

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2022.02.034

View this article at: <https://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2022.02.034>

燕麦 β -葡聚糖降血脂作用的研究进展

于永华, 徐飞飞, 林琳 综述 黄明莉 审校

(哈尔滨医科大学附属第一医院产科, 哈尔滨 150001)

[摘要] 燕麦 β -葡聚糖作为可溶性膳食纤维的一种, 降脂、降糖作用明显, 尤其是降脂效果显著。随着冠心病(coronary heart disease, CHD)发生率的升高, 寻求安全有效的降脂方法尤为重要。对燕麦 β -葡聚糖的理化性质、安全性及应用进行阐述, 表明燕麦 β -葡聚糖对细胞无毒性, 其效果与黏度密切相关, 可应用于降血脂、降糖、抗氧化作用等方面。此外还分析燕麦 β -葡聚糖的降脂作用及机制, 研究表明燕麦 β -葡聚糖通过影响胆固醇的合成、吸收、排泄等过程, 从而不同程度地改善血脂指标。

[关键词] 燕麦 β -葡聚糖; 生理作用; 血脂; 总胆固醇; 低密度脂蛋白胆固醇

Research progress on the hypolipidemic effect of oat β -glucan

YU Yonghua, XU Feifei, LIN Lin, HUANG Mingli

(Department of Obstetrics, First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, China)

Abstract Oat β -glucan, as a kind of soluble dietary fiber, has obvious lipid-lowering and glucose-lowering effect, especially its lipid-lowering effect. With the increasing incidence of coronary heart disease (CHD), it is particularly important to find a safe and effective method to lower lipid. The physical and chemical properties, safety and application of oat β -glucan were described. The results showed that oat β -glucan was non-toxic to cells, and its effect was closely related to viscosity, and could be used in reducing blood lipids, reducing blood sugar, antioxidation and so on. In addition, the lipid-lowering effect and mechanism of oat β -glucan were analyzed. The results showed that oat β -glucan could improve the blood lipid index in varying degrees by affecting the synthesis, absorption and excretion of cholesterol.

Keywords oat β -glucan; physiological role; blood lipids; total cholesterol; low density lipoprotein cholesterol

冠心病(coronary heart disease, CHD)是人类发病和死亡的主要原因之一, 血脂异常可以增加CHD的发生率和病死率^[1]。低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)浓度每升高0.26 mmol/L, 心血管疾病的

风险就会增加12%; 总胆固醇(total cholesterol, TC)每下降10%, CHD的死亡风险预计就会降低15%^[2]。TC和LDL-C与心血管病风险呈正相关, 降低LDL-C可显著降低心血管疾病的风险, 并具

收稿日期 (Date of reception): 2020-09-30

通信作者 (Corresponding author): 黄明莉, Email: doctor_hml@163.com

有剂量反应关系^[1,3]。因此,降低LDL-C水平是调脂治疗的首要干预靶标^[1,3]。美国妇产科学杂志研究^[4]表明:孕早期的血脂水平与母体的心血管负担相关联,这可能与血脂水平可以增加子痫前期和产后持续性高血压风险相关。

饮食和药物可降低血脂,减少心血管事件的发生,其中饮食干预是一线疗法。膳食纤维能抵抗人类胃肠道酶的消化。根据膳食纤维在水中的溶解度,可将其分为不溶性纤维包括结构纤维或基质纤维(木质素、纤维素和一些半纤维素)和可溶性纤维即天然形成凝胶的纤维(果胶、树胶和剩余的半纤维素)。增加黏性可溶性膳食纤维的摄入量已被推荐为降低胆固醇的一种安全而实用的方法^[1]。2010年欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)批准燕麦β-葡聚糖用于降低胆固醇及减少CHD风险。本研究旨在总结燕麦β-葡聚糖在国内外研究中体现的不同作用,探讨燕麦β-葡聚糖的理化性质、安全性、降脂机制及对血脂的干预效果,进一步为妊娠期血脂异常及CHD高风险患者提供饮食治疗,以减少CHD及妊娠期血脂异常导致的并发症的发生。

