

辣木中功能性成分提取及产品开发生的研究进展

刘凤霞, 王苗苗, 赵有为, 徐晓云, 潘思轶*
(华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 辣木是一种营养极其丰富、功能神奇的植物资源, 其根、茎、叶、花、种子、枝和树皮等均有重要的开发利用价值。本文综述近几年来辣木中主要功能性成分: 辣木籽油、辣木黄酮及多酚、多糖及苷类、辣木蛋白等的提取及辣木系列产品开发生的研究进展, 并对我国辣木的开发生利用前景进行展望。

关键词: 辣木; 功能性成分; 提取; 开发生

Extraction of Functional Components from *Moringa oleifera* and Development of *Moringa oleifera*-Based Products

LIU Fengxia, WANG Miaomiao, ZHAO Youwei, XU Xiaoyun, PAN Siyi*
(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: *Moringa oleifera* is a miraculous plant with high nutritional value. Almost all parts of this plant including roots, stems, leaves, flowers, seeds, branch and bark are reported to have important medicinal values. This article reviews the recent progress made in the extraction of functional components from *Moringa oleifera*, including seed oil, phenolics and flavonoids, polysaccharides and proteins, as well as in the development of *Moringa oleifera*-based products. Furthermore the application prospect of *Moringa oleifera* in China is discussed as well.

Key words: *Moringa oleifera*; functional components; extraction; product development

中图分类号: TS202.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)19-0282-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201519051

辣木 (*Moringa oleifera*, 或 drumstick tree、horseradish tree), 为辣木科辣木属多年生植物, 是原产于印度北部喜马拉雅山南麓的速生树种, 耐旱力强, 喜生于砂壤土^[1]。多年来, 辣木被西方科学家誉为上帝赐给人类的珍贵礼物, 人们把这种礼物叫做“奇迹之树 (miracle tree)”。辣木的根、茎、叶、花、种子、枝和树皮均含有丰富的营养和药用成分, 是高蛋白质、高钙、高钾、高镁、高纤维、高维生素、低脂肪、低胆固醇, 能增加体力、减肥健身、降血压、控制糖尿病、克服失眠、治疗贫血、抑制病菌的优质保健食品原料^[2]。Discovery健康频道报道了加州大学安贺许教授对辣木的高度评价: “辣木是一种完美植物, 它含有丰富的蛋白质、维生素及氨基酸及其他营养成分, 不仅是发达国家素食者的理想食物, 还是贫穷地区妇女和儿童的天然营养库”^[3]。

中国最初引种辣木始于20世纪60年代初云南, 但最初是作为药用植物, 种植规模较小^[1]。随后, 认识到辣木重要的营养和药用价值, 越来越多的地区开始重视辣木的引种培育及开发生利用, 到目前为止在我国台湾、

广东、广西和福建等地均有辣木种植基地。近几年来, 国家对辣木的引种及研究开发生表现出了高度的重视, 2006年10月, 我国“十一五”规划确定将辣木作为“商品林定向培育及高效利用关键技术研究”重点研究对象之一^[4]。2012年11月, 我国卫生部批准辣木叶作为新资源食品^[5], 随后中国热带农业科学院成立辣木研究中心, 加快新品种培育、栽培及病虫害防治新技术的研究推广^[6]。到2014年7月, 习近平访问古巴时将辣木种子作为国礼赠送给古巴革命领导人菲德尔·卡斯特罗, 宣布成立古巴-中国辣木科技合作中心, 辣木在中国名声大噪^[7]。

早期关于辣木的研究, 多集中在其传统利用 (食用和药用)、育种和栽培技术、饮水净化^[8]及作为植物蛋白饲料^[3]方面, 目前为止, 在这些方面的综述也比较多, 本文中不再赘述。近几年来, 在人们日渐重视追求健康和预防各种文明病的大环境中, 研究学者们对辣木中功能性物质的提取、分离及其对人体健康的作用机理方面则更为关注, 更加注重辣木的营养价值和保健功能, 将辣木作为加工食品的原料, 提取功能性成分, 开发生保健食品。本文将重点对近几年来国内外对辣木功能性成分

收稿日期: 2014-12-04

基金项目: 湖北省自然科学基金面上项目 (2015CFB390); 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (2662014BQ055)

