

山黧豆活性成分及其药理活性研究进展*

李荣硕¹, 徐全乐^{2Δ}

1 西北农林科技大学医院内科, 陕西 杨凌 712100; 2 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100

[摘要] 山黧豆(*Lathyrus* spp.)含有生物碱、类黄酮、酚、皂苷等多种生物活性物质,在抗氧化、抗糖尿病、镇痛、解热、心脏保护和神经作用等方面,山黧豆属作物的提取物均表现出一定的药理活性。本研究对山黧豆中具有较为明确作用机制的活性单体化合物三七素和高精氨酸等化学组成成分及其药理作用进行综述,以期为进一步开发利用奠定基础。

[关键词] 山黧豆;三七素;高精氨酸;化学成分;药理作用

[中图分类号] R542 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-9600(2025)04-0099-07

Research Progress in Pharmacological Activity and Active Ingredients of Shanlidou

LI Rongshuo¹, XU Quanle^{2Δ}

1 Internal Medicine Department, Hospital of Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2 College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

Abstract As *Shanlidou* (*Lathyrus* spp.) contains a variety of biologically active substances such as alkaloids, flavonoids, phenols and saponins, the extracts of the herb have shown certain pharmacological activities in terms of antioxidant, antidiabetic, analgesic, antipyretic, cardioprotective and neurotropic effects. The article provides an overview of active monomer compounds dencichine, and chemical composition homoarginine contained in *Shanlidou*, with more clear mechanism of action, and their pharmacological effects, hoping to lay the foundation for further development and use of the herb.

Keywords *Shanlidou*; dencichine; homoarginine; chemical ingredients; pharmacological action

山黧豆(*Lathyrus* spp.)是豆科蝶形花亚科一年生或多年生作物,具有发达的根系和较强的固氮能力,能够耐受贫瘠、干旱、水涝等多种极端条件,表现出良好的环境适应性^[1-2]。在山黧豆属的187个种及亚种中,家山黧豆和扁荚山黧豆是最常见的食饲兼用型品种,在新石器时代早期就已在巴尔干地区被广泛食用^[3]。中国关于山黧豆食用的记载始见于明代初期的《救荒本草》^[4]。

山黧豆属作物不但含有淀粉、蛋白质和氨基酸等多种营养物质,而且含有生物碱、类黄酮、酚、皂苷等多种生物活性物质,具有抗氧化、抗糖尿病、镇痛、解热、心脏保护和神经作用等药理活性^[4-5]。山黧豆油被用于治疗疥疮、湿疹和过敏性疾病,家山黧豆水提取物对Hep癌细胞增殖具有抑制作用,扁荚山黧豆的地上部分用于抗炎,圆叶山黧豆的叶片用于治疗风湿病等^[5-7]。此外,《中华药海》《新华本草纲要》《中华本草》《全国中草药汇编》等均记载了山黧豆属作物主要用于治疗损伤疼痛、风寒、风湿痹病、关节痛等^[8-11],其主要功效为祛风除湿、活血止痛、温中散寒、解表散寒等。本研究综述山黧豆的化学成分及药理活性的研究进展,以期为进一步开发利用

提供一定理论依据。

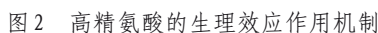
1 化学成分

山黧豆种子主要含有水分、淀粉、蛋白质、粗纤维、灰分、脂肪等^[5,12],且山黧豆中含有蔗糖、固定油、树脂、油树脂、生物碱、碳水化合物、类黄酮、萜烯、酚、单宁、皂苷、维生素C、核黄素、类胡萝卜素、 β -胡萝卜素等多种生物活性物质^[5,12-15]。

1.1 蛋白质和氨基酸 山黧豆种子蛋白含量较高,主要包含白蛋白(14%)、球蛋白(66%)、谷蛋白(15%)和醇溶谷蛋白(5%)^[16]。氨基酸分析表明,山黧豆包含苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸等8种必需氨基酸和天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸等17种蛋白质氨基酸。山黧豆和大部分豆科作物一样,含硫氨基酸含量较低,但赖氨酸含量较高,且富含的赖氨酸可以作为膳食平衡的重要来源^[2]。此外,由于强大的固氮能力及由此引起的活跃的次生代谢,山黧豆种子含有丰富的非蛋白氨基酸及其他次生代谢产物,见图1。 β -N-草酰-L- α , β -二氨基丙酸(β -oxalyl-diaminopropionic acid, β -ODAP)为其中典型代表。



