科学基金地区项目(82160672)

\*通信作者 Tel: 18834810708; E-mail: nanzdchem@163.com