

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): 415–423. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110057

WANG Wenjing, HU Xia, BAI Yuying, et al. Progress of Research on Extraction, Function and Application of *Moringa oleifera* Polyphenols[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(19): 415–423. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110057

· 专题综述 ·

## 辣木多酚提取、功能及应用研究进展

汪雯婧<sup>1,2,3</sup>, 胡霞<sup>1,2</sup>, 白玉英<sup>1,2</sup>, 张丽<sup>1,2</sup>, 苏敏<sup>1,2</sup>, 潘月秀<sup>1,2</sup>, 解静<sup>1,2,3,\*</sup>, 田洋<sup>2,3,4,\*</sup>

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201;

2. 食药同源资源开发与利用教育部工程中心, 云南昆明 650201;

3. 国家辣木加工技术研发专业中心, 云南昆明 650201;

4. 云南省精准营养与个性化食品制造重点实验室, 云南昆明 650201)

**摘要:** 辣木是一种药食两用多年生的植物, 多酚是其主要活性成分之一。本文综述了辣木不同部位多酚种类和含量、辣木多酚提取方法、辣木多酚功效、辣木多酚应用的发展现状, 其中重点综述了辣木多酚抗氧化、抗炎、抗菌、抗病毒、抗癌和降糖等功能的研究现状, 期望能为辣木多酚的未来研究和应用提供理论基础以及新的见解。

**关键词:** 辣木, 多酚, 提取, 功能, 应用

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)19-0415-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110057

本文网刊:



## Progress of Research on Extraction, Function and Application of *Moringa oleifera* Polyphenols

WANG Wenjing<sup>1,2,3</sup>, HU Xia<sup>1,2</sup>, BAI Yuying<sup>1,2</sup>, ZHANG Li<sup>1,2</sup>, SU Min<sup>1,2</sup>, PAN Yuexiu<sup>1,2</sup>,  
XIE Jing<sup>1,2,3,\*</sup>, TIAN Yang<sup>2,3,4,\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Engineering Research Center of Development and Utilization of Food and Drug Homologous Resources, Ministry of Education, Kunming 650201, China;

3. National Research and Development Professional Center for Moringa Processing Technology, Kunming 650201, China;

4. Yunnan Provincial Key Laboratory of Precision Nutrition and Personalized Food Manufacturing, Kunming 650201, China)

**Abstract:** *Moringa oleifera* is a perennial medicinal and edible plant, and polyphenols as one of its main active ingredients. This study reviews the current status of development of the polyphenol types and contents of different parts, polyphenol extraction methods, polyphenol efficacy, and polyphenol applications of *Moringa oleifera*. Additionally, the current research on the antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, anticancer, and hypoglycemic properties of polyphenols from *Moringa oleifera* is critically examined. The aim of this review is to provide a theoretical basis as well as new insights into the future research and applications of *Moringa oleifera* polyphenols.

**Key words:** *Moringa oleifera*; polyphenols; extraction; function; applications

近年来, 从大自然中获取天然产物来满足或提高人类对生产生活的需要, 已经成为研究的热点。食

药同源植物具有较大的营养和药用价值且兼有成本较低、获取便利等多种优点, 备受人们的青睐。

收稿日期: 2023-11-08

基金项目: 云南省科技厅基础研究项目 (202201AT070262); 云南省食药同源资源功能食品创新团队项目 (A3032023057); 云南省“万人计划”产业技术人才项目 (YNWR-CYJS-2020-010); 云南省省市一体化专项 (202302AN360002)。

作者简介: 汪雯婧 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: 2457475952@qq.com。

\* 通信作者: 解静 (1988-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 功能食品, E-mail: jingxie0624@163.com。

田洋 (1982-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能食品, E-mail: tianyang1208@163.com。

多酚是蔬菜、水果、茶等植物的次生代谢产物,具有多种生物活性,如抗炎、降脂、抗氧化等,可应用于食品、化妆品、药品等多个行业<sup>[1]</sup>。辣木中富含多酚<sup>[2]</sup>,且辣木多酚种类丰富,具有抗病毒、抗肿瘤、抗炎等多种生物活性<sup>[3]</sup>,并对神经系统性疾病<sup>[4]</sup>、贫血<sup>[4]</sup>、代谢紊乱<sup>[5]</sup>、心血管疾病<sup>[6]</sup>、肥胖症<sup>[7]</sup>等多种慢性疾病具有治疗效果。

本文介绍了辣木不同部位的多酚组成以及辣木多酚的提取方法,并分析了辣木多酚的功能及应用,以期对辣木多酚资源的有效开发利用及深入研究提供理论参考。

## 1 辣木中不同部位的多酚种类及含量

多酚是一类广泛存在于植物中的多元酚类物质的总称,它们被分为类黄酮和酚酸,称为酚类化合物。近年来,有研究学者发现辣木中富含黄酮、酚酸等多种多酚物质,且辣木不同部位的多酚种类及含量不尽相同,如在辣木的叶、根、树皮、花和种子中黄酮类化合物和羟基苯甲酸含量较多,此外,辣木叶中的杨梅素和槲皮素,根中的龙胆酸和生物菌素 A 含量显著高于其他酚类成分<sup>[8]</sup>。

### 1.1 辣木籽

据报道,辣木籽中含有 50 mg/g 的多酚物质,其中包括黄酮类化合物(儿茶素、表儿茶素、槲皮素和山柰酚等)和酚酸类化合物(没食子酸、鞣花酸和咖啡酸等)<sup>[9]</sup>。此外,研究人员对脱脂辣木籽粉中的酚类物质进行高效液相色谱(HPLC)分析,发现辣木籽中的酚类物质多以结合态的形式存在,且儿茶酚的含量最高<sup>[10]</sup>。有学者将辣木籽分成辣木籽仁和辣木籽壳进行研究,发现仁中的多酚含量为 3.374 mg/g,壳中的多酚含量为 5.124 mg/g<sup>[11]</sup>。因此,辣木籽中的多酚物质多富集在辣木籽壳上,且以儿茶素、表儿茶素等结合形式存在。

### 1.2 辣木花

现有的研究表明辣木花干粉中富含类黄酮、生物碱、酚酸、单宁等多种酚类物质,其总酚含量为  $15.97 \pm 0.223$  mg GAE/g<sup>[12]</sup>。此外,辣木花乙醇提取物的总酚含量为  $55 \pm 2$  mg GAE/g,研究人员进一步对其中的成分进行分析,发现辣木花乙醇提取物中含有单宁、类黄酮等多酚物质,以及类固醇、生物碱、碳水化合物、苷类化合物、强心苷、萜类化合物等各种次级代谢产物<sup>[13]</sup>。

