



中国临床医学

Chinese Journal of Clinical Medicine

ISSN 1008-6358

CN 31-1794/R

L-阿拉伯糖对肠道微生态的作用及临床应用进展

耿子寒, 蔡明琰, 周平红

引用本文:

耿子寒, 蔡明琰, 周平红. L-阿拉伯糖对肠道微生态的作用及临床应用进展[J]. 中国临床医学, 2021, 28(6): 1069–1073.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20202183>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

妊娠期糖尿病与肠道菌群关系的研究进展

Research progresses of the relationship between gestational diabetes mellitus and intestinal flora
中国临床医学. 2018, 25(1): 141–146 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20170536>

利福昔明联合肠菌移植治疗腹泻型肠易激综合征的临床疗效及安全性

Efficacy and safety evaluation of rifaximin combined with fecal microbiota transplantation in treatment of irritable bowel syndrome with predominant diarrhea
中国临床医学. 2019, 26(2): 229–233 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2019.20181232>

胰高血糖素样肽在骨质疏松症中的研究进展

Research progress of glucagon-like peptide in osteoporosis
中国临床医学. 2018, 25(6): 997–1002 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20180744>

咀嚼口香糖不能加速Lenke 5型青少年特发性脊柱侧凸患者后路融合术后胃肠道功能恢复:一项前瞻性单盲随机对照研究

Effect of chewing gum on recovery of bowel function after posterior spinal fusion surgery for Lenke 5 adolescent idiopathic scoliosis: a prospective single-blind randomized controlled trial
中国临床医学. 2018, 25(2): 252–255 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20171070>

强直性脊柱炎免疫遗传学发病机制的研究进展

Research progress of immunogenetic pathogenesis of ankylosing spondylitis
中国临床医学. 2019, 26(1): 117–121 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2019.20180712>

DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20202183

L-阿拉伯糖对肠道微生态的作用及临床应用进展

耿子寒, 蔡明琰, 周平红*

复旦大学附属中山医院内镜中心, 上海 200032

引用本文 耿子寒, 蔡明琰, 周平红. L-阿拉伯糖对肠道微生态的作用及临床应用进展[J]. 中国临床医学, 2021, 28(6): 1069-1073. GENG Z H, CAI M Y, ZHOU P H. Effects of L-arabinose on intestinal microecology and its clinical application[J]. Chinese Journal of Clinical Medicine, 2021, 28(6): 1069-1073.

[摘要] L-阿拉伯糖是一种天然存在的戊糖, 在肠道吸收速率较蔗糖低, 可选择性反竞争性抑制小肠黏膜刷状缘的蔗糖酶, 抑制人体对蔗糖的代谢和吸收, 降低和延缓因蔗糖摄入而导致的血糖升高, 具有改善糖耐量和减少脂肪堆积的功效。L-阿拉伯糖可促进益生菌增殖, 改善肠道微生态。肠道微生态由肠道菌群及其生活的环境构成, 是影响能量代谢的关键因素。肠道菌群结构和功能的失调将影响糖脂代谢和能量平衡, 引发肠道慢性非特异炎症反应, 长期的炎症反应会进一步加剧对肠黏膜屏障功能的破坏, 形成恶性循环, 进而引发代谢综合征。L-阿拉伯糖作为益生元可改善肠道微生态和肠道功能, 防治功能性便秘和炎症性肠病。本文主要介绍 L-阿拉伯糖的功能、对肠道微生态的作用及其临床应用进展, 并讨论 L-阿拉伯糖在临床医学领域的应用前景。

[关键词] L-阿拉伯糖; 蔗糖酶; 肠道微生态

[中图分类号] R 459.3 **[文献标志码]** A

Effects of L-arabinose on intestinal microecology and its clinical application

GENG Zi-han, CAI Ming-yan, ZHOU Ping-hong*

Department of Endoscopy Center, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

