

辣木的血糖调节功能研究进展

赵欢, 曹玉霖, 朱彦锋*

成都医学院公共卫生系, 成都 610500

摘要: 辣木, 具有重要的食用价值和药用价值, 有着“奇迹之树”的美称。作为潜在且重要的药用资源, 辣木具有调节血糖的功能。本文综述了近年辣木调节血糖的相关研究, 总结了辣木功能性成分降血糖机制, 为辣木保健食品研发提供了理论依据和研究方向。

关键词: 辣木; 血糖; 脂肪酸

中图分类号: R-1

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2017.10.026

Review on Blood Glucose Regulating Function of *Moringaoleifera* Lam

ZHAO Huan, CAO Yu-lin, ZHU Yan-feng*

Department of Public Health, Chengdu Medical College, Chengdu 610500, China

Abstract: *Moringa oleifera*, honored as “tree of miracles”, has substantial application values in food and medicine fields. As a potential medicinal resource, *Moringaoleifera* can be used for controlling blood glucose. This review summarized active ingredients and the mechanism of blood glucose regulation in *M. oleifera*. This study will provide a theoretical basis and direction for product development of *M. oleifera*.

Key words: *Moringaoleifera*; blood glucose; fatty acids

辣木, 又称为鼓槌树, 白花菜目辣木科, 原产于印度。辣木现广泛分布于半干旱的热带和亚热带地区, 我国广东、台湾和云南等地亦有种植。辣木在印度被称为“奇迹之树”, 其根、茎、叶、种子等不仅可以作为蔬菜食用, 还含有丰富的营养和药用成分: 辣木叶内含大量的蛋白质、钙、铁、钾、维生素、β-胡萝卜素、抗氧化剂和生物活性成分(如黄酮、酚酸、异硫氰酸盐、芥子油甙、单宁和皂苷类)等^[1]; 辣木种仁中含有较多油(34%)和蛋白质(37%), 种皮中含有丰富的粗纤维(73.4%)^[2]; 辣木根中主要含有蛋白质、维生素C和多种元素等^[3]; 辣木茎中则含有较多的粗纤维和维生素C等^[4]。

近年的研究发现, 辣木具有降血糖、降血脂、抗肿瘤、抗氧化、抗炎、免疫调节和保护肝肾功能等生物活性^[5,6], 具有多种保健功能。本文主要围绕辣木叶的血糖调节功能, 就近年来国内外的研究进展做一综述。

1 辣木的降血糖成分

辣木含有多种功能性成分, 主要包括: 酚酸、生物碱、植物固醇、不饱和脂肪酸、蛋白质、维生素, 以及多糖、黄酮和多酚类植物化学物^[7]。其中植物黄酮、蛋白质和脂肪酸具有抗氧化活性, 目前有关研究主要围绕这三种成分展开。

1.1 辣木黄酮

黄酮属于多酚类化合物^[5]。研究发现, 摄入辣木叶提取物能在3h内有效降低血糖浓度, 而多酚则被认为是降糖作用的活性成分^[8]。辣木叶的提取物是辣木中酚类物质的最大来源^[9], 其中黄酮是其主要组成部分^[11], HPLC分析发现辣木叶粉中的主要多酚成分为槲皮素苷、芦丁和山奈酚^[10], 均为黄酮类化合物。从辣木叶中提取出来的黄酮也被证实具有降糖活性, 陈瑞娇等^[11]发现总黄酮能明显降低糖尿病模型小鼠的血糖, 同时能提高血清超氧化物歧化酶(SOD)的活力, 降低血清丙二醛(MDA)的含量, 且总黄酮对正常小鼠的血糖水平无影响。

辣木不同器官中均含有一定量的黄酮类化合物, 其中花柄中含量较多, 根中较少, 含量变化范围为0.53%~4.47%^[12], 黄晓萍等^[13]发现我国粤北

收稿日期: 2017-04-20 接受日期: 2017-06-16

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(81402678); 国家自然科学基金面上项目(81573154); 成都医学院大学生创新实验项目(201613705003)

