

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.04.006

# 粮油加工副产物在微生物群导向型食品研发中的应用潜力

韩伟, 谭云, 张云鹏, 罗小红, 苗海江, 陈园, 庄绪会, 邹海杰, 陈红娟

(国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

**摘要:** 人体肠道上皮附着着数以亿计的菌群, 它们是人体健康和生理功能实现的参与者, 也是大健康概念所涵盖的一个重要靶点。到目前为止, 补充益生元仍是调节肠道菌群和促进有益菌群生长的有效手段之一。粮油加工副产物产量大, 种类丰富, 且其中很多成分可被寄居人体的肠道菌群利用, 是优质益生元的来源之一, 亦是“微生物群导向型食品”开发中重要的物质基础与原料来源。

**关键词:** 粮油加工副产物; 益生元; 益生菌; 肠道菌群; 微生物群导向型食品

中图分类号: TS209 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)04-0030-06

## Application potential of grain and oil processing by-products in research of microbial-oriented food

HAN Wei, Tan Yun, ZHANG Yun-peng, LUO Xiao-hong, MIAO Hai-jiang, CHEN Yuan, ZHUANG Xu-hui, ZOU Hai-jie, CHEN Hong-juan

(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037)

**Abstract:** Hundreds of millions of bacteria adhere to human intestinal epithelium, which are the participants of human health and physiological functions, and also an important target covered by the concept of comprehensive health. So far, the supplementation of prebiotics remains are still one of the effective means to regulate intestinal microbiota and promote the growth of beneficial microbes. The by-products of grain and oil processing are abundant in variety and yield, and many of them can be utilized by human intestinal microbiota, which are one of the sources of high-quality prebiotics, and also the important material basis and raw material source in the development of “microbial-oriented food”.

**Key words:** by-products of grain and oil processing; prebiotics; probiotics; intestinal microflora; microbial-oriented food

我国是粮食生产大国, 亦是粮油加工副产物(后简称“粮油副产物”)的生产大国。每年粮油副产物总产量约为当年粮食生产量的 1/7~1/5。例如, 我国的稻谷年产量高达 2 亿 t 以上, 加工副产品包括稻壳约 4000 万 t、碎米约 2000 万 t、米糠约 1500 万 t。粮油副产物中功能性成分同样十分丰富, 包括生理活性化学成分、(医疗、保健和

营养功能性成分等)生化活性成分和具有物理化学功能的成分等<sup>[1]</sup>。与粮食一样, 粮油副产物中的很多成分可被人体直接利用, 如淀粉、必需氨基酸、可溶性糖醇等, 而仍有很多成分尽管无法被人体直接消化吸收, 但它们却是益生菌和肠道原著菌群偏好的食物来源, 如低聚糖、膳食纤维等。这一本质性特点为粮油副产物的价值挖掘提供了一个明确“靶点”。

### 1 粮油副产物组成和功能

粮油副产物主要包括麸皮、稻壳、米糠、油

收稿日期: 2019-01-14

作者简介: 韩伟, 1983 年出生, 男, 副研究员。

通讯作者: 谭云, 1965 年出生, 女, 副研究员。

料皮壳、饼粕、油脚和皂脚及脱臭馏出物<sup>[2]</sup>及其他加工废渣废液等,其功能成分可归纳为:淀粉、膳食纤维、色素、多糖、酚类化合物、黄酮类化合物、蛋白质、氨基酸、肽、多肽、微量元素、脂肪酸、磷脂、蜡质、甾醇、维生素、皂甙和矿物质等多种生物活性物质<sup>[1]</sup>。

