

珍珠菜属植物的化学成分及药理作用研究进展

高飞飞¹, 赵德², 邓君^{1*} (1.西南大学药学院, 重庆 400716; 2.北大国际医院集团重庆大新药业股份有限公司, 重庆 400700)

摘要: 珍珠菜属(*Lysimachia* L.)植物在我国分布广泛、资源丰富, 其中多种植物在民间药用, 过路黄(*L. christinae*)的干燥全草为常用中药金钱草的基源植物。本属植物中含有大量的黄酮类、三萜类、挥发油等化学成分; 现代药理学研究表明, 该属植物提取物或某些成分在抗肿瘤、抗菌、抗氧化等方面显示了较好的生物活性。本文对近年来国内外报道的珍珠菜属植物化学成分及药理作用研究进行综述, 为进一步研究开发该属植物资源提供依据。

关键词: 珍珠菜属; 黄酮类; 三萜类; 抗肿瘤; 抗菌; 抗氧化

中图分类号: R284.1; R285

文献标志码: A

文章编号: 1007-7693(2011)10-0907-09

Progress Research of Chemical Constituents and Pharmacological Activities of *Lysimachia*

GAO Feifei¹, ZHAO De², DENG Jun^{1*} (1.College of Pharmaceutical Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2.PKU International Healthcare Group, Chongqing Daxin Pharmaceutical Co, Ltd., Chongqing 400700, China)

ABSTRACT: The plants of genus *Lysimachia* are widespread in China and abundant in resource. Many of them have been used as folk-medicines in China for a long time, e.g., the dry herb of *L. chridtinae* Hance is the original source of *Lysimachiae Herba*, a frequently used traditional Chinese medicine. The plants of this genus contain a great deal of flavonoids, triterpenes, volatile oil, and so on, and the extracts or some compounds from the plants of the genus exhibited significant biological activities in modern pharmacological researches such as antitumor, antimicrobial, and antioxygen effects. This paper reviewed the research progress on the chemical constituents and pharmacological activities of the plants in the title genus reported in domestic and overseas literature in recent years and provided a reference for further studying and developing this plant resource.

KEY WORDS: *Lysimachia*; flavonoids; triterpenes; antitumor; antimicrobial; antioxygen

珍珠菜属(*Lysimachia* L.)植物全球共约 180 余种, 主要分布于北半球温带和亚热带地区, 少数产于非洲、拉丁美洲和大洋洲。我国约有 132 种, 1 亚种和 17 变种^[1], 近年又发现一些新种, 如祁门过路黄 *L. qimenensis* X. H. Guo, X. P. Zhang et J. W. Shao^[2], *L. dextrorsiflora* X. P. Zhang, X. H. Guo & J. W. Shao^[3], *L. gesnerioides* Y.M. Shui & M.D. Zhang^[4]。珍珠菜属曾一直被划归报春花科(Primulaceae), 最近的分子生物学证据显示应归为紫金牛科(Myrsinaceae)^[5]。该属植物在我国分布广泛, 部分为民间常用的草药和香料。据统计, 本属有 36 种 2 个变种可供药用^[6], 其中过路黄(*L. christinae*)的干燥全草即作为金钱草收载于中国药典 2010 年版一部^[7], 具有利尿通淋、解毒消肿的作用。因为本属植物的药用价值, 近年来对该属植物的研究越来越多, 主要集中在它们的化学成分、药理活性及其作用机制方面。本文综述了近

年对珍珠菜属植物的化学成分、生理活性的研究进展, 文中涉及到的珍珠菜属植物分别为单条草(*L. candida* Lindl., 1), 细梗香草(*L. capillipes* Hemsl., 2), 金钱草(*L. christinae* Hance, 3), 露珠珍珠菜(*L. circaeoides* Hemsl., 4), 珍珠菜(*L. clethroides* Duby, 5), 聚花过路黄(*L. congestiflora* Hemsl., 6), 黄连花(*L. davurica* Ledeb., 7), 黑腺珍珠菜(*L. heterogenea* Klatt, 8), 灵香草(*L. foenum-graecum* Hance, 9), 大叶过路黄(*L. fordiana* Oliv., 10), 落地梅(*L. paridiformis* Franch., 11), 狭叶落地梅(*L. paridiformis* var. *stenophylla* Franch., 12), 巴东过路黄(*L. patungensis* Hand.-Mazz., 13), 黄排草(*L. punctata* L., 14), 腺药珍珠菜(*L. stenosepala* Hemsl., 15), 球尾花(*L. thyrsiflora* L., 16)。

1 化学成分

珍珠菜属植物主要含黄酮类和三萜皂苷类化

作者简介: 高飞飞, 女, 硕士生 Tel: (023)68204534
(023)68250761 E-mail: dengjqc@163.com

E-mail: 452990106@qq.com

*通信作者: 邓君, 女, 博士, 副教授 Tel:

合物，多种植物中含有较多的挥发油成分，此外还含有长链烷烃、有机酸、甾醇、醌类、生物碱类等化合物。

1.1 黄酮类成分

珍珠菜属植物中都含有丰富的黄酮及黄酮苷，至今已从该属植物中分离鉴定了 40 多种黄酮类化合物，主要结构类型是黄酮，还有少数异黄酮和二氢黄酮。黄酮苷元主要为山柰酚(kaempferol)、槲皮素(querceetin)、异鼠李素(isorhamnetin)等。此外，还从珍珠菜中分离得到异黄酮和二氢黄酮，如 4'-methoxy-5,6-dihydroxyisoflavone-7-O-D-

