

低分子量瓜尔豆胶水解物 对昆明小鼠便秘的预防作用

陈 赛¹, 闫巧娟¹, 丰 硕², 刘晓艳², 刘燕静³, 张 伟³, 江正强^{2,*}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083;

2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

3. 北京瓜尔润科技股份有限公司, 北京 100020)

摘 要:以复方地芬诺酯诱导的便秘昆明小鼠为模型, 通过对小肠推进率、首粒黑便排出时间、6 h 粪便湿重及个数、血清因子水平、小肠 HE 染色和粪便中有机酸含量等指标进行测定, 研究低分子量瓜尔豆胶水解物(low molecular weight partially hydrolyzed guar gum 简称 L-PHGG)对便秘的预防效果。结果表明: 相比于便秘模型组, L-PHGG 低、中、高剂量组小鼠小肠推进率分别增加 32.4%、54.4% 和 81.6%, 阳性对照比沙可啶组增加 57.0%; 6 h 黑便湿重分别增加 64.3%、79.1% 和 85.6%, 比沙可啶组增加 78.6%; P 物质(SP)因子含量分别增加 27.8%、44.1% 和 70.1%, 比沙可啶组增加 53.0%; 血管活性肠肽(VIP)因子含量分别增加 11.1%、9.3% 和 32.6%, 比沙可啶组增加 10.6%。各样品组小鼠小肠绒毛断裂较少, 长度较长, 数量更稠密, 损伤程度较轻。乳酸、乙酸、丙酸三种有机酸总含量分别增加 27.7%、35.3% 和 50.5%, 比沙可啶组中仅有乳酸含量增加, 增加量为 25.3%。总之, L-PHGG 低、中、高剂量均对昆明小鼠便秘具有预防作用, 且中、高剂量组 L-PHGG 的便秘预防效果更好, 为其开发成为胃肠道功能性食品提供科学依据。

关键词:低分子量瓜尔豆水解物, 膳食纤维, 便秘

Preventive Effect of Low Molecular Weight Partially Hydrolyzed Guar Gum on Constipation in Kunming Mice

CHEN Sai¹, YAN Qiao-juan¹, FENG Shuo², LIU Xiao-yan², LIU Yan-jing³, ZHANG Wei³, JIANG Zheng-qiang^{2,*}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. Beijing Guaran Science and Technology Company, Beijing 100020, China)

Abstract: This study was to evaluate the preventive effect of low molecular weight partially hydrolyzed guar gum (L-PHGG) on diphenoxylate-induced constipation in Kunming mice. The effects on the small intestinal propulsion rates, the defecation time of the first black stool, the wet weight and number of defecation within 6 hours after administration, serum parameters, HE staining of small intestine, and the contents of organic acids in feces were investigated. The results showed that compared with the constipation model mice, the mice those were fed L-PHGG at low, middle or high-dose presented in higher gastrointestinal transit, increased by 32.4%, 54.4% and 81.6% respectively; and the positive control (bisacodyl group) increased by 57.0%. The wet weights of defecation within 6 hours after low, middle or high-dose of L-PHGG increased by 64.3%, 79.1% and 85.6% respectively, while the bisacodyl group increased by 78.6%. In addition, the levels of substance P (SP) of the L-PHGG at low, middle or high-dose increased by 27.8%, 44.1% and 70.1% respectively, and the bisacodyl group increased by 53.0%. Serum vasoactive intestinal peptide (VIP) of the L-PHGG at low, middle or high-dose increased by 11.1%, 9.3% and 32.6% respectively, and the bisacodyl group increased by 10.6%. HE staining of small intestinal showed that all L-PHGG groups presented less rupture, weaker damage, longer length and higher number of intestinal villi. The total content of lactic acid, acetic acid and propionic acid of low, middle or high-dose of L-PHGG increased by 27.7%, 35.3% and 50.5% respectively, but the bisacodyl group only increased by 25.3%. In conclusion, these results suggested that L-PHGG of low, middle and high-dose had preventive effect on constipation in mice, especially for the middle and high-dose groups, which provides scientific supports for the development of L-PHGG as functional food for gastrointestinal tract.

Key words: partially hydrolyzed guar gum; dietary fiber; constipation

收稿日期: 2018-02-25

作者简介: 陈赛(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 生物质工程, E-mail: cscmcn321@163.com。

* 通讯作者: 江正强(1971-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 酶与发酵工程, E-mail: zhqjiang@cau.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31471688)。

中图分类号:TS201

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2018)23-0323-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.056

引文格式:陈赛,闫巧娟,丰硕,等.低分子量瓜尔豆胶水解物对昆明小鼠便秘的预防作用[J].食品工业科技,2018,39(23):323-328.