[Abstract] L-arabinose is a natural pentose, and its absorption rate in the intestinal tract is lower compared to that of sucrose. L-arabinose, with selective and uncompetitive inhibition of sucrase in the brush border of the small intestinal mucosa, inhibits sucrose absorption and metabolism. It also delays and reduces the increase of blood glucose level caused by sucrose intake, improving glucose tolerance, and inhibiting fat accumulation. In addition, L-arabinose can promote the proliferation of probiotics to improve intestinal microecology, which is the key factor affecting energy metabolism and is composed of intestinal flora and its living environment. Dysregulation of structure and function of intestinal flora affects glucose-lipid metabolism and energy balance, leading to an intestinal chronic non-specific inflammatory reaction. The long-term inflammatory reaction destroys the function of the intestinal mucosal barrier, thus, a vicious cycle is formed, which in turn triggers metabolic syndrome. Therefore, L-arabinose as a prebiotic improves the physiological status of the sub-health population, and plays a role in the prevention and treatment of functional constipation and inflammatory bowel disease. This review mainly introduces the impact of L-arabinose on intestinal microecology and discusses its clinical application prospect.

[Key Words] L-arabinose; sucrase; intestinal microecology

天然存在的阿拉伯糖是 L-型, 与 D-木糖互为同分异构体, 均属于五碳醛糖, 分子式为 $C_5H_{10}O_5$ 。L-阿拉伯糖又称树胶醛糖、果胶糖, 是具有甜味的低热量功能性单糖, 对热和酸的稳定性高。在自然界中很少以单糖形式存在, 游离形式的 L-阿拉伯糖只

存在于发酵食品中, 通常以复杂非淀粉多糖 (non starch polysaccharides, NSP) 阿拉伯聚糖、阿拉伯糖基木聚糖和阿拉伯糖基半乳糖的形式存在于植物细胞壁和谷类半纤维素等结构中。L-阿拉伯糖在肠道吸收速率较蔗糖低, 部分可经由肾脏排出体

[收稿日期] 2020-10-17 **[接受日期]** 2020-11-26

[基金项目] 上海市医苑新星青年专科医生培养计划 (2019[72])。Supported by Training Plan of New Star Young Specialists in Shanghai Medical College (2019[72])。

[作者简介] 耿子寒, 硕士生。E-mail: 15750585959@163.com

* 通信作者 (Corresponding author)。Tel: 021-64041990, E-mail: zhou.pinghong@zs-hospital.sh.cn

外。L-阿拉伯糖用途广泛,具有控制血糖升高、减少脂肪堆积、促进益生菌增殖等作用。

葡萄糖和果糖等六碳糖与机体的营养代谢最为密切,但热量较高,摄入量过多易引起肥胖、糖尿病和心血管等疾病。L-阿拉伯糖是具有甜味的低热量功能性单糖,通过抑制小肠蔗糖酶活性调节餐后血糖,防治糖尿病前期及糖尿病;通过减少身体脂肪的堆积,防治肥胖、高血压和高血脂等代谢综合征(metabolic syndrome, MS)和心脑血管疾病;通过酸化作用,维持肠道微生态的正常生理功能,对改善亚健康人群的生理状态具有积极意义。因此,L-阿拉伯糖在营养、医学等领域日益受到关注。肠道微生态参与人体众多生命活动,在宿主代谢、免疫、营养等方面有着不可忽视的作用,肠道微生态的平衡是决定机体健康的重要因素,故 L-阿拉伯糖对肠道微生态的改善作用颇受重视。本文围绕 L-阿拉伯糖的功能、对肠道微生态的作用、临床应用及其发展前景进行综述。

