

膳食纤维与肠道微生物及相关疾病的研究进展

李 淼, 刘 坤*, 郑丽贤, 戴一楠, 孙克娟, 高 婷

(河北医科大学第一医院, 石家庄 050031)

摘 要: 肠道微生物与人体长期共生, 且与人体健康和疾病密切相关, 膳食纤维通过改变肠道微生物的种类与数量, 间接影响其在肠道中的代谢产物, 进而影响人体的健康与疾病。肠道微生物与膳食纤维密切合作, 对人体健康的影响意义重大。本文介绍了膳食纤维的定义、膳食纤维的生理功能、膳食纤维的最适摄入量、肠道微生物及其生理功能、膳食纤维对肠道微生物的影响、膳食纤维及肠道微生物对肥胖、炎症、结直肠癌、妊娠合并症及心脑血管疾病的影响, 为通过调整膳食纤维治疗疾病的实践提供参考。

关键词: 肠道微生物; 膳食纤维; 疾病

Research progress of dietary fiber and intestinal microorganism and related diseases

LI Miao, LIU Kun*, ZHENG Li-Xian, DAI Yi-Nan, SUN Ke-Juan, GAO Ting

(The First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050031, China)

ABSTRACT: Intestinal microorganisms coexist with human body for a long time and are closely related to human health and disease. Dietary fiber affects its metabolites in the intestinal tract by changing the type and quantity of intestinal microorganisms, and then affects human health and disease. The close cooperation between intestinal microorganisms and dietary fiber is of great significance to human health. This paper introduced the definition of dietary fiber, the physiological function of dietary fiber, the optimal intake of dietary fiber, intestinal microorganisms and their physiological functions, the effect of dietary fiber on intestinal microorganisms, reviewed the effects of dietary fiber and intestinal microorganisms on obesity, inflammation, colorectal cancer, pregnancy complications and CCVD, so as to provide reference for the practice of disease treatment by adjusting dietary fiber.

KEY WORDS: intestinal microorganisms; dietary fiber; diseases

0 引 言

肠道是人体最大的消化器官, 寄生着数以亿计的细菌。肠道微生物之间相互制约、相互依存, 与宿主形成了一种共生共赢的生态^[1-2]。肠道微生物的形成与环境、饮食和药物等因素有关, 一般可将肠道微生物分为 3 大类: 有益菌、中性菌和有害菌。菌群失调则会影响宿主的生长、发育和疾病, 也可能影响药物治疗的效果^[3]。

膳食纤维被称为“第七大营养素”, 可以通过调控肠道

微生物及其代谢物, 影响各类疾病的发展, 另外膳食纤维可以提高胰岛素的敏感性, 调控机体血糖水平, 此外还可以调节免疫系统, 增强免疫细胞活性。有研究团队分析了能促进糖尿病治疗的 15 种膳食纤维发现, 膳食纤维可增加患者体内特定的肠道有益菌群, 从而产生更多的短链脂肪酸。89% 的糖尿病病人糖化血红蛋白指标和空腹血糖与餐后血糖指数都有明显下降^[4]。

膳食纤维与肠道微生物的研究越来越受到重视, 国际上学者用于解释膳食纤维调控菌群、保护肠道的理论越

*通信作者: 刘 坤, 主管护师, 主要研究方向为肠道健康。E-mail: 20767768@qq.com

*Corresponding author: LIU Kun, Nurse, Hebei Medical University, Shijiazhuang 710021, China. E-mail: 20767768@qq.com

来越丰富。肠道微生物对不同类型膳食纤维的利用能力不同,对机体的影响也不尽相同。本文就膳食纤维与肠道微生物及相关疾病的研究进行了讨论,旨在更好地了解三者的关系,为相关疾病的预防与治疗提供参考依据。

1 膳食纤维及其生理功能

1.1 膳食纤维

1953 年首次提出膳食纤维一词,将其定义为植物细胞壁中不易消化的成分^[5]。目前膳食纤维是指在小肠中不易被消化和吸收,可在大肠中发酵,具有生理学效应的可食用植物性成分、碳水化合物及其相似物质的总称^[6]。膳食纤维主要包括非淀粉多糖、抗性低聚糖和其他碳水化合物,还包括纤维素和半纤维素、木质素等物质相互连接形成的复合成分。根据其溶解性,膳食纤维可分为可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)和不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF),其中可溶性膳食纤维又包括黏性可溶性纤维和非黏性可溶性纤维;根据其发酵性,膳食纤维可分为部分发酵纤维和完全发酵纤维。膳食纤维的发酵作用,可促进结肠有益菌群的增殖,调节肠道 pH,维持肠道生态环境。部分发酵纤维不能完全在肠道中发酵,因为其分子间和分子内氢键连接形成的微纤维,对微生物的降解利用有阻碍作用^[7]。