近年来,随着饮食结构的改变及精神心理和社会因素等的影响,便秘已成为现代人生活的常见疾病。据流行病学研究显示:我国总体便秘患病率为3%~11%;且患病率随着年龄的增长显著升高,60岁以上老年人患病率为15%~20%;而80岁以上人群患病率可达20%~37%^[1]。长期便秘与糖尿病、结直肠癌、心脑血管等疾病密切相关,严重影响人们的生活质量。因此,便秘已成为亟待解决的公共健康问题^[2]。

引起便秘的原因很多,饮食结构不合理是便秘产生的主要原因。近年来,随着生活水平的提高,精细加工的高蛋白、高脂肪、高碳水化合物食物已成为人们的饮食主体,而这些食物中的维生素、矿物质、纤维素等营养成分含量较低。研究表明,饮食中缺乏膳食纤维是导致便秘形成的重要原因^[3]。膳食纤维参与机体内许多重要生理功能,如改善便秘、调节肠道菌群等^[4-5]。这是由于膳食纤维具有蓄水的性质,它在肠内吸收水分后膨胀,使粪便柔软胀大,增加粪便量和缩短其肠内滞留时间而改善便秘。此外膳食纤维还可以调节肠道菌群,促进益生菌的增殖,产生短链脂肪酸;抑制肠道有害菌群生长,减少其代谢产物的堆积和吸收^[6]。

目前,根据是否能溶于水将膳食纤维分为可溶性膳食纤维和不可溶性膳食纤维。瓜尔豆胶是一种常用的增稠剂,同时也是一种可溶性膳食纤维,据报道瓜尔豆胶具有润肠通便、缓解结肠癌等功效^[7-8]。而瓜尔豆胶水解物(partially hydrolyzed guar gum, PHGG)具有水溶性、非凝胶及低黏度特性,且膳食纤维含量高达90%左右^[9];能够提高慢性便秘患者的结肠传输时间及缓解慢性便秘患者病症的功效^[10];提高健康人体的排便频率和粪便重量、提高粪便含水率、降低血清胆固醇、降低粪便pH并且能够有效缓解肠道易激综合征的症状^[11-13]。低分子量瓜尔豆胶(low molecular weight partially hydrolyzed guar gum)是按照Li等^[11]方法从瓜尔豆胶水解物中分离所得的分子量较低的组分,平均分子量为 2.5×10^4 Da,寡糖(聚合度<7)含量占24.9%,总膳食纤维含量高达90.6%。本实验室前期实验表明低分子瓜尔豆胶水解物的益生元属性优于瓜尔豆胶水解物;且其对小鼠便秘的干预作用尚未见报道。

本文通过复方地芬诺酯诱导小鼠产生便秘,从小肠推进率、首粒黑便排出时间、6 h粪便湿重及个数、血清因子水平、小肠HE染色和粪便中有机酸含量7个方面系统地研究L-PHGG对昆明小鼠的便秘预防作用,为L-PHGG的开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

昆明小鼠 北京维通利华动物技术有限公司,

许可证号为:SCXK(京)2016-0011;普通维持饲料(含碳水化合物50%、脂肪10%、蛋白质20%) 北京科奥协力饲料有限公司,许可证号为:SCXK(京)2014-0010;复方地芬诺酯 北京利华开顺贸易有限公司;比沙可啶、HE染料(伊红和苏木素) 美国Sigma试剂公司;L-PHGG 北京瓜尔润股份有限公司;血清因子试剂盒包括胃动素(motilin, MTL)、P物质(substance P, SP)、血管活性肠肽(vasoactive intestinal peptide, VIP)、乙酰胆碱酯酶(acetylcholine enzyme, AchE)等 北京华英生物技术研究;有机酸标准品包括乳酸、甲酸、乙酸、丙酸、异丁酸、正丁酸等 阿拉丁试剂(上海)有限公司;Minisart 16541-K针筒过滤膜 Sartorius(德国)有限公司;其它试剂包括10%中性福尔马林、羧甲基纤维素钠、活性炭、甲醛、盐酸、冰醋酸、氯化钠等 国药集团化学试剂有限公司。

华卫德朗 DR-200BS 酶标分析仪 无锡华卫德朗仪器有限公司;Leica RM2125RTS 手动轮转式切片机、Leica RM2235 组织切片机 德国 Leica 公司;奥特光学-BKFL 荧光显微镜 重庆奥特光学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 复方地芬诺酯诱导便秘模型 参照李业鹏等^[14]方法并根据前期预实验加以改进,制定小鼠便秘模型造模方法,采用30 mg/kg/d剂量的复方地芬诺酯灌胃小鼠,连续3 d。通过对模型组与对照组在首粒黑便排便时间、6 h排便粒数及排便重量方面的比较,判断是否建立了稳定的小鼠便秘模型。