1 燕麦β-葡聚糖的概述

1942年从燕麦中分离提取得到一种类似于冰岛地衣聚糖的非淀粉葡萄糖,其结构与大麦β-葡聚糖不同;1986年将其命名为β-葡聚糖,即燕麦β-葡聚糖,自此开始了对燕麦β-葡聚糖的研究。β-葡聚糖分为水溶性β-葡聚糖和非水溶性β-葡聚糖两种,其水溶性主要是受β-(1→3)糖苷键以及聚合度的影响。燕麦β-葡聚糖是燕麦糊粉层和亚糊粉层细胞壁中的一种黏性非淀粉多糖^[2],是由70%β-(1→4)糖苷键和30%β-(1→3)糖苷键连接β-D吡喃葡萄糖单位形成的线性大分子,连续的β-(1→4)糖苷键被单一的β-(1→3)糖苷键隔开并连接起来^[5]。燕麦β-葡聚糖主要存在于麸皮中,在浓度一致的情况下,与胚乳相比,燕麦麸皮中β-葡聚糖分子量(molecule weight, MW)及黏度更大。因此燕麦β-葡聚糖提取原料大多选用燕麦麸皮。

1.1 理化性质

燕麦β-葡聚糖的生理作用主要通过增加肠道内消化液黏度实现,受燕麦中的化学结构、MW、溶解速度及程度、溶液流变性、生长、储存条件、加工、萃取等多种因素影响^[1]。燕麦β-葡聚糖的天然链长约为20 000个葡萄糖苷基单位, MW高达

300万 g/mol。在文献[5]中已经报道了相当大范围的燕麦β-葡聚糖的平均或峰值MW,其平均MW在 $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6$ g/mol范围内,但由于吡喃葡萄糖链很容易被酶或化学水解、机械剪切或热处理破坏,因此,商业食品中的MW在 $0.4 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6$ g/mol之间。美国食物与药物管理局(FDA)建议每天食用3 g燕麦β-葡聚糖有助于降低血脂,但黏度、溶解性、MW与剂量同样重要,是其降胆固醇活性的基础^[6-7],黏度是燕麦β-葡聚糖发挥生理作用的主要原因,黏度与剂量、MW、食物基质(溶解性)密切相关^[5,7],由于燕麦β-葡聚糖的剂量、MW、给药方式及对不同种族的影响一直有争议,不同学者得出的结论不同。一项体外实验^[7]证实了不同的燕麦食品中β-葡聚糖溶解度、黏度和MW具有重复性和重现性。

1.1.1 MW影响降脂作用

燕麦β-葡聚糖的黏度和降胆固醇作用与其MW呈正相关,燕麦β-葡聚糖的MW至少为1 200 kDa,才能产生降胆固醇的效果^[2]。Wolever等^[1]的一项多中心临床试验表明:接受中、高MW的燕麦β-葡聚糖的受试者可显著降低LDL-C 4.8%~6.5%,且无种族差异,而给予低MW的受试者则无明显作用。MW较高者,黏度也会相应增加,降脂效果因此更显著。

1.1.2 溶解性影响降脂作用

当燕麦β-葡聚糖以牛奶、果汁或饮料等形式给药时,每克β-葡聚糖可显著降低血清LDL-C 0.063、0.052和0.050 mmol/L。将燕麦β-葡聚糖添加到液体载体中可能会提高其降低LDL水平的功效,相反,将燕麦β-葡聚糖添加到包括面包和饼干在内的固体食品中会产生相互矛盾的结果^[2]。

1.2 安全性

1.2.1 对正常细胞无毒性

2018年Choromanska等^[8]研究表明燕麦β-葡聚糖对正常细胞没有细胞毒性作用,但对癌症细胞有细胞毒性作用,细胞毒性随β-葡聚糖浓度的升高而增加。长期使用降脂药物会对血脂代谢紊乱者产生长期的影响,特别是与使用他汀类药物以及与他汀类药物和纤维类药物联合治疗时^[2]。因此其安全性优于他汀类药物。

1.2.2 食用建议摄入量范围内的膳食纤维不会影响对其他营养物质的吸收

不同摄入量范围的β-葡聚糖产生的效果不同。2002年美国饮食协会(American Dietetic Association, ADA)^[9]表明:膳食纤维摄入过多有潜

在负面影响,包括维生素、矿物质、蛋白质和能量的吸收减少。而食用建议摄入量范围内的膳食纤维对健康成年人不太可能出现营养吸收问题,2005年Institute of Medicine提出^[10]作为均衡饮食的一部分,在建议的膳食纤维摄入量范围内,未发现谷物纤维对矿物质吸收(如铁、锌、钙、镁)有显著影响。因此,推荐食用建议摄入量范围内的膳食纤维。