1.2 膳食纤维的生理功能

膳食纤维可以加速食物通过胃肠道的时间,同时增加粪便量,有促进结肠发酵和降低血总胆固醇水平的作用。此外,膳食纤维还可降低餐后血糖和胰岛素水平。研究表明^[8],可溶性膳食纤维在肠道内呈溶液,有较好的持水力,肠道细菌酵解后产生乙酸、丙酸、丁酸等短链脂肪酸,降低了肠道内环境的 pH,从而起到刺激肠黏膜的作用。可溶性膳食纤维被肠道微生物发酵后的气体也能促进肠蠕动,使粪便的排出速度加快。不溶性膳食纤维具有较强的吸水力和溶胀性,不易被酶消化,不易被肠道内微生物酵解,从而可形成较多的固体食物残渣,增加粪便的质量和体积,使粪便柔软,易于排出,防止便秘的发生。总的来说,不溶性膳食纤维可使肠道产生机械蠕动作用,可溶性纤维则更多地发挥代谢功能,影响机体对可利用碳水化合物和脂类的代谢。

1.3 膳食纤维的最适摄入量

膳食纤维有益于人体健康,但摄入过多又将影响人体对维生素和矿物质的吸收。中国居民膳食纤维的适宜摄入量为:低能量膳食(1800 kcal)的膳食纤维摄入量为 25 g/d,中等能量膳食(2400 kcal)的膳食纤维摄入量为 30 g/d,高能量膳食(2800 kcal)的膳食纤维摄入量为 35 g/d^[9]。国际生命科学会专家推荐量为 10 g/1000 kcal;英

国卫生部建议,健康饮食中膳食纤维的摄入量为 18 g/d;美国有关专家委员会认为膳食纤维的摄入量为 20~30 g/d。且专家认为适宜的膳食纤维摄入比为,不可溶性膳食纤维 70%~75%,可溶性膳食纤维 25%~30%^[9]。

2 肠道微生物及其生理功能

2.1 肠道微生物

人体胃肠道中的微生物数量约有数十万亿个,是人体细胞数量的 10 倍,肠道微生物的基因组中包括约 300 万个基因,是人类基因组的 150 倍^[10]。人类肠道宏基因组计划建立了人体微生物信息目录,将人体肠道微生物分为 3 种肠型:细菌型、普雷沃氏菌型和瘤胃球菌型^[11]。肠道微生物与机体形成了共生关系,微生物受益于营养丰富的肠道环境,同时微生物群可调节机体多种生物功能,维持能量稳态和免疫系统调节等^[12]。正常的肠道菌可分解日常摄入食物的残渣,结合胆汁进行生物转化,合成某些维生素。肠道益生菌可产生细菌素、过氧化氢等具有广谱抗菌作用的物质,对肠道内的大肠埃希菌和沙门菌等均有抑菌或杀菌作用^[13-14]。

2.2 肠道微生物的生理功能

肠道是人体第一大免疫系统,肠道微生物对免疫系统的形成起着至关重要的作用。有研究证明^[15-16],肠道内的双歧杆菌与免疫系统的形成密切相关。双歧杆菌能降解亚硝酸铵,抑制癌症的发生,同时激活 B 淋巴细胞和巨噬细胞,具有抗衰老、抗肿瘤及提高黏膜的局部免疫等作用。某些乳酸菌能改变粪便中 β -葡萄糖醛酸苷酶等酶系的活力,起到抗癌作用。有研究表明^[17-18],菌群失调小鼠的抗病毒免疫功能受损,且巨噬细胞中干扰素的表达也会较少。

3 膳食纤维对肠道微生物的影响

不同类型的膳食纤维对肠道微生物的影响不尽相同。一方面,膳食纤维对肠道微生物及其代谢会产生影响。果胶及果胶类物质对肠道微生物具有明显地调节作用,果胶低聚糖与羟基自由基反应生成了二氧化碳自由基阴离子,显著抑制了大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长^[19]。VOGTL 等^[20]研究证明,菊粉型果聚糖的聚合度决定了其对免疫细胞的免疫作用,以及对肠上皮细胞屏障功能的影响。聚合度高的菊粉能抑制自身免疫型糖尿病的发展,增加了非肥胖糖尿病小鼠菌丝体硬壁菌门和拟杆菌的比例,增加了瘤胃菌科和乳酸菌的数目,从而增加了机体的深度抗炎特性。

