

膳食纤维对妊娠期糖尿病影响的研究进展

李淑敏¹, 宋志英^{2*}

¹山西医科大学第二临床医学院, 山西 太原

²山西省儿童医院(山西省妇幼保健院)产科, 山西 太原

收稿日期: 2023年5月5日; 录用日期: 2023年5月28日; 发布日期: 2023年6月7日

摘要

妊娠期糖尿病(GDM)是妊娠期特有的并发症, 发病率高, 不仅影响母婴健康, 还可增加围产并发症及子代成年后患2型糖尿病的风险。膳食纤维(DF)作为膳食补充剂可调节肠道菌群、促进肠道蠕动, 改善糖耐量异常, 还能减轻胰岛素抵抗和糖尿病慢性并发症。大量研究发现DF可改善GDM孕妇的糖代谢和胰岛素抵抗, 提高新生儿质量。本文就DF对GDM的肠道菌群、孕期增重及缓解胰岛素抵抗的作用进行综述, 以期为临床防治妊娠期糖尿病提供参考。

关键词

膳食纤维, 妊娠期糖尿病, 胰岛素抵抗, 肠道菌群

Research Progress on the Effect of Dietary Fiber on Gestational Diabetes Mellitus

Shumin Li¹, Zhiying Song^{2*}

¹The Second Clinical Medical College of Shanxi Medical University, Taiyuan Shanxi

²Obstetrics Department, Shanxi Provincial Children's Hospital (Shanxi Provincial Maternal and Child Health Care Hospital), Taiyuan Shanxi

Received: May 5th, 2023; accepted: May 28th, 2023; published: Jun. 7th, 2023

Abstract

Gestational diabetes mellitus (GDM) is a unique complication of pregnancy with a high incidence. It not only affects maternal and infant health, but also increases perinatal complications and the risk of type 2 diabetes in the offspring in adulthood. Dietary fiber (DF) as a dietary supplement can regulate intestinal flora, promote intestinal motility, improve abnormal glucose tolerance, and reduce insulin resistance and chronic complications of diabetes. A large number of studies have

*通讯作者。

found that DF can improve glucose metabolism and insulin resistance in pregnant women with GDM and improve newborn quality. This article reviewed the effects of DF on intestinal flora of GDM, weight gain during pregnancy and insulin resistance, in order to provide reference for clinical prevention and treatment of gestational diabetes.

Keywords

Dietary Fiber, Gestational Diabetes Mellitus, Insulin Resistance, Intestinal Flora

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

妊娠期糖尿病(GDM)是指孕产妇在妊娠期首次出现的糖耐量异常,是产科常见的并发症之一,其发病率呈逐渐升高趋势[1]。高血糖可能引起小血管广泛病变从而诱发妊娠期高血压疾病,对全身各脏器官可能会有不同程度的损害,增加孕妇剖宫产率;此外,还可能导致羊水过多、巨大儿、早产、新生儿低血糖、胎儿宫内缺氧等严重危害母婴健康[2]。有研究追踪发现,GDM 孕妇未来发生 2 型糖尿病的风险显著高于正常孕妇,其后代出现肥胖、糖尿病等代谢性疾病的风险也显著增加[3]。如何安全高效防治 GDM 成为产科工作的重要领域,有研究指出孕期增加富含纤维食物的摄入有助于降低 GDM 发生率及围产期不良风险。

膳食纤维(dietary fiber, DF)作为一种 DF 与蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质和水被统称为七大营养素,DF 也是一种纯天然的“肠道清道夫”,它可清理体内毒素,促进肠道蠕动,改善便秘,抑制体重增加,还能调节血糖水平[4]。本文就 DF 对 GDM 的肠道菌群、孕期增重及缓解胰岛素抵抗的作用进行综述,以期临床防治妊娠期糖尿病提供参考。

