

膳食纤维在胃肠道功能紊乱综合征中的作用研究进展

龚凌霄¹, 刘飞越¹, 方芳², 王静^{1*}

(¹北京工商大学 老年营养与健康教育部重点实验室 中加食品营养与健康联合实验室(北京)
食品添加剂与配料北京高校工程研究中心 北京 100048)

²上海食品科技学校 上海 201599

摘要 膳食纤维作为一种功能性食品,素有“第七营养素”的美称,在人体内发挥多种生理功能,对维持人体健康具有重要意义。胃肠道功能紊乱综合征(FGIDs)是一组表现为慢性或者反复发作性的无器质性改变的胃肠道功能性疾病,可以严重影响患者的生活质量,且增加他们的精神压力和经济负担。近年来,饮食疗法在 FGIDs 治疗过程中的潜在作用越来越受人们的重视。增加膳食纤维的摄入,在一定程度上可以预防人体胃肠道疾病和维护胃肠道健康。本文综述膳食纤维对 FGIDs 的防治作用研究进展,以期为该疾病提供新的饮食疗法策略。

关键词 膳食纤维; 胃肠道功能紊乱综合征; 饮食疗法; FGIDs

文章编号 1009-7848(2023)06-0385-17 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.06.038

胃肠道功能紊乱综合征(Functional Gastrointestinal Disorders, FGIDs)是消化系统临床常见病和多发病,包括有肠易激综合征(Irritable Bowel Syndrome, IBS)、炎症性肠病(Inflammatory Bowel Disease, IBD)、功能性腹胀(Functional Bloating, FB)和功能性便秘(Functional Constipation, FC)等^[1]。目前 FGIDs 的病因和发病机制尚未阐明,通常认为 FGIDs 的发病主要与消化道运动功能障碍、内脏高敏感性、胃酸分泌、幽门螺旋杆菌感染、肠道微生态失衡和精神心理因素等密切相关^[2]。虽然人们应对疾病所使用的药物、手术等治疗手段已经在一定程度上延缓疾病的发展,但是这消耗了大量的人力、物力、财力,且对患者具有一定的副作用。找到更科学、有效的方法对促进人体健康、防治疾病具有重大意义。近期研究发现,FGIDs 发病与患者饮食和生活方式等因素密切相关,饮食方式的调整有助于改善 FGIDs 患者胃肠道症状。膳食纤维(Dietary Fiber, DF)在预防人体胃肠道疾病和维护胃肠道健康方面功能突出,有“肠道

清洁夫”的美誉。长期以来,人们一直认为纤维在调节新陈代谢和预防慢性胃肠疾病方面具有重要作用^[3]。从膳食干预层面调整 DF 的摄入是一种行之有效的办法。

1 膳食纤维概述

膳食纤维(Dietary Fiber, DF)是指植物中天然存在的、提取的或合成的碳水化合物的聚合物,不能被人体消化道分泌的消化酶所消化,并且不能被人体吸收利用的多糖^[4]。根据其水溶性的不同,可分为水溶性 DF 和非水溶性 DF,前者包括果胶、树胶和植物多糖等;后者包括纤维素、木质素和半纤维素等^[5]。虽然不能被完全消化,但 DF 可以直接影响多种生理过程,具有多种生理功能。不同纤维的生理特性主要与其溶解度、黏度、物理结构和发酵性有关,而与其组成单体无关。纤维类型的溶解度是指它们在水中的溶解能力,而可发酵性是指它们被宿主微生物代谢的程度。另一方面,黏度是纤维在水中形成凝胶状稠度的能力。不同类型的纤维之间理化性质存在巨大差异,而这些性质本质上确定了不同类型纤维在调节微生物群中的作用,以及随后对宿主健康和疾病的影响^[6-7]。下面将着重论述 DF 对 FGIDs 的作用及其机制,并讨论影响其作用效果的重要因素。

收稿日期: 2022-06-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD2100403);北京市自然科学基金面上项目(6202001);国家自然科学基金项目(31972111)

第一作者: 龚凌霄,女,博士,副教授

通信作者: 王静 E-mail: wangjing@th.btbu.edu.cn

2 DF对FGIDs作用机制

2.1 DF经肠道微生物发酵产生的代谢物质对FGIDs的影响

2.1.1 短链脂肪酸 由于DF不会被小肠吸收利用,因此将在结肠和盲肠中被肠道微生物利用并产生一系列代谢产物,其中短链脂肪酸(Short chain fatty acids, SCFAs)是最主要的发酵产物,乙酸盐、丙酸盐、丁酸盐,其含量逐级递减。可溶性DF会被肠道微生物利用产生大量SCFAs,而不可溶性DF则不易被分解,只会产生少量SCFAs和大量长链脂肪酸^[8]。95%发酵产生的SCFAs可被细菌利用,为机体提供能量,对维持肠黏膜屏障具有重要意义^[9]。一方面,SCFAs是肠上皮细胞(IEC)的重要燃料,可通过不同的机制调节IEC的功能,如调节其增殖、分化以及调控亚群(如肠内分泌细胞)的功能^[10]。丁酸盐是所有SCFAs中利用率最高、作用效果最明显的,可作为宿主上皮细胞的能量来源,是决定结肠上皮细胞代谢活动和生长的关键营养素。低水平的丁酸盐可改变TH细胞的细胞因子生成谱,并促进肠上皮屏障的完整性^[11]。丁酸盐在线粒体通过脂肪酸 β 氧化和三羧酸循环可以提供结肠所需能量的70%^[12]。有证据显示,丁酸盐对维持结肠黏膜健康的作用部分是通过结肠Treg细胞激活FOXP3和IL-10表达介导的^[13]。另一方面,SCFAs影响肠道运动并增强肠道屏障功能以及宿主代谢,或通过调节炎症因子,减少炎症发生,改善IBD、IBS以及FAPD的内脏超敏性和腹痛症状^[14]。乙酸是胆固醇合成的主要底物,被肝脏代谢后可作为能源物质被利用,其醋酸盐通过G蛋白偶联受体GPR43防止肠道炎症。丙酸可以增加宿主抗菌肽的分泌,从而起到抗菌作用^[15]。李竹青^[16]研究发现,丁酸钠可通过下调IRAK1蛋白(IL-1受体关联激酶1重组蛋白)来改善肠易激综合征的内脏高敏感性;Bayer等^[17]研究发现,猕猴桃纤维可通过产生SCFAs,限制促炎细胞因子NF- κ B的激活以及增加抗炎细胞因子TGF- β 1的释放,以此来减少IBD的发生;Yu等^[18]在用丁酸盐治疗DSS(葡聚糖硫酸钠)诱导的小鼠结肠炎中发现,丁酸盐可显著减少小鼠结肠溃疡和隐窝损伤,并且显著降低了TNF- α 和IL-6的水平,提高了IL-10水平。

2.1.2 肠道气体 DF经肠道微生物发酵还可产生H₂、CH₄、H₂S等肠道气体,肠道气体失调是导致胃肠道功能紊乱的又一重要原因,肠道气体不仅可以增加粪便体积,还可以促进结肠运动^[19]。此外,肠道内气体条件会影响肠道微生物的组成及功能,进而影响SCFAs的产生^[20]。动物实验表明,内源性H₂S可增加溃疡愈合,并具有抗炎作用^[21],H₂S也可以通过作用于平滑肌来调节结肠顺应性,与结肠痛觉和IBD有关^[22];当DF被发酵产生H₂时,又会被不同的氢营养微生物如乙酸盐还原菌、硫酸盐还原菌等转化为乙酸盐、H₂S等,进而对肠道产生保护作用^[23];研究显示健康人群食用DF会使CH₄含量减少,而CH₄会抑制结肠的运动,与便秘紧密相关^[24]。

2.1.3 其它代谢产物 除了SCFAs和气体以外,胆汁酸和犬尿酸等DF的微生物代谢产物在FGIDs的发生过程中也发挥重要作用,胆汁酸的合成途径分为两种,一种是合成酸性胆固醇的酸性途径,而另一种经典途径是胆汁酸合成的主要途径,是由肝脏中的胆固醇经胆固醇-7 α -羟化酶(CYP7A1)催化而最终生成胆汁酸,在正常条件下至少75%的胆汁酸通过该途径产生,而CYP7A1是整条途径的限速酶,决定胆汁酸生成量^[25]。DF被肠道菌群分解产生的SCFAs可以促进此合成途径。另外,肠道中的部分胆汁酸还会在肠道中的菌群作用下脱氧生成次级胆汁酸^[26]。胆汁酸和肠道菌群可以双向调节,肠道菌群通过改变胆汁酸的组成,来激活宿主代谢过程中的免疫活性。胆汁酸在肠道内可抑制细菌增长,可以通过它的抗菌性和黏膜免疫刺激作用来防止肠内细菌过度生长^[27],以此来维持肠道菌群稳态化。这是肠道菌群-DF-肠道菌群的良性循环,DF通过这种良性循环以此来维持肠道健康来实现对FGIDs症状的改善作用。此外,胆汁酸可作为信号分子通过受体发挥效用调节复杂的生理病理过程^[28]。胆汁酸受体主要包含G蛋白偶联受体5(G protein-coupled receptor 5, TGR5)、法尼酯X受体(farnesoid X receptor, FXR)等,胆汁酸可以直接作用于抗菌药物或通过FXR诱导抗菌肽的产生,以及通过FXR等调节宿主的免疫系统,改变肠道微生物群的结构^[29-30]。人类中的TGR5 mRNA在胆囊、回肠

和结肠中高表达,可有效调节炎症^[31]。Garibay 等^[32]发现,TGR5 缺失可加剧 DSS 诱导的结肠炎小鼠肠道炎症。一般情况下,胆汁酸会处于一种稳态,但当平衡发生改变如胆汁酸吸收不良,肠道胆汁酸重吸收的降低和粪便胆汁酸排泄的增加均会引起腹泻的发生^[33]。Balesaria 等^[34]研究了 28 例没有其他胃肠道疾病的临床腹泻患者,对他们的 75Se 同型牛磺胆酸进行检测来判断胆汁酸的吸收情况,结果显示其中 9 例的 75 SeHCAT 检测值异