很多常见的粮油副产物,因其特殊组分的存在,对于人与动物健康有着不同的功能和价值。米糠可作为肠息肉患者的化学预防干预手段<sup>[3]</sup>。米糠甾醇能够显著提高大鼠淋巴细胞的增殖能力和巨噬细胞的吞噬百分率与吞噬指数,提高免疫功能<sup>[4]</sup>。富  $\gamma$ -氨基丁酸有效改善肥胖大鼠的氧化应激水平,清除体内多余自由基,提高总抗氧化能力,改善机体的肝脏代谢功能<sup>[5]</sup>。麦麸阿魏酰聚糖诱导氧化应激大鼠蛋白表达水平,上调氧化酶 mRNA 表达水平,提高抗氧化酶活性和谷胱甘肽含量,降低 DNA 氧化损伤,提高机体抗氧化功能<sup>[6]</sup>。大豆多糖不但具有一般膳食纤维所具有的功能,比如:促进肠道蠕动、减肥、降低血压、降低血清胆固醇以及甘油三酯水平、降低血糖、提升高密度脂质蛋白、降低低密度脂质蛋白以及预防某些癌症等外,还能调节胃肠中微生物营养的平衡和类胆固醇的代谢以及抑制免疫血清中脂质的氧化<sup>[7-8]</sup>。过去被认为是抗营养因子的生物活性物质,如胰蛋白酶抑制剂<sup>[9]</sup>、植酸<sup>[10]</sup>等,近年来也认为其具有特殊的生物学活性和生理功能,是对人体有益的物质。

## 2 肠道菌群与健康

人体肠道中栖居着细菌约有  $10^{13}\sim 10^{14}$  个,约人体细胞总数的 1.3 倍<sup>[11]</sup>。它们中的大多数参与宿主的营养利用、抗感染、免疫系统成熟和代谢等<sup>[12-13]</sup>。

### 2.1 肠道菌群与健康的相关性

肠道微生物群与机体互作构成了一个微生态平衡体系,这个体系的紊乱会导致机体长期低度慢性炎症,进而会导致各种疾病的发生;人体代谢及免疫反应的失衡,又进一步加剧了肠道微生物群的紊乱,最终导致疾病状态下的肠道微生物群紊乱谱,这些菌谱被称之为致病共栖菌谱

(pathobionts),不仅仅指细菌的紊乱,其中还包括其他肠道微生物(古菌、真菌、病毒和原生生物)所构成的紊乱谱<sup>[14]</sup>。例如,黏液相关微生物可以将聚糖转化为短链脂肪酸,提供能量给结肠细胞和其他肠上皮细胞;由于紧连宿主关系,它们可能比腔体内微生物发挥着更重要的通讯和免疫系统完善方面的作用;还可阻止病原菌在上皮细胞表面定植<sup>[15]</sup>。结肠内寄居的一些黏液相关微生物与炎症性肠病、肥胖、孤独症、酒精肝、结肠炎、II 型糖尿病、I 型糖尿病等疾病均有密切关系<sup>[16-23]</sup>。

### 2.2 肠道菌群与健康的重要干预者——益生菌

益生菌,ISAPP 于 2013 年给出了与 FAO/WHO 基本一致的定义:给予一定数量且对宿主健康有益的活体微生物。同时特别强调,传统发酵食品、粪菌移植和死的微生物及其代谢产物、非活体微生物产品都被排除在益生菌框架之外<sup>[24]</sup>。益生菌对人类健康有益,一方面,肠道微生物影响人的能量代谢,饮食和医学治疗对肠道微生物群构成影响较大;另一方面,微生物群构成也影响化疗和放疗的效果,微生物群构成决定了葡萄糖响应,可以据此设计个性化的饮食,摄入膳食纤维影响肠道微生物群构成<sup>[14]</sup>。如表 1 所示,益生菌与宿主的疾病和健康存在着明显的相关关系。

目前,我国允许在食品和饲料中添加的益生菌菌种各 35 个种(见表 2 和表 3),主要分布于厚壁菌门、放线菌门、变形菌门、子囊菌门和半知菌门。值得注意的是,肠道菌群中其他主要的“门”分类,即拟杆菌门、梭杆菌门和疣微菌门,却未见常用的益生菌菌株;而其中的拟杆菌属(*Bacteroides*),梭菌属(*Clostridium*)和阿克曼菌属(*Akkermansia*)也是最有可能成为“下一代益生菌”的菌属<sup>[40]</sup>。

## 3 微生物群导向型食品

肠道菌群和益生菌的生存自然是需要“食物”的。人类膳食的一部分经过微生物群的生物转化,“喂饱了”微生物同时,支撑着人体的营养与代谢,并与免疫系统互作,影响着人体对环境因素的反应。

