



DOI:10.14188/j.ajsh.2022.06.001

锁阳中氨基酸类化合物研究进展

王建华^{1†}, 王 凯^{1†}, 成 瑞^{2*}, 张可青¹, 裴霁颖¹

- (1. 内蒙古医科大学药学院, 内蒙古 呼和浩特 010110;
2. 内蒙古医科大学附属医院药剂部, 内蒙古 呼和浩特 010059)

摘要: 锁阳(*Cynomorium songaricum*)是寄生于白刺属(*Nitraria* L.)植物根部的肉质草本植物,含有多种生物活性成分,如黄酮类、萜类、氨基酸等。氨基酸是锁阳中的一类重要化合物,与锁阳的品质密切相关,具有较大的研究价值。本文通过查阅近几年的相关文献,从锁阳中含有的氨基酸种类、含量、生物活性、检测方法及人工培育前景等方面对锁阳中氨基酸类成分的研究现状进行整理和归纳,旨在为锁阳中氨基酸类成分的进一步研究、开发和利用提供一定的支持与帮助。

关键词: 锁阳;氨基酸;含量测定

中图分类号: R917

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2022)06-0517-08

Research progress of amino acids in *Cynomorium songaricum*

WANG Jianhua^{1†}, WANG Kai^{1†}, CHENG Rui^{2*}, ZHANG Keqing¹, PEI Jiying¹

- (1. School of Pharmaceutical Science, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia, China;
2. Pharmacy Section of Affiliated Hospital of Inner Mongolian Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia, China)

Abstract: *Cynomorium songaricum* is a succulent herb parasitic on the roots of *Nitraria* plants, which contains a variety of bioactive components, such as flavonoids, terpenes and amino acids. Amino acids are a kind of important compounds in *C. songaricum*, which are closely related to the quality of *C. songaricum* and have great research value. Based on the literatures in recent years, the research status of amino acid components in *C. songaricum* is summarized from the amino acid type, content, biological activity, detection methods and artificial cultivation prospect, aiming to provide some support and help for further research, development and utilization of amino acid components in *C. songaricum*.

Key words: *Cynomorium songaricum*; amino acid; content determination

0 引言

锁阳(*Cynomorium songaricum* Rupr.)俗称“不老药”,又名地毛球、锁严子等,为锁阳科(Cynomoriaceae)锁阳属(*Cynomorium*)植物^[1],是寄生于蒺藜科(Zygophyllaceae)白刺属(*Nitraria* L.)植物根部的

多年生全寄生草本种子植物,在我国主要分布在甘肃、内蒙古、宁夏、青海、新疆等西北部的荒漠、盐碱地带,在中亚、蒙古国、北非和意大利等地中海沿岸的部分地区也有分布。锁阳的应用历史悠久,在北非、东亚、西亚和欧洲等地,人们将锁阳加工成食品或者茶,抑或作为草药使用已有上千年的历史。

收稿日期: 2022-07-17 修回日期: 2022-11-08 接受日期: 2022-12-28

作者简介:王建华(1967-),女,硕士,教授,主要从事中蒙药药理与化学成分关系的研究,E-mail: ny_wjh513@163.com;王凯(1996-),男,硕士生,主要从事中蒙药药理与化学成分关系的研究,E-mail: zyywangkai@163.com。† 对本文有同等贡献,为共同第一作者

* 通讯联系人:成瑞(1964-),女,主任药师,主要从事传统中草药新剂型和制剂研究。E-mail: 675617218@qq.com

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金项目(2017MS 891)

引用格式:王建华,王凯,成瑞,等. 锁阳中氨基酸类化合物研究进展[J]. 生物资源, 2022, 44(6): 517-524.

Wang J X, Wang K, Chen R, *et al.* Research progress of amino acids in *Cynomorium songaricum* [J]. Biotic Resources, 2022, 44 (6): 517-524.

锁阳是一种常用的中药、蒙药(蒙药名为乌兰高腰)、藏药,入药部位为其干燥的肉质茎。传统中医理论认为,锁阳性温味甘,归肝、肾、大肠经,具有补肾阳、益精血的作用,可用于治疗腰膝痿软,阳痿滑精,肠燥便秘等症^[2]。现代药理学研究发现,锁阳具有抗氧化、保护神经系统、抗疲劳、调节激素水平、调节糖代谢等作用,可用于治疗阳痿、早泄、胃溃疡和便秘等疾病^[3~10]。