### 1.3 辣木叶

研究发现辣木叶提取物中多酚含量为 29.11 mg GAE/g<sup>[14]</sup>,总多酚含量占 2.94%~4.25%,共有 527 种多酚类物质,类黄酮物质种类最多,有 312 种;其次为酚酸,有 176 种;木脂素和香豆素类共计 36 种;鞣质物质较少,为 3 种<sup>[15]</sup>。辣木叶中的多酚物质以黄酮和酚酸两大类为主,黄酮类化合物包括槲皮素和山柰酚及其衍生物,酚酸类物质包括阿魏酰奎宁酸、咖啡酰奎宁酸以及对香豆酰奎宁酸等,其中在辣木叶中

含量最高的为异槲皮苷,其次是维采宁-2、紫云英苷、绿原酸、异牡荆素和牡荆素<sup>[16-17]</sup>。

### 1.4 辣木根

研究人员采用超高效液相色谱(UPLC)检测辣木根酚类成分,发现辣木根中含量最高的为杨梅酮和槲皮素,此外还含有 O-香豆酸、山柰酚、白藜芦醇、儿茶酚等酚类物质<sup>[18]</sup>。对辣木根不同部位的多酚物质进一步检测发现,侧根的总酚、缩合单宁及类黄酮均高于主根,但其总酚含量较辣木叶总酚含量低<sup>[19]</sup>。此外,还有研究报道了不同辣木根提取物中的多酚种类,如辣木根乙醇提取物中含有甾醇、皂苷、类黄酮和生物碱,辣木根水提取物中含有糖苷、类黄酮、生物碱和单宁等多酚物质<sup>[20]</sup>。因而,辣木根多酚主要存在于侧根中,且含量最高的为杨梅酮和槲皮素。

### 1.5 辣木茎

现有研究表明辣木茎水提取物中含有不同于辣木叶提取物的原花青素<sup>[21]</sup>;辣木茎甲醇提取物含有皂苷、蒽醌苷、生物碱、类黄酮、萜类化合物、甾醇等化合物,其中含量占比较大的为黄酮、苯丙素、糖苷和生物碱类物质<sup>[22]</sup>。此外,还有学者对辣木茎皮进行研究,发现辣木茎皮中含有单宁,且其占总酚含量的 50.72%<sup>[23]</sup>。

因此,多酚物质在辣木不同部位的含量及种类不尽相同,辣木籽中含量最高的为儿茶酚;辣木叶中含量最高的为异槲皮苷;辣木根中含量最高的为杨梅酮和槲皮素;辣木茎中含量最高的为单宁。

## 2 辣木多酚的提取方法

目前,国内外研究发现辣木中各组织部位都含有多酚,是多酚的天然丰富来源。但辣木各部位所含多酚类别不一,且不同提取方法所得的多酚种类和含量不尽相同。因此,本文对辣木多酚的提取方法进行了比较,见表 1。

### 2.1 溶剂提取法

溶剂提取法主要是利用多酚在不同的溶剂中溶解度的差异进行分离。多酚既能溶于水,也能溶于各种有机溶剂,目前常用乙醇、甲醇、乙酸乙酯等有机溶剂进行多酚提取。此外,出于环保、健康考虑,绿色溶剂提取成为近年来广泛关注的话题。

**2.1.1 常规溶剂提取法** 由于不同溶剂具有不同的极性、扩散强度和结构等,因此多酚提取率随溶剂的不同而不同。有研究用不同的溶剂提取辣木不同部位的多酚,发现相较于辣木其它部位的提取物,辣木花水提物的多酚含量最高,达到  $89 \pm 2$  mg GAE/g;此外,相较于其它溶剂,辣木叶、根、树皮和种子乙酸乙酯提取物多酚含量最高<sup>[9]</sup>。此外,用甲醇、乙醇和水三种不同溶剂提取辣木叶多酚,发现甲醇是辣木叶多酚的最佳提取溶剂,其总酚含量可达 46 mg GAE/g;此外,在三种辣木叶提取物中,辣木叶乙醇提取物类黄酮含量最高,约为 18 mg CE/g<sup>[23]</sup>。虽然常规溶剂

提取方法操作简单,但提取耗时长,且需要大量的高纯度试剂,此外,由于试剂不可直接食用,后期还需全部除去,程序较为复杂。

**2.1.2 绿色溶剂提取法** 由于有机溶剂提取对环境 and 人体健康存在一定的不良影响,因此,绿色溶剂提取不断兴起,受到越来越多的关注<sup>[24]</sup>。目前关于绿色溶剂提取辣木多酚的研究大多集中在使用天然深共熔溶剂进行辣木多酚提取。已知天然深共熔溶剂(DES, 基于氯化胆碱和柠檬酸)可用于提取与药理学相关的生物活性化合物,且相较于糖基 DES, 酰胺基 DES、酸基 DES 和醇基 DES 具有更好的提取效率<sup>[25]</sup>。据报道,采用新型离子液体类似物 DES 提取辣木叶多酚,可获得高含量的抗氧化酚类化合物<sup>[26]</sup>。因而,进一步研究 DES 提取辣木多酚发现,甘油的 DES 能提取更多的多酚,总酚含量可达 38.409±0.095 mg GAE/g, 总黄酮含量可达 2.259±0.023 mg QE/g<sup>[27]</sup>,该溶剂提取的优点在于材料环保、稳定、高效、易降解。

2.2 超声辅助提取法

超声辅助提取法可以通过超声波的空化作用、机械效应和热效应等破坏天然产物的细胞壁结构,从而促进生物活性物质从植物材料释放到提取液相中<sup>[28]</sup>。目前已有研究采用超声辅助法<sup>[29]</sup>提取辣木叶多酚,所得总酚为 27.32 mg/g。另有研究表明,经过超声预处理封装的辣木多酚既能保持其含量又能维持抗氧化活性,且超声预处理后,辣木叶中总多酚含量从 35.83% 增加至 37.59%<sup>[30]</sup>。此外,还有研究采用超声辅助绿色溶剂提取辣木多酚,即超声预处理辣木叶 30 min,然后用新型甘油或烟酰胺 DES 提取(以干重计),其总多酚含量最大可达到 82.87±4.28 mg GAE/g<sup>[31]</sup>。超声辅助提取可以显著提高从原料中获得多酚的效率,还可以更好地保存和提高多酚提取物的生物活性,如抗氧化、抗癌和抗菌等特性,但超声预处理样品对活化能的要求高,且对多酚可提取性的

积极影响可能是有限的<sup>[32]</sup>。

2.3 均质机辅助提取法

均质机提取多酚主要是基于转子和定子之间的强剪切力破坏材料,促进多酚物质的释放<sup>[33]</sup>。采用均质机辅助提取辣木叶多酚,其总酚得率高于超声辅助提取<sup>[34]</sup>。另外,有研究对比了均质机辅助提取、微波辅助提取、快速固液动态萃取提取三种方法对辣木叶多酚含量的影响,发现均质机辅助提取的提取物中多酚含量最高,其最大量可达 35.19 mg/g,且氧自由基吸收能力最高<sup>[35]</sup>。因此,均质机辅助提取可以有效地获得辣木多酚,且能保护其生物活性。