常。Rao 等^[35]发现口服补充胆汁酸可以增加 IBS-C (便秘主导的肠易激综合症) 患者的肠道转运速度,改善肠道运动功能。

犬尿酸 (Kynurenic acid, KYNA) 是一种广谱的促离子型谷氨酸盐受体拮抗剂,可以通过激活 GPR35 (G-蛋白偶联受体) 降低初级感觉神经元的兴奋性,且它的激活可以起到镇痛的效果^[36]; γ -氨基丁酸 (GABA) 作用于 GABA 受体,对痛觉传递产生抑制作用^[37]。

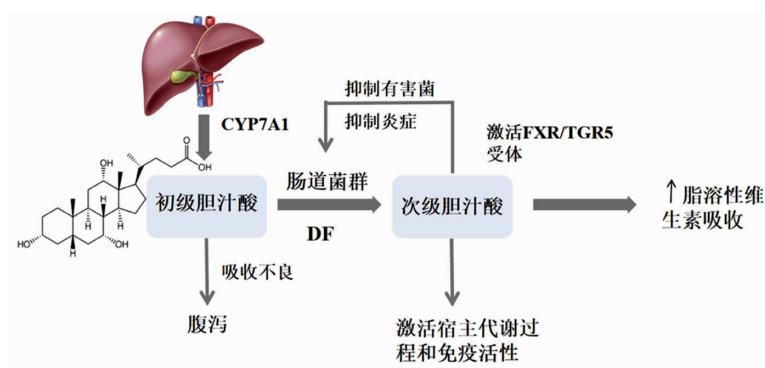


图 1 膳食纤维发酵代谢物胆汁酸的作用机制

Fig.1 Action mechanism of dietary fiber fermentation metabolite bile acid

2.2 DF 直接调控肠道微生物的结构

肠道微生态系统是人体最复杂的微生态系统,在宿主健康、营养、代谢和免疫稳态中起着关键作用。小肠细菌过度生长通常会在肠道结构改变、肠动力受损或胃酸分泌减少的患者中检测到。但在没有这些因素的情况下,它也与胃肠道症状的发展有关,与 IBS 之间存在更直接的关系^[38]。在肠腔内,微生物群调节胆汁酸的变化会影响粪便量和稠度,而微生物群发酵的变化可以影响产气量,这些相互作用可能会诱发或加重 IBS 症状^[39]。而且肠道菌群不仅参与 IBD 的发病机制,还参与疾病进展的不同阶段,包括并发症和肠外相关疾病的发展。远端肠道克罗恩病的并发症可通过粪便流的近端分流而减少,这表明该病的某些特征可通过微生物群的操纵来治疗^[40]。此外,有些针对结肠癌相关微生物组的研究表明,酸杆菌与疾病有显著相关性^[41-42]。幽门螺杆菌感染与功能性消化不良之间的关系(尽管较弱)以及使用抗生素与 IBS 风险增加有关的报告也表明了微生物群与胃

肠道功能紊乱综合征的相关性^[43-44]。还有证据表明微生物群参与了自发性和结肠炎相关的结肠癌发生。

肠道微生物群利用膳食营养来维持生存和生长,DF 对肠道微生物群的组成、基因表达和代谢特性似乎有适度的影响。作为共生细菌,这些微生物主要依靠不易消化的纤维和多糖作为能源,因此到达远端肠道的膳食多会对肠道生态产生根本性影响^[45]。以含有 DF 的饮食干预策略可通过改变结肠微生物群组成和代谢活性来影响胃肠道健康^[46]。一般情况下人体肠道菌群处于一种平衡状态,但不当的膳食结构如低纤维饮食会造成肠道菌群失衡,进而导致各种胃肠疾病的发生^[47]。富含 DF 的饮食似乎有利于菌群的生态多样性,更丰富、更复杂的微生物组对代谢和健康也会产生有益影响^[48]。在健康的个体中,最大的植物分类群为拟杆菌门和厚壁菌门(占据肠道微生物的 70%)^[49],双歧杆菌是广为人知的肠道益生菌,它可以抑制腐生细菌生长、预防及治疗腹泻、便秘等症状;乳

酸杆菌会产生乳酸、乙酸等抗菌物质,抑制有害细菌生长,维护肠道微生物群平衡,起到整肠作用;而肠杆菌、肠球菌则是常见的肠道致病菌。研究表明,拟杆菌门类在便秘病人结肠黏膜中明显增加^[50]。尽管肠道细菌系统型的个体多样性和丰富性不同,但它们形成了功能相似的肠道菌群。

DF对维持肠道菌群稳态、肠道黏液的生成和降解平衡、保护肠壁结构等肠道健康的良性循环有重要作用。其中,可溶性DF可在水中稳定分散,在肠道内与葡萄糖缠结形成具有一定黏度的胶体,具有作为肠道菌群发酵基质的作用^[51]。Kol-eva等^[52]在给小鼠喂食菊粉两周后检测粪便中菌群含量,发现双歧杆菌的含量增加,而肠杆菌含量降低。Liu等^[53]给健康的成年人膳食补充低聚果糖2周后,其粪便中双歧杆菌数量增多,肠杆菌、沙门氏菌数量降低;膳食补充2周低聚半乳糖以后,双歧杆菌丰度显著增加。在一项临床研究中发现,服用含有果寡糖(25%)、木寡糖(25%)、聚葡萄糖(25%)、抗性糊精(25%)的益生元补充剂的结直肠癌患者的拟杆菌门丰度降低,双歧杆菌、芽孢杆菌增加,肠球菌丰度降低^[54]。在IBS患者中,肠杆菌科、细菌属与健康对照组相比有所增加,而梭菌属、法氏杆菌属和双歧杆菌属在IBS患者中减少^[55]。Zoppi等^[56]发现益生元摄入后,与健康儿童相比,FC儿童的梭状芽孢杆菌和双歧杆菌显著增加。

值得注意的是,DF与肠道微生物之间的关系受其分子质量、结构等因素的影响。颜玲^[57]给小鼠分别喂食低分子质量纤维素与高分子质量纤维素,并喂食葡聚糖作为对照,4周后发现低分子质量纤维素组微生物多样性没有显著差异,肠道有益菌数量显著增加。而高分子质量纤维素组菌群多样性较低,拟杆菌丰度比低分子质量纤维素组低5.61%。DF的结构(如糖苷键类型和单体组成)和链长是调节肠道微生物组成的重要因素^[58]。如 β ,1-4连接的低聚糖可以有效刺激双歧杆菌生长,也可以被一些乳酸菌和细菌属发酵^[59];由 β -糖苷键连接的五碳低聚糖(如阿拉伯木聚糖)比由 α -糖苷键连接的六碳低聚糖(如低聚果糖、菊粉)在消化道中被肠道微生物利用的范围更小^[60];短链的低聚果糖比长链的低聚果糖更容易被双歧杆

菌利用,从而刺激双歧杆菌生长^[61]。果聚糖由于其小分子尺寸和表达其水解所需酶(β -呋喃果糖苷酶)的细菌的可利用性而被快速发酵^[62]。而多糖,如部分水解瓜尔豆胶(PHGG)、RS亚型的发酵速度较慢,这是因为它们的链长较长,物理结构复杂,或者是因为它们依赖于具有必需酶的高度特异性的微生物而限制了细菌的可利用性^[63-64]。聚合度(Degree of polymerization, DP)可能对发酵位置产生重大影响。其中,低DP果聚糖和高DP果聚糖分别倾向于在近端结肠和远端结肠进行更多发酵^[65-66]。Nilsson等^[67]给大鼠喂食不同聚合度的4种低聚果糖研究其体内短链脂肪酸的含量,结果显示聚合度低(2~8)的低聚果糖沿后肠产生高水平的丁酸,而聚合度高(10~60)的低聚果糖产生高水平的丙酸。有研究发现聚合度较低的低聚果糖可促进盲肠IgA分泌,IgA与乳酸杆菌和双歧杆菌的浓度之间存在高度正相关,低DP果聚糖强烈刺激盲肠中乳酸杆菌的生长,而高DP果聚糖优先支持双歧杆菌的生长^[68]。此外,在体外研究发现DP大于10的低聚果糖比DP小于10的低聚果糖发酵慢得多^[69]。菊粉是一种天然的果糖聚合物,聚合度较低时则可称为低聚果糖,低聚果糖的分子质量较小,推测能更好地被菌群利用^[70]。朱立猛研究发现相比于聚合度高的菊粉,聚合度低低聚果糖对增加肠道益生菌相对丰度的效果更显著^[71]。

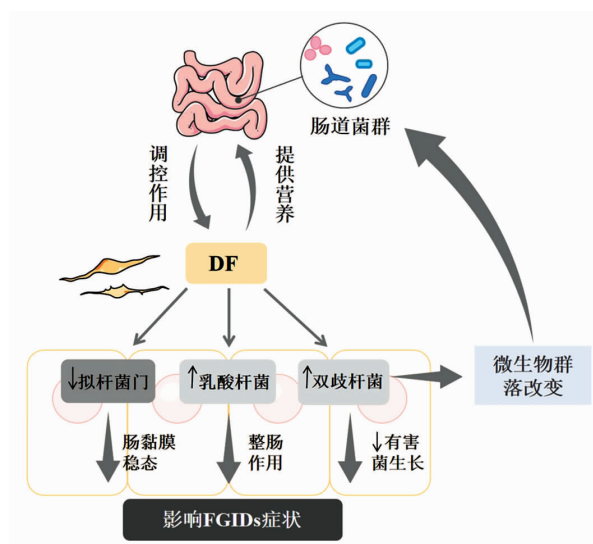


图2 膳食纤维对肠道微生物组成的影响

Fig.2 Effect of dietary fiber on intestinal microbial composition

2.3 DF 调节胃肠道转运

胃肠动力障碍是引起功能性消化不良的常见原因,DF 调节肠道微生物群结构和代谢物的产生,有助于调节肠道运动。不溶性纤维通常很难被肠道微生物发酵,在肠道中这些不可发酵的纤维通过增加微生物量或由于保水性吸水膨胀后使得粪便体积增大,粪便内容物的额外体积通过物理膨胀效应刺激肠道蠕动并加速结肠转运^[72-73]。它们在饮食中的存在增加了肠道转运率,从而减少了结肠细菌发酵未消化食物的时间。另外,不溶性 DF 中存在特殊的管状结构,这些结构具有毛细作用,可大大增强吸水性。同时纤维素内存在无定形区,通过区间的空隙可以使其有限溶胀,增大体积,促进转运^[74]。纤维还具有凝胶形成的能力,这种性质使纤维变得黏稠,从而顺利通过胃和肠。如果排便太慢(如便秘),黏性纤维会使肠道运动更快,如果运动太快(如腹泻),黏性纤维又会减少肠道运动并增加通过时间。这种现象有助于调节肠道运动,并有助于稳定便秘和腹泻的症状^[75]。