* 通信作者 E-mail: cmc_zhuyanfang@163.com

地区种植的辣木叶和嫩茎中均含有较丰富的黄酮类成分,其中叶中总黄酮类的含量大约是茎的2倍。

1.2 辣木蛋白质

辣木蛋白作为辣木的重要功能性成分之一,具有很高的营养价值。此外,辣木蛋白中的某些成分具有血糖调节功能。Paula等^[14]发现从辣木叶中提取出的辣木蛋白 Mo-LPI,除能明显降低四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠的血糖外,还表现出了一定的促红细胞凝集性和抗氧化性。另外,从辣木种子皮中提取出的类胰岛素蛋白 Mo-SC 也表现出了明显的降血糖特性^[15]。

辣木叶中含有丰富的蛋白质,其中不同种类的辣木的干树叶总蛋白变化范围为 19.1 ~ 29.7 g/100 g,可溶蛋白变化范围为 12.8 ~ 31.6 g/100 g^[16]。

1.3 辣木脂肪酸

辣木油是一种优质的食用油。辣木籽油中含有丰富的脂肪酸,有学者发现不同品种的辣木种子油其中的单不饱和脂肪酸的含量均高达 70%^[17]。研究显示,富含单不饱和脂肪酸的饮食可改善胰岛素敏感性,对维持血糖十分有益^[18]。

辣木的不同器官均含有一定量的单不饱和脂肪酸,其中辣木种子中的单不饱和脂肪酸含量最高,其含量范围为 71.7% ~ 81.4%^[19]。

2 辣木的血糖调节效应

近年来,辣木作为一种潜在的降血糖药用植物,其抗糖尿病功能已有相关研究。

2.1 体外实验

关于辣木的体外研究较少,主要围绕其抗氧化性、抑制晚期糖化终末产物(AGEs)的形成及抑制相关酶活性展开。

Verma等^[20]通过建立体外系统和由羟基自由基导致的DNA切合发现,与使用其它溶剂的辣木叶提取物比较,辣木叶的乙酸乙酯/多酚粗提液片段具有较好的抗氧化性和还原能力,对DNA损伤的保护效应也与浓度相关,其机制可能是通过直接捕获自由基和金属螯合作用来发挥效应。

Nunthanawanich等^[21]使用 0.5 mol/L 的还原糖(葡萄糖和果糖)和 0.5 ~ 2.0 mg/mL 的辣木叶水提取物孵育牛血清蛋白 1、2、3、4 周后发现,辣木叶水提取物能抑制减少单糖所诱导的 AGEs 的形成、牛血清蛋白的氧化以及糖化反应中的交叉联合,从而延迟或预防与 AGEs 形成相关的糖尿病并发症。另外,

辣木叶的乙醇提取物还能减少 HepG2 细胞的 AGEs 形成、氧化应激以及抑制脂质代谢基因(HMG-CoAR、PPAR α 1 和 PPAR γ)的表达^[22]。

此外,辣木叶乙醇提取物对小肠 α -葡糖苷酶(包括蔗糖酶和麦芽糖酶)、胰 α -淀粉酶、胰脂肪酶和胰胆固醇酯酶均有抑制作用,且对蔗糖酶的抑制强度大于麦芽糖酶,对胰胆固醇酯酶(49.22 \pm 2.34)抑制强度大于胰 α -淀粉酶(6.06 \pm 0.75%),对胰脂肪酶的抑制的 IC₅₀ 大于 5 mg/mL^[23]。但此结果存在争议,在另一研究中,却显示辣木的水提取物对胰脂肪酶无抑制作用^[24]。另外,Azad等^[25]发现辣木叶能抑制人类的唾液 α -淀粉酶,故辣木可能通过抑制淀粉的分解,进而减少葡萄糖在肠道的吸收,降低血糖水平。