glcopyranoside^[8], 4'-羟基-二氢黄酮-7-O-D-葡萄糖苷^[8], 柚皮素(5,7,4'-三羟基二氢黄酮)^[9-10]等。

黄酮结构母核见图 1。从珍珠菜属植物中分离得到的黄酮及黄酮苷类成分见表 1。

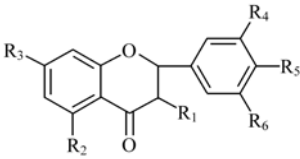


图 1 黄酮母核
Fig 1 Mother nucleus of flavonoids

表 1 珍珠菜属植物的黄酮类成分

Tab 1 Flavonoids from the genus *Lysimachia*

化合物名称	结构式						植物来源
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	
芦丁 ^[11-12]	芦丁糖苷	OH	OH	OH	OH	H	5, 12
异槲皮素 ^[11]	葡萄糖苷	OH	OH	OH	OH	H	5
山柰酚-3-O-芦丁糖苷 ^[11]	芦丁糖苷	OH	OH	H	OH	H	5
异鼠李素-3-O-芦丁糖苷 ^[11]	芦丁糖苷	OH	OH	OMe	OH	H	5
樱桃苷 ^[11]							5
槲皮素 ^[8-9, 13-15]	OH	OH	OH	OH	OH	H	2, 5, 6, 10, 12
杨梅素 ^[13]	OH	OH	OH	OH	OH	OH	6
杨梅苷 ^[13]	鼠李糖苷	OH	OH	OH	OH	OH	6
槲皮素 3-O- α -L-吡喃鼠李糖基	O- α -L-吡喃鼠李糖基(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-	OH	OH	OH	OH	H	11
(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-吡喃木糖苷 ^[16]	吡喃木糖苷						
儿茶素 ^[16]	OH	OH	OH	OH	OH	H	11
表儿茶素 ^[16]	OH	OH	OH	OH	OH	H	11
3',4',5,5',7-五羟基黄酮 ^[14]	H	OH	OH	OH	OH	OH	2
槲皮素-3-O- β -D-吡喃葡萄糖苷 ^[14]	O- β -D-吡喃葡萄糖苷	OH	OH	OH	OH	H	2
山柰酚 ^[8-9, 14]	OH	OH	OH	H	OH	H	2, 5, 12
5-甲基山柰酚 ^[9]	OH	OMe	OH	H	OH	H	12
山柰酚-3,7-O- α -L-二鼠李糖苷 ^[9]	鼠李糖苷	OH	鼠李糖苷	H	OH	H	12
山柰酚-3-O- β -D-葡萄糖苷 ^[8-9, 12, 17]	葡萄糖苷	OH	OH	H	OH	H	3, 5, 12
木犀草素 ^[10, 12]	H	OH	OH	OH	OH	H	12
木犀草素-4'-O- β -D-葡萄糖苷 ^[12]	H	OH	OH	OH	葡萄糖苷	H	12
刺槐素-7-O- β -D-葡萄糖苷 ^[12]	H	OH	葡萄糖苷	H	OMe		12
刺槐素 ^[12]	H	OH	OH	H	OMe	H	12
槲皮素-3-O- β -D-葡萄糖苷 ^[8, 12]	葡萄糖苷	OH	OH	OH	OH	H	5, 12
异鼠李素-3-O- β -D-葡萄糖苷 ^[12]	葡萄糖苷	OH	OH	OMe	OH	H	12
山柰酚-3-O-芸香糖苷 ^[10]	芸香糖苷	OH	OH	H	OH	H	5
槲皮素-3-O-(6"-O-反式香豆酰基)- β -D-葡萄糖苷 ^[10]	O-(6"-O-反式香豆酰基)- β -D-葡萄糖苷	OH	OH	OH	OH	H	5
山柰酚-7-O-葡萄糖苷 ^[10]	OH	OH	葡萄糖苷	H	OH	H	5
异鼠李素-3-O-芸香糖苷 ^[10]	芸香糖苷	OH	OH	OMe	OH	H	5
蒙花苷 ^[10]	H	OH	O- α -L-鼠李糖-(1 $\rightarrow$ 6)- β -D-葡萄糖苷	H	OMe	H	5
山柰酚-3-O- β -D-半乳糖苷 ^[8]	半乳糖苷	OH	OH	H	OH	H	5
异鼠李素 ^[8]	OH	OH	OH	OMe	OH	H	5
山柰酚-3-O- β -D-(6"-p-香豆酰基)-吡喃葡萄糖苷 ^[8]	O- β -D-(6"-p-香豆酰基)-吡喃葡萄糖苷	OH	OH	H	OH	H	5
槲皮素-3'-甲氧基-3-O- β -D-半乳糖苷 ^[8]	半乳糖苷	OH	OH	OMe	OH	H	5
槲皮素-3-O- β -D-(6"-p-香豆酰基)-半乳糖苷 ^[8]	O- β -D-(6"-p-香豆酰基)-半乳糖苷	OH	OH	OH	OH	H	5

化合物名称	结构式						植物来源
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	
槲皮素-3- <i>O</i> -(2,6-二- α -L-吡喃鼠李糖基)- β -D-吡喃半乳糖苷 ^[18]	<i>O</i> -(2,6-二- α -L-吡喃鼠李糖基)- β -D-吡喃半乳糖苷	OH	OH	OH	OH	H	2
Capilliposide I ^[18]	[β -D-葡萄糖基(1 $\rightarrow$ 3)-(4-香豆酰基)- α -L-鼠李糖基(1 $\rightarrow$ 6)]-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-半乳糖苷	OH	OH	H	OH	H	2
Capilliposide II ^[18]	β -D-葡萄糖基(1 $\rightarrow$ 3)-(4-香豆酰基)- α -L-鼠李糖基(1 $\rightarrow$ 6)]-[α -L-鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)]- β -D-半乳糖苷	OH	OH	OH	OH	H	2
异鼠李素-3- <i>O</i> - β -D-吡喃半乳糖苷 ^[19]	<i>O</i> - β -D-吡喃半乳糖苷	OH	OH	OMe	OH	H	13
异鼠李素-3- <i>O</i> -刺槐二糖甙 ^[19]	<i>O</i> -刺槐二糖甙	OH	OH	OMe	OH	H	13
山奈酚-3- <i>O</i> - β -D-吡喃葡萄糖基-(2-1)- α -L-吡喃鼠李糖苷 ^[17]	<i>O</i> - β -D-吡喃葡萄糖基-(2-1)- α -L-吡喃鼠李糖苷	OH	OH	H	OH	H	3
山奈酚-3- <i>O</i> - α -L-吡喃鼠李糖苷 ^[17]	<i>O</i> - α -L-吡喃鼠李糖苷	OH	OH	H	OH	H	3