马满鹏等^[76]研究发现提高犍牛纤维的摄入水平,能够促进犍牛胃肌层和容积,为胃的蠕动提供动力。Khuituan 等^[77]研究发现火龙果中提取的低聚糖可以改善小鼠的肠道蠕动;唐飞^[78]的研究表明不同年份、不同嫩度的青砖茶纤维均可明显改善小鼠胃肠动力障碍。一项对健康人的研究显示,补充麦麸皮后,肠道转运时间显著减少,而对便秘者的作用较小^[79]。Stephen 等^[80]研究发现补充麦麸后可使整个肠道的转运时间加快 37%,产生的粪便内容物包括约 61%的固体和 12%的细菌。这与通过主要可发酵的卷心菜纤维观察到的变化形成对比,补充卷心菜纤维可加快运输 20%,粪便内容物包括 18%的固体和 54%的细菌。此外,具有黏性、凝胶形成特性的纤维,包括 β -葡聚糖、甲基纤维素、果胶、木虱等,与液体混合时变稠,形成凝胶结构。在胃中,这种凝胶与食物结合,形成一个黏稠、凝固的团块,可以使健康受试者的胃排空速度降低 20%,影响整个胃肠道的功能^[81-82]。

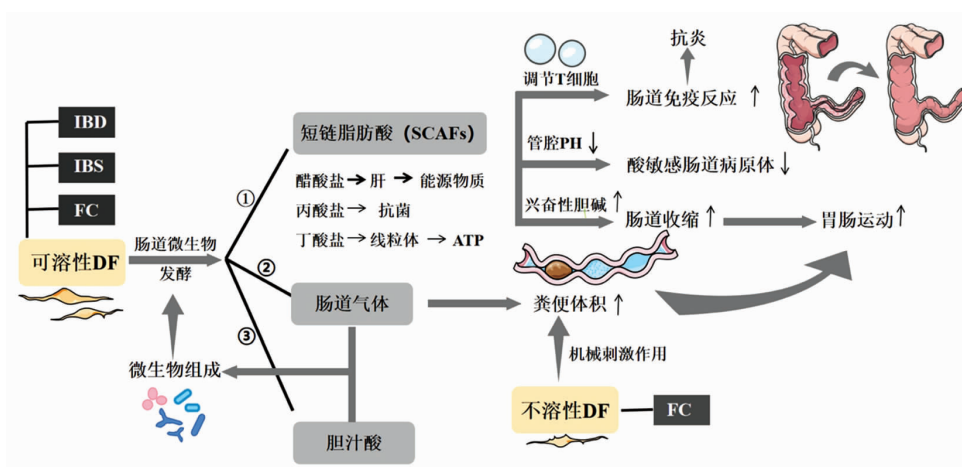


图 3 膳食纤维在 FGIDs 中的作用机制

Fig.3 Action mechanism of dietary fiber in FGIDs

3 DF 在 FGIDs 防治中的应用

3.1 DF 对 IBS 的防治作用

肠易激综合征(IBS)是最常见的功能性胃肠道疾病之一,影响近 11%的全球人口,其特征是反复出现腹痛、腹胀和大便形式或频率的改变,而没有任何结构变化和明显的炎症^[83-85]。其中肠道微生物群失衡是肠易激综合征最常见的病因。与其它纤维相比,可溶性纤维对 IBS 的益处较大。在最近的

一项荟萃分析中,Moayyedi 等^[86]表明可溶性而非不溶性纤维在减轻总体症状方面是有效的。Singh 等^[87]在对 22 个随机对照试验的系统回顾和荟萃分析中,可溶性纤维显著改善了全身性肠易激综合征症状和腹痛,而不溶性纤维则没有。Bijkerk 等^[88]比较了可溶性(木虱)纤维和不溶性(麸皮)纤维与安慰剂对 IBS 患者的疗效。研究发现,除了腹痛或与健康相关的生活质量外,和安慰剂相比,木

虱组的症状有所改善,而麸皮组没有导致症状的显著变化。部分水解瓜尔豆胶是一种可溶的非胶凝纤维,已被证明可以减轻IBS患者的症状和腹痛^[89]。Parisi等^[90]通过部分水解瓜尔豆胶与麦麸的对比试验发现两者均可改善IBS的核心症状(腹痛和排便习惯),但部分水解瓜尔豆胶组的耐受性更好,有更多的患者症状显著改善,成功率高于麦麸组。这表明它的摄入可以受益于IBS患者,使其成为一个有效的选择。车前,作为一种常见的可溶性纤维补充剂,已知能有效缓解肠易激综合征的症状,可作为补充剂来使它的益处在于肠易激综合征中得到利用^[91]。

3.2 DF对FC的防治作用

便秘是消化系统常见的功能性胃肠道疾病,临床上表现为大便量少、硬,排出困难,且伴有腹胀、腹部不适、食欲不振等症状。便秘造成排泄物在结肠内停留时间过长使得其中有害物质长期作用于结肠,有增加局部癌症发生的危险^[92]。DF因其大分子结构赋予的水合性、吸附作用而具有调节肠道菌群稳态、促进排便等功能。可溶与不可溶DF在预防和治疗便秘的机制有所不同。可溶性DF有效的增加了肠道内有益菌的丰富程度,并将DF水解成短链脂肪酸,这些脂肪酸能降低肠道环境pH值,且具有良好的吸水性,增加粪便中的水分,有助于软化粪便缓解便秘维持肠道清洁。低聚果糖(Fructo-oligosaccharide, FOS)是一种重要的水溶性DF,是一种应用广泛的益生元。研究显示, FOS中的双糖渗透活性可以将肠腔内的水和电解质很好的保留下来,从而促进排便,而且在双歧杆菌的分解下, FOS可以有效降低肠道内的pH值,促进肠道蠕动^[93-95],具有很好的改善便秘的效果。殷忠义等^[96]让64例功能性便秘患者口服FOS进行治疗,结果发现经治疗后患者的症状显著改善。Vandeputte等^[97]让患有轻度便秘的成年人每天摄入12g菊粉,4周后发现其大便次数显著增加。一篇荟萃分析显示,菊粉对大便频率、通过时间和大便硬度都有积极影响^[98]。

不可溶性DF促进胃肠蠕动的效果较好,它可通过对肠黏膜的机械刺激来改善粪便稠度和粪便质量,增加肠道的压力,加快食物通过消化道,这有助于形成良好的排便规律;多孔结构可以吸

附肠道内有害菌释放出的毒素等,维持肠道内的健康环境^[99]。白冰瑶等^[100]在对红枣DF改善功能性便秘的研究中发现,中、高、低剂量组的红枣DF均可缩短小鼠首粒排黑便时间,小鼠的排便粒数和质量也有所增加。朱婧等^[101]对谷物中的DF对于排便频率、肠道通过时间以及粪便湿重的影响的多个研究结果进行Meta分析,结果表明谷物中的DF可以增加排便频率,缩短肠道通过时间,增加粪便湿重。Ustundag等^[102]在一项随机、对照研究中评估了纤维(部分水解瓜尔豆胶)和乳果糖对61名4~16岁患有慢性便秘儿童的影响。结果发现在治疗后排便频率、大便稠度和腹痛方面均有显著改善,且乳果糖组排便次数明显增多。Anti等^[103]对117名FC患者摄入纤维和液体情况进行评估。研究结果表明,每天摄入25g纤维会增加排便次数,且随着年龄的增长,排便次数会进一步显著增加。通过饮食逐渐增加纤维摄入量至20~30g/d,并补充足够的液体,通常被推荐为便秘的一线疗法^[104]。从丽敏等^[105]建立大鼠便秘模型,研究发现DF在一定程度上可改善便秘,且联合益生菌可显著改善便秘。这也意味着DF和其它物质的混合对于便秘的治疗更佳,这也为我们今后对胃肠疾病的防治提供了一种新思路。

3.3 DF对IBD的防治作用

炎症性肠病是一组以慢性炎症和肠道菌群失调为特征的功能性胃肠道疾病。其中溃疡性结肠炎(Ulcerative Colitis, UC)和克罗恩病(Crohn's Disease, CD)是炎症性肠病(IBD)的两种主要表型^[106]。肠道失调被认为是IBD患者疾病进展和胃肠道症状的重要原因,DF可以维持肠道菌群稳态,调节免疫应答和维持免疫稳态。IBD患者与健康人的另一个差异是肠道屏障受损,摄入特定类型的DF,可以促进有益微生物的生长及其活性、增强肠上皮屏障功能,改善肠道炎症及促进结肠上皮损伤的愈合保护,修复IBD患者的肠黏膜屏障恢复肠道的完整性和内环境稳定性^[107-108]。

曹峻菡等^[109]研究发现海藻DF作为一种天然活性成分对炎症性肠病具有营养保护功能。韦瑶^[110]在用可溶性DF联合粪菌移植治疗溃疡性结肠炎时发现,可溶性DF的联合治疗要比独立的粪菌移植效果明显。而患有结肠炎的患者在接受治疗

后的饮食护理上,也被推荐食用多纤维食物^[111]。Guarino 等^[112]研究发现菊糖能够恢复一些重要保护蛋白的水平,参与炎症过程。Furrie 等^[113]发现,在溃疡性结肠炎人群中,菊粉的摄入下调了促炎症细胞因子白介素 10 (IL-10)的表达水平,对治疗溃疡性结肠炎效果显著。在一项前瞻性研究中,让 269 位 CD 患者和 338 位 UC 患者摄入 DF (平均 24.3 g/d),结果发现患 CD 和 UC 风险均显著降低,其中 CD 风险降低了 40%,且表明从水果和蔬菜中摄入 DF 可以降低患 CD 的风险,而从全谷类或豆类中摄入纤维对患 CD 或 UC 的风险没有影响^[114]。Amre 等^[115]进行了一项对照研究,研究发现食用富含纤维的蔬菜和水果的儿童患 CD 的风险较低,且随着食用的增加,风险也在降低。但一项病例对照研究表明大量食用蔬菜和水果只会略微降低 UC 的风险,并无显著相关性^[116]。Hansen 等^[117]针对 87 个关于 IBD 发生前环境因素的问题(涵盖了被认为是 CD 和 UC 假定风险因素的不同主题)进行了统计分析,表明高纤维的摄入与 CD 和 UC 的发生有显著相关性。