作者简介: 刘凤霞 (1987—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: liufxia@mail.hzau.edu.cn

*通信作者: 潘思轶 (1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工化学。E-mail: pansiyi@mail.hzau.edu.cn

的提取及相关产品的开发研究进展进行综述, 以期为我国辣木资源深度开发利用提供有用信息。

1 辣木中的主要功能性成分

1.1 脂肪酸

辣木种子中含有丰富的油脂: 辣木籽油(含量42%~54%), 呈淡黄色, 具有无味、不易胶黏、不易腐败等优良特性。研究表明, 辣木籽油中含有丰富的脂肪酸, 其脂肪酸的种类组成与橄榄油不相上下, 但不饱和脂肪酸比例更高(不饱和脂肪酸含量约为82%, 其中油酸含量高达70%), 因此被认为是优质的食用油来源^[9]。

1.2 蛋白质和氨基酸

辣木蛋白是一种很有开发价值的功能性成分, 研究证实, 辣木叶及种仁中蛋白质含量为牛奶的4倍, 辣木片干粉中含有27.1%的粗蛋白质。因此, 辣木不仅是发达国家素食者的理想食物, 还是贫穷地区妇女和儿童的天然营养库。另外, 辣木中含有多种人体必需的氨基酸, 尤以赖氨酸和苏氨酸含量最高^[10]。

1.3 黄酮和多酚类化合物

辣木不同器官中均含有一定量的黄酮类化合物, 其中以花柄中含量最多, 根中最少, 含量变化范围为0.53%~4.47%^[11]。据大量的文献报道, 辣木叶的水提物或醇提物具有显著的抗菌^[12]、抗炎^[13]、抑制人体癌细胞增殖并促进其凋亡^[14]、清除人体内自由基、抗氧化^[15-16]及减轻 γ 射线辐照对小鼠引起的氧化损伤^[17]等作用, 这主要是由于提取液中富含多酚类(槲皮素、山萘酚、绿原酸等)和黄酮类化合物的作用。

1.4 多糖

辣木多糖为辣木中重要的有效成分之一, 辣木不同器官的多糖含量以根中最多, 叶柄中最少, 其含量变化范围为8.16%~33.61%^[18]。

1.5 维生素

辣木叶含有丰富的维生素, 其中VC、VE、叶酸、泛酸和生物素等含量较高。据报道, 辣木叶中VC含量是柑橘的7倍、VA含量是胡萝卜的4倍。研究证实, 100 g的辣木叶中含155.67 mg VE, 每日摄入25 g辣木叶粉就能完全满足不同人群摄入VE所需的量^[3]。

1.6 其他

除上述常见的功能性成分外, 辣木中还含有多种无机元素, 其中Ca、K、P、S、Mg含量均较高。辣木叶中所含的K是香蕉的3倍, Fe是菠菜的3倍^[19]。100 g辣木叶粉里Ca、Fe、K含量分别为奶粉和黄豆粉的3.49、11.28、3.92倍和11.39、1.67、0.93倍^[3]。

2 辣木中功能性成分提取及其生物活性研究进展

近几年来, 国内外对辣木的研究多集中在对其中功能性成分的提取、分离、鉴定及相关生物活性的研究, 其中对辣木籽油、辣木黄酮及多酚、多糖及苷类、辣木蛋白等功能性成分提取分离是当下研究的热点。

2.1 辣木籽油

传统的辣木籽油提取主要是通过螺旋挤压和有机溶剂等方法, 然而前者存在出油率低, 后者虽然可保证较高的出油率但存在有机溶剂残留的问题, 因此新型提取技术的研究是促进辣木籽油工业化生产的重要因素。Ruttarattanamongkol等^[20]报道, 超临界CO₂可有效地用于辣木籽油的提取, 35 MPa/30 °C条件下提取率最高, 达到75.27%; 提取压力、温度、时间均对辣木油的提取率有显著影响, 其中温度影响最大^[21], 而一定温度条件下, 辣木籽油在超临界CO₂中的溶解度随压力的增加和提取时间的延长而增大^[22]。另外, 为进一步提高提取率, Nguyen等^[23]首先应用乙醇对辣木籽进行预处理, 再进行超临界CO₂提取, 出油率可提高10%。

