

辣木叶粗多糖的制备·单糖组成及抗氧化活性研究

聂烁¹, 吴佳怡¹, 程乃雪¹, 闻正顺^{1*}, 王文策²

(1. 浙江海洋大学食品与药学学院, 浙江舟山 316022; 2. 华南农业大学动物科学学院, 广东广州 510642)

摘要 [目的]制备辣木叶粗多糖并研究其单糖组成和抗氧化活性。[方法]以华南地区辣木叶为原料,水提醇沉法、Sevage 法、过氧化氢(H₂O₂)法提取辣木叶粗多糖,水解衍生化分析单糖组成,并通过 DPPH 自由基清除能力、羟基自由基清除能力、超氧阴离子自由基清除能力、还原力等指标评价辣木叶粗多糖体外抗氧化活性。[结果]该试验所制备的辣木叶粗多糖提取率为 7.16%,测得纯度为 84.33%。辣木叶粗多糖的单糖组成有甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖和木糖,各占 56.88%、14.44%、10.54%、9.45%和 4.13%。另外,试验表明辣木叶粗多糖具有良好的自由基清除能力,抗氧化活性较好且与浓度呈正相关。[结论]该研究为辣木叶多糖的深入研究和开发利用提供科学依据。

关键词 辣木叶;粗多糖;制备;单糖组成;抗氧化活性

中图分类号 R 285 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)12-0183-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.047



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Preparation, Monosaccharide Composition and Antioxidant Activity of Crude Polysaccharide from *Moringa oleifera* Leaves
NIE Shuo, WU Jia-yi, CHENG Nai-xue et al (School of Food Science and Pharmaceutics, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316022)

Abstract [Objective] To prepare crude polysaccharides from *Moringa oleifera* leaves and to study its monosaccharide composition and antioxidant activity. [Method] Using *Moringa oleifera* leaves in South China as raw materials, the crude polysaccharides of *Moringa oleifera* leaves were extracted by water extraction and alcohol precipitation method, Sevage method, and hydrogen peroxide (H₂O₂) method. The anti-oxidant activity of *Moringa oleifera* leaves polysaccharide was evaluated by indicators such as DPPH free radical scavenging ability, hydroxyl free radical scavenging ability, superoxide anion free radical scavenging ability and reducing power. [Result] The extraction rate of crude polysaccharide from *Moringa oleifera* leaves prepared in this experiment was 7.16%, and the measured purity was 84.33%. *Moringa oleifera* leaves crude polysaccharides consist of mannose, rhamnose, glucose, galactose and xylose, which account for 56.88%, 14.44%, 10.54%, 9.45% and 4.13% respectively. In addition, the experiment showed that the crude polysaccharide of *Moringa oleifera* leaves had good free radical scavenging ability, good antioxidant activity and positive correlation with concentration. [Conclusion] The study provides scientific basis for further research and development of *Moringa oleifera* leaves.

Key words *Moringa oleifera* leaf; Crude polysaccharide; Preparation; Monosaccharide composition; Antioxidant activity

辣木(*Moringa oleifera* Lam.)又称鼓槌树,源自印度,因其抗旱抗冻特性广泛种植于世界各国^[1]。辣木叶、花、果实、种子、种子油、树皮和根等各个部位成分繁多,被广泛用于传统中药中,并作为重要营养素的丰富来源,有“生命之树”的美誉^[2-3]。叶子是植物最常用的营养器官,蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素等营养素在辣木叶大量存在,可被添加到食物中应用于人类和动物营养^[4]。辣木叶中还存在许多生物活性成分,被证明有抗氧化^[5-6]、抗炎和免疫调节^[7]、抗菌^[8]、抗病毒^[9]、抗癌^[10]、降血糖^[11]、降血脂^[12]及肝肾保护^[13-14]等功效,因此应用于许多疾病的治疗,如氧化应激^[15]、风湿性关节炎^[16]、尿路感染^[17]、糖尿病^[18]、高血压^[19]和肝损伤^[20]等。

有报道称每 100 g 辣木叶中含有碳水化合物 38.2 g^[21],碳水化合物含量是大豆和蘑菇中的 3~4 倍^[22]。而碳水化合物主要以具有多种生物活性的多糖大分子的形式存在。近年来对辣木叶中多糖的研究逐渐增加,集中在辣木叶多糖的

