

# 菊粉对肠道健康作用的研究进展

卢维奇\*, 陈便豪, 王佳娜

(佛山科学技术学院材能学院, 佛山 528000)

**摘要:** 近年来菊粉在肠道健康中的应用受到研究学者的广泛关注。菊粉作为优质益生元, 能有效改善肠道微生态, 提升肠道的生理功能、促进肠道对矿物质等营养物质的吸收和将有害残渣的排出。菊粉对肠道的保健和慢性疾病的预防具有重要作用。本文综述了菊粉的性质、来源、营养价值及其应用现状。从人体 3 大抵御疫病屏障和肠道微生态环境的角度阐述了肠道健康的重要性, 主要探讨了菊粉如何增强胃肠功能、在肠道健康中的应用, 并对菊粉的未来发展前景进行了展望。

**关键词:** 菊粉; 肠道健康; 益生菌; 膳食纤维; 益生元

## Research progress of effects of inulin on intestinal health

LU Wei-Qi\*, CHEN Bian-Hao, WANG Jia-Na

(Material and Energy College, Foshan Science and Technology College, Foshan 528000, China)

**ABSTRACT:** In recent years, the applications of inulin in intestinal health have been widely concerned by researchers. As a high-quality probiotics, inulin can effectively improve intestinal microecology, improve intestinal physiological function, promote intestinal absorption of minerals and other nutrients and discharge of harmful residues. Inulin can play an important role in the health of the intestines and the prevention of chronic diseases. This paper reviewed the properties, sources, nutritional value and application status of inulin, expounded the importance of intestinal health from the perspective of human body's 3 major disease-resistance barriers and intestinal microecological environment, mainly discussed how inulin can enhance gastrointestinal function and its application in intestinal health, and prospected the future development of inulin.

**KEY WORDS:** inulin; intestinal health; probiotics; dietary fiber; prebiotics

## 1 引言

2015 年 12 月欧盟发布法规 (European Union, EU)2015/2314 批准菊苣菊粉(chicory inulin)有助维持正常肠道功能的健康声称<sup>[1]</sup>, 一向以严苛著称的欧盟食品安全管理局(European Food Safety Authority, EFSA)在之前之后又多次提到菊苣菊粉<sup>[2]</sup>。早在 20 世纪 90 年代初, 日本已

批准菊粉为“特殊保健食品”; 美国 FDA 于 2000 年明确指出, 菊粉作为功能性食品, 已达到公认安全级; 中国卫生部于 2009 年将菊粉确定为新资源食品。

菊粉是一种天然果糖聚合物, 平均分子质量是 5500 左右, 其中聚合度较低时则可称为低聚果糖。世界上有 3000 多种植物富含菊粉<sup>[3]</sup>, 其中用作生产菊粉原料最多的是菊芋和菊苣, 这两者中菊粉含量分别为 14%~19%和

基金项目: 广东省教育厅和佛山科学技术学院“创新强校”资助项目

**Fund:** Supported by the Guangdong Province Education Department and Foshan Science and Technology College-Higher Education “Innovation Strong School” Project

\*通讯作者: 卢维奇, 博士, 教授, 主要研究方向为营养化学和药膳食疗。E-mail: 19507244@qq.com

\*Corresponding author: LU Wei-Qi, Ph.D, Professor, Material and Energy College, Foshan Science and Technology College, Foshan 528000, China. E-mail: 19507244@qq.com

15%~20%<sup>[4,5]</sup>。欧洲生产菊粉主要用菊苣为原料,而中国大多数用菊芋。几种富含菊粉的植物,曾经都做过当地人的主粮。美洲人很早就把菊芋用作食物,直至18世纪中叶其地位才被马铃薯取代。19世纪初,Rose首次提取出一种果聚糖,后被Thomson命名为菊粉。1995年,Gibson等<sup>[6]</sup>经过长时间的研究和总结,首次提出了益生元的概念。现在,菊粉已被世界上40多个国家批准作为食品的营养补充剂或功能性食品。

胃肠道保健是目前功能食品科学中最热的研究领域之一<sup>[7]</sup>。约有60%的功能食品都与肠道和免疫系统有关<sup>[8]</sup>。从前些年统计数据中可见,在2011年12月份新营养商务(new nutrition business, NNB)公布的全球食品营养健康10大流行趋势中,2008~2011年“消化健康”这一项每年都占据榜首<sup>[9]</sup>。10年前,在“肠道健康”中,报道研究工作较多的是低聚糖和益生菌<sup>[10]</sup>,而现在菊粉在功能性食品中应用已经成为更重要的关注点之一。干燥菊粉是白色无定形、易吸湿的粉末,它在水中的溶解度因温度不同而不同。菊粉中水溶性膳食纤维含量不低于86%<sup>[11,12]</sup>。人体摄入菊粉后,产生热量很少,由于它既有一定的甜度,又不会被人体吸收而影响血糖水平,所以,菊粉又被誉为二十一世纪新型健康糖源。

菊粉有膳食纤维和益生元双重作用。由于人和动物体内都缺乏分解菊粉的酶类,所以菊粉被人体摄入后,不能被胃和小肠吸收,但会被结肠中的双歧杆菌、乳酸菌发酵,从而促进肠道益生菌的产生,具有双歧杆菌增殖因子的作用。

菊粉除了具有调节肠道益生菌作用外,还有降血脂、降胆固醇、减肥和保护肝脏、预防癌症和促进维生素及矿物质吸收等多种生理功能<sup>[13]</sup>。本文综述了菊粉的来源、性质和营养保健作用及其应用现状,主要探讨了菊粉在增强肠道功能和肠道健康中的应用。

