

蒜头果研究进展

李洪潮, 常征*, 高明菊, 刘伟, 沈清清, 丁长春 (云南省文山学院三七学院, 云南文山 663099)

摘要 从蒜头果的药用价值、化学成分及其应用、种植及生态适应性等方面全面地综述了蒜头果的研究现状, 并就蒜头果的研究及今后的产业发展提出了一些建议或意见, 具有一定的参考价值。

关键词 蒜头果; 药用价值; 化学成分; 应用; 种植; 生态适应性

中图分类号 Q946 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)17-0008-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress of *Malania oleifera* Chun et S. Lee

LI Hong-chao, CHANG Zheng, GAO Ming-ju et al (Sanqi College of Wenshan University, Wenshan, Yunnan 663099)

Abstract From the aspects of medicinal value, chemical composition and application, planting and ecological adaptability, the research status of *Malania oleifera* was comprehensively reviewed, and some suggestions or opinions were put forward on the research and future industrial development of *Malania oleifera*, which has certain reference value.

Key words *Malania oleifera* Chun et S. Lee; Medicinal value; Chemical component; Application; Planting; Ecological adaptability

蒜头果(*Malania oleifera* Chun et S. Lee)为铁青树科马兰木属植物,是我国特有的单种属国家二级濒危保护常绿乔木,民间又叫马兰木、马兰果、麦厚、山桐果、猴子果等^[1]。蒜头果果实圆形,中果皮肉质,内果皮坚硬,弃去内果皮后蒜头果果仁呈乳白色蒜头状,全国仅分布于广西的龙州、靖西、德保、大新等县市及云南省的文山、广南、富宁等县市。故云南省为加强保护蒜头果,已将其纳入《云南省极小种群物种拯救保护计划》实施重点保护。蒜头果因具有很好的生态和经济价值,故具有很广阔的开发前景。但目前对其的研究文献仅有100多篇,内容包括化学成分分析、栽培、繁殖、生物学特性和极少的几篇药理活性研究,还有大量的空白等待人们去进一步深入挖掘和开发。

1 蒜头果药用价值研究

蒜头果是重要的木本油料植物之一,其果仁油脂的出油率可达64.5%,其油脂中含量最高的为15-顺-二十四碳烯酸,又名鲨烯酸,也叫神经酸,是大脑发育和维持的必需营养物质,对提高神经的活性、防止脑神经衰弱有很重要的作用。2013年唐婷范^[2]还从蒜头果渣多糖中分离纯化得到了GP-1和GP-2这两个多糖组分,经在体外抗肿瘤试验发现,GP-1和GP-2对鼻咽癌(CNE-1)和肺癌(H460)细胞均有显著的抑制作用,而对人正常肝细胞(HL-7702)基本没有任何损伤作用。2014年袁燕等^[3]采用饱和(NH₄)₂SO₄法对蒜头果种子中水溶性蛋白进行逐级分离,且发现其各级盐析蛋白组分均对超氧阴离子自由基(O₂^{·-})、二苯代苦味酰基自由基(DPPH·)和羟自由基(·OH)都具有不同程度的清除能力。同年,袁燕等^[4]从蒜头果种子中提取蒜头果蛋白并测定其对白血病K562细胞体外生长的抑制作用,发现蒜头果蛋白具有明显抑制K562细胞体外增殖的作用,且存在时间和剂

量依赖性,其半数抑制浓度IC₅₀值为1.58×10⁻⁸ mol/L;蒜头果蛋白与顺铂联用表现出了明显的协同抑制效应,两药联用效应会增加。2016年施蕊等^[5]进一步研究了蒜头果种仁油的抗氧化活性,发现其具有一定的清除DPPH自由基能力,但效果弱于橄榄油和V_C,经GC-MS分析后,确定抗氧化能力来自于亚油酸和棕榈酸。

2 蒜头果的化学成分及应用研究

蒜头果中不仅含有丰富的油脂,还含有丰富的矿物质、挥发油、黄酮、多糖等。对蒜头果化学成分的研究,有利于蒜头果种质资源的更好开发和利用。

2.1 矿物质 赖家业等^[6]按国家标准森林上土壤养分分析法测定了土山和石山上的蒜头果叶片矿质元素含量,发现2种立地蒜头果叶片中都含有Mg、K、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn 7种矿质元素。张磊^[7]采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)在蒜头果果仁中新发现了Al元素。