1 L-阿拉伯糖对机体物质代谢的影响

1.1 抑制蔗糖的吸收和代谢 通过让大鼠摄食¹⁴C 标记的蔗糖来研究 L-阿拉伯糖对胃肠道消化和吸收作用,在盲肠发现大量未消化¹⁴C 标记的蔗糖及其代谢产物,同时呼出的¹⁴CO₂ 显著减少^[1]。体外研究猪的肠黏膜^[2]发现,L-阿拉伯糖显著抑制肠道蔗糖酶活性,且具有特异性。但非天然存在的 D-阿拉伯糖、L-木糖和 L-阿拉伯糖双糖不具有抑制蔗糖酶的作用。中高剂量(150 mg/只和 250 mg/只)L-阿拉伯糖能显著降低高糖高脂饲养小鼠的空腹血糖,且具有延缓体质量增长的作用,但低剂量(30 mg/只)效果不明显。上述 3 个剂量均显著降低小鼠餐后血糖和提高糖耐量^[3]。L-阿拉伯糖的急性和亚慢性效应也均表现出抑制血糖的作用^[4-5]。

以多种动物模型研究 L-阿拉伯糖对蔗糖吸收和代谢的研究较多,但以人类为研究对象,有关摄入 L-阿拉伯糖对血糖和胰岛素反应的影响及其对胃肠道不良反应的研究较少。健康人和 2 型糖尿病患者摄入含 4% L-阿拉伯糖的蔗糖后,血糖和血清胰岛素水平的升高程度均下降^[6]。体内外研究^[7](以 Caco-2 细胞为模型的体外试验和人体试验)也发现,4% 的 L-阿拉伯糖可降低餐后血糖升高速度、胰岛素分泌和 C 肽反应,提高肠道降血糖素胰高血糖素样肽-1(glucagon-like peptide 1, GLP-1)反应。

基于 Lineweaver-Burk 分析发现,摄入 L-阿拉伯糖后米氏常数(K_m)及最大反应速率(V_{max})降低,表明 L-阿拉伯糖反竞争性抑制蔗糖酶^[7],L-阿拉伯糖对小肠蔗糖-蔗糖酶复合体具有较高亲和力,形成蔗糖酶低活性的三元复合体,该三元复合体无法转变为游离蔗糖酶和产物。D-木糖对蔗糖酶的抑制作用比 L-阿拉伯糖强,但最终 L-阿拉伯糖对蔗糖酶的抑制效果更为明显。一方面是 L-阿拉伯糖难吸收,在体内存留时间长;另一方面是 L-阿拉伯糖从三元复合体释放出来后,其他 L-阿拉伯糖分子可继续结合蔗糖-蔗糖酶复合体,故 L-阿拉伯糖在小肠存留时间可达数小时,显效时间长^[8]。L-阿拉伯糖和未经消化的蔗糖不能被小肠吸收,在结肠被微生物利用,最终产生大量有机酸和气体,利于肠道益生菌的增殖。

理论上,L-阿拉伯糖抑制小肠蔗糖酶,导致进入结肠的蔗糖数量显著增加,结肠的肠道菌群在降解蔗糖和 L-阿拉伯糖的过程中会产生大量 CO₂ 和 H₂,可能引起胃肠道不适。但在所报告的人体试验^[6-7]中并未观察到胃肠胀气、腹泻或胃痛等胃肠道不良反应。

1.2 减少脂肪堆积 L-阿拉伯糖可显著抑制大鼠摄入蔗糖后引起的肝脏总脂肪含量和血清三酰甘油的升高,附睾和腹膜的脂肪组织减少^[9]。在大鼠和兔子的动物实验^[10-11]中也得出上述结果。小剂量(0.5 g/kg)L-阿拉伯糖即可降低肥胖小鼠的体质量增长速率,但到达一定剂量(1.0 g/kg)后才具有显著效果^[12]。在摄入 L-阿拉伯糖后,小肠不饱和脂肪酸和乳酸有所增加,推测 L-阿拉伯糖在小肠也发生微生物降解作用,L-阿拉伯糖抑制蔗糖吸收而减少,体内脂肪形成的过程因此被削弱^[13]。故 L-阿拉伯糖需达到一定剂量才能显著降低体质量增长速率。