4 DF 的副作用

鉴于 DF 在胃肠道功能上的有效作用,越来越多的人改变饮食,虽然增加 DF 的摄入已被证实对胃肠道有益,一般每天的摄入量应控制在 20 g 以内,食用过量的 DF 会被肠道中一些菌群分解产生挥发性脂肪酸和多余的气体引起腹部胀痛^[118]。其中低聚果糖(Fructo-oligosaccharide, FOS)在大肠中可完全发酵,是肠道气体的重要来源,对一些人来说,快速产气会导致腹部不适。在特定的条件与剂量下,低聚糖的过量摄入将扰乱肠道原有的平衡引起肠道不适,降低微生物的多样性,增加结肠透性等^[119]。李东尧^[120]将 24 只小鼠随机分到 FOS 急性剂量组、FOS 低剂量组、FOS 梯度剂量组中,以不同的方式补充低聚果糖。PERMANOVA 检验结果显示,梯度剂量组膳食干预对菌群代谢功能的影响效应占总效应的 52%,低剂量组占 36%,而急性剂量组仅占 28%。陈彬睿^[121]给 32 只小鼠灌喂生理盐水或低聚果糖,14 d 后检测结果表明低聚果糖的摄入使得 IBS 小鼠的内脏敏感性进一步增加。FOS 的大量摄入还会引起液体在小肠和大

肠中的渗透滞留而导致腹泻,不良作用的出现和强度取决于产品剂量和个体反应^[122]。Den 等^[123]研究发现每天摄入菊粉 4~15 g 的剂量不会影响肠道转运时间,但会增加健康个体的粪便量。在患有便秘的老年人中发现,每天摄入菊粉剂量达到 20~40 g 时会增加粪便沉积频率,且在某些情况下会伴有肠胃胀气^[124]。此外,高剂量的 DF 还会延长胃的排空时间,引起食物反流造成反酸而导致食道与胃黏膜损伤^[125]。在一项小型研究中,果聚糖(小麦、黑麦、洋葱和大蒜中发现的碳水化合物)被证明会增加胃食管反流^[126]。胃调节功能的降低与更高的反流事件发生率相关^[127]。

碳水化合物的不耐受会导致胃肠道变异和肠道不适引起很多不良反应。数据显示,超过 30%患有碳水化合物不耐受和功能性、非特异性、非过敏性胃肠道疾病的患者合并乳糖不耐受和果糖吸收不良^[128]。在大多数吸收不良的情况下,食物中的碳水化合物如乳糖和果糖进入大肠成为细菌的底物,发酵产生氢气从而加重 FGIDs 患者的症状。一项关于碳水化合物对 IBS 患者上消化道运动影响的研究表明,果聚糖灌胃会导致胃肠道症状的快速发作,特别是痉挛、肠胃胀气和疼痛,且与葡萄糖组相比,果聚糖更容易引起餐后胃压的升高^[129]。Major 等^[130]让健康受试者和肠易激综合征患者摄入菊粉,结果表明结肠气体体积增加了约 4 倍,小肠含水量没有变化,不良症状仅在肠易激综合征患者中出现。本身就具有这些不良症状的 FGIDs 患者要尤其注意,要对病因进行检测,然后根据个人饮食计划进行个性化治疗,在医生的监控和建议下正确摄入 DF。

此外,如若过多的摄入快速发酵型纤维则会在盲肠和近端结肠中快速发酵,可能导致大量 SCFAs 的集聚而对黏膜产生毒性,这种效应会使屏障受损诱发黏膜炎症和内脏敏感性增加。另外,快速产气相关的管腔扩张可刺激机械感受器,在内脏过敏的情况下,机械感受器可诱发疼痛和腹胀加重肠易激综合征的症状^[131]。FODMAP 是肠道无法正常吸收的可发酵短链碳水化合物的集合,包括低聚糖、双糖、单糖、多元醇。当 FODMAP 到达小肠时,它们会缓慢移动,因高渗透性吸引大量水分,将很多水带入肠道中,这可能会影响肠道的蠕

动速度和腹泻发生^[132]。大部分人没有完全分解 FODMAP 的酶, 当它们进入大肠时, FODMAP 中的乳糖和低聚果糖被肠道菌群发酵, 增加肠道内糖基化终产物的生成, 多余的气体和水会导致导致肠腔扩张。由于患有 IBS 的患者肠道高度敏感, 故肠壁的拉伸会导致腹部疼痛、胀气等不适感^[133]。Kamphuis 等^[134]通过给小鼠喂食乳糖或喂食低聚果糖发现, 这会导致肠易激综合征患者出现症状, 导致小鼠腹部敏感性增加。大多数 FODMAP 是益生元, 益生元纤维具有会引起腹胀和腹痛气体的副作用, 低 FODMAP 饮食可以限制这种对肠道微生物重要的纤维^[135]。很多研究表明低 FODMAP 饮食可以改善许多与功能性肠道疾病和炎症性肠道疾病相关的症状。一篇荟萃分析表明, 70%~80% 的人可以通过低 FODMAP 饮食改善 IBS 症状^[136]。Chumpitazi 等^[137]在一项针对 8 名 7~16 岁儿童的研究中调查了低 FODMAPs 饮食是否能降低 IBS 症状。发现患者的腹痛和疼痛频率显著降低。Eswaran 等^[138]将 92 名 IBS 患者分成低 FODMAP 组和一般饮食组, 结果显示低 FODMAP 饮食组中超过一半的患者的症状有所改善。但这种限制性饮食只适合存在特定症状的人群, 不然可能弊大于利。低 FODMAP 饮食不可避免地会减少部分主食(如小麦)、乳制品等的摄入, 长期使用后会引发营养不良^[139]。Eswaran 等^[140]对成年 IBD 患者进行试验, 比较了低 FODMAP 饮食和 mNICE 饮食预防措施, 研究表明, 部分患者采用低 FODMAP 饮食后, 会导致总碳水化合物摄入量显著降低。此外, 低 FODMAP 饮食可能引起 DF、铁、锌、叶酸及 B 族维生素等不足^[141]。Ostgaard 等^[142]研究发现, 12% 的 IBS 患者的饮食结构欠丰富, 影响维生素核黄素、磷、钙的吸收。另外, 肠道的菌群会受到我们所吃 DF 种类的影响, 低 FODMAP 饮食导致用于肠道内发酵的底物大大减少, 会使得肠道菌群的组成和功能改变, 会对肠道微生物的平衡以及多样性产生不利的影响。Halmos 等^[143]对 27 名 IBS 患者和 6 名健康受试者随机分配低 FODMAP 饮食或澳大利亚饮食, 研究发现低 FODMAP 饮食降低了细菌总数, 丁酸盐产生梭状芽孢杆菌相对数量减少。Staudacher 等^[144]进行了一项随机对照试验将 IBS 患者随机分为干预饮食组(限制碳水化

合物)和习惯饮食组, 4 周后发现肠腔内双歧杆菌数量降低。此外, FODMAP 具有免疫调节、增加粪便体积、促进钙吸收、降低血清胆固醇水平等重要的生理作用, 低 FODMAP 饮食可能会削弱这些效果而增加心血管或结直肠癌等风险^[145]。

更慢发酵的纤维, 如抗性淀粉(Resistant Starch, RS)亚型, 可根据运输速度和微生物群发酵纤维的能力进行远端发酵。然而, 更高剂量的此类纤维(补充 39 g/d 的 RS)可能会引起腹胀和腹部不适^[146]。过多的可溶性 DF 会吸收肠道中的水分引起脱水导致纤维硬化而便秘, 缓慢发酵的纤维单独使用可能不适用于传输较慢的便秘患者^[147]。菊粉属于发漫(FODMAPS)类纤维, 会产生一定气体, 腹胀是菊粉(摄入过多)最常见的副作用。一研究发现菊糖比葡萄糖诱导更多患者出现腹胀的症状, 菊糖诱导 H₂、结肠气体和结肠容积增加^[148]。胃功能较弱者, 肠道蠕动较慢, 便秘时秘结的粪团阻塞在下端结肠, 若在此时大量补充 DF 会刺激上段结肠的蠕动, 从而导致不完全性肠梗阻。Major 等^[149]研究了便秘型 IBS 患者摄入剂量高达 21 g/d 的木虱后症状的变化, 结果显示小肠含水量增加了 3 倍, 但与健康受试者不同的是患者结肠含水量的变化更为多变。因此, 可以预期 IBS 患者补充高剂量的木虱纤维后出现的腹胀等症状可能是由于木虱的凝胶结构引起的结肠水膨胀所致。炎症性肠病的患者的结肠会有不同程度的炎症和溃疡, 甚至有的肠段狭窄、穿孔, 还有癌变的可能。若摄入 DF 不当, 可能会加重病情使其变得复杂而难处理。结肠上皮细胞过度增生被认为是结肠癌的一种早期改变, 过多的 DF 可能会改变小肠细胞的更新速度, 使其更新加快, 许多营养物质会随脱落的黏膜细胞离开小肠而被带出体外。有研究发现 DF 发酵产物 SCFAs 可以刺激大鼠结肠细胞过度增殖^[150]。这表明不正确的摄入 DF 可能具有致癌作用, 我们对其还需进行更多的研究。

5 结论与展望

越来越多的科学证据表明 DF 的摄入有利于肠道健康, 对 FGIDs 具有防治作用, 但不正确的摄入 DF 将会加重 FGIDs 患者的症状并使病情恶化。美国食品药品监督管理局(U.S. Food and Drug