提取工艺和理化性质方面的研究。辣木叶多糖的抗病毒、抗氧化、降血糖等功效在国内都已有相关报道。尽管辣木叶多糖在食品、饲料、医药中的应用价值得到国内外的认可,但王瑞琴等^[23]研究指出目前我国对辣木多糖的研究尚处于探索阶段,辣木多糖的提取、结构鉴定及构效关系等研究仍需加强。该试验通过水提醇沉、Sevage 法脱蛋白、H₂O₂ 脱色等手段制备了辣木叶粗多糖,并研究其单糖组成和体外抗氧化活性,为辣木叶多糖的深入研究和开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 辣木叶,源自华南地区。

1.2 主要仪器 HH-W420 数显三用恒温水箱,金坛区白塔新宝仪器厂;MULTISKAN GO 酶标仪,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;TGL20MW 台式高速冷冻离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;90-2 定时恒温磁力搅拌器,上海精科实业有限公司;FD-1E 冷冻干燥机,北京德天佑科技发展有限公司;N-100 旋转蒸发仪,上海爱麟仪器有限公司;1200 高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 辣木叶粗多糖的制备。

1.3.1.1 多糖的提取。辣木叶烘干粉碎,称取适量的干燥辣木叶粉,加入蒸馏水(料液比 1:20),80 ℃提取 3 次,每次 1.5 h。每次浸提完成后进行过滤,收集 3 次滤液后混合,减压浓缩到一定量后加入 4 倍体积 95%乙醇,静置过夜,离心收

基金项目 浙江省属高校基本科研业务费(2019JZ00010);浙江省大学生科技创新项目(2017R411008);舟山市科技合作项目(2020C21014,2020C21047,2021C13044);浙江省重点研发项目(2019C02076)。

作者简介 聂烁(1996—),男,山东淄博人,硕士研究生,研究方向:天然产物的提取与应用。*通信作者,副教授,博士,硕士生导师,从事海洋天然产物与消化道健康研究。

收稿日期 2021-01-05;修回日期 2021-01-22

集沉淀。沉淀用适量无水乙醇洗涤 2 次, 50 ℃ 烘干。

1.3.1.2 脱蛋白、脱色。蒸馏水溶解干燥辣木叶多糖离心收集上清液, 加入 1/4 体积的 Sevage 试剂 (氯仿: 正丁醇 = 4:1), 磁力搅拌 30 min, 使其充分混匀, 3 000 r/min 离心 10 min, 弃去蛋白质和有机层, 上清液再加 Sevage 试剂, 重复以上操作数次 (至少 8 次), 至上清液无游离蛋白为止。0.1% NaOH 调辣木叶粗多糖溶液 pH 为 8~9, 然后滴加 H₂O₂, 40 ℃ 保温, 搅拌, 静置一段时间。移入透析袋 (3 000 Da) 在蒸馏水中透析 48 h, 冷冻干燥并称重后即为辣木叶粗多糖。

多糖提取率 = 多糖质量 / 辣木叶粉质量 × 100% (1)

1.3.1.3 总糖和蛋白含量的测定。采用苯酚硫酸法^[24]测定总糖含量, 采用考马斯亮蓝法^[25]测定蛋白含量。

1.3.1.4 脱色率的测定。在预试验中对 1% 辣木叶粗多糖溶液进行全波长 (200~800 nm) 扫描以判断辣木叶粗多糖的最大吸收波长。结果显示辣木叶粗多糖无最大吸收波长, 因此选用 400、420、450、480、500 nm 下测定脱色前后吸光度, 并按照公式 (2) 计算脱色率。

$$\text{脱色率} = \frac{\text{脱色前吸光度} - \text{脱色后吸光度}}{\text{脱色前吸光度}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.2 单糖组成分析。

1.3.2.1 水解。5 mg 辣木叶粗多糖, 加入 1 mL 2 mol/L 的三氟乙酸, 105 ℃ 水解 6 h。水解后反复加入甲醇蒸出三氟乙酸, 最后将辣木叶多糖溶于水, 配制成 5 mg/L 的溶液待用。