1.2.3 致敏性

2007年Rashid等^[11]提出对于少数过敏体质的人,食用燕麦和燕麦产品可能会产生过敏反应,在无麸质饮食中不允许食用燕麦。然而Hoffmanová等^[12]研究则表明:缓解期的乳糜泻患者可接受补充燕麦的食物作为无麸质饮食的一部分,燕麦中蛋白较大麦等其他谷物蛋白相比含量较少的谷物蛋白更易被蛋白酶消化,这些特性明显降低了它们的免疫原性和对腹腔疾病患者的毒性,患有腹腔疾病的人可以安全食用无小麦等其他谷物污染的纯燕麦。但不能排除个体对燕麦 β -葡聚糖的敏感性,对 β -葡聚糖本身的潜在致敏性已进行了研究,但找不到相关证据,要测试腹腔患者对燕麦饮食的潜在敏感性,需要开发合适的方法来评估腹腔患者个体燕麦品种的风险。此外 β -葡聚糖未列入2010年FDA的8种主要食物过敏原名单。

由此可见燕麦 β -葡聚糖在人体应用具有安全性,在临床研究中受试者除了轻度、短暂的胃肠道效应,例如肠胃气胀和腹部不适,未观察到明显的胃肠道症状^[13]。在血脂异常升高患者中应用具有可行性,与降脂药物相比,适用人群范围广,安全性高。以可溶性 β -葡聚糖为主的样品会产生滑爽、细腻和黏性残留的感觉,而这种适口性使得患者对无麸质饮食的依从性较好^[14-15]。

1.3 燕麦 β -葡聚糖的应用

燕麦 β -葡聚糖除了可以降低高脂血症,还可应用于诸多方面,如降血糖、抗氧化作用、免疫调节和抗肿瘤作用、改善肠道环境及增加饱腹感等作用。

1.3.1 降血糖

Tosh^[16]的一项研究表明:峰值血糖升高(peak blood glucose response, PBGR)往往比曲线下面积(area under the curve, AUC)或血糖生成指数(glycemic index, GI)更敏感。用4 g的 β -葡聚糖的治疗后,可显著降低PBGR和胰岛素AUC,胰岛素在实验组和对照组中都没有明显上升,表明餐后胰岛素反应并没有不成比例地增加,而燕麦 β -葡聚糖

以剂量依赖的方式平缓地降低餐后血糖。燕麦 β -葡聚糖在肠道内形成高黏环境会快速捕获高血糖指数食物,形成保护层,减慢葡萄糖吸收,降低餐后胰岛素浓度,改善胰岛素敏感性。然而摄入 β -葡聚糖对高胆固醇血症患者的空腹血糖和胰岛素浓度无显著改善作用^[17]。

1.3.2 抗氧化

给高脂血症大鼠灌喂燕麦 β -葡聚糖后,可以降低血清的丙二醛(malondialdehyde, MDA)、脑脂褐质含量,也可以降低血清超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性,提高了机体SOD活力,提高血清总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)的活性。通过减少氧自由基的生成,清除过氧化物,保护生物膜,抑制脂质过氧化,达到防止高脂血症诱发的动脉粥样硬化病变的作用^[18]。低MW和高MW的燕麦 β -葡聚糖在肝脏和胃组织中都显示出抗氧化活性,导致活性氧自由基的产生减少,且高MW的 β -葡聚糖似乎在体内具有更强的抗氧化性,特别是在胃肠道存在炎症的情况下,因此富含燕麦 β -葡聚糖的食品被认为是治疗胃肠道炎症性疾病的有效药物^[19]。

1.3.3 免疫调节、抗肿瘤作用

β -葡聚糖是一种生物反应调节剂,具有潜在的调节先天性和获得性免疫反应的抗肿瘤特性^[20]。Pan等^[21]研究表明:燕麦 β -葡聚糖可以诱导单核细胞,在脂多糖或Pam3CSK4刺激后,通过代谢重编程而导致肿瘤坏死因子(TNF- α)和白细胞介素6(IL-6) mRNA的表达和产生增加。此外食用燕麦 β -葡聚糖后可使肠道白细胞[如树突状细胞(dendritic cell, DC)]和特异性肠细胞(如M细胞)的核因子NF- κ B反式激活,使其在病原体感染时免受更强的攻击,进而影响肠道免疫反应,起到预防炎症的作用^[22]。燕麦 β -葡聚糖通过代谢重新编程诱导先天性免疫及激活肠道免疫细胞,为膳食纤维可以维持先天免疫系统的长期反应性及提高免疫力提供了重要证据,这可能有利于预防传染病或癌症。 β -葡聚糖还可以通过接触Dectin-1受体激活树突状细胞而发挥抗肿瘤作用^[20]。但 β -葡聚糖摧毁癌细胞的机制非常复杂,目前还不完全清楚。一项研究^[8]表明葡聚糖的免疫调节和抗癌作用与其结构、MW和构象有关。