表 1 益生菌与宿主健康关系

益生菌	对宿主健康的影响	参考文献
克劳氏芽孢杆菌 ( <i>Bacillus clausii</i> )	治疗小儿急性腹泻	[25]
罗伊氏乳杆菌 ( <i>Lactobacillus reuteri</i> )	减少鲤鱼铅中毒	[26]
凝结芽孢杆菌 ( <i>Bacillus coagulans</i> )	改善肠易激综合症 (IBS) 及其伴随的抑郁症状	[27]
动物双歧杆菌乳酸亚种 ( <i>Bifidobacterium animalis subsp. lactis</i> )	利于肥胖控制 (尤其对于女性)	[28]
嗜酸乳杆菌 ( <i>Lactobacillus acidophilus</i> )	减少抗生素相关腹泻	[29]
副干酪乳杆菌 ( <i>Lactobacillus paracasei</i> )		
乳双歧杆菌 ( <i>Bifidobacterium lactis</i> )		
副干酪乳杆菌( <i>Lactobacillus paracasei</i> )	减轻小鼠食源性肥胖代谢综合症	[30]
鼠李糖乳杆菌( <i>Lactobacillus rhamnosus</i> )		
动物双歧杆菌( <i>Bifidobacterium animalis</i> )		
芽孢杆菌( <i>Bacillus spp.</i> )	抑制金黄色葡萄球菌 (阻断病原体信号系统)	[31]
酿酒酵母( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	促进人体肠道规律蠕动、治疗便秘	[32]
嗜酸乳杆菌( <i>Lactobacillus acidophilus</i> )	促进抗生素治疗的极低体重出生儿的生长	[33]
婴儿双歧杆菌( <i>Bifidobacterium infantis</i> )		
短乳杆菌( <i>Lactobacillus brevis</i> )	调节果蝇的运动行为	[34]
两歧双歧杆菌 ( <i>Bifidobacterium bifidum</i> )	影响 I 型糖尿病患者早期肠道微生物群、短链脂肪酸合成有关的基因	[35-36]
短双歧杆菌 ( <i>Bifidobacterium breve</i> )		
尿肠球菌 ( <i>Enterococcus faecium</i> )	降解宿主糖胺聚糖	[37]
干酪乳杆菌 ( <i>Lactobacillus casei</i> )		
鼠李糖乳杆菌 ( <i>Lactobacillus rhamnosus</i> )		
粪肠球菌 ( <i>Enterococcus faecalis</i> )		
拟杆菌 ( <i>Bacteroides spp.</i> )		
鼠李糖乳杆菌 ( <i>Lactobacillus rhamnosus</i> )	影响纤维肌痛患者的认知、情绪	[38]
干酪乳杆菌 ( <i>Lactobacillus casei</i> )		
嗜酸乳杆菌 ( <i>Lactobacillus acidophilus</i> )		
两歧双歧杆菌 ( <i>Bifidobacterium Bifidus</i> )		
乳酸乳球菌( <i>Lactococcus lactis</i> )	治疗黏膜炎、5-氟尿嘧啶引起的菌群紊乱	[39]

表 2 食品用菌种<sup>[41]</sup>

门 phylum	菌种					
厚壁菌	嗜酸乳杆菌	干酪乳杆菌	卷曲乳杆菌	德氏乳杆菌保加利亚亚种	德氏乳杆菌乳酸亚种	发酵乳杆菌
	格氏乳杆菌	瑞士乳杆菌	约氏乳杆菌	副干酪乳杆菌	植物乳杆菌	罗伊氏乳杆菌
	鼠李糖乳杆菌	唾液乳杆菌	清酒乳杆菌	嗜热链球菌	凝结芽孢杆菌	产丙酸丙酸杆菌
	费氏丙酸杆菌谢氏亚种	小牛葡萄球菌	木糖葡萄球菌	肉葡萄球菌	乳酸片球菌	戊糖片球菌
	乳酸乳球菌乳酸亚种	乳酸乳球菌乳脂亚种	乳酸乳球菌双乙酰亚种	肠膜明串珠菌肠膜亚种		
放线菌	青春双歧杆菌	动物双歧杆菌(乳双歧杆菌)	两歧双歧杆菌	短双歧杆菌	婴儿双歧杆菌	长双歧杆菌
子囊菌	马克斯克鲁维酵母					