锁阳作为一种功能性食品和药物,由于其在蒙医和中医理论体系中的重要性及其营养价值,在过去10年中,对锁阳的化学成分和功能的研究日益受到关注^[11]。随着分离鉴定技术的进步,锁阳的化学成分被逐渐揭示,对其生理和药理功能的认识也得到了进一步的发展。目前已知锁阳中含有多种生物活性成分,如黄酮类、萜类、甾体和糖苷类等,同时锁阳富含多种氨基酸及微量元素,检测并已经确认的氨基酸多达17种^[12]。目前关于锁阳的研究主要集中于黄酮类、三萜类、多糖等成分,有关氨基酸类化合物的研究较少。氨基酸具有提高免疫力、抗疲劳等药理活性,具有较高的营养保健价值,是锁阳中的一类重要的、不可忽视的活性成分。本文通过查阅文献整理相关信息,旨在厘清目前锁阳中氨基酸类化合物的种类及其提取分离方法的研究进展,整理氨基酸的药理活性,为其后续的研究提供参考。

1 锁阳中氨基酸类化合物的种类及其含量

氨基酸是生物学上重要的有机化合物,与生物的生命活动有着密切的关系。它是组成人体免疫系统的重要物质,是生物体内不可缺少的营养成分之一。氨基酸从其功能上来说可以分为2类,蛋白质氨基酸和非蛋白质氨基酸。蛋白质氨基酸是指参与构成生物体蛋白质的氨基酸,非蛋白质氨基酸是指参与生物体多种生理过程(如参与构成激素和部分维生素、维持体内氮平衡等)的氨基酸。例如,GABA(γ -氨基丁酸)是一种抑制性神经递质,参与生物体内神经系统的多种生命活动。

1.1 锁阳含氨基酸的种类

研究显示,锁阳体内含有多种氨基酸成分,包括全部的7种人体必需氨基酸。有学者使用氨基酸自动分析仪对锁阳的水提取物进行鉴定,从中鉴定出了17种氨基酸。提取物中总氨基酸含量为1.25%:其中天冬氨酸和谷氨酸含量最高,尤其是天冬氨酸占到了总氨基酸含量的61%^[13]。另有学者对锁阳浸泡酒以及锁阳酿酒进行氨基酸的定性和定量分析,在其中发现了18种常见氨基酸^[14,15]。

1.2 锁阳不同生长发育时期体内氨基酸含量的变化

在锁阳不同的生长发育时期,其体内的氨基酸种类及其含量会不断改变。有学者使用氨基酸分析仪对内蒙古自治区伊盟杭锦旗产地的锁阳的不同生长发育时期的氨基酸成分进行研究时发现,锁阳含有的氨基酸总量在其未出土时最高,出土时氨基酸的含量会降低,开花结实时氨基酸的含量会迅速降低;未出土时锁阳含有15种氨基酸,出土时含有14种氨基酸,开花、结果时虽然含量降低,但含有的氨基酸种类增加至17种^[16]。另有学者将核磁共振技术(NMR)和超高效液相色谱-四级杆飞行时间质谱联用技术(UPLC-QTOF/MS)结合使用以分析锁阳不同发育阶段的代谢组分,检测结果表明,氨基酸在萌芽前一年的结节期含量最高,为锁阳后期的发育进行能量储存,在锁阳的其他发育阶段,部分氨基酸则会被转化或者释放能量以用于锁阳的萌芽和生长,导致氨基酸含量下降^[17]。

1.3 不同地域锁阳的体内氨基酸含量的差异

中药的自然属性决定了其必然会受到地域、环境、气候等因素的影响,因此中药的质量及其中药材各种成分的含量往往会呈现出地区性差异。有学者运用柱前衍生化法反相高效液相色谱计数测定不同产地锁阳中17种游离氨基酸含量,然后进行多元统计分析,发现不同省市地区的锁阳的氨基酸含量差异性较明显,甘肃、内蒙古所产锁阳氨基酸含量较高、质量较佳,其次为宁夏、青海及新疆所产锁阳;聚类分析结果表明不同地区的锁阳的氨基酸含量具有明显的地域聚集性,地理位置相近的锁阳之间的氨基酸含量比较接近,表明锁阳的氨基酸含量与生长环境密切相关^[18]。另有学者采集了甘肃、内蒙古、新疆、青海、宁夏5个省/自治区13个市/地区/州/旗的60批锁阳样品,采用异硫氰酸苯酯(PITC)柱前衍生化高效液相色谱法同时测定锁阳中17种游离氨基酸含量。从氨基酸的平均含量来看,宁夏、新疆及青海所产锁阳中氨基酸含量普遍低于其他产区,其中青海所产锁阳中5批的脯氨酸含量及宁夏所产锁阳中3批的甲硫氨酸含量均低于仪器检测限^[19]。欧洲有学者通过¹H核磁共振波谱对突尼斯东南部靠近沙漠的塔塔瓦因地区和意大利南部靠近海岸的撒丁岛地区的锁阳的甲醇提取物和水提取物分别进行比较。结果显示与生长在撒丁岛地区的锁阳样本相比,突尼斯地区的锁阳样本中总氨基酸的含量水平更高。在各地区样本所含有的氨基酸中,突尼