2. 膳食纤维概述

2.1. 膳食纤维的定义

早在 1953 年, Hipsley 首先提出了“膳食纤维”的概念,并在 2001 年被美国的谷物化学协会(American Association of Cereal Chemists, AACC)界定为能够抵抗人体小肠的消化吸收,在人体大肠能部分或全部发酵的可食用的植物性成分、碳水化合物及其相类似物质的总和[5],包括多糖、寡糖、木质素及相关的植物物质。DF 与蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质和水被统称为七大营养素,《中国居民膳食指南(2022)》推荐每天摄入 25~30 克的膳食纤维,我们可以从燕麦、大麦、果蔬、全谷物、坚果类等食物中获得。

根据 DF 在水中的溶解性不同,DF 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)两大类。SDF 是一种由果胶、瓜尔胶、可溶性半纤维素等组成的食品纤维,它是一种可以溶解于水的食物纤维,主要存在于水果、燕麦、大麦和一些豆类中;IDF 是一种不溶于水的、包括半纤维素、纤维素、木质素等食物纤维,不能被大肠中微生物酵解,是植物细胞壁的重要组成部分,主要来源于全谷类食品[6]。

2.2. 膳食纤维的结构及理化特性

膳食纤维是一种非极性的多糖成分,与碳水化合物和蛋白质一样,都是由多个氨基酸以 α -1,4 糖苷键

结合成的高分子化合物, 因此在理化特性和生物学性质上与碳水化合物有很大差异[7]。

2.2.1. 水合特性

膳食纤维分子表面的亲水基团(如羟基、羧基等)的数量以及致密的多孔网状结构与其持水能力及膨胀能力密切相关, 当膳食纤维的比面积和亲水基团增加时, 其水合特性可相应改善。由于其良好的水化性, 使得食品在消化道中吸收膨胀, 增大了食物的容积, 增加了身体的饱胀感, 减少了食欲, 因而膳食纤维被广泛应用于减肥产品中[8], 在结肠中增加粪便含水量软化粪便, 从而防治便秘[9]。比如, 具有类似于直链淀粉的化学结构的纤维素, 含有大约几千个葡萄糖。人体内的淀粉酶只能水解 α -1,4 糖苷键, 而不能水解 β -1,4 糖苷键。所以, 人体消化道中的酶无法消化纤维素。纤维素是一种亲水的物质, 能在消化道中吸收大量的水份。

2.2.2. 吸附能力

膳食纤维结构松散, 比表面积大, 极性基团多, 对食物纤维的吸附性能较好。进入胃肠道的葡萄糖、胆汁酸、胆固醇等被膳食纤维吸附并随之排出体外, 防止人体对这些物质过量吸收, 对于防治糖尿病、高脂血症等有重要意义; 此外, DF 还可以吸附铅离子、亚硝酸盐等有害物质, 对人类健康大有裨益[6]。例如半纤维素, 一种含有许多糖基的多糖, 它的主要分子是木聚糖、半乳聚糖或阿拉伯糖和半乳糖。在人体的大肠中, 半纤维素容易被细菌所降解, 并且具有结合离子的功能。半纤维素中的一些成份可以溶解, 而在谷物中溶解的半纤维素叫做戊聚糖, 能产生粘性的水溶液, 并能减少血液中的胆固醇[10]。

2.2.3. 发酵特性

体内缺少 DF 代谢的消化酶, 未消化的 DF 进入结肠, 通过肠道微生物发酵生成短链脂肪酸(SCFA), 包括乙酸盐(约占 20%), 丙酸盐(约占 20%)和丁酸盐(约占 10%), 且 DF 能够有选择性地富集 SCFA 产生菌[11], 改善肠道微生态, 具有减轻胰岛素抵抗, 抗炎、抗氧化和抗癌等重要功能。大多数 SDF 更易发酵, 产生更高水平的 SCFA, 目前已被广泛用作益生元。

