

辣木提取物的抗氧化和免疫增强作用实验研究

张晓文¹, 宋清², 吴猛^{1*}, 杨倩³, 黄儒强³, 陈晓¹, 蔡绮君¹

¹广州市体育科学研究所运动营养室, 广东 广州

²广州体育职业技术学院体育康复医院, 广东 广州

³华南师范大学生命科学院, 广东 广州

收稿日期: 2025年5月30日; 录用日期: 2025年7月2日; 发布日期: 2025年7月11日

摘要

目的: 探讨辣木提取物的抗氧化和免疫增强作用, 为其抗运动疲劳领域的应用提供科学依据。方法: 1) 抗氧化指标: 选用雄性SD大鼠建立高血脂动物模型, 测定辣木提取物对大鼠肝脏总超氧化物歧化酶(T-SOD)和丙二醛(MDA)水平。2) 免疫功能指标: 通过免疫重量法检测对KM小鼠免疫器官胸腺、脾脏重量的影响; 采用脾淋巴细胞增殖活性及小鼠脾淋巴细胞转化实验、NK细胞活性测定实验, 观察辣木提取物对小鼠细胞免疫功能的影响。结果: 1) 抗氧化实验: 辣木提取物中剂量组T-SOD酶活性显著高于对照组, MDA酶活性显著低于对照组(均 $p < 0.05$), 表明其明显提高T-SOD酶活性和降低MDA酶水平。2) 免疫功能指标: 免疫重量法检测结果显示, 辣木提取物各组脾脏指数、胸腺指数均较Cy模型对照组明显增加($p < 0.05$), 其中高剂量组增加尤其显著。辣木提取物各剂量组显著增加小鼠脾淋巴细胞转化率, 且作用呈浓度依赖性。同时辣木提取物各组NK细胞活性均较Cy模型组显著提高, 最高增加幅度达47.92% ($p < 0.01$), 表明具有明显提高小鼠脾脏T淋巴细胞转化功能及NK细胞杀伤活性。结论: 辣木提取物具有显著的抗氧化和免疫增强作用, 为其在抗疲劳领域的开发利用提供了理论依据。

关键词

辣木, 抗氧化, 免疫增强作用, NK细胞活性

Experimental Study on the Antioxidant and Immune Enhancing Effects of *Moringa oleifera* Lam Extract

Xiaowen Zhang¹, Qing Song², Meng Wu^{1*}, Qian Yang³, Ruqiang Huang³, Xiao Chen¹, Qijun Cai¹

¹Department of Sports Nutrition, Guangzhou Institute of Sport Science, Guangzhou Guangdong

*通讯作者。

文章引用: 张晓文, 宋清, 吴猛, 杨倩, 黄儒强, 陈晓, 蔡绮君. 辣木提取物的抗氧化和免疫增强作用实验研究[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(4): 519-526. DOI: 10.12677/hjfn.2025.144057

²Department of Sports Rehabilitation Hospital, Guangzhou Polytechnic of Sports, Guangzhou Guangdong

³School of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou Guangdong

Received: May 30th, 2025; accepted: Jul. 2nd, 2025; published: Jul. 11th, 2025

Abstract

Objective: To explore the effect of antioxidant and immune-enhancing properties of *Moringa oleifera* extract and to investigate its application value and scientific basis in anti-fatigue. **Methods:** 1) Antioxidant indicators: Male SD rats were used to establish a hyperlipidemia animal model, and the levels of total superoxide dismutase (T-SOD) and malondialdehyde (MDA) in the liver of rats were measured after administration of *Moringa oleifera* extract. 2) Immune function indicators: KM mice were used, and the spleen and thymus indices of each group of mice were detected by the immune weight method, and the effect of *Moringa oleifera* extract on the cellular immune function of mice was observed. NK cell activity was also measured. **Results:** 1) Antioxidant experiment: The T-SOD enzyme activity in the medium-dose group of *Moringa oleifera* extract was significantly higher than that in the control group ($p < 0.05$), and the MDA enzyme level was significantly lower than that in the control group ($p < 0.05$), indicating a significant increase in T-SOD enzyme activity and a decrease in MDA enzyme activity. 2) Immune function indicators: The spleen index of each dose group was detected by the immune weight method. The spleen index and thymus index of each dose *Moringa oleifera* extract group were increased significantly compared with the Cy model control group ($p < 0.05$). The high-dose group of *Moringa oleifera* extract could enhance the NK cell activity of mice by up to 47.92% ($p < 0.05$), which indicates a significant improvement in the transformation function of T lymphocytes in the spleen and the killing activity of NK cells in mice. **Conclusion:** *Moringa oleifera* extract has significant antioxidant and immune-enhancing effects, providing a theoretical basis for its in-depth development in the field of anti-fatigue.