斯样本的提取物中天门冬酰胺的含量最为丰富,而在撒丁岛的样本中丙氨酸的含量较高^[20]。

2 含量测定方法

2.1 非衍生化方法

《中华人民共和国药典》2020版一部记载了以脯氨酸或熊果酸为对照品的薄层色谱法用于鉴别锁阳,而无含量指标。有学者对2020版药典中脯氨酸的薄层色谱鉴别方法进行了优化,将展开系统中的正丙醇优化为正丁醇,显色剂由吡啶试液优化为茚三酮乙醇溶液,在保证所得色谱图显示信息丰富,各斑点清晰,分离度良好的基础上,在提取、展开等全过程换用了毒性更低、对环境更友好的溶剂,降低了检测人员的中毒风险^[21]。目前从锁阳中鉴别出的氨基酸种类较固定,大部分均为利用氨基酸自动分析仪测得^[22,23],且天冬氨酸和谷氨酸的含量相对较高。另有学者对锁阳糖蛋白的氨基酸组成进行了分析,从中鉴别出了17种氨基酸,其中谷氨酸、亮氨酸、丙氨酸和精氨酸的含量高于其他氨基酸,而天冬酰胺、谷氨酰胺、色氨酸则未检测到^[24]。

2.2 衍生化方法

近年来对于氨基酸的测定分析更倾向于利用高效液相色谱(HPLC)^[25]、超高效液相色谱(UPLC)、气相色谱(GC)^[26~28]等现代分析仪器和各种检测器(如紫外吸收检测器)联合使用。由于高效液相色谱常与紫外吸收检测器联用,而氨基酸大多不含生色基团,不能利用常规紫外检测器检测,所以往往需要对氨基酸类使用衍生化手段^[29~31]处理,并且柱前衍生法比柱后衍生法的灵敏度更高,产物稳定。常用的衍生化试剂有异硫氰酸苯酯(PITC)、邻苯二甲醛(OPA)、2,4-二硝基氟苯(DNFB)等。需要注意的是,氨基酸之间的极性比较相近,分离较为困难,需要对其分离条件进行摸索^[32]。

2.3 锁阳中氨基酸检测的使用与探索

核磁共振技术和质谱技术在锁阳中氨基酸成分的鉴别里取得了一定的进展。欧洲有学者通过¹H核磁共振波谱对锁阳的甲醇提取物和水提取物进行检测。结果表明,光谱的高场区(0~3.0 ppm)显示了氨基酸(丙氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、脯氨酸、苏氨酸和缬氨酸)的存在。在提取物的1D NMR谱中鉴定的这些代谢物中的大多数都被2D NMR谱中的交叉峰所证实。例如,位于 δ H 1.46的双重峰和位于 δ H 3.80的信号之间的¹H-¹H舒适交叉峰证实了丙氨酸的存在。在COSY光谱中,天冬酰胺在 δ H 2.87和 δ 2.97与 δ H 4.02的信号具有相似的相关性^[20]。中国有学者采用超高压液相色谱/线性离子阱-静电场轨道阱高分辨质谱法鉴定锁阳有效部位的化学成分,在正离子模式下鉴定出了蛋氨酸,并对蛋氨酸的裂解方式进行了推测^[33]。蛋氨酸可能的裂解方式如图1所示。

2.4 其他氨基酸分析技术

以上几种常用的氨基酸分析技术已经比较成熟,但缺点也是很明显的,如仪器较为昂贵,处理过程复杂,分析周期长等,因此一些其他技术也依据各自具有的特点被用来做氨基酸的分析,可为后期对锁阳中氨基酸的研究提供参考。常用的有毛细管电泳法(CE),毛细管电泳是以弹性石英毛细管为分离通道、以高压直流电场为驱动力的新型液相分离技术,具有分析效率高、分析时间短的优点,在氨基酸分析中得到了广泛的应用^[34]。在毛细管电泳法对于生物样本的分析中,常选择用质谱作为其检测器,质谱的选择性和专一性不仅可弥补样品迁移时间的不足,同时可以提供分子量和结构信息^[35]。巴西学者采用毛细管电泳-质谱联用法,对血浆中的高半胱氨酸、半胱氨酸、蛋氨酸和谷氨酸的含量进行检测^[36]。研究发现,20种氨基酸在1 000~2 502 nm区域有非