2.4 其他提取方法

除以上提取方法外,辣木多酚的提取方法还包括微波辅助萃取,其中辣木叶总酚含量为 86±4 mg GAE/g ; 加压液体萃取,其中辣木叶总酚含量为 59±6 mg GAE/g<sup>[36]</sup>; 索氏提取,其中辣木叶乙醇提取物总酚含量为 380.3±81.1 mg GAE/g, 水提取物总酚含量为 109.1±4.12 mg GAE/g<sup>[37]</sup>; 超临界流体萃取,其中辣木叶多酚含量为 20.3±0.3 mg GAE/g<sup>[38]</sup>。索氏提取法获得的辣木多酚含量最高,但其不利于大规模生产,而微波辅助萃取既能有效地破坏细胞壁,获得较大含量的多酚,又能最大程度保护有效成分。

综上所述,辣木多酚的提取量随提取方法的改变而改变,多酚易溶于水、醇类、酯类等中,辣木叶和辣木籽是多酚的主要获取来源,而对于辣木籽的提取研究近年来多集中于超声辅助提取法上,但其多酚含量与辣木叶多酚提取相比仍较低,原因可能在于前期过程未对辣木籽进行脱脂处理,从而占比降低。辣木叶多酚的提取中,采用乙酸乙酯提取法、水或乙醇索氏提取法所得到的多酚量最大,但是溶剂提取法耗时较长且后期处理溶剂较为复杂,索氏提取法效率高但不适用于大规模生产;由于不同的提取方法具有不同的优缺点,需要根据不同的情况选择合适的方法。

表 1 辣木多酚的提取方法  
Table 1 Extraction methods of polyphenols from *Moringa oleifera*

| 提取方法  |          | 溶剂           | 多酚含量(mg 没食子酸当量(GAE)/g)   | 参考文献         |
|-------|----------|--------------|--------------------------|--------------|
| 溶剂提取法 | 常规溶剂提取法  | 水            | 辣木花多酚89±2                | [9]          |
|       |          | 甲醇           | 辣木叶多酚46                  | [23]         |
|       |          | 乙酸乙酯         | 辣木叶多酚200±10              | [9]          |
|       | 绿色溶剂提取法  | 乙醇           | 辣木籽多酚4.125±0.017         | [39]         |
|       |          | 天然深共熔溶剂(DES) | 辣木叶多酚38.409±0.095        | [27]         |
| 其他提取法 | 超声辅助提取法  | 乙醇           | 辣木叶多酚29.11<br>辣木籽多酚4.867 | [40]<br>[41] |
|       | 均质机辅助提取法 | 丙酮           | 辣木叶多酚64.412±1.995        | [42]         |
|       | 微波辅助萃取法  | 甲醇           | 辣木叶多酚35.19               | [35]         |
|       |          | 乙醇           | 辣木叶多酚86±4                | [36]         |
|       |          | 乙醇           | 辣木叶多酚59±6                | [36]         |
|       | 索氏提取法    | 水            | 辣木叶多酚109.1±4.12          | [37]         |
|       |          | 乙醇           | 辣木叶多酚380.3±81.1          | [37]         |
|       | 超临界液体萃取法 | 二氧化碳膨胀乙醇     | 辣木叶多酚20.3±0.3            | [38]         |



### 3 辣木多酚的功能

目前,国内外许多学者对辣木多酚健康功能的研究集中在抗氧化作用、抗炎作用、抗菌作用和抗病毒作用等方面。

#### 3.1 抗氧化作用

多酚(除酚基外)的碳中心含有多个自由基和芳香分子,能与自由基快速地反应,且多酚作为抗氧化剂,能够减少或消除自由基引起细胞和组织损伤<sup>[43]</sup>。研究表明辣木的抗氧化作用与其多酚含量有关,由于辣木叶富含多酚物质,其表现出了较高的抗氧化能力<sup>[44-45]</sup>;辣木花乙醇提取物的总酚含量为 19.31 mg GAE/g,在实验中表现出了中等的抗氧化活性<sup>[46]</sup>;相较于辣木叶和辣木花,辣木根具有较低的抗氧化活性<sup>[18]</sup>。同样的,有研究对辣木各个部位的 DPPH 自由基清除能力进行对比,发现辣木叶的抗氧化活性最高,辣木根、整株幼苗和种子的抗氧化活性最低<sup>[47]</sup>。辣木多酚具有较好的抗氧化作用,且辣木叶的抗氧化作用最佳,在食品及医药领域都具有较大的应用价值和潜力。

#### 3.2 抗炎作用

多酚在抗炎方面发挥着显著的作用,其中发挥作用的关键成分为没食子酸、白藜芦醇、山奈酚、类黄酮等,且有研究表明多酚含量与抗炎活性呈正相关<sup>[48]</sup>。辣木根、籽、叶、花都具有抗炎的作用<sup>[49]</sup>。虽然辣木叶中有较高含量的类黄酮、酚酸等多酚物质,且表现出了较好的抗炎功效<sup>[50-51]</sup>,但抗炎活性最好的是辣木花<sup>[44]</sup>,可与标准药物双氯芬酸钠相媲美,其原因是辣木花中除含有多酚外,还存在蛋白酶抑制剂(MOFI),MOFI 可通过细胞因子介导促进抗炎活性的增加<sup>[52-53]</sup>。此外,富含辣木多酚的制剂对小鼠巨噬细胞 RAW264 细胞系的促炎因子 NO 具有抑制作用,且呈剂量依赖性,其效果与阳性药物地塞米松相似,其中主要活性成分为芦丁和没食子酸<sup>[54]</sup>。有研究发现富含多酚的辣木叶乙醇提取物具有治疗大鼠关节炎的作用<sup>[55]</sup>,辣木叶粉对大鼠胃溃疡的保护效果较佳<sup>[56]</sup>。总之,辣木多酚具有较好的抗炎作用,但辣木多酚抗炎功效的研究还大多停留在细胞体外验证或动物体内验证上,依旧缺乏临床医学的指导。

#### 3.3 抗菌作用

多酚类物质如山奈酚、芦丁和杨梅素等具有抵抗革兰氏阳性/阴性细菌的作用,对香豆酸、阿魏酸、没食子酸等能够抑制金黄色葡萄球的生长<sup>[9]</sup>。辣木叶水提物中富含多酚且显示出对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌活性,有研究在冷藏鸡肉中添加中等水平(50 g/kg)辣木叶多酚既不影响肉饼感官质量,又对延缓脂质过氧化和抑制微生物生长具有良好的效果<sup>[57]</sup>。辣木籽含有蛋白质、氨基酸、脂类和酚类化合物等物质,具有较高的抗菌活性,研究人员将其合成辣木籽饼纳米银颗粒,发现辣木籽多酚确实抑制了细菌的生长,且延长细菌培养的滞后期<sup>[58]</sup>。此外,有