L-阿拉伯糖主要通过 3 种途径来改善机体的脂质代谢和减少脂肪堆积:抑制小肠对蔗糖的吸收,减少体内脂肪的形成;不易被胃酸降解,在小肠不易被吸收,在结肠被肠道菌群利用产生大量有机酸,从而抑制肝脏的脂肪合成,降低血清三酰甘油和胆固醇浓度;难消化吸收,维持机体饱腹感,减少能量摄入,达到减重效果。

L-阿拉伯糖对机体物质代谢的影响,除具有抑制蔗糖代谢和吸收及脂肪堆积外,还具有改变骨骼肌纤维比例和促进钙质吸收的作用^[14]。

2 L-阿拉伯糖对肠道微生态的影响

从山楂中提取的杂多糖 HAW1-2 由 L-阿拉伯糖、半乳糖和葡萄糖组成。生物活性试验^[15]显示, HAW1-2 显著促进多形拟杆菌 (*Bacteroides thetaiotamicron*, BT)、卵形拟杆菌 (*Bacteroides ovatus*, BO) 和长双歧杆菌 (*Bifidobacterium longum*, BL) 在肠道的生长, 其中 BL 在肠道中产生大量乙酸对维持肠道稳态具有重要作用。L-阿拉伯糖在 HAW1-2 调节肠道菌群产生短链脂肪酸 (short chain fatty acid, SCFAs) 和维持肠道微生态稳态的过程中可能发挥重要作用。

藜麦多糖是一种由葡萄糖和 L-阿拉伯糖构成的可溶性多糖, 可降低厚壁菌门和拟杆菌门的比值及变形菌门的相对丰度, 提高肠道菌群的物种丰富度, 调节肠道微生态的群落结构^[16]。16S rDNA 测序显示, 摄入藜麦多糖可降低与血脂正相关的脱硫弧菌和异杆菌的数量, 改善高脂饮食 (high-fat diet, HFD) 导致的肠道微生态紊乱, 有利于减轻肠道炎症。L-阿拉伯糖作为藜麦多糖的重要组成部分, 对改善 HFD 所致的高脂血症和调节肠道微生态具有重要作用。另一项 16S rDNA 测序研究^[17]发现, L-阿拉伯糖可调节肠道氢细菌和益生菌的相对丰度、肠道产氢量及脂代谢和线粒体功能相关基因的表达, 强调 L-阿拉伯糖可用于防治 MS。

L-阿拉伯糖可增加肠道 SCFAs 的生成速率, 且具有剂量依赖性, 主要增加的是乙酸、丙酸、乳酸、苹果酸和琥珀酸^[13], 利于维持肠道酸性环境, 促进益生菌如双歧杆菌的增殖, 对维持肠道微生态具有重要作用。体外试验发现 L-阿拉伯糖抑制沙门氏菌致病基因岛-1 (SPI-1) 的表达^[18], 并可抑制霍乱弧菌在以葡萄糖酸盐为唯一碳源的 M9 培养基的增殖^[19]。此外, L-阿拉伯糖还可调节结肠炎的炎症程度^[20]和雌马酚的代谢^[21]。

3 L-阿拉伯糖的临床应用

3.1 防治代谢性疾病 糖类与机体的营养代谢最为密切, 过多摄入高热量糖类易引起肥胖、糖尿病和心血管等疾病, 对全球健康造成严重威胁。因此, 功能性甜味剂越来越多地代替日常糖类或直接作为食品添加剂来改善日常糖类对健康的不利影响。美国医疗协会将 L-阿拉伯糖列入抗肥胖剂的营养补充剂或非处方药; 日本厚生省将 L-阿拉伯糖