1.3.2.2 单糖标准品溶液的配制。称取等摩尔干燥至恒重的 Man、GlcN、Rha、GlcUA、GalUA、Glc、Gal、Xyl、Ara、Fuc 共 10 种单糖标准品, 配制成 1 mg/L 的水溶液。

1.3.2.3 衍生化。分别取 100 μL 水解完全的单糖标准品和辣木叶粗多糖溶液、120 μL 0.5 mg/L 的 PMP 甲醇溶液与 100 μL 0.3 mg/mL 的氢氧化钠溶液充分混匀, 70 ℃ 反应 1 h, 冷却后加 100 μL 0.3 mg/mL 的盐酸中和, 再加 700 μL 氯仿, 振荡后静置, 弃去氯仿相, 萃取 3 次后离心, 取上清液过微孔滤膜上高效液相色谱分析。

1.3.2.4 色谱条件。Agilent XDB-C₁₈ 色谱柱; 流动相为 PBS (pH=6.7)/乙腈 (82:18, V/V); 流速 1 mL/min; 柱温 30 ℃; 进样量 20 μL; 检测器为 DAD (245 nm)。

1.3.3 抗氧化活性的测定。

1.3.3.1 DPPH 自由基清除能力。试管中依次加入 1 mL 无水乙醇、250 μL 0.02% 的 DPPH 乙醇溶液、1 mL 不同浓度的辣木叶粗多糖溶液, 混匀后室温避光反应 30 min, 在 510 nm 处测定吸光度记为 A₀; 空白组中用无水乙醇代替 0.02% 的 DPPH 乙醇溶液, 测定吸光度记为 A₁; 对照组中用蒸馏水代替辣木叶粗多糖溶液, 测得吸光度记为 A₂。DPPH 清除率按公式 (3) 计算。

$$\text{DPPH 清除率} = (A_1 + A_2 - A_0) / A_2 \times 100\% \quad (3)$$

1.3.3.2 羟基自由基清除能力。试管中依次加入 1 mL 9 mmol/L 硫酸亚铁溶液、1 mL 9 mmol/L 水杨酸的 50% 乙醇溶液、1 mL 不同浓度的辣木叶粗多糖溶液和 1 mL 0.03% 过

氧化氢溶液, 37 ℃ 精确反应 1 h, 冷却至室温后 510 nm 测吸光度, 记为 A₀; 空白对照组中用蒸馏水代替辣木叶粗多糖溶液, 测得吸光度记为 A₁; 样品对照组中用 50% 乙醇溶液代替水杨酸的 50% 乙醇溶液, 测得吸光度记为 A₂。羟基自由基清除率按公式 (4) 计算。

$$\text{清除率} = [1 - (\frac{A_0 - A_2}{A_1})] \times 100\% \quad (4)$$

1.3.3.3 超氧阴离子自由基清除能力。取 1 mL 不同浓度的辣木叶粗多糖溶液, 加入 4 mL 0.05 mol/L 的 Tris-HCl 缓冲液 (pH=8.0), 充分混匀后 25 ℃ 水浴 20 min, 再加入 0.4 mL 2.5 mmol/L 邻苯三酚溶液混匀后在 25 ℃ 反应 3 min, 最后加入 10 mL 2 mol/L HCl 溶液终止反应, 在 325 nm 处测定吸光度记为 A_n; 空白组中用蒸馏水代替辣木叶粗多糖溶液, 测定吸光度记为 A₀。超氧阴离子自由基清除率按公式 (5) 计算。

$$\text{清除率} = [(A_0 - A_n) / A_0] \times 100\% \quad (5)$$

1.3.3.4 还原力。取 2 mL 辣木叶粗多糖溶液加入 2 mL PBS 缓冲溶液 (0.02 mol/L, pH=6.6) 和 2 mL 1% 铁氰化钾溶液充分混匀后, 置于 50 ℃ 反应 20 min 后, 在混合体系中继续加入 2 mL 10% 三氯乙酸溶液。然后从混合体系中取出 2 mL 置于试管中, 加入 2 mL 蒸馏水和 0.4 mL 0.1% 三氯化铁溶液室温反应 10 min 后, 700 nm 测定吸光度。吸光度越大, 还原力越大。