研究表明添加辣木籽于鲶鱼产品中,除了能够提高熏制鲶鱼产品的营养价值外,还能起到抗菌作用,由于其天然存在的酚类化合物,添加辣木籽腌料的烟熏非洲泥鲇能在室温下储存 15 d<sup>[59]</sup>。辣木多酚的抗菌活性在食品防腐领域得到了充分的肯定,但还缺乏对特定菌种抑制作用的研究,从而促使辣木多酚成为食品防腐领域不可替代的天然成分。

#### 3.4 抗病毒作用

多酚可对抗各种类型病毒感染<sup>[33]</sup>,其抗病毒活性是通过在感染早期抑制病毒复制或限制病毒复制而发挥作用的<sup>[60-61]</sup>。据报道,辣木中的多酚类物质如山奈酚、槲皮素、芹菜素和异野漆树苷具有抵抗新型冠状病毒肺炎感染的潜力;其中,芹菜素对新型冠状病毒肺炎的主要蛋白酶 CoV-2- MPro 具有很高的抑制活性<sup>[62-63]</sup>,这为抵抗新型冠状病毒作出重要贡献。另外,辣木提取物以浓度依赖性方式抑制 HIV 慢病毒载体复制,辣木叶水提物、甲醇提物和石油醚提物的抑制 HIV 慢病毒载体复制的 EC<sub>50</sub> 值分别为 7.17、7.72 和 7.59  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ,其中发挥作用的成分可能为单宁、类黄酮等物质;此外,由于辣木叶水提物中存在的杨梅素、芹菜素等酚类物质,其对 HSV 1 型和 2 型病毒具有抑制作用,抑制率分别为 43.2% 和 21.4%;由于辣木叶甲醇提取物中存在的槲皮素、绿原酸等物质,其对 HSV 1 型具有明显的抑制作用,其 EC<sub>50</sub> 值为  $74.8\pm 4.7 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ <sup>[64]</sup>。辣木多酚的抗病毒活性在体外实验中已得到了充分的证实,但仍缺乏体内实验的验证和实际生产生活中的应用。

#### 3.5 抗癌作用

植物多酚可通过抑制癌细胞增殖、血管生成、转移和炎症以及诱导细胞凋亡等发挥抗癌活性,并且多酚还通过调节免疫系统反应并保护正常细胞免受自由基的破坏<sup>[65]</sup>。研究发现辣木中的丁香酚等多酚物质,能够诱导癌细胞凋亡,进而发挥抗癌作用<sup>[66]</sup>。此外,辣木中的槲皮素可通过诱导细胞凋亡或细胞周期阻滞抑制癌细胞增殖<sup>[67]</sup>,并且其也能通过抑制细胞内信号传导或调节信号通路减少癌细胞的增殖<sup>[68]</sup>。例如,槲皮素能与肿瘤抑制蛋白 p53 紧密结合,从而发挥抗癌作用<sup>[38]</sup>。此外,有学者发现在灌胃富含多酚的辣木叶乙醇提取物后,二乙基亚硝胺诱导的 Wistar 大鼠肝细胞癌受到抑制;体内研究同样证明,辣木叶中的山奈酚、槲皮素和芦丁等多酚物质具有抗癌特性<sup>[69]</sup>。通过以上体内外研究表明辣木多酚具有抗癌的作用,其在抗癌药物的开发及应用方面极具潜力。

#### 3.6 降糖作用

多酚可以抑制  $\alpha$ -淀粉酶、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶等活性,而抑制这些酶会使碳水化合物消化延迟和延长,从而导致葡萄糖吸收减慢和餐后血糖升高降低,从而调节葡萄糖稳态<sup>[70]</sup>。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶、 $\alpha$ -淀粉酶和丝氨酸蛋白酶(DPP-IV)被认为是治疗 2 型糖尿病的重要靶点。有研究发现辣木中的槲皮素和绿原酸等化合物

对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 DPP-IV 酶具有较强的抑制活性<sup>[71]</sup>;在糖尿病大鼠模型中,辣木中的槲皮素和山奈酚可以通过抑制  $\alpha$ -淀粉酶活性,降低葡萄糖吸收,进而发挥降糖功效<sup>[72]</sup>;辣木籽中分离出的六种酚苷物质具有抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的作用,其中的两个化合物表现出比阿卡波糖更佳的抑制效果<sup>[73]</sup>。此外,有研究在辣木叶中发现糖基化类黄酮及咖啡酸这种酚酸,可通过抑制葡萄糖-6-磷酸转移酶和降低肝脏糖异生和糖原分解来改善大鼠肝脏葡萄糖代谢<sup>[74]</sup>。在临床试验中,将富含多酚的辣木叶粉胶囊补充给糖尿病患者后,发现补充了辣木叶多酚胶囊的病人血糖标志物发生了有利变化,表明辣木可能是一种天然的抗高血糖药物<sup>[75]</sup>。总之,辣木多酚已表现出体内外降糖活性,表明辣木具有预防糖尿病以及改善相关代谢的潜力。

### 3.7 其他功效

辣木多酚除了具有以上的功效外,还有研究发现辣木多酚对心脏病等疾病的并发症有积极作用<sup>[76]</sup>;辣木籽中的新型酚类糖苷具有增强人体免疫力的作用<sup>[77]</sup>;辣木籽多酚通过上调主动脉和肠系膜动脉中 NO 和 EDHF 信号,具有抑制衰老相关的内皮功能障碍和心血管疾病发展的作用<sup>[78]</sup>;辣木叶多酚由于其抗氧化和抑制细胞迁移作用,能够促进糖尿病患者伤口愈合<sup>[79]</sup>;辣木叶多酚和酚类提取物对  $H_2O_2$  诱导的 PC-12 细胞氧化应激具有很强的改善作用,表明辣木多酚具有神经保护活性<sup>[80]</sup>。以上研究表明,辣木多酚对心脏病及其并发症、伤口愈合、神经保护等具有积极作用,在相关医学的应用上具有较大的潜力。

## 4 辣木多酚的应用

### 4.1 在食品中的应用

4.1.1 在食品加工中的应用 基于辣木的高营养价值、高膳食纤维和低脂肪含量的特性,可应用于食品加工中。并且由于辣木多酚表现出的多种生物学特性,其也赋予了食品特殊的营养价值。研究发现辣木叶粉可作为烘焙食品原料,并且碱处理的辣木叶粉更适合制低脂健康零食产品,因为经过碱预处理和加热后辣木叶粉中的酚类化合物—对香豆酸仍然稳定,表明辣木叶粉具有作为食品原料的可能性<sup>[81]</sup>。另有学者用辣木叶配制功能性茶,发现其具有较高的抗氧化价值,原因是辣木叶茶中的多酚物质具有 DPPH 自由基抑制活性<sup>[82]</sup>。此外,由于淀粉与食物基质(主要是蛋白质和纤维多糖)以及某些天然膳食多酚可以相互作用,因而可以用辣木叶粉代替部分无麸质面粉,有助于降低饼干的体外淀粉消化率以及固有酚醛特征<sup>[83]</sup>。