2.2 油脂

2.2.1 蒜头果油脂中脂肪酸的鉴定。2015年薛冰等^[8]对云南蒜头果的脂肪酸组成进行了分析,鉴定出其主要含有油酸、芥酸、棕榈酸、硬脂酸、亚油酸、亚麻酸、神经酸、花生-烯酸8种脂肪酸;其中,亚油酸、亚麻酸都是人体必需脂肪酸,对人体的营养价值很高;蒜头果油的不饱和脂肪酸含量高达94.77%,含量最高的脂肪酸为神经酸,高达44.21%,这在我国发现的油料作物中是罕见的。另外还测定了蒜头果油脂的特征指标,发现蒜头果油折光指数(n₄₀)为1.459,相对密度为0.876,碘值为715.0 g/kg,皂化值为151.0 mg/g。同年,罗爱勤等^[9]用GC-MS法对蒜头果油脂脂肪酸组成进行分析,鉴定出了蒜头果油中12种脂肪酸成分;并采用单因素试验和正交试验筛选蒜头果油脂最优萃取工艺,得出原料的粉碎粒度8目,萃取压力35 MPa,萃取温度45℃,分离釜压力6 MPa,解析温度55℃,萃取时间2 h为最优萃取工艺,此时蒜头果油收率为32.3%,神经酸收率为5.4%。2016年张茜等^[10]采用索氏提取法提取蒜头果果仁油脂,用GC-MS分析

基金项目 云南省重大科技专项(2018ZF004)。

作者简介 李洪潮(1966—),男,云南马关人,副教授,从事生化分子及微生物生理研究。*通信作者,教授,硕士,从事生化分子及药理研究。

收稿日期 2020-02-26

其中各种脂肪酸含量,发现神经酸含量高达 50.71% (占总脂肪酸), 油酸和亚麻酸含量达 36.56%, 说明蒜头果油脂中含有丰富的保健性脂肪酸, 因此具有很高的开发利用价值。

2.2.2 蒜头果脂肪酸的提取。郝旭亚等^[11]以神经酸乙酯峰面积 A 与浓度 C 进行回归分析, 得到回归方程为 $A = 32\ 785C - 89\ 162 (r = 0.999)$, 稳定性和精密度试验的相对标准偏差分别为 1.19% 和 2.24%, 回收率为 95.8% ~ 102.4%, 还进一步利用该法测定了蒜头果油分离所得神经酸的含量。罗爱勤等^[12]采用气相色谱法, 用 ZB-Wax 毛细管柱, 标准神经酸为对照品, 程序升温, FID 检测器检测, 测得神经酸在 0.304 ~ 6.090 mg/mL 呈良好线性关系, 平均回收率为 101.5%, RSD 为 2.12%。

2.2.3 内生菌发酵产生神经酸。王一凡^[13]从蒜头果的果肉、果核、果仁、叶片和枝条中分离得到了 58 株内生真菌, 其中 19 株的油脂产量较高, 在这 19 株中, 复筛得到了 2 株能产生神经酸油脂的菌株, 经鉴定, 分别为奥氏青霉菌 (*Penicillium olsonii*)、黄曲霉 (*Aspergillus flavus*)。该研究还进一步对 2 个菌株的产油脂率和神经酸率进行了研究, 发现奥氏青霉菌的油脂产率为 23.97%, 其中, 神经酸的含量为 26.67%; 而黄曲霉的油脂产量为 44.85%, 其中, 神经酸的含量为 20.34%。