Administration, FDA) 推荐健康成年人总 DF 的摄入量为每日 20~35 g。然而,DF 种类较多,分子质量、聚合度等不同的结构特性会具有不同的物理机械性能、功能特性以及发酵特性。所以几种纤维联用能对机体发挥更好的生理保护作用。一般建议 IBS 患者使用可溶性纤维如木虱或部分水解瓜尔豆胶作为饮食干预以改善症状,尽量避免使用麦麸等不溶性纤维防止症状加重。而且,可溶性纤维被纳入饮食后,建议逐渐增加纤维摄入量(每 3~4 d 增加 2~3 g)。对于 FC 患者,可发酵纤维和不可发酵纤维均有益处,通过饮食逐渐增加纤维摄入量至 20~30 g/d,并补充足够的液体,通常被推荐为便秘的一线疗法。IBD 患者宜根据具体病情调整 DF 摄入量。一般来说,缓解期患者无需限制纤维消耗,而对于炎症明显以及有肠道狭窄或者穿透性病变的患者,应坚持低纤维饮食,每天最多 5 g。DF 作为饮食干预的重要组成在 FGIDs 防治中的应用,需要考虑 DF 的种类、功能性特点和剂量等因素,同时更要明确 FGIDs 患者机体对 DF 产生的特异性生理学反应。综上所述,靶向患者生理学反应以调节胃肠道症状的个性化膳食纤维防治策略是 FGIDs 饮食干预方法建立的全新方向。

参 考 文 献

- [1] 周丽, 徐派的, 张红星. 肠道菌群与常见功能性胃肠病相关性的研究进展[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2020, 49(6): 756-760.
ZHOU L, XU P D, ZHANG H X. Research progress on the correlation between intestinal flora and common functional gastrointestinal diseases [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Medical Edition), 2020, 49(6): 756-760.
- [2] 黄振鹏. 重视饮食管理在功能性胃肠病治疗中的作用和地位[J]. 医学信息, 2021, 34(14): 1-2.
HUANG Z P. Pay attention to the role and position of diet management in the treatment of functional gastrointestinal diseases[J]. Medical Information, 2021, 34(14): 1-2.
- [3] 李丽娟, 师风华, 谭木秀, 等. 膳食纤维调节肠道菌群的作用机制研究进展[J]. 中国现代医生, 2020, 58(36): 188-192.
LI L J, SHI F H, TAN M X, et al. Research progress on the mechanism of dietary fiber regulating intestinal flora[J]. Modern Chinese Doctors, 2020, 58(36): 188-192.
- [4] 王晓颖, 黄荣冰, 谭诗颖, 等. 黑曲霉发酵法制备柚子皮可溶性膳食纤维的研究[J]. 轻工科技, 2021, 37(12): 15-17.
WANG X Y, HUANG R B, TAN S Y, et al. Research progress on the effect of dietary fiber on gastrointestinal tract [J]. Light Industry Technology, 2021, 37(12): 15-17.
- [5] 曾霞娟, 刘家鹏, 严梅娣, 等. 膳食纤维对胃肠道作用的研究进展[J]. 微量元素与健康研究, 2011, 28(1): 52-55.
ZENG X J, LIU J P, YAN M D, et al. Research progress on the effect of dietary fiber on gastrointestinal tract [J]. Research on trace elements and health, 2011, 28(1): 52-55.
- [6] JARRETT S, ASHWORTH C J. The role of dietary fibre in pig production, with a particular emphasis on reproduction[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2018, 9(1): 1-11.
- [7] CRONIN P, JOYCE S A, O'TOOLE P W, et al. Dietary fibre modulates the gut microbiota[J]. Nutrients, 2021, 13(5): 1655.
- [8] BERER K, MARTÍNEZ I, WALKER A, et al. Dietary non-fermentable fiber prevents autoimmune neurological disease by changing gut metabolic and immune status[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 1-12.
- [9] TAZOE H, OTOMO Y, KAJI I, et al. Roles of short-chain fatty acids receptors, GPR41 and GPR43 on colonic functions[J]. J Physiol Pharmacol, 2008, 59(Suppl 2): 251-262.
- [10] MARTIN-GALLAUSIAUX C, MARINELLI L, BLOTTIÈRE H M, et al. SCFA: mechanisms and functional importance in the gut[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2021, 80(1): 37-49.
- [11] KAU A L, AHERN P P, GRIFFIN N W, et al. Human nutrition, the gut microbiome and the immune system[J]. Nature, 2011, 474(7351): 327-336.
- [12] 朱婷, 王琦, 武希润, 等. 膳食纤维与溃疡性结肠炎[J]. 胃肠病学, 2015, 20(11): 695-697.
ZHU T, WANG Q, WU X R, et al. Dietary fiber and ulcerative colitis[J]. Gastroenterology, 2015, 20

- (11): 695–697.
- [13] SMITH P M, HOWITT M R, PANIKOV N, et al. The microbial metabolites, short-chain fatty acids, regulate colonic Treg cell homeostasis[J]. *Science*, 2013, 341(6145): 569–573.
- [14] MARTIN –GALLAUSIAUX C, MARINELLI L, BLOTTIÈRE H M, et al. SCFA: mechanisms and functional importance in the gut[J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2021, 80(1): 37–49.
- [15] ALVA–MURILLO N, OCHOA–ZARZOSA A, LÓPEZ–MEZA J E. Short chain fatty acids (propionic and hexanoic) decrease *Staphylococcus aureus* internalization into bovine mammary epithelial cells and modulate antimicrobial peptide expression[J]. *Veterinary Microbiology*, 2012, 155(2/3/4): 324–331.
- [16] 李竹青. 丁酸钠下调 IRAK1 改善肠易激综合征内脏高敏感性机制研究[D]. 济南: 山东大学, 2018.
LI Z Q. Mechanism of sodium butyrate down regulating IRAK1 to improve visceral hypersensitivity in irritable bowel syndrome[D]. Jinan: Shandong University, 2018.
- [17] BAYER S B, GEARRY R B, DRUMMOND L N. Putative mechanisms of kiwifruit on maintenance of normal gastrointestinal function[J]. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 2018, 58(14): 2432–2452.
- [18] YU W, SU X, CHEN W, et al. Three types of gut bacteria collaborating to improve Kui Jie’an enema treat DSS-induced colitis in mice[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2019, 113(5): 108751.
- [19] KALANTAR–ZADEH K, BEREAN K J, BURGELL R E, et al. Intestinal gases: influence on gut disorders and the role of dietary manipulations[J]. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 2019, 16(12): 733–747.
- [20] GILL P A, VAN ZELM M C, MUIR J G, et al. Short chain fatty acids as potential therapeutic agents in human gastrointestinal and inflammatory disorders[J]. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 2018, 48(1): 15–34.
- [21] IANARO A, CIRINO G, WALLACE J L. Hydrogen sulfide-releasing anti-inflammatory drugs for chemoprevention and treatment of cancer[J]. *Pharmacological Research*, 2016, 111(6): 652–658.
- [22] YAO C K, MUIR J G, GIBSON P R. Insights into colonic protein fermentation, its modulation and potential health implications[J]. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 2016, 43(2): 181–196.
- [23] NAKAMURA N, LIN H C, MCSWEENEY C S, et al. Mechanisms of microbial hydrogen disposal in the human colon and implications for health and disease[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2010, 1(1): 363–395.
- [24] ONG D K, MITCHELL S B, BARRETT J S, et al. Manipulation of dietary short chain carbohydrates alters the pattern of gas production and genesis of symptoms in irritable bowel syndrome[J]. *Journal of Gastroenterology And Hepatology*, 2010, 25(8): 1366–1373.
- [25] CHIANG J Y L, FERRELL J M. Bile acid metabolism in liver pathobiology[J]. *Gene Expression*, 2018, 18(2): 71.
- [26] 习德娥, 丁敏. 胆汁酸与胃肠道疾病关系的研究进展[J]. *国际检验医学杂志*, 2010, 31(9): 969–971.
XI D E, DING M. Research progress on the relationship between bile acids and gastrointestinal diseases[J]. *International Journal of Laboratory Medicine*, 2010, 31(9): 969–971.
- [27] HOFMANN A F, ECKMANN L. How bile acids confer gut mucosal protection against bacteria[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006, 103(12): 4333–4334.
- [28] 徐静娟, 陆伦根, 周慧. 胆汁酸受体在胃肠道炎症和肿瘤发生中的作用[J]. *胃肠病学*, 2020, 25(9): 556–559.
XU J X, LU L G, ZHOU H. Role of bile acid receptors in gastrointestinal inflammation and tumorigenesis[J]. *Gastroenterology*, 2020, 25(9): 556–559.
- [29] CIPRIANI S, MENCARELLI A, CHINI M G, et al. The bile acid receptor GPBAR-1 (TGR5) modulates integrity of intestinal barrier and immune response to experimental colitis[J]. *PLoS one*, 2011, 6(10): e25637.
- [30] 叶倩伶, 王明刚, 毛德文, 等. 胆汁酸在肝肠循环中的作用及中药参与其调控的相关机制[J]. *临床肝胆病杂志*, 2020, 36(11): 2617–2620.
YE Q L, WANG M G, MAO D W, et al. The role of bile acids in hepatointestinal circulation and the related mechanism of traditional Chinese medicine in its regulation[J]. *Journal of Clinical Hepatobiliary Diseases*, 2020, 36(11): 2617–2620.
- [31] TICHO A L, MALHOTRA P, DUDEJA P K, et al.