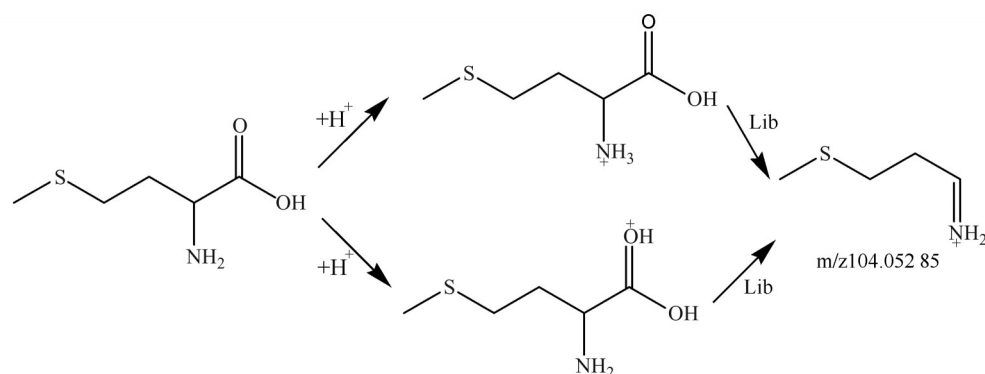


图1 蛋氨酸可能的裂解方式^[33]

Fig. 1 Possible cleavage mode of methionine^[33]

常明显的近红外光谱吸收且差异显著^[37]。据此,有学者采用近红外光谱技术结合人工神经网络的算法建立了快速检测金苦荞叶片中氨基酸含量的近红外模型,该模型可用于苦荞叶片中精氨酸、天冬氨酸等17种氨基酸的快速测定^[38]。

3 氨基酸的生物活性

药用植物发挥药效的物质基础是其本身所含有的代谢化合物。锁阳中含有的大量氨基酸与其所具有的各种药理活性息息相关。目前对于锁阳中氨基酸的生物活性的研究较少,但已知氨基酸具有改善人的免疫功能、抗衰老、抗氧化等活性,对于肝功能、肾功能、肠功能衰退等引发的疾病也可作为一种辅助的治疗手段。

3.1 氨基酸的免疫调节作用

氨基酸是蛋白质的基本结构单元,而蛋白质是构成动物机体免疫系统正常发育及其机能健全的物质基础,是免疫蛋白的主要成分,各种免疫细胞和抗体的生成都需要蛋白质和氨基酸的参与。目前的研究认为,与人体免疫调节功能关系密切的有精氨酸、谷氨酰胺、蛋氨酸等。有研究表明,锁阳醇提物和水提物二者可以不同程度地提高胸腺指数和脾脏指数、促进溶血素抗体的生成、提高IL-2、IFN- γ 和TNF- α 分泌水平,对正常生理小鼠和免疫抑制小鼠起免疫调节的作用^[39]。

蛋白质或者多肽与糖类结合形成的糖蛋白具有重要的生理功能。研究表明,糖蛋白作为抗氧化剂和抗衰老剂,在增强免疫调节、降低血糖方面具有重要作用,锁阳中的糖蛋白有利于机体免疫细胞的识别从而抑制肿瘤细胞的生长^[40,41]。

3.2 氨基酸对神经系统的作用

氨基酸在生物体内除作为蛋白质的基本结构外,还可以作为活性物质的前体物质^[42~46],如精氨酸是NO的前体,组氨酸是组胺的前体;锁阳中含量较高的谷氨酸和天冬氨酸是哺乳动物体内主要的兴奋性氨基酸神经递质,可以影响哺乳动物的脑功能,包括学习记忆等认知功能。谷氨酸在脑内神经元生长发育、成熟修复和神经传递过程中起重要的作用,谷氨酸系统活动异常会影响大脑发育,引起神经退化,补充谷氨酸和天冬氨酸则有助于改善学习和记忆能力^[47]。

在人体生病受伤或者长时间运动过程中,对自身氨基酸的消耗会加大,导致体内的氨基酸呈现巨大波动,及时补充相应的氨基酸有助于身体机能的恢复。作为传统中药,锁阳含有丰富的氨基酸。现

代研究证明锁阳还有清除自由基、抗氧化、耐缺氧等作用,没有遗传毒性,具有很好的药用活性。目前对锁阳中粗提取物药理活性的研究较多,而对单体成分研究较匮乏,虽然锁阳中主要药理活性成分并非氨基酸类化合物,但其所含天冬氨酸、谷氨酸等是否对其改善免疫系统等功能有加强作用,富集氨基酸含量对其药理作用的影响等都有待进一步深入研究。

4 锁阳的应用前景

4.1 锁阳所含氨基酸的价值前景

锁阳在其外形、主治功能等方面与肉苁蓉相似,因肉苁蓉资源稀缺、价格昂贵,临床上常用锁阳作为其代用品^[48]。鉴于锁阳中含有多种生物活性成分、人体必需氨基酸和微量元素等,近年来被普遍用于功能性保健产品。锁阳酒、锁阳茶、锁阳咖啡、锁阳保健饮料等产品已经在市场可见;作为相关药品、保健品原料,锁阳在国内市场需求较大,且有大量出口。