2.2.4 蒜头果脂肪酸的应用研究。环十五内酯是一种重要的大环麝香, 是麝香的主要成分, 它广泛用于香水、香精、化妆品、食品、医药等领域。蒜头果油的主要成分二十四碳-15-稀酸是合成麝香酮 (环十五内酯) 的重要原料。赖芳等^[14]再次以蒜头果油为原料, 经皂化、酸化、溶剂结晶等步骤制得二十四碳-15-烯酸, 并在固体酸催化下成功合成了环十五内酯; 还发现当环化反应时连续用新的固体酸 4 次, 能显著提高环十五内酯的产率到 20.2%。黄林华等^[15]研究了蒜头果油脂中长链不饱和脂肪酸的臭氧氧化和 ω -羟脂肪酸的催化关环合成大环内酯现象, 发现不饱和脂肪酸碳链越长, 越有利于臭氧氧化和生成大环内酯的反应; 利用蒜头果油脂合成大环内酯的产率分别为环十一内酯 1.0%、环十三内酯 22.4%、环十五内酯 36.9%。周琴芬等^[16]采用响应面法对蒜头果油中神经酸甘油酯皂化进行工艺优化, 发现料液比 1:1、氢氧化钠溶液质量分数 25%、皂化时间 4 h、皂化温度 90 °C 为最佳皂化工艺条件。

脂肪酶作为一种重要的生物催化剂, 在温和的条件下具有高特异性、高选择性和高催化效率性的催化作用, 已被广泛应用于有机合成、食品加工、精细化工等领域。沈芳^[17]利用脂肪酶催化蒜头果油脂合成了环十五内酯, 且发现 GXU08 脂肪酶对 15-羟基十五烷酸甲酯具有很好的专一性。

2.3 其他化合物 蒜头果植株中还含有多种化学成分, 如多糖、黄酮、多酚、功能蛋白质、木脂素等。Yuan 等^[18]采用 BCA 法用酶标仪测定了蒜头果蛋白 (malanin) 质量浓度为 472.793 $\mu\text{g/mL}$; 其分子量为 61 875, 等电点为 5.5, 由 A、B 2 条肽链通过二硫键 (-S-S-) 连接而成; 用高碘酸-希夫试剂染色后成紫红色, 表明该蛋白本质是一种糖蛋白, 用苯酚-硫酸法测定得到蒜头果蛋白的中性糖含量为 3.75%; 用荧光光谱法研究了酸度、温度、有机溶剂、变性剂、荧光猝灭剂、表

面活性剂等在不同条件下对蒜头果蛋白构象的变化, 发现天然状态下的 malanin 在 340 nm 处有荧光发射峰, 色氨酸残基很可能位于 malanin 分子的疏水区; 碘化钾、丙烯酰胺、异硫氰酸胍、十二烷基硫酸钠等的加入均可使 malanin 的分子构象发生变化, 从而导致分子内色氨酸残基的荧光猝灭; 加入异硫氰酸胍能使 Trp 残基的荧光发射峰位明显红移, 说明位于 malanin 分子疏水环境中的色氨酸残基相对外露。2014 年袁燕等^[19]用荧光光谱法研究了 Cu^{2+} 、 Ag^{+} 和 Ca^{2+} 对 malanin 和 apo-malanin 溶液 (经 EDTA 透析脱去金属离子后的脱金属蛋白) 荧光强度的影响, 结果表明, Cu^{2+} 对 malanin 和 apo-malanin 荧光均有明显的静态猝灭现象; Ag^{+} 对 malanin 的荧光强度变化不大, 但对 apo-malanin 荧光强度却有明显的静态猝灭现象; 而 Ca^{2+} 对 malanin 和 apo-malanin 荧光强度均无明显变化, 说明 Ca^{2+} 对维持 malanin 分子天然构象具有重要作用。之后, 又以 NaOH 为水解液水解 malanin, 在激发波长 225 nm、发射波长 350 nm 处测定色氨酸的相对荧光强度, 测得 malanin 中色氨酸含量为 5.12 mg/g, 表明每 malanin 分子中约含 4 个色氨酸^[20]。2015 年袁燕等^[21]再次采用变性 SDS-PAGE 凝胶电泳法测得 malanin 的相对分子质量约为 65.94×10^3 。同年, 张薇^[22]研究发现, 蒜头果蛋白诱导 HepG-2 细胞死亡具有明显的时间剂量效应; 且 HepG-2 细胞死亡是属于凋亡性质的细胞死亡, 其机制主要是蒜头果蛋白能够使 HepG-2 细胞的线粒体膜电位去极化增强, 使线粒体的功能下降, 从而诱导细胞凋亡。2016 年袁燕等^[23]采用圆二色谱和红外光谱等方法研究了蒜头果蛋白的微观结构, 发现蒜头果蛋白在顺式构型状态下较稳定, 是一种 $\alpha + \beta$ 型蛋白质, 为进一步研究蒜头果蛋白的结构与功能的关系奠定了基础。