1.2.2 实验动物分组、饲养环境和便秘干预实验 昆明小鼠60只,雌性、4周龄、体质量(27 ± 1) g;适应性喂养普通维持饲料7 d后,按体重随机分为6组,分别为:健康组、便秘模型对照组、比沙可啶组(100 mg/kg/d)、L-PHGG低剂量组(600 mg/kg/d)、L-PHGG中剂量组(1200 mg/kg/d)、L-PHGG高剂量组(1800 mg/kg/d),使用生理盐水溶解比沙可啶及低分子量瓜尔豆膳食纤维固体粉末,配制对应浓度溶液后,进行灌胃,每组10只。室温保持在(25 ± 5) °C,相对湿度($50\% \pm 10\%$),12 h明暗交替(7:00~19:00 照明)。

实验周期为18 d,前14 d每天上午8:00给小鼠灌胃,健康组和模型组以10 mL/kg/d灌胃生理盐水;比沙可啶组灌胃100 mg/kg/d比沙可啶^[15];样品组以相对应剂量L-PHGG灌胃各组,从第15 d开始,除健康组外其他各组分别以30 mg/kg/d灌胃复方地芬诺酯建模,连续灌胃4 d,期间继续灌胃相应样品,小鼠自由饮食和饮水,直至实验最后1 d。

1.2.3 小肠推进率实验 配制30 mL活性炭水:称取活性炭末3.0 g,加入30 mL蒸馏水,再加入0.3 g

的羧甲基纤维素钠后混匀。

参照李贵节等^[15]的方法并做修改,从实验第 15 d 起,除健康组之外,其余各组每组随机取 5 只小鼠,连续灌胃 3 d 复方地芬诺酯后,将小鼠禁食 18 h 之后,再次灌胃复方地芬诺酯,然后以剂量 0.01 mL/g 小鼠体重灌胃含 10% 活性炭的活性炭水。灌胃活性炭水 25 min 之后,将小鼠脱颈处死,剖开腹腔并分离小鼠小肠,剪取上自幽门、下至回盲肠的整根小肠,将整条小肠自然拉成直线(不绷紧,不弯曲),以测量小肠长度,即为“小肠总长度”,从幽门至活性炭前沿为“活性炭推进距离”,计算小肠推进率。

推进率(%) = $\frac{\text{活性炭推进距离 (cm)}}{\text{小肠总长度 (cm)}} \times 100$

推进率增加量(%) = $\frac{\text{样品数值}-\text{模型数值}}{\text{模型数值}} \times 100$

1.2.4 首粒黑便排出时间及 6 h 内黑便粒数与湿重

参照李贵节等^[15]的方法并做修改,从实验第 15 d 起,除健康组之外,将其余各组的每组剩余 5 只小鼠连续 4 d 灌胃复方地芬诺酯,最后 1 d 禁食不禁水 18 h;之后单笼分装,按 1.2.2 方法正常灌胃和饲养,同时记录每只小鼠首粒黑便排放时间及 6 h 内排放的黑便粒数,并称量黑便的湿重。

首粒粪便排出时间缩短量(%) = (模型数据-样品数据)/模型数据 × 100

粪便湿重增加量(%) = (样品数据-模型数据)/模型数据 × 100

1.2.5 小鼠血清指标的检测 小鼠摘眼球取血,室温放置 4 h,在 4 ℃、3000 r/min 条件下离心 10 min,取上层血清,按 MTL、SP、VIP、AchE 试剂盒说明书的方法测定血清中上述因子水平^[15]。

血清因子水平增加量(%) = (样品数据-模型数据)/模型数据 × 100

1.2.6 苏木精-伊红染色(hematoxylin-eosin staining, HE)切片 颈椎脱臼处死小鼠并解剖,取距离回盲肠 2 cm 处长 2 cm 的小肠,放入 10% 中性福尔马林溶液浸泡,做常规 HE 切片,对小肠的 HE 染色组织切片用显微镜拍照^[15]。

1.2.7 小鼠粪便中有机酸含量的测定 参照康莉等^[16]的方法并做修改,配制 20、40、60、80、100 mmol/L 等有机酸梯度混合标样,用于有机酸标准曲线的测定,其中检测条件:流动相为 5 mmol/L 硫酸,流速 0.6 mL/min,分析柱内部温度 50 ℃,外部温度 55 ℃,自动进样器进样,进样量为 20 μL。将新鲜粪便粉