3. 膳食模式在防治 GDM 的研究进展

妊娠期糖尿病(Gestational diabetes mellitus, GDM)治疗的重点在于合理的控制血糖趋于生理状态, 避免血糖出现忽高忽低的状况, 减少由于因高血糖对母婴产生的不良影响。最近几年, 人们开始重视通过改变膳食结构来控制 GDM, 因为它可以降低对胎儿的伤害。改变膳食结构能有效地改善 GDM 的糖代谢, 增加胰岛素敏感性, 从而有效地防治 GDM。不过, GDM 患者对饮食有很高的要求, 所以大多数 GDM 患者都需要合理的饮食, 才能保持正常的血糖。还要注意孕妇和胎儿的营养均衡, 防止餐后出现高血糖、饥饿性低血糖等现象, 避免酮症的发生, 从而使孕妇的体重在孕期控制在合理范围。因此, 在 GDM 妊娠妇女中, 如何有效地开展膳食干预是一个值得关注的问题。GDM 是一种慢性疾病, 需要长期管理, 对孕产妇和胎儿的健康都有影响。因此, 我们需要在妊娠期间提供全面、均衡的营养。地中海饮食模式以低 GI 为特点, 主要强调大量食用植物性食物, 适量食用鱼类、禽类制品, 少量食用动物性、高脂肪的加工食品, 富含丰富的单不饱和脂肪酸、膳食纤维、抗氧化剂(如维生素 E 和多酚类)和抗炎成分, 这些关键成分已被证明有助于预防糖尿病[12]。近期一项招募了 98 名孕妇的研究显示[13], 与对照组相比, 给予 DF 补充剂组孕妇 GDM 发生率显著降低(24.0% VS 2.4%), 且给予 DF 补充剂组的平均空腹血糖明显低于干预前, DF 组的孕妇孕期体重增加明显低于对照组。然而不同类型和剂量的膳食纤维补充剂在防治 GDM 中的疗效仍存在争议。Sun 等[14]纳入 8 项试验的 Meta 分析显示, 额外的 DF 补充剂显著降低了空腹血糖、餐后两小时血糖、糖化血红蛋白、TC、TG 和 LDL-C; 还显著降低了早产、剖宫产、胎儿窘迫和新生儿体重; 不溶性膳食纤维在降低空腹血糖方面比可溶性膳食纤维更有效; 每天 ≥ 12 g 纤维在改善

血糖脂质和妊娠结局方面可能比 < 12 g/天更有效, 但差异无统计学意义。苗苗等[15]的研究表明, 在传统的药物营养疗法的基础上, 配合使用菊粉类果聚糖, 可以有效地改善妊娠妇女的糖脂代谢。

4. 膳食纤维防治 GDM 的机制

4.1. DF 水合特性在 GDM 中的机制

孕期肥胖、增重过多是 GDM 发生的两个重要危险因素, 而 GDM 患者的 BMI 普遍较高。Najafi F 等[16]研究发现, 孕前 BMI 每增加 1 kg/m^2 , 患 GDM 风险可上升 14%, 证名孕前 BMI 与 GDM 具有相关性。Torloni 等[17]对过去 30 年间关于产前 BMI 与 GDM 发病风险之间的关联性研究进行了荟萃分析, 共纳入 70 项研究发现, 与正常的产前 BMI 相比, 体重过轻的女性发生的风险降低 25%, 而超重、中度肥胖和病理性肥胖的女性发生的风险分别增加 97%、201%和 455%。产前 BMI 每增加 1 kg/m^2 , GDM 发生风险增加 0.92%。合理控制孕期体重成为目前防治 GDM 的重要环节, 营养治疗是 GDM 治疗的重要成分。

医学营养疗法(medical nutrition therapy, MNT)是治疗 GDM 的基础, 提高膳食中 DF 的含量是 MNT 控制 GDM 的一个重要手段。随着近几年对 DF 理化特性的深入研究发现, DF 良好的水合特性在增加饱腹欲和控制体重方面起着至关重要的作用, 进而延缓或治疗 GDM。Zhang 等[18]的研究采用 Cox 比例风险分析和线性混合效应回归方法对 9317 名女性进行了调查, 结果显示, 在怀孕前、妊娠早期或妊娠中期 DF 摄入量高的女性, GDM 风险降低了 1%、17%和 18%; 此外, 妊娠期间 DF 摄入量的减少与 FPG、HbA1C 和 HOMA-IR 等不良并发症发展独立相关($P < 0.03$)。