2.2 动物实验

大量的动物实验证实,辣木能改善糖耐量异常,增加机体胰岛素水平,从而降低血糖。

Ndong等^[10]利用 GK 大鼠和 Wistar 大鼠(均为 II 型糖尿病模型)进行糖耐量实验,结果发现:与对照组相比,喂食了 2 g/kg BW 的葡萄糖和 200 mg/kg BW 的辣木叶粉末之后的实验组大鼠,血糖分别在 20、30、45 和 60 min(GK 大鼠)以及 10、30 和 45 min(Wistar 大鼠)明显降低,提示辣木具有改善糖耐量异常的功能。

Momoh等^[26]研究发现,与口服生理盐水的对照 Wistar 大鼠相比,分别口服 100、200 mg 和 300 mg 辣木叶粉末以及 5 mg 格列本脲(一种口服降糖药)的 Wistar 大鼠,8 h 后的血糖水平分别降低了 54.4%、72.5%、79.2% 和 40.5%,此研究表明辣木叶的降糖作用明显,其效果甚至超过了格列本脲。另外,辣木叶的水提物能使健康大鼠和链脲佐菌素(STZ)诱导的糖尿病大鼠血糖水平均有不同程度的降低,其中亚型和轻度糖尿病实验组大鼠的降糖效果也超越了格列吡嗪(一种口服降糖药)^[27]。

此外,通过研究四氧嘧啶所致糖尿病大鼠发现:辣木叶甲醇提取物处理组的糖尿病大鼠与服用生理盐水的糖尿病大鼠相比,其糖耐量、血清胰岛素和高密度脂蛋白(HDL)水平明显增加,血清中的甘油三酯、总胆固醇以及低密度脂蛋白(LDL)水平明显降低;与口服二甲双胍和生理盐水的对照大鼠相比,其糖原合酶和糖原含量较高且葡萄糖摄取量提高了 49% ~ 59%,表明辣木叶的甲醇提取物可能通过刺激胰岛素释放来提高葡萄糖的摄取和糖原的合成,

从而降低血糖^[28]。

糖尿病的发生和发展还可能与机体/组织中发生的氧化应激有关^[29]。辣木具有抗氧化性,能改善或减轻糖尿病的相应症状。

Jaiswal 等^[30]以 STZ 诱导的糖尿病大鼠为模型,连续 21 d 喂食 200 mg/kg BW 剂量的辣木叶水提物后发现其 SOD、过氧化氢酶和谷胱甘肽转移酶明显增加,过氧化脂质显示减少,提示其具有抗氧化性。另外,辣木荚的甲醇提取物能降低糖尿病大鼠的血糖和一氧化氮水平,显著增加血浆胰岛素和总蛋白含量,表现出明显的抗氧化活性和抗糖尿病特性^[31]。除此之外,辣木叶的乙醇提取物还能减少正常大鼠的 MDA 水平^[32]。

Al-Malki 等^[33]研究发现:相较于普通大鼠,STZ 诱导的糖尿病大鼠的脂质过氧化、免疫球蛋白(IgA、IgG)、空腹血糖和糖化血红蛋白的水平均增加,尿液检查显示为糖尿且尿中的钾、钠、白蛋白和尿酸水平升高,肾脏和胰腺组织显示相应的病理学改变。而分别喂食了 50 mg/kg BW 和 100 mg/kg BW 辣木种子粉的实验组大鼠的以上病理特征均得到改善,且受损的肾脏和胰腺组织恢复正常。

另有研究显示,辣木叶的水提取物能通过降低四氧嘧啶诱导的糖尿病大鼠的血糖、甘油三酯、胆固醇和 MDA 的水平,再生胰岛 B 细胞和还原肝组织中丙酮酸羧化酶的表达,进而改善四氧嘧啶所致糖尿病大鼠的症状^[34]。

此外,辣木叶浓缩液还能减轻 C57BL/6L 小鼠的体重、胰岛素抵抗和肝脏糖异生,从而预防和治疗肥胖以及糖尿病的发生发展^[35]。

2.3 人体实验及人群研究

虽然人体实验被种种伦理和社会原因所限制,但还是有少量研究为辣木的降血糖活性提出了客观证据。

在一项对非洲塞内加尔服用传统药用植物治疗糖尿病的群体横断面调查中,通过直接采访 220 名具有代表性的糖尿病病人,了解到共有 41 种药用植物被用于治疗糖尿病,其中 65.9% 的人选择服用辣木,65% 的患者认为药用植物治疗有效,20% 的患者认为其产生了不良反应,故大多数人认为传统药用植物对于治疗糖尿病是有效的,但需要进一步的研究来证明其效果和是否具有危害性^[36]。