2013 年唐婷范等^[24]采用一般碱法、超声波辅助和微波辅助从蒜头果壳和枝中提取木质素, 分别测定了蒜头果壳和枝中木质素含量及木质素提取率, 克拉森木质素定量法测得蒜头果壳和枝中木质素质量分数分别为 $44.41\% \pm 0.65\%$ 和 $34.57\% \pm 0.52\%$, 在碱浓度 0.5 mol/L、碱液量 30 mL/g、超声波处理时间 1 h、水浴温度 40 °C 的提取工艺条件下, 蒜头果壳和枝的木质素提取率分别为 $(45.21 \pm 0.59)\%$ 和 $(63.78 \pm 0.73)\%$ 。2016 年唐婷范等^[25]还以蒜头果的果壳为原料, 对其中的木脂素类化合物进行提取分离, 采用紫外-可见光度法测定了蒜头果果壳中总木脂素的提取率为 1.148%, 并经紫外和红外图谱分析表明, 蒜头果果壳木脂素保持了原有结构, 属于环新木脂烷类化合物。2019 年李云琴等^[26]采用 RT-PCR 的方法, 得到了蒜头果的 3-酮脂酰辅酶 A 合成酶基因的 cDNA 序列, 发现其与榴莲的 3-酮脂酰辅酶 A 合成酶的蛋白质序列同源性为 80.66%, 且该序列在蒜头果果实膨大期的基因表达量最高, 在叶片中却几乎不表达。

3 蒜头果的种植及生态适应性研究

蒜头果为我国特有的单种属植物, 目前已知的自然分布区仅限于云南东南部和广西西部的狭窄区域, 现为国家二级保护植物, 并被列入《中国植物红皮书》。因此, 对蒜头果种植技术及生态适应性的研究就显得格外重要。

3.1 蒜头果的种植 2013年余慧嵘^[27]在皖南地区气候条件下,采用不同的基肥对蒜头果引种育苗进行对比试验,发现磷肥对蒜头果播种苗生长的影响显著,且表现出了喜钙的特性。2014年蒋桂雄等^[28]对蒜头果等珍贵树种的高效栽培技术进行了研究,提出了一些具体栽培规范。同年,魏解冰^[29]根据编码 β -酮脂酰-辅酶A合酶的KCS基因的高度保守性设计引物,以蒜头果总DNA为模板,首次克隆了蒜头果中指导 β -酮脂酰-辅酶A合酶合成的MEX基因全长CDS序列,并且构建了种子特异性表达载体pNapinMEX;采用浸花法转化野生型拟南芥(Col-0),获得8株转基因植株;并测定了T1代转基因拟南芥种子的脂肪酸组分;采用农杆菌侵染法,以子叶柄作为外植体,转化了高芥酸含量的甘蓝型油菜品系GX-272,获得6株转化子并最终获得1株稳定遗传转化子。2016年卯吉华等^[30]通过对蒜头果芽苗砧嫁接技术的试验,建立了快速获得优良蒜头果无性系繁殖苗的体系,且嫁接成活率达90.2%。同年,卯吉华等^[31]还对蒜头果根系中丛枝菌根真菌和深色有隔内生菌的定殖状况进行了研究,发现蒜头果根系能被丛枝菌根真菌和深色有隔内生菌双重定殖,并形成良好的共生关系,且丛枝菌根真菌的平均定殖率(52.69%)高于深色有隔内生菌的平均定殖率(46.96%)。