列入控制血糖升高的专用特殊保健食品添加剂; 中国卫生部第 12 号公告正式批准 L-阿拉伯糖为新资源食品, 在国内进行大力推广。

研究^[22]表明, 餐后高血糖会增加患有 2 型糖尿病或某些癌症的老年人发生心血管疾病、视网膜病变或认知功能障碍的风险。L-阿拉伯糖可显著降低餐后血糖, 提高糖耐量, 故在蔗糖饮料中添加 L-阿拉伯糖可减少餐后血糖波动, 同时使用注射剂或药物来维持糖尿病患者的正常血糖水平可能是一个较好的策略。有研究^[23]发现, 当 L-阿拉伯糖添加到固体或半固体餐食时, 未观察到降低餐后血糖的效果; 将其添加到蔗糖饮料时, 则可观察到显著降低餐后血糖的效果。说明 L-阿拉伯糖在溶液状态中发挥最大效果, 在应用时应注意其剂型。

L-阿拉伯糖抑制小肠黏膜刷状缘的蔗糖酶, 降低蔗糖分解速度, 减少蔗糖吸收, 减慢餐后血糖升高速度, 具有控制空腹血糖和提高糖耐量的效果, 促使胰岛 β 细胞正常分泌胰岛素, 最终改善胰岛素抵抗和稳定血糖水平。因此, L-阿拉伯糖通过调节餐后血糖和空腹血糖防治糖尿病前期及糖尿病。L-阿拉伯糖还可降低血清三酰甘油和胆固醇浓度, 提高血清高密度脂蛋白浓度, 进而减少动物脂肪积累, 减缓体质量增长。高胆固醇血症是动脉粥样硬化的重要因素, 故 L-阿拉伯糖可通过调节血脂和减少脂肪积累, 对肥胖、高脂血症、高血压等代谢性疾病和心血管疾病的防治具有积极意义。L-阿拉伯糖低热量的特性, 使其具有广泛应用于健康功能性食品或药品的潜力。

3.2 改善肠道亚健康 and 肠道准备 肠道微生态的稳定是维持正常肠道功能和机体代谢的基础, 肠道菌群结构和功能的失调将影响糖脂代谢和能量平衡, 并引发肠道慢性非特异炎症反应, 长期的炎症反应会进一步加剧肠黏膜屏障功能的破坏, 形成恶性循环, 进而引发代谢综合征。

L-阿拉伯糖可提高糖耐量、改善血脂和减少肠道炎症反应, 促进能量平衡和糖脂代谢, 利于维持肠道稳态; 同时 L-阿拉伯糖对肠道的酸化作用利于益生菌如双歧杆菌和乳酸菌的增殖。因此, L-阿拉伯糖可作为益生元调节肠道微生态, 改善肠道亚健康。

L-阿拉伯糖具有稳定的生化性质, 在小肠不易被吸收, 故在小肠的含量基本维持不变, 从而减少其他肠道内容物与肠黏膜的接触以及水分的吸收,

促进肠道蠕动。结直肠微生物降解 L-阿拉伯糖,产生大量有机酸和气体,肠道 pH 下降、渗透压升高、肠道内容物水分吸收减少,最终促进肠道蠕动,刺激排便。L-阿拉伯糖和蔗糖的复配物对便秘模型小鼠有较好的润肠通便效果^[24]。一项人体对照试

验^[25]表明,L-阿拉伯糖在用于肠道准备时具有与复方聚乙二醇电解质散(PEG)相同的效果,同时患者舒适度更高、肠道不良反应发生率更低。提示 L-阿拉伯糖可防治功能性便秘(functional constipation, FC)和用于结肠镜检查或术前的肠道准备,见图 1。