- Bile acid receptors and gastrointestinal functions[J]. *Liver Research*, 2019, 3(1): 31–39.
- [32] GARIBAY D, ZABORSKA K E, SHANAHAN M, et al. TGR5 protects against colitis in mice, but vertical sleeve gastrectomy increases colitis severity [J]. *Obesity Surgery*, 2019, 29(5): 1593–1601.
- [33] XIONG A, YANG F, FANG L, et al. Metabolomic and genomic evidence for compromised bile acid homeostasis by senecionine, a hepatotoxic pyrrolizidine alkaloid[J]. *Chemical Research in Toxicology*, 2014, 27(5): 775–786.
- [34] BALESARIA S, PELL R J, ABBOTT L J, et al. Exploring possible mechanisms for primary bile acid malabsorption: evidence for different regulation of ileal bile acid transporter transcripts in chronic diarrhoea [J]. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*, 2008, 20(5): 413–422.
- [35] RAO A S, WONG B S, CAMILLERI M, et al. Chenodeoxycholate in females with irritable bowel syndrome—constipation: a pharmacodynamic and pharmacogenetic analysis[J]. *Gastroenterology*, 2010, 139(5): 1549–1558.
- [36] RESTA F, MASI A, SILI M, et al. Kynurenic acid and zaprinast induce analgesia by modulating HCN channels through GPR35 activation[J]. *Neuropharmacology*, 2016, 108(4): 136–143.
- [37] DU X, HAO H, YANG Y, et al. Local GABAergic signaling within sensory ganglia controls peripheral nociceptive transmission[J]. *The Journal of Clinical Investigation*, 2017, 127(5): 1741–1756.
- [38] PIMENTEL M, CHOW E J, LIN H C. Eradication of small intestinal bacterial overgrowth reduces symptoms of irritable bowel syndrome[J]. *The American Journal of Gastroenterology*, 2000, 95(12): 3503–3506.
- [39] MANICHANH C, ECK A, VARELA E, et al. Anal gas evacuation and colonic microbiota in patients with flatulence: effect of diet[J]. *Gut*, 2014, 63(3): 401–408.
- [40] SHANAHAN F, QUIGLEY E M M. Manipulation of the microbiota for treatment of IBS and IBD—challenges and controversies[J]. *Gastroenterology*, 2014, 146(6): 1554–1563.
- [41] KOSTIC A D, GEVERS D, PEDAMALLU C S, et al. Genomic analysis identifies association of *Fusobacterium* with colorectal carcinoma [J]. *Genome Research*, 2012, 22(2): 292–298.
- [42] CASTELLARIN M, WARREN R L, FREEMAN J D, et al. *Fusobacterium nucleatum* infection is prevalent in human colorectal carcinoma[J]. *Genome Research*, 2012, 22(2): 299–306.
- [43] SUZUKI H, MOAYYEDI P. *Helicobacter pylori* infection in functional dyspepsia [J]. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 2013, 10(3): 168–174.
- [44] VILLARREAL A A, ABERGER F J, BENRUD R, et al. Use of broad-spectrum antibiotics and the development of irritable bowel syndrome[J]. *Wmj*, 2012, 111(1): 17–20.
- [45] SHANAHAN F. The colonic microbiota in health and disease[J]. *Current Opinion in Gastroenterology*, 2013, 29(1): 49–54.
- [46] WEGH C A M, SCHOTERMAN M H C, VAUGHAN E E, et al. The effect of fiber and prebiotics on children’s gastrointestinal disorders and microbiome[J]. *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology*, 2017, 11(11): 1031–1045.
- [47] 王晨, 钟赛意, 邹宇晓. 膳食纤维经肠道微生物生态途径调节脂质代谢作用的研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 338–347.
- WANG C, ZHONG S Y, ZOU Y X. Research progress of dietary fiber regulating lipid metabolism through intestinal microecological pathway [J]. *Food Science*, 2019, 40(3): 338–347.
- [48] VAN DER KAMP J W, HARRIS P J. Editorial for the special issue “dietary fibre: new insights on biochemistry and health benefits” [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2018, 19(11): 3556.
- [49] GAGLIARDI A, TOTINO V, CACCIOTTI F, et al. Rebuilding the gut microbiota ecosystem[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(8): 1679.
- [50] PARTHASARATHY G, CHEN J, CHEN X, et al. Relationship between microbiota of the colonic mucosa vs feces and symptoms, colonic transit, and methane production in female patients with chronic constipation [J]. *Gastroenterology*, 2016, 150(2): 367–379.
- [51] 吕远. 大豆膳食纤维的改性及其在烘焙食品中的应用 [D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
- LV Y. Modification of soybean dietary fiber and its

- application in bakery[D]. Shanghai: East China Normal University, 2013.
- [52] KOLEVA P T, VALCHEVA R S, SUN X, et al. Inulin and fructo-oligosaccharides have divergent effects on colitis and commensal microbiota in HLA-B27 transgenic rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 108(9): 1633-1643.
- [53] LIU F, LI P, CHEN M, et al. Fructooligosaccharide (FOS) and galactooligosaccharide (GOS) increase *Bifidobacterium* but reduce butyrate producing bacteria with adverse glycemic metabolism in healthy young population[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 1-12.
- [54] XIE X, HE Y, LI H, et al. Effects of prebiotics on immunologic indicators and intestinal microbiota structure in perioperative colorectal cancer patients [J]. *Nutrition*, 2019, 61(10): 132-142.
- [55] PITTAYANON R, LAU J T, YUAN Y, et al. Gut microbiota in patients with irritable bowel syndrome—a systematic review[J]. *Gastroenterology*, 2019, 157(1): 97-108.
- [56] ZOPPI G, CINQUETTI M, LUCIANO A, et al. The intestinal ecosystem in chronic functional constipation [J]. *Acta Paediatrica*, 1998, 87(8): 836-841.
- [57] 颜玲. 膳食纤维功能特性评价及纤维素分子量对肠道菌群影响的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
- YAN L. Evaluation of functional characteristics of dietary fiber and study on the effect of cellulose molecular weight on intestinal flora [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [58] FERREIRA-LAZARTE A, GALLEGO-LOBILLO P, MORENO F J, et al. *In vitro* digestibility of galactooligosaccharides: effect of the structural features on their intestinal degradation[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67 (16): 4662-4670.
- [59] AMARETTI A, BERNARDI T, TAMBURINI E, et al. Kinetics and metabolism of *Bifidobacterium adolescentis* MB 239 growing on glucose, galactose, lactose, and galactooligosaccharides[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007, 73 (11): 3637-3644.
- [60] SAVILLE B A, SAVILLE S. Xylooligosaccharides and arabinoxylooligosaccharides and their application as prebiotics[J]. *Applied Food Biotechnology*, 2018, 5 (3): 121-130.
- [61] GOH Y J, KLAENHAMMER T R. Genetic mechanisms of prebiotic oligosaccharide metabolism in probiotic microbes[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2015, 6(1): 137-156.
- [62] WILSON B, WHELAN K. Prebiotic inulin - type fructans and galacto - oligosaccharides: definition, specificity, function, and application in gastrointestinal disorders[J]. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2017, 32(5): 64-68.
- [63] SO D, YAO C K, GILL P A, et al. Screening dietary fibres for fermentation characteristics and metabolic profiles using a rapid in vitro approach: implications for irritable bowel syndrome[J]. *British Journal of Nutrition*, 2021, 126(2): 208-218.
- [64] ALEXANDER C, SWANSON K S, FAHEY JR G C, et al. Perspective: physiologic importance of short-chain fatty acids from nondigestible carbohydrate fermentation[J]. *Advances in Nutrition*, 2019, 10(4): 576-589.
- [65] SINGH R S, SINGH R P, KENNEDY J F. Recent insights in enzymatic synthesis of fructooligosaccharides from inulin[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 85(1): 565-572.
- [66] MEYER D, STASSE-WOLTHUIS M. The bifidogenic effect of inulin and oligofructose and its consequences for gut health [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2009, 63(11): 1277-1289.
- [67] NILSSON U, NYMAN M. Short-chain fatty acid formation in the hindgut of rats fed oligosaccharides varying in monomeric composition, degree of polymerisation and solubility[J]. *British Journal of Nutrition*, 2005, 94(5): 705-713.
- [68] ITO H, TAKEMURA N, SONOYAMA K, et al. Degree of polymerization of inulin-type fructans differentially affects number of lactic acid bacteria, intestinal immune functions, and immunoglobulin A secretion in the rat cecum[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(10): 5771-5778.
- [69] ROBERFROID M B, VAN LOO J A E, GIBSON G R. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products[J]. *The Journal of Nutrition*, 1998, 128(1): 11-19.
- [70] 李雅丽, 王默涵, 周志桥. 6种低聚糖对肠道益生菌生长情况的影响及代谢产物分析[J]. *食品科技*, 2021, 46(3): 7-13.
- LI Y L, WANG M H, ZHOU Z Q. Effects of six

- oligosaccharides on the growth of intestinal probiotics and analysis of metabolites[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(3): 7–13.
- [71] 朱立猛. 菊粉对小鼠肠道微生物调节作用的研究[D]. 烟台: 中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所), 2017.
- ZHU L M. Study on the regulatory effect of inulin on intestinal microorganisms in mice[D]. Yantai: University of Chinese Academy of Sciences (Yantai Coastal Zone Research Institute, Chinese Academy of Sciences), 2017.
- [72] 黄媛. IDF对膳食能量摄入及肠道菌群的影响[D]. 成都: 西华大学, 2020.
- HUANG Y. Effects of IDF on dietary energy intake and intestinal flora[D]. Chengdu: Xihua University, 2020.
- [73] HE B, NOHARA K, AJAMI N J, et al. Transmissible microbial and metabolomic remodeling by soluble dietary fiber improves metabolic homeostasis[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5(1): 1–12.
- [74] 蔡宇. 一种不溶性膳食纤维(小麦纤维)的产品介绍[J]. *中国食品添加剂*, 2013, 24(11): 265–270.
- CAI Y. Product introduction of an insoluble dietary fiber (wheat fiber)[J]. *China Food Additives*, 2013, 24(11): 265–270.
- [75] 蔡松铃, 刘琳, 战倩, 等. 膳食纤维的黏度特性及其生理功能研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(3): 224–231.
- CAI S L, LIU L, ZHAN Q, et al. Research progress on viscosity characteristics and physiological function of dietary fiber[J]. *Food Science*, 2020, 41(3): 224–231.
- [76] 马满鹏, 王炳, 屠焰, 等. 日粮纤维水平和来源影响犊牛生长和胃肠道发育的研究[J]. *家畜生态学报*, 2019, 40(5): 7–12.
- MA M P, WANG B, TU Y, et al. Effects of dietary fiber level and source on growth and gastrointestinal development of calves[J]. *Journal of Livestock Ecology*, 2019, 40(5): 7–12.
- [77] KHUITUAN P, SAKENA K, BANNOB K, et al. Prebiotic oligosaccharides from dragon fruits alter gut motility in mice[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2019, 114(6): 108821.
- [78] 唐飞. 青砖茶改善小鼠胃肠道功能的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- TANG F. Study on green brick tea improving gastrointestinal function in mice[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [79] MÜLLER-LISSNER S A. Effect of wheat bran on weight of stool and gastrointestinal transit time: a meta analysis[J]. *Br Med J (Clin Res Ed)*, 1988, 296(6622): 615–617.
- [80] STEPHEN A M, CUMMINGS J H. Mechanism of action of dietary fibre in the human colon[J]. *Nature*, 1980, 284(5753): 283–284.
- [81] ATANASOV J, SCHLOERMANN W, TRAUTVETTER U, et al. The effects of β -glucans on intestinal health[J]. *Ernahrungs Umschau*, 2020, 67(3): 52–59.
- [82] BENINI L, CASTELLANI G, BRIGHENTI F, et al. Gastric emptying of a solid meal is accelerated by the removal of dietary fibre naturally present in food[J]. *Gut*, 1995, 36(6): 825–830.
- [83] YAN R, ANDREW L, MARLOW E, et al. Dietary fibre intervention for gut microbiota, sleep, and mental health in adults with irritable bowel syndrome: A scoping review[J]. *Nutrients*, 2021, 13(7): 2159.
- [84] 李莹杰, 陈莹. 食物因素在肠易激综合征中的研究进展[J]. *同济大学学报(医学版)*, 2019, 40(6): 884–889.
- LI Y J, CHEN Y. Research progress of food factors in irritable bowel syndrome[J]. *Journal of Tongji University (Medical Edition)*, 2019, 40(6): 884–889.
- [85] QUIGLEY E M M, FRIED M, GWEE K A, et al. World gastroenterology organisation global guidelines irritable bowel syndrome: A global perspective update September 2015[J]. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 2016, 50(9): 704–713.
- [86] MOAYYEDI P, QUIGLEY E M M, LACY B E, et al. The effect of fiber supplementation on irritable bowel syndrome: a systematic review and meta-analysis[J]. *Official Journal of the American College of Gastroenterology ACG*, 2014, 109(9): 1367–1374.
- [87] SINGH R, SALEM A, NANAVATI J, et al. The role of diet in the treatment of irritable bowel syndrome: a systematic review[J]. *Gastroenterology Clinics*, 2018, 47(1): 107–137.
- [88] BIJKERK C J, DE WIT N J, MURIS J W M, et al. Soluble or insoluble fibre in irritable bowel syndrome in primary care? Randomised placebo con-