3.2 生态适应性 钟军弟等^[32]采用样方法调查广西雅长兰科植物自然保护区内3个蒜头果天然林群落,并运用Levins指数和Schoener指数对各群落主要优势种的生态位宽度和生态位重叠进行了测度,结果发现,3个蒜头果天然林群落分别为榭栎群落、蒜头果-南酸枣-朴树群落和蒜头果-榭栎群落,各群落的性质和主要优势种组成及其在群落中的地位存在较大差异;榭栎群落主要优势种生态位宽度的大小顺序与其在群落中的地位基本一致,其他2个群落则变动较大;各优势种在不同群落的生态位宽度差异较大,其中蒜头果和南蛇藤对各资源位的生态适应性较好,而其他树种则有一定或较强的选择性;各群落的上层乔木之间或生态习性相近的下层乔木之间的生态位重叠值较大,资源竞争较为激烈;并针对各群落的演替趋势及蒜头果种群的生存现状,提出了蒜头果的主要保护对策为在实施全面封育的前提下,分别采取适度的疏伐、人工补植和抚育等措施。谢伟东等^[33]采用典型抽样和样方调查的方法,对珍稀濒危植物蒜头果的3个主要分布区域云南省广南县、广西雅长林场、广西龙虎山自然保护区的种群进行调查,以生存分析理论及种群生命表为基础,编制蒜头果的种群生命表、死亡率函数曲线、死亡密度函数曲线和生存曲线,发现蒜头果种群有2个死亡高峰,分别出现在Ⅲ龄级和Ⅵ龄级,Ⅵ龄级死亡率达到最高峰,存活曲线趋于Deevey-II型。吕仕洪等^[34]研究了蒜头果果实与种子的基本性状及在桂西南石漠化山区的适应性问题,发现果实鲜重、种子出仁率与种子鲜重间存在显著的正相关关系;蒜头果在灌丛和疏林适应性较好,可以直播造林,在草丛和裸地适应性较差,而不适宜直播造林。另外,他还研究表明,在桂西南石漠化山区灌、草丛的保育作用下,蒜头果种子发芽率较高,幼苗生长较快,可选择种子直播方式造林^[35]。

4 展望

综上所述可以看出,近30年来对蒜头果的研究可谓是寥寥无几,仅100余篇文献见报道,究其原因笔者认为主要有以下几个方面:①资源稀缺。如上所述,蒜头果为国家二级保护植物,已被列入《中国植物红皮书》,由此可见其资源拥有量非常少,而资源极少也就意味着开发价值不大,因为即便具有一定的开发价值也找不到资源可开发。②实用研究价值不高。就现有的报道来看,蒜头果中最有价值的成分就是油脂,含量高达62.3%,其中神经酸高达44.21%^[23]。另外还发现了一种毒性非常大的植物蛋白质malanin,但目前为止鲜见其应用的报道。③生长周期长。木本植物的生长周期普遍比较长,而蒜头果更是需要5~8年才能挂果产生收益,故让很多追求短、平、快的人们知难而退。④知名度不高。前述的3条导致了蒜头果得不到更多人的认可,故而得不到更多的宣传、传播,所以也就得不到更多学者的关注。

笔者认为对蒜头果的研究是具有很大意义的。首先,蒜头果濒临灭绝,从保护生物多样性的角度,对它的繁殖、种植的研究具有非常重要的意义;其次,我国植物油对外依存度已高达63%,国民食用油安全问题已成为国家安全的重要隐患。因此,大力发展油料作物也是当今我国油料作物种植业重要的任务之一。而在我国五大主要油料作物中,大豆中油脂含量仅有15%~20%,油菜籽中油脂含量占38%~46%,花生中油脂含量为45%左右,芝麻籽中油脂含量占43%~45%,向日葵籽中油脂含量占42%~45%^[36],但蒜头果中油脂含量却高达62.3%,因此,它是一种比较有开发前景的油料作物。第三,蒜头果主要生长在石漠化地区,即在石头缝里顽强地生长,因此,对其繁殖、种植条件的研究,将对石漠化地区人们经济收入的增加起着非常重要的作用。第四,蒜头果种植技术的研究,还将大大地有利于石漠化地区的植被绿化。第五,蒜头果的树形非常笔直、非常漂亮,也可以考虑作为行道树来加以发展。