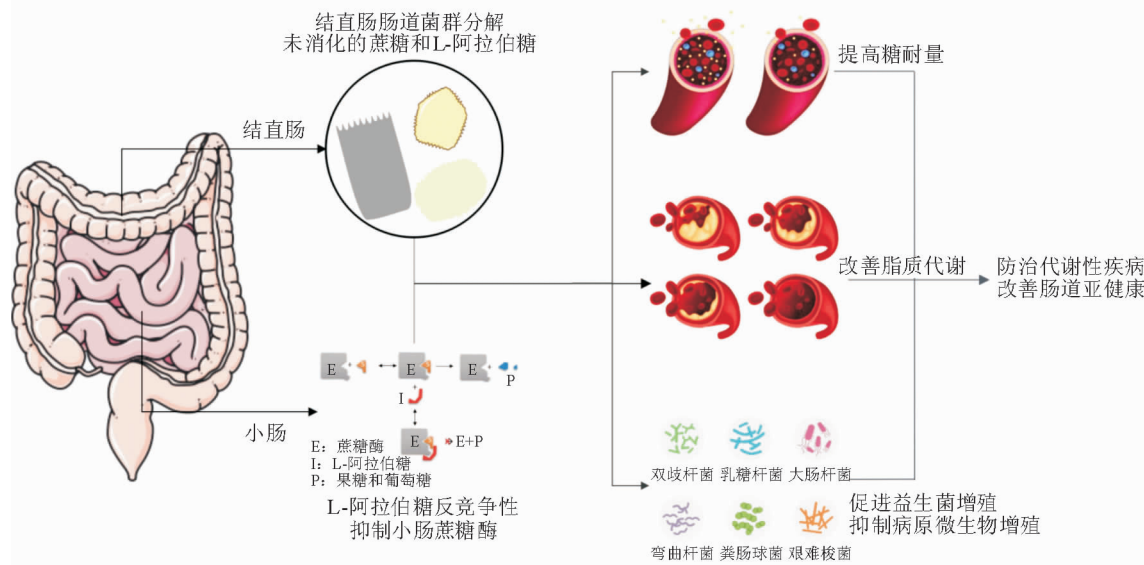


图 1 L-阿拉伯糖对肠道微生物的作用及临床应用

3.3 其他 由于 L-阿拉伯糖具有结构稳定、耐热耐酸、无热量及类似蔗糖甜味等特性,使其也广泛应用于医药合成中间体(核苷类抗病毒药物、抗癌药物及治疗心血管疾病的药物,如阿糖胞苷、阿糖腺苷和 L-核糖等)和医药赋形剂或填充剂(如止咳糖浆或片剂)。

4 L-阿拉伯糖的发展前景

L-阿拉伯糖在自然界分布广泛,但含量较少。目前工业上生产 L-阿拉伯糖大多使用酸解半纤维素法,此外还有微生物酶解法、微生物除杂法和化学合成法^[26]。受限于生产方法,L-阿拉伯糖的生产成本较高,限制了其在食品和药品领域的广泛应用。微生物优先利用 D-葡萄糖,这是由于 D-葡萄糖的分解代谢可抑制 L-阿拉伯糖相关的分解代谢基因和操纵子,此外能够利用 L-阿拉伯糖的微生物较少。但已有研究^[27]表明通过改进代谢途径即可让微生物同时利用 D-葡萄糖和 L-阿拉伯糖。这为开发微生物平台生产 L-阿拉伯糖提供了合理的设计策略。因此,未来除进一步研究 L-阿拉伯糖对人体代谢的影响和机制外,还需开发低生产成本的工艺技术。

综上所述,L-阿拉伯糖具有提高糖耐量、减少脂肪堆积和改善肠道微生物的作用,对代谢性疾病具

有重要的防治作用。现阶段以肠道菌群为靶点采用益生元、益生菌和合理膳食等措施对肠道微生物进行调节,从而改善人体与肠道菌群的共生关系,实现预防或治疗代谢性疾病的目的,具有广阔的应用前景。L-阿拉伯糖在改善肠道微生物方面已展现出较好的社会效益和前景,但在临床医药领域并未实现广泛应用,与其机制研究较少和生产成本较高密切相关。相信随着进一步研究及工业化技术的进步,L-阿拉伯糖将得到更广泛的应用。