碎,准确称取一定的样品,按照 4 g/mL 浓度加入超纯水,充分混匀后,4 ℃、12000 r/min 离心 20 min,然后使用 0.45 μm 一次性针筒过滤膜过滤,收集滤液用于短链脂肪酸的测定。

有机酸含量增加量(%) = (其他组数据-模型组数据)/模型组数据 × 100

1.3 数据统计

采用 IBM SPSS 19.0 软件,所有数据均表示为 $\bar{x} \pm s$,差异显著性分析采用一维方差分析(One-way ANOVA),两两比较采用 Duncan(D)分析, $p < 0.05$ 表示数据具有显著差异。

2 结果与分析

2.1 L-PHGG 对昆明小鼠小肠推进率的影响

L-PHGG 对昆明小鼠小肠推进率的影响见表 1。健康组小鼠小肠推进率显著高于模型组($p < 0.05$),增加量为 131.6%;与阳性对照药物比沙可啶组相比,L-PHGG 中剂量组推进率与其接近,L-PHGG 高剂量组推进率升高,但无显著性差异($p > 0.05$);与模型组相比,比沙可啶组、L-PHGG 中剂量和高剂量组小鼠的小肠推进率显著提高($p < 0.05$),分别增加了 57.0%、54.4% 和 81.6%,而 L-PHGG 低剂量组的小肠推进率增加了 32.4%。表明在诱导便秘的药物复方地芬诺酯作用下,小肠蠕动能力下降,便秘症状严重,而中剂量和高剂量的 L-PHGG 均能使活性炭在小肠中的推进距离大幅度提高,促进肠蠕动。

2.2 L-PHGG 对昆明小鼠首粒黑便排出时间的影响

L-PHGG 对昆明小鼠首粒黑便排出时间的影响见表 2。健康组小鼠首粒黑便排出时间显著少于模型组($p < 0.05$),缩短量为 57.7%;与阳性对照药物比沙可啶组相比,除 L-PHGG 低剂量组外有显著改善外($p < 0.05$),其他两组均无显著改善($p > 0.05$);与模型组相比,比沙可啶组、L-PHGG 低、中、高剂量组小鼠的时间均显著减少($p < 0.05$),分别缩短了 42.4%、21.9%、29.0% 和 34.4%。表明不同剂量的 L-PHGG 均有效地减少了便秘小鼠首粒黑便的排除时间,缓解便秘症状。

2.3 L-PHGG 对昆明小鼠 6 h 排黑便参数的影响

L-PHGG 对昆明小鼠 6 h 内排黑便湿重及粒数的影响见表 3。健康组小鼠 6 h 内黑便粒数与湿重均显著高于便秘模型组小鼠($p < 0.05$);与阳性对照药物比沙可啶组相比,除 L-PHGG 低剂量组在 6 h

表 1 L-PHGG 对复方地芬诺酯诱导便秘小鼠小肠推进率的影响

Table 1 Effect of L-PHGG on the small intestinal propulsion rates in diphenoxylate-induced constipation mice

组别	活性炭推进距离 (cm)	小肠全长 (cm)	小肠推进率 (%)	与模型组比增加量 (%)
健康组	29.0 ± 3.9	46.0 ± 2.6	63.0 ± 6.9 ^a	131.6
模型组	11.9 ± 3.6	43.1 ± 5.1	27.2 ± 5.2 ^c	-
比沙可啶组	19.8 ± 2.1	46.3 ± 3.4	42.7 ± 1.3 ^{ab}	57.0
L-PHGG 低剂量组	16.9 ± 1.6	46.8 ± 1.6	36.0 ± 2.7 ^{bc}	32.4
L-PHGG 中剂量组	19.0 ± 4.0	44.8 ± 4.7	42.0 ± 5.0 ^{ab}	54.4
L-PHGG 高剂量组	24.3 ± 0.8	49.2 ± 2.8	49.4 ± 2.8 ^{ab}	81.6

注:同列小写字母不同表示各组间差异显著($p < 0.05$)。表 2~表 5 同。

表2 L-PHGG对复方地芬诺酯诱导便秘小鼠首粒黑便排出时间的影响

Table 2 Effect of L-PHGG on defecation time for the first black stool in diphenoxylate-induced constipation mice