另一方面,膳食纤维对肠道微生物的组成比例及数量也会产生影响。张松等^[21]给小鼠喂食富含膳食纤维的饮食后,发现其体内的瘤胃菌科、螺杆菌科和肠球菌科的代

表性菌群有所增加,而萨特氏菌科、乳杆菌科和红蜡杆菌科的数量有所减少。燕麦 β -葡聚糖的摄入可增加机体内乳酸杆菌和双歧杆菌的数量,降低肠杆菌科的数量^[22]。抗性淀粉可促进放线菌、青春双歧杆菌和狄氏副拟杆菌数量的增加,提高布氏瘤胃球菌和直肠真杆菌的比例,同时减少厚壁菌门的数量。膳食纤维可调节肠道 pH,改善有益菌的繁殖环境,从而避免肥胖的发生。Paturig 等^[23]在对超重人群的研究中发现,抗性淀粉可提高实验者体内直肠真杆菌和布氏瘤胃球菌比例。

4 膳食纤维及肠道微生物对疾病的影响

4.1 膳食纤维及肠道微生物对肥胖的影响

长期高膳食纤维饮食,可以增加有益肠道微生物的比例,增加肠道微生物的丰富度和生物多样性,从而预防肥胖。膳食纤维具有延缓消化、降低小肠吸收等作用,可改善血糖,对肥胖的发生和预防有重要的作用。邢树文等^[24]研究表明,人体摄入的食物纤维大部分不能被肠道消化,而被送入大肠中,肠道内细菌产生的消化酶将其分解产生少量的泛酸,对肠道微生物的数量和种类都具有一定的调节作用。足量的膳食纤维会使肠道内双歧杆菌数量增加,有助于 B 族维生素的合成。双歧杆菌在大肠内迅速繁殖可抑制腐生细菌的生长。THOMPSON 等^[25-26]研究表明,摄入更多富含膳食纤维的食物可降低女性体重,与体力活动水平和脂肪摄入量无关。可溶性纤维可治疗和预防肥胖,其可使受试者体质指数降低、平均体重下降、体脂减少。

肥胖患者肠道内的菌群组成随着体重变化而变化。LEY 等^[27]研究发现,与肥胖小鼠相比,体重正常的野生小鼠盲肠菌群组成中厚壁菌门的比重更大,但拟杆菌门的数量降低了 50%。肠道微生物会影响肥胖者对食物能量的提取。术后体重降低的肥胖者体内的柔嫩梭菌群与炎症标记物呈负相关。研究认为 Roux-en-Y 胃绕道减肥手术,可以诱导肠道微生物产物的生成,在维持低体重的同时降低患者糖尿病和心血管疾病的风险^[28]。

4.2 膳食纤维及肠道微生物对炎症的影响

人体内脂肪组织堆积会引起肥胖,也与炎症反应密切相关。脂肪细胞能分泌多种因子,引起一系列炎症反应^[29-30]。肠道微生物与炎症息息相关,肠道微生物可维持肠道的通透性,避免产生炎症反应。LIN 等^[31]研究发现,由于肠道通透性的改变而产生的免疫信号通路激活,可导致低级别的炎症反应。膳食纤维可改善肠道微生态,增加胰高血糖素样肽 2 的表达,该物质能够调节肠道细胞的增殖以及机体对疾病状态的适应性,缓解肥胖者机体的炎症反应。CANI 等^[32]发现高膳食纤维可显著降低小鼠的体重,使机体脂肪量减少,降低白细胞介素 6 的水平。韩俊娟等^[33-34]研究发现,从香菇等食用真菌中提取的膳食

纤维的多糖组分,可以增加巨噬细胞的数量,刺激抗体的产生,从而达到提高人体免疫能力的生理功能。膳食纤维是乙酰辅酶 A 的主要来源,其与脂类合成和细胞膜合成有关。在饮食中加入膳食纤维,可改善术后病人的营养,提高机体免疫力。

肠道细菌的比例和数量对炎症疾病的反应都有影响。肠道微生物对众多疾病均有影响,BYNDLOSS 等^[35-36]发现,肠道细菌消化膳食纤维产生的副产物,可以协助肠道细胞维持肠道健康。炎症疾病与肠道微生物的组成和代谢潜存在相关性。ARTHUR 等^[37]研究认为,肠道细菌能够产生短链脂肪酸,是体内抵抗潜在传染因子的搭档。

