

膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠肠道健康的影响

杨光¹, 周茜¹, 董立军², 郝红伟¹, 刘新愚¹, 赵文¹

(1. 河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071001) (2. 北京御食园食品股份有限公司, 北京 101407)

摘要: 本文研究了添加 10% 山楂膳食纤维的冻干山楂果(按质量比 9:1)对小鼠肠道健康的影响。将小鼠按体重质量随机分为 4 组, 分别为溶剂对照组和受试物 1、2 和 4 g/(kg·d) 剂量组。灌胃 6 周后, 试验结束前连续 3 d 收集小鼠新鲜粪便, 测定粪便质量、水分、pH 值和短链脂肪酸(SCFA)含量。试验结束空腹过夜条件下测体重, 处死小鼠, 分离盲肠和结肠并测定质量; 取盲肠和结肠内容物测定 pH 和盲肠酵解产物 SCFA 的含量; 测定盲肠和结肠内容物中的双歧杆菌、肠杆菌、肠球菌、乳杆菌和产气荚膜梭菌的数量。分析添加 10% 山楂膳食纤维的冻干山楂果对小鼠肠道健康的影响。各剂量组与溶剂对照组相比, 各项检测指标存在显著性差异($p < 0.05$), 结果表明添加 10% 山楂膳食纤维的冻干山楂果对小鼠肠道内环境健康具有改善调节作用。

关键词: 冻干山楂果; 山楂膳食纤维; 肠道菌群; 短链脂肪酸

文章编号: 1673-9078(2016)12-20-25

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.004

Effect of Increased Dietary Fiber in Freeze-dried Hawthorn on the Intestinal Health of Mice

YANG Guang¹, ZHOU Qian¹, DONG Li-jun², HAO Hong-wei¹, LIU Xin-yu¹, ZHAO Wen¹

(1. College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

(2. Beijing imperial food garden food Co. Ltd, Huairou yanqi industrial district area C, Beijing 101407, China)

Abstract: The ameliorative effect of freeze-dried hawthorn fruit with added dietary fiber (mass ratio 9:1) on mouse intestinal health was investigated. The mice were divided into 4 groups: one blank control group and three dose groups given 1, 2, and 4 g/(kg·d) of hawthorn fruit with 10% dietary fiber. After intragastric gavage for 6 weeks, fresh feces were collected for three consecutive days before the end of the trial, and the weight, moisture content, pH, and short-chain fatty acid (SCFA) content of the feces were measured. At the end of the trial, the body weight of the mice was measured after overnight fasting. The mice were then sacrificed, and the caecum was separated from the colon and weighed. The caecum and colon contents were extracted, and their pH and SCFA content were measured. The counts of *Bifidobacterium*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, and *Clostridium perfringens* in the caecum and colon contents were determined. Compared with the control group, the test indices for all three dose groups showed significant differences ($p < 0.05$). The results showed that adding 10% hawthorn dietary fiber to the freeze-dried hawthorn fruit could improve the intestinal environment and health of mice.

Key words: freeze-dried hawthorn fruit; hawthorn dietary fiber; intestinal flora; short-chain fatty acid content

山楂 (*Fructus Crataegi*), 是我国的特产果树, 属于蔷薇科山楂属 (*Crataegus* L.) 植物, 具有 3000 多年的栽培历史, 目前种植范围已分布到亚洲、欧洲、中北美洲及南美洲北部。山楂果是“药食同用”的植物, 富含多种营养物质, 每 100 g 果肉含维生素 C 高达 89 mg, 仅次于大枣和猕猴桃, 比苹果高 17 倍; 钙的含量高达 85 mg, 是鲜果之最。山楂中含有丰富的果胶、纤维素和木质素等膳食纤维, 是一种优质的膳食纤维原料, 总膳食纤维含量可以达到 3.1%, 果胶含量为

收稿日期: 2015-12-27

基金项目: 国家林业公益性行业专项 (201304708); 企业合作项目

作者简介: 杨光 (1989-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品营养

通信作者: 赵文 (1964-), 女, 教授, 研究方向: 食品营养

6.4%, 居群果之首, 为苹果的 5~8 倍, 番茄的 3~4 倍^[1]。目前, 国内对山楂果, 山楂膳食纤维保健功能的应用开发较少。

相关研究表明, 水溶性膳食纤维可以有效提高粪便持水力, 使肠道内容物体积增大和水分含量升高, 粪便变得更为松软, 有利于排粪便量的增加; 不溶性膳食纤维能充盈肠胃腔, 刺激肠粘膜, 促进肠道蠕动, 缩短粪便及有毒物质在肠胃道的停留时间。膳食纤维虽然不能被哺乳动物小肠中的酶所降解, 但在大肠中由于细菌的作用会有不同程度的发酵, 其中果胶和树脂胶可以被细菌完全降解, 而纤维素和半纤维素只有部分被降解。膳食纤维的发酵性引起的生理变化至少有三个方