组别	首粒黑便排出时间(min)	与模型组比缩短量(%)
健康组	85.7 ± 9.6 ^d	57.7
模型组	202.7 ± 19.3 ^a	-
比沙可啶组	116.7 ± 6.7 ^{cd}	42.4
L-PHGG 低剂量组	158.3 ± 23.1 ^b	21.9
L-PHGG 中剂量组	144.0 ± 9.0 ^{bc}	29.0
L-PHGG 高剂量组	133.0 ± 30.0 ^{bc}	34.4

粪便粒数上有显著差异外($p < 0.05$),各剂量的L-PHGG组对昆明小鼠6 h内排黑便湿重及粒数均无显著差异($p > 0.05$)。与模型组相比,比沙可啶组、L-PHGG低、中、高剂量组小鼠的黑便粒数均显著上升($p < 0.05$),同时黑便湿重也显著增加($p < 0.05$),分别增加了78.6%、64.3%、79.1%和85.6%;表明不同剂量的L-PHGG均能提高便秘小鼠的粪便湿重及粪便个数。

2.4 L-PHGG对昆明小鼠血清因子水平的影响

L-PHGG对昆明小鼠血清因子水平的影响见表4。健康组小鼠血清指标中MTL、SP和活性VIP含量均显著高于便秘模型组小鼠($p < 0.05$),提高量分别为67.2%、41.6%和16.0%;而AChE因子水平,健康组与模型组差异不显著($p > 0.05$)。与阳性对照药物比沙可啶组相比,除L-PHGG低剂量组的AChE因子有显著差异外($p < 0.05$),其他剂量的L-PHGG均未对小鼠血清因子产生显著差异($p > 0.05$)。与模型组相比,不同剂量的L-PHGG组中的MTL因子和VIP因子均得到显著提高($p < 0.05$),SP因子含量分别增

加27.8%、44.1%和70.1%,VIP因子水平分别增加11.1%、9.3%和32.6%,并且高剂量的L-PHGG可显著降低AChE因子水平($p < 0.05$),比沙可啶组的SP因子和VIP因子分别增加53.0%和10.6%。以上血清结果表明,L-PHGG饮食干预可改善由于便秘引起的MTL、VIP、AChE等血清因子异常的情况。

2.5 L-PHGG对复方地芬诺酯诱导的昆明小鼠小肠组织生态学的影响

L-PHGG对昆明小鼠小肠绒毛组织形态学的影响见图1。健康组小鼠小肠绒毛整齐、稠密、长度均匀,且无炎症细胞,便秘模型对照组小鼠小肠绒毛出现明显断裂,并且数量稀疏。阳性对照组比沙可啶组与模型组小鼠相比,小肠绒毛较为正常,且与健康组相近,样品组中小鼠小肠绒毛有一定损伤,损伤程度较轻,绒毛较为整齐,且随着L-PHGG浓度的增加,小肠绒毛数量逐渐增加,且损伤程度逐渐减轻。因此,L-PHGG对由复方地芬诺酯诱导的便秘小鼠小肠绒毛具有一定的保护作用。

2.6 L-PHGG对昆明小鼠粪便中有机酸含量的影响

L-PHGG对昆明小鼠粪便中有机酸含量的影响见表5。小鼠粪便中有机酸主要包括乳酸、乙酸和丙酸。健康组小鼠中乳酸、乙酸、丙酸及三种有机酸总含量均显著高于模型组($p < 0.05$),提高率分别为44.7%、96.6%、90.9%和80.3%。与模型组相比,三种剂量的L-PHGG组均可显著提高粪便中乙酸含量和三种有机酸总含量($p < 0.05$),乳酸、乙酸、丙酸三种有机酸总含量分别增加27.7%、35.3%和50.5%;比沙可啶组中仅有乳酸含量增加,增加量为25.3%;中剂量和高剂量的L-PHGG可显著提高乳酸的含量($p < 0.05$),并且高剂量的L-PHGG可显著提高丙酸

表3 L-PHGG对复方地芬诺酯诱导便秘小鼠6 h黑便湿重及粒数的影响

Table 3 Effect of L-PHGG on black fecal wet weight and fecal number within 6 hours in diphenoxylate-induced constipation mice

组别	粪便粒数(个)	粪便湿重(mg)	粪便湿重比模型组增加量(%)
健康组	15.7 ± 2.5 ^{ab}	202.2 ± 14.0 ^a	65.2
模型组	7.7 ± 1.2 ^c	122.4 ± 30.1 ^b	-
比沙可啶组	19.0 ± 2.6 ^a	218.6 ± 43.2 ^a	78.6
L-PHGG 低剂量组	13.3 ± 1.2 ^b	201.1 ± 11.8 ^a	64.3
L-PHGG 中剂量组	15.0 ± 2.0 ^{ab}	218.4 ± 30.5 ^a	79.1
L-PHGG 高剂量组	16.0 ± 1.0 ^{ab}	227.2 ± 36.4 ^a	85.6