4.3 膳食纤维及肠道微生物对结直肠癌的影响

膳食纤维可促进肠道蠕动,增加粪便体积,减少了结肠与致癌物的接触。膳食纤维产生的丁酸可抑制肿瘤细胞分化并诱导其凋亡、抑制癌变结肠黏膜细胞增殖、诱导谷胱甘肽转化酶合成,从而发挥抗癌作用。临床实验证实,膳食纤维能抑制腐生菌生长,有益微生物可利用其产生的短链脂肪酸生长。不溶性膳食纤维中的植酸、阿魏酸对癌症的形成有抑制作用^[37]。赵成^[38]研究表明,不溶性膳食纤维对胃肠道黏膜具有一定的保护作用,膳食纤维可改善口腔及牙齿功能、降低龋齿和牙周炎的发病率,增加口腔肌肉咀嚼的机会,进而使口腔功能得到改善。

食物在消化道中需要肠道微生物处理,但不同个体对食物成分的转化吸收不同,这种差异与肠道微生物种类及相关的酶有关。HIROKI 等^[39]研究发现肠道微生物本身会编码一些酶,增加了肠道微生物的可消化物。肠道中的产粪甾醇真细菌能将胆固醇分解为不能被人体吸收的粪甾醇,而随着粪便排出体外。

4.4 膳食纤维及肠道微生物对妊娠合并症的影响

预防妊娠合并症是围产保健的重点,妊娠期合并症与孕妇肠道微生物失衡有密切关系。影响孕妇肠道微生物种类和数量的因素众多,包括饮食、益生菌、药物以及抗生素等^[40]。妊娠期补充益生菌有助于减少孕妇肥胖和糖尿病的发生,降低腹型肥胖的发生率,并减少新生儿代谢综合征的发生^[41]。LUNDGREN 等^[42]研究证实,肠道微生物通过影响免疫功能和营养代谢,从而影响孕妇的健康。益生菌可以调节孕妇肠道微生物,产生有益代谢产物,调节机体的免疫应答,提高免疫能力。补充益生菌可缓解孕妇泌尿生殖道感染等多系统症状,还可减少婴儿湿疹和幼儿过敏性疾病的发生。

妊娠期糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)可导致子痫前期、早产、巨大儿和低出生体重儿的发生^[43-44]。GDM 患者的血糖异常与肠道微生物中的厚壁菌、拟杆菌和放线菌门的丰度改变有关。孕妇的胃肠道微生物在整个怀孕期都会发生变化,细菌种类随胎龄的增加而增加。在

妊娠过程中, 孕妇肠道中的变形杆菌和放线菌增加, 同时产丁酸菌减少, 微生物丰富度降低^[45-47]。ILMONEN 等^[48]学者发现补充益生菌可改善母亲的血糖水平及对胰岛素的敏感性, 对于 GDM 孕妇的血糖控制起到显著作用。另有研究表明益生菌可调节 GDM 患者肠道微生物, 有利于孕妇血糖、血脂的恢复, 使患者不良妊娠结局的发生率降低^[49]。妊娠期肠道微生物的干预为预防妊娠合并症的发生, 以及减少不良妊娠结局提供了新的思路。

4.5 膳食纤维及肠道微生物对心脑血管疾病的影响

心脑血管疾病是世界的第一大疾病, 2017 年全球死于心血管疾病的人数约为 1730 万, 占全球死亡总数的 30%, 预计到 2030 年, 全球死于冠心病和中风等心脑血管疾病的人数将达到 2030 万人^[50]。膳食纤维的摄入量与心血管病的发病率和死亡率关系密切。MATHERS 等^[51]研究表明, 膳食纤维的每日摄入量增加 7 g, 心脑血管疾病的风险可降低 9%。另外来自哈佛大学的研究也表明^[52], 水果蔬菜的摄入有利于降低患冠心病的风险, 绿叶蔬菜、十字花科蔬菜类、薯类的摄入可使女性冠心病发病风险分别降低 30%、24%和 22%。膳食纤维的摄入量与血压有密切联系。郑钜圣等^[53]在一项包含 24 项随机安慰剂对照研究的分析中发现, 素食者患高血压的风险显著低于非素食者。其原因可能与实验者在摄入膳食纤维的同时, 也摄入了较多的镁、钾以及多不饱和脂肪酸有关。膳食纤维降低心脑血管疾病风险的作用机制为: 可溶性膳食纤维和黏性膳食纤维在消化道内形成凝胶, 维持机体的饱腹感, 延缓胃排空, 此外可以清洁消化道壁, 增强消化功能, 减缓消化速度。同时膳食纤维也会影响小肠内营养物质的吸收, 减缓餐后血糖和血脂的升高速度, 有助于控制血糖和血清胆固醇^[54-55]。