- trolled trial[J]. *Bmj*, 2009, 170(8): 339.
- [89] GIANNINI E G, MANSI C, DULBECCO P, et al. Role of partially hydrolyzed guar gum in the treatment of irritable bowel syndrome[J]. *Nutrition*, 2006, 22(3): 334-342.
- [90] PARISI G C, ZILLI M, MIANI M P, et al. High-fiber diet supplementation in patients with irritable bowel syndrome (IBS): a multicenter, randomized, open trial comparison between wheat bran diet and partially hydrolyzed guar gum (PHGG)[J]. *Digestive Diseases and Sciences*, 2002, 47(8): 1697-1704.
- [91] GARG P. Inflammation in irritable bowel syndrome (IBS): Role of psyllium fiber supplementation in decreasing inflammation and physiological management of IBS[J]. *Turk J Gastroenterol*, 2021, 32(1): 108-110.
- [92] 祝利, 魏苏艳, 龚旭晨. 膳食纤维与便秘的关系研究进展[J]. *结直肠肛门外科*, 2010, 16(3): 193-195.
- ZHU L, WEI S Y, GONG X C. Research progress on the relationship between dietary fiber and constipation[J]. *Colorectal and Anal Surgery*, 2010, 16(3): 193-195.
- [93] 吴启富, 匡彪, 赵宁. 枯草杆菌二联活菌联合乳果糖治疗儿童功能性便秘远期疗效观察[J]. *药物评价研究*, 2016, 18(5): 290-293.
- WU Q F, KUANG B, ZHAO N. Observation on long-term efficacy of *Bifidobacterium subtilis* combined with lactulose in the treatment of functional constipation in children[J]. *Drug Evaluation Study*, 2016, 18(5): 290-293.
- [94] 李建中. 双歧杆菌四联活菌片联合莫沙必利对老年功能性便秘患者肠道功能改善及生活质量的影响[J]. *中国实用医刊*, 2017, 44(20): 30-32.
- LI J Z. Effects of *Bifidobacterium tetralogy* viable tablets combined with mosapride on intestinal function improvement and quality of life in elderly patients with functional constipation[J]. *Chinese Journal of Practical Medicine*, 2017, 44(20): 30-32.
- [95] 陈运培, 王勇. 小麦纤维联合低聚果糖治疗儿童功能性便秘的效果[J]. *临床医学*, 2021, 41(4): 108-109.
- CHEN Y P, WANG Y. Effect of wheat fiber combined with Fructooligosaccharide on functional constipation in children[J]. *Clinical Medicine*, 2021, 41(4): 108-109.
- [96] 殷忠义, 侍立峰, 张晓鹏, 等. 低聚果糖治疗功能性便秘的临床疗效分析[J]. *中西医结合心血管病电子杂志*, 2020, 8(11): 178.
- YIN Z Y, SHI L F, ZHANG X P, et al. Clinical efficacy of fructooligosaccharides in the treatment of functional constipation[J]. *Electronic Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine on Cardiovascular Disease*, 2020, 8(11): 178.
- [97] VANDEPUTTE D, FALONY G, VIEIRA-SILVA S, et al. Prebiotic inulin-type fructans induce specific changes in the human gut microbiota[J]. *Gut*, 2017, 66(11): 1968-1974.
- [98] YURRITA L C, MARTÍN I S M, CALLE-PURÓN M E, et al. Effectiveness of inulin intake on indicators of chronic constipation; a meta-analysis of controlled randomized clinical trials [J]. *Nutricion Hospitalaria*, 2014, 30(2): 244-252.
- [99] 张丽萍. 海带膳食纤维降脂减肥功效及作用机制研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2020.
- ZHANG L P. Study on lipid-lowering and weight-loss effect and mechanism of kelp dietary fiber[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2020.
- [100] 白冰瑶, 刘新愚, 周茜, 等. 红枣膳食纤维改善小鼠功能性便秘及调节肠道菌群功能[J]. *食品科学*, 2016, 37(23): 254-259.
- BAI B Y, LIU X Y, ZHOU X, et al. Jujube dietary fiber improves functional constipation and regulates intestinal flora in mice [J]. *Food Science*, 2016, 37(23): 254-259.
- [101] 朱婧, 马姗婕, 肖平波, 等. 来源于谷物的膳食纤维对肠道运动及症状影响的 Meta 分析[J]. *卫生研究*, 2015, 44(1): 1-7.
- ZHU J, MA S J, XIAO P B, et al. Meta analysis of the effects of dietary fiber from cereals on intestinal motility and symptoms[J]. *Health Research*, 2015, 44(1): 1-7.
- [102] USTUNDAG G, KULOGLU Z, KIRBAS N, et al. Can partially hydrolyzed guar gum be an alternative to lactulose in treatment of childhood constipation[J]. *Turk J Gastroenterol*, 2010, 21(4): 360-364.
- [103] ANTI M, PIGNATARO G, ARMUZZI A, et al. Water supplementation enhances the effect of high-fiber diet on stool frequency and laxative consumption in adult patients with functional constipation[J]. *Hepato-gastroenterology*, 1998, 45(21): 727-732.

- [104] LINDBERG G, HAMID S S, MALFERTHEINER P, et al. World Gastroenterology Organisation global guideline: constipation—a global perspective [J]. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 2011, 45(6): 483–487.
- [105] 丛丽敏, 董为为, 解傲, 等. 益生菌联合膳食纤维改善便秘[J]. *中国微生态学杂志*, 2016, 28(6): 632–638.
- CONG L M, DONG W W, XIE A, et al. Probiotics combined with dietary fiber to improve constipation[J]. *Chinese Journal of Microbiology*, 2016, 28(6): 632–638.
- [106] WONG C, HARRIS P J, FERGUSON L R. Potential benefits of dietary fibre intervention in inflammatory bowel disease [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17(6): 919.
- [107] BISCHOFF S C, BARBARA G, BUURMAN W, et al. Intestinal permeability—a new target for disease prevention and therapy [J]. *BMC Gastroenterology*, 2014, 14(1): 1–25.
- [108] 文友飞, 周旭春, 杨花花, 等. 膳食纤维与炎症性肠病关系的研究进展[J]. *东南大学学报(医学版)*, 2021, 40(1): 124–128.
- WEN Y F, ZHOU X C, YANG H H, et al. Research progress on the relationship between dietary fiber and inflammatory bowel disease[J]. *Journal of Southeast University (Medical Edition)*, 2021, 40(1): 124–128.
- [109] 曹峻菡, 林鹏程, 王艳峰, 等. 海藻膳食纤维改善炎症性肠病(IBD)的作用机制研究进展[J]. *食品与机械*, 2021, 37(6): 1–7.
- CAO J H, LIN P C, WANG Y F, et al. Research progress on the mechanism of seaweed dietary fiber improving inflammatory bowel disease (IBD)[J]. *Food and Machinery*, 2021, 37(6): 1–7.
- [110] 韦瑶. 可溶性膳食纤维联合粪菌移植对溃疡性结肠炎的治疗作用及其机制研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.
- WEI Y. Therapeutic effect of soluble dietary fiber combined with fecal bacteria transplantation on ulcerative colitis and its mechanism[D]. Nanjing: Nanjing University, 2016.
- [111] 于立平. 慢性结肠炎患者的有效配合治疗及合理饮食[J]. *科技创新与应用*, 2012, 2(4): 252.
- YU L P. Effective cooperative treatment and reasonable diet for patients with chronic colitis[J]. *Scientific and Technological Innovation and Application*, 2012, 2(4): 252.
- [112] GUARINO M P L, ALTOMARE A, BARERA S, et al. Effect of inulin on proteome changes induced by pathogenic lipopolysaccharide in human colon[J]. *PLoS One*, 2017, 12(1): e0169481.
- [113] FURRIE E, MACFARLANE S, KENNEDY A, et al. Synbiotic therapy (*Bifidobacterium longum*/Synergy 1) initiates resolution of inflammation in patients with active ulcerative colitis: a randomised controlled pilot trial[J]. *Gut*, 2005, 54(2): 242–249.
- [114] ANANTHAKRISHNAN A N, KHALILI H, KONIJETI G G, et al. A prospective study of long-term intake of dietary fiber and risk of Crohn's disease and ulcerative colitis[J]. *Gastroenterology*, 2013, 145(5): 970–977.
- [115] AMRE D K, D'SOUZA S, MORGAN K, et al. Imbalances in dietary consumption of fatty acids, vegetables, and fruits are associated with risk for Crohn's disease in children [J]. *Official Journal of The American College of Gastroenterology | ACG*, 2007, 102(9): 2016–2025.
- [116] SAKAMOTO N, KONO S, WAKAI K, et al. Dietary risk factors for inflammatory bowel disease A multicenter case-control study in Japan[J]. *Inflammatory Bowel Diseases*, 2005, 11(2): 154–163.
- [117] HANSEN T S, JESS T, VIND I, et al. Environmental factors in inflammatory bowel disease: a case-control study based on a Danish inception cohort[J]. *Journal of Crohn's and Colitis*, 2011, 5(6): 577–584.
- [118] 朱毓芬, 吴保锋, 田庆生. 膳食纤维的性质与作用[J]. *内蒙古科技与经济*, 2007, 11(19): 110–112.
- ZHU Y F, WU B F, TIAN Q S. Properties and functions of dietary fiber[J]. *Science, Technology and Economy of Inner Mongolia*, 2007, 11(19): 110–112.
- [119] SCHEPENS M A A, RIJNIERSE A, SCHONEWILLE A J, et al. Dietary calcium decreases but short-chain fructo-oligosaccharides increase colonic permeability in rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 2010, 104(12): 1780–1786.
- [120] 李东尧. 低聚糖对肠道轴向微生物代谢功能的影响及机制[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- LI D Y. Effect and mechanism of oligosaccharides on intestinal axial microbial metabolic function[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.