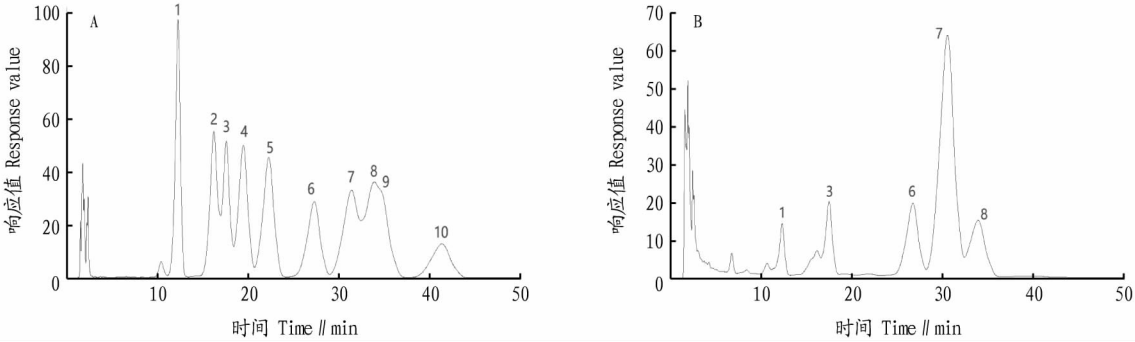
2 结果与分析

2.1 辣木叶粗多糖的制备 该试验采用水提醇沉法提取、Sevage 法脱蛋白、H₂O₂ 法脱色制备辣木叶粗多糖, 辣木叶粗多糖提取率为 7.16%, 相比陈瑞娇^[26]所述最佳提取工艺的提取率降低了 1 倍。该试验在对辣木叶多糖进行了简单的纯化 (脱蛋白、脱色) 后计算的提取率, Sevage 试剂、H₂O₂ 都会对多糖进行不同程度的降解^[27], 可能是造成辣木叶粗多糖损失的重要原因。制备的辣木叶粗多糖中多糖含量为 84.33%, 蛋白含量仅为 1.08%, 多糖含量比董竹平等^[28]提取的 3 种辣木叶多糖都要高, 说明该方法制得的辣木叶粗多糖含量较高。该试验还进行脱色率的考量, 辣木叶粗多糖无最大吸收波长, 辣木叶粗多糖脱色前显橙红色、脱色后显浅黄色, 从溶液的互补色考虑蓝紫光的紫外吸收波长范围 (400~500 nm) 来测定吸光度, 计算得出 400、420、450、480 和 500 nm 下的脱色率分别为 46.36%、52.53%、57.68%、59.00% 和 50.74%。目前国内还未发现对辣木叶多糖脱色率的有关报道。

2.2 辣木叶粗多糖的单糖组成 从图 1 可以看出, 10 个单糖标准品衍生物以及辣木叶粗多糖水解后 PMP 衍生物均实现了分离。结果显示, 辣木叶粗多糖中半乳糖含量最高, 占多糖含量的 56.88%, 其次是葡萄糖占 14.44%、木糖占 10.54%、甘露糖占 9.45%, 鼠李糖含量最低, 占 4.13%。此结果与汪芳等^[29]鉴定的辣木叶多糖中单糖种类大致相同, 而李巧琳^[30]试验结果表明辣木叶多糖除半乳糖、葡萄糖、甘露糖和鼠李糖外还包括葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸和阿拉伯糖。可见, 辣木叶多糖一般包含半乳糖、葡萄糖、甘露糖和鼠李糖

等单糖。而辣木叶的产地、试验条件和试验操作等因素可能

导致了辣木叶多糖的单糖组成的差异。



注:1.甘露糖;2.葡萄糖胺;3.鼠李糖;4.葡萄糖醛酸;5.半乳糖醛酸;6.葡萄糖;7.半乳糖;8.木糖;9.阿拉伯糖;10.岩藻糖
Note:1.Man;2.GlcN;3.Rha;4.GlcUA;5.GalUA;6.Glc;7.Gal;8.Xyl;9.Ara;10.Fuc

图 1 单糖标准品 (A) 和辣木叶粗多糖水解产物 (B) 的 PMP 衍生物的高效液相色谱图

Fig.1 High performance liquid chromatograms of PMP derivatives of monosaccharide standard (A) and moringa leaf crude polysaccharide hydrolysate (B)