1.2 三萜类成分

近年在珍珠菜属植物中发现了多种三萜皂苷类成分,其皂苷元多为齐墩果烷型(又分为 I 型和 II 型,结构母核见图 2),它们的结构和分布见表 2。除表 2 结构外还有取代方式较为特殊的结构,如从细梗香草中分离得到的 Capilliposide L^[26]为 II 型结构,苷元的 15, 16 位形成氧环,其余取代与 Capilliposide K 相同;苷元较为特殊的结构,如从聚花过路黄中分离得到的蒲公英赛醇^[13],化学结构见图 3。

此外,还从珍珠菜中得到几个对香豆酰化的三

萜酸,如马斯里酸-3-*O*-对香豆酸酯、羟基乌苏酸-3-*O*-对香豆酸酯、菱陵菜酸-3-*O*-对香豆酸酯^[40],化学结构见图 3。珍珠菜属植物三萜类化合物取代基(1~3)及相关苷元结构见图 4。

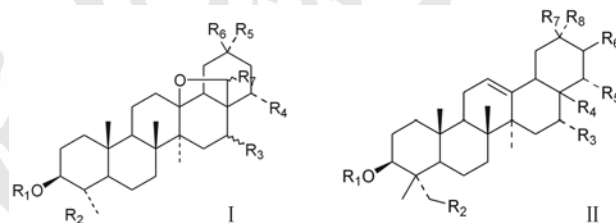


图 2 三萜类的 2 种母核

Fig 2 Mother nucleus structure of triterpenes

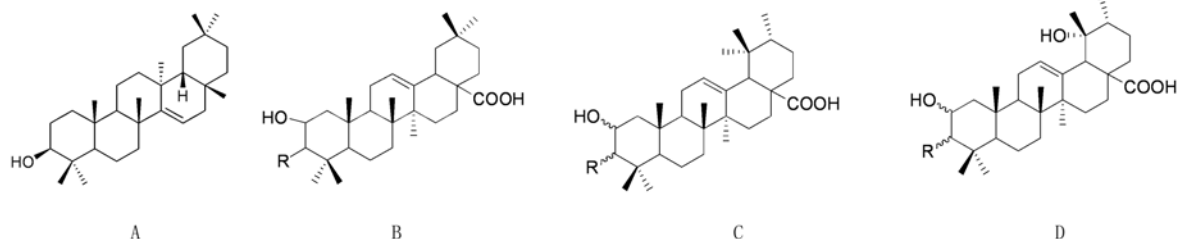


图 3 几种特殊结构化合物

A-蒲公英赛醇; B-马斯里酸-3-*O*-对香豆酸酯; C-羟基乌苏酸-3-*O*-对香豆酸酯; D-菱陵菜酸-3-*O*-对香豆酸酯; R=对-香豆酰氧基

Fig 3 Some compounds with special structure

A-taraxerol; B-3-*O*-*p*-coumaroyl maslinic acid; C-3-*O*-*p*-coumaroyl-hydroxyursolic acid; D-3-*O*-*p*-coumaroyl tormentic acid; R=*p*-coumaroyloxy

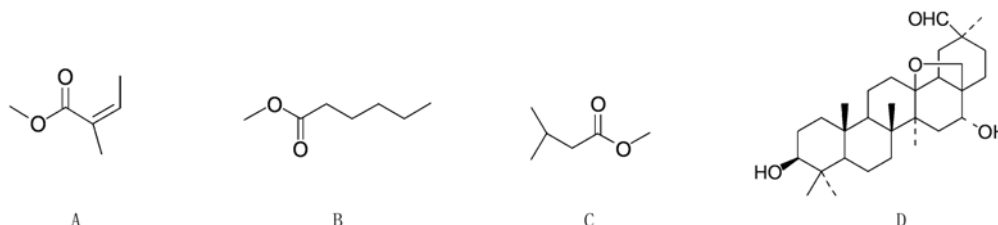


图 4 珍珠菜属植物三萜类化合物取代基(1~3)及相关苷元结构

A-当归酰氧基; B-乙酰氧基; C-异戊酰氧基; D-仙客来苷元 A

Fig 4 The substituents(1~3) and related aglycone from the plants of genus *Lysimachia*