表4 L-PHGG对复方地芬诺酯诱导便秘小鼠血清指标水平的影响

Table 4 Effect of L-PHGG on serum MTL,SP,VIP and AChE levels in diphenoxylate-induced constipation mice

组别	MTL (pg/mL)	MTL比 模型组增加 (%)	SP (pg/mL)	SP比 模型组增加 (%)	VIP (pg/mL)	VIP比 模型组增加 (%)	AChE (U/mL)
健康组	468.7 ± 17.9 ^a	67.2	39.8 ± 8.3 ^{ab}	41.6	52.3 ± 5.6 ^{ab}	16.0	36.5 ± 6.6 ^{ab}
模型组	280.4 ± 10.3 ^c	-	28.1 ± 2.5 ^b	-	45.1 ± 9.0 ^c	-	40.9 ± 4.7 ^a
比沙可啶组	456.3 ± 29.2 ^a	62.7	43.0 ± 4.9 ^{ab}	53.0	49.9 ± 2.9 ^b	10.6	24.9 ± 2.1 ^b
L-PHGG 低剂量组	384.0 ± 19.8 ^b	36.9	35.9 ± 4.6 ^{ab}	27.8	50.1 ± 6.7 ^b	11.1	42.2 ± 4.3 ^a
L-PHGG 中剂量组	389.4 ± 24.3 ^b	38.9	40.5 ± 10.9 ^{ab}	44.1	49.3 ± 2.5 ^b	9.3	31.0 ± 10.9 ^{ab}
L-PHGG 高剂量组	400.0 ± 25.3 ^b	42.7	47.8 ± 13.0 ^b	70.1	59.8 ± 5.3 ^b	32.6	34.5 ± 7.0 ^b

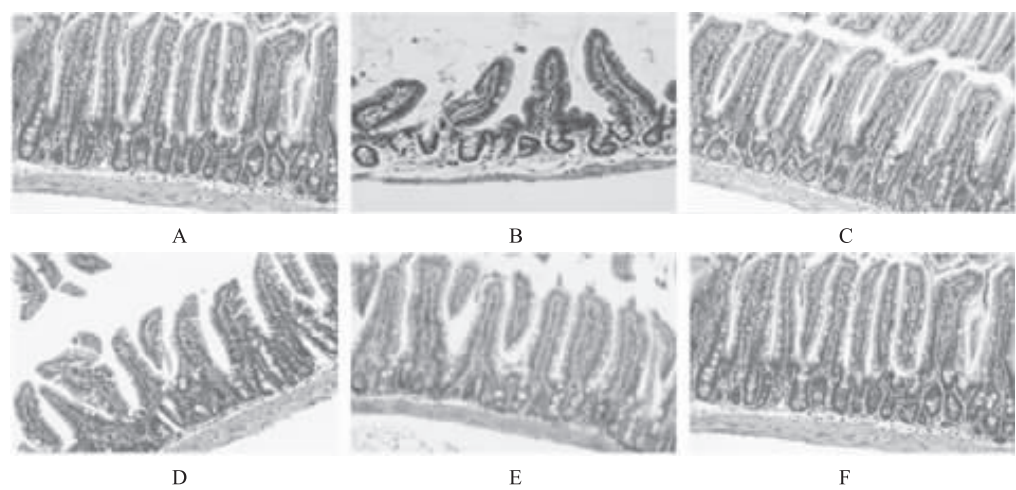


图1 小鼠各组小肠组织切片图(HE染色,200×)

Fig.1 Histological photograph of small intestine in mice(HE staining, magnification 200 ×)

注:A:健康组;B:便秘模型对照组;C:比沙可啶组;D:L-PHGG 低剂量组;E:L-PHGG 中剂量组;F:L-PHGG 高剂量组。

表5 L-PHGG 对复方地芬诺酯诱导的便秘小鼠粪便中有机酸含量的影响

Table 5 Effect of L-PHGG on organic acid content of faeces in diphenoxylate-induced constipation mice