4.1.2 在食品保存与贮藏中的应用 辣木多酚对大部分细菌和真菌表现出较高的抗菌活性,且其抗氧化活性可以延长食品的贮藏期,因而可以将辣木多酚应用于食品的保存和贮藏中。

已知辣木花萼甲醇提取物和水提物具有较高的抗氧化和抗菌活性,由于水提取不稳定,因此,辣木甲醇提取物被认为是工业中的天然防腐剂<sup>[84]</sup>。在烘焙配方中不添加化学防腐剂的情况下,用不同浓度的深共熔溶剂和辣木提取物制备活性膜涂抹于面包,发现面包保质期得到延长<sup>[85]</sup>。此外,有学者发现辣木含有的几种酚类化合物不仅可以改善肌肉蛋白的功能特性,还可以防止高氧改性气氛中包装的生肉发生脂质氧化<sup>[86]</sup>。辣木在水果保存中也发挥着重要的作用,研究表明 1% 羧甲基纤维素(CMC)与 2% 的辣木叶或辣木籽提取物混合,可以抑制病害、延长保质期,并在采后供应链中保持鳄梨的整体质量<sup>[87]</sup>。

### 4.2 在医药学中的潜在应用

辣木由于具有的抗癌、降糖、降脂等活性,在医药学中具有较大的应用潜力。有研究表明辣木叶多酚负载的磷脂复合体能有效抑制乳腺癌细胞的增殖,可用于乳腺癌的治疗<sup>[88]</sup>。已知辣木多酚具有抗菌、抗炎、抗糖尿病的特性,因此有研究将其作为抗糖尿病、抗菌和抗炎的草药,且在不同剂量下使用辣木叶都没有风险<sup>[89]</sup>。有学者研究发现辣木可以调控 2 型糖尿病患者的血糖,且摄入辣木可能对脂质参数和血压产生积极影响,现已经被制成胶囊和粉末以多种用途在市场上销售。此外,辣木还可用于治疗哮喘、高脂血症、高血压、激素疾病和胃肠道等疾病<sup>[90-91]</sup>。

### 4.3 在化妆、护肤行业中的应用

由于辣木多酚的显著抗氧化效果,其已在化妆品、护肤品行业中已得到应用。已知槲皮素是一种具有增白潜力的类黄酮化合物,其对酪氨酸酶具有很强的亲和力<sup>[92]</sup>,且辣木叶提取物中的槲皮素可以通过酪氨酸酶途径破坏黑色素生成,同时具有增亮皮肤的效果<sup>[93]</sup>。有研究将富含多酚的辣木籽和辣木叶提取物添加到防晒霜中,发现此防晒霜具有增白的作用<sup>[94]</sup>。因此,辣木中的多酚类物质在抗氧化、美白、提亮等方面具有较好的作用。

## 5 总结与展望

随着社会的不断发展,人们对健康生活水平的追求也不断提高,因而药食同源植物得到越来越多的关注。辣木作为药食同源植物,不仅能够满足营养需求,还能照顾到消费者的需要。近年来,学者们对辣木的研究也在不断更新,目的在于促进辣木的利用最大化,深入其活性、功能研究,以便开发更多的利于人体健康的产品。多酚作为辣木中主要的活性物质,其在提取、功效、应用等方面已被广泛研究,并获得了一定的研究进展。但由于辣木多酚得率较低,且基于绿色发展的背景下,低能、高效、环保的提取方法依旧是人们需要探讨的话题。此外,辣木多酚本身具有种类多样性和不稳定性特点,对于定向提取目的多酚还存在一定的难度。在辣木多酚活性研究方面,需要进一步加强活性成分与功能之间的构效关系,拓展其在功能食品等领域的应用。此外,辣木多酚在食