4.2 人工栽培锁阳可行性探索

目前野生锁阳资源所面临的一个问题就是乱挖滥采,导致野生资源较少^[49]。国内学者在比较人工栽培种植的锁阳与野生的锁阳中的化学成分时发现二者所含氨基酸总量基本相同,且人工栽培锁阳中的脯氨酸的含量要高于野生锁阳,因此可以考虑发展人工繁育技术^[43]。我国西部地域土地辽阔,可利用锁阳等中药材的资源优势,进行人工栽培,依据药材的道地性,利用产地环境与有效成分累积的关系,扩大和开发中药材资源,优化富集其主要活性成分,且其寄主白刺属植物是防风固沙植物,还能进行荒漠化防治,有利于西部开发^[49]。人工栽培种植的锁阳和野生的锁阳中的氨基酸含量几乎相等,差异主要体现在脯氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸上。野生锁阳所含的天门冬氨酸和谷氨酸的含量要高于人工栽培锁阳,但人工栽培锁阳中的脯氨酸含量却要高于野生栽培品。利用双波长薄层扫描法分别以590 nm和470 nm作为测定和参比波长测定不同生长条件下锁阳(野生及栽培)中的脯氨酸含量,结果也说明了栽培品种中脯氨酸含量高于野生品种^[43]。这三种氨基酸含量上的差异可能会对锁阳药材的品质造成影响,需要在后续的研究中予以注意。同时这也提示我们这三种氨基酸可能与锁阳植物的抗逆性有一定关系,为接下来探究锁阳植物的蛋白质科学和生物代谢提供一定的依据。

5 总 结

氨基酸是锁阳中的一类重要化合物,与锁阳的品质密切相关。锁阳中含有全部种类的蛋白质氨基酸,且含量丰富。关于氨基酸含量的测定也有多种方法进行了检测,下一步可以比较各种氨基酸含量的测定方法以确定一种简单有效的方法,在此基础上可以对不同采收期或者不同栽培条件下培育的锁阳氨基酸的含量进行比较,以明确最佳采收期或最佳栽培条件,为锁阳的培育提供方向。另外目前已知锁阳具有提高免疫能力、抗氧化、抗衰老等药理活性,但其活性成分及其机制尚不明确,从营养学角度来说,有理由认为氨基酸在其中发挥了一定的作用,需要进一步进行探究^[50]。

既然锁阳的人工培养与自然培养在氨基酸含量方面没有明显区别,考虑到乱采滥挖锁阳对生态环境的破坏,我们应该对锁阳化学成分与药理活性的相关性做进一步的深入研究,以此为锁阳人工栽培繁育提供理论依据,为进一步开发具有特异性疗效的药品、保健品提供理论依据,为扶持中西部贫困地区中草药种植、帮助中西部山区农民脱贫致富做出贡献,也是我们作为科研工作者进行服务社会的一项重要职责。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典——一部 2020 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 360.
National Pharmacopoeia Commission. People's Republic of China (PRC) Pharmacopoeia—Part I [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 360.
- [2] 马毓泉. 内蒙古植物志[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1989: 583-585.
Ma Y Q. Flora of Inner Mongolia [M]. Hohhot: Inner Mongolia People's Publishing House, 1989: 583-585.
- [3] 沙日娜, 董玉. 锁阳不同部位醇提物的抗氧化活性研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2016, 45(3): 384-385, 391.
Sharina, Dong Y. Research on antioxidant activity of the alcohol extract from different parts of *Cynomorium songaricum* [J]. J Inn Mong Norm Univ Nat Sci Ed, 2016, 45(3): 384-385, 391.
- [4] 熊正英, 马晓莲, 孙岩, 等. 锁阳多糖对运动训练大鼠睾酮含量、物质代谢与运动能力的影响[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2011, 39(1): 103-108.
Xiong Z Y, Ma X L, Sun Y, *et al.* Effect of *Cynomorium songaricum* Rupr. polysaccharide on testosterone content, substance metabolism and exercise capacity in rats of exercise training [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2011, 39(1): 103-108.
- [5] 刘如意, 刘敏, 任会勋, 等. 复方锁阳口服液对小鼠性激素水平及免疫功能的影响[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2010, 31(6): 760-762.
Liu R Y, Liu M, Ren H X, *et al.* Effects of compound *Cynomorium songaricum* Rupr. oral liquid on sexual hormone level and immune functions in mice [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Medical Sciences), 2010, 31(6): 760-762.
- [6] Wang J L, Zhang J, Zhao B T, *et al.* Structural features and hypoglycaemic effects of *Cynomorium songaricum* polysaccharides on STZ-induced rats [J]. Food Chem, 2010, 120(2): 443-451.
- [7] 樊海燕. 锁阳多糖提取纯化、结构解析及生物活性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
Fan H Y. Studies on extraction, purification, structural characterization and bioactivities of polysaccharides from *Cynomorium songaricum* [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2018.
- [8] 薛海燕, 焦婵媛, 姚军. 锁阳药理作用的研究进展[J]. 现代药物与临床, 2018, 33(3): 709-712.
Xue H Y, Jiao C Y, Yao J. Research progress on pharmacology of *Cynomorii Herba* [J]. Drugs & Clin, 2018, 33(3): 709-712.
- [9] 王武成. 海蕴和锁阳多糖化学结构及生物活性机制研究[D]. 上海: 中国科学院上海药物研究所, 2016.
Wang W C. The structure elucidation and bioactivities study of polysaccharides from *Nemacystus decipiens* and *Cynomorium songaricum* [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Materia Medica, Chinese Academy of Sciences, 2016.
- [10] 吴瑕. 中药锁阳的作用与功效及其开发利用[J]. 时珍国医国药, 2015, 26(10): 2492-2494.
Wu X. The function and efficacy of *Cynomorium songaricum* and its development and utilization [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2015, 26(10): 2492-2494.
- [11] 王晓梅, 张倩, 热娜·卡斯木, 等. 锁阳全草化学成分的研究[J]. 中草药, 2011, 42(3): 458-460.
Wang X M, Zhang Q, RENA Kasimu, *et al.* Chemical constituents in whole plant of *Cynomorium songaricum* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2011, 42(3): 458-460.
- [12] 马建滨, 都玉蓉. 锁阳的化学成分及药理作用[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2008, 24(2): 72-75.
Ma J B, Du Y R. Chemical constituents and pharmacology of *Cynomorium songaricum* [J]. Journal of Qinghai Normal University (Natural Science Edition), 2008, 24(2): 72-75.