组别	乳酸 ($\mu\text{mmol/g}$)	乳酸比模 型组增加 (%)	乙酸 ($\mu\text{mmol/g}$)	乙酸比模 型组增加 (%)	丙酸 ($\mu\text{mmol/g}$)	丙酸比模 型组增加 (%)	三种酸含量 ($\mu\text{mmol/g}$)	三种酸 含量比 模型组增加 (%)
健康组	36.6 ± 1.6^a	44.7	92.6 ± 1.9^a	96.6	18.9 ± 1.0^a	90.9	148.2 ± 0.9^a	80.3
模型组	25.3 ± 0.8^d	-	47.1 ± 2.6^e	-	9.9 ± 0.6^{cd}	-	82.2 ± 4.1^e	-
比沙可啶组	31.7 ± 1.3^b	25.3	33.1 ± 2.6^f	-29.7	8.6 ± 1.0^d	-13.1	73.4 ± 4.6^f	-10.7
L-PHGG 低剂量	25.4 ± 1.3^d	0.4	68.1 ± 0.5^c	44.6	11.4 ± 0.6^c	15.2	105.0 ± 1.5^d	27.7
L-PHGG 中剂量	28.4 ± 1.0^c	12.3	72.2 ± 1.1^b	53.3	10.6 ± 0.7^{cd}	7.1	111.2 ± 2.5^c	35.3
L-PHGG 高剂量	36.5 ± 1.1^a	44.3	72.5 ± 2.0^b	53.9	14.7 ± 1.5^b	48.5	123.7 ± 2.0^b	50.5

的含量($p < 0.05$);高剂量 L-PHGG 组的乳酸含量显著高于阳性对照药物比沙可啶组($p < 0.05$)。表明 L-PHGG 饮食干预尤其是高剂量的 L-PHGG 能提高小鼠肠道内有机酸的含量。

3 讨论与结论

L-PHGG 组较模型组小鼠小肠推进率提高,首粒黑便排出时间缩短,是由于 L-PHGG 作为益生元能够促进胃肠道的蠕动,促进代谢产物的排泄。粪便湿重的增加是由于 L-PHGG 富含膳食纤维,从而增加了粪便持水性^[11-12]。

便秘可诱发胃肠道激素的变化,其中肠神经系统递质则被广泛研究^[17-18]。而有关 L-PHGG 对肠神经系统递质的影响的研究尚未见报道,本文中 L-PHGG 组较对照组可以显著升高 MTL、VIP、SP 血清因子水平,说明 L-PHGG 能够有效调节胃肠道蠕动,改善由便秘引起的胃肠道激素紊乱。

便秘能引起胃肠道功能紊乱,严重时会使小肠绒毛断裂、损伤,故而便秘模型组小鼠小肠绒毛出现明显断裂损伤^[19]。由于人体肠道内缺乏消化 L-PHGG 的酶,因此 L-PHGG 可被肠道微生物利用并被代谢为甘露糖和半乳糖。在这个微生物利用过程中,L-PHGG 可促进有益菌增殖与发酵,同时产生大量的短链脂肪酸,刺激肠道神经,促进肠壁蠕动,

并提高小肠绒毛的韧性^[20]。因此,相较于模型组来说,L-PHGG 组小鼠小肠绒毛损伤程度较轻,绒毛较为整齐,且数量较模型组稠密,由此可以看出 L-PHGG 对由复方地芬诺酯诱导的便秘小鼠小肠绒毛具有一定的保护作用。

L-PHGG 作为益生元可以促进益生菌的增值,产生大量的短链脂肪酸,其中较为突出的是能够明显地提高乙酸含量,这与 Takagi 等^[21] 研究结果类似,短链脂肪酸能够降低肠道 pH,刺激肠道蠕动从而有效地促进小肠代谢,推动肠道废弃物排泄。L-PHGG 组小肠推进率的提高和首粒黑便排出时间的缩短则证明了这点。

本文通过 L-PHGG 对昆明小鼠便秘的预防作用系统地证明:L-PHGG 能有效地改善昆明小鼠的便秘情况,且中、高剂量组便秘预防效果更好。作为益生元,L-PHGG 相比于比沙可啶安全性高,有望开发成缓解便秘的功能性食品。

参考文献

[1] Chu H, Zhong L, Li H, et al. Epidemiology characteristics of constipation for general population, pediatric population, and elderly population in China [J]. Gastroenterol Research and Practice, 2014, 2014 (8) :532734.