肠道微生物在机体新陈代谢和免疫力等方面扮演重要角色, 与心脑血管疾病之间也存在相关性。肠道微生物的改变与动脉粥样硬化、血脂异常、高血压和心力衰竭有关, 主要通过微生物的代谢产物以及免疫功能影响心脑血管疾病。肠道微生物的代谢产物如胆汁酸、短链脂肪酸、脂多糖等可以改变机体的新陈代谢, 从而影响身体功能。曹杨琳等^[56]研究发现小鼠模型中的微生物的移植, 会影响其动脉粥样硬化的易感性, 幽门螺杆菌、巨细胞病毒、肺炎衣原体等都与动脉粥样硬化有关。肠道微生物群及其代谢产物的改变与高血压和血管功能障碍有关。中风和短暂性脑缺血患者的肠道微生物发生了改变, 其肠道内的肠杆菌、巨球菌和脱硫弧菌明显异于正常人, 此外肠道微生物也会导致血脂成分发生实质性变化, 从而影响冠状动脉疾病的发展^[57-58]。

5 结束语

膳食纤维与肠道微生物有着密切联系, 对人体健康

与疾病有重要影响。膳食纤维通过调控肠道微生物的种类与数量, 间接调控其代谢物, 对人体健康产生影响; 肠道微生物又可以反作用于机体对膳食纤维的消化吸收。膳食纤维与肠道微生物对肥胖、炎症、结直肠癌、妊娠合并症及心脑血管疾病等都有直接影响。通过调整膳食结构, 预防和治疗相关疾病的希望将会越来越大。

参考文献

- [1] 石鼎, 李兰娟. 人体微生态与感染性疾病的研究进展[J]. 生命科学, 2017, 29(7): 624-629.
SHI D, LI L J. Research progress of human microecology and infectious diseases [J]. Life Sci, 2017, 29 (7): 624-629.
- [2] 严人, 江慧勇, 李兰娟. 人体微生态与健康 and 疾病[J]. 微生物学报, 2017, 57(6): 793-805.
YAN R, JIANG HY, LI L J. Human microecology and health and disease [J]. Acta Microbiol Sin, 2017, 57(6): 793-805.
- [3] WANG YL, WANG BH, WU JF, *et al.* Modulation of gut microbiota in pathological states [J]. Engineering, 2017, 3(1): 83-89.
- [4] POUTANEN KS, FISZMAN S, MARSAUX CFM, *et al.* Recommendations for characterization and reporting of dietary fibers in nutrition research [J]. Am J Clin Nutr, 2018, 100(3): 437-444.
- [5] HIPSLEY EH. Dietary "fibre" and pregnancy toxemia [J]. Br Med J, 1953, 2(4833): 420-422.
- [6] FULLERS, BECKE, SALMAN H, *et al.* New horizons for the study of dietary fiber and health: A review [J]. Plant Foods Human Nutr, 2016, 71(1): 1-12.
- [7] LARSSON E, TREMAROLI V, LEE YS, *et al.* Analysis of gut microbial regulation of host gene expression along the length of the gut and regulation of gut microbial ecology through MyD88 [J]. Gut, 2012, 61(8): 1124-1131.
- [8] 孙海燕, 杨梦凡, 郝丹青, 等. 膳食纤维的研究现状[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(6): 238-242.
SUN HY, YANG MF, HAO DQ, *et al.* Research status of dietary fiber [J]. Preserv Process, 2019, 19(6): 238-242.
- [9] 程音. 膳食纤维的物理作用及其生理功能[J]. 安阳工学院学报, 2020, 19(2): 33-35.
CHENG Y. Physical function and physiological function of dietary fiber [J]. J Anyang Instit Technol, 2020, 19(2): 33-35.
- [10] RAJILI SM, DEVOSW M. The first 1000 cultured species of the human gastrointestinal microbiota [J]. FEMS Microbiol Rev, 2014, 38(5): 996-1047.
- [11] 王新明, 杨静, 肖林, 等. 肠道微生物与慢性疾病研究进展[J]. 生物产业技术, 2018, (3): 87-93.
WANG XM, YANG J, XIAO L, *et al.* Research progress of intestinal microorganisms and chronic diseases [J]. Biotechnology, 2018, (3): 87-93.
- [12] 吴国军. 以微生物基因组为核心探究肠道菌群、饮食与人体健康的互作[D]. 上海: 上海交通大学, 2017.
WU GJ. Exploring the interaction among intestinal flora, diet and human health with microbial genome as the core [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2017.
- [13] XU J, CHEN HB, LI SL. Understanding the molecular mechanisms of the interplay between Herbal medicine and gut microbiota [J]. Med Res Rev,