Keywords

Moringa oleifera Lam, Antioxidant, Immune Enhancement Effect, NK Cell Activity

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

过度运动或训练引起疲劳可能导致体内应激反应增加, 间接降低机体免疫系统而产生负面影响, 合理补充药物制剂或营养成分有助于减轻运动疲劳, 寻找和发现具有抗运动疲劳功能的天然产物一直是运动补剂研究的热点领域[1] [2]。辣木(*Moringa oleifera* Lam)是起源于印度和非洲的多年生热带或亚热带落叶乔木[3] [4]。近年研究表明, 辣木及其衍生产品在运动饮料中的应用受到广泛关注, 主要归因于其丰富的营养成分和潜在的抗疲劳、抗氧化以及调节肠胃、延缓衰老等多种生物活性能量补充作用[5] [6]。鉴于辣木作为新兴的药食两用原料资源和食品饮料领域增速最快的营养补充剂之一, 需要进行深入的功能学评价研究, 本文在前期对种植于广东韶关的辣木提取物进行降血脂功能实验研究的基础上[7], 进一步研究其抗氧化和免疫增强作用, 旨在为辣木植物在抗运动疲劳领域的开发应用提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料、动物、仪器试剂

2.1.1. 辣木浸膏的制备

辣木提取物浸膏: 由广东韶关学院英东生物工程学院提供, 主要原料包括精选优质辣木树枝粉 65%、梗粉 30%、叶粉 5%, 去除杂质, 深层淘洗三次, 在提取罐中添加原料, 再加入所投原料的 6~8 倍水量于提取罐中, 升温达到 95℃时记录时间并保温提取 2 小时, 滤渣后再加入 6~8 倍水继续提取 2 h, 二次提取液过滤后合并至提取液储罐中待用, 往复循环 3 次。将储罐中的滤液抽入单效浓缩器中进行浓缩, 控制真空在 0.06~0.08 MPa, 浓缩温度为 60℃~80℃, 滤液浓缩至相对密度形成浓缩浸膏, 膏体包含多糖、黄酮、蛋白质等成分。实验时将提取物浸膏按 10%的比例以水为溶剂超声溶解, 配制不同浓度的水溶液, 供实验用。

2.1.2. 实验动物与饲料

实验动物: SPF 级成年雄性 SD 大鼠 60 只, 体重为 100 g ~180 g。雄性 KM 小鼠 50 只, 体重为 18 g ~20 g。

饲料: 高脂饲料配方为基础饲料 70%、猪油 10%、奶粉 10%、蛋黄粉 10%, 均由广东省医学实验动物中心提供。实验室为 SPF 级, 温度 23℃~25℃, 相对湿度 40%~60%。

2.1.3. 仪器与试剂

仪器: 总超氧化物歧化酶(T-SOD)测试盒、丙二醛(MDA)测试盒、蛋白定量测定试剂盒、试剂均购自南京建成生物工程研究所。HWS24 型电热恒温水浴锅(上海一恒科学仪器有限公司), CH90-1A 台式低速离心机(上海医疗器械有限公司手术器械厂), 721 分光光度计(上海第三分析仪器厂), 电子分析天平(上海精密科学仪器有限公司), 日本岛津 UV2730 自动生化比色仪, 玻璃匀浆管, 微量移液枪(20~200 μ l)。