总之,无论怎么发展,由于木本植物特别是蒜头果生长(挂果)速度慢的特点决定了蒜头果行业要得到发展,特别是在发展的初期,需要政府相关部门的大力扶持和培育,引导相关的企业或个人投入蒜头果的种植和开发研究行业中来,待到种植形成了一定的规模,5~8年挂果形成效益后,该行业自然会走上自我发展的良好道路,成为文山州农业经济的一个新的增长点。当然,植树造林、美化环境,这也符合习总书记提出的“把云南建成生态排头兵”的总目标,也绝对是一件功在当代、利在千秋的大好事情。

参考文献

- [1] 黄开响,赖家业,石海明,等.我国特有单种属植物蒜头果的保护与利用研究状况[J].广西农业生物科学,2008,27(S1):76-80.
- [2] 唐婷范.蒜头果有效成分及其生物活性研究[D].南宁:广西大学,2013.
- [3] 袁燕,李彬,刘晓芳,等.蒜头果种子中水溶性蛋白的提取及其抗氧化性[J].食品与发酵工业,2014,40(6):227-230.
- [4] 袁燕,李薇,李彬,等.蒜头果蛋白对人对白血病K562细胞体外生长的抑制作用[J].食品工业科技,2014,35(20):379-382.
- [5] 施蕊,李彪,王四海,等.蒜头果种仁油抗氧化活性成分研究[J].西南林业大学学报,2016,36(3):44-48.

- [19] DALLY J M, CLAYTON N S, EMERY N J. The behaviour and evolution of cache protection and pilferage[J]. *Animal behaviour*, 2006, 72(1): 13-23.
- [20] HOPEWELL L J, LEAVER L A, LEA S E G, et al. Grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) show a feature-negative effect specific to social learning[J]. *Animal cognition*, 2010, 13(2): 219-227.
- [21] LEAVER L A, HOPEWELL L, CALDWELL C, et al. Audience effects on food caching in grey squirrels (*Sciurus carolinensis*): Evidence for pilferage avoidance strategies[J]. *Animal cognition*, 2007, 10(1): 23-27.
- [22] DALLY J M, CLAYTON N S, EMERY N J. The behaviour and evolution of cache protection and pilferage[J]. *Animal behaviour*, 2005, 72(1): 13-23.
- [23] CLARY D, KELLY D M. Cache protection strategies of a non-social food-caching corvid, Clark's nutcracker (*Nucifraga columbiana*) [J]. *Animal cognition*, 2011, 14(5): 735-744.
- [24] SMITH C C, REICHMAN O J. The evolution of food caching by birds and mammals[J]. *Annual review of ecology and systematics*, 1984, 15(1): 329-351.
- [25] CLARKE M F, KRAMER D L. Scatter-hoarding by a larder-hoarding rodent: Intraspecific variation in the hoarding behaviour of the eastern chipmunk, *Tamias striatus* [J]. *Animal behaviour*, 1994, 48(2): 299-308.
- [26] HURLY T A, LOURIE S A. Scatterhoarding and larderhoarding by red squirrels: Size, dispersion, and allocation of hoards [J]. *Journal of mammalogy*, 1997, 78(2): 529-537.
- [27] HUANG Z Y, WANG Y, ZHANG H M, et al. Behavioural responses of sympatric rodents to complete pilferage [J]. *Animal behaviour*, 2011, 81(4): 831-836.
- [28] 焦广强, 于飞, 牛可坤, 等. 种内及种间干扰对围栏内花鼠分散贮藏行为的影响[J]. *兽类学报*, 2011, 31(1): 62-68.
- [29] MCNAMARA J M, HOUSTON A I, KREBS J R. Why hoard? The economics of food storing in tits, *Parus* spp. [J]. *Behavioral ecology*, 1990, 1(1): 12-23.