- [2]唐伟峰,唐晓军,杨巍.功能性便秘的中西医研究进展[J].世界中西医结合杂志,2015(6):880-884.
- [3]Ge X, Tian H, Ding C, et al. Fecal microbiota transplantation in combination with soluble dietary fiber for treatment of slow transit constipation: A pilot study [J]. Archives of Medical Research, 2016, 47(3):236-242.
- [4]Anderson J W, Baird P, Jr D R, et al. Health benefits of dietary fiber[J]. Nutrition Reviews, 2009, 67(4):188-205.
- [5]Sturtzel B, Elmadfa I. Intervention with dietary fiber to treat constipation and reduce laxative use in residents of nursing homes [J]. Annals of Nutrition and Metabolism, 2008, 52(S1):54-56.
- [6]Wang L, Hu L, Yan S, et al. Effects of different oligosaccharides at various dosages on the composition of gut microbiota and short-chain fatty acids in mice with constipation [J]. Food & Function, 2017, 8(5):1966-1978.
- [7]Mudgil D, Barak S, Khatkar B S. Guar gum: processing, properties and food applications - A Review [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 66(3):74-80.
- [8]Finley J W, Sotovaca A, Heimbach J, et al. Safety assessment and caloric value of partially hydrolyzed guar gum [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(8):1756-1771.
- [9]Li Y X, Yi P, Wang N N, et al. High level expression of β -mannanase (Rm Man5A) in *Pichia pastoris*, for partially hydrolyzed guar gum production [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 105(1):1171-1179.
- [10]Polymeros D, Beintaris I, Gaglia A, et al. Partially hydrolyzed guar gum accelerates colonic transit time and improves symptoms in adults with chronic constipation [J]. Digestive Diseases and Sciences, 2014, 59(9):2207-2214.
- [11]Niv E, Halak A, Tiommy E, et al. Randomized clinical study: Partially hydrolyzed guar gum (PHGG) versus placebo in the treatment of patients with irritable bowel syndrome [J].

(上接第317页)

- irradiation on the shelf-life of fresh noodles [J]. Innovative Food Science Emerging Technologies, 2011, 12(4):526-530.
- [26]高翠丽,李传平,李倩,夏延致,王宗花,龙晓静.海藻酸钠在食品保鲜中的应用研究[J].青岛大学学报:工程技术版, 2013, 28(1):77-83.

(上接第322页)

- [28]魏娜,次顿,张唐伟.青藏高原土壤因子对青稞功能性成分的影响[J].大麦与谷类科学, 2018, 35(1):13-17.
- [29]赵丽,李倩,朱丹实,等.膳食纤维的研究现状与展望

Nutrition and Metabolism, 2016, 13(1):10-16.

- [12]Slavin J L, Greenberg N A. Partially hydrolyzed guar gum: clinical nutrition uses. [J]. Nutrition, 2003, 19(6):549-552.
- [13]M P Kapoor, M Sugita, Y Fukuzawa, et al. Impact of partially hydrolyzed guar gum (PHGG) on constipation prevention: A systematic review and meta-analysis [J]. Funct Foods 33 (2017) 52-66.
- [14]李业鹏,崔生辉,江涛,等.小鼠便秘模型的建立[J].中国食品卫生杂志, 2000, 12(1):1-4.
- [15]李贵节,王存,况刚,等.发酵方竹笋对复方地芬诺酯诱导小鼠便秘的预防效果[J].食品工业科技, 2015, 36(15):357-361.
- [16]康莉,吴彬彬,罗茜,等.不同提取方法对粪便中短链脂肪酸含量及稳定性的影响[J].现代预防医学, 2016, 43(11):357-361.
- [17]Takahashi H, Yang S L, Hayashi C, et al. Effect of partially hydrolyzed guar gum on fecal output in human volunteers [J]. Nutrition Research, 1993, 13(6):649-657.
- [18]Luo D, Qu C, Lin G, et al. Character and laxative activity of polysaccharides isolated from *Dendrobium officinale* [J]. Journal of Functional Foods, 2017, 34:106-117.
- [19]Gibson R J, Keefe D M. Cancer chemotherapy - induced diarrhoea and constipation: mechanisms of damage and prevention strategies. [J]. Supportive Care in Cancer, 2006, 14(9):890-900.
- [20]Finley J W, Sotovaca A, Heimbach J, et al. Safety assessment and caloric value of partially hydrolyzed guar gum [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(8):1756-1771.
- [21]Takagi T, Naito Y, Higashimura Y, et al. Partially hydrolysed guar gum ameliorates murine intestinal inflammation in association with modulating luminal microbiota and SCFA [J]. British Journal of Nutrition, 2016, 116(7):1199-1205.

[27]修样菊,郑尚基,刘春宪,等.新型防腐剂单辛酸甘油酯在食品中的应用[J].中国食品添加剂, 1997(4):29-32.

[28]王肇慈.粮油食品品质分析[M].北京:中国轻工业出版社, 2000:15-16.

[J].食品与发酵科技, 2014, 50(5):76-82.

[30]刘新红.青稞品质特性评价及加工适宜性研究[D].西宁:青海大学, 2014.

全国中文核心期刊
轻工行业优秀期刊