1.3 高精氨酸 一氧化氮(nitrogen monoxide, NO)具有抗氧化、抗炎、心脑血管调节、神经保护、免疫调节等作用,其生成依赖于一氧化氮合成酶(nitric oxide synthase, NOS)^[21]。精氨酸(arginine)是 NOS 的天然底物,但高精氨酸(L-homoarginine, HA)也可以被 NOS 识别并参与反应生成 NO^[22]。HA 是精氨酸酶的弱抑制剂,可减缓精氨酸水解^[23]。通过以上两种方式,高精氨酸可以维持或提高机体内源 NO 水平,见图 2。



1.5 2,4-二氨基丁酸 2,4-二氨基丁酸(2,4-Diaminobutyric Acid,DABA)是环杆菌肽、黏菌素等多种多肽抗菌素的组成成分。DABA的含量在菊科、十字花科等作物中均在0.1%以下,DABA在山黧豆属作物中含量较高,约为干种子的1%。研究表明,DABA可以引起高渗透压,杀死人恶性神经胶质瘤细胞和小鼠纤维瘤细胞,用于脑肿瘤防治^[28]。

1.6 脂肪酸 研究发现,豆科作物的含油量普遍较低,山黧豆油脂含量在2%左右,包含至少20种脂肪酸^[29-31]。其中,饱和脂肪酸如软脂酸占11.6%、硬脂酸占9.1%^[32],多不饱和脂肪酸占56.3%~59.9%^[29-30,33],包括亚油酸和少量油酸、亚麻酸、花生四烯酸等^[30]。

不饱和脂肪酸含量和 $\omega 6/\omega 3$ 比率是植物油脂食用评价的重要指标^[32]。除栽培山黧豆外,山黧豆属其他作物的 $\omega 6/\omega 3$ 比率虽然大都超过了豌豆(4.9)和扁豆(4.8)等^[32],但仍介于联合国粮食及农业组织推荐的5~10之间^[34],且山黧豆油脂具有较低的C14:0+C15:0+C16:0/C18:0比例,相对于扁豆等,更适合人体利用^[32]。因此,山黧豆虽然并非人类油脂膳食来源的优先选择,但由于存在亚麻酸等 $\omega 3$ 脂肪酸,山黧豆仍然具有潜在的降血脂、抗血栓形成、抗炎等作用^[35]。

1.7 皂苷 皂苷是山黧豆的重要活性成分^[15]。

山黧豆皂苷与血脂参数呈负相关,可以抑制饮食诱导的高胆固醇血症小鼠血脂水平^[36]。UDAYAMA等^[37]在欧山黧豆中鉴定了3种新的皂苷喇叭茶甙,并通过丙氨酸氨基转移酶活性检测发现,喇叭茶甙和赤豆皂苷、大豆皂醇B等均具有肝脏保护作用。此外,山黧豆皂苷对黑线炭疽菌和细交链孢也表现出抑制作用^[38]。

1.8 其他 多项研究发现,山黧豆的黄酮含量为36~105 $\mu\text{g}/\text{mg}$,包含山柰酚、芹黄素、异鼠李素、木樨草素、牡荆素等^[15,39]。单宁的含量为0~4.38 g/kg ,总酚含量为39~999 mg/kg 。单宁和总酚水平与种皮色素相关,而山黧豆有色品种也具有更高的单宁含量^[6]。在酚类物质中,山黧豆主要含有香豆酸衍生物^[40]。此外,山黧豆还具有高水平的胰蛋白酶抑制剂和胰凝乳蛋白酶抑制剂^[41],淀粉酶抑制剂、凝集素、植酸和棉子糖等^[42]。