如乙酸、丙酸和丁酸等^[2]；二是大肠内 pH 值降低可导致微生态环境的变化，改善有益菌的繁殖，同时抑制肠道有害菌群的生长^[3]；三是细菌的繁殖直接增加粪便排泄量，促进肠道畅通。此外，膳食纤维还能抑制腐生菌生长，减少次生胆汁酸的产生，产生能抑制肿瘤细胞生长的丁酸，减少致癌物与结肠的接触机会，防止肠道黏膜萎缩和支持肠粘膜屏障功能，对预防结肠癌有十分重要的作用^[4]。因此，对山楂膳食纤维的进一步研究对改善国民健康状况具有实际价值。

试验所用山楂膳食纤维是充分提取山楂乙醇后的剩余残渣，其成分为 50%果胶、16%纤维素、半纤维素和木质素等、7%的蛋白及少量残留的多酚类。以添加 10%山楂膳食纤维的冻干山楂果为试验样品，通过小鼠 6 周灌胃喂养，观察和检测小鼠肠道内环境健康相关指标的变化，为山楂休闲保健食品研发提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验动物

KM 小鼠 (SPF 级, 18~22 g) 雌性, 48 只, 购自河北医科大学动物中心, 许可证号: SCXK(冀)2014-1-003。

1.2 材料、试剂与amp;仪器

1.2.1 样品

山楂膳食纤维: 在专利^[5]基础上改进。将洗净的山楂鲜果, 放于分散乳化均质机粉碎, 用孔径为 1 mm 的筛板分离除去山楂籽, 取山楂果浆, 再加体积比 1:3 的 70%乙醇, 迅速至膳食纤维沉淀, 冷却静置后过滤除去上清液, 滤渣用体积比 1:3 的 95%乙醇浸提两遍, 真空冷冻干燥后用粉碎机粉碎, 过 100 目分样筛。

冻干山楂果: 山楂鲜果洗净去核, 真空冷冻干燥。由北京御食园食品股份有限公司提供。

膳食纤维强化冻干山楂果: 按照山楂膳食纤维与冻干山楂果 1:9 的质量比, 将提取的山楂膳食纤维添加到冻干山楂果的果核处, 即为膳食纤维强化的冻干山楂果。

1.2.2 主要试剂

乙酸 (BC) 5 mL、丙酸 (BC) 5 mL 及丁酸标准品 (BC) 5 mL 购自天津市光复精细化工研究所; D-环丝氨酸: 规格 0.1 g/支, 青岛日水生物技术有限公司; BBL、LBS、EMB、CQ 和 TSC 琼脂培养基均购自青岛日水生物技术有限公司; 其他常用实验室试剂均为分析纯。

1.2.3 主要仪器设备

生化培养箱: SPX-150S-II型, 上海新苗医疗器械制造有限公司; 立式压力蒸汽灭菌锅: LDZX-30KBS 型, 上海申安医疗器械厂; 气相色谱仪 GC: Agilent-7890A, 安捷伦科技公司; 厌氧工作站: Concept400 型, 英国 Ruskinn 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 实验动物喂养及分组

适应性喂养 3 d, 按体质量随机分为 4 组, 每组 12 只, 分别为溶剂对照组和三个添加 10%山楂膳食纤维的冻干山楂果剂量组, 剂量分别为 1、2 和 4 g/(kg bw), 溶剂对照组用蒸馏水代替, 采用等体积法灌胃, 连续灌胃 6 周。

1.3.2 样品采集

试验结束前连续 3 d, 每日 9~11 点收集小鼠粪便, 称量粪便湿重, 将粪便烘干称量重, 并计算粪便含水量。含水量=(湿重-干重)/湿重×100%。试验结束时, 脱颈椎法处死小鼠, 分别取小鼠盲肠和结肠内容物, 用 0.9%生理盐水清洗盲肠和结肠, 并分别称量记录。