A-angeloyloxy(angellate); B-caproyloxy; C-isovaleroyloxy; D-cyclamiretin A

表 2 珍珠菜属植物的三萜类成分

Tab 2 Triterpenes from the genus *Lysimachia*

化合物名称	植物来源	母核类型	取代基							
			R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
单条草昔甲 ^[20]	1	II	Glc-	RibO	OH	CHO	H	H	CH ₃	CH ₃
Capilliposide A ^[21]	2	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	α -OH, β -H	OH	CH ₃	CH ₃	α -OH, β -H	
Capilliposide B ^[21]	2	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	α -OH, β -H	caproyloxy	CH ₃	CH ₃	α -OH, β -H	/
Capilliposide C ^[22]	2	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	α -OH, β -H	isovaleroyloxy	CH ₃	CH ₃	α -OH, β -H	
Capilliposide D ^[22-23]	2	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	α -OH, β -H	Glc-O-	CH ₃	CH ₃	α -OH, β -H	
Capilliposide E ^[24]	2	I	Glc-(1→2)-Ara-	CH ₃	α -OAc, β -H	Glc-O-	CH ₃	CH ₃	O	/
Capilliposide F ^[24]	2	I	Glc-(1→2)-Glc-(1→4)-Ara-	CH ₃	α -OAc, β -H	Glc-O-	CH ₃	CH ₃	O	/
Capilliposide G ^[25]	2	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	α -OAc, β -H	Glc-O-	CH ₃	CH ₃	O	/
Capilliposide H ^[25]	2	I	Rha-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	α -OAc, β -H	Glc-O-	CH ₃	CH ₃	O	/
Capilliposide K ^[26]	2	II	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	Glc-O-	H	CH ₃	CH ₃
单条草昔 ^[23]	2	II	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₃	CH ₃
lysichriside A ^[27]	3	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[6-acetyl-Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/
lysichriside B ^[27]	3	II	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	OH	OH	CH ₃	CH ₃
Primulanin ^[27]	3	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/
Lysikokianoside I ^[27]	3	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CH ₃	H	/
ardisiacrispin A ^[27]	3	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/
ardisicrenoside B ^[27]	3	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CH ₂ OH	H	/
anagallisin C ^[27]	3	I	Xyl-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	CH ₂ OH	OH	H	CH ₃	CH ₃	H	/
3 β ,16 α -二羟基-13,28-环氧-齐墩果烷-3- <i>O</i> -(α -L-鼠李糖基-(1→2)- <i>O</i> - β -D-葡萄糖)-(1→4)-[β -D-葡萄糖-(1→2)]- α -L-阿拉伯糖基 ^[14]	5	I	Rha-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	H	OH	H	CH ₃	CH ₃	H	/
红毛紫钟昔 E ^[14]	5	I	Rha-(1→2)-Glc-(1→4)-[Glc-(1→2)]-Ara-	H	OH	H	CH ₂ OH	CH ₃	H	/
Davuricoside E ^[28]	7	I	Glc-(1→2)-Glc A-	CH ₃	α -OH, β -H	H	CH ₂ OH	CH ₃	H	/
Davuricoside H ^[29]	7	II	Glc-(1→2)-[Glc-(1→4)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	H	H	COOH	CH ₃
Davuricoside I ^[28]	7	II	Glc-(1→2)-Glc A-	H	OH	CH ₂ OH	CH ₃	CH ₃	CH ₃	CH ₂ OH
Davuricoside K ^[29]	7	II	Glc-(1→2)-[Glc-(1→4)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	H	H	COO-Glc	CH ₃
Davuricoside L ^[30]	7	II	Glc-(1→2)-[Glc-(1→4)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₂ O-Glc	CH ₃
Davuricoside O ^[30]	7	II	Glc-(1→2)-Glc A-	H	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₂ O-Glc	CH ₃
3- <i>O</i> - β -D-葡萄糖基-(1→2)-[β -D-葡萄糖基(1→4)]- α -L-吡喃阿拉伯糖基-13,28-环氧-3 β -羟基-16-齐墩果酮 ^[31]	7	I	Glc-(1→2)-[Glc-(1→4)]-Ara-	CH ₃	α -OAc, β -H	H	CH ₃	CH ₃	H	/

续表

化合物名称	植物来源	母核类型	取代基							
			R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
3- <i>O</i> - β -D-葡萄糖醛酸-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-吡喃木糖基-cyclamiretin A ^[31]	7	I	Glc A-(1 $\rightarrow$ 2)-Xyl-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/
3- <i>O</i> - β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- α -L-吡喃阿拉伯糖基-cyclamiretin A ^[31]	7	I	Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/
3- <i>O</i> -{ β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- α -L-吡喃阿拉伯糖基}-3 β ,28-二羟基齐墩果-12-烯-30-酸- <i>O</i> -[β -D-吡喃木糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-葡萄糖基]-酯 ^[32]	7	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	H	H	CH ₂ OH	H	H	COO-Glc-(2 $\rightarrow$ 1)-Xyl	CH ₃
3- <i>O</i> -{ β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 2)-[β -D-葡萄糖基-(1 $\rightarrow$ 4)]- α -L-吡喃阿拉伯糖基}-3 β ,28-二羟基齐墩果-12-烯-30-酸- <i>O</i> - β -D-葡萄糖基-酯 ^[32]	7	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	H	H	CH ₂ OH	H	H	COO-Glc	CH ₃
3 β ,16- β -12-齐墩果烯-3,16,23,28-呋喃 ^[33]	8	II	H	OH	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₃	CH ₃
Heterogenosides A ^[33]	8	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-Ara-	OH	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₃	CH ₃
Heterogenosides B ^[33]	8	II	Xyl-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-Ara-	OH	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₃	CH ₃
Heterogenosides C ^[33]	8	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 2)]-Ara-	OH	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₃	CH ₃
Heterogenosides D ^[33]	8	II	Xyl-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 2)]-Ara-	OH	OH	CH ₂ OH	H	H	CH ₃	CH ₃
Foenumosides A ^[34]	9	II	Rha-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	angelate	angelate	CH ₃	CH ₃
Foenumosides B ^[34]	9	II	Rha-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OAc	OH	angelate	CH ₃	CH ₃
Foenumosides C ^[34]	9	II	Rha-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	H	OAc	CH ₂ OH	OH	angelate	CH ₃	CH ₃
Foenumosides D ^[34]	9	II	Rha-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	H	OH	CH ₂ OH	angelate	H	CH ₃	CH ₃
Foenumosides E ^[34]	9	II	Rha-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	H	OH	CH ₂ O-Glc	angelate	angelate	CH ₃	CH ₃
lysimachiagenoside A ^[35]	9	II	Rha-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	CH ₃	OH	CH ₂ OH	OH	OH	CH ₃	CH ₃
21- <i>O</i> -angeloylbarringtonenol C ^[35]	9	II	OH	CH ₃	OH	CH ₂ OH	OH	angelate	CH ₃	CH ₃
lysimachiagenoside C ^[36]	9	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	CH ₃	OAc	CH ₂ -angelate	Glc	H	CH ₃	CH ₃
lysimachiagenoside D ^[36]	9	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	CH ₃	OAc	CH ₂ -angelate	H	Glc	CH ₃	CH ₃
lysimachiagenoside E ^[37]	9	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 6)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	CH ₃	OAc	CH ₂ OH	Glc	H	CH ₃	CH ₃
lysimachiagenoside F ^[37]	9	II	Glc-(1 $\rightarrow$ 6)-Glc-(1 $\rightarrow$ 2)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 4)]-Ara-	CH ₃	OAc	CH ₂ OH	6-acetyl-Glc	H	CH ₃	CH ₃
Ardicrenin ^[38]	13	I	Rha-(1 $\rightarrow$ 4)-Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 2)]-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/
Ardisiacrispin A ^[38]	13	I	Xyl-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 2)]-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/
LTS-4 ^[39]	16	I	Xyl-(1 $\rightarrow$ 2)-Glc-(1 $\rightarrow$ 4)-[Glc-(1 $\rightarrow$ 2)]-Ara-	CH ₃	OH	H	CH ₃	CHO	H	/