品、护肤品及医药行业等的实际应用依旧不够,且部分研究缺乏临床试验的支撑。因此,未来辣木多酚的发展应该朝向高得率、低成本、高功效、绿色环保的方向迈进,逐步增强辣木多酚在食品行业、护肤行业及医药行业等的应用。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] ZHANG Z H, LI X J, SANG S Y, et al. Polyphenols as plant-based nutraceuticals: Health effects, encapsulation, nano-delivery, and application[J]. *Foods* (Basel, Switzerland), 2022, 11(15): 2189.
- [2] GÓMEZ-MARTÍNEZ M, A SCACIO-VALDÉS A J, FLORES-GALLEGOS C A, et al. Location and tissue effects on phytochemical composition and *in vitro* antioxidant activity of *Moringa oleifera*[J]. *Industrial Crops & Products*, 2020, 151: 112439.
- [3] MONIKA L, HEALTHY H, SHARVIANTY A, et al. *Moringa oleifera* leaf flour biscuits increase the index of erythrocytes in pregnant women with anemia[J]. *Gaceta Sanitaria*, 2021, 35(S2): S206–S210.
- [4] SHALINI A, SAURABH A. Nutritional significance and therapeutic potential of *Moringa oleifera*: The wonder plant[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2021, 45(10): e13933.
- [5] FAHIMEH Z, SOLALEH E, SOHEIL F R, et al. Polyphenols: Potential anti-inflammatory agents for treatment of metabolic disorders[J]. *Phytotherapy Research*, 2021, 36(1): 415–432.
- [6] RANDRIAMBOAVONJY I J, HEURTEBISE S, PACAUD P, et al. *Moringa oleifera* seeds improve aging-related endothelial dysfunction in Wistar rats[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 2019: 2567198.
- [7] 杨延清. 辣木叶多酚、多糖分段提取及其体外降糖控脂活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2021. [YANG Y Q. Segmental extraction of polyphenols and polysaccharides from *Moringa oleifera* leaves and its *in vitro* hypoglycemic and lipid-controlling activities[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2021.]
- [8] PAULA C P, SOUSA B O D, OLIVEIRA A T J, et al. A protein isolate from *Moringa oleifera* leaves has hypoglycemic and antioxidant effects in alloxan-induced diabetic mice[J]. *Molecules*, 2017, 22(2): 271–271.
- [9] PRABAKARAN M, KIM S, SASIREKA A, et al. Polyphenol composition and antimicrobial activity of various solvent extracts from different plant parts of *Moringa oleifera*[J]. *Food Bioscience*, 2018, 26(26): 23–29.
- [10] DZAH C S, DUAN Y Q, ZHANG H H, et al. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review[J]. *Food Bioscience*, 2020, 35: 100547.
- [11] 谭颢, 夏国灯, 韩杨, 等. 辣木籽多酚提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(1): 280–285. [TAN S, XIA G D, HAN Y, et al. Optimisation of polyphenol extraction process from *Moringa oleifera* seeds and its antioxidant activity[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(1): 280–285.]
- [12] NASCIMENTO A J, ARAÚJO V G L K, EPAMINONDAS S P, et al. Ethanolics extracts of *Moringa*[J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, 117(1): 265–268.
- [13] VERGARA-JIMENEZ M, ALMATRAFI M M, FERNANDEZ L M. Bioactive components in *Moringa oleifera* leaves protect against chronic disease[J]. *Antioxidants*, 2017, 6(4): 91.
- [14] ROCCHETTI G, PAGNOSSA P J, BLASI F, et al. Phenolic profiling and *in vitro* bioactivity of *Moringa oleifera* leaves as affected by different extraction solvents[J]. *Food Research International*, 2020, 127: 108712.
- [15] 董维雲. 基于辣木叶水提物的抗疲劳营养制剂制备与评价研究[D]. 北京: 军事科学院, 2023. [DONG W Y. Research on the preparation and evaluation of anti-fatigue nutritional preparation based on aqueous extract of *Moringa oleifera* leaves[D]. Beijing: Academy of Military Sciences, 2023.]
- [16] 崔一凡, 陈香兰, 张旭, 等. 辣木叶成分及其活性研究进展[J]. *沈阳药科大学学报*, 2022, 39(9): 1142–1150. [CUI Y F, CHEN X L, ZHANG X, et al. Progress in the study of the constituents and activities of *Moringa oleifera* leaves[J]. *Journal of Shenyang Pharmaceutical University*, 2022, 39(9): 1142–1150.]
- [17] 邱明清, 韦思洁, 李灵犀, 等. 辣木叶多酚的提取与分离方法研究进展[J]. *沈阳药科大学学报*, 2022, 39(8): 1036–1046. [QIU M C, WEI S J, LI L X, et al. Progress of extraction and isolation methods of polyphenols from *Moringa oleifera* leaves[J]. *Journal of Shenyang Pharmaceutical University*, 2022, 39(8): 1036–1046.]
- [18] TSHABALALA T, NDHLALA A, NCUBE B, et al. Potential substitution of the root with the leaf in the use of *Moringa oleifera* for antimicrobial, antidiabetic and antioxidant properties[J]. *South African Journal of Botany*, 2020, 129: 106–112.
- [19] GHOLAP P A, NIRMAL S A, PATTAN S R, et al. Potential of *Moringa oleifera* root and *Citrus sinensis* fruit rind extracts in the treatment of ulcerative colitis in mice[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2012, 50(10): 1297–1302.
- [20] ATAWODI S E, ATAWODI J C, IDAKWO G A, et al. Evaluation of the polyphenol content and antioxidant properties of methanol extracts of the leaves, stem, and root barks of *Moringa oleifera* Lam[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2010, 13(3): 710–716.
- [21] JYOTI P, RAJVIR S. Studies on phytoconstituents and biological potential of stem of *Moringa oleifera*[J]. *Oriental Journal of Chemistry*, 2018, 34(3): 1589–1596.
- [22] KUMBHARE M, GULEHA V, SIVAKUMAR T. Estimation of total phenolic content, cytotoxicity and *in vitro* antioxidant activity of stem bark of *Moringa oleifera*[J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2012, 2(2): 144–150.
- [23] NOBOSSÉ P, FOMBANG N E, MBOFUNG F M C. Effects of age and extraction solvent on phytochemical content and antioxidant activity of fresh *Moringa oleifera* L. leaves[J]. *Food Science & Nutrition*, 2018, 6(8): 2188–2198.
- [24] RUIZ-ACEITUNO L, SANZ M, RAMOS L. Use of ionic liquids in analytical sample preparation of organic compounds from food and environmental samples[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2013, 43: 121–145.
- [25] DJANDE H C, PIATER L, STEENKAMP P, et al. Differential extraction of phytochemicals from the multipurpose tree, *Moringa oleifera*, using green extraction solvents[J]. *South African Journal of Botany*, 2018, 115: 81–89.
- [26] WU L F, LI L, CHEN S J, et al. Deep eutectic solvent-based ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* L. leaves: Optimization, comparison and antioxidant activity[J]. *Separation and Purification Technology*, 2020, 247: 117014.