关于 DF 良好的水合特性如何在防治 GDM 中发挥作用, 主要包括以下几方面: 1) 产生饱腹感, 控制体重: DF 具有极高的黏度和水化能力, 良好的水化能力使得食物逐渐水化达到高黏度, 例如魔芋葡甘露聚糖可吸收高达其重量 100 倍的水[19], 增加食糜的黏度和体积, 吸水增大的食糜进入胃占据胃容积, 增加饱腹感, 黏性增加的食糜可延缓胃排空从而传递出饱腹感信号, 这对于控制食欲和减少热量是有效的。此外, DF 吸水形成的黏性凝胶团, 可以减低营养物质在胃肠道内的扩散速率, 从而改善 GDM。2) 促进食欲调节肽的释放: DF 优良的水合作用导致食糜在胃肠道内存在时间延长, 未被消化吸收的营养物质到达小肠远端, 刺激 L 细胞分泌胰高血糖素样肽-1 (glucagon like peptide-1, GLP-1)。GLP-1 是一种由小肠远端、直肠和结肠的 L 细胞分泌的肠源性激素, 是肠-胰岛轴的重要介质, 具有抑制胰岛 β 细胞凋亡, 促进胰岛 β 细胞生成及分化, 提高胰岛 β 细胞功能, 刺激胰岛素分泌和释放等生理功能, 进而延缓甚至逆转 2 型糖尿病的发展, 并且有研究表明 GLP-1 具有促胰液素的作用, 可抑制肠道中 α -葡萄糖苷酶的活性, 进而降低餐后血糖[20]。

4.2. DF 吸附特性在 GDM 中的机制

DF 的降血糖特性还体现在葡萄糖吸附能力(Glucose adsorption capacity, GAC), 主要反映在其对葡萄糖扩散和吸收过程中的阻碍作用, 阻止葡萄糖在肠粘膜细胞中吸收, 进而阻断餐后血糖升高, 改善糖代谢, 并对胰岛素抵抗起到保护作用。李菁等[21]对豆渣纤维进行了研究, 结果表明, 各豆渣 DF 对葡萄糖具有一定的吸附作用, 随着葡萄糖浓度的增加, 其吸附性能也随之增加; DF 改性后的 DF 具有较小的粒径、较大的孔隙率和表面积, 且 DF 的结构更加疏松, 并能提高 DF 的毛细管作用, 并能使 DF 与葡萄糖分子发生亲和吸附, 抑制其自由扩散。DF 不但能利用自身的生理功能限制葡萄糖的吸收, 还能抑制 α -淀粉酶的消化作用, 降低葡萄糖的生成, 降低餐后血糖[22]。

4.3. DF 发酵特性在 GDM 中的机制

DF 的发酵特性对于调控机体糖脂代谢、改善 GDM 胰岛素抵抗等尤为重要。DF 的摄入可以促进肠道屏障功能的增强, 改善肠道微生态, 尤其促进双歧杆菌、产丁酸菌等有益菌群生长, 肠道菌群作为宿