山黧豆部分活性成分详见表1。

表1 山黧豆部分活性成分及药理作用

活性成分		物种来源	药理作用	参考文献
酚类	咖啡酰奎宁酸	<i>L. czeczottianus</i> <i>L. nissolia</i>	抗氧化、抗菌消炎、抗肿瘤、抗病毒、调节血糖、血脂、血压、保肝等	[15,43]
	表儿茶素	<i>L. czeczottianus</i>	抗氧化、降脂、降糖、防止心血管疾病、抗炎、抑菌、提高免疫力等	[15,44]
	咖啡酸衍生物	<i>L. czeczottianus</i>	抗氧化、抑菌、抗肿瘤、保肝等	[15,45]
	迷迭香酸	<i>L. czeczottianus</i>	抗氧化、抗炎、抗癌、抗抑郁等	[15,46]
	原花青素	<i>L. czeczottianus</i>	抗氧化、抗炎、预防糖尿病、防辐射、改善视力、改善动脉等	[15,47]
黄酮	山柰酚及衍生物	<i>L. nissolia</i> , <i>L. aphaca</i>	抗氧化、抗炎、镇痛等	[15,48-49]
	异鼠李素	<i>L. nissolia</i> , <i>L. aphaca</i>	心脑血管保护、抗癌、抗炎、抗氧化等	[15,48,50]
	芹菜素衍生物	<i>L. zeczottianus</i> , <i>L. nissolia</i>	抗肿瘤、神经保护、心肌保护、调节生殖内分泌、抗氧化、降糖、抗炎、心血管疾病防治等	[15,51]
	槲皮素及衍生物	<i>L. zeczottianus</i> , <i>L. aphaca</i> <i>L. nissolia</i>	抗癌、抗氧化、抗炎等	[15,48,52]
	芦丁	<i>L. nissolia</i>	防治高血压脑出血、糖尿病视网膜出血、出血性紫癜,保护神经细胞等	[15,53]
	杨梅黄酮	<i>L. aphaca</i>	抗肿瘤、神经保护、降血糖、拮抗血小板活化因子、保肝等	[48,54]
皂苷	大豆皂苷B	<i>L. zeczottianus</i> , <i>L. nissolia</i>	抗癌、调节免疫功能、防治心血管疾病、抗菌、抗病毒、护肝等	[15,55]
	常春藤皂苷元衍生物	<i>L. czeczottianus</i>	抗肿瘤、抗抑郁、抗菌抗炎、抗糖尿病等	[15,56]
	喇叭茶甙			
	赤豆皂甙	<i>L. palustris</i>	保肝	[37]
	大豆皂醇B单葡萄糖醛酸			
油脂	甾醇			
	胆固醇			
	表胆固醇	<i>L. ratan</i>	缓解便秘	[38,57]
	异燕麦甾醇			
	三萜烯醇			

2 山黧豆药理作用

2.1 抗菌和抗炎活性 黄金山黧豆的乙酸乙酯提取物对大肠杆菌、金黄葡萄球菌、枯草芽孢杆菌等多种病原菌具有较强的抑制作用^[39]。栽培山黧豆、牧地山黧豆等多种山黧豆属作物的提取物对肺炎克雷伯菌、绿脓杆菌、肠炎沙门菌、粪肠球菌等表现出抑菌作用^[58-61]。这种作用可能与提取物中的酚类、皂苷等次生代谢产物相关^[38,62]。

人血红细胞膜的稳定性可以用来检测体外抗炎效应,许多抗炎药物通过提高溶酶体膜的稳定性发挥药效^[63]。研究表明,山黧豆多种溶剂的提取物对温度引起的人红细胞膜裂解均具有缓解作用,且水溶性成分表现最好,其膜稳定效果与阿斯匹灵和双氯芬酸钠相当^[39]。

2.2 止血活性 山黧豆中的主要活性物质三七素可诱导血小板释放二磷酸腺苷、血小板凝血因子Ⅲ等发挥凝血作用^[64],且在外科手术中可用作止血剂^[65]。注射用三七素可明显缩短家兔肝急性损伤性出血、小鼠胃黏膜损伤、大鼠肠系膜动脉出血等多种动物模型的出血时间^[66],且采用不同剂量三七素注射后小鼠未出现染色体畸变、剂量依赖等现象,骨髓中含微核的嗜多染红细胞未见增加,其遗传毒性结果呈阴性^[67]。研究表明,三七素可抑制脯氨酸羟化酶2稳定低氧诱导因子1 α ,进而激活低氧反应元件调控的血管内皮生长因子、血小板源生长因子等基因表达,促进伤口愈合^[68]。

2.3 抗氧化作用 1,1-二苯基苦基苯肼自由基清除活性、硫代巴比妥酸反应物抑制等实验表明^[15,39,69],山黧豆提取物具有显著的自由基清除能力和较强的抗氧化能力^[69],且抗氧化能力较强的山黧豆品种同时具有较高的黄酮^[39]或酚类物质含量^[15]。

2.4 止痛退热作用 BHATTACHARJEE等^[13]通过醋酸扭体法、福尔马林试验与2,4-二硝基苯酚(2,4-Dinitrophenol,DNP)诱导的发热模型分别研究了山黧豆对模型小鼠的镇痛及解热作用,结果发现,200 mg/kg与300 mg/kg的山黧豆甲醇提取物对小鼠醋酸扭体反应和福尔马林诱导的翻滚均有抑制作用。在DNP诱导的小鼠发热模型中,200 mg/kg与300 mg/kg山黧豆的甲醇提取物也显示出与150 mg/kg的阿司匹林有近似的药效^[13]。