微生物群导向型食品 (Microbiota directed foods, MDFs), 指包含一种或多种益生元在内的不同配料组成的食品, 经微生物代谢或/和被微生物转化后可为宿主直接利用营养或进一步生物转化, 同时也包括不经微生物作用而发挥作用的成分。此概念的提出, 超越了营养成分和食品安全

的传统理解, 拓展和深化我们对宿主生物表型决定因素的理解, 改变了食品设计的思路<sup>[43]</sup>。同时, 益生元是微生物群导向型食品的重要基础和核心所在。正确理解益生元与微生物的互作机理、益生元影响机体代谢及健康的机制, 在膳食与营养关系的研究中占据重要位置。

表 3 饲用菌种<sup>[42]</sup>

门 phylum	菌种					
厚壁菌	嗜酸乳杆菌	干酪乳杆菌	德氏乳杆菌保加利亚亚种	德氏乳杆菌乳酸亚种	发酵乳杆菌	植物乳杆菌
	纤维二糖乳杆菌	布氏乳杆菌	罗伊氏乳杆菌	副干酪乳杆菌	嗜热链球菌	凝结芽孢杆菌
	地衣芽孢杆菌	枯草芽孢杆菌	迟缓芽孢杆菌	短小芽孢杆菌	产丙酸丙酸杆菌	侧孢短芽孢杆菌
	乳酸片球菌	戊糖片球菌	尿肠球菌	粪肠球菌	乳酸肠球菌	丁酸梭菌
放线菌	青春双歧杆菌	动物双歧杆菌	两歧双歧杆菌	短双歧杆菌	婴儿双歧杆菌	长双歧杆菌
变形菌	沼泽红假单胞菌					
子囊菌	酿酒酵母	产朊假丝酵母				
半知菌	黑曲霉	米曲霉				

粮油副产物是优质益生元的来源之一，在微生物群导向型食品设计和研发中的潜力是巨大的。例如，(1) 膳食纤维可从米糠、稻壳、小麦胚、玉米芯、豆粕、大豆乳清水、棉粕等原料中获得。在 II 型糖尿病患者肠道中能够促进特定的短链脂肪酸生产菌生长，并且该类菌的丰度和多样性越高，受试者通过增加胰高血糖素样肽-1 而使血糖得到更好的控制<sup>[44]</sup>。(2) 低聚果糖可从菊芋加工皮渣中获得。在孕期和哺乳期女性摄入低聚果糖，伴随着阿克曼氏菌 (*Akkermansia muciniphila*，后简称 AKK 菌)、拟杆菌/普氏菌 (*Bacteroides/Prevolla*)、双歧杆菌 (*Bifidobacterium*) 等菌群丰度的变化，同时可改善食源性肥胖大鼠的代谢<sup>[45]</sup>。(3) 阿拉伯木聚糖可从米糠中获得、菊粉可从菊芋皮渣中获得。人类粪菌移植的小鼠摄入阿拉伯木聚糖和菊粉，盲肠黏液增多而在结肠中快速降解，AKK 菌在盲肠、结肠和粪便中丰度不断提高<sup>[46]</sup>。菊粉还能够显著影响小鼠肠道内菌群组成、增加短链脂肪酸的生成并调节酯类代谢<sup>[47-48]</sup>。(4) 低聚木糖可从玉米芯、稻壳、麦麸中获得。以 1.0 g/kg 和 2.0 g/kg 剂量饲喂小鼠，肠道内双歧杆菌及乳杆菌数量较干预前显著增加 ( $P < 0.05$ )，首粒黑粪排便时间、5 h 排便时间及质量均与模型对照组具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )<sup>[49]</sup>。在体外多级发酵体系中，低聚木糖能影响菌群和代谢反应，如短链脂肪酸的生成<sup>[50]</sup>。(5) 多酚可从米糠(油)、小麦胚芽中获得。结肠中的肠道菌群分泌多种多酚代谢酶，将结合态多酚解离而释放成为游离态多酚、进一步被肠道菌群代谢降解，影响机体肠道健康和代

谢控制<sup>[51]</sup>。

#### 4 健康产业需求

2016 年中共中央政治局审议通过“健康中国 2030”规划纲要，提出“健康是促进人的全面发展的必然要求”，“积极促进健康与养老、旅游、互联网、健身休闲、食品融合，催生健康新产业、新业态、新模式”。