- [30] 张洪茂, 张知彬. 围栏条件下影响岩松鼠寻找分散贮藏核桃种子的关键因素[J]. *生物多样性*, 2007, 15(4): 329-336.
- [31] 刘长渠, 王振宇, 易现峰, 等. 贮藏点深度、大小及基质含水量对花鼠找寻红松种子的影响[J]. *兽类学报*, 2016, 36(1): 72-76.
- [32] RUSCH U D. Scatter-hoarding in *Acomys subspinosus*: The roles of seed traits, seasonality and cache retrieval [D]. Stellenbosch: Stellenbosch University, 2011.
- [33] CLARKSON K, EDEN S F, SUTHERLAND W J, et al. Density dependence and magpie food hoarding [J]. *The journal of animal ecology*, 1986, 55: 111-121.
- [34] HOPEWELL L J, LEAVER L A, LEA S E G. Effects of competition and food availability on travel time in scatter-hoarding gray squirrels (*Sciurus carolinensis*) [J]. *Behavioral ecology*, 2008, 19(6): 1143-1149.
- [35] GÁLVEZ D, KRANSTAUBER B, KAYS R W, et al. Scatter hoarding by the Central American agouti: A test of optimal cache spacing theory [J]. *Animal behaviour*, 2009, 78(6): 1327-1333.
- [36] DALY M, JACOBS L F, WILSON M I, et al. Scatter hoarding by kangaroo rats (*Dipodomys merriami*) and pilferage from their caches [J]. *Behavioral ecology*, 1992, 3(2): 102-111.
- [37] DALLY J M, EMERY N J, CLAYTON N S. The social suppression of caching in western scrub-jays (*Aphelocoma californica*) [J]. *Behaviour*, 2005, 142(7): 961-977.
- [38] ZHANG H M, GAO H Y, YANG Z, et al. Effects of interspecific competition on food hoarding and pilferage in two sympatric rodents [J]. *Behaviour*, 2014, 151(11): 1579-1596.
- [39] STEELE M A, CONTRERAS T A, HADJ-CHIKH L Z, et al. Do scatter hoarders trade off increased predation risks for lower rates of cache pilferage? [J]. *Behavioral ecology*, 2014, 25(1): 206-215.
- [40] JENKINS S H, PETERS R A. Spatial patterns of food storage by Merriam's kangaroo rats [J]. *Behavioral ecology*, 1992, 3(1): 60-65.
- [41] LUO Y, YANG Z, STEELE M A, et al. Hoarding without reward: Rodent responses to repeated episodes of complete cache loss [J]. *Behavioural processes*, 2014, 106: 36-43.
- [42] SUSELBECK L, ADAMCZYK V M A P, BONGERS F, et al. Scatter hoarding and cache pilferage by superior competitors: An experiment with wild boar, *Sus scrofa* [J]. *Animal behaviour*, 2014, 96: 107-115.
- [43] 梁振玲, 马建章, 戎可. 动物分散贮藏行为对植物种群更新的影响 [J]. *生态学报*, 2016, 36(4): 1162-1169.
- [44] 路纪琪, 张知彬. 啮齿动物分散贮藏的影响因素 [J]. *生态学杂志*, 2005, 24(3): 283-286.
- [45] PEREA R, MIGUEL A S, GIL L. Acorn dispersal by rodents: The importance of re-dispersal and distance to shelter [J]. *Basic and applied ecology*, 2011, 12(5): 432-439.