1.3.3 样品成分的测定方法

1.3.3.1 pH 值测定

试验结束前连续 3 d, 每日 15~17 点收集小鼠粪便, 精密称取粪便 0.5 g, 加入 10 mL 蒸馏水, 用玻璃棒搅拌均匀, 静置 10 min, 取上层澄清液用数字酸度计测定 pH 值。从盲肠和结肠取出的内容物中精密称取 0.1 g, 加入 2 mL 蒸馏水, 操作方法同上。

1.3.3.2 SCFA 测定

称取粪便 0.5 g 和 2 mL H₃PO₄(质量分数约 0.5%) 加入到 10 mL 离心管中, 混匀后加入 2 mL 乙酸乙酯, 混匀, 超声提取 30 min, 4000 r/min 离心 20 min。加入无水 CaCl₂ 除去残留水分, 移取上清液, 过 0.45 μm 有机滤膜, 用于 GC 测定。称取盲肠内容物 0.2 g 样品, 操作方法同上。

SCFA 测定采用外标法, 用乙酸、正丙酸和正丁酸作标准曲线。色谱条件: 色谱柱: TR-FFAP(30 m×0.32 mm×0.25 μm)。测定采用程序升温, 初温 80 °C, 以 10 °C/min 速度升至 110 °C, 保持 1 min, 采用不分流测定方式, 然后以 5 °C/min 的速度升至 135 °C, 保持 1 min, 再以 5 °C/min 的速度升至 145 °C, 保持 1 min, 最后以 20 °C/min 的速度升至 230 °C, 保持 1 min。FID 温度为 250 °C, 进样口温度为 220 °C; 载气: 氮气, 流速为 1 mL/min。进样量为 1 μL, 自动进样。

标曲建立: 本试验采用乙酸 0.026 g、丙酸 0.0105 g 和丁酸 0.0103 g 三种单标, 配制混标, 用正己烷定

容至 10 mL 棕色容量瓶中, 设置梯度为 16.81×10^{-6} 、 168.12×10^{-6} 、 336.25×10^{-6} 、 672.50×10^{-6} 和 1345×10^{-6} 。

1.3.4 微生物的培养与鉴定

1.3.4.1 肠道菌群的培养

按照《保健食品检验与评价技术规范》(2003 版)^[6]中检测肠道菌群方法, 采用倾注平板法测定盲肠和结肠中肠道菌群的数目。根据各种菌在小鼠粪便中的含量, 在各培养上分别选择合适的稀释度进行接种。吸取 0.5 mL 样品均质液于无菌平皿内, 每个稀释度重复两次。双歧杆菌属于严格厌氧菌, 在厌氧工作站中进行梯度稀释和 BBL 选择性培养基的倾注, 放入厌氧培养箱中 37 °C 厌氧培养 48 h。具体计数方法、培养条件和调节肠道菌群平衡结果判断标准参照《保健食品检验与评价技术规范》(2003 版)^[6]。

1.4 数据处理

本试验数据采用统计软件 SPSS 17.0 进行单因素方差分析, 结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

由表 1 可知, 与溶剂对照组相比, 各剂量组小鼠体重均无明显差异; 各剂量组小鼠粪便质量有明显增重, 低、中和高剂量组分别增重 29.73%、62.16%和 62.09%, 说明受试物有润肠通便, 能有效清除小鼠体内杂质积累; 各剂量组水分含量明显升高, 中和高剂量组分别升高 32.49%和 37.41%, 说明受试物具有较强的持水性; 各剂量组小鼠粪便的 pH 值有明显降低。

表 1 膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠粪便质量、水分和 pH 值的影响 ($\bar{x} \pm s$, n=10)

Table 1 Effect of increased dietary fiber in freeze-dried hawthorn on the weight, moisture content, and pH of mice feces

组别	体重/g	粪便质量/g	水分含量/%	pH 值
溶剂对照组	39.10±2.30 ^{aA}	0.074±0.019 ^{aA}	36.57±5.19 ^{aA}	8.68±0.17 ^{aA}
低剂量组	38.07±2.59 ^{aA}	0.096±0.019 ^{bAB}	42.00±4.00 ^{abAB}	8.30±0.51 ^{bA}
中剂量组	36.21±2.29 ^{aA}	0.12±0.017 ^{cB}	48.45±7.13 ^{bcB}	8.39±0.31 ^{abA}
高剂量组	37.19±2.86 ^{aA}	0.12±0.013 ^{cB}	50.25±9.74 ^{cB}	8.48±0.21 ^{abA}