未来的健康产业可能对食品市场有几方面的需求：(1) 做出有靶点的食品。食品不止于满足吃，更要有独特而明确的健康阐释。(2) 做出小众化的食品。不同民族、不同年龄、不同性别、不同个体，都有自己的饮食习惯、爱好和口味，但他们对食物的偏好、认知和营养需求肯定也是不一样的，所以，在满足基本营养当量同时，“差异化”和“独占性”将是每个人对食谱追求的目标。同时切忌单纯依靠大数据分析的思路，迎合某类人群的味觉喜好进行设计食品。(3) 食品开发在一定范围内可借鉴药品管理规范，设置适当的临床试验期。功能性新食品的开发，不是实用新型的堆砌、不是新奇概念的炒作，其追求的永远是营养与健康的有益补充。在开发过程中，体内体外试验，安全评估，因果验证等程序或是必需的步骤。

#### 5 结论与展望

重视粮油副产物的二次利用，提高资源利用率，实现资源全利用，已成为粮油精深加工和利用产业的重要课题<sup>[2]</sup>。积极打造“产学研”合作技术创新体系、软硬件支撑体系引入粮油副产物综合利用，充分利用生物技术在内的高新技术，

拓展粮油副产物利用空间,是市场需要、时代需要。

随着时代发展、社会需求与疾病谱的改变,“大健康”的概念已经形成。但需要强调的是,食品链及食品原料,依然是重要一环。粮油副产物是优质益生元的“宝库”,产出巨大,种类又丰富,决定了它的广阔开发空间和潜在成长空间。它将成为“微生物群导向型食品”开发中重要的物质基础与原料来源,在未来健康产业中发挥更大的作用,并拓宽“优质粮油”的诠释。