- [27] BRAHAM F, AMARAL L M P F, BIERNACKI K, et al. Phenolic extraction of *Moringa oleifera* leaves in DES: Characterization of the extracts and their application in methylcellulose films for food packaging[J]. *Foods*, 2022, 11(17): 2641–2641.
- [28] SETYANI W, MURWANTI R, SULAIMAN T N S, et al. Application of response surface methodology (RSM) for the optimization of ultrasound-assisted extraction (UAE) of *Moringa oleifera*: Extraction yield, content of bioactive compounds, and biological effects *in vitro*[J]. *Plants (Basel, Switzerland)*, 2023, 12(13): 2455.
- [29] VALENGA M G, BOSCHEN N L, RODRIGURS P R, et al. Agro-industrial waste and *Moringa oleifera* leaves as antioxidants for biodiesel[J]. *Ind Crop Prod*, 2019, 128: 331–337.
- [30] CECILIA L C, CARLOS G E, RODOLFO G R, et al. Spray-drying encapsulation of microwave-assisted extracted polyphenols from *Moringa oleifera*: Influence of tragacanth, locust bean, and carboxymethyl-cellulose formulations[J]. *Food Research International*, 2021, 144: 110291.
- [31] ACHILLIA L, SPYROS G, OLGA K, et al. The effect of ultrasonication pretreatment on the production of polyphenol-enriched extracts from *Moringa oleifera* L. (drumstick tree) using a novel bio-based deep eutectic solvent[J]. *Applied Sciences*, 2019, 10(1): 220.
- [32] CEM I O, ASU Z. Green approach for polyphenol extraction from waste tea biomass: Single and hybrid application of conventional and ultrasound-assisted extraction[J]. *Environmental research*, 2023, 235: 116703–116703.
- [33] YANG J, LI N, WANG C Y, et al. Ultrasound-homogenization-assisted extraction of polyphenols from coconut mesocarp: Optimization study[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 78: 105739.
- [34] PEREIRA J M G, VIELL F L G, LIMA P C, et al. Optimization of the extraction of antioxidants from *Moringa* leaves: A comparative study between ultrasound- and ultra-homogenizer-assisted extractions[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(6): e15512.
- [35] SAIED D, REZA A K, MOHAMMAD S A S, et al. Intensification of extraction of antioxidant compounds from *Moringa oleifera* leaves using ultrasound-assisted approach: BBD-RSM design[J]. *International Journal of Fruit Science*, 2021, 21(1): 693–705.
- [36] CELIA R, BIENVENIDA G, ANTONIO J M, et al. Optimization of microwave-assisted extraction and pressurized liquid extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* leaves by multiresponse surface methodology[J]. *Electrophoresis*, 2016, 37(13): 1938–1946.
- [37] EL-HADARY A E, RAMADAN M F. Antioxidant traits and protective impact of *Moringa oleifera* leaf extract against diclofenac sodium-induced liver toxicity in rats[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, 43(2): e12704.
- [38] NIEDZWIECKI A, ROOMI W M, KALINOVSKY T, et al. Anticancer efficacy of polyphenols and their combinations[J]. *Nutrients*, 2016, 8(9): 552.
- [39] 杨迎, 谢凡, 龚胜祥, 等. 响应面法优化辣木籽多酚提取工艺及其抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(3): 172–178.
- [40] YANG Y, XIE F, GONG S X, et al. Optimisation of polyphenol extraction process and its antioxidant activity from *Moringa oleifera* seeds by response surface methodology[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2018, 39(3): 172–178.
- [41] 张超, 曹新志, 冯泉, 等. 超声波辅助提取辣木籽多酚工艺研究[J]. *化学研究与应用*, 2017, 29(6): 865–872.
- [42] 刘芸, 魏宗敏, 陈忠铃, 等. 辣木叶多酚的超声提取及抗氧化活性分析[J]. *中国食品添加剂*, 2023, 34(2): 52–60.
- [43] GEBICKI J M, NAUSER T. Fast antioxidant reaction of polyphenols and their metabolites[J]. *Antioxidants*, 2021, 10(8): 1297–1297.
- [44] RALEPELE F M, CHIMUKA L, NUAPIA Y, et al. UPLC-DAD-QTOF-MS/MS analysis of targeted poly-phenolic compounds from *Moringa oleifera* leaves as function of seasonal responses[J]. *South African Journal of Botany*, 2021, 143: 107–115.
- [45] 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(20): 15–18.
- [46] KARAGEORGOU I, GRIGORAKIS S, LALAS S, et al. Incorporation of 2-hydroxypropyl  $\beta$ -cyclodextrin in a biomolecule-based low-transition temperature mixture (LTTM) boosts efficiency of polyphenol extraction from *Moringa oleifera* Lam leaves[J]. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2018, 9: 62–69.
- [47] BHUKER A, MALIK A, PUNIA H, et al. Probing the phytochemical composition and antioxidant activity of *Moringa oleifera* under ideal germination conditions[J]. *Plants*, 2023, 12(16): 3010.
- [48] FRANCESCA O, ANNA S, YESSICA Z, et al. Anti-inflammatory effects of polyphenols in arthritis[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(5): 1653–1659.
- [49] CAICEDO-LOPEZ L, LUZARDO-OCAMPO I, CUELLAR-NUÑEZ M, et al. Effect of the *in vitro* gastrointestinal digestion on free-phenolic compounds and mono/oligosaccharides from *Moringa oleifera* leaves: Bioaccessibility, intestinal permeability and antioxidant capacity[J]. *Food Research International*, 2019, 120(120): 631–642.
- [50] RAMABULANA T, MAVUNDA R, STEENKAMP P, et al. Perturbation of pharmacologically relevant polyphenolic compounds in *Moringa oleifera* against photo-oxidative damages imposed by gamma radiation[J]. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 2016, 156: 79–86.
- [51] KALTHUM U A, AHMED M, ROSSELEENA E R, et al. A comprehensive review with updated future perspectives on the ethnomedicinal and pharmacological aspects of *Moringa oleifera*[J]. *Molecules*, 2022, 27(18): 5765–5765.
- [52] NOUMAN W, ANWAR F, GULL T, et al. Profiling of polyphenolics, nutrients and antioxidant potential of germplasm's leaves from seven cultivars of *Moringa oleifera* Lam[J]. *Industrial Crops & Products*, 2016, 83: 166–176.
- [53] GRACIMÉRIO J G, OSWALDO C J, NERILSON M L, et al. Effect of *Anadenanthera colubrina* protease inhibitors as an anti-