1.3.4 改善肠道环境

燕麦 β -葡聚糖通过改变微生物区系,促使肠道内形成的短链脂肪酸(醋酸、丙酸、丁酸等)降低肠道pH值,形成的酸性环境抑制病原菌、腐生菌的生长和繁殖,降低肠道中病原菌、腐生菌的数

量,从源头上减少了肠道滋生致癌物,增加益生菌的数量,改变胆汁酸代谢潜力,可以作为人体的益生元^[23]。燕麦β-葡聚糖可能是长期安全维持心血管和代谢健康的首选饮食干预措施,微生物区系强化了这一点^[24]。

1.3.5 增加饱腹感

燕麦β-葡聚糖通过增加黏度可影响饱腹感,当黏度增加时下丘脑弓状核神经肽Y的mRNA表达下降,厌食性胃肠激素增加从而使饱腹感增加。但因缺乏测量黏度的标准化方法及影响食欲的固有物质,难以定位燕麦β-葡聚糖对饱腹感的影响结果,但总体而言对增加饱腹感有积极作用^[5]。燕麦β-葡聚糖增加饱腹感,是否会降低食欲、影响下一餐的食物摄入量引起了进一步研究。以往有证据表明燕麦降低主观食欲和减少随后一餐的食物摄入量,这表明燕麦可以促进体重控制。然而,并不是所有的研究都是一致的。Zaremba等^[25]研究表明4 g高MW燕麦β-葡聚糖可延缓胃排空、降低食欲,但不影响受试者进餐量,而Wolever等^[26]于2020年经过实验证明燕麦β-葡聚糖可以延缓胃排空。这与先前的研究结论一致,而与对照组相比,没有发现燕麦β-葡聚糖对食欲、食物摄入量及影响食欲的胃肠道激素有显著的影响。这表明在目前的实验条件下,与对照组相比,燕麦β-葡聚糖的剂量和MW都不会影响食欲或食物摄入量。因此需要进一步通过标准化测定黏度的方法来证明不同黏度对食欲和食物摄入量的影响。

2 燕麦β-葡聚糖改善血脂异常症

2.1 燕麦β-葡聚糖对不同血脂标志物改善情况

2016年加拿大多伦多大学联合欧洲临床营养学杂志针对58项临床实验3 974例受试者进行荟萃分析,以评估燕麦β-葡聚糖对心血管疾病危险因素(LDL-C、non-HDL-C、apoB)的影响,指出平均3.5 g/d燕麦β-葡聚糖,为期6周对血脂的总体改善效果为LDL-C降低4.2%、non-HDL-C降低4.8%、apoB降低2.3%^[27]。2020年一项对中度高胆固醇血症患者的随机双盲交叉实验表明:摄入燕麦β-葡聚糖可显著降低TC、LDL-C或non-HDL-C的水平,并且经过几周的洗脱期,因未持续补充燕麦β-葡聚糖,TC和LDL-C浓度都趋向于恢复到基线值,这突显出定期和持续补充燕麦β-葡聚糖的重要性^[14]。以上研究表明燕麦β-葡聚糖可不同程度地改善血脂指标,并且应定期和持续补充燕麦β-葡聚糖。

2.2 燕麦β-葡聚糖与血脂的剂量-反应关系

在一项荟萃分析中首次给出了纤维摄入量与血清TC降低之间的剂量-反应曲线,即平均每克膳食纤维使TC和LDL-C降低分别为0.045 mmol/L和0.057 mmol/L^[28]。可溶性纤维与HDL-C或三酰甘油(TG)浓度变化之间没有明显的剂量-反应关系。在60%~70%的试验中,可溶性纤维的高摄入量与TC和LDL的显著降低有关^[14]。但也并不是剂量越高,血脂降低越明显。剂量反应模型显示:TC随β-葡聚糖剂量的增加而降低,但在高剂量下存在显著的非线性,这可能是由于黏附性降低或在较高剂量下达到生物最大值所致。当每天摄入的β-葡聚糖超过3 g则没有增加效应^[29]。这也支持了自1997年始,美国FDA建议每天食用3 g以上含燕麦β-葡聚糖的食品用于降低心血管病风险的提议^[2]。