辣木能降低糖尿病患者的血糖水平。Ghirdhari 等^[37]每天给 60 名 II 型糖尿病患者服用两片

辣木叶粉药片,持续 90 d 后发现,相较于服用安慰剂的对照组,实验组的餐后血糖浓度降低了 29%,糖化血红蛋白 A_{1c} 水平下降了 0.4%,证实了辣木的降血糖作用。

辣木还能提升正常人的抗氧化水平。Kushwaha 等^[38]将 90 名 45 岁到 60 岁的健康绝经期妇女分为三组,第一组作为对照组不服用任何药物,第二组每天服用 7 g 辣木叶粉末,第三组每天服用 9 g 紫苋菜叶粉末(一种富含抗氧化剂的植物),持续 3 个月后发现辣木叶组和紫苋菜叶组妇女的空腹血糖水平下降,体内抗氧化水平显著提升,血红蛋白含量明显提高,氧化应激也相应减少。

另一项研究则将 20 名健康人随机分为两组,其中一组服用 200 mL 温水,另一组服用 200 mL 含有辣木叶提取物的水,分别测定 0、30、60、90、和 120 min 后的空腹血糖、铁还原能力、抗氧化能力和 MDA 水平。结果发现,两组之间的空腹血糖没有明显差别,辣木组的铁还原能力和抗氧化能力明显提高,MDA 水平在摄入辣木提取物之后的 20、60、90 min 明显降低,且铁还原能力与 MDA 水平呈负相关的关系^[39]。

糖尿病与机体的胰岛素水平息息相关,Anthanont 等^[40]通过分析 10 名健康人服用不同剂量(0、1、2、4 g)的辣木叶粉末之后的血浆葡萄糖和胰岛素水平发现,高剂量(4 g)的辣木叶粉末能明显增加健康人的胰岛素分泌量,且不同剂量组之间的平均血浆葡萄糖水平没有差异。

但另一项研究发现,辣木的降血糖作用可能不是由于其能刺激胰岛素的分泌,William 等^[41]通过非胰岛素依赖型糖尿病病人的早餐中加入 50 g 辣木叶粉末(试验餐),并与食用标准餐的病人对照,发现试验组病人的餐后 1 h 和 2 h 的血浆葡萄糖水平均下降,但血浆中胰岛素含量并没有明显变化,故该研究否认了辣木通过刺激机体分泌胰岛素来产生降血糖作用的假设。

3 辣木降血糖机制研究

辣木成分复杂,其中含有多种活性成分,故其可能通过多种途径来降低血糖。

3.1 通过抗氧化作用减轻高血糖反应,改善 II 型糖尿病的氧化应激状态

糖尿病的发生发展与机体氧化应激状态息息相关,Jaiswal 等^[30]将新鲜辣木叶的水提取物减压并冻

干得到粉末以测定其总酚含量、总黄酮醇含量、总黄酮含量和总抗氧化性(FRAP法),其中抗氧化性以每克提取物粉末相当的 Fe^{2+} 的量(μmol)来表示。结果显示总酚含量、总黄酮醇含量和总黄酮含量分别为120 mg 没食子酸当量/g、40.5 mg 槲皮素当量/g和12.12 mg 槲皮素当量/g,FRAP值为 $85.00 \pm 5.00 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$,表明辣木叶提取物具有一定的抗氧化性。

辣木叶总黄酮为受试物的动物实验也表明,总黄酮能显著降低四氧嘧啶所致糖尿病小鼠的血糖,明显提高SOD活力,减少MDA的产生,对正常小鼠的血糖水平无明显影响且其作用机理可能是通过抗氧化作用,减轻四氧嘧啶对胰岛B细胞的损伤,或促进已损伤的B细胞的修复,增强胰岛的分泌功能^[11]。同时,辣木还可通过提高机体氧化自由基清除酶的水平,抑制脂质过氧化^[30],改善II型糖尿病的氧化应激状态。