除了作为食用油, 由于其优良特性辣木籽油还被广泛应用于化妆品、润滑油和生物燃油等的制备。据报道, 辣木籽油中游离脂肪酸含量较低(0.35%~0.60%), 因此, 在碱性条件催化下可实现一步转化为生物燃料^[9,24], 另外也有以硫酸氧化锡作为多相催化剂催化辣木籽油生成生物燃料的报道^[25]。以辣木籽油为原料制备的生物燃料, 油酸含量高(>73%)、多聚不饱和脂肪酸含量很低(<1%), 因此其热氧化稳定性极高; 但由于浊点和倾点较高(10 °C和3 °C), 也一定程度上限制了其在低温条件下的使用^[9,25]。

国内对辣木籽油的研究还停留在提取纯化及生物活性研究阶段, 对辣木籽油的深度利用还有待进一步加强。段琼芬^[26]和马李一^[27]等应用不同提取技术(超声波辅助溶剂萃取、超临界CO₂萃取法、水酶法)提取辣木籽油, 并对辣木籽油的抗氧化稳定性和其对家兔皮肤创伤的保护作用^[28]及对小鼠抗紫外线损伤的保护作用^[26]进行了验证性研究。余建兴^[29]以辣木种子为原料, 对辣木籽油提取技术、抗氧化稳定性以及辅助降血脂作用进行系统的研究, 表明超声波辅助提取技术是理想的辣木籽油提取方法, 粗脂肪含量37.2%, 常温下避光贮存的辣木籽油货架期可达400 d, 有很好的辅助降血脂功能。刘冰等^[30]研究发现辣木籽油对糖尿病、脑病表现出良好的神经保护作用。

2.2 辣木黄酮及多酚类化合物

Vongsak等^[16]应用不同的提取技术(挤压、煎煮、浸泡、渗流和索氏提取)提取辣木中的多酚及黄酮类物质, 发现70%的乙醇溶液浸泡提取可获得最大的提取

率,同时提取液的抗氧化活性也最高。然而通常情况下由于溶剂萃取法中使用的有机溶剂易引起环境及食品污染,科学家们对新型的绿色提取技术也进行了探索性研究,Matshediso等^[11]采用高压热水法提取辣木叶中的黄酮和多酚类化合物,并对提取工艺进行了优化,有效地避免了由于有机溶剂残留导致的产品品质问题。

国内学者也对辣木黄酮及多酚进行了系列研究,主要针对提取工艺的优化及生物活性的验证。张涛等^[31]等证明超声波能显著提高辣木叶中总黄酮的浸提效果,并确定了超声波提取辣木叶黄酮的最佳工艺:水为溶剂,室温超声40 min,工作间歇比2 s/2 s,循环泵25 r/s,超声功率1 200 W,总黄酮提取率为96%。孙鸣燕^[18]和陈瑞娇^[32]等采用乙醇回流法研究辣木叶总黄酮的提取效果,并对辣木叶黄酮降低小鼠血糖水平的作用进行了验证性研究。

2.3 辣木多糖和苷类化合物

梁鹏等^[33]以辣木茎叶干粉为原料,以水为提取溶剂对辣木茎叶中的植物多糖进行提取,并且对其提取物进行体外功能实验,证明了辣木多糖的抗氧化活性。孙鸣燕^[34]采用苯酚-硫酸法探讨了辣木叶龄、器官、产地、采收期、管理水平、朝向等与辣木叶多糖含量的关系。

糖苷类化合物是单糖半缩醛羟基与另一个非糖分子的羟基、胺基或巯基缩合形成的含糖衍生物,是辣木中存在的另一种重要的功能性成分。芥子油苷(硫代葡萄糖苷)是一类葡萄糖衍生物的总称,广泛存在于十字花科等植物中。据报道,辣木中的芥子油苷存在于辣木叶的甲醇或水提取液中,具有抗菌、抗炎、抗癌的作用,Förster等^[35]用甲醇提取辣木叶中芥子油苷,醋酸铵为缓冲液进行高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定,建立了一种辣木芥子油苷的提取及定量新方法,有效地避免了天然芥子油苷的转化和降解。芥子油苷本身是一种稳定的化合物,但在硫苷酸酶的催化作用或加压热处理条件下会发生降解并生成多种降解产物,如异硫氰酸盐类物质。Waterman等^[36]以天然黑芥子硫苷酸酶催化辣木叶水提浓缩液中芥子油苷转化为异硫氰酸盐,并发现得到的异硫氰酸盐具有减轻慢性疾病中轻度炎症的功效。