2.3 初始血脂浓度对降脂效果影响

对初始胆固醇浓度的亚组分析^[28]显示:中度或重度高胆固醇血症(浓度>6.20 mmol/L或>240 mg/dL)的TC下降幅度仅略大于胆固醇浓度较低的人。而对于是否降低血脂正常者胆固醇浓度存在争议。Chen等^[30]在2006年一项随机对照实验中表明在没有高胆固醇血症的个体中,增加燕麦麸膳食纤维的摄入量并不能显著降低血清胆固醇水平。因此对于高脂血症高发者可以在增加膳食纤维摄入量的同时,减少饱和脂肪和胆固醇的摄入量,以达到预防高脂血症的目的。

3 燕麦β-葡聚糖改善血脂异常的机制

3.1 β-葡聚糖降脂具有个体差异性

Wang等^[31]研究表明β-葡聚糖的降胆固醇作用也可能取决于个体的遗传特征。有数据表明携带细胞色素P450家族7亚家族成员1基因CYP7A1启动子区域的单核苷酸多态性(SNP)rs3808607等位基因的个体比TT携带者对高MW β-葡聚糖的降胆固醇效果更敏感,CYP7A1编码胆固醇7α-羟化酶(cholesterol 7α-hydroxylase, CYP7A1),这是经典胆汁酸合成途径中的限速酶。

3.2 抑制胆固醇合成

肠道中微生物通过使纤维发酵,生成短链脂肪酸(如醋酸、丁酸、丙酸),被门静脉吸收,限制3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶A(3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA, HMG-CoA)还原酶活性,增加

LDL-C的分解代谢来抑制肝脏胆固醇的合成^[23]。

3.3 阻碍胆固醇吸收

燕麦β-葡聚糖在消化道食物球周围形成水膜高黏度环境, 不仅在物理上阻碍消化道对脂肪、胆固醇和胆汁酸的重吸收, 增加胰岛素敏感性, 增加饱腹感^[2], 而且改变了胆汁酸的循环水平, 结肠中的甾醇发酵增加了治疗性熊去氧胆酸的产生, 抑制了有毒的胆石酸的吸收, 并通过将胆石酸转化为一种不可吸收的中性甾醇, 降低胆固醇吸收的可能性^[32]。

3.4 增加胆固醇排泄

燕麦β-葡聚糖在肠道中与胆汁酸结合, 减少其重吸收, 增加排泄, 降低胆汁酸水平。为了补偿这种损失, 机体从头合成胆汁酸, 激活CYP7A1, 胆固醇在该限速酶的作用下增加胆汁酸的合成及中性甾醇及胆固醇的粪便排泄, 降低胆固醇浓度^[2,6]。

3.5 降低LDL-C, 升高HDL-C

燕麦β-葡聚糖可促进机体从头合成胆汁酸, 上调了LDL-C受体, 为胆汁酸合成提供底物, 增加LDL-C去除, 降低LDL-C浓度。此外其他研究^[14]表明燕麦β-葡聚糖除了干预胆汁酸合成途径外, 还可调节微生物区系来实现降低的LDL-C作用的。燕麦β-葡聚糖提高HDL胆固醇水平的机制尚不清楚, 但有研究^[33]表明, 饮食中β-葡聚糖的数量是HDL胆固醇水平上升的因素。

由此可知, 燕麦β-葡聚糖可以减少胆固醇的合成、吸收, 增加胆固醇排出, 也可以降低LDL-C水平, 从而减少心血管事件的发生。

4 结语

近年来对燕麦β-葡聚糖从多角度、多层次、多水平进行分析, 其中涵盖了动物实验及临床试验等, 取得了大量科学的数据, 证实其具有显著的降血脂功效。在欧美等国家, 燕麦β-葡聚糖已被开发成食品添加剂, 广泛用于降血脂的干预治疗中。2014年中国卫生部门同意将燕麦β-葡聚糖定为新资源食品。目前的研究面临以下问题: 1) 燕麦β-葡聚糖安全可靠, 在疾病防治、降脂、降糖及改善肠道环境等方面有重要作用, 有重要应用前景及研究价值。早期的研究表明, 纤维的影响可能比荟萃分析中显示的更大。然而, 样本量