- 2017, 1: 1–46.
- [14] 陈秀琴, 黄小洁, 石达友, 等. 中药与肠道菌群相互作用的研究进展[J]. 中草药, 2014, 45(7): 1031–1036.
- CHEN XQ, HUANG XJ, SHI DY, *et al.* Research progress of interaction between traditional Chinese medicine and intestinal flora [J]. Chin Herbal Med, 2014, 45(7): 1031–1036.
- [15] MAROUN JA, ANTHONY LB, BLAIS N, *et al.* Prevention and management of chemotherapy-induced diarrhea in patients with colorectal cancer: A consensus statement by the Canadian working group on chemotherapy-induced diarrhea [J]. Curr Oncol, 2007, 14(1): 13–20.
- [16] TAKESHI I, PANG IK. Microbiota regulates immune defense against respiratory tract influenza A virus infection [J]. PNAS, 2011, 108(13): 5354–5359.
- [17] 汤齐, 高霞, 耿婷, 等. 肠道菌群与中药相互作用的研究进展[J]. 中草药, 2017, 48(17): 3629–3637.
- TANG Q, GAO X, GENG T, *et al.* Research progress of interaction between intestinal flora and traditional Chinese medicine [J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2017, 48(17): 3629–3637.
- [18] MICHAEL CA, LISA CO, LAUREL AM, *et al.* Commensal bacteria calibrate the activation threshold of innate antiviral immunity [J]. Immunity, 2012, 37(1): 158–170.
- [19] MARTINO VJ, KRSTI M, SPASIS, *et al.* Apple pectin derived oligosaccharides produce carbon dioxide radical anion in Fenton reaction and prevent growth of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* [J]. Food Res Int, 2017, 100(2): 132–136.
- [20] VOGTL M, MEYERD, PULLENSG, *et al.* Toll like receptor 2 activation by $\beta 2 \rightarrow 1$ -fructans protects barrier function of T84 human in test inalepi the lialcells in a chain length dependent manner [J]. J Nutr, 2014, 144(7): 1002–1008.
- [21] 张松, 苏永平, 李涛, 等. 膳食纤维的功能特性及在食品领域的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17): 214–218.
- ZHANG S, SU YP, LI T, *et al.* Functional properties of dietary fiber and its research progress in food field [J]. Food Res Dev, 2018, 39(17): 214–218.
- [22] BERER K, MARTINEZI, WALKER A, *et al.* Dietary nonfermentable fiber prevents autoimmune neurological disease by changing gut metabolic and immune status [J]. Sci Reports, 2018, 8(1): 10–31.
- [23] PATURIG, BUTTSC A, STOKLOSINSKI, *et al.* Short term feeding of fermentable dietary fibers influences the gut microbiota composition and metabolic activity in rats [J]. Int J Food Sci Technol, 2017, 52(12): 2572–2581.
- [24] 邢树文, 焦德志. 膳食纤维与肠道细菌对人体的影响[J]. 高师理科学刊, 2003, 23(5): 15.
- XING SW, JIAO DZ. Effects of dietary fiber and intestinal bacteria on human body [J]. J Sci Normal Univ, 2003, 23(5): 15.
- [25] THOMPSON SV, HANNON BA, AN R, *et al.* Effects of isolated soluble fiber supplementation on body weight, glycemia and insulinemia in adults with overweight and obesity: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Am J Clin Nutr, 2017, 106(6): 1514–1528.
- [26] 董吉林, 王雷. 膳食纤维对肠道微生物及机体健康影响的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2019, (1): 36–40.