其他试剂: 超纯水, 生理盐水, 1%水合氯醛(麻醉剂), 级别均为生化试剂及以上。所有指标操作步骤依据试剂盒的要求严格进行。

2.2. 实验方法

2.2.1. 抗氧化实验

参照文献[8]的方法, 将 SD 大鼠随机分为正常对照组、高脂模型对照组, 以及高、中、低三个剂量组, 每组 12 只。正常对照组大鼠用普通饲料喂养, 其余各组均使用高脂饲料喂养。每日观察进食和活动的情况, 每周称重一次; 饲喂 4 周后, 按照大鼠高血脂模型的判断标准建立高脂模型; 根据 TC 水平将动物随机分为 4 组, 高脂模型组、辣木提取物低、中、高三个剂量组溶液浓度分别为 300 mg/kg、600 mg/kg、1200 mg/kg, 以 0.5 ml/100g 体积进行灌胃, 正常对照组和高脂模型对照组均给予等体积生理盐水。各组大鼠每天灌胃给予受试物 40 天, 实验结束后禁食 12 h, 称体重, 1%水合氯醛麻醉, 采集大鼠内脏, 用滤纸吸干称重并于-30℃下冷藏, 用于实验。测试时用匀浆好的肝脏研磨液, 进行蛋白定量测定, 并用 721 分光光度计测定总超氧化物歧化酶(T-SOD)和丙二醛(MDA)的吸光度。所有操作步骤依据试剂盒的要求严格进行。

1) 蛋白定量测试: 根据蛋白定量测试盒进行测试, 运用考马斯亮蓝法(原理: 蛋白质分子具有 $-\text{NH}_3^+$, 当棕红色的考马斯亮蓝显色剂加入蛋白标准液或样品中时, 考马斯亮蓝染料中阴离子与蛋白 $-\text{NH}_3^+$ 结合, 使溶液变为蓝色, 通过测定吸光度计算出蛋白含量), 用于测定肝脏组织匀浆液中蛋白含量是否达标。

2) 总超氧化物歧化酶(T-SOD)测试: 根据超氧化物歧化酶(SOD)测试盒说明书测试, 运用羟胺法(原

理：黄嘌呤及黄嘌呤氧化酶反应系统产生超氧阴离子自由基 $O_2^{\cdot-}$ ，后者氧化羟胺形成亚硝酸盐，在显色剂的作用下呈现紫红色，用可见光分光光度计测其吸光度。被测样品中含 SOD 时，对超氧阴离子自由基有专一性的抑制作用，使形成的亚硝酸盐减少，比色时测定管的吸光度值低于对照管的吸光度值，通过公式计算求出被测样品中 SOD 活力)；通过吸光值测定肝脏中 SOD 活力，反应受试物对机体的抗氧化作用。

3) 丙二醛(MDA)测试：根据丙二醛(MDA)测试盒说明书测试，运用 TBA 法(原理：过氧化脂质降解产物中的 MDA 可与硫代巴比妥酸 TBA 缩合，形成红色产物，在 532 nm 处有最大吸收峰)，用以反映机体内脂质过氧化程度，间接反映出细胞损伤程度。

2.2.2. 免疫功能实验

1) 免疫器官重量测定：参照文献[9]的方法，将 50 只 KM 小鼠随机分为正常对照组、环磷酰胺(Cy)模型对照组，以及辣木提取物低、中、高剂量组，每组 10 只。各剂量组溶液浓度分别为 80 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg，以 0.1 ml/10g 体积进行灌胃，正常对照组、模型对照组均给予同体积的生理盐水。以环磷酰胺(Cy)复制出免疫功能低下的小鼠模型，连续给样 10 d 后，采用免疫重量法检测各剂量组的脾脏和胸腺指数，观察受试物对小鼠细胞免疫功能的影响。

2) 小鼠脾淋巴细胞转化实验：参照文献[10]的方法检测脾脏淋巴细胞转化率，分组方法及灌胃方式同上述(1)。连续给样 10 d 后，引颈法处死小鼠，取脾脏，通过 200 目钢丝网，用 Hanks 液清洗后用 RPMI 1640 (10%胎牛血清及 20 μ g/ml P HA) 1 ml 制成脾淋巴细胞悬液(1×10^6 /ml)，用酶联免疫检测仪在 570 nm 下测定 OD 值，计算脾淋巴细胞的转化百分率。

3) NK 细胞活性测定实验：参照文献[10]的方法检测 NK 细胞活性，分组方法及灌胃方式同上述(1)。连续给样 10 d 后，从小鼠内眦静脉丛取血 0.2 ml，加入肝素抗凝血的 PBS 中，用硅石胶态悬浮液分离其中的 NK 细胞，Hanks 液洗涤两次后用含小牛血清的 RPMI 1640 培养液调节细胞浓度至 1×10^7 /ml。将培养 24 h 对数生长期的 K562 细胞 Hanks 液洗涤后用含小牛血清的 RPMI 1640 培养液调节细胞浓度至 1×10^5 /ml。在 96 孔板中每孔加 K562 细胞 100 μ l，再加入 NK 细胞 100 μ l。自然释放组以含小牛血清 RPMI 1640 培养液代替 NK 细胞，最大释放组用 1% NP40 代替 NK 细胞，每个标本设 3 个复孔，37℃、5% CO_2 培养 4 h 后离心，取上清用 LDH 试剂盒于 570 nm 处测定 LDH 释放率，按下式计算 NK 细胞自然杀伤率：自然杀伤率(%) = (样品释放平均 D 值 - 自然释放平均 D 值)/(最大释放平均 D 值 - 自然释放平均 D 值) $\times 100\%$ 。