- logical effects of *Cynomorium songaricum* Rupr. [J]. Journal of Qinghai Normal University(Natural Science), 2008, 24(2): 72-75.
- [13] Fu B, Qiao J, Du N. Analysis of trace elements and amino acids in Chinese medicine *Cynomorium* [J]. Xinjiang Med Coll, 1997, 20: 127-128.
- [14] Huang XW. Preliminary studies on tannins of *Cynomorium songaricum* Rupr. [J]. Journal of Inner Mongolia Traditional Chinese Medicine, 1997, S1: 119-120.
- [15] 姚健,牛世全,达文燕,等. 锁阳酿酒成分分析[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(2): 73-75.
Yao J, Niu S Q, Da W Y, *et al.* Component analysis on brewing vintage of *Cynomorium sougaricam* [J]. Journal of Northwest Normal University(Natural Science), 2001, 37(2): 73-75.
- [16] 苏格尔,刘基焕,骆蒙,等. 锁阳不同生育期营养成分的动态研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1994, 25(2): 197-204.
Su G R, Liu J H, Luo M, *et al.* Study on dynamics of nutrients in different growth phase of *Cynomorium songaricum* Rupr [J]. Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition), 1994, 25(2): 197-204.
- [17] Xue X Z, Zhang Q, Bi X B, *et al.* Nmr and uplc-qtof/ms-based metabolomics of different developmental stages of *Cynomorium songaricum* [J]. Italian Journal of Food Science, 2020, 32(4): 997-1017.
- [18] 顾志荣,马转霞,马天翔,等. 柱前衍生化RP-HPLC同时测定不同产区锁阳中17种游离氨基酸含量及其多元统计分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(10): 148-155.
Gu Z R, Ma Z X, Ma T X, *et al.* Pre-column derivatization RP-HPLC for simultaneous determination of 17 amino acids in *Cynomorii* Herba from different producing areas and its multivariate statistical analysis [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2020, 26(10): 148-155.
- [19] 吕鑫,顾志荣,祁梅,等. 基于39项指标建立不同产地锁阳综合质量评价的模糊综合评价法模型[J]. 中国中医药信息杂志, 2022, 29(3): 92-98.
Lv X, Gu Z R, Qi M, *et al.* Establishment of fuzzy comprehensive evaluation model for comprehensive quality evaluation of *Cynomorii* Herba from different producing areas based on 39 indexes [J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2022, 29(3): 92-98.
- [20] Ben Attia I, Zucca P, Cesare Marincola F, *et al.* Chemical composition and antioxidant potential differences between *Cynomorium coccineum* L. growing in Italy and in Tunisia: effect of environmental stress [J]. Diversity, 2018, 10(3): 53.
- [21] 廖慧君,张叶金,李瑞娜,等. 不同产地锁阳质量标准研究[J]. 按摩与康复医学, 2021, 12(14): 94-97.
Liao H J, Zhang Y J, Li R N, *et al.* The quality standard improvement study of *Cynomorium songaricum* rupr. from different habitats [J]. Chinese Manipulation and Rehabilitation Medicine, 2021, 12(14): 94-97.
- [22] Chang Y X, Su G R. Research of effective component and component index of *Cynomorium songaricum* Rupr. [D]. Inner Mongolia University, 2006, 6-55.
- [23] 刘明川,钟少达,杨进平,等. 肉苁蓉提取工艺优化及其神经保护作用的分析[J]. 中南药学, 2019, 17(12): 2020-2026.
Liu M C, Zhong S D, Yang J P, *et al.* Optimization of *Cistanche deserticola* extraction and its neuroprotective effect [J]. Central South Pharmacy, 2019, 17(12): 2020-2026.
- [24] Shi J P, Xu Y F, Guo J, *et al.* Extraction, purification, characterization, and rheological properties of a glycoprotein from *Cynomorium songaricum* rupr. [J]. Biotechnology and Applied Biochemistry, 2021, 68(1): 41-51.
- [25] Furota S, Ogawa N O, Takano Y, *et al.* Quantitative analysis of underivatized amino acids in the sub- to several-nanomolar range by ion-pair HPLC using a corona-charged aerosol detector (HPLC - CAD) [J]. J Chromatogr B, 2018, 1095: 191-197.
- [26] Sowers M L, Herring J, Zhang W, *et al.* Analysis of glucose-derived amino acids involved in one-carbon and cancer metabolism by stable-isotope tracing gas chromatography mass spectrometry [J]. Anal Biochem, 2019, 566: 1-9.
- [27] Hanff E, Ruben S, Kreuzer M, *et al.* Development and validation of GC-MS methods for the comprehensive analysis of amino acids in plasma and urine and applications to the HELLP syndrome and pediatric kidney transplantation: evidence of altered methylation, transamidation, and arginase activity [J]. Amino Acids, 2019, 51(3): 529-547.
- [28] 周芳,刘韶,邓梦如,等. GC-MS/SIM法测定不同产地杜仲叶中的氨基酸[J]. 中南药学, 2012, 10(4): 257-260.
Zhou F, Liu S, Deng M R, *et al.* Determination of amino acids in *Eucommia ulmoides* Oliv. leaves by gas chromatography-mass spectrometry/selected ion monitor [J]. Central South Pharmacy, 2012, 10(4): 257-260.
- [29] 陈蓉,张超,顾倩,等. 柱前衍生-HPLC法同时测定不同产地茯苓中18种氨基酸含量[J]. 药物分析杂志, 2017, 37(2): 297-303.