- DONG JL, WANG L. Research progress on the effect of dietary fiber on intestinal microflora and human health [J]. Food Feed Ind, 2019, (1): 36–40.
- [27] LEY RE, TURNBAUGH PJ, KLEIN S, *et al.* Microbial ecology: Human gut microbes associated with obesity [J]. Nature, 2006, 444(122): 1022–1023.
- [28] HOTAMISLIGIL GS, PERALDI P, BUDAVARI A, *et al.* IRS-1-mediated inhibition of insulin receptor tyrosine kinase activity in TNF and obesity-induced insulin resistance [J]. Science, 1996, 271(2): 666–668.
- [29] 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 SY, ZOU YX. Research progress of dietary fiber regulating lipid metabolism through intestinal microecological pathway [J]. Food Sci, 2019, 40(3): 338–347.
- [30] 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 molecular weight of cellulose on intestinal flora [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [31] LIN HV, FRASSETTO A, KOWALIK EJ, *et al.* Butyrate and propionate protect against diet-induced obesity and regulate gut hormones via free fatty acid receptor 3-independent mechanisms [J]. PLoS One, 2012, 7(4): e35240.
- [32] CANI PD, POSSEMIERS S, VANDE-WIELE T, *et al.* Changes in gut microbiota control inflammation in obese mice through a mechanism involving GLP-2-driven improvement of gut permeability [J]. Gut, 2009, 58(8): 1091–1103.
- [33] 韩俊娟, 木泰华, 张柏林. 膳食纤维生理功能的研究现状[J]. 食品科学, 2008, (6): 243–245.
- HAN JJ, MU TH, ZHANG BL. Research status of physiological function of dietary fiber [J]. Food Sci, 2008, (6): 243–245.
- [34] SATOSHI I, SEIJI T, HONG X, *et al.* Fermentable dietary fiber potentiates the localization of immune cells in the rat large intestinal crypts [J]. Exp Biol Med, 2004, 229: 876–884.
- [35] BYNDLOSS MX, OLSAN EE, RIVERA C, *et al.* Microbiota-activated PPAR- γ signaling inhibits dysbiotic Enterobacteriaceae expansion [J]. Science, 2017, 357(6351): 570–575.
- [36] CANI PD. Gut cell metabolism shapes the microbiome [J]. Science, 2017, 357(6351): 548–549.
- [37] ARTHUR S, TRACI M, YIKYUNG P. Dietary fiber and whole-grain consumption in relation to colorectal cancer in the NIH-AARP diet and health study [J]. Am J Clin Nutr, 2007, 85: 1353.
- [38] 赵成. 肠道菌群研究促进膳食纤维的应用[J]. 肠外与肠内营养, 2019, 26(1): 8–9.
- ZHAO C. Study on intestinal flora to promote the application of dietary fiber [J]. Parent Enteral Nutr, 2019, 26(1): 8–9.
- [39] HIROKI T, KIMIO SA, TSUKASA M, *et al.* Morita small intestinal mucins are secreted in proportion to the settling volume in water of dietary indigestible components in rats [J]. J Nutr, 2005, 35: 2431–2437.
- [40] BILLIONNET C, MITANCHEZ D, WEILL A, *et al.* Gestational diabetes and adverse perinatal outcomes from 716, 152 births in France in 2012 [J]. Diabetologia, 2017, 60(4): 636–644.
- [41] KUANG YS, LU JH, LI SH, *et al.* Connections between human gut microbiome and gestational diabetes mellitus [J]. Gigascience, 2017, 6(8): 1–11.