2.4 辣木蛋白

目前为止,有关辣木蛋白在饲料、净水等方面的应用报道较多,本文不再赘述,此处主要针对新型辣木蛋白在其他方面的应用研究进行综述。

植物凝血素是一种与细胞质膜上的特定碳水化合物结合的植物糖蛋白,能加速动物淋巴细胞的增殖和红细胞的凝结。Katre等^[37]发现辣木中含有一种植物凝血素(*Moringa oleifera* lectin, MoL)能够促进人、兔凝血,且其促凝性受特异性糖蛋白的影响。Santos等^[38]从辣木种子中提取纯化出另一种新型的植物凝血素蛋

白(coagulant *Moringa oleifera* lectin, cMoL),该蛋白具有较强的热稳定性及pH值稳定性,100 °C条件下可稳定存在7 h,可作为天然凝聚剂用于污水处理。Luz等^[39]对cMoL的具体结构及其凝血功能进行了表征,结果表明cMoL由101个氨基酸组成,等电点11.67;同时发现cMoL可有效地延长凝血时间,这也是目前为止辣木中发现的唯一具有抗凝血作用的蛋白。

另外,有报道表明,辣木还可作为蛋白酶抑制剂的重要来源。Bijina等^[40]对辣木中的蛋白酶抑制剂进行了分离、纯化和特性表征,表明辣木中提取的蛋白酶抑制剂在pH 7、温度40 °C条件下活性最高,属于丝氨酸蛋白酶抑制剂家族,可作用于如胰蛋白酶及胰凝乳蛋白酶等,因此辣木可作为重要的抗虫害、抗病毒和抗癌药物的原料。同时,该蛋白酶抑制剂还可作为海产品保鲜剂,防止海产品贮藏过程中蛋白质的水解^[41]。而Sashidhara等^[42]从辣木根中提取出半胱氨酸蛋白酶抑制剂,并证明其具有抗炎和镇痛的作用。

国内对辣木蛋白的研究缺乏针对性,主要研究不同提取技术对辣木中总蛋白提取效果的影响。阚欢等^[43]以辣木叶粉为原料,采取复水、均质、浸提及等电点法,提取其中的蛋白质,提取率达到70%。而熊瑶^[10]采用不同的方法提取辣木叶中的蛋白质,发现复合蛋白酶法提取效果最好,微波法提取时间最短。

2.5 其他

Satish等^[44]证明辣木根的热水提取物具有一定的抗诱变活性,Jaiswal^[45]和Yassa^[46]等发现辣木叶的水提取物具有降血糖的作用,Choudhary等^[47]发现辣木根和辣木树皮的乙醇提取物具有抗溃疡的作用,辣木叶的乙醇提取物具有镇静催眠、抗惊厥的作用,可以肯定这些作用与辣木提取液中所含有的活性成分密切相关,但上述作用的具体机理尚待进一步研究。

3 辣木系列产品开发研究进展

由于辣木中含有丰富的功能性成分,近年来人们对辣木系列产品开发研究的兴趣日趋浓厚,根据国内外辣木研究、开发的趋势和市场,辣木产品的开发利用主要集中在以下几个方面。

3.1 传统食品

辣木的全株几乎都具有食用价值,尤其可作为婴儿及哺乳期妇女的营养食品。世界各国都有用辣木烹制食物的习惯。在马来西亚,辣木种子被用来直接食用,嫩叶可被做成凉拌菜、蔬菜咖喱等;在孟加拉国、马尔代夫、泰国、柬埔寨等国家,辣木叶是当地一种常见的蔬菜,也可被做成调味料供日常使用。2007年,菲律宾参议员提议将辣木作为本国优先种植作物推广种植。