主胃肠道中的重要构成部分, 调节人体的代谢和免疫功能, 对人体健康起着至关重要的作用, 孕期的饮食结构是影响其肠道微生态的重要因素。

2012年 Koren 等[23]采集不同孕前 BMI 的孕妇粪便首次提出, 随着孕周增长双歧杆菌、变形杆菌和产乳酸菌增加, 产丁酸菌减少, 妊娠晚期肠道菌群 α 多样性下降(即个体内菌群多样性), 而 β 多样性增高(即个体间菌群多样性), 并且肠道菌群的失调与胰岛素抵抗、炎症反应、体重增加有直接联系。此后多项研究显示, 这种差异在 GDM 中更加显著, 王蕾蕾[24]的研究发现, GDM 孕妇的拟杆菌门数量明显增加, 乳杆菌、芽孢杆菌、产丁酸菌、双歧杆菌和奇异菌均有明显降低; 在饮食中添加富含 DF 的燕麦, 罗氏杆菌、瘤胃菌科等菌群的丰度增加, 梭形芽孢杆菌等含量降低; 燕麦干预对降低餐后血糖以及维持血糖稳定有显著作用, 对 GDM 孕妇的妊娠期结果没有明显的影响, 但可以抑制其体重的增加。Mie 等[25]的研究显示, 与正常血糖孕妇相比, GDM 妇女的肠道菌群在门和属水平均存在异常, 门水平的放线菌(Actinobacteria)和属水平的科林斯菌(Collinsella)、罗斯菌(Rothia)和脱硫弧菌(Desulfovibrio)的丰度较高, 并且既往有 GDM 的女性在产后 8 个月的肠道菌群仍存在异常。Zhao 等[26]通过进行一项随机对照临床研究发现, 一套以膳食纤维为主、辅以益生元和中药的药食同源食品通过极大地富集了乙酸和丁酸的产生菌, 改善患者的肠道菌群结构和功能, 并使 SCFAs、GLP-1 和 PYY 的产生上调, 显著降低 2 型糖尿病患者炎症水平, 改善糖尿病症状。

DF 的发酵特性在防治 GDM 的机制主要包括以下几方面:

1) DF 被肠道微生物降解产生 SCFA: SCFA 能保持血糖稳定, 降低宿主的胰岛素抵抗, 而厚壁和拟杆菌门则是主要参与肠内 SCFA 产生的主要微生物群[26]。肠粘膜中的 SCFA 被输送到肠上皮细胞, 另一些被用来保持肠道的稳定状态; 另外一些则被转移到各个器官组织, 并通过激活 G 蛋白偶联受体(G protein-coupled receptors, GPCRs)的活性或抑制组蛋白脱乙酰化酶(histone deacetylase, HDAC)的活性而发挥生物学作用[27]。研究发现, GPR41、GPR43 在胰岛 β 细胞中表达较高, SCFA 经肠道吸收后, 与 GPR41/43 结合后, 不但能抑制 HDAC 活性从而促进胰岛 β 细胞的增殖, 提高其血糖稳定, 还能激活 cAMP 依赖性蛋白激酶 A, 从而诱导胰岛 β 细胞产生胰岛素, 从而提高胰岛素在肝内的血糖代谢[28]。高 DF 饮食可促进乙酸、丁酸的生成, 提高肝脏对葡萄糖的耐受力, 降低糖化血红蛋白水平, 从而延缓 2 型糖尿病的发生。

2) 增加有益菌数量: 研究已证实, 多食用含有丰富的果聚糖的食品, 促进肠道中的双歧杆菌的生长, 其作用机理与双歧杆菌可增强肠上皮完整性, 改善肠道屏障, 从而预防代谢性内毒素血症有关[29]。大量的研究表明, GDM 病人的肠道中的双歧杆菌、乳酸杆菌数量减少, 肠通透性增强, 内毒素脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)通过肠壁血管进入血液循环, 并与 Toll 样受体 4 (Toll-like receptor 4, TLR4)结合, 激活 TLR4-NF- κ B 信号传导途径, 诱导靶细胞产生大量炎症因子(IL-6, IL-8, TNF- α), 从而引起 β 细胞受损, 胰岛素分泌减少[30]。双歧杆菌、乳酸杆菌是体内主要的益生菌, 在维持人体健康、促进人体新陈代谢、增强人体免疫能力方面起着重要作用。

5. 总结与展望

GDM 的患病率呈逐年上升的趋势, 其并发症严重危害母婴健康, 对于 GDM 的防治是临床工作的重要内容, 胰岛素目前作为临床上治疗 GDM 的首选药物, 其对于孕妇和胎儿仍不排除有潜在的风险, 且并未能减低巨大儿、剖宫产等不良孕产结局的发生。目前已有大量的研究证明, DF 在降低肥胖妇女 GDM 患病率、改善 GDM 的不良妊娠结局方面具有一定的意义, 但是, 目前我国人均膳食纤维摄入量远远低于中国营养协会建议的每日 25~30 克。近几年, 膳食纤维食品的发展迅猛, 包括面制品、乳制品、肉类等, 为今后制订合理的膳食营养计划提供依据。