小、饮食措施不完整和对重要混杂因素控制不充分等方法学问题, 使得其很难独立于其他膳食成分。2) 现有的临床试验调查了给予燕麦β-葡聚糖在相对较小的人群样本上的短期降脂效果, 很少涉及妊娠期患者, 而妊娠期由于血脂异常升高可以导致妊娠期并发症的风险增加, 影响母子结局。今后可对妊娠期血脂病理性异常患者进行干预, 为妊娠期血脂病理性增高患者提供新的治疗途径。

参考文献

1. Wolever TM, Gibbs AL, Brand-Miller J, et al. Bioactive oat β-glucan reduces LDL cholesterol in Caucasians and non-Caucasians[J]. *Nutr J*, 2011, 10: 130.
2. Othman RA, Moghadasian MH, Jones PJ. Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan[J]. *Nutr Rev*, 2011, 69(6): 299-309.
3. 中国心血管病风险评估和管理指南编写联合委员会. 中国心血管病风险评估和管理指南[J]. *中国循环杂志*, 2019, 34(1): 4-28. The Joint Task Force for Guideline on the Assessment. Guideline on the assessment and management of cardiovascular risk in China[J]. *Chinese Circulation Journal*, 2019, 34(1): 4-28.
4. Adank MC, Benschop L, Peterbroers KR, et al. Is maternal lipid profile in early pregnancy associated with pregnancy complications and blood pressure in pregnancy and long term postpartum[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2019, 221(2): 150.e1-150.e13.
5. Rebello CJ, O'Neil CE, Greenway FL. Dietary fiber and satiety: the effects of oats on satiety[J]. *Nutr Rev*, 2016, 74(2): 131-147.
6. Iaccarino N, Khakimov B, Mikkelsen MS, et al. Structurally different mixed linkage β-glucan supplements differentially increase secondary bile acid excretion in hypercholesterolaemic rat faeces[J]. *Food Funct*, 2020, 11(1): 514-523.
7. Kock LB, Brummer Y, Exley T, et al. In vitro assessment of oat β-glucans nutritional properties: an inter-laboratory methodology evaluation[J]. *Carbohydr Polym*, 2018, 200: 271-277.
8. Choromanska A, Kulbacka J, Harasym J, et al. High- and low-molecular weight oat beta-glucan reveals antitumor activity in human epithelial lung cancer[J]. *Pathol Oncol Res*, 2018, 24(3): 583-592.
9. Marlett JA, McBurney MI, Slavin JL. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber[J]. *J Am Diet Assoc*, 2002, 102(7): 993-1000.
10. Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids[M]. Washington, DC: The National Academies Press, 2005.
11. Rashid M, Butzner D, Burrows V, et al. Consumption of pure oats by