3.2 促进肝脏和肌肉的糖原合成,提高糖耐量

辣木可促进机体利用血糖进行糖原合成,提高糖耐量,降低血糖浓度。研究显示,辣木具有促进肝糖原和肌糖原合成的功能。食用辣木叶提取物的糖尿病大鼠能通过增加糖原合成酶的活性,促进肝脏和肌肉对葡萄糖的摄取,并同时促进胰岛素分泌,从而降低血糖浓度^[28]。

3.3 刺激胰岛素分泌

研究表明,辣木叶的甲醇提取物能显著增加四氧嘧啶所致糖尿病大鼠的血浆胰岛素水平^[28],此外,辣木荚的甲醇提取物也能提高血浆胰岛素和总蛋白水平,显著降低STZ诱导的糖尿病大鼠的血糖^[31]。

3.4 增加胰岛素敏感性,改善胰岛素抵抗

胰岛素抵抗在II型糖尿病患者中普遍存在。胰岛素抵抗会导致机体靶器官对胰岛素的敏感性下降,对葡萄糖的摄取和利用效率降低,从而引起血糖升高。Waterman等^[35]以C57BL/6L小鼠为模型,研究发现高脂饮食并加喂5%辣木叶浓缩液的小鼠与单喂高脂饮食的小鼠相比,其胰岛素信号蛋白水平更高,提示辣木能增加胰岛素信号,提高胰岛素敏感性。

此外,辣木树皮的醇提取物能预防地塞米松所致大鼠周围组织的胰岛素抵抗,改善受损的糖耐量,降低血糖^[42]。

3.5 修复受损胰岛B细胞,改善胰岛功能

胰岛B细胞受损将引起胰岛素分泌的相对或绝对不足,这是糖尿病的重要致病因素之一。一些研究发现,辣木不同部位的提取物均能修复受损的胰岛细胞。Gupta等^[31]以STZ诱导的糖尿病大鼠为模型,以150 mg/kg BW或300 mg/kg BW剂量的辣木荚甲醇提取物持续喂养21 d,结果发现与对照组的糖尿病大鼠比较,辣木处理组大鼠的退化胰岛细胞明显得到了修复。

辣木叶提取物也具有类似的功能。Amira等^[34]通过研究四氧嘧啶诱导的糖尿病大鼠,发现喂养250 mg/kg BW剂量的辣木叶水提取物的糖尿病大鼠,能通过再生受损的胰岛B细胞和减少丙酮酸羧化酶的表达来降低血糖。此外,Yassa等^[43]给STZ诱导的糖尿病大鼠每天食用200 mg/kg BW的辣木叶水提取物,持续8周后发现,与未予以辣木叶水提取物处理的糖尿病大鼠相比,辣木处理组大鼠的胰岛细胞在组织病理学上的损害得到明显修复,仅剩很少一部分的退化胰岛B细胞,且修复后的胰岛细胞的形态、大小和密度几乎能与正常大鼠相比。

3.6 抑制糖异生,促进糖酵解

辣木叶提取物能降低糖尿病大鼠肝组织中的糖异生酶,即丙酮酸羧化酶的mRNA的表达,且其中含有的绿原酸能抑制葡萄糖-6-磷酸转移酶(G6P),减少肝脏糖异生和糖原分解,从而降低机体血糖水平^[34]。另有学者发现,辣木叶浓缩液能减少糖尿病小鼠的肝G6P的表达,抑制糖异生^[35]。

3.7 抑制AGEs的形成

在引起糖尿病慢性并发症的各种因素中,AGEs被认为是其共同的病理基础之一^[44]。辣木叶可能通过减少AGEs的形成,通过抑制减少蛋白质糖化和氧化,从而减少糖尿病并发症的发生^[21,22]。