利益冲突:所有作者声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] SANAI K, SERI K, INOUE S. Inhibition of sucrose digestion and absorption by L-arabinose in rats[J]. Nippon Eiyo Shokuryo Gakkaishi, 1997, 50(2): 133-137.
- [2] SERI K, SANAI K, MATSUO N, et al. L-arabinose selectively inhibits intestinal sucrase in an uncompetitive manner and suppresses glycemic response after sucrose ingestion in animals [J]. Metabolism, 1996, 45 (11): 1368-1374.
- [3] 周克夫, 韩伟, 张忠英, 等. L-阿拉伯糖对高糖高脂喂养小鼠体重及耐糖量的影响[J]. 中国医药导刊, 2009, 11(1): 86-89. ZHOU K F, HAN W, ZHANG Z Y, et al. Effects of L-arabinose as inhibitor on body weight and sucrose tolerance in mice with high fat and high sucrose feeding[J]. Chinese Journal of Medicinal Guide, 2009, 11(1): 86-89.

- [4] PREUSS H G, ECHARD B, BAGCHI D, et al. Inhibition by natural dietary substances of gastrointestinal absorption of starch and sucrose in rats and pigs; 1. Acute studies[J]. *Int J Med Sci*, 2007, 4(4): 196-202.
- [5] PREUSS H G, ECHARD B, BAGCHI D, et al. Inhibition by natural dietary substances of gastrointestinal absorption of starch and sucrose in rats 2. Subchronic studies[J]. *Int J Med Sci*, 2007, 4(4): 209-215.
- [6] INOUE S, SANAI K, SERI K. Effect of L-arabinose on blood glucose level after ingestion of sucrose-containing food in human[J]. *J Nutr*, 2000, 53(6): 243-247.
- [7] KROG-MIKKELSEN I, HELS O, TETENS I, et al. The effects of L-arabinose on intestinal sucrase activity: dose-response studies in vitro and in humans[J]. *Am J Clin Nutr*, 2011, 94(2): 472-478.
- [8] SHIBANUMA K, DEGAWA Y, HOUDA K. Determination of the transient period of the EIS complex and investigation of the suppression of blood glucose levels by L-arabinose in healthy adults[J]. *Eur J Nutr*, 2011, 50(6): 447-453.
- [9] OSAKI S, KIMURA T, SUGIMOTO T, et al. L-arabinose feeding prevents increases due to dietary sucrose in lipogenic enzymes and triacylglycerol levels in rats[J]. *J Nutr*, 2001, 131(3): 796-799.
- [10] 何 丽, 满青青, 仇芝林, 等. L-阿拉伯糖对正常及高糖高脂喂养大鼠生长及糖脂代谢的影响[J]. *中国食品卫生杂志*, 2009, 21(5): 406-409. HE L, MAN Q Q, QIU Z L, et al. Effects of L-arabinose on growth and carbohydrate, lipid metabolism in Wistar rats with normal feeding and high-sucrose and high-fat feeding [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2009, 21(5): 406-409.
- [11] 韩 伟, 吴汉洲, 杨彩霞. L-阿拉伯糖降血糖和减肥功能实验研究[J]. *中国中医药信息杂志*, 2010, 17(3): 39-40. HAN W, WU H Z, YANG C X. Experimental study on effects of hypoglycemic and antiobesity of L-arabinose in New Zealand rabbit[J]. *Chinese Journal of Information on TCM*, 2010, 17(3): 39-40.
- [12] 桂堂辉, 何成新, 李赐玉, 等. L-阿拉伯糖对降低高糖高脂喂养小鼠体重增长速率的影响[J]. *广西植物*, 2010, 30(2): 280-283. GUI T H, HE C X, LI C Y, et al. Effects on reduction of weight increasing rate in rats feeding with high fat and sucrose diet[J]. *Guilhaia*, 2010, (2): 280-283.
- [13] TIWARI U P, SINGH A K, JHA R. Fermentation characteristics of resistant starch, arabinoxylan, and β -glucan and their effects on the gut microbial ecology of pigs: a review[J]. *Anim Nutr*, 2019, 5(3): 217-226.