在我国辣木主产区,辣木也作为一种蔬菜被广泛食用,被加工成各种食物如辣木营养面、辣木健康饼、辣木汤、辣木炒菜等。辣木叶作为蔬菜鲜食的同时,也被干燥后加工成辣木粉,马李一等^[48]研究了不同干燥方法对辣木叶营养价值(矿物质、维生素、蛋白质及粗脂肪等)的影响,结果表明在辣木叶各种干燥方法中,冷冻干燥方法对辣木叶矿物质元素、蛋白质和粗脂肪含量的影响较小,微波法和红外线干燥法对VC、VE和VB₂含量破坏最小。

Teixeira等^[49]报道,尽管辣木叶中含有丰富的蛋白质,但大部分蛋白溶解性低、吸收利用率低,因此辣木叶是否适合作为人类饮食中蛋白质来源还需进一步研究。也有报道称辣木根中可能含有生物碱如辣木素、辣木种子中含有一定的生物碱和皂苷,食用不当会引起流产,大量摄取甚至危及生命,因此对辣木作为传统食品的安全性评价研究也显得很有必要^[50]。

3.2 功能食品

如上所述,辣木中含有丰富的天然活性成分,因此辣木除了可作为一种新颖适口的热带蔬菜开发外,更重要的价值在于加工、开发出形式多样的功能食品或添加剂,以适应市场,获取较高的经济效益。

在美国、英国、澳大利亚等一些发达国家对辣木研究投入较大,在美国华盛顿大学、普渡大学、英国莱斯特大学等均设有专门研究辣木的机构,市场上已有辣木胶囊、辣木片剂、辣木油、辣木营养粉、辣木保健茶等成熟产品。

我国对辣木功能性食品的开发方面相对滞后。段琼芬等^[51]采用辣木籽油为基质,辅以植物甾醇等功效成分,研制出了一种天然的解酒产品辣木解酒护胃胶囊,并对其抗醉酒功效进行初步动物实验,证明该产品有抗小鼠醉酒的作用。贺银凤等^[52]以脱脂奶粉为主要原料,添加辣木汁,研制出辣木风味营养型酸奶。熊瑶^[10]从辣木叶中提取蛋白,研制并确定了清型辣木蛋白饮料和辣木蛋白奶茶的最佳配方。阚欢^[53]以辣木叶为原料,选用超微粉碎米粉辣木叶粉,利用聚乙烯吡咯烷酮的水溶液对辣木叶粉进行制粒、压片、制备辣木叶片剂,产品有辣木叶清香味、硬度适中、具有较好的溶解性和分散性,微生物指标符合国家卫生标准。随着辣木成为研究热点,中国多家生物科技公司也开始投入研发辣木系列产品,主要包括辣木茶、辣木酒、辣木汤料、辣木营养粉、辣木酒、辣木片剂、辣木胶囊、辣木罐头等,部分辣木产品已可见于中国市场,但相比国外市场仍是凤毛麟角。

3.3 饮水处理剂

辣木活性凝结成分能除去99%的细菌,处理后的饮用水没有副作用,是最有希望天然凝聚剂,通常辣木种子榨油后其中可用作净水处理的生物活性蛋白并未减少,因此生产辣木籽油后的油饼可进一步加工成饮水处理剂^[54]。随着工业的发展,工业废水污染严重,故开发辣木饮水或废水处理剂有良好的产品市场前景^[55]。国内

外已有许多辣木净水蛋白方面的研究,对其综述也较详尽^[3],本文中不再赘述。

3.4 日化用品原料

辣木成熟种子含38%~40%的非干性油,其中油酸占73%以上^[29]。辣木籽油性质稳定,未精炼辣木籽油的油脂氧化诱导期(在120℃时)是橄榄油的9倍,精炼辣木籽油的油脂氧化诱导期是橄榄油的2.5倍,脂肪酸种类与橄榄油的相似,不易发生氧化腐败,是化妆品的优良原料^[28]。

目前,辣木提取液已广泛用于膏霜、乳液、面膜、洗发护发、眼部等化妆品美容领域,如辣木多效洗发液、沐浴液、辣木洁面素、辣木拉丝面膜、辣木润肤霜、辣木补水日霜、辣木晚霜、辣木去痘霜等新产品丰富了人们的需求^[3]。