注: 同列数值后的不同小写字母表示在 0.05 水平存在显著性差异, 不同大写字母表示在 0.01 水平存在显著性差异。

表 2 膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠盲肠和结肠的重量、内容物质量和 pH 值的影响 ($\bar{x} \pm s$, n=10)

Table 2 Effect of increased dietary fiber in freeze-dried hawthorn on the weight of mice cecum and colon and on the weight and pH of mice cecum and colon contents

组别	盲肠重量	结肠重量	盲肠内容物质量	盲肠 pH 值	结肠内容物质量	结肠 pH 值
溶剂对照组	0.51±0.078 ^{aA}	0.48±0.056 ^{aA}	0.36±0.062 ^{aA}	7.75±0.44 ^{aA}	0.26±0.058 ^{aA}	8.00±0.31 ^{aA}
低剂量组	0.55±0.076 ^{abA}	0.49±0.075 ^{abA}	0.39±0.046 ^{abA}	6.99±0.42 ^{bB}	0.31±0.058 ^{abA}	7.14±0.25 ^{bB}
中剂量组	0.58±0.079 ^{abA}	0.53±0.026 ^{abA}	0.42±0.046 ^{bA}	7.11±0.26 ^{bBC}	0.33±0.054 ^{bA}	7.27±0.19 ^{bB}
高剂量组	0.61±0.059 ^{bA}	0.55±0.064 ^{bA}	0.43±0.063 ^{bA}	7.53±0.24 ^{aAC}	0.31±0.037 ^{abA}	7.80±0.30 ^{aA}

注: 同列数值后的不同小写字母表示在 0.05 水平存在显著性差异, 不同大写字母表示在 0.01 水平存在显著性差异。

表 3 膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠盲肠中肠道菌群的影响 ($\bar{x} \pm s$, n=10)

Table 3 Effect of increased dietary fiber in freeze-dried hawthorn on intestinal flora in mice cecum

组别	乳酸菌含量(lgCFU/g)	双歧杆菌/(lgCFU/g)	产气荚膜梭菌/(lgCFU/g)	肠球菌/(lgCFU/g)	肠杆菌/(lgCFU/g)
溶剂对照组	7.76±0.39 ^{aA}	9.41±0.37 ^{aA}	4.68±0.14 ^{aA}	5.75±0.43 ^{aA}	6.98±0.61 ^{aA}
低剂量组	8.34±0.66 ^{bAB}	9.99±0.29 ^{bAB}	3.70±0.65 ^{bA}	5.49±0.69 ^{abA}	6.74±0.64 ^{aA}
中剂量组	8.89±0.46 ^{cBC}	10.39±0.39 ^{bBC}	4.16±0.28 ^{aA}	4.99±0.20 ^{bA}	6.82±0.51 ^{aA}
高剂量组	9.30±0.62 ^{cC}	10.80±0.38 ^{cC}	4.39±0.12 ^{aA}	5.51±0.67 ^{aA}	6.60±0.50 ^{aA}

注: 同列数值后的不同小写字母表示在 0.05 水平存在显著性差异, 不同大写字母表示在 0.01 水平存在显著性差异。

由表 2 可知, 与溶剂对照组相比, 各剂量组盲肠和结肠重量有明显增加, 低和中剂量组盲肠、结肠重量均有明显增重, 但无显著性差异, 高剂量组盲肠重量增加了 19.61%, 结肠重量增加了 14.58%, 存在显著性差异, 效果最为明显, 说明受试物具有改善肠道质量的作用; 中、高剂量组盲肠内容物重量有显著增

加, 分别增长 16.67%和 19.44%; 中剂量组结肠内容物重量增长 26.92%优于其他两个剂量组, 说明受试物可以有效改善肠道内容物的质量, 增强肠道对有害物质的吸附性。低、中和高剂量组盲肠内容物 pH 值和结肠内容物 pH 值均有所降低, 其中低和中剂量组盲肠内容物 pH 值与溶剂对照组相比存在极显著性差异,

分别降低了 9.81%和 8.26%；其中低和中剂量组结肠内容物 pH 值下降效果最为显著,分别降低了 10.75%、9.13%。综上所述,可以得出中剂量组对小鼠肠道内相关指标的作用效果最佳。