- [14] 白福玉, 丁继程. L-阿拉伯糖在改善骨骼肌与糖尿病方面的应用[J]. *临床和实验医学杂志*, 2010, 9(11): 75-76. BAI F Y, DING J C. Application of L-arabinose in improving skeletal muscle and diabetes mellitus[J]. *Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2010, 9(11): 75-76.
- [15] GUO C, ZHANG S, WANG Y, et al. Isolation and structure characterization of a polysaccharide from *Crataegus pinnatifida* and its bioactivity on gut microbiota[J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 154: 82-91.
- [16] CAO Y, ZOU L, LI W, et al. Dietary quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) polysaccharides ameliorate high-fat diet-induced hyperlipidemia and modulate gut microbiota[J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 163: 55-65.
- [17] ZHAO L, WANG Y, ZHANG G, et al. L-arabinose elicits gut-derived hydrogen production and ameliorates metabolic syndrome in C57BL/6J mice on high-fat-diet[J]. *Nutrients*, 2019, 11(12): 3054.
- [18] LÓPEZ-GARRIDO J, PUERTA-FERNÁNDEZ E, COTA I, et al. Virulence gene regulation by L-arabinose in *Salmonella enterica*[J]. *Genetics*, 2015, 200 (3): 807-819.
- [19] GOLDER T, MUKHOPADHYAY A K, KOLEY H, et al. Nonmetabolizable arabinose inhibits *Vibrio cholerae* growth in M9 medium with gluconate as sole carbon source[J]. *Jpn J Infect Dis*, 2020, 73(5): 343-348.
- [20] LI Y, PAN H, LIU J X, et al. L-arabinose inhibits colitis by modulating gut microbiota in mice[J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(48): 13299-13306.
- [21] TAMURA M, KURUSU Y, HORI S. Effect of dietary L-arabinose on the intestinal microbiota and metabolism of dietary daidzein in adult mice[J]. *Biosci Microbiota Food Health*, 2012, 31 (3): 59-65.
- [22] CERIELLO A, COLAGIURI S, GERICH J, et al. Guideline for management of postmeal glucose [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2008, 18(4): S17-33.
- [23] HALSCHOU-JENSEN K, BACH KNUDSEN K E, NIELSEN S, et al. A mixed diet supplemented with L-arabinose does not alter glycaemic or insulinaemic responses in healthy human subjects[J]. *Br J Nutr*, 2015, 113(1): 82-88.
- [24] 杨子明, 董仲玺, 吴建璋, 等. L-阿拉伯糖和蔗糖复配物对便秘模型小鼠润肠通便作用的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(23): 362-363, 392. YANG Z M, DONG Z X, WU J Z, et al. Laxative effect of L-arabinose and sucrose mixture in constipation mice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(23): 362-363, 392.
- [25] 王 昕, 金 鹏, 谢 惠, 等. L-阿拉伯糖在结肠镜检查前肠道准备中的应用[J]. *中华消化内镜杂志*, 2016, 33(4): 234-236. WANG X, JIN P, XIE H, et al. Efficacy of L-arabinose for bowel preparation before colonoscopy [J]. *Chinese Journal of Digestive Endoscopy*, 2016, 33 (4): 234-236.
- [26] MÉLINE T, MUZARD M, DELEU M, et al. D-xylose and L-arabinose laurate esters: enzymatic synthesis, characterization and physico-chemical properties[J]. *Enzyme Microb Technol*, 2018, 112: 14-21.
- [27] KAWAGUCHI H, YOSHIHARA K, HARA K Y, et al. Metabolome analysis-based design and engineering of a metabolic pathway in *Corynebacterium glutamicum* to match rates of simultaneous utilization of D-glucose and L-arabinose [J]. *Microb Cell Fact*, 2018, 17(1): 76.