3.8 抑制双糖酶活性,从而降低血糖

小肠双糖酶是小肠黏膜吸收细胞刷状缘内的各种消化酶的总称,包括乳糖酶、蔗糖酶和麦芽糖酶等。小肠双糖酶能将肠道内双糖分解为单糖,如葡萄糖等,从而引起血糖的升高。辣木可能通过抑制小肠双糖酶的活性,降低葡萄糖的产生,从而降低血糖^[23,24]。

3.9 降低血脂和胆固醇

高脂血症是代谢综合征的高危因素之一。II型糖尿病患者最常见的血脂异常为甘油三酯的升高和HDL水平的下降。辣木叶提取物能降低糖尿病大

鼠的甘油三酯和胆固醇水平,以及脂肪酸合成酶的 mRNA 的基因表达^[34],并能通过抑制 HepG2 细胞的脂质代谢基因(HMG-CoAR、PPAR α 1 和 PPAR γ)的表达来减少胆固醇和脂质复合体^[22]。另外,辣木还能降低健康奶牛的血浆总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平^[45]。此外,Olayaki 等^[28]利用四氧嘧啶所致糖尿病大鼠为模型,研究辣木叶的甲醇提取物的抗糖尿病特性发现,辣木叶能减低血清 LDL 的水平并提高 HDL 水平,所以,服用辣木叶后出现的 HDL 水平升高和 LDL 浓度降低可以对糖尿病动脉粥样硬化和心血管并发症的发展起到预防和改善作用。

3.10 其它

Paula 等^[15]发现辣木种皮蛋白片段 Mo-SC 能降低四氧嘧啶诱导的糖尿病小鼠的血糖,提高其糖耐量。该研究每天一次分别对糖尿病小鼠腹腔注射 0.15 mol/L 生理盐水、0.7 IU/kg BW 的人重组胰岛素和 100 mg/kg BW 的 Mo-SC,连续 10 天后发现,Mo-SC 处理组小鼠的血糖水平呈缓慢而持续性的下降,而胰岛素处理组小鼠的血糖下降则表现为短暂的效应。并且,Mo-SC 具有类胰岛素样抗原表位,故其可能通过此机制来发挥抗高血糖效应,从而降低血糖。

4 结论

辣木是天然植物抗氧化剂和人体所需营养成分的一个潜在宝库,值得继续的研究和开发。与此同时,虽然辣木具有抗糖尿病活性已被大量的动物实验和少量人体实验所证实,但其作用机制尚未完全清楚,用药的安全性等问题也应在研究的同时被注意和重视。