1.3 挥发油

部分珍珠菜属植物为民间常用的香料^[1], 含有较多的挥发油。如灵香草又名熏衣草、香草, 其挥发油成分主要为酚类化合物、内酯类、醛酮类、含氮化合物, 如 3,5-二甲基苯酚、色原酮、3,5-二甲基-1,2-环戊二酮、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪等^[41-42]。石磊等^[43]采用顶空固相微萃取-气质联用法从露珠珍珠菜的挥发性成分中鉴定了棕榈酸、6,10,14-三甲基-2-十五烷酮和(Z,Z)-9,12-十八碳二烯酸。刘广军等^[44]从腺药珍珠菜中鉴定了 56 个挥发性成分, 主要有亚麻油酸乙酯、异佛尔酮衍生物、环氧化红没药烯等。

1.4 其它类成分

珍珠菜属植物中还含有苯醌类成分, 如黄排草中的恩贝酸^[45], 大叶过路黄中的 *fordianaquinone* A 和 *fordianaquinone* B^[46-47], 结构见图 5。

从本属植物中还分离得到了一些内酯类成分, 如从大叶过路黄中分离出苯基二内酯类化合

物 *fordianin* A 和 *fordianin* B^[46], 从细梗香草中分离出香草内酯(全顺式-5-脱氧戊糖酸- γ -内酯)^[11]。

此外, 还从本属植物中分离得到一些木质素类成分, 如珍珠菜中的(+)-*isolariciresinol*-9'- β -*D*-glucopyranoside 和 *urolignoside*^[48]; 狭叶落地梅中的华中冬青素(*huazhongilexin*)^[49-50]。从珍珠菜属植物中分离得到的甾醇类化合物有豆甾醇^[16,19], β -谷甾醇^[12, 50]等。

珍珠菜属植物还含有生物碱, 如从巴东过路黄中分离出吡啶生物碱 *patungensine*[(17R, E)-2-hydroxy-4,6-dimethoxy-17-acetoxy-cyclopentadeca-1,3-diene[1,2-b]pyridin]^[19]。另外还有人从大叶过路黄中分离出聚取代苯甲醛类化合物 2-庚基-3,6-二羟基-4-甲氧基苯甲醛(*fordianol*)^[14]。

珍珠菜属植物中也含有多多种有机酸, 如正十六烷酸^[12,17]、原儿茶酸^[17]、对羟基苯甲酸^[17]、3-羟基-4-甲氧基苯甲酸^[49]、琥珀酸^[11]、二十八烷酸、棕榈酸^[19]等。

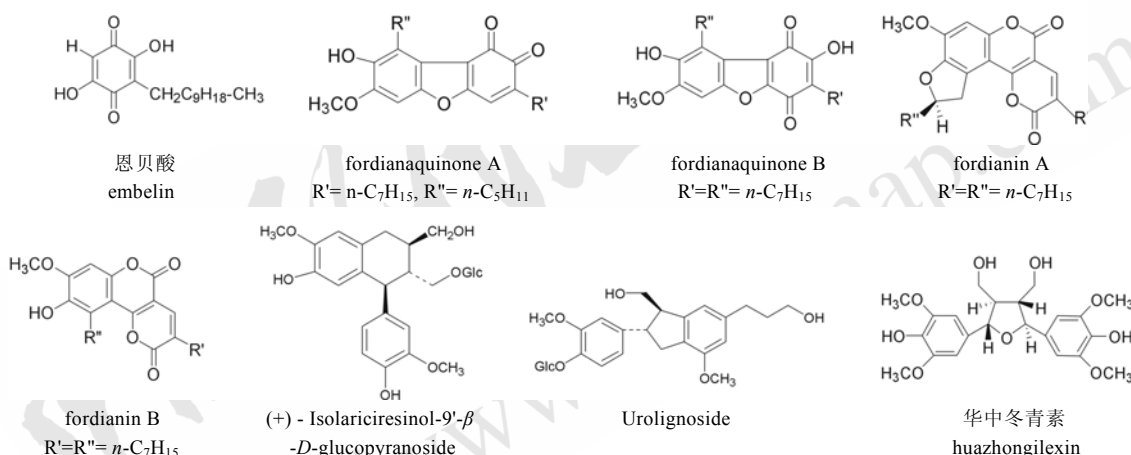


图 5 珍珠菜属植物中的其它成分结构

Fig 5 Chemical structures of other compounds of *Lysimachia*

2 药理作用及生物活性

多种珍珠菜属植物在民间作药用, 具有活血化瘀、消肿止痛、驱风散寒、清热解毒、化痰止咳等功效。郭宝林等^[6]对本属植物的药用种类及民间疗效作了总结。以下仅综述了近年对该属植物的现代药理学研究结果。

2.1 抗肿瘤作用

珍珠菜属中分离得到的多种三萜类成分具有细胞毒性。如 *Capilliposide* B 和 *Capilliposide* C 对卵巢癌肿瘤株 A-2780 具有抑制作用^[21-22]; *Heterogenosides* A、B、C 和 D 具有抑制肺癌细胞株 A549 的活性^[30]; *ardicrenin* 对人脑胶质瘤

(SWO-38)、口腔上皮癌(KB)、人乳腺癌(MCF-7)和人宫颈癌(Hela)细胞的半数毒性浓度(TC₅₀)分别为 3.16, 3.16, 2.97 和 2.42 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, *Ardisiacrispin* A 对上述细胞的 TC₅₀ 分别为 3.96, 3.01, 1.98 和 2.73 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[31]; *Foenumosides* A、B、C 和 D 有较强的抗鼠和人的多核型白细胞的细胞毒性^[33]; 从球尾花(*L. thyrsiflora*)中分离得到的三萜皂苷 LTS-4 可抑制人黑素瘤 HTB-140 细胞及纤维母细胞(HSFs)的生存发育、增殖扩散能力, 且其作用呈时间和剂量依赖^[39]。