#### 参考文献:

- [1] 刘晓庚, 杨国峰, 陶进华, 等. 我国主要粮食副产物功能性成分及其利用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014(4): 10-13.
- [2] 郑立友, 石爱民, 刘红芝, 等. 粮油加工副产物损失及利用现状与对策建议[J]. 农产品加工, 2016, 401(2): 60-64.
- [3] VERSCHOYLE R D, GREAVES P, CAI H, et al. Evaluation of the cancer chemo preventive efficacy of rice bran in genetic mouse models of breast, prostate and intestinal carcinogenesis[J]. British Journal of Cancer, 2007, 96: 248-254.
- [4] 孟海波, 毛春季, 刘湘新, 等. 米糠甾醇对大鼠免疫功能的影响[J]. 营养学报, 2015(1): 37-40.
- [5] 李莹. 富  $\gamma$ -氨基丁酸麦麸干预防高脂饮食诱发代谢紊乱的研究[D]. 天津科技大学, 2017.
- [6] 段元霄. 麦麸阿魏酰聚糖对大鼠抗氧化功能的影响及其作用机制[D]. 内蒙古农业大学, 2018.
- [7] KAWAMURA S, NARASAKI T. Study on carbohydrate of soy bean: Component sugars of fractionated polysaccharides, especially identification of fucose in some hemicelluloses[J]. Agricultural Biological Chemistry, 1961, 25: 527-531.
- [8] PAN K, CHEN H Q, BEAK S J, et al. nanoparticles polysaccharide soybean Self-assembledcurcumin-soluble: in Physicochemical properties and anti-proliferation activity against cancer cells vitro[J]. Food Chemistry, 2018, 246: 82-89.
- [9] 黄高霞, 张莉, 汪东风, 等. 大豆胰蛋白酶抑制剂对饮食肥胖小鼠的减肥作用[J]. 大豆科学, 2012(2): 284-287.
- [10] 沙如意, 崔艳丽, 王少林, 等. 植酸/植酸钠在食品工业上的应用研究进展[J]. 现代食品科技, 2018(6): 293-309.
- [11] SENDER R, FUCHS S, MILO R. Are we really vastly outnumbered Revisiting the ratio of bacterial to host cells in humans[J]. Cell, 2016, 164: 337-340.
- [12] BELKAID Y and HAND T W. Role of the microbiota in immunity and inflammation[J]. Cell, 2014, 157: 121-141.
- [13] BRESTOFF J R, ARTIS D. Commensal bacteria at the interface of host metabolism and the immune system[J]. Nature Immunology, 2013, 14: 676-684.
- [14] 毕玉晶, 杨瑞馥. 人体肠道微生物群, 营养与健康[J]. 科学通报, 2018, 64(3): 260-271.
- [15] JANNEKE P O, WILLEM M D, CLARA B. Glycobiome: Bacteria and mucus at the epithelial interface[J]. Best Practice & Research Clinical Gastroenterology, 2013, 27: 25-38.
- [16] YE J X. Intestinal bacteria associated with colitis and inflammatory bowel disease[D]. University of Californiariverside, 2009.
- [17] CAROLINE L J K, JENNY Ö, XU J, et al. The microbiota of the gut in preschool Children with normal and excessive body weight[J]. Pediatric Obesity, 2012(11): 2257-2261.
- [18] WANG L V, CLAUS T C, MICHAEL J S, et al. Low relative abundances of the mucolytic bacterium *Akkermansia muciniphila* and *Bifidobacterium spp.* in faces of children with autism[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2011, 77(18): 6718-6721.
- [19] CANI P D, GEURTS L, MATAMOROS S, et al. Glucose metabolism: Focus on gut microbiota, the endocannabinoid system and beyond[J]. Diabetes & Metabolism, 2014, 40: 246-257.
- [20] AMANDINE E, CLARA B, LUCIE G, et al. Cross-talk between *Akkermansia muciniphila* and intestinal epithelium controls diet-induced obesity[J]. PNAS, 2013, 110(22): 9066-9071.
- [21] SERGEY S S, NATASHA G, BRYAN S, et al. NLRP6 protects *Il10*<sup>-/-</sup> mice from colitis by limiting colonization of *Akkermansia muciniphila*[J]. Cell Report, 2017, 19: 733-745.
- [22] AUDREY M N, USUNE E, BERNARD T, et al. Rhubarb extract prevents hepatic inflammation induced by acute alcohol intake, an effect related to the modulation of the gut microbiota[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2017, 61(1): 1500899.
- [23] EVERARD A, BELZER C, GEURTS L, et al. *Akkermansia muciniphila* communiqué avec l'épithélium intestinal pour contrôler le développement de l'obésité et du diabète de type 2[J]. Diabetes & Metabolism, 2013, 39: A1-A20.
- [24] HILL C, GUARNER F, REID G, et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic[J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2014, 11: 506-514.
- [25] IANIRO G, RIZZATTI G, PLOMER M, et al. *Bacillus clausii* for the Treatment of Acute Diarrhea in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials[J]. Nutrients, 2018, 10(1074): 1-15.
- [26] GIRI S S, YUN S, JUN J W, et al. The rapeutic effect of intestinal autochthonous *Lactobacillus reuteri* P16 against Waterborne lead Toxicity in *Cyprinus carpio*[J]. Frontiers in Immunology, 2018, 9(1824): 1-13.