2.5 抗糖尿病作用 对高血糖小鼠分别饲喂100、200和400 mg/kg山黧豆甲醇提取物后发现,其血糖水平分别降低了37.7%、44.8%和48.8%,说明山黧豆具有显著的降血糖作用,并呈现一定剂量效应^[70]。

糖尿病肾病(diabetic nephropathy,DN)是糖尿病最重要的并发症之一,其重要的生理病理变化之一为不可逆的肾纤维化。研究表明,三七素可抑制高糖促进的HBZY-1(大鼠肾小球系膜细胞)细胞增殖和胶原分泌,并呈现出剂量效应,且三七素可以改善DN小鼠的脂代谢水平异常,并在降低糖代谢水平的同时增加胰岛素分泌,进而减少蛋白尿和肾损伤等病理性改变^[71]。在肾、肝等纤维化过程中,抑制转化生长因子 β_1 (transforming growth factor- β_1 ,TGF- β_1)/果蝇抗成纤维蛋白(drosophila small mothers against decapentaplegic protein,Smad)信号通路起到重要作用;三七素也可通过抑制TGF- β_1 和Smad2/3(导致肾小球系膜细胞增殖和细胞外基质沉积)、上调Smad 7(内源性TGF- β_1 /Smad信号通路抑制剂)表达,进而抑制TGF- β_1 /Smad信号通路,对DN小鼠具有肾脏保护作用^[71]。

精氨酸是胰腺已知的胰岛素促分泌素,由于胰腺精氨酸酶作用,造成精氨酸较短的半衰期,但高精氨酸对胰腺精氨酸酶不敏感,可作为较好的胰岛素促分泌素^[72]。研究表明,1型糖尿病小鼠肾脏中的高精氨酸含量显著降低,而饲喂高精氨酸则可明显减弱1型糖尿病对小鼠肾小球细胞和系膜扩张的影响,并降低尿蛋白水平^[73]。

2.6 心脏保护作用 在异丙肾上腺素(isoproterenol,ISP)诱导的心肌梗死大鼠饲料中分别添加30%、50%和75%的山黧豆粉可以在一定程度上逆转ISP诱发的心肌梗死^[74],这可能是由于山黧豆中酚类物质和HA的补充,促进了心肌梗死大鼠的血管扩张,抑制了血小板聚集并激活其抗氧化潜能^[74]。

孕期血液中的HA含量可达正常3倍以上,并在分娩3个月后恢复正常^[75]。升高的HA参与NO水平调节并引起正常怀孕过程中的血管扩张。由于HA引发的血管扩张作用,因此HA被认为能预防因缺氧引起的肿瘤发展^[76]、有利于心脑血管疾病康复^[23],并建议将低血浆HA水平作为心脏猝死的独立预测因子^[77-78]。

2.7 山黧豆毒性和神经作用 早在古印度和古希腊时期,人们已经发现长期大量食用山黧豆会导致运动系统疾病。之后的研究表明,服用托哌酮可以缓解山黧豆中毒患者的神经性脊柱侧弯,巴氯芬也可以在一定程度上缓解山黧豆中毒^[79],且在营养均衡条件下控制山黧豆的食用量具有安全性^[19]。

神经作用方面,山黧豆甲醇提取物对小鼠中

枢神经系统及运动具有抑制作用。利用浸泡等不同方法降低山黧豆的 β -ODAP含量后进行小鼠的协调性实验表明,浸泡+水煮处理的种子饲喂小鼠后,小鼠表现出更好的肌肉协调活动^[80],但低浓度三七素对于神经细胞的保护作用仍然值得关注^[81-82]。

三七素可以作为神经激活性物质对机体发挥效应^[23]。在鸡脑中,三七素优先激活磷脂酰丝氨酸和 Ca^{2+} 依赖的蛋白激酶C途径,进而活化 α -氨基-3-羟基-5-甲基-4-异恶唑丙酸受体^[83],参与突触后膜动态表达与长时程增强的诱发和维持,调节学习、记忆活动。PKC激活剂具有神经保护功能^[84]。研究表明,低浓度的三七素可减轻谷氨酸导致的PC12细胞损伤,并增加细胞活力^[81],说明低剂量三七素对于神经细胞具有一定保护作用,并可用于制备治疗神经性病变药物^[82]。对成神经细胞瘤体外研究表明,三七素PKC途径可能通过激活下游的低氧诱导因子等参与神经系统退行性疾病(阿尔兹海默症)的治疗^[76,85]。