参考文献

- 1 Leone A, et al. Nutritional characterization and phenolic profiling of *Moringaoleifera* leaves grown in Chad, Sahrawi Refugee Camps, and Haiti. *Int J Molecul Sci*, 2015, 16: 18923-18937.
- 2 Duan QF (段琼芬), et al. Composition of moringa seeds and utilization of its protein. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2008, 36: 14084-14086.
- 3 Wen XD (闻向东), et al. Determination of constituents in *Moringaoleifera* from India. *Acade Period Farm Prod Proc* (农产品加工, 学刊), 2006, 7: 66-67.
- 4 Yang DS (杨东顺), et al. Comparative analysis of nutritional components and amino acid composition of different parts of *Moringaoleifera* Lam. *J Shanxi Agric Sci* (山西农业科学), 2015, 43: 1110-1115.
- 5 Leone A, et al. Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringaoleifera* leaves: an overview. *Int J Molecul Sci*, 2015, 16: 12791-12835.
- 6 Giacoppo S, et al. The alpha-cyclodextrin complex of the *Moringaisothiocyanate* suppresses lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW 264.7 macrophage cells through Akt and p38 inhibition. *Inflamm Res*, 2017, 66: 487-503.
- 7 Saini RK, et al. Phytochemicals of *Moringaoleifera*: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *Biotech*, 2016, 6: 203.
- 8 Amjad MS, et al. The incredible queen of green: nutritive value and therapeutic potential of *Moringaoleifera* Lam. *J Coastal Life Med*, 2015, 3: 744-751.
- 9 Hussain S, et al. Review: an exposition of medicinal preponderance of *Moringaoleifera* (Lank.). *Pakistan J Pharm Sci*, 2014, 27: 397-403.
- 10 Ndong M, et al. Effects of oral administration of *Moringaoleifera* Lam on glucose tolerance in Goto-Kakizaki and Wistar rats. *J Clin Biochem Nutr*, 2007, 40: 229-233.
- 11 Chen RJ (陈瑞娇), et al. Extraction and hypoglycemic effect of the total flavonoid from leaves of *Moringaoleifera*. *Strait J Prevent Med* (食品与生物技术学报), 2007, 26: 42-45.
- 12 Matshedis PG, et al. Development of pressured hot water extraction (PHWE) for essential compounds from *Moringaoleifera* leaf extracts. *Food Chem*, 2015, 172: 423-427.
- 13 Huang XP (黄晓萍), et al. 粤北地区栽培的辣木不同部位总黄酮含量的测定. *World Health Digest* (中外健康文摘), 2009, 6: 163-164.
- 14 Paula PC, et al. A protein isolate from *Moringaoleifera* leaves has hypoglycemic and antioxidant effects in alloxan-induced diabetic mice. *Molecules*, 2017, 22: 1-15.
- 15 Paula PC, et al. Insulin-like plant proteins as potential innovative drugs to treat diabetes—the *Moringaoleifera* case study. *New Biotechnol*, 2016. Accepted.
- 16 Olson ME, et al. Leaf protein and mineral concentrations across the "miracle tree" genus *Moringa*. *PloS One*, 2016, 11: e0159782.
- 17 Ayerza R. Seed yield components, oil content, and fatty acid composition of two cultivars of moringa (*Moringaoleifera* Lam.) growing in the Arid Chaco of Argentina. *Ind Crops Prod*, 2011, 33: 389-394.
- 18 Tu YH (屠越华), et al. Effects of monounsaturated fatty acids-rich diet on glucose and lipids metabolism. *Chin J Diabetes* (中国糖尿病杂志), 2012, 20: 72-74.