此外, 肠道菌群是人体的重要组成部分, 对人体的营养、代谢、免疫都有一定的作用, 但是目前关于 DF 通过改善肠道微生态来控制 GDM 的机制及有效性尚在初级阶段, 对此进行更为深入的探索将会为 GDM 的治疗提供更全面、有效的理论基础和治疗方法。

基金项目

山西省妇幼保健院院内基金(201809)。

参考文献

- [1] Ye, W.R., Luo, C., Huang, J., Li, C.L., Liu, Z.X. and Liu, F.K. (2022) Gestational Diabetes Mellitus and Adverse Pregnancy Outcomes: Systematic Review and Meta-Analysis. *BMJ*, **377**, e067946. <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-067946>
- [2] Szmuiłowicz, E.D., Josefson, J.L. and Metzger, B.E. (2019) Gestational Diabetes Mellitus. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, **48**, 479-493. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2019.05.001>
- [3] 王彬苏, 周秋明, 盛望望, 等. 中国妊娠期糖尿病危险因素及妊娠结局的调查分析[J]. 中国医刊, 2019, 54(9): 1014-1019.
- [4] 王浩, 崔敬悦, 李红丽, 等. 膳食纤维的来源及应用进展研究[J]. 农业科技与装备, 2021(6): 92-93.
- [5] Tan, J.K., Macia, L. and Mackay, C.R. (2022) Dietary Fiber and SCFAs in the Regulation of Mucosal Immunity. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **151**, 361-370. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2022.11.007>
- [6] 陈思妤, 焦叶, 崔波, 等. 膳食纤维理化特性及其改性方法研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(5): 234-240.
- [7] 张帅, 郭晓雪, 任丽琨, 杨杨, 范婧, 刘琳琳, 俞德慧, 武娜, 刘宝祥, 张娜. 酶法改性影响膳食纤维的构成及生物作用效果的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1089-1098.
- [8] Makki, K., Deehan, E.C., Walter, J. and Bäckhed, F. (2018) The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host & Microbe*, **23**, 705-715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>
- [9] Ho, K.-S., Tan, C., You, M., Mohd Daud, M.A., and Seow-Choen, F., *et al.* (2012) Stopping or Reducing Dietary Fiber Intake Reduces Constipation and Its Associated Symptoms. *World Journal of Gastroenterology*, **18**, 4593-4596. <https://doi.org/10.3748/wjg.v18.i33.4593>
- [10] Okrathok, S. and Khempaka, S. (2019) Modified-Dietary Fiber FROM Cassava Pulp Reduces Abdominal Fat and Meat Cholesterol Contents without Affecting Growth Performance of Broiler Chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, **29**, 229-239. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.10.009>
- [11] McRorie Jr., J.W. and McKeown, N.M. (2016) Understanding the Physics of Functional Fibers in the Gastrointestinal Tract: An Evidence-Based Approach to Resolving Enduring Misconceptions about Insoluble and Soluble Fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, **117**, 251-264. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.021>
- [12] 刘凯琳, 郭倩倩, 姜宏卫, 李利平. 妊娠期糖尿病饮食模式的现状及进展[J]. 实用临床医药杂志, 2022, 26(23): 129-133.
- [13] Zhang, D.-Y., Cheng, D.-C., Cao, Y.-N., *et al.* (2022) The Effect of Dietary Fiber Supplement on Prevention of Gestational Diabetes Mellitus in Women with Pre-Pregnancy Overweight/Obesity: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Pharmacology*, **13**, Article 922015. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.922015>
- [14] Sun, J.H., Wang, J.J., Ma, W.Q., Miao, M. and Sun, G.J. (2022) Effects of Additional Dietary Fiber Supplements on Pregnant Women with Gestational Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Studies. *Nutrients*, **14**, Article No. 4626. <https://doi.org/10.3390/nu14214626>
- [15] 苗苗, 张悦, 穆娟, 戴永梅. 菊粉型果聚糖对妊娠期糖尿病孕妇糖脂代谢的影响[J]. 江苏预防医学, 2021, 32(2): 153-156.
- [16] Najafi, F., Hasani, J., Izadi, N., *et al.* (2019) The Effect of Prepregnancy Body Mass Index on the Risk of Gestational Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis. *Obesity Reviews*, **20**, 472-486. <https://doi.org/10.1111/obr.12803>
- [17] Torloni, M.R., Betrán, A.P., Horta, B.L., *et al.* (2009) Prepregnancy BMI and the Risk of Gestational Diabetes: A Systematic Review of the Literature with Meta-Analysis. *Obesity Reviews*, **10**, 194-203. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2008.00541.x>
- [18] Zhang, X., Gong, Y.H., Della Corte, K., *et al.* (2021) Relevance of Dietary Glycemic Index, Glycemic Load and Fiber Intake before and during Pregnancy for the Risk of Gestational Diabetes Mellitus and Maternal Glucose Homeostasis.