3 小结

山黧豆具有悠久的历史,含有丰富的营养物质和生物活性物质,在营养均衡、限制摄入量的条件下作为功能食品具有安全性。同时,山黧豆提取物在抗氧化、抗糖尿病、镇痛、解热、心脏保护和神经方面都表现出一定药理作用,尤其是其活性单体化合物 β -ODAP和HA等,具有较为明确的作用机制,具有一定的开发潜力和应用价值。

参考文献

- [1] YAN Z Y, SPENCER P S, LI Z X, et al. *Lathyrus sativus* (grass pea) and its neurotoxin ODAP[J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(2): 107-121.
- [2] LAMBEIN F, TRAVELLA S, KUO Y H, et al. Grass pea (*Lathyrus sativus* L.): orphan crop, nutraceutical or just plain food[J]. *Planta*, 2019, 250(3): 821-838.
- [3] KISLEV M E. Origins of the cultivation of *Lathyrus sativus* and *L. cicera* (Fabaceae)[J]. *Econ Bot*, 1989, 43(2): 262-270.
- [4] 徐全乐, 蒋景龙, 焦成瑾, 等. 山黧豆160年研究历程及进展[J]. *西北植物学报*, 2021, 41(9): 1583-1604.
- [5] AL-SNAFI A E. Chemical constituents and pharmacological effects of *Lathyrus Sativus*-A Review[J]. *IOSR J Pharm*, 2019, 9(6): 51-58.
- [6] SPANOU C, STAGOS D, ALIGIANNIS N, et al. Influence of potent antioxidant Leguminosae family plant extracts on growth and antioxidant defense system of Hep2 cancer cell line[J]. *J Med Food*, 2010, 13(1): 149-155.
- [7] ALTUNDAG E, OZTURK M. Ethnomedicinal studies on the plant resources of East Anatolia, Turkey[J]. *Procedia Soc Behav Sci*, 2011, 19: 756-777.
- [8] 冉先德. 中华药海[M]. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 1993: 154.
- [9] 江苏省植物研究所等编著. 新华本草纲要[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1991: 154-155.
- [10] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 538-539.
- [11] 《全国中草药汇编》编写组. 全国中草药汇编[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 1996: 767.
- [12] XU Q, LIU F, CHEN P, et al. β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid (β -ODAP) content in *Lathyrus sativus*: the integration of nitrogen and sulfur metabolism through β -cyanoalanine synthase[J]. *Int J Mol Sci*, 2017, 18(3): 526.
- [13] BHATTACHARJEE S, WAQAR A, BARUA K, et al. Phytochemical and pharmacological evaluation of methanolic extract of *Lathyrus sativus* L. seeds[J]. *Clin Phytosci*, 2018, 4(1): 20.
- [14] LISIEWSKA Z, KORUS A, KMIECIK W. Changes in chemical composition during development of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) seeds[J]. *Nahrung*, 2003, 47(6): 391-396.
- [15] LLORENT-MARTÍNEZ E J, ZENGIN G, FERNÁNDEZ-DE CORDOVA M L, et al. Traditionally used *Lathyrus* species: phytochemical composition, antioxidant activity, enzyme inhibitory properties, cytotoxic effects, and in silico studies of *L. czeczottianus* and *L. nissolia*[J]. *Front Pharmacol*, 2017, 8: 83.
- [16] CHANDNA M, MATTA N K. Studies on changing protein levels in developing and germinating seeds of *Lathyrus sativus* L.[J]. *J Plant Biochem Biotechnol*, 1994, 3(1): 59-61.
- [17] JIAO C J, XU Q L, WANG C Y, et al. Accumulation pattern of toxin β -ODAP during lifespan and effect of nutrient elements on β -ODAP content in *Lathyrus sativus* seedlings[J]. *J Agric Sci*, 2006, 144(4): 369-375.
- [18] 宋瑶瑶, 曾鹏, 蒋景龙, 等. 山黧豆 β -ODAP与硫代谢关系研究进展[J]. *草业科学*, 2020, 37(5): 963-974.
- [19] KUMAR R H, KHANDARE A, LAXMAIAH A, et al. Prolonged consumption of grass pea (64 g/Cu/day) along with millets and other cereals causes no neurotoxicity[J]. *Nutr Neurosci*, 2021, 24(6): 459-466.
- [20] KOH H L, LAU A J, CHAN E C Y. Hydrophilic interaction liquid chromatography with tandem mass spectrometry for the determination of underivatized dencichine (beta-N-oxalyl-L-alpha, beta-diaminopropionic acid) in *Panax* medicinal plant species[J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2005, 19(10): 1237-1244.
- [21] FAN W, LIU Q, ZHU X, et al. Regulatory effects of anesthetics on nitric oxide[J]. *Life Sci*, 2016, 151: 76-85.
- [22] JYOTHI P, PRATAP RUDRA M P, RAO S L N. Sustained nitric oxide generation with L-homoarginine[J]. *Res Commun Biochem Cell Mol Biol*, 1999, 3: 223-232.
- [23] RAO S L N. A look at the brighter facets of β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid, homoarginine