3.5 其他产品

辣木全株都可作为高蛋白植物性蛋白饲料,提取油后的油饼含58.9%的粗蛋白;树干是造纸工业很好的原料;根部含有0.2%的生物碱,特别是辣木素和凤尾辣木素有明显的杀菌作用,可开发成天然清洁剂和生物农药;废弃的残渣可作为土壤改良剂和有机肥^[3]。

4 结语

作为一种具有丰富营养组成及药用价值的植物,辣木具有极大的开发潜力,而我国仅在广东、广西、云南、海南、台湾有种植,且种植规模小,因此要适当加快良种引进,实行规范化栽培,为辣木的深度开发利用提供优质原料资源。近几年来,国内的研究学者对辣木各部分活性成分的提取及其作用进行了一定的探索性研究,但其具体作用机制还有待于进一步深入。在产品开发方面,辣木食品在欧美早已成为流行的保健食品,而我国对辣木系列产品的开发仍不成熟,随着世界经济的发展,国内对辣木诸产品的需求量将越来越大,因此辣木产品的开发在我国功能食品市场上具有极大的潜力。另外,考虑到辣木保健食品的生产成本,应加强开发高效、低耗的活性成分提取分离技术以降低生产成本、提升产品品质。

参考文献:

- [1] JAHN S A A. On the introduction of a tropical multipurpose tree to China: traditional and potential utilization of *Moringa oleifera* Lamarck.[J]. *Senckenbergiana Biologica*, 1996, 75(1/2): 243-254.
- [2] COPPIN J P H, JULIANI H R, WU Qingli, et al. Variations in polyphenols and lipid soluble vitamins in *Moringa oleifera*[M]// PREEDY V. Processing and Impact on Active Components in Food, Pittsburgh: Academic Press, 2015: 655-663. doi: 10.1016/B978-0-12-404699-3.00079-2.
- [3] 段琼芬,李迅,陈思多,等.辣木营养价值的开发利用[J].安徽农业科学,2008,36(29):12670-12672.
- [4] 国家林业局.关于发布“十一五”科技支撑计划“商品林定向培育及高效利用关键技术研究”重点项目申请指南的通知[EB/OL].(2006-10-16)[2015-09-24].http://www.most.gov.cn/tztg/200610/t20061025_36697.htm.