-
- Clinical Nutrition*, **40**, 2791-2799. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.03.041>
- [19] 袁永凯, 徐菲菲, 刘飞, 等. 增稠可溶膳食纤维在减肥/控重领域的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(12): 32-40.
- [20] 徐丹. 2型糖尿病肠道菌群失调和 GLP-1 研究进展[J]. 新疆中医药, 2018, 36(3): 110-112.
- [21] 李菁, 吴聪聪, 叶沁, 等. 不同处理方法对豆渣膳食纤维结构和降血糖性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(15): 178-184.
- [22] Zheng, Y.J. and Li, Y. (2018) Physicochemical and Functional Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L) Cake Dietary Fibres: Effects of Cellulase Hydrolysis, Acid Treatment and Particle Size Distribution. *Food Chemistry*, **257**, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.012>
- [23] Koren, O., Goodrich, J.K., Cullender, T.C., et al. (2012) Host Remodeling of the Gut Microbiome and Metabolic Changes during Pregnancy. *Cell*, **150**, 470-480. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.07.008>
- [24] 王蕾蕾. 燕麦对妊娠期糖尿病孕妇肠道菌群的影响[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2019.
- [25] Crusell, M.K.W., Hansen, T.H., Nielsen, T., et al. (2018) Gestational Diabetes Is Associated with Change in the Gut Microbiota Composition in Third Trimester of Pregnancy and Postpartum. *Microbiome*, **6**, Article No. 89. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0472-x>
- [26] Zhao, L.P., Zhang, F., Ding, X.Y., et al. (2018) Gut Bacteria Selectively Promoted by Dietary Fibers Alleviate Type 2 Diabetes. *Science*, **359**, 1151-1156. <https://doi.org/10.1126/science.aao5774>
- [27] 郭慧慧, 申浩然, 韩燕星, 蒋建东. 短链脂肪酸: 肠-器官轴调控疾病的信号使者[J]. 药学学报, 2023, 58(3): 593-604.
- [28] González Hernández, M.A., Canfora, E.E., Jocken, J.W.E. and Blaak, E.E. (2019) The Short-Chain Fatty Acid Acetate in Body Weight Control and Insulin Sensitivity. *Nutrients*, **11**, Article No. 1943. <https://doi.org/10.3390/nu11081943>
- [29] Uusitupa, H.-M., Rasinkangas, P., Lehtinen, M.J., et al. (2020) *Bifidobacterium animalis* Subsp. *lactis* 420 for Metabolic Health: Review of the Research. *Nutrients*, **12**, Article No. 892. <https://doi.org/10.3390/nu12040892>
- [30] John, C.M., Mohamed Yusof, N.I.S., Abdul Aziz, S.H. and Fauzi, F.M. (2018) Maternal Cognitive Impairment Associated with Gestational Diabetes Mellitus-A Review of Potential Contributing Mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, **19**, Article No. 3894. <https://doi.org/10.3390/ijms19123894>