- [27] MAJEED M, NAGABHUSHANAM K, ARUMUGAM S, et al. *Bacillus coagulans* MTCC 5856 for the management of major depression with irritable bowel syndrome: a randomized, double-blind, placebo controlled, multi-centre, pilot clinical study[J]. Food & Nutrition Research, 2018, 62 (1218): 1-15.
- [28] PEDRET A, VALLS R M, CALDERÓN-PÉREZ L, et al. Effects of daily consumption of the probiotic *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* CECT 8145 on anthropometric adiposity biomarkers in abdominally obese subjects: a randomized controlled trial[J]. International Journal of Obesity, 2018, Published online: 1-6.
- [29] ARTHUR C O, CAI D L, XU W J, et al. Probiotics reduce symptoms of antibiotic use in a hospital setting: A randomized dose response study[J]. Vaccine, 2014, 32: 458-463.
- [30] WANG J J, TANG H, ZHANG C H, et al. Modulation of gut microbiota during probiotic-mediated attenuation of metabolic syndrome in high fat diet-fed mice[J]. International Society for Microbial Ecology, 2015, 9: 1-15.
- [31] PIEWNGAM P, ZHENG Y, NGUYEN T H, et al. Pathogen elimination by probiotic *Bacillus* via signalling interference[J]. Nature, 2018, 562: 532-537.
- [32] TAKEDA R, KANESUGI N, KANESUGI M, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* NK-1 on stool frequency and volume in healthy individuals with infrequent bowel movements: a randomized, placebo, placebo controlled, double-blind study[J]. Functional Foods in Health and Disease, 2018, 8(9): 462-471.
- [33] HÄRTEL C, PAGEL J, SPIEGLER J, et al. *Lactobacillus acidophilus*/ *Bifidobacterium infantis* probiotics are associated with increased growth of VLBWI among those exposed to antibiotics [J]. Scientific Reports, 2017, 7(5633): 1-11.
- [34] SCHRETTER C, VIELMETTER J, BARTOS I, et al. A gut microbial factor modulates *locomotor behaviour* in drosophila [J]. Nature, 2018, 563: 402-406.
- [35] STEWART C J, AJAMI N J, O'BRIEN J L, et al. Temporal development of the gut microbiome in early childhood from the TEDDY study[J]. Nature, 2018, 562: 583-600.
- [36] VATANEN T, FRANZOSA E A, SCHWAGER R, et al. The human gut microbiome in early-onset type 1 diabetes from the TEDDY study[J]. Nature, 2018, 562: 589-607.
- [37] KAWAI K, KAMOCHI R, OIKI S, et al. Robotics in human gut microbiota can degrade host glycosaminoglycans[J]. Scientific Reports, 2018, 8(10674): 1-13.
- [38] ROMAN P, ESTEVEZ A F, MIRAS A, et al. A pilot randomized controlled trial to explore cognitive and emotional effects of probiotics in fibromyalgia[J]. Scientific Reports, 2018, 8(10965): 1-9.
- [39] CARVALHO R, VAZ A, PEREIRA F L, et al. Gut microbiome modulation during treatment of mucositis with the dairy bacterium *Lactococcus lactis* and recombinant strain secreting human antimicrobial PAP[J]. Scientific Reports, 2018, 8(15072): 1-10.
- [40] SAARELA M H. Safety aspects of next generation probiotics[J]. Current Opinion in Food Science, 2019, 30: 8-13.
- [41] 国家卫生和计划生育委员会. 《食品安全国家标准 食品用菌种》(征求意见稿)[DB/OL]. <http://down.foodmate.net/wap/index.php?itemid=52399&moduleid=24>.
- [42] 农业部公告(第 2045 号). 《饲料添加剂品种目录(2013)》[DB/OL]. <https://baike.so.com/doc/6789413-7006022.html>.
- [43] BARRATT M J, LEBRILLA C, SHAPIRO H Y, et al. The gut microbiota, food science, and human nutrition: a timely marriage [J]. Cell Host & Microbe, 2017, 22: 134-141.
- [44] ZHAO L P, ZHANG F, DING X Y, et al. Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes[J]. Science, 2018, 359 (6380): 1151-1156.
- [45] PAUL H A, BOMHOF M R, VOGEL H J, et al. Diet-induced changes in maternal gut microbiota and metabolomic profiles influence programming of offspring obesity risk in rats[J]. Science Report, 2016, 6(20683): 1-14.
- [46] PIETER V D A, PHILIPPE G, SYLVIE R, et al. Arabinoxylans and inulin differentially modulate the mucosal and luminal gut microbiota and mucin-degradation in humanized rats[J]. Environmental Microbiology, 2011, 13(10): 2667-2680.
- [47] TAN S, CAPARROS-MARTIN J A, MATTHEWS V B, et al. Isoquercetin and inulin synergistically modulate the gut microbiome to prevent development of the metabolic syndrome in mice fed a high fat diet[J]. Science Report, 2018, 8(10100): 1-13.
- [48] MISTRY R H, GU F J, SCHOLS H A, et al. Effect of the prebiotic fiber inulin on cholesterol metabolism in wild type mice[J]. Science Report, 2018, 8(13238): 1-8.
- [49] 王鑫, 朱婧, 刘静, 等. 低聚木糖润肠通便及调节肠道菌群功能的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 359-362.
- [50] POEKER S A, GEIRNAERT A, BERCHTOLD L, et al. Understanding the prebiotic potential of different dietary fibers using an in vitro continuous adult fermentation model (PolyFermS) [J]. Science Report, 2018, 8(4318): 1-12.
- [51] 杨华, 叶发银, 赵国华. 膳食多酚与肠道微生物相互作用研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(3): 223-227. ☉