- [5] 卫生部. 关于批准蛋白核小球藻等4种新资源食品的公告(2012年第19号)[EB/OL]. (2012-12-13)[2015-09-24]. <http://www.moh.gov.cn/sps/s7891/201212/5d4c82e89a9e4713aba8f782eca51e09.shtml>.
- [6] 中国热带农业科学院. 中国热科院成立辣木工程技术研究中心力促产业化[EB/OL]. (2014-09-10)[2015-09-24]. <http://www.catas.cn/Detail?id=17933&classid=9>.
- [7] 李忠发, 李建敏. 习近平探望古巴革命领袖菲德尔·卡斯特罗[EB/OL]. (2014-07-23)[2015-09-24]. http://news.xinhuanet.com/world/2014-07/23/c_1111749914.htm.
- [8] 张重权, 马李一, 王有琼, 等. 辣木天然净水剂研究进展[J]. 水处理技术, 2009, 35(2): 9-13.
- [9] SALAHELDEEN M, AROUA M K, MARIOD A A, et al. An evaluation of *Moringa peregrina* seeds as a source for bio-fuel[J]. Industrial Crops and Products, 2014, 61: 49-61.
- [10] 熊瑶. 辣木叶蛋白质提取及其饮品研制[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 10-15.
- [11] MATSHEDISO P G, CUKROWSKA E, CHIMUKA L. Development of pressurised hot water extraction (PHWE) for essential compounds from *Moringa oleifera* leaf extracts[J]. Food Chemistry, 2015, 172: 423-427.
- [12] GOVARDHAN S R S, NEGI P S, RADHA C. Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of free and bound phenolic extracts of *Moringa oleifera* seed flour[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1883-1891.
- [13] CHEENPRACHA S, PARK E J, YOSHIDA W Y, et al. Potential anti-inflammatory phenolic glycosides from the medicinal plant *Moringa oleifera* fruits[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2010, 18(17): 6598-6602.
- [14] SREELATHA S, JEYACHITRA A, PADMA P R. Antiproliferation and induction of apoptosis by *Moringa oleifera* leaf extract on human cancer cells[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(6): 270-275.
- [15] VEMA A R, VIJAVAKUMAR M, MATHELA C S, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(9): 2196-2201.
- [16] VONGSAK B, SITHISAM P, GRISANAPAN W. Bioactive contents and free radical scavenging activity of *Moringa oleifera* leaf extract under different storage conditions[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 49: 419-421.
- [17] MANSOUR H H, ISMAEL N E R, HAFEZ H F. Modulatory effect of *Moringa oleifera* against gamma-radiation-induced oxidative stress in rats[J]. Biomedicine & Aging Pathology, 2014, 4(3): 265-272.
- [18] 孙鸣燕, 王羽梅. 辣木叶总黄酮提取方法的优化研究[J]. 韶关学院学报: 自然科学版, 2007, 28(12): 88-92.
- [19] SAINI R K, MANOJ P, SHETTY N P, et al. Dietary iron supplements and *Moringa oleifera* leaves influence the liver hepcidin messenger RNA expression and biochemical indices of iron status in rats[J]. Nutrition Research, 2014, 34(7): 630-638.
- [20] RUTTARATTANAMONGKOL K, SIEBENHANDL-EHN S, SCHREINER M, et al. Pilot-scale supercritical carbon dioxide extraction, physico-chemical properties and profile characterization of *Moringa oleifera* seed oil in comparison with conventional extraction methods[J]. Industrial Crops and Products, 2014, 58: 68-77.
- [21] ZHAO Suwei, ZHANG Dongke. Supercritical fluid extraction and characterisation of *Moringa oleifera* leaves oil[J]. Separation and Purification Technology, 2013, 118(6): 497-502.
- [22] ZHAO Suwei, ZHANG Dongke. An experimental investigation into the solubility of *Moringa oleifera* oil in supercritical carbon dioxide[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 138: 1-10.
- [23] NGUYEN H N, GASPILLO P D, MARIDABLE J B, et al. Extraction of oil from *Moringa oleifera* kernels using supercritical carbon dioxide with ethanol for pretreatment: optimization of the extraction process[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2011, 50(11/12): 1207-1213.
- [24] RASHID U, ANWAR F, MOSER B R, et al. *Moringa oleifera* oil: a possible source of biodiesel[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(17): 8175-8179.
- [25] KAFUKU G, MBARAWA M. Alkaline catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil with optimized production parameters[J]. Applied Energy, 2010, 87(8): 2561-2565.
- [26] 段琼芬, 刘飞, 罗金岳, 等. 辣木籽油的超临界CO₂萃取及其化学成分分析[J]. 中国油脂, 2010, 35(2): 76-79.
- [27] 马李一, 余建兴, 张重权, 等. 水酶法提取辣木油的工艺研究[J]. 林产化学与工业, 2010, 30(3): 53-56.
- [28] 段琼芬, 李钦, 林青, 等. 辣木油对家兔皮肤创伤的保护作用[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(1): 159-162.