- inflammatory mediator[J]. *Natural Product Research*, 2021, 35(10): 1690–1695.
- [54] COZ-BOLAÑOS X, CAMPOS-VEGA R, REYNOSO-CAMACHO R, et al. *Moringa* infusion (*Moringa oleifera*) rich in phenolic compounds and high antioxidant capacity attenuate nitric oxide pro-inflammatory mediator *in vitro* [J]. *Industrial Crops & Products*, 2018, 118: 95–101.
- [55] MAHDI J H, KHAN K A N, ASMAWI B Z M, et al. *In vivo* anti-arthritis and anti-nociceptive effects of ethanol extract of *Moringa oleifera* leaves on complete Freund's adjuvant (CFA)-induced arthritis in rats[J]. *Integrative Medicine Research*, 2018, 7(1): 85–94.
- [56] MABROK H B, MOHAMED M S. Induction of COX-1, suppression of COX-2 and pro-inflammatory cytokines gene expression by *Moringa* leaves and its aqueous extract in aspirin-induced gastric ulcer rats[J]. *Molecular Biology Reports*, 2019, 46(4): 4213–4224.
- [57] ELHADI E A D, ELGASIM A E, AHMED M A I. Microbial and oxidation characteristics of refrigerated chicken patty incorporated with *Moringa* (*Moringa oleifera*) leaf powder[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2016, 15(2): 234–240.
- [58] COELHO N, JACINTO P J, SILVA R, et al. Green synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles obtained from *Moringa oleifera* seed cake[J]. *Coatings*, 2023, 13(8): 1439.
- [59] JIMOH A W, AYELOJA A A, BADMUS O G, et al. Antibacterial and antifungal effect of moringa (*Moringa oleifera*) seed-meal on marinated smoked African mud catfish (*Clarias gariepinus*) [J]. *Journal of Food Safety*, 2020, 40(3): e12772.
- [60] MONTENEGRO-LANDÍVAR M F, TAPIA-QUIRÓS P, VECINO X, et al. Polyphenols and their potential role to fight viral diseases: An overview[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 801(801): 149719.
- [61] KATARZYNA C, DAWID S, GRZEGORZ I, et al. Antiviral properties of polyphenols from plants[J]. *Foods*, 2021, 10(10): 2277–2277.
- [62] XU Y, CHEN G, GUO M. Antioxidant and anti-inflammatory activities of the crude extracts of *Moringa oleifera* from kenya and their correlations with flavonoids[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(8): 296–296.
- [63] JORRIT B D V, SASKIA K. The antibacterial action of *Moringa oleifera*: A systematic review[J]. *South African Journal of Botany*, 2022, 151(PA): 224–233.
- [64] YONGAI X, RIAZ S M R, MAHREEN H M, et al. Virucidal activity of *Moringa* A from *Moringa oleifera* seeds against influenza A viruses by regulating TFEB[J]. *International Immunopharmacology*, 2021, 95: 107561–107561.
- [65] CHAUHAN D, GUPTA N, SRIVASTAVA R, et al. Exploring the anticancer potentials of polyphenols: A comprehensive review of patents in the last five years[J]. *Recent Patents on Anti-Cancer Drug Discovery*, 2023, 18(1): 3–10.
- [66] SEÇİL T E, SEMA B, ASLI Y, et al. Biological screening of polyphenol derivatives for anti-proliferative, anti-apoptotic and anti-migrative activities in human breast cancer cell lines MCF-7[J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2023, 20(1): e202200872.
- [67] FAJRI M. The potential of *Moringa oleifera* as immune booster against COVID 19[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 807(2): 022008.
- [68] DIVYA S, RYO S, SHOHEI Y, et al. Natural inhibitors for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 main protease from *Moringa oleifera*, *Aloe vera*, and *Nyctanthes arbor-tristis*: Molecular docking and ab initio fragment molecular orbital calculations[J]. *Structural Chemistry*, 2022, 33(5): 11–18.
- [69] SONALI R, MANASWINI J, RUCHI B. Molecular docking of bioactive compounds derived from *Moringa oleifera* with p53 protein in the apoptosis pathway of oral squamous cell carcinoma [J]. *Genomics & Informatics*, 2021, 19(4): e46.
- [70] SADEK K M, ABOUZED T K, ABOUELKHAIR R, et al. The chemo-prophylactic efficacy of an ethanol *Moringa oleifera* leaf extract against hepatocellular carcinoma in rats[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2017, 55(1): 1458–1466.
- [71] BIN S A, PRAWAJ A, SHOFIUL A, et al. Anti-hyperglycaemic activity of *Moringa oleifera* is partly mediated by carbohydrate inhibition and glucose-fibre binding[J]. *Bioscience Reports*, 2017, 37(3): BSR20170059.
- [72] KIM Y, KEOGH B J, CLIFTON M P. Polyphenols and glycemic control[J]. *Nutrients*, 2016, 8(1): 17.
- [73] LI L Z, CHEN L, TU Y L, et al. Six new phenolic glycosides from the seeds of *Moringa oleifera* Lam. and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity[J]. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2023, 28(17): 6426.
- [74] TATIANE O C L, NATHALIE M, THARIANE B C, et al. Antihyperglycemic activity of crude extract and isolation of phenolic compounds with antioxidant activity from *Moringa oleifera* Lam. leaves grown in Southern Brazil[J]. *Food Research International*, 2020, 141: 110082.
- [75] SONIA G, DÍAZ-PIRIETO L E, VICENTE I C, et al. *Moringa oleifera* leaf supplementation as a glycemic control strategy in subjects with prediabetes[J]. *Nutrients*, 2021, 14(1): 57.
- [76] FANARO G B, MARQUES M R, CALAZA K DA C, et al. New insights on dietary polyphenols for the management of oxidative stress and neuroinflammation in diabetic retinopathy[J]. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 2023, 12(6): 1237.
- [77] LIRON B, GIDEON E, ILAN R, et al. *Moringa oleifera* aqueous leaf extract down-regulates nuclear factor-kappaB and increases cytotoxic effect of chemotherapy in pancreatic cancer cells [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 13(1): 212.
- [78] NOVA E, REDONDO-USEROS N, MARTÍNEZ-GARCÍA M R, et al. Potential of *Moringa oleifera* to improve glucose control for the prevention of diabetes and related metabolic alterations: A systematic review of animal and human studies[J]. *Nutrients*, 2020, 12(7): 2050.
- [79] SAIMA M, JORDDY C N, RABIA M, et al. Effects of drying temperature and solvents on *in vitro* diabetic wound healing potential of *Moringa oleifera* leaf extracts[J]. *Molecules*, 2023, 28(2): 710.
- [80] WANG F, ZHONG H, CHEN W K, et al. Potential hypoglycaemic activity phenolic glycosides from *Moringa oleifera* seeds[J]. *Natural Product Research*, 2017, 31(16): 1869–1874.
- [81] RAJESH D, N Y S, SILA B. Processing effects on bioactive components and functional properties of *Moringa* leaves: Development of a snack and quality evaluation[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(1): 649–657.
- [82] XU Y B, CHEN G L, GUO M Q. Potential anti-aging components from *Moringa oleifera* leaves explored by affinity ultrafiltration with multiple drug targets[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 854882.
- [83] GARCÍA P M, ROCÍO P, GEMA N. Health benefits of uses



- and applications of *Moringa oleifera* in bakery products[J]. *Plants*, 2021, 10(2): 318.
- [ 84 ] IRAM G, ATTIA J, SHAHBAZ M A, et al. Use of *Moringa oleifera* flower pod extract as natural preservative and development of SCAR marker for its DNA based identification[J]. *BioMed Research International*, 2016, 2016: 1–12.
- [ 85 ] GIUBERTI G, BRESCIANI A, CERVINI M, et al. *Moringa oleifera* L. leaf powder as ingredient in gluten-free biscuits: Nutritional and physicochemical characteristics[J]. *European Food Research and Technology*, 2020: 1–8.
- [ 86 ] COHEN-ZINDER M, WEINBERG Z, LEIBOVICH H, et al. Ensilaged *Moringa oleifera*: An antioxidant-rich feed that improves dairy cattle performance[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2017, 155(7): 1174–1186.
- [ 87 ] SHAH A M, BOSCO D J S, MIR A S. Effect of *Moringa oleifera* leaf extract on the physicochemical properties of modified atmosphere packaged raw beef[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2015, 3(3): 31–38.
- [ 88 ] TEFAY Z S, MAGWAZA S L, MBILI N, et al. Carboxyl methylcellulose (CMC) containing *Moringa* plant extracts as new postharvest organic edible coating for Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 226: 201–207.
- [ 89 ] CHOUDHARY K M, BODAKHE H S, GUPTA K S. 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.
- [ 90 ] DAVID F P D, FÁBIO A D F, IRAMAIA N N A, et al. Antidiabetic potential of dietary polyphenols: A mechanistic review[J]. *Food Research International*, 2021, 145: 110383.
- [ 91 ] VILLARRUEL-LÓPEZ A, LÓPEZ-DE LA MORA D A, VÁZQUEZ-PAULINO O D, et al. Effect of *Moringa oleifera* consumption on diabetic rats[J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 18(1): 127.
- [ 92 ] FAN M, DING H, ZHANG G, et al. Relationships of dietary flavonoid structure with its tyrosinase inhibitory activity and affinity[J]. *LWT*, 2019, 107: 25–34.
- [ 93 ] GAO Q, WEI Z M, LIU Y, et al. Characterization, large-scale HSCCC separation and neuroprotective effects of polyphenols from *Moringa oleifera* leaves[J]. *Molecules*, 2022, 27(3): 678.
- [ 94 ] SRI K, MUHAMMAD A. Nutritious pure herbal whitening sun cream processed from seed and leaf of *Moringa oleifera* fortified with red rice[J]. *Pharmacognosy Journal*, 2017, 10(1): 77–80.