- and the grass pea[J]. Food Chem Toxicol, 2011, 49(3): 620-622.
- [24] NUNN P B, PERERA C, BELL E A, et al. Appearance of the neurotoxin β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid(β -ODAP) and of homoarginine in systemic blood and urine following the consumption of cooked *Lathyrus sativus* by human volunteers[J]. Arch Int Physiol Biochim Biophys, 1994, 102(6): 89.
- [25] LAMBEIN F, KUO Y H, IKEGAMI F, et al. Toxic and non-toxic nonprotein amino acids in the Viciae[M]// LUBEC G, ROSENTHAL G A, eds. Amino Acids. Dordrecht: Springer Netherlands, 1990: 21-28.
- [26] IKEGAMI F, LAMBEIN F, KUO Y H, et al. Isoxazolin-5-one derivatives in *Lathyrus odoratus* during development and growth[J]. Phytochemistry, 1984, 23(8): 1567-1569.
- [27] SCHENK S U, LAMBEIN F, WERNER D. Broad antifungal activity of β -isoxazolinonyl-alanine, a non-protein amino acid from roots of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings[J]. Biol Fertil Soils, 1991, 11(3): 203-209.
- [28] RONQUIST G, WESTERMARK B, HUGOSSON R. Induction of complete and irreversible damage to malignant glioma cells by L-2, 4 diaminobutyric acid[J]. Anti-cancer Res, 1984, 4(4-5): 225-228.
- [29] CHINNASAMY G, BAL A K, MCKENZIE D B. Fatty acid composition of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) seeds[J]. Lathyrus Lathyrism News, 2005, 4: 2-4.
- [30] ENNEKING D. The nutritive value of grasspea (*Lathyrus sativus*) and allied species, their toxicity to animals and the role of malnutrition in neurolathyrism[J]. Food Chem Toxicol, 2011, 49(3): 694-709.
- [31] CHAVAN U D, SHAHIDI F, BAL A K, et al. Physico-chemical properties and nutrient composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) [J]. Food Chem, 1999, 66(1): 43-50.
- [32] PASTOR-CAVADA E, JUAN R, PASTOR J E, et al. Chemical composition and nutritional characteristics of the seed oil of wild *Lathyrus*, *Lens* and *Pisum* species from southern Spain[J]. J Am Oil Chem Soc, 2009, 86(4): 329-335.
- [33] GRELA E R, RYBIŃSKI W, KLEBANIUK R, et al. Morphological characteristics of some accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) grown in Europe and nutritional traits of their seeds[J]. Genet Resour Crop Evol, 2010, 57(5): 693-701.
- [34] FAO/WHO. Preparation and use of food-based dietary guidelines, Report of a joint FAO/WHO consultation[S]. FAO/WHO. World Health Organ Tech Rep Ser, 1998, 880: 1-108.
- [35] WEBER P C, LEAF A. Cardiovascular effects of omega 3 fatty acids. Atherosclerosis risk factor modification by omega 3 fatty acids[J]. World Rev Nutr Diet, 1991, 66: 218-232.