2.3. 统计学处理

采用 SPSS 15.0 统计软件包进行统计，实验数据以 $X \pm S$ 表示。

组间比较采用 t 检验，显著性水平为 $p < 0.05$ ，极显著性水平为 $p < 0.01$ 。

3. 结果与分析

3.1. 辣木提取物对大鼠肝脏总超氧化物歧化酶和丙二醛的影响

根据表 1 数据，经灌胃给药 300~1200 mg/kg 的辣木浸膏 40 天后，辣木浸膏与高脂对照组相比，辣木提取物各剂量组大鼠的肝脏 T-SOD 酶活性呈现出不同程度的提升，其中中、高剂量组的提升效果尤为显著($p < 0.05$)，表明辣木提取物具有增强大鼠肝脏抗氧化酶活性的作用。同时，MDA 酶活性作为脂质过氧化程度的指标，在低剂量组略低于正常对照组，而中、高剂量组则显著下降($p < 0.05$)，证实了其对动物 MDA 酶活性有明显降低作用，表明辣木提取物具有显著的抗氧化效应。

Table 1. Effects of *Moringa oleifera* Lam extract on T-SOD and MDA activities in rats (n = 12)
表 1. 辣木提取物对大鼠 T-SOD 和 MDA 活性的影响(n = 12)

组别	剂量	T-SOD (U/mgprot)	MDA (nmol/mgprot)
正常对照组		53.98 ± 6.91	4.60 ± 0.90
高脂模型组		58.35 ± 18.84	4.12 ± 0.42
辣木提取物 300 mg/kg 组		62.54 ± 12.15	4.31 ± 1.16
辣木提取物 600 mg/kg 组		73.97 ± 10.68 ^{####}	3.53 ± 0.50 ^{####}
辣木提取物 1200 mg/kg 组		64.90 ± 15.34 [#]	4.08 ± 0.80 [#]

注：与正常对照组比较，[#]p < 0.05 (差异显著)，^{##}p < 0.01 (差异极显著)；与高脂模型组比较，*p < 0.05 (差异显著)，^{**}p < 0.01 (差异极显著)。

3.2. 辣木提取物对小鼠免疫功能的影响

3.2.1. 对脾脏和胸腺指数的影响

由表 2 可知，经 80~400 mg/kg 辣木浸膏灌胃 10 天后，可见辣木提取物高、中、低剂量组的脾脏指数、胸腺指数与环磷酰胺(Cy)模型组比较，均有显著提高，其中高剂量组脾脏重量、胸腺重量分别较 Cy 模型组提高 20.00%、26.00% (均 p < 0.05)，表明辣木浸膏能显著提高免疫功能低下小鼠的脾脏和胸腺重量，具有增强小鼠免疫功能的作用。

Table 2. Effects of *Moringa oleifera* Lam extract on thymus index and spleen index in mice (n = 10)
表 2. 辣木提取物对小鼠脾脏指数和胸腺指数的影响(n = 10)

组别	脾脏重量(g)	脾脏指数(mg/g)	胸腺重量(g)	胸腺指数(mg/g)
正常对照组	0.098 ± 0.019	39.22 ± 2.51	0.088 ± 0.019	3.52 ± 0.38
Cy 模型对照组	0.097 ± 0.011	38.82 ± 2.01	0.083 ± 0.020	3.32 ± 0.28
辣木提取物 80 mg/kg 组	0.103 ± 0.031	41.21 ± 2.08	0.084 ± 0.018 [*]	3.36 ± 0.34
辣木提取物 200 mg/kg 组	0.108 ± 0.025	43.28 ± 2.63	0.089 ± 0.022	3.56 ± 0.35
辣木提取物 400 mg/kg 组	0.123 ± 0.061 ^{**}	49.23 ± 2.72 ^{**}	0.095 ± 0.024 ^{**}	3.86 ± 0.41