珍珠菜的黄酮也表现出抑癌作用。如其黄酮提取物 ZE4 可诱导人肝癌细胞株 SMMC27721 发

生凋亡,具有良好的抗肿瘤效果^[51]。还有报道 ZE4 可诱导癌细胞凋亡而显著抑制慢性髓系白血病 K562 细胞的生长^[52]。ZE4 还可抑制人宫颈癌细胞的增殖和迁移,并可诱导细胞发生凋亡^[53]。

此外,恩贝酸具有显著的体外抗黑色素瘤 B16 细胞和肉瘤 XC 细胞的细胞毒性,半数有效浓度分别是 $13 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $8 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ^[45]。fordianaquinone A、B 以及 fordianin A 皆具有对人肺癌细胞株 A549 的抑制作用^[46]; fordianaquinone B 可强烈抑制 DNA 拓扑异构酶 I 的生物活性^[47],具有潜在的抗癌活性。

2.2 对血管性疾病的作用

珍珠菜的水-乙醇提取物(LCE)可引起内皮细胞依赖性血管舒张,并且可通过抑制 NADPH 氧化酶的活性减弱主动脉的氧化应激反应^[54]。此外珍珠菜的乙醇提取物还可抑制胶原蛋白、ADP 诱发的血小板聚集,并有效降低血栓栓塞小鼠的死亡率^[55]。

2.3 抑菌杀虫活性

灵香草的甲醇提取物具有很强的杀植物体内真菌的活性,如小麦白粉病菌、小麦叶锈病菌,并且在 $0.5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度下具很强的杀稻瘟病菌的活性^[56]。fordianaquinone A、B 和 fordianin A、B 都具有抗真菌的活性^[47]。

多枝香草(*L. ramosa*) 的乙醇提取物有体外抗寄生虫作用,如寄生蠕虫、姜片虫、猪蛔虫等,可引起它们表面形态发生变化,但驱虫机理还不明确^[57]。

2.4 抗氧化活性

灵香草具有清除自由基抗氧化的活性,其活性大小与所含的总酚和总黄酮的含量一致^[58]。Foenumosides E 可抑制环氧化酶-1(COX-1)和 12-脂氧合酶(12-LOX)的活性^[33],从而显示抗氧化作用。

金钱草也具有清除自由基的活性,其乙酸乙酯提取物对 DPPH 自由基、过氧自由基以及羟基自由基均有清除作用,清除能力大于人工合成的抗氧化剂二丁基羟基甲苯(BHT)。有人推测金钱草清除自由基的主要成分为槲皮素、槲皮素-3-O-葡萄糖苷和山奈酚-3-O-葡萄糖苷^[58-59]。

珍珠菜的甲醇提取物也表现出较强的抗氧化能力^[60]。

此外,聚花过路黄对原代大鼠糖-氧剥夺诱导下的脑微血管内皮细胞损伤具有保护作用,其机制可能与其抑制 NF- κ B p65 的活化及其下游炎症反应相关靶基因——细胞间黏附分子-1(ICAM-1)

基因的异常表达有关^[61]。

3 小结

综上所述,目前对珍珠菜属植物的化学成分研究已有较厚实的基础,迄今已从中分离鉴定了 40 多种黄酮类化合物、50 多种三萜类化合物,还鉴定了多种挥发油成分、苯醌、内酯、生物碱、木质素、有机酸等成分。虽然学界已对珍珠菜属植物及其提取物、成分开展了广泛的药理学研究,如抗癌、抗菌、抗氧化等试验,但本属药用植物的药理活性物质基础尚未可知,对它们的作用机制的研究就更是空白,即便像金钱草这样的临床常用的特效排石化石药材,对其药理活性成分及其作用机制也知之甚少,故对该属植物开发利用的技术水平都还很低。所以,今后对珍珠菜属植物的研究,仍将主要集中在基础研究上,包括采用活性导向分离法研究其药理活性成分,再对活性成分的作用机制进行深入研究;尤其是对金钱草,这是我国传统医药中的一味特效药,更应该加强投入的技术力量进行系统的研究。当然,要采用活性导向分离法研究金钱草的药理活性成分,首先还需建立胆结石、肾结石动物模型。所以,对珍珠菜属植物的研究需要各领域的药物学家、化学家、生物学家全方位的合作,方可取得最后的成功。

REFERENCES

- [1] Compilation Committee of China Plants of Chinese Academy of Sciences. China Plants(中国植物志) [M]. Vol 59. Beijing: Science Press, 1989: 4.
- [2] SHAO J W, ZHANG X P, GUO X H. A new species of *Lysimachia* in Primulaceae [J]. Bulletin of Botanical Research(植物研究), 2004, 24(4): 389-391.
- [3] SHAO J W, ZHANG X P, GUO X H. *Lysimachia dextrorsiflora* X. P. Zhang, X. H. Guo & J. W. Shao, a new species of Primulaceae from China [J]. Acta Phytotaxon Sin(植物分类学报), 2006, 44(5): 589-594.
- [4] ZHANG M D, SHUI Y M, CHEN W H, WEI Z D. *Lysimachia gesnerioides* (Myrsinaceae), a new species from China and Vietnam [J]. Ann Bot Fenn, 2006, 43(4): 317-319.
- [5] KÄLLERSJÖ M, BERGQVIST G, ANDERBERG A A. Generic realignment in primuloid families of the Ericales s.l.: a phylogenetic analysis based on DNA sequences from three chloroplast genes and morphology [J]. Am J Bot, 2000, 87(9): 1325-41.
- [6] GUO B L, XIAO P G, YANG S L. The medicinal species and research condition of *Lysimachia* in China [J]. World Phytomedicines(国外医药 植物药分册), 1995, 10(4): 159-162.
- [7] Ch.P(2010)Vol I (中国药典 2010 年版. 一部) [S]. 2010: 204.
- [8] DING L F, GUO Y D, WU X D, et al. Chemical constituents