- [29] 余建兴. 辣木油提取技术及对大鼠辅助降血脂作用的研究[D]. 昆明: 昆明医学院, 2009: 10-14.
- [30] 刘冰, 王永明, 徐蓉, 等. 辣木籽对大鼠糖尿病脑病的神经保护作用[J]. 长春中医药大学学报, 2010, 26(2): 179-180.
- [31] 张涛, 马海乐. 超声波提取辣木黄酮技术的研究[J]. 粮油食品科技, 2005, 13(5): 19-21.
- [32] 陈瑞娇, 朱必凤, 王玉珍, 等. 辣木叶总黄酮的提取及其降血糖作用[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(4): 42-45.
- [33] 梁鹏, 甄润英. 辣木茎叶中水溶性多糖的提取及抗氧化活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(14): 25-29.
- [34] 孙鸣燕. 辣木黄酮和多糖提取方法及其含量影响因素的初步研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008: 8-10.
- [35] FÖRSTER N, ULRICHS C, SCHREINER M, et al. Development of a reliable extraction and quantification method for glucosinolates in *Moringa oleifera*[J]. Food Chemistry, 2015, 166: 456-464.
- [36] WATERMAN C, CHENG D M, ROJAS-SILVA P, et al. Stable, water extractable isothiocyanates from *Moringa oleifera* leaves attenuate inflammation *in vitro*[J]. Phytochemistry, 2014, 103: 114-122.
- [37] KATRE U V, SURESH C G, ISLAM K M, et al. Structure-activity relationship of a hemagglutinin from *Moringa oleifera* seeds[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2008, 42(2): 203-207.
- [38] SANTOS A F S, LUZ L A, ARGOLLO A C C, et al. Isolation of a seed coagulant *Moringa oleifera* lectin[J]. Process Biochemistry, 2009, 44(4): 504-508.
- [39] LUZ L A, SILVA M C C, FERREIRA R S, et al. Structural characterization of coagulant *Moringa oleifera* lectin and its effect on hemostatic parameters[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 58: 31-36.
- [40] BIJINA B, CHELLAPPAN S, BASHEER S M, et al. Protease inhibitor from *Moringa oleifera* leaves: isolation, purification, and characterization[J]. Process Biochemistry, 2011, 46(12): 2291-2300.
- [41] BIJINA B, CHELLAPPAN S, KRISHNA J G, et al. Protease inhibitor from *Moringa oleifera* with potential for use as therapeutic drug and as seafood preservative[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2011, 18(3): 273-281.
- [42] SASHIDHARA K V, ROSAIAH J N, TYAGI E, et al. Rare dipeptide and urea derivatives from roots of *Moringa oleifera* as potential anti-inflammatory and antinociceptive agents[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2009, 44(1): 432-436.
- [43] 阙欢, 李贤忠, 陆斌. 辣木叶蛋白质提取工艺研究[J]. 西部林业科学, 2007, 36(1): 106-108.
- [44] SATISH A, PUNITH K R, RAKSHITH D, et al. Antimutagenic and antioxidant activity of *Ficus benghalensis* stem bark and *Moringa oleifera* root extract[J]. International Journal of Chemical and Analytical Science, 2013, 4(2): 45-48.
- [45] JAISWAL D, RAI P K, KUMAR A, et al. Effect of *Moringa oleifera* Lam. leaves aqueous extract therapy on hyperglycemic rats[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2009, 123(3): 392-396.
- [46] YASSA H D, TOHAMY A F. Extract of *Moringa oleifera* leaves ameliorates streptozotocin-induced diabetes mellitus in adult rats[J]. Acta Histochemica, 2014, 116(5): 844-854.
- [47] CHOUDHARY M K, BODAKHE S H, GUPTA S K. Assessment of the antiulcer potential of *Moringa oleifera* root-bark extract in rats[J]. Journal of Acupuncture and Meridian Studies, 2013, 6(4): 214-220.
- [48] 马李一, 余建兴, 张重权, 等. 不同干燥方法对辣木叶营养价值的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 331-333.
- [49] TEIXEIRA E M B, CARVALHO M R B, NEVES V A, et al. Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. leaves[J]. Food Chemistry, 2014, 147(15): 51-54.
- [50] 董小英, 唐胜球. 辣木的营养价值及生物学功能研究[J]. 广东饲料, 2008, 17(9): 39-41.
- [51] 段琼芬, 陈文星, 余建兴, 等. 辣木解酒护胃胶囊抗小鼠醉酒的初步试验[J]. 酿酒科技, 2009(6): 31-36.
- [52] 贺银凤, 任安祥, 廖婉琴. 辣木酸奶的研制[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(5): 40-43.
- [53] 阙欢. 辣木叶片剂的研制[J]. 食品工业科技, 2008, 29(6): 214-215.
- [54] AL-ANIZI A A, HELLYER M T, ZHANG D. Toxicity assessment and modelling of *Moringa oleifera* seeds in water purification by whole cell bioreporter[J]. Water Research, 2014, 56(2): 77-87.
- [55] de PAULA H M, de OLIVEIRA ILHA M S, ANDRADE L S. Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and *Moringa oleifera* powder[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 76: 125-130.