由表 3 可知,与溶剂对照组相比,各剂量组乳酸菌含量有明显提高,低剂量组增长了 7.47%;中和高剂量组分别增长了 14.56%和 19.85,其中,中剂量组效果最佳。各剂量组双歧杆菌数量与溶剂对照组相比有明显增加,分别增加了 6.16%、10.41%和 14.77%,且中和高剂量组存在极显著性差异,说明受试物具有促进小鼠盲肠内益生菌增殖的作用。各剂量组产气荚膜梭菌数量明显减少,中和高剂量组分别降低了 11.11%和 6.20%,其中低剂量组效果最佳减少了 20.94%。各剂量组肠球菌数量明显降低,低和高剂量组分别降低了 4.74%和 4.17%,其中,中剂量组降低最为明显,下降了 13.22%。各剂量组肠杆菌数量与溶剂对照组相比有所增长,但数量无统计学意义,且增长幅度低于双歧杆菌和乳酸菌的增幅。说明受试物可

以抑制小鼠盲肠内有害微生物的繁殖,调节盲肠内环境健康。

由表 4 可知,与溶剂对照组相比,各剂量组乳酸菌数量明显增多,中和高剂量组增长较为显著,分别增长了 8.66%和 16.73%。各剂量组双歧杆菌含量分别增加了 4.52%、4.92%和 5.33%,与溶剂对照组相比均存在极显著性增长。说明受试物具有促进小鼠结肠内益生菌增殖的作用。各剂量组产气荚膜梭菌数量与溶剂对照组相比分别减少 5.92%、5.47%和 1.14%,但均无明显差异性变化。各剂量组肠球菌数量与溶剂对照组的肠球菌数量相比分别降低 0.29%、3.14%和 1.14%,但均无统计学意义。高剂量组肠杆菌数量增多,增加了 6.47%但与溶剂对照组相比不存在显著性差异,且增幅低于双歧杆菌和乳酸菌数量;低剂量组肠杆菌数量与溶剂对照组相比明显降低,减少了 15.73%。说明受试物具有抑制小鼠结肠内有害微生物繁殖的功能。

表 4 膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠结肠中肠道菌群的影响 ($\bar{x} \pm s$, n=10)

Table 4 Effect of increased dietary fiber in freeze-dried hawthorn on intestinal flora in mice colon

组别	乳酸菌含量/(lgCFU/g)	双歧杆菌/(lgCFU/g)	产气荚膜梭菌/(lgCFU/g)	肠球菌/(lgCFU/g)	肠杆菌/(lgCFU/g)
溶剂对照组	8.31±0.33 ^{AA}	9.95±0.47 ^{AA}	4.39±0.26 ^{AA}	7.01±0.38 ^{AA}	5.72±0.79 ^{ACAB}
低剂量组	8.65±0.29 ^{ABAB}	10.40±0.32 ^{BA}	4.13±0.16 ^{AA}	6.99±0.41 ^{AA}	4.85±0.12 ^{BA}
中剂量组	9.03±0.60 ^{BB}	10.44±0.36 ^{BA}	4.15±0.16 ^{AA}	6.79±0.63 ^{AA}	5.28±0.13 ^{ABAB}
高剂量组	9.70±0.37 ^{CC}	10.48±0.44 ^{BA}	4.34±0.07 ^{AA}	6.93±0.72 ^{AA}	6.09±0.54 ^{CB}

注: 同列数值后的不同小写字母表示在0.05水平存在显著性差异,不同大写字母表示在0.01水平存在显著性差异。

表 5 膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠盲肠中短链脂肪酸的影响 ($\bar{x} \pm s$, n=10)

Table 5 Effect of increased dietary fiber in freeze-dried hawthorn on SCFA content in mice cecum

组别	剂量 g/(kg·d)	乙酸/(μmol/g)	丙酸/(μmol/g)	丁酸/(μmol/g)
溶剂对照组	0	30.57±3.89 ^{AA}	4.85±1.05 ^{AA}	12.43±1.32 ^{AA}
低剂量组	1	51.41±3.94 ^{BB}	10.90±1.29 ^{BB}	22.27±3.11 ^{BB}
中剂量组	2	44.99±4.78 ^{BB}	9.42±1.26 ^{CB}	19.37±3.31 ^{BCBC}
高剂量组	4	39.56±3.95 ^{CC}	7.47±0.96 ^{DC}	17.57±2.70 ^{CC}