2.3 辣木叶粗多糖的抗氧化活性

2.3.1 DPPH 自由基清除能力。DPPH 自由基因其稳定、有最大吸收波长,常用于评价生物试样、提取物的抗氧化能力。该试验测试了 4 个不同浓度的辣木叶粗多糖 DPPH 自由基清除率,如图 2 所示,自由基清除率与辣木叶粗多糖浓度呈正相关,2 mg/mL 辣木叶粗多糖的 DPPH 自由基清除率高达 78.91%。相比董竹平等^[28]和初雅洁等^[31]的试验结果,该辣木叶粗多糖有较高的 DPPH 自由基清除能力。

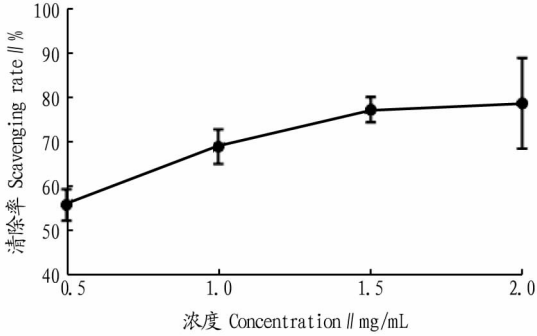


图 2 辣木叶粗多糖的 DPPH 自由基清除能力
Fig.2 The scavenging ability of DPPH free radicals of the crude polysaccharides of *Moringa oleifera* leaves

2.3.2 羟基自由基清除能力。羟基自由基清除能力也是评价抗氧化能力常用方法之一。由图 3 可见,辣木叶粗多糖对羟基自由基的清除随浓度的升高而增强,当辣木叶粗多糖浓度为 1.5 mg/mL 时,羟基自由基清除率为 29.51%。辣木叶粗多糖浓度增加到 2 mg/mL 时,与 1.5 mg/mL 相比,羟基自由基的清除率没有显著改变。尽管该试验结果显示比董竹平等^[28]所测不同品种辣木叶多糖的羟基自由基清除率要低,但效果优于海南产辣木叶多糖^[32],依然具有良好的抗氧化活性。

2.3.3 超氧阴离子清除能力。超氧阴离子自由基在生物体代谢过程中产生,可攻击生物大分子,引起细胞结构和功能的破坏,与机体衰老和病变密切相关,清除超氧阴离子自由基具有重要意义。测定不同浓度辣木叶粗多糖的超氧阴离

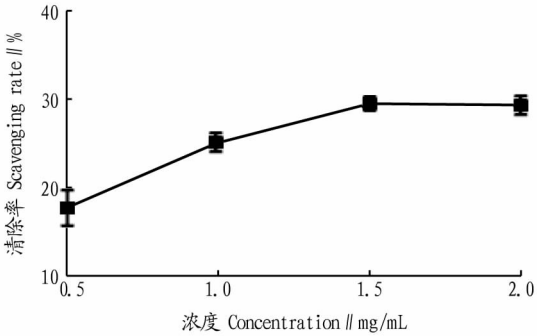


图 3 辣木叶粗多糖的羟基自由基清除能力
Fig.3 The scavenging ability of hydroxyl free radicals of the crude polysaccharides of *Moringa oleifera* leaves

子清除率,结果发现(图 4),辣木叶粗多糖浓度越高,超氧阴离子自由基的清除率也随之上升。2 mg/mL 辣木叶粗多糖对超氧阴离子的清除率在 28.76%,略低于梁鹏等^[33]的试验结果。

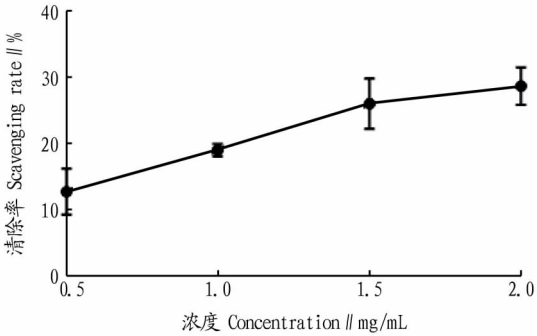


图 4 辣木叶粗多糖的超氧阴离子自由基的清除能力
Fig.4 The scavenging ability of superoxide anion free radicals of the crude polysaccharides of *Moringa oleifera* leaves