- Chen R, Zhang C, Gu Q, *et al.* Pre-column derivatization HPLC determination of 18 amino acids in *Poria* from different areas [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2017, 37(2): 297-303.
- [30] 王秀中, 王清清, 宋海峰, 等. 衍生化技术在氨基酸分析中的应用进展[J]. 药物分析杂志, 2010, 30(6): 1162-1166.
- Wang X Z, Wang Q Q, Song H F, *et al.* Application progress of derivatization technology in amino acids analysis [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2010, 30(6): 1162-1166.
- [31] 黄小兰, 何旭峰, 杨勤, 等. 不同产地地参中 17 种氨基酸的测定与分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 255-261.
- Huang X L, He X F, Yang Q, *et al.* Determination of 17 amino acids in the dried rhizome of *Lycopus lucidus* Turcz. var. *hirtus* Regel from different habitats [J]. Food Science, 2021, 42(2): 255-261.
- [32] 孙伟, 姚志斌, 李雪冬, 等. 高效液相色谱法测定氨碘肽滴眼液中 5 种氨基酸的含量[J]. 中南药学, 2014, 12(9): 909-912.
- Sun W, Yao Z B, Li X D, *et al.* HPLC determination of 5 amino acid of amiotide eye drops [J]. Central South Pharmacy, 2014, 12(9): 909-912.
- [33] 程丹, 畅洪昇, 王旭, 等. 超高压液相色谱/线性离子阱-静电场轨道阱高分辨质谱法鉴定锁阳有效部位的化学成分[J]. 世界中医药, 2019, 14(2): 306-310.
- Cheng D, Chang H S, Wang X, *et al.* Rapid identification and characterization of chemical components in the active part of Herba Cynomorii by UPLC/LTQ-orbitrapa MS [J]. World Chinese Medicine, 2019, 14(2): 306-310.
- [34] 牛夏梦, 勾新磊, 赵新颖. 毛细管电泳技术的发展与应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2016(11): 4341-4345.
- Niu X M, Gou X L, Zhao X Y. Development and application of capillary electrophoresis technique [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016(11): 4341-4345.
- [35] Ramautar R, Somsen G W, Jong G J D. CE-MS in metabolomics [J]. Electrophoresis, 2009, 30(1): 276-291.
- [36] Cieslarova Z, Lopes F S, do Lago C L, *et al.* Capillary electrophoresis tandem mass spectrometry determination of glutamic acid and homocysteine's metabolites: potential biomarkers of amyotrophic lateral sclerosis [J]. Talanta, 2017, 170: 63-68.
- [37] Tao L L, Huang W, Yang X J, *et al.* Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(9): 2766.
- [38] 朱丽伟, 严金欣, 黄娟, 等. 近红外光谱和人工神经网络的金苦荞氨基酸快速测定[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(1): 49-55.
- Zhu L W, Yan J X, Huang J, *et al.* Rapid determination of amino acids in golden tartary buckwheat based on near infrared spectroscopy and artificial neural network [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2022, 42(1): 49-55.
- [39] 李敏, 热西代姆·阿卜力孜, 杨建华, 等. 锁阳醇提物和水提物对小鼠免疫功能的影响[J]. 新疆医科大学学报, 2021, 44(12): 1379-1384.
- Li M, Rexidaimu A, Yang J H, *et al.* Immune function of different polar extracts from *Cynomorium songaricum* Rupr. in mice [J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2021, 44(12): 1379-1384.
- [40] 李聪, 范垂众, 闫鑫杨, 等. 唾液酸结合受体: 令人瞩目的肿瘤治疗靶标[J]. 药学报, 2021, 56(11): 3060-3073.
- Li C, Fan C Z, Yan X Y, *et al.* Sialic acid binding receptors—impressive targets for tumor treatment [J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2021, 56(11): 3060-3073.
- [41] 韩陶, 陈彦, 瞿鼎. 天然多糖及其纳米递药系统调控肿瘤微环境的研究进展[J]. 药学报, 2021, 56(12): 3212-3223.
- Han T, Chen Y, Qu D. Research progress of natural polysaccharides and their nano-sized drug delivery systems in regulating tumor microenvironment [J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2021, 56(12): 3212-3223.
- [42] Lin Y, Liu B, Chen J. Study on chemical constituents of cultivated and wild *Cynomorium* [J]. Med Pharm Chin Minorities, 2000, 6: 60-61.
- [43] 林燕, 王伟, 达林其木格, 等. 野生锁阳与栽培锁阳中脯氨酸含量测定的方法建立和对比[J]. 中国民族医药杂志, 2002, 8(1): 41-42.
- Lin Y, Wang W, Dalin Q, *et al.* Establishment and comparison of methods for measuring proline content in wild *Cynomorium songaricum* and cultivated *Cynomorium songaricum* [J]. Journal of Medicine & Pharmacy of Chinese Minorities, 2002, 8(1): 41-42.
- [44] 曾朝珍, 张永茂, 李新明, 等. 锁阳生理活性成分研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(11): 491-495.
- Zeng C Z, Zhang Y M, Li X M, *et al.* Research progress of physiologically active compounds of *Cynomorium songaricum* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(11): 491-495.
- [45] 程丹, 郑俊超, 马素亚, 等. 锁阳化学成分及其药理毒理作用研究进展[J]. 中医药导报, 2018, 24(5): 108-110, 113.
- Cheng D, Zheng J C, Ma S Y, *et al.* The progress of chemical constituents and pharmacological and toxicological effect study of Suoyang (*Cynomorium songari-*