- 1-12.
- [42] LUNDGREN SN, MADAN JC, EMOND JA, *et al.* Maternal diet during pregnancy is related with the infant stool microbiome in a delivery mode-dependent manner [J]. *Microbiome*, 2018, 6(1): 109.
- [43] 王字卉, 李权伦, 殷卓, 等. 妊娠期糖尿病患者肠道菌群、细胞免疫功能及炎症因子变化[J]. *中国微生态学杂志*, 2018, 30(5): 584-587, 597.
- WANG ZH, LI QL, YIN Z, *et al.* Changes of intestinal flora, cellular immune function and inflammatory factors in patients with gestational diabetes mellitus [J]. *Chin J Microbiol*, 2018, 30(5): 584-587, 597.
- [44] 张崇媛, 王文蓉, 何秋敏, 等. 妊娠期糖尿病患者重要肠道菌群的特征分析及其与炎症因子的相关性研究[J]. *中国糖尿病杂志*, 2017, 25(4): 320-324.
- ZHANG CY, WANG WR, HE QM, *et al.* Characteristics of important intestinal flora in patients with gestational diabetes mellitus and its correlation with inflammatory factors [J]. *Chin J Diabet*, 2017, 25 (4): 320-324.
- [45] 刘昌孝. 肠道菌群与健康、疾病和药物作用的影响[J]. *中国抗生素杂志*, 2018, 43(1): 1-14.
- LIU CX. Effects of intestinal flora on health, disease and drug action [J]. *Chin J Antibiot*, 2018, 43(1): 1-14.
- [46] KOREN O, GOODRICH JK, CULLENDER TC, *et al.* Host remodeling of the gut microbiome and metabolic changes during pregnancy [J]. *Cell*, 2012, 150(3): 470-480.
- [47] 吴祝如, 杨惠芬, 梁丽红, 等. 妊娠期糖尿病合并妊娠期高血压疾病患者的血清学指标特征分析[J]. *中国妇幼健康研究*, 2017, 28(2): 154-155, 170.
- WU ZR, YANG HF, LIANG LH, *et al.* Serological characteristics of patients with gestational diabetes mellitus complicated with gestational hypertension [J]. *China Maternal Child Health Res*, 2017, 28(2): 154-155, 170.
- [48] LUNDGREN IJ, ISOLAURI E, POUSSA T, *et al.* Impact of dietary counselling and probiotic intervention on maternal anthropometric measurements during and after pregnancy: A randomized placebocontrolled trial [J]. *Clin Nutr (Edinb Scotl)*, 2011, 30: 156-164.
- [49] HASAN S, AHO V, PEREIRA P, *et al.* Gut microbiome in gestational diabetes: across-sectional study of mothers and offspring 5 years post-partum [J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2018, 97(1): 38-46.
- [50] 秦奎. 我国心脑血管疾病监测现状与发展[J]. *应用预防医学*, 2020, 26(3): 265-268.
- QIN K. Current situation and development of cardiovascular and cerebrovascular disease monitoring in China [J]. *Appl Prevent Med*, 2020, 26(3): 265-268.
- [51] MATHERS CD, LONCAR D. Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030 [J]. *PLoS Med*, 2006, 3(11): e442.
- [52] THREAPLETON DE, GREENWOOD DC, EVANS CEL. Dietary fibre intake and risk of cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis [J]. *BMJ*, 2013, 347: f6879.
- [53] 郑钜圣, 韩冬, 寿天星, 等. 膳食纤维与心血管疾病[J]. *浙江预防医学*, 2011, 23(10): 24-27.
- ZHENG JS, HAN D, SHOU TX, *et al.* Dietary fiber and cardiovascular disease [J]. *Zhejiang Prev Med*, 2011, 23(10): 24-27.
- [54] 冯焱, 魏思昂, 王雷, 等. 膳食纤维摄入与心血管疾病风险相关性的Meta分析[J/OL]. *中国食物与营养*: 1-7[2020-09-19]. <https://doi.org/10.19870/j.cnki.11-3716/ts.20200911.001>.
- FENG Y, WEI SA, WANG L, *et al.* Meta analysis of the correlation between dietary fiber intake and cardiovascular disease risk [J/OL]. *Chinese Food Nutr*: 1-7 [2020-09-19]. <https://doi.org/10.19870/j.cnki.11-3716/ts.20200911.001>.
- [55] 龚珊珊, 张继超, 马淑静, 等. 膳食纤维和常见危险因素对社区脑梗死发病的影响[J]. *中国临床医生杂志*, 2020, 48(2): 174-177.
- GONG SS, ZHANG JC, MA SJ, *et al.* Effects of dietary fiber and common risk factors on the incidence of cerebral infarction in community [J]. *Chin J Clin*, 2020, 48(2): 174-177.
- [56] 曹杨琳, 杨剑峰, 何杨. 肠道微生物群在血栓形成及心脑血管疾病中的研究进展[J]. *现代检验医学杂志*, 2018, 33(3): 162-164.
- CAO YL, YANG JF, HE Y. Research progress of intestinal microbiota in thrombosis and cardiovascular and cerebrovascular diseases [J]. *J Mod Lab Med*, 2018, 33(3): 162-164.
- [57] JONSSON AL, BACKHED F. Role of gut microbiota in atherosclerosis [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2017, 14(2): 79-87.
- [58] KAZEMIAN N, MAHMOUDI M, HALPERIN F, *et al.* Gut microbiota and cardiovascular disease: Opportunities and challenges [J]. *Microbiome*, 2020, 8(1): 36.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

李 淼, 主管护师, 主要研究方向为肠道健康。

E-mail: limiao2020yd@163.com

刘 坤, 主管护师, 主要研究方向为肠道健康。

E-mail: 20767768@qq.com