- [36] SHARMA R D. An evaluation of hypocholesterolemic activity of some uncommon legumes[J]. Nutr Res, 1987, 7(4): 351-363.
- [37] UDAYAMA M, OHKAWA M, YOSHIDA N, et al. Structures of three new oleanene glucuronides isolated from *Lathyrus palustris* var. *pilosus* and hepatoprotective activity[J]. Chem Pharm Bull (Tokyo), 1998, 46(9): 1412-1415.
- [38] KHAN N A. Two antifungal active triterpenoid saponins from the seeds of *Lathyrus* plants[J]. Nat Prod Res, 2011, 25(18): 1687-1694.
- [39] HEYDARI H, SALTAN IŞCAN G, ERYILMAZ M, et al. Antimicrobial and anti-inflammatory activity of some *Lathyrus* L. (Fabaceae) species growing in Turkey[J]. Turk J Pharm Sci, 2019, 16(2): 240-245.
- [40] RYBIŃSKI W, KARAMAĆ M, SULEWSKA K, et al. Antioxidant potential of grass pea seeds from European countries[J]. Foods, 2018, 7(9): 142.
- [41] XU Q, QU J, SONG B, et al. *Lathyrus sativus* originating from different geographical regions reveals striking differences in kunitz and Bowman-Birk inhibitor activities[J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(29): 8119-8129.
- [42] DESHPANDE S S, CAMPBELL C G. Genotype variation in BOAA, condensed tannins, phenolics and enzyme inhibitors of grass pea (*Lathyrus sativus*) [J]. Can J Plant Sci, 1992, 72(4): 1037-1047.
- [43] 朱文卿, 任汉书, 徐美霞, 等. 咖啡酰奎宁酸类化合物的生物学活性及提高其生物利用度技术研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 321-329.
- [44] 童观珍, 付晓萍, 杨艳, 等. 表儿茶素的分布及药理活性研究进展[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(2): 343-349.
- [45] 侯晋, 付杰, 张志明, 等. 咖啡酸衍生物的生物活性与化学结构的改造[J]. 复旦学报(医学版), 2011, 38(6): 546-552.
- [46] 初旭, 姜华茂, 魏中强, 等. 迷迭香酸对前列腺癌细胞生物学行为的影响[J]. 沈阳药科大学学报, 2021, 38(1): 59-64.
- [47] RAUF A, IMRAN M, ABU-IZNEID T, et al. Proanthocyanidins: a comprehensive review[J]. Biomed Pharmacother, 2019, 116: 108999.
- [48] MARKHAM K R, HAMMETT K R W. The basis of yellow colouration in *Lathyrus aphaca* flowers[J]. Phytochemistry, 1994, 37(1): 163-165.
- [49] DINIZ T C, SILVA J C, DE LIMA-SARAIVA S R G, et al. The role of flavonoids on oxidative stress in epilepsy[J]. Oxid Med Cell Longev, 2015, 2015: 171756.
- [50] GONG G, GUAN Y Y, ZHANG Z L, et al. Isorhamnetin: a review of pharmacological effects[J]. Biomed Pharmacother, 2020, 128: 110301.
- [51] 邢志华. 芹菜素及其衍生物药理作用研究新进展[J]. 中国药学杂志, 2018, 53(15): 1241-1247.
- [52] 胡玲, 张福田, 张晓谦, 等. 槲皮素衍生物抗癌活性研究新进展[J]. 精细化工中间体, 2020, 50(3): 5-13.
- [53] 张浪, 赖永长, 汪海涛, 等. 芦丁对神经细胞氧化损伤的保护作用[J]. 中药材, 2014, 37(4): 640-644.
- [54] 李瑶, 刘焱, 王振滔, 等. 杨梅黄酮的药理作用研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2017, 38(4): 301-304.