- of flavonoids in *Lysimachia clethroides* [J]. Chin Tradit Pat Med(中成药), 2010, 32(5): 827-831.
- [9] LI S H, XIANG Q L. Studies on the chemical constituents of *Lysimachia paridiformis* var. *stenophylla* [J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2010, 41(6): 881-883.
 - [10] ZOU H Y, TU P F. Studies on chemical constituents of *Lysimachia clethroides* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2009, 40(5): 704-708.
 - [11] JIANG Y, LI P, LI S P, et al. Optimization of pressurized liquid extraction of five major flavanoids from *Lysimachia clethroides* [J]. J Pharmaceut Biomed, 2007, 43(1): 341-345.
 - [12] ZHANG Y H, HE L, GUAN H Y, et al. Flavonoids of *Lysimachia paridiformis* var. *stenophylla* [J]. China J Chin Mat Med(中国中药杂志), 2010, 35(14): 1824-1826.
 - [13] WANG D Y, LIU E G, FENG Y J. Study on the chemical constituents of *Lysimachia congestiflora* [J]. Subtrop Plant Sci(亚热带植物科学), 2007, 36(2): 19-21.
 - [14] XIE C, XU L Z, ZHAO B H, et al. Studies on the chemical constituents of Hairstalk Loosestrife(*Lysimachia capillipes*) [J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2000, 31(2): 81-83.
 - [15] HUANG X A, YANG R Z, DENG W D. A new poly-substituted benzaldehyde from the leaves of *Lysimachia fordiana* Oliv [J]. Molecules, 2007, 12(2): 43-48.
 - [16] REN F X, ZHANG A J, ZHAO Y M. Studies on chemical constituents of *Lysimachia pardiformis* Franch. [J]. Chin Pharm J(中国药学杂志), 2009, 44(5): 334-336.
 - [17] WEI Y, XIE Q Q, ITO Y C. Preparative isolation of kaempferol pyranosides from a traditional Chinese herb using high speed countercurrent chromatography [J]. J Liq Chromatogr R T, 2008, 31(3): 443-451.
 - [18] XIE C, XU L Z, LUO X Z, et al. Flavonol glycosides from *Lysimachia capillipes* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2002, 4(1): 17-23.
 - [19] HUANG X A, HA C Y, YANG R Z, et al. A new alkaloid from *Lysimachia patungensis* [J]. Chem Nat Compd, 2007, 43(2): 170-172.
 - [20] ZHANG X R, PENG S L, WANG M K, et al. A new triterpenoid saponin from *Lysimachia candida* [J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2002, 33(6): 481-483.
 - [21] TIAN J K, XU L Z, ZOU Z M, et al. Three novel triterpenoid saponins from *Lysimachia capillipes* and their cytotoxic activities [J]. Chem Pharm Bull, 2006, 54(4): 567-569.
 - [22] TIAN J K, XIE C, ZOU Z M, et al. Two novel saponins from *Lysimachia capillipes* [J]. Chin Chem Lett(中国化学快报), 2005, 16(12): 1607-1610.
 - [23] TIAN J K, XU L Z, ZOU Z M, et al. New antitumor triterpene saponin from *Lysimachia capillipes* [J]. Chem Nat Compd, 2006, 42(3): 328-331.
 - [24] TIAN J K, ZOU Z M, XU L Z, et al. Two new saponins from *Lysimachia capillipes* Hemsl [J]. J Integr Plant Biol, 2005, 47(10): 1271-1275.
 - [25] TIAN J K, XU L Z, ZOU Z M, et al. Two new triterpene saponins from *Lysimachia capillipes* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2006, 8(5): 439-444.
 - [26] LIANG B, ZHANG L, TIAN J K, et al. Isolation and characterization of two new saponins from *Lysimachia capillipes* [J]. Carbohydr Res, 2006, 341(14): 2444-2448.
 - [27] TIAN L J, YANG N Y, CHEN W Q. Triterpene saponins from *Lysimachia christinae* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2008, 10(3): 265-270.
 - [28] TIAN J K, ZOU Z M, XU L Z, et al. New cytotoxic saponins from *Lysimachia davurica* Ledeb [J]. J Integr Plant Biol, 2006, 48(2): 232-235.
 - [29] TIAN J K, ZOU Z M, XU L Z, et al. Isolation and characterization of two new compounds from *Lysimachia davurica* [J]. Chem Res Chin Univ(高等学校化学研究), 2005, 21(5): 549-551.
 - [30] TIAN J K, ZOU Z M, XU L Z, et al. Two new triterpene saponins from *Lysimachia davurica* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2005, 7(4): 601-606.
 - [31] LIANG B, TIAN J K, XU L Z, et al. Triterpenoid saponins from *Lysimachia davurica* [J]. Chem Pharm Bull, 2006, 54(10): 1380-1383.
 - [32] ZHANG L, LI B G, TIAN J K, et al. Two new triterpenoid saponins from *Lysimachia davurica* [J]. Chem Nat Compd, 2007, 43(5): 567-570.
 - [33] HUANG X A, LIANG Y J, CAI X L, et al. Four new cytotoxic oligosaccharidic derivatives of 12-oleanene from *Lysimachia heterogenea* Klatt [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2009, 19(23): 6515-6518.
 - [34] SHEN Y H, WENG Z Y, ZHAO Q S, et al. Five new triterpene glycosides from *Lysimachia foenum-graecum* and evaluation of their effect on the arachidonic acid metabolizing enzyme [J]. Planta Med, 2005, 71(8): 770-775.
 - [35] LI X R, LI Z M, DU S S, et al. Two triterpenes from *Lysimachia foenum-graecum* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2009, 11(2): 128-131.
 - [36] LI X R, LI Z M, LIN R C. Two new triterpenes from *Lysimachia foenum-graecum* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2009, 11(6): 529-533.
 - [37] LI X R, XIN B, WANG G L, et al. Two new triterpenes from *Lysimachia foenum-graecum* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2010, 12(3): 204-208.
 - [38] HUANG X A, HU Y J, DENG W D, et al. Triterpenoid saponins from *Lysimachia patungensis* and their anti-tumor activities *in vitro* [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2007, 15(4): 363-365.
 - [39] GALANTY A, MICHALIK M, SEDEK L, et al. The influence of LTS-4, a saponoside from *Lysimachia thyrsiflora* L., on human skin fibroblasts and human melanoma cells [J]. Cell Mol Biol Lett, 2008, 13(4): 585-598.
 - [40] XU Q M, TANG L H, LI X, et al. Isolation and identification of 3-*O-p*-coumaroyloxyl pentacyclic triterpenoids from *Lysimachia clethroides* Duby [J]. Chin Pharm J(中国药学杂志), 2010, 45(11): 825-828.
 - [41] SHU N, SHEN H. Aroma-impact compounds in *Lysimachia foenum-graecum* extracts [J]. Flavour Frag J, 2009, 24(1): 1-6.
 - [42] HUANG Q, TIAN Y H, LI Z H. Comparative studies of essential oils from *Lysimachia foenum-graecum* hance with different methods [J]. Hubei Agric Sci(湖北农业科学), 2010, 49(4): 944-946.
 - [43] SHI L, JI Z Q, KANG W Y. Analysis of volatile constituents in *Lysimachia circaeoides* by head-space solid micro-extraction, coupled with GC-MS [J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志), 2010, 16(7): 77-79.
 - [44] LIU G J, LIU J Y. Analysis of volatile components from *Lysimachia stenosepala* [J]. J Jining Univ(济宁师范专科学校学报), 2010, 31(3): 21-24.
 - [45] PODOLAK I, GALANTY A, JANECKO Z. Cytotoxic activity of embelin from *Lysimachia punctata* [J]. Fitoterapia, 2005, 76(3/4): 333-335.
 - [46] HUANG X A, YANG R Z, CAI X L, et al. Analysis of new benzo-di-lactones and quinones from *Lysimachia fordiana* Oliv [J]. J Mol Struct, 2007, 830(1-3): 100-105.