注：与正常对照组比较；[#]p < 0.05 (差异显著)，与模型对照组比较*^p < 0.05 (差异显著)。

3.2.2. 对脾脏淋巴细胞转化率和 NK 细胞活性的影响

由表 3 可知，与正常对照组相比，Cy 模型对照组的 OD 差值有所增加，NK 细胞活性有所降低，这表明环磷酰胺(Cy)诱导的免疫抑制模型成功建立。而经过辣木提取物处理后，各剂量组 OD 差值均呈上升趋势，小鼠脾淋巴细胞转化率分别较 Cy 模型组增加 35.62%、36.99%、1.05 倍(p < 0.05~0.01)，且作用呈浓度依赖性。辣木提取物低、中、高剂量组的 NK 细胞活性分别较 Cy 模型组增加 27.69%、30.00%和 47.92% (均 p < 0.05~0.01)，证实辣木提取物对小鼠脾脏淋巴细胞转化率和 NK 细胞活性具有显著的提升效果。

Table 3. Effects of *Moringa oleifera* Lam extract on ConA induced OD difference on splenic lymphocyte proliferation and NK cell activity in mice (n = 10)

表 3. 辣木提取物对 ConA 诱导脾淋巴细胞增殖 OD 差值及 NK 细胞活性的影响(n = 10)

组别与剂量	OD 差值	NK 细胞活性(%)
正常对照组	0.92 ± 0.22	50.34 ± 5.50
Cy 模型对照组	0.73 ± 0.21	45.25 ± 5.62
辣木提取物 80 mg/kg 组	0.99 ± 0.32 ^{#*}	57.77 ± 7.61 ^{#*}
辣木提取物 200 mg/kg 组	1.00 ± 0.25 ^{#*}	59.08 ± 12.00 ^{#*}
辣木提取物 400 mg/kg 组	1.50 ± 0.11 ^{##}	66.89 ± 8.95 ^{###}

注：与正常对照组比较，[#]p < 0.05 (差异显著)，^{##}p < 0.01 (差异极显著)；与 Cy 模型组比较，^{*}p < 0.05 (差异显著)，^{**}p < 0.01 (差异极显著)。

4. 讨论

研究表明，过量运动训练可使体内氧化应激增加，受到氧化损伤，导致产生疲劳甚至运动损伤。以往在运动训练中通过服用抗氧化剂，如维生素 E、维生素 C 或含硒补充剂，进行运动疲劳的预防和纠正，但存在效果单一、成本较高等缺陷[11][12]。鉴于此，目前抗运动疲劳产品的方向是倾向于补充含有生物活性物质的天然健康植物或提取物。辣木含有多种生物学活性成分，包括黄酮类、酚类、生物碱、类固醇、皂苷、单宁和萜类等化合物，但有关辣木在运动营养食品方面的应用研究相对较少[13]-[15]。因此，本研究进行其抗氧化作用的研究，其中所选指标 SOD 作为抗氧化酶和氧自由基清除剂，机体对氧自由基的清除能力可以间接通过 SOD 酶活性高低判断[16]。MDA 作为细胞膜不饱和脂肪酸过氧化反应终产物，其含量反映脂质过氧化的程度、细胞受自由基攻击导致细胞损伤的严重程度[17]。经对高脂大鼠灌胃辣木浸膏 40 天后，发现不同浓度辣木浸膏对大鼠的 T-SOD 酶和 MDA 酶活性分别有提高和降低的作用，证实了辣木提取物具有显著的抗氧化作用。从该作用的机理来看，药食同源植物抗运动疲劳的研究一般通过提高肝糖原的含量、抑制氧化应激、降低血乳酸浓度等作用途径延缓运动性疲劳的产生[18]-[20]。结合以往研究结果，辣木的抗氧化活性成分大部分是抗坏血酸、酚类物质和黄酮类物质，主要通过清除自由基减少组织中的氧化损伤，或者通过减少代谢产物累积、减轻氧化应激、缓解内质网应激发挥抗疲劳作用[21][22]。有研究证实，辣木多糖具有显著的抗氧化活性，能够清除羟自由基和超氧阴离子，从而抵抗氧化应激和预防慢性疾病。辣木中的多酚成分具有强大的抗氧化能力，能够中和自由基，保护细胞免受氧化损伤，辣木含有丰富的维生素 C 和 E，这些维生素是重要的抗氧化剂，能够中和体内的自由基，减少氧化应激，并具有调节肝脂过氧化和甲状腺激素的作用[23]-[25]。而辣木黄酮则可通过激活 Nrf2 通路、改善能量代谢和提高线粒体功能等多种机制来减轻力竭运动引起的疲劳或损伤[26][27]。本研究所用的膏体包含多糖、黄酮等成分，推测其作用机制可能与通过调节能量代谢，减少代谢产物积累、提高抗氧化能力等途径有关或是综合作用的结果。