(上接第10页)

- [6] 赖家业, 杨振德, 文祥凤. 两种立地条件下蒜头果叶绿素含量比较研究 [J]. *广西植物*, 1999, 19(3): 272-276.
- [7] 张磊. 蒜头果中金属元素与多糖的研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [8] 薛冰, 邵志凌. 云南蒜头果油的特征指标及脂肪酸组成研究分析 [J]. *粮食储藏*, 2015, 44(1): 44-45, 48.
- [9] 罗爱勤, 陈亮, 王小妹, 等. 超临界 CO₂ 流体萃取蒜头果油工艺研究 [J]. *中药材*, 2015, 38(6): 1295-1298.
- [10] 张茜, 谭瑜, 李雁群, 等. GC-MS 测定蒜头果油中的脂肪酸含量 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(5): 15-17.
- [11] 郝旭亚, 李伟光, 刘雄民, 等. 气相色谱外标法测定神经酸 [J]. *应用化工*, 2011, 40(3): 545-546, 549.
- [12] 罗爱勤, 王小妹, 刘春芳, 等. 蒜头果油中神经酸的含量测定 [J]. *中国当代医药*, 2014, 21(14): 14-16.
- [13] 王凡. 蒜头果内生真菌发酵产神经酸油脂的研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [14] 赖芳, 刘雄民, 李伟光, 等. 气相色谱外标法测定环十五内酯 [J]. *食品科学*, 2009, 30(10): 159-161.
- [15] 黄林华, 刘雄民, 李伟光, 等. 蒜头果油中长链脂肪酸选择性合成大环内酯 [J]. *应用化工*, 2011, 40(1): 58-61.
- [16] 周琴芬, 李杰, 谈满良, 等. 响应面实验优化蒜头果油中神经酸甘油酯皂化工艺 [J]. *中国油脂*, 2016, 37(8): 45-48.
- [17] 沈芳. 两种体系中的 15-羧基十五烷酸甲酯酶催化合成环十五内酯及动力学研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2011.
- [18] YUAN Y, DAI X C, WANG D B, et al. Purification, characterization and cytotoxicity of malanin, a novel plant toxin from the seeds of *Malania oleifera* [J]. *Toxicon*, 2009, 54(2): 121-127.
- [19] 袁燕, 张薇, 戴建辉, 等. 荧光光谱法研究蒜头果蛋白与金属离子的相互作用 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(12): 3297-3300.
- [20] 袁燕, 张薇, 戴建辉, 等. 荧光法测定蒜头果蛋白中 Trp 的含量 [J]. *昆明: 云南民族大学学报(自然科学版)*, 2014, 23(4): 256-258.
- [21] 袁燕, 王红斌, BARROW C J, 等. SDS-PAGE 电泳法测定蒜头果蛋白的相对分子质量 [J]. *云南民族大学学报(自然科学版)*, 2015, 24(2): 123-125.
- [22] 张薇. 蒜头果蛋白诱导 HepG-2 细胞凋亡的研究 [D]. 昆明: 云南民族大学, 2015.
- [23] 袁燕, 梅双喜. 蒜头果蛋白的红外光谱及圆二色谱分析 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(33): 116-117.
- [24] 唐婷范, 刘雄民, 郭占京, 等. 蒜头果木质素提取及成分分析 [J]. *精细化工*, 2013(5): 591-594.
- [25] 唐婷范, 田玉红. 蒜头果壳木质素提取及成分研究 [J]. *食品科技*, 2016, 41(3): 234-236, 242.
- [26] 李云琴, 陈中华, 原晓龙, 等. 蒜头果中 3-酮酯酰-CoA 合酶基因克隆与表达分析 [J]. *中国油脂*, 2019, 44(3): 128-133.
- [27] 余慧嵘. 不同基肥对蒜头果幼苗生长的影响 [J]. *安徽林业科技*, 2013, 39(4): 33-35.
- [28] 蒋桂雄, 朱积余. 广西珍贵树种高效栽培技术(连载) [J]. *广西林业*, 2014(9): 44-45.
- [29] 魏解冰. 蒜头果 *MEX* 基因的克隆及植物转化 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [30] 卯吉华, 贾代顺, 陈福, 等. 中国特有珍稀植物蒜头果嫁接繁殖技术 [J]. *林业科技通讯*, 2016(2): 35-37.
- [31] 卯吉华, 贾代顺, 景跃波, 等. 野生蒜头果从枝菌根真菌和深色有隔内生真菌调查研究 [J]. *中国林副特产*, 2016(5): 1-4.
- [32] 钟军弟, 叶铨, 吕仕洪, 等. 珍稀濒危植物蒜头果天然林优势种群的生态位研究 [J]. *福建林业科技*, 2009, 36(4): 121-126.
- [33] 谢伟东, 陈建华, 赖家业, 等. 珍稀濒危植物蒜头果种群生命表分析 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2009, 29(2): 73-76.
- [34] 吕仕洪, 韦春强, 黄甫昭, 等. 珍稀树种蒜头果种实性状及其在石漠化山区的适应性 [J]. *生态学杂志*, 2016, 35(1): 57-62.
- [35] 吕仕洪, 黄甫昭, 陆树华, 等. 桂西南石漠化山区灌草丛对青冈和蒜头果直播造林的影响 [J]. *植物科学学报*, 2016, 34(1): 38-46.
- [36] 姜正, 刘清, 师建芳, 等. 我国主要油料作物加工现状 [J]. *粮油加工: 电子版*, 2015(2): 28-34, 38.