2.3.4 还原力。还原力反映抗氧化活性,还原力越强,抗氧化活性越强。辣木叶粗多糖可以将铁氰化钾还原成亚铁氰化钾,亚铁氰化钾与三氯化铁反应的产物在 700 nm 有最大吸收,吸光度越高,辣木叶粗多糖的还原性越强。从图 5 可以看出,吸光度与辣木叶粗多糖的浓度成正比,浓度越高,辣

木叶粗多糖还原力越高。相比初雅洁等^[31]所测得的 6 种辣木叶多糖还原力,该辣木叶粗多糖有较高的还原性。

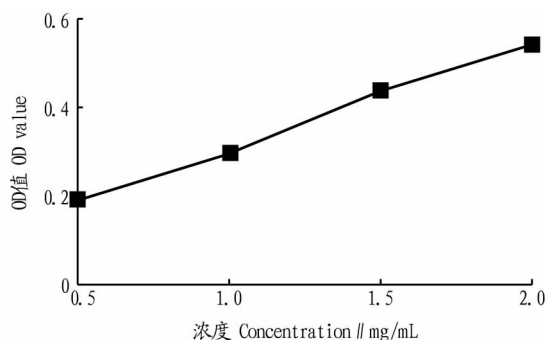


图 5 辣木叶粗多糖的还原力

Fig.5 Reducing ability of the crude polysaccharides from *Moringa oleifera* leaves

3 结论

该研究使用水提醇沉、Sevage 试剂、 H_2O_2 等手段制备得到辣木叶粗多糖,提取率为 7.16%,多糖含量为 84.33%,纯度较高。辣木叶粗多糖单糖组成为半乳糖 (56.88%)、葡萄糖 (14.44%)、木糖 (10.54%)、甘露糖 (9.45%) 和鼠李糖 (4.13%)。不同浓度辣木叶粗多糖对 DPPH 自由基、羟基自由基、超氧阴离子自由基的清除反映了其良好的还原力及抗氧化活性,抗氧化活性程度取决于辣木叶粗多糖的浓度。该试验为辣木叶多糖深入研究和开发利用提供一定的科学依据。

参考文献

- [1] DHAKAD A K, IKRAM M, SHARMA S, et al. Biological, nutritional, and therapeutic significance of *Moringa oleifera* Lam [J]. *Phytotherapy research*, 2019, 33(11): 2870–2903.
- [2] 郭刚军, 龙继明, 黄艳丽, 等. 多油辣木不同部位营养成分分析及评价 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(22): 354–358, 364.
- [3] FAHEY J W. *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1 [J]. *Trees for life journal*, 2005, 1: 1–15.
- [4] ODURO I, ELLIS W O, OWUSU D. Nutritional potential of two leafy vegetables: *Moringa oleifera* and *Ipomoea batatas* leaves [J]. *Scientific research & essays*, 2008, 3(2): 57–60.
- [5] CHUMARK P, KHUNAWAT P, SANVARINDA Y, et al. The *in vitro* and *ex vivo* antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam. leaves [J]. *Journal of ethnopharmacol*, 2008, 116(3): 439–446.
- [6] 赵一鹤, 李沁, 夏菁, 等. 辣木叶提取物的抗氧化活性研究 [J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(7): 136–138.
- [7] KOOLTHEAT N, SRANUJIT R P, CHUMARK P, et al. An ethyl acetate fraction of *Moringa oleifera* Lam. inhibits human macrophage cytokine production induced by cigarette smoke [J]. *Nutrients*, 2014, 6(2): 697–710.
- [8] DAS B R, KURUP P A, NARASIMHA RAO P L. Antibiotic principle from *moringa pterygosperma* [J]. *Naturwissenschaften*, 1954, 41(3): 66.
- [9] LIPIPUN V, KUOKAWA M, SUTTISRI R, et al. Efficacy of Thai medicinal plant extracts against herpes simplex virus type 1 infection *in vitro* and *in vivo* [J]. *Antiviral research*, 2003, 60(3): 175–180.
- [10] 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): 1270–1275.