运动疲劳是机体在剧烈运动或长时间运动中，由于乳酸、尿素氮等代谢产物大量堆积，血糖、肝糖原含量降低，机体生理过程不能保持其机能特定水平上和/或不能维持预定运动强度的结果，其中免疫细胞活性下降是重要的发生机理，在免疫功能较差的运动人群中表现更为突出。多种植物多糖在恢复体力疲劳方面已取得显著效果，对于辣木提取物是否有免疫增强效果正在引起广泛关注[28][29]。经研究表明辣木素的高抗氧化剂含量可以帮助减少高水平体力消耗引起的氧化应激，其作用机制与辣木中含有多糖、槲皮素、山奈酚等物质有关，辣木多糖长期应用可以显著改善机体运动疲劳和发挥延缓衰老的作用，

其对于治疗机体免疫系统缺陷或损伤有显著效果。另外有研究证实,服用辣木素的运动员感受到灵活性增加,受伤和扭伤减少。作为锻炼后的补充剂,辣木的氨基酸含量和数十种维生素和矿物质含量高,其可以成为经过艰苦锻炼和身体紧张后的一种完美恢复食品。使用辣木作为锻炼前和锻炼后的补充即可以帮助身体达到最佳性能[30][31]。本文研究结果显示,辣木提取物明显提高动物的免疫器官脾脏指数、胸腺指数,并显著增加正常小鼠脾淋巴细胞转化率的幅度和NK细胞的杀伤活性,这些结果表明辣木提取物呈现出显著的免疫增强作用,可作为一种潜在的抗运动疲劳活性成分进行开发研究和推广应用。

总之,本研究证明辣木提取物具有辅助抗氧化功能和免疫增强作用,这对于促进和推动其在运动抗疲劳方面的应用具有重要意义。相信随着未来对辣木提取物作用机制进行更广泛的实验和临床研究,将能更充分发挥其在抗运动疲劳中的研发潜力。