注: 同列数值后的不同小写字母表示在0.05水平存在显著性差异,不同大写字母表示在0.01水平存在显著性差异。

表 6 膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠粪便中短链脂肪酸的影响 ($\bar{x} \pm s$, n=10)

Table 6 Effect of increased dietary fiber in freeze-dried hawthorn on SCFA content in mice feces

组别	剂量/[g/(kg·d)]	乙酸/(μmol/g)	丙酸/(μmol/g)	丁酸/(μmol/g)
溶剂对照组	0	6.58±1.26 ^{AA}	0.24±0.07 ^{AA}	0.20±0.07 ^{AA}
低剂量组	1	9.37±0.81 ^{BB}	0.87±0.15 ^{BB}	0.50±0.12 ^{BB}
中剂量组	2	13.79±2.14 ^{CC}	1.26±0.25 ^{CC}	1.01±0.19 ^{CC}
高剂量组	4	8.69±0.51 ^{BB}	0.80±0.09 ^{BB}	0.52±0.12 ^{BB}

注: 同列数值后的不同小写字母表示在0.05水平存在显著性差异,不同大写字母表示在0.01水平存在显著性差异。

由表 5 可知,与溶剂对照组相比,各剂量组盲肠内酵解产物 SCFA,乙酸含量提高了 68.17%、47.17%和 29.41%;丙酸含量分别提高了 124.74%、94.23%和

54.02%;丁酸含量分别提高了 79.16%、55.83%和 41.35%,均存在极显著性增长。说明受试物可以有效的促进盲肠内容物酵解反应的发生,增强盲肠内酸性

物质的产生,从而进一步降低盲肠内环境的 pH 值,改善盲肠微生物生存环境。由上述结果分析可知,低剂量组的效果最佳。

由表 6 可知,与溶剂对照组相比,各剂量组小鼠粪便中 SCFA,乙酸含量分别提高了 42.40%、109.57% 和 32.07%;丙酸含量提高了 262.5%、425% 和 233.33%;丁酸含量提高了 150%、405% 和 160%。说明受试物在短时间内具有大幅度提高结肠内容物酵解反应发生速度的作用,产生大量乙酸、丙酸和丁酸,有效降低了结肠内 pH 值,从而起到促进有益菌增殖,抑制有害微生物繁殖,保护肠道健康的作用。有结果分析可知,低剂量组效果最佳。

3 讨论

本研究将从山楂残渣中提取的膳食纤维再利用强化到山楂冻干果中,探究膳食纤维强化的冻干山楂果的协同作用对小鼠肠道健康的影响,对合作企业未来的山楂类健康食品的降低生产成本,提高保健功能性提供科学数据支持,且膳食纤维强化的冻干山楂果在口感、风味上更易于大众接受与食用。采用糖脲乙酰化衍生 GC 法^[7]测得山楂膳食纤维样品中可溶性膳食纤维含量 50%,不溶性膳食纤维含量 16%,冻干山楂果中可溶性膳食纤维含量 0.57%,不溶性纤维 0.19%。动物试验结果表明,经膳食纤维强化的山楂冻干果在中剂量下即可有效改善小鼠肠道内环境健康,明显优于国内同类探究单一膳食纤维作用的报道,如豆渣、竹笋、及海藻中膳食纤维的研究(最低剂量均超过 200 mg/kg bw)^[8],相关研究表明膳食纤维还具有预防肥胖、心血管系统类疾病、糖尿病和解毒等作用^[9-11]。

3.1 山楂膳食纤维强化的山楂冻干果可以增强肠道排便功能

膳食纤维结构中含有许多亲水性基团,由于肠道菌群调节作用,膳食纤维对小鼠体重有增重作用。本课题组前期研究表明^[12],膳食纤维强化冻干山楂果可以增加小鼠排便体积与速度,缩短粪便在肠道中的滞留时间,各剂量组与模型组相比,极显著缩短了首粒黑便时间($p<0.01$),分别缩短了 51.81%、57.67% 和 59.47%;中、高剂量组能明显提高小肠推进率,存在极显著性差异($p<0.01$),低剂量组与便秘模型小鼠的小肠推进率,存在显著性差异($p<0.05$)。本实验所用受试物在 1 g/kg bw 的低剂量下,即表现出较强的持水能力,水分含量与对照组相比增长 16.77%,粪便质量与对照组相比增重 29.73%。此外,膳食纤维表面带有