- cum*) [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2018, 24(5): 108-110, 113.
- [46] 田硕, 苗明三. 锁阳的化学、药理与临床应用特点[J]. 中医学报, 2014, 29(2): 249-251.
- Tian S, Miao M S. Chemistry, pharmacology and clinical application characteristics for *Cynomorium* [J]. Acta Chinese Medicine, 2014, 29(2): 249-251.
- [47] 王蕾, 赵明镜, 杨涛, 等. 氨基酸类神经递质与认知活动关系及中医药应用的研究进展[J]. 中国医药导报, 2016, 13(35): 40-43.
- Wang L, Zhao M J, Yang T, *et al.* Research progress on the relationship between amino acid neurotransmitter and cognitive activity and on the application of traditional Chinese medicine [J]. China Medical Herald, 2016, 13(35): 40-43.
- [48] 郝媛媛, 岳利军, 康建军, 等. “沙漠人参”肉苁蓉和锁阳研究进展[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 286-293.
- Hao Y Y, Yue L J, Kang J J, *et al.* Research progress on “desert ginseng”-*Cistanche deserticola* and *Cynomorium songaricum* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(2): 286-293.
- [49] 李振华, 郭静霞, 崔占虎, 等. 锁阳的研究进展与资源保护[J]. 中国现代中药, 2014, 16(10): 861-869.
- Li Z H, Guo J X, Cui Z H, *et al.* Phytochemical and pharmacological progress and resource conservation review of *Cynomorium songaricum* Rupr. [J]. Modern Chinese Medicine, 2014, 16(10): 861-869.
- [50] 刘雪梅. 氨基酸与人类健康[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2008, 24(4): 38-39.
- Liu X M. Amino acids and human health [J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 2008, 24(4): 38-39.

□

(编辑: 杨晓翠)