- individuals with celiac disease: a position statement by the Canadian Celiac Association[J]. *Can J Gastroenterol*, 2007, 21(10): 649-651.
12. Hoffmanová I, Sánchez D, Szczepanková A, et al. The pros and cons of using oat in a gluten-free diet for celiac patients[J]. *Nutrients*, 2019, 11(10): 2345.
 13. Korczak R, Kocher M, Swanson KS. Effects of oats on gastrointestinal health as assessed by in vitro, animal, and human studies[J]. *Nutr Rev*, 2020, 78(5): 343-363.
 14. Cicero AFG, Fogacci F, Veronesi M, et al. A randomized placebo-controlled clinical trial to evaluate the medium-term effects of oat fibers on human health: the beta-glucan effects on lipid profile, glycemia and intestinal health (BELT) study[J]. *Nutrients*, 2020, 12(3): 686.
 15. Chakraborty P, Witt T, Harris D, et al. Texture and mouthfeel perceptions of a model beverage system containing soluble and insoluble oat bran fibres[J]. *Food Res Int*, 2019, 120: 62-72.
 16. Tosh SM. Review of human studies investigating the post-prandial blood-glucose lowering ability of oat and barley food products[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2013, 67(4): 310-317.
 17. Zou Y, Liao D, Huang H, et al. A systematic review and meta-analysis of beta-glucan consumption on glycemic control in hypercholesterolemic individuals[J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2015, 66(4): 355-362.
 18. 宁鸿珍, 齐啸, 贾春媚, 等. 燕麦 β -葡聚糖抗氧化及降血脂作用的研究[J]. *食品科技*, 2008, 33(9): 153-155.
NING Hongzhen, QI Xiao, JIA Chunmei, et al. Study on antioxidation and hypolipidemic effect of oat β -glucan[J]. *Food Science and Technology*, 2008, 33(9): 153-155.
 19. Suchecka D, Harasym J, Wilczak J, et al. Hepato- and gastro- protective activity of purified oat 1-3, 1-4- β -d-glucans of different molecular weight[J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 91: 1177-1185.
 20. Albeituni SH, Yan J. The effects of β -glucans on dendritic cells and implications for cancer therapy[J]. *Anticancer Agents Med Chem*, 2013, 13(5): 689-698.
 21. Pan W, Hao S, Zheng M, et al. Oat-Derived β -Glucans Induced Trained Immunity Through Metabolic Reprogramming[J]. *Inflammation*, 2020, 43(4): 1323-1336.
 22. Volman JJ, Mensink RP, Ramakers JD, et al. Dietary (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)-beta-D-glucans from oat activate nuclear factor-kappaB in intestinal leukocytes and enterocytes from mice[J]. *Nutr Res*, 2010, 30(1): 40-48.
 23. Joyce SA, Kamil A, Fleige L, et al. The cholesterol-lowering effect of oats and oat beta glucan: modes of action and potential role of bile acids and the microbiome[J]. *Front Nutr*, 2019, 6: 171.
 24. Ryan PM, London LE, Bjorndahl TC, et al. Microbiome and metabolome modifying effects of several cardiovascular disease interventions in apo-E^{-/-} mice[J]. *Microbiome*, 2017, 5(1): 30.
 25. Zaremba SMM, Gow IF, Drummond S, et al. Effects of oat β -glucan consumption at breakfast on ad libitum eating, appetite, glycemia, insulinemia and GLP-1 concentrations in healthy subjects[J]. *Appetite*, 2018, 128: 197-204.
 26. Wolever TMS, Tosh SM, Spruill SE, et al. Increasing oat β -glucan viscosity in a breakfast meal slows gastric emptying and reduces glycemic and insulinemic responses but has no effect on appetite, food intake, or plasma ghrelin and PYY responses in healthy humans: a randomized, placebo-controlled, crossover trial[J]. *Am J Clin Nutr*, 2020, 111(2): 319-328.
 27. Ho HV, Sievenpiper JL, Zurbau A, et al. The effect of oat β -glucan on LDL-cholesterol, non-HDL-cholesterol and apoB for CVD risk reduction: a systematic review and meta-analysis of randomised-controlled trials[J]. *Br J Nutr*, 2016, 116(8): 1369-1382.
 28. Brown L, Rosner B, Willett WW, et al. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis[J]. *Am J Clin Nutr*, 1999, 69(1): 30-42.
 29. Tiwari U, Cummins E. Meta-analysis of the effect of β -glucan intake on blood cholesterol and glucose levels[J]. *Nutrition*, 2011, 27(10): 1008-1016.
 30. Chen J, He J, Wildman RP, et al. A randomized controlled trial of dietary fiber intake on serum lipids[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2006, 60(1): 62-68.
 31. Wang Y, Harding SV, Eck P, et al. High-molecular-weight β -glucan decreases serum cholesterol differentially based on the CYP7A1 rs3808607 polymorphism in mildly hypercholesterolemic adults[J]. *J Nutr*, 2016, 146(4): 720-727.
 32. Guinness P, Michiels J, Vanhaecke L, et al. Reduction in circulating bile acid and restricted diffusion across the intestinal epithelium are associated with a decrease in blood cholesterol in the presence of oat β -glucan[J]. *FASEB J*, 2016, 30(12): 4227-4238.
 33. Reyna-Villasmil N, Bermúdez-Pirela V, Mengual-Moreno E, et al. Oat-derived beta-glucan significantly improves HDLC and diminishes LDLC and non-HDL cholesterol in overweight individuals with mild hypercholesterolemia[J]. *Am J Ther*, 2007, 14(2): 203-212.

本文引用: 于永华, 徐飞飞, 林琳, 黄明莉. 燕麦 β -葡聚糖降血脂作用的研究进展[J]. *临床与病理杂志*, 2022, 42(2): 486-491. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2022.02.034

Cite this article as: YU Yonghua, XU Feifei, LIN Lin, HUANG Mingli. Research progress on the hypolipidemic effect of oat β -glucan[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2022, 42(2): 486-491. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2022.02.034