- [11] MBIKAY M. Therapeutic potential of *Moringa oleifera* leaves in chronic hyperglycemia and dyslipidemia: A review [J]. *Frontiers in pharmacology*, 2012, 3: 1–12.
- [12] GHASI S, NWOBODO E, OFILI J O. Hypocholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera* Lam in high-fat diet fed wistar rats [J]. *Journal of ethnopharmacology*, 2000, 69(1): 21–25.
- [13] MAZUMDER U K, GUPTA M, CHAKRABARTI S, et al. Evaluation of hematological and hepatorenal functions of methanolic extract of *Moringa oleifera* Lam. root treated mice [J]. *Indian journal of experimental biology*, 1999, 37(6): 612–614.
- [14] OUÉDRAOGO M, LAMIEN-SANOU A, RAMDÉ N, et al. Protective effect of *Moringa oleifera* leaves against gentamicin-induced nephrotoxicity in rabbits [J]. *Experimental & toxicologic pathology*, 2013, 65(3): 335–339.
- [15] PRASANNA V, SREELATHA S. Synergistic effect of *Moringa oleifera* attenuates oxidative stress induced apoptosis in *Saccharomyces cerevisiae* cells: Evidence for anticancer potential [J]. *International journal of pharma and bio sciences*, 2014, 5(2): 167–177.
- [16] DELAVEAU P. Oils of *Moringa oleifera* and *Moringa drouhardii* [J]. *Plant medicine phytotherapy*, 1980, 14(10): 29–33.
- [17] SHAW B P, JANA P. Clinical assessment of Sigr (*Moringa oleifera* Lam) on Mutrakrichra (lower urinary tract infection) [R]. NAGARJUN, 1982: 231–235.
- [18] ASRES K. The major constituent of the acetone fraction of Ethiopian *Moringa stenopetala* leaves [J]. *Mansoura journal of pharmacological science*, 1995, 11(1): 55–64.
- [19] FAIZI S, SIDDIQUI B S, SALEEM R, et al. Isolation and structure elucidation of new nitrile and mustard oil glycosides from *Moringa oleifera* and their effect on blood pressure [J]. *Journal of natural products*, 1994, 57(9): 1256–1261.
- [20] PARI L, KUMAR N A. Hepatoprotective activity of *Moringa oleifera* on antitubercular drug-induced liver damage in rats [J]. *Journal of medicinal Food*, 2002, 5(3): 171–177.
- [21] SENGEV A I, ABU J O, GERNAH D I. Effect of *Moringa oleifera* leaf powder supplementation on some quality characteristics of wheat bread [J]. *Food and nutrition sciences*, 2013, 4(3): 270–275.
- [22] FARZANA T, MOHAJAN S, SAHA T, et al. Formulation and nutritional evaluation of a healthy vegetable soup powder supplemented with soy flour, mushroom, and moringa leaf [J]. *Food science & nutrition*, 2017, 5(4): 911–920.
- [23] 王瑞琴, 许文婷, 蔡晨晨, 等. 辣木多糖的研究进展 [J]. *广西糖业*, 2018(4): 28–30.
- [24] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. *Analytical chemistry*, 1956, 28(3): 350–356.
- [25] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Analytical biochemistry*, 1976, 72: 248–254.
- [26] 陈瑞娇. 辣木叶多糖的提取及分离纯化 [J]. *中药材*, 2006, 29(12): 1358–1360.
- [27] 付学鹏, 杨晓杰. 植物多糖脱色技术的研究 [J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(11): 166–169.
- [28] 董竹平, 李超, 扶雄. 不同品种辣木叶多糖的理化性质和抗氧化活性研究 [J]. *现代食品科技*, 2018, 34(1): 38–44.
- [29] 汪芳, 包伊凡, 张羽, 等. 辣木叶多糖的分离纯化及其体外降糖活性研究 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(7): 1592–1598.
- [30] 李巧琳. 辣木叶提取物的制备、降血糖活性评价及降糖功效因子结构解析 [D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [31] 初雅洁, 龚加顺. 辣木叶多糖的提取及抗氧化活性研究 [J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(13): 152–156, 175.
- [32] 吴玲雪, 施平伟, 洪枫, 等. 海南产辣木叶粗多糖提取条件优化及其抗氧化活性研究 [J]. *饲料工业*, 2017, 38(2): 59–61.
- [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.