- [121] 陈彬睿. 低聚果糖对肠易激综合征小鼠内脏敏感性和肠道炎症的影响及机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- CHEN B Y. Effect and mechanism of fructooligosaccharides on visceral sensitivity and intestinal inflammation in mice with irritable bowel syndrome [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [122] SWENNEN K, COURTIN C M, DELCOUR J A. Non-digestible oligosaccharides with prebiotic properties[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2006, 46(6): 459-471.
- [123] DEN HOND E, GEYBENS B, GHOOS Y. Effect of high performance chicory inulin on constipation[J]. *Nutrition Research*, 2000, 20(5): 731-736.
- [124] KLEESSEN B, SYKURA B, ZUNFT H J, et al. Effects of inulin and lactose on fecal microflora, microbial activity, and bowel habit in elderly constipated persons[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1997, 65(5): 1397-1402.
- [125] HOAD C L, RAYMENT P, SPILLER R C, et al. In vivo imaging of intragastric gelation and its effect on satiety in humans[J]. *The Journal of Nutrition*, 2004, 134(9): 2293-300.
- [126] PICHE T, DES VARANNES S B, SACHER-HUVELIN S, et al. Colonic fermentation influences lower esophageal sphincter function in gastroesophageal reflux disease[J]. *Gastroenterology*, 2003, 124(4): 894-902.
- [127] PAUWELS A, ALTAN E, TACK J. The gastric accommodation response to meal intake determines the occurrence of transient lower esophageal sphincter relaxations and reflux events in patients with gastroesophageal reflux disease[J]. *Neurogastroenterology & Motility*, 2014, 26(4): 581-588.
- [128] WILDER - SMITH C H, MATERNA A, WERMELINGER C, et al. Fructose and lactose intolerance and malabsorption testing: the relationship with symptoms in functional gastrointestinal disorders[J]. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 2013, 37(11): 1074-1083.
- [129] MASUY I, VAN OUDENHOVE L, TACK J, et al. Effect of FODMAPS on gastric accommodation, upper GI motility and symptom generation in health and in IBS[J]. *Neurogastroenterology and Motility*, 2016, 28(9): 82-83.
- [130] MAJOR G, PRITCHARD S, MURRAY K, et al. Colon hypersensitivity to distension, rather than excessive gas production, produces carbohydrate-related symptoms in individuals with irritable bowel syndrome[J]. *Gastroenterology*, 2017, 152(1): 124-133.
- [131] GIBSON P R, HALMOS E P, MUIR J G. FODMAPS, prebiotics and gut health - the FODMAP hypothesis revisited[J]. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 2020, 52(2): 233-246.
- [132] 张灵, 丁雨, 林琳. 低 FODMAP 饮食在炎症性肠病患者中的应用——益处和风险[J]. *胃肠病学*, 2019, 24(1): 43-46.
- ZHANG L, DING Y, LIN L. Application of low FODMAP diet in patients with inflammatory bowel disease——benefits and risks [J]. *Gastroenterology*, 2019, 24(1): 43-46.
- [133] KNIGHT-SEPULVEDA K, KAIS S, SANTAOLALLA R, et al. Diet and inflammatory bowel disease[J]. *Gastroenterology & Hepatology*, 2015, 11(8): 511.
- [134] KAMPHUIS J B J, GUIARD B, LEVEQUE M, et al. Lactose and fructo-oligosaccharides increase visceral sensitivity in mice via glycation processes, increasing mast cell density in colonic mucosa [J]. *Gastroenterology*, 2020, 158(3): 652-663.
- [135] WILSON B, COX S R, WHELAN K. Challenges of the low FODMAP diet for managing irritable bowel syndrome and approaches to their minimisation and mitigation[J]. *Proceedings of The Nutrition Society*, 2021, 80(1): 19-28.
- [136] MARSH A, ESLICK E M, ESLICK G D. Does a diet low in FODMAPs reduce symptoms associated with functional gastrointestinal disorders? A comprehensive systematic review and meta-analysis[J]. *European Journal of Nutrition*, 2016, 55(3): 897-906.
- [137] CHUMPITAZI B P, HOLLISTER E B, OEZGUEN N, et al. Gut microbiota influences low fermentable substrate diet efficacy in children with irritable bowel syndrome[J]. *Gut Microbes*, 2014, 5(2): 165-175.
- [138] ESWARAN S L, CHEY W D, JACKSON K, et al. 821 a low FODMAP diet improves quality of life, reduces activity impairment, and improves sleep quality in patients with irritable bowel syndrome and diarrhea: Results from a US randomized, controlled trial[J]. *Gastroenterology*, 2016, 150(4): 172.
- [139] STAUDACHER H M, IRVING P M, LOMER M C

- E, et al. Mechanisms and efficacy of dietary FODMAP restriction in IBS [J]. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 2014, 11(4): 256–266.
- [140] ESWARAN S L, CHEY W D, HAN–MARKEY T, et al. A randomized controlled trial comparing the low FODMAP diet vs. modified NICE guidelines in US adults with IBS–D[J]. *Official Journal of The American College of Gastroenterology | ACG*, 2016, 111(12): 1824–1832.
- [141] VICI G, BELLI L, BIONDI M, et al. Gluten free diet and nutrient deficiencies: A review[J]. *Clinical Nutrition*, 2016, 35(6): 1236–1241.
- [142] ØSTGAARD H, HAUSKEN T, GUNDERSEN D, et al. Diet and effects of diet management on quality of life and symptoms in patients with irritable bowel syndrome[J]. *Molecular Medicine Reports*, 2012, 5(6): 1382–1390.
- [143] HALMOS E P, CHRISTOPHERSEN C T, BIRD A R, et al. Diets that differ in their FODMAP content alter the colonic luminal microenvironment[J]. *Gut*, 2015, 64(1): 93–100.
- [144] STAUDACHER H M, LOMER M C E, ANDERSON J L, et al. Fermentable carbohydrate restriction reduces luminal bifidobacteria and gastrointestinal symptoms in patients with irritable bowel syndrome [J]. *The Journal of Nutrition*, 2012, 142(8): 1510–1518.
- [145] 龚文. 低 FODMAP 饮食在肠易激综合征中的研究 [D]. 重庆: 重庆医科大学, 2019.
- GONG W. Study on low FODMAP diet in irritable bowel syndrome[D]. Chongqing: Chongqing Medical University, 2019.
- [146] PHILLIPS J, MUIR J G, BIRKETT A, et al. Effect of resistant starch on fecal bulk and fermentation–dependent events in humans[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1995, 62(1): 121–130.
- [147] 常晓. 膳食纤维好处多, 但别过量食用[J]. *人人健康*, 2021, 40(9): 57.
- CHANG X. Dietary fiber has many benefits, but don't eat too much[J]. *Everyone's Health*, 2021, 40(9): 57.
- [148] MAJOR G, PRITCHARD S, MURRAY K, et al. Colon hypersensitivity to distension, rather than excessive gas production, produces carbohydrate–related symptoms in individuals with irritable bowel syndrome[J]. *Gastroenterology*, 2017, 152(1): 124–133.
- [149] MAJOR G, MURRAY K, SINGH G, et al. Demonstration of differences in colonic volumes, transit, chyme consistency, and response to psyllium between healthy and constipated subjects using magnetic resonance imaging[J]. *Neurogastroenterology & Motility*, 2018, 30(9): e13400.
- [150] 张庆, 金少华. 膳食纤维的研究进展[J]. *安徽预防医学杂志*, 2000, 6(1): 76–77.
- ZHANG Q, JIN S H. Research progress of dietary fiber [J]. *Anhui Journal of Preventive Medicine*, 2000, 6(1): 76–77.

Research Progress on the Role of Dietary Fiber in Functional Gastrointestinal Disorders

Gong Lingxiao¹, Liu Feiyue¹, Fang Fang², Wang Jing^{1*}

(¹China–Canada Joint Lab of Food Nutrition and Health (Beijing), Key Laboratory of Geriatric Nutrition and Health (Beijing Technology and Business University), Ministry of Education, Beijing Technology & Business University (BTBU), Beijing 100048
²Shanghai Food Science and Technology School, Shanghai 201599)

Abstract As a functional food, dietary fiber plays a variety of physiological functions in the human body and is of great significance to maintain human health. Functional gastrointestinal diseases (FGIDs) are a group of functional gastrointestinal diseases that are chronic or recurrent without organic changes. It not only seriously affects the life quality of patients, but also increases their mental pressure and economic burden. In recent years, the potential role of dietary therapy in the treatment of FGIDs has attracted more and more attention. Increasing the intake of dietary fiber can prevent human gastrointestinal diseases and maintain gastrointestinal health. This paper reviews the research progress of dietary fiber in the prevention and treatment of FGIDs, we aim to provide new dietary therapy strategies for the prevention and treatment of FGIDs.

Keywords dietary fiber; functional gastrointestinal diseases; dietary intervention; FGIDs