- [55] 孙明明,王萍,李智媛,等.大豆活性成分研究进展[J].大豆科学,2018,37(6):975-983.
- [56] 邢颖,南敏伦,王雪,等.常春藤皂苷元的研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2017,23(22):226-234.
- [57] AMBASTA S P. The useful plants of India[M]. New Delhi: Publications and Information's Directorate, 1986:317-318.
- [58] ARABI Z, SARDARI S. An investigation into the antifungal property of Fabaceae using bioinformatics tools[J]. Avicenna J Med Biotechnol, 2010, 2(2): 93-100.
- [59] ÖZKAN O A, ADIGÜZEL M C, ERDAÇ D, et al. *In Vitro* comparison of the antibacterial activity of extracts from endemic plants species[J]. J Ayu Med Sci, 2014, 4:1608-1614.
- [60] KHAN N A, QUERESHI S, PANDEY A, et al. Antibacterial activity of seed extracts of commercial and wild *Lathyrus* species[J]. Turk J Biol, 2009, 33:165-169.
- [61] MOHAMED S. Anthocyanins and fatty acids from the flowers of *Lathyrus odoratus* L. and their antimicrobial activity[J]. Planta Med, 2009, 75:175.
- [62] COWAN M M. Plant products as antimicrobial agents[J]. Clin Microbiol Rev, 1999, 12(4):564-582.
- [63] ANOSIKE C A, OBIDOA O, EZEANYIKA L U. Membrane stabilization as a mechanism of the anti-inflammatory activity of methanol extract of garden egg (*Solanum aethiopicum*) [J]. Daru, 2012, 20(1):76.
- [64] DONG T T X, CUI X M, SONG Z H, et al. Chemical assessment of roots of *Panax notoginseng* in China: regional and seasonal variations in its active constituents[J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(16):4617-4623.
- [65] LAN G, CHEN P, SUN Q, et al. Methods for treating hemorrhagic conditions. United States Patent: US 8362081 B2[P], 2013-1-29.
- [66] 舒斌,林娜,丁亚军.注射用三七素对动物实验性损伤的止血作用[J].云南中医学院学报,2018,41(3):12-16.
- [67] 侯艳,刘晶,乔红群.注射用三七素的遗传毒性试验研究[J].临床合理用药杂志,2017,10(32):94-95.
- [68] SHARMA D, SINGH P, SINGH S S. β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid induces wound healing by stabilizing HIF-1 α and modulating associated protein expression[J]. Phytomedicine, 2018, 44:9-19.
- [69] HEYDARI H, SALTAN G S, ACIKARA Ö B, et al. Antioxidant Activity of five *Lathyrus* species growing in Turkey[J]. Turk J Pharm Sci, 2015, 12:369-376.
- [70] SULTANA A, RAHMATULLAH M. Antihyperglycemic activity of methanolic extract of non-boiled and boiled *Lathyrus sativus* L seeds[J]. J Chem Pharm Res, 2016, 8(8):874-876.
- [71] LI J, QIU P, WANG S, et al. β -N-Oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid from *Panax notoginseng* plays a major role in the treatment of type 2 diabetic nephropathy[J]. Biomed Pharmacother, 2019, 114:108801.
- [72] HENNINGSSON R, LUNDQUIST I. Arginine-induced insulin release is decreased and glucagon increased in parallel with islet NO production[J]. Am J Physiol, 1998, 275(3):500-506.
- [73] WETZEL M D, GAO T, VENKATACHALAM M, et al. L-Homoarginine supplementation prevents diabetic kidney damage[J]. Physiol Rep, 2019, 7(18):14235.
- [74] KUMAR B K. Cardioprotective potential of *Lathyrus sativus* against experimental myocardial infarction due to isoproterenol in rats [D]. Hyderabad: College of Veterinary Science, Rajendranagar, 2005.
- [75] VALTONEN P, LAITINEN T, LYYRA-LAITINEN T, et al. Serum L-homoarginine concentration is elevated during normal pregnancy and is related to flow-mediated vasodilatation[J]. Circ J, 2008, 72(11):1879-1884.
- [76] KE Q, COSTA M. Hypoxia-inducible factor-1(HIF-1)[J]. Mol Pharmacol, 2006, 70(5):1469-1480.
- [77] DRECHSLER C, MEINITZER A, PILZ S, et al. Homoarginine, heart failure, and sudden cardiac death in haemodialysis patients[J]. Eur J Heart Fail, 2011, 13(8):852-859.
- [78] MÄRZ W, MEINITZER A, DRECHSLER C, et al. Homoarginine, cardiovascular risk, and mortality[J]. Circulation, 2010, 122(10):967-975.
- [79] ABRAHAM N, ABAY S M. Neurolathyrism-an updated review[J]. Pharmacologyonline, 2009, 1:381-388.
- [80] YERRA S, PUTTA S, KILARI E K. Effect of various processing methods of *Lathyrus sativus* seeds collected from different states of India on the muscle coordination activity in Wistar albino rats[J]. Int J Food Sci Nutr, 2015, 4(4):212-218.
- [81] 姜珊.低剂量三七素的神经保护作用研究[D].西安:第四军医大学,2012.
- [82] 赵钢.三七素在制备治疗神经变性病药物中的应用的制备方法:中国,CN201210008092.9[P].2014-12-24.
- [83] SINGH M R, PRATAP RUDRA M P, RAO S L N, et al. *In vitro* activation of protein kinase C by β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid, the *Lathyrus sativus* neurotoxin[J]. Neurochem Res, 2004, 29(7):1343-1348.
- [84] NELSON T J, ALKON D L. Neuroprotective versus tumorigenic protein kinase C activators[J]. Trends Biochem Sci, 2009, 34(3):136-145.
- [85] SINGH S S, RAO S L N. Lessons from neurolathyrism: a disease of the past & the future of *Lathyrus sativus*(Khesari dal)[J]. Indian J Med Res, 2013, 138(1):32-37.

收稿日期:2024-05-10

*基金项目:陕西省自然科学基金(2023-JC-YB-152)。

作者简介:李荣硕(1980—),女,主治医师。研究方向:内科临床基础研究。

△通讯作者:徐全乐(1980—),男,博士学位,博士研究生导师,副教授。研究方向:三七素代谢调控研究。E-mail:xuql03@163.com。