- [47] HUANG X A, JIANG H Y, HAO G. Direct HPLC detection of benzodilactones and quinones in glands of *Lysimachia fordiana* [J]. Fitoterapia, 2009, 80(3): 173-176.
- [48] DIN L F, GUO Y D, WU X D, et al. Studies on lignans of *Lysimachia clethroides* Duby by semipreparative RP-HPLC [J]. J Kunming Univ(昆明师范高等专科学校学报), 2009, 31(3): 42-43,52.
- [49] QIU J Y, XU B X, YANG N X, et al. Studies on the chemical constituents of *Lysimachia paridiformis* Franch. var. *stenophylla* Franch [J]. Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药), 2009, 20(10): 2393-2394.
- [50] ZHANG Y H, ZHANG J M, TANG L J, et al. Studies on the chemical constituents of *Lysimachia paridiformis* Franch. var. *stenophylla* Franch [J]. Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药), 2010, 21(3): 584-585.
- [51] TANG L H, WANG W Q, YOU B G, et al. Induction of apoptosis of SMMC-7721 by ZE4 extracted from *Lysimachia clethroides* Duby [J]. Shanghai J Tradit Chin Med(上海中医药杂志), 2010, 44(3): 58-62.
- [52] LIU Y L, TANG L H, LIANG Z Q, et al. Growth inhibitory and apoptosis inducing by effects of total flavonoids from *Lysimachia clethroides* Duby in human chronic myeloid leukemia K562 cells [J]. J Ethnopharmacol, 2010, 131(1): 1-9.
- [53] WANG W Q, TANG L H, LIANG Z Q, et al. Primary studies on the anti-uterine cervix cancer effects of the extract ZE4 from *Lysimachia clethroides* Duby [J]. Chin Pharmacol Bull(中国药理学通报), 2007, 23(7): 925-929.
- [54] LEE J O, CHANG K, KIM C Y, et al. *Lysimachia clethroides* extract promote vascular relaxation via endothelium-dependent mechanism [J]. J Cardiovasc Pharm, 2010, 5(5): 481-488.
- [55] LEE J O, PARK D H, JUNG S H, et al. The antithrombotic activity of ethanol extract of *Lysimachia clethroides* [J]. J Korean Soc Appl Bi, 2010, 53(3): 384-387.
- [56] PARK I K, KIM J, LEE Y S, et al. *In vivo* fungicidal activity of medicinal plant extracts against six phytopathogenic fungi [J]. Int J Pest Manage, 2008, 54(1): 63-68.
- [57] CHALLAM M, ROY B, TANDON V. Effect of *Lysimachia ramosa* (Primulaceae) on helminth parasites: Motility, mortality and scanning electron microscopic observations on surface topography [J]. Vet Parasitol, 2010, 169(1/2): 214-218.
- [58] LI H Y, HAO Z B, WANG X L, et al. Antioxidant activities of extracts and fractions from *Lysimachia foenum-graecum* Hance [J]. Bioresource Technol, 2009, 100(2): 970-974.
- [59] HUANG H L, XU B, DUAN C S. Free radical scavenging activities and principals of *Lysimachia christinae* Hance [J]. Food Sci(食品科学), 2006, 27(10): 183-188.
- [60] LI C F, SONG Y L, LIU Y X, et al. Antioxidant activity of extracts from *Lysimachia clethroides* [J]. Fine Chem(精细化工), 2008, 25(12): 1191-1193.
- [61] FENG X M, HE S Y, FAN H, et al. Impact of *Lysimachia congestiflora* Hemsl on expressions of NF- κ B p65 protein and its downstream target gene ICAM-1 mRNA induced by oxygen-glucose deprivation in rat primary brain microvascular endothelial cells [J]. J Huazhong Univ Sci Technol (Health Sci)(华中科技大学学报 医学版), 2010, 39(1): 73-77.

收稿日期: 2011-01-19