活性基团,具有吸附有机大分子的功效。同时,由于膳食纤维具有相当的长度、弹性和强度,不能被人体消化,在肠道中可形成具有一定通透性的纤维层,可物理性吸附某些物质,从而增加了肠道内容物的质量,本研究结果表明,添加膳食纤维与冻干山楂果具有增强肠道排便功能的协同作用,中剂量组的盲肠、结肠内容物质量与对照组相比均呈现显著性差异($p<0.05$),效果最佳。

3.2 山楂膳食纤维强化的山楂冻干果能够改善肠道短链脂肪酸含量

肠道短链脂肪酸作为评价肠道健康的重要指标。膳食纤维在小肠内不能被分解消化,绝大部分直接到达盲肠和结肠中,作为肠道菌的碳源的主要来源^[13]。乙酸是膳食纤维在肠道内酵解后的主要代谢产物,是机体从膳食中不消化性碳水化合物获得能量的主要途径,本试验结果也证明乙酸含量明显高于其他两种短链脂肪酸。丙酸能影响血液中胆固醇含量的平衡,作用于肝脏抑制其合成胆固醇。丁酸是肠道上皮细胞最主要的能量来源,能够维持肠道内环境的稳定和预防结肠癌的发生^[14]。本试验数据表明,盲肠中的短链脂肪酸的产量最大,结肠细菌首先在此部位与来自小肠的碳水化合物接触,因此发酵程度最高。但随着内容的持续向肠道末端移动,短链脂肪酸不断被结肠、直肠的粘膜细胞吸收,粪便中的短链脂肪酸含量呈下降趋势。水溶性膳食纤维被肠道中微生物利用酵解成短链脂肪酸(乙酸、丙酸和丁酸等),导致肠道 pH 值降低,为一些益生菌如乳酸杆菌提供有利的增殖环境^[15]。此外,肠道 pH 值下降又可降低肠道内游离氨、酚等有害物质的浓度,抑制腐生菌的生产,有效预防结直肠癌的发生^[16]。

3.3 山楂膳食纤维强化的山楂冻干果具有调节肠道菌群的作用

肠道癌症发病率中,膳食因素和肠道菌群是引起肠道内环境改变的重要。流行病学研究表明,高膳食能量的摄入与肠道癌症的发病率存在密切联系。 NO_2^- 能与仲胺、叔胺反应形成亚硝胺,后者已被证明是人和动物的致癌剂,而膳食纤维可以吸附 NO_2^- ,从而起到抗癌作用。增加膳食纤维含量,降低致癌物质浓度,此外,膳食纤维有利于刺激肠蠕动,使致癌物质与肠壁接触时间缩短。肠道微生物菌群,参与人体能量、物质及信息传递等一系列生理过程,对人体内环

境有着主要作用。微生物产生的毒素和化学物质会影响人体免疫机制,但许多肠道微生物也可以抑制肠道内有害菌的繁殖,如乳酸杆菌,双歧杆菌等。本试验结果显示,肠内微生物发酵利用山楂膳食纤维后,产生短链脂肪酸,降低肠道 pH 值,促进耐酸有益菌乳酸杆菌、双歧杆菌的大量繁殖。乳酸杆菌生长分解肠道内容物产生乳酸,进一步降低肠道 pH 值,同时低 pH 值的肠道内环境又抑制了有害菌的繁殖,如肠杆菌、肠球菌、产气荚膜梭菌等繁殖,减少了肠道有害物质的产生,有助于改善肠道内环境健康,对相关肠道疾病起到预防作用。本试验所用三个剂量组对调节肠道菌群均有显著性效果,其中,中剂量组更具有实际应用价值。

4 结论

膳食纤维强化冻干山楂果(按质量比 1:9)在中剂量 2 g/kg bw(其中山楂膳食纤维含量仅为 145.6 mg)下改善小鼠肠道内环境健康试验结果可定为阳性。具有增强小鼠肠道内容物持水性,提高小鼠粪便排泄量,从而减少肠道中有害物质长时间的积累。促进肠道内酵解作用的发生使乙酸、丙酸和丁酸等短链脂肪酸含量明显升高。此外,还有改善和调节小鼠肠道菌群的功能,促进了结肠和盲肠中双歧杆菌和乳酸杆菌的体内繁殖,同时抑制了肠杆菌、肠球菌和产气荚膜梭菌等有害微生物的增殖,可以有效预防因肠道有害微生物繁殖引起相关肠道疾病。