基金项目

广州市科学技术局 2023 年度行业科技协同创新中心建设专题项目(2023B04J0529)。

参考文献

- [1] 王步标, 华明. 运动生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 316-322.
- [2] 董海胜, 臧鹏, 陈军丽, 等. 药食同源理论及其在航天营养健康研究中的应用[J]. 载人航天, 2024, 30(3): 393-399.
- [3] 黄丽娜, 程世敏, 赵增贤, 等. 我国辣木产业发展的现状与前景[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(7): 104-107.
- [4] 许敏, 赵三军, 宋晖, 等. 辣木的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(23): 291-301.
- [5] 任广旭, 伊素芹, 张鸿儒, 等. 辣木功效的研究现状[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(16): 219-222.
- [6] 马丽, 马英. 响应面法优化辣木籽多肽饮料配方及其抗运动疲劳作用的研究[J]. 保鲜与加工, 2023, 9(12): 38-46.
- [7] 杨倩, 田雪梅, 张晓文, 等. 辣木提取物降脂作用的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3): 963-967.
- [8] 吴宽, 牟泓羽, 杨瑜芳, 等. 辣木核桃乳的研制及其对小鼠睡眠改善作用[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(20): 96-99.
- [9] 钟飞, 蒋韵, 吴芬芬, 等. 沙棘总黄酮对小鼠细胞免疫功能的影响[J]. 中草药, 1989, 20(7): 43-45.
- [10] 孙英, 孙奕, 骆永珍. 淫羊藿总黄酮促进免疫功能低下小鼠 IL-2 和 NK 活性的实验研究[J]. 中草药, 2002, 33(7): 62-64.
- [11] Folkard, G. and Sutherland, J. (1996) *Moringa oleifera*: A Tree and a Litany of Potential. *Agroforestry Today*, **8**, 5-8.
- [12] William, F., Lakshminarayanan, S. and Chegu, H. (1993) Effect of Some Indian Vegetables on the Glucose and Insulin Response in Diabetic Subjects. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **44**, 191-195.
<https://doi.org/10.3109/09637489309017439>
- [13] 冯光恒, 徐兴才, 江功武, 等. 辣木综合利用研究综述[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(18): 8-10, 13.
- [14] 刘子记, 孙继华, 刘昭华, 等. 特色植物辣木的应用价值及发展前景分析[J]. 热带作物学报, 2014, 35(9): 1871-1878.
- [15] 汪雯婧, 胡霞, 白玉英, 等. 辣木多酚提取、功能及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2024, 45(19): 415-420.
- [16] Sreelatha, S. and Padma, P. (2010) Modulatory Effects of *Moringa oleifera* Extracts against Hydrogen Peroxide-Induced Cytotoxicity and Oxidative Damage. *Human & Experimental Toxicology*, **30**, 1359-1368.
<https://doi.org/10.1177/0960327110391385>
- [17] 李天娇, 程碧君, 张芳玮, 等. 辣木叶多酚提取及抗氧化能力研究[J]. 农产品加工, 2023, 27(20): 15-18.
- [18] 普天磊, 韩学琴, 邓红山, 等. 辣木抗氧化成分提取方法和抗氧化能力研究进展 [J]. 食品工业科技, 2019, 40(19): 310-315.
- [19] Ghasi, S., Nwobodo, E. and Ofili, J.O. (2000) Hypcholesterolemic Effects of Crude Extract of Leaf of *Moringa oleifera* Lam in High-Fat Diet Fed Wistar Rats. *Journal of Ethnopharmacology*, **69**, 21-25.
[https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(99\)00106-3](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(99)00106-3)
- [20] Balboa, J.G. and Limsylianco, C.Y. (1995) Effect of Some Medicinal Plants on Skin Tumor Promotion. *Philippine Journal of Science*, **2**, 203-2067.
- [21] 马媛媛. 辣木黄酮对运动损伤大鼠氧化应激和能量代谢的影响[J]. 分子植物育种, 2023, 21(16): 5504-5509.

- [22] Gilani, A.H., Aftab, K., Suria, A., Siddiqui, S., Salem, R., Siddiqui, B.S., *et al.* (1994) Pharmacological Studies on Hypotensive and Spasmolytic Activities of Pure Compounds from *Moringa oleifera*. *Phytotherapy Research*, **8**, 87-91.
<https://doi.org/10.1002/ptr.2650080207>
- [23] 梁鹏, 甄润英. 辣木茎叶中水溶性多糖的提取及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(14): 25-29.
- [24] 井澈, 边祥雨, 金璐, 等. 辣木叶提取物通过缓解氧化应激对急性高原低氧暴露小鼠心肺损伤的减轻作用研究[J]. 环境与健康杂志, 2025, 42(2): 126-129.
- [25] Coppin, J.P., Juliani, H.R., Wu, Q. and Simon, J.E. (2015) Variations in Polyphenols and Lipid Soluble Vitamins in *Moringa oleifera*. In: Preedy, V., Ed., *Processing and Impact on Active Components in Food*, Elsevier, 655-663.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404699-3.00079-2>
- [26] 雷福红, 龙继明, 张祖兵, 等. 辣木茎叶、籽、果荚营养成分及提取物抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(7): 40-45.
- [27] 刘媛媛, 孙杨, 李超, 等. 辣木叶通过 NF- κ B 通路介导血管性痴呆小鼠 mTOR、Cdc42 的表达对学习记忆功能及海马神经元的保护机制[J]. 中国老年学杂志, 2024, 44(7): 1731-1734.
- [28] 刘凤霞, 王苗苗, 赵有为, 等. 辣木中功能性成分提取及产品开发生研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 282-286.
- [29] Contini, M., Baccelloni, S., Massantini, R. and Anelli, G. (2008) Extraction of Natural Antioxidants from Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Shell and Skin Wastes by Long Maceration at Room Temperature. *Food Chemistry*, **110**, 659-669.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.060>
- [30] Teixeira, E.M.B., Carvalho, M.R.B., Neves, V.A., Silva, M.A. and Arantes-Pereira, L. (2014) Chemical Characteristics and Fractionation of Proteins from *Moringa oleifera* Lam. Leaves. *Food Chemistry*, **147**, 51-54.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.135>
- [31] 常燕云, 朱云峰, 边祥雨, 等. 高原低氧环境下辣木叶提取物对小鼠抗疲劳的作用及其机制[J]. 营养学报, 2024, 46(4): 383-389.