- 19 Amaglo NK, *et al.* Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringaoleifera* L., grown in Ghana. *Food Chem*, 2010, 122: 1047-1054.
- 20 Verma AR, *et al.* *In vitro* and *in vivo* antioxidant properties of different fractions of *Moringaoleifera* leaves. *Food Chem Toxicol*, 2009, 47: 2196-2201.
- 21 Nunthanawanich P, *et al.* *Moringaoleifera* aqueous leaf extract inhibits reducing monosaccharide-induced protein glycation and oxidation of bovine serum albumin. *Springer Plus*, 2016, 5: 1098.
- 22 Sangkitikomol W, *et al.* Effect of *Moringaoleifera* on advanced glycation end-product formation and lipid metabolism gene expression in HepG2 cells. *Genetics Molecul Res*, 2014, 13: 723-735.
- 23 Toma A, *et al.* Intestinal alpha-glucosidase and some pancreatic enzymes inhibitory effect of hydroalcoholic extract of *Moringastenopetala* leaves. *BMC Comple Alterna Med*, 2014, 14: 180.
- 24 Adisakwattana S, *et al.* Alpha-glucosidase inhibitory activity and lipid-lowering mechanisms of *Moringaoleifera* leaf extract. *Eu Rev Med Pharmacol Sci*, 2011, 15: 803-808.
- 25 Azad SB, *et al.* Anti-hyperglycemic activity of *Moringaoleifera* is partly mediated by carbohydrase inhibition and glucose-fiber binding. *Bioscience Reports*, 2017. Accepted.
- 26 Momoh MA, *et al.* Novel drug delivery system of plant extract for the management of diabetes: an antidiabetic study. *J Dietary Suppl*, 2013, 10: 252-263.
- 27 Jaiswal D, *et al.* Effect of *Moringaoleifera* Lam. leaves aqueous extract therapy on hyperglycemic rats. *J Ethnopharmacol*, 2009, 123: 392-396.
- 28 Olayaki LA, *et al.* Methanolic extract of *Moringaoleifera* leaves improves glucose tolerance, glycogen synthesis and lipid metabolism in alloxan-induced diabetic rats. *J Basic Clin Physiol Pharmacol*, 2015, 26: 585-593.
- 29 Liao DD (廖冬冬), *et al.* 植物多糖降血糖作用机制的研究进展. *Strait J Prevent Med* (海峡预防医学杂志), 2012: 26-28.
- 30 Jaiswal D, *et al.* Role of *Moringaoleifera* in regulation of diabetes-induced oxidative stress. *Asian Pacific J Tropic Med*, 2013, 6: 426-432.
- 31 Gupta R, *et al.* Evaluation of antidiabetic and antioxidant activity of *Moringaoleifera* in experimental diabetes. *J Diabetes*, 2012, 4: 164-171.
- 32 Omodanisi EI, *et al.* Assessment of the anti-hyperglycaemic, anti-inflammatory and antioxidant activities of the methanol extract of *Moringa Oleifera* in diabetes-induced nephrotoxic male Wistar rats. *Molecules*, 2017, 22: 1-16.
- 33 Al-Malki AL, *et al.* The antidiabetic effect of low doses of *Moringaoleifera* Lam. seeds on streptozotocin induced diabetes and diabetic nephropathy in male rats. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 381040.
- 34 Latif A, *et al.* *Moringaoleifera* leaf extract ameliorates alloxan-induced diabetes in rats by regeneration of beta cells and reduction of pyruvate carboxylase expression. *Biochem Cell Biol*, 2014, 92: 413-419.
- 35 Waterman C, *et al.* Isothiocyanate-rich *Moringaoleifera* extract reduces weight gain, insulin resistance, and hepatic gluconeogenesis in mice. *Molecul Nutr Food Res*, 2015, 59: 1013-1024.
- 36 Dieye AM, *et al.* Medicinal plants and the treatment of diabetes in Senegal: survey with patients. *Fundamental Clin Pharmacol*, 2008, 22: 211-216.
- 37 Ghiridhari VVA, *et al.* Anti-diabetic properties of drumstick (*Moringaoleifera*) leaf tablets. *Int J Health Nutr*, 2011: 1-5.
- 38 Kushwaha S, *et al.* Effect of supplementation of drumstick (*Moringaoleifera*) and amaranth (*Amaranthus tricolor*) leaves powder on antioxidant profile and oxidative status among postmenopausal women. *J Food Sci Technol*, 2014, 51: 3464-3469.
- 39 Ngamukote S, *et al.* *Moringaoleifera* leaf extract increases plasma antioxidant status associated with reduced plasma malondialdehyde concentration without hypoglycemia in fasting healthy volunteers. *Chin J Integr Med*, 2016: 1-6.
- 40 Anthanont P, *et al.* *MoringaOleifera* leaf increases insulin secretion after single dose administration: a preliminary study in healthy subjects. *J Med Assoc Thailand*, 2016, 99: 308-313.
- 41 William F, *et al.* Effect of some Indian vegetables on the glucose and insulin response in diabetic subjects. *Int J Food Sci Nutr*, 1993, 44: 191-196.
- 42 Sholapur HN, *et al.* Effect of *Moringaoleifera* bark extracts on dexamethasone-induced insulin resistance in rats. *Drug Res*, 2013, 63: 527-531.
- 43 Yassa HD, *et al.* Extract of *Moringaoleifera* leaves ameliorates streptozotocin-induced diabetes mellitus in adult rats. *Acta-Histochemica*, 2014, 116: 844-854.
- 44 Negre-Salvayre A, *et al.* Hyperglycemia and glycation in diabetic complications. *Antioxidants Redox Signaling*, 2009, 11: 3071-3109.
- 45 Zeng B, *et al.* Effects of *Moringaoleifera* silage on milk yield, nutrient digestibility and serum biochemical indexes of lactating dairy cows. *J Animal Physiol Animal Nutr*, 2017. Accepted.