参考文献

- [1] 柳唐镜,张棵,刘国英,等.中国山楂属植物资源研究与利用现状[M].南宁:南方农业学报,2011
LIU Tang-jing, ZHANG Ke, LIU Guo-ying, et al. The research and utilization current situation of crataegus plants resources in China [M]. Nanning: Guangxi Agricultural Sciences, 2011
- [2] Peter C K, Cheung. Mini-reiview on edible mushrooms as source of dietary fiber: preparation and health benefits [J]. Sci. Verse Science Direct, 2013, 2(3-4): 162-166
- [3] Iain Brown lee. The impact of dietary fibre intake on the physiology and health of the stomach and upper gastrointestinal tract [J]. Science Direct, 2014, 4(2): 155-169
- [4] Joshua Gong, Chengbo Yang. Advances in the methods for studying gut microbiota and their relevance to the research of dietary fiber functions [J]. Food Research International, 2012, 48(2): 916-929
- [5] 崔同,茅原纮,刘文民.山楂果实中活性成分的分离提取方法:中国,ZL 01103986.8[P]2001-02-19
CUI Tong, MAO Yuan-hong, LIU Wen-min. The method of active ingredients separation and extraction from hawthorn: China, ZL01103986.8 [P] 2001-02-19
- [6] 中华人民共和国卫生部.保健食品检验与评价技术规范[M],2003
The Ministry of Health of the PRC. Health food inspection and evaluation of technical specifications [M], 2003
- [7] 吕明霞,李媛,张飞,等.气相色谱法分析北方水果中膳食纤维的单糖组成[J].中国食品学报,2012, 12(2): 213-218
LV Ming-xia, LI Yuan, ZHANG Fei, et al. Method of GC analysis of the north fruit monosaccharide composition of dietary fiber [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(2): 213-218
- [8] 吕钟钟,张文竹,李海花等.海藻复合膳食纤维改善小鼠胃肠道功能的实验研究[J].中国海洋药物杂志,2009,28(6):31-35
LV Zhong-zhong, ZHANG Wen-zhu, LI Hai-hua, et al. The effect of seaweed compound dietary fiber in stomach and colon on intestinal health of rats [J]. Chin. J. Mar. Drugs, 2009, 28(6): 31-35
- [9] Yikyung Park, Louise A Brinton, Amy F Subar, et al. Dietary fiber intake and risk of breast cancer in postmenopausal women: the national institutes of health-AARP diet and health study [J]. Am. J. Clin. Nutr., 2009, 90(3): 664-671
- [10] Beth N Hopping, Eva Erber, Andrew Grandinetti, et al. Dietary fiber, magnesium and glycemic load alter risk of type 2 diabetes in a multiethnic cohort in Hawaii [J]. J. Nutr., 2010, 140(1): 68-74
- [11] Deepak Mudgil, Sheweta Barak. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: a review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 61(10): 1-6
- [12] 杨光,周茜,郝红伟,等.膳食纤维强化冻干山楂果对小鼠润肠通便作用研究[J].食品研究与开发,2016,36(2)
YANG Guang, ZHOU Qian, HAO Hong-wei, et al. Increasing dietary fiber of hawthorn freeze-dried on the mice ameliorates functional constipation [J]. Food Research and Developmen, 2016, 36(2)
- [13] Higgins J A, Higbee D R, Donahoo W T, et al. Resistant starch consumption promotes lipid oxidation [J]. Nutrition & Metabolism, 2004, 1(1): 8
- [14] 杨月欣,王竹,洪洁,等.抗结肠淀粉结肠内酵解对大鼠肠道健康的影响[J].世界华人消化杂志,2004,12(11):2618-2622
YANG Yue-xin, WANG Zhu, HONG Jie, et al. The effect of

- anti-colon starch glycolysis in colon on intestinal health of rats [J]. World Chin. J. Dig., 2004, 12(11): 2618-2622
- [15] 韩冬. 膳食纤维与肠道健康[J]. 中国微生态学杂志, 2013, 25(10): 1225-1228
- HAN Dong. Dietary fiber and intestinal health [J]. Chinese Journal of Microecology, 2013, 25(10): 1225-1228
- [16] GlynO PHillips. Dietary fibre: a chemical category or a health ingredient [J]. Sci. Verse Science Direct, 2013, 1(1): 3-9

现代食品科技