## 2 肠道健康的机制

在人体3大抵御疫病的屏障(胎盘、血脑和肠道屏障)中,只有肠道屏障影响因素较多,做好肠道保健对延年益寿很有益。前些年,肝、心、脾、肺、肾等脏器被关注的程度远远大于对肠道健康的关注。为了提高人们对肠道健康的意识,2010年,我国引入“世界肠道健康日”(5月29日)。诺贝尔医学奖获得者梅契尼可夫明确提出,保持肠道健康就是世界上最好的长寿秘诀<sup>[14]</sup>。

人的肠道从胃幽门至肛门,长达8~10m,其中平均每隔3.5cm就有一个弯折。即使每天都排便,也总会有一些食物残渣滞褶皱内。它们在细菌的作用下干结、腐败、发酵,最终形成恶臭而有毒的物质,粘连在肠壁上,是有害健康的毒素。肠内环境恶化就会造成肠胃功能紊乱,进而引发内分泌失调等各种病症。近几年的研究表明,肠道菌

群在功能性便秘的发生发展中起到很重要的作用,“脑-肠-菌”轴(brain-gut-enteric-microbiota axis, BGMA)<sup>[15]</sup>,作为胃肠病学的新概念,可以阐释便秘的发病机制与临床表现。

肠道是人体最大的免疫器官。它因为表面积最大,接触最多的外来细菌,所以淋巴免疫组织最发达,人体有60%~70%的淋巴组织分布在肠道内,集结了人体70%~80%的免疫细胞。然而,仅仅在中国,就超过3000万人承受着顽固性肠道疾病痛苦,超过90%的人存在肠道健康问题。台湾地区近10年来,大肠癌人数高居癌症之首。

对于良好的肠道健康认识,过去主要停留在肠道的食物消化和营养吸收,以及良好的免疫状态。但其实更重要的是正常稳定的肠道菌群环境。在人体肠道内的微生物中,超过99%都是细菌,大约有400~500种,100亿个。它们可以分为3个大类:有益菌、有害菌和中性菌。人体肠道内有益菌种类和数量,基本上可反映出人体健康状况。近年来提出的“肠道年龄”就是通过肠道内多种菌群的平衡程度来判断肠道老化的状态,以及现代生活发病几率的一个参数<sup>[16]</sup>。健康人的肠道年龄一般与其生理年龄平行。母体子宫对于胎儿基本是一个无菌的环境,母体的免疫系统和胎盘屏障对胎儿具有保护作用,而母体的肠道菌群通过产道接触和母乳喂养等途径定植在婴儿肠道内,形成婴儿的肠道菌群。

与正常人的肠道菌群比较,功能性便秘患者肠道菌群的改变主要表现为专性厌氧菌相对减少(如乳酸杆菌、双歧杆菌、拟杆菌属等)和潜在致病菌相对增多(如铜绿假单胞菌、空肠弯曲菌、腐败梭菌等)<sup>[17]</sup>。肠道肌层含有大量粘蛋白(mucins, MUC),可作为物理屏障阻隔致病菌、病毒、寄生虫和毒素的侵袭,保护肠道<sup>[18]</sup>。当MUC2不能合成或者表达时,将导致肠道粘膜肌层屏障变薄,而且在MUC2基因诱导突变的小鼠深部肠道易出现炎症<sup>[19]</sup>。益生菌具有保护或增强肠道内屏障的功能<sup>[20,21]</sup>。在肠粘膜屏障中,肠粘膜由表面的一层上皮细胞及与其紧密相连的一层以“双歧杆菌”为主体的正常生理性细菌构成。正是这一层菌膜形成了人体内的一道生物免疫屏障。有益菌依靠粘附在肠粘膜的有利位置,对进入肠道内的有害菌、致病菌进行生物阻抗,并分泌大量蛋白因子、多种生物酶及多种化学物质,直接或间接杀灭有害细菌及多种致病菌,并参与降解肠道内许多致癌物质,如亚硝酸胺、硫化氢、吲哚等毒性极强的致癌物质。肠道内以双歧杆菌为主的有益菌比例随着年龄的增高而降低,婴儿时期高达98%,青少年时期保持在40%左右,中年时期降到10%,老年期就更低。肠道内的有益菌群比例越高,人体健康状态越好,肠道内益生菌的多寡与人体健康正相关;反之健康状况就越差,而不健康的结果必然是加速衰老。研究发现,长寿老人肠道中双歧杆菌是普通老人的100倍,而普通健康老人又是患病老人的

50倍,临终前人类肠道内的双歧杆菌几乎为0<sup>[22]</sup>。

### 3 菊粉在肠道健康中的作用

菊粉是一种天然的水溶性膳食纤维,是目前发现的最好的具有低聚糖全部生理功能的植物益生元<sup>[23]</sup>,对调节肠道健康问题具有重大意义。

#### 3.1 促进排便防止便秘

菊粉作为可溶性膳食纤维,能够增加肠道蠕动,促进排便;它在肠道内吸水膨胀,有助于大肠中形成大便,防止便秘<sup>[24]</sup>。另外,膳食纤维的吸附作用具有良好的吸水膨胀能力,由于稀释了浓度,可以减少有毒有害物质对肠道的损伤<sup>[25]</sup>。膳食纤维促进排便和防止便秘的作用是它的几大作用之一<sup>[26]</sup>。

#### 3.2 具有益生元的作用

菊粉具有益生元的作用。益生元能刺激某种益生菌的数量和活性,改善宿主的健康<sup>[27-29]</sup>。菊粉具有不可消化性<sup>[30]</sup>,对于小肠内消化酶无活性,大部分以完整形式到达结肠<sup>[31]</sup>。菊粉在肠道菌群内的选择性发酵,导致有益菌数量的增加<sup>[32]</sup>。菊粉通过调节肠道菌群增进宿主健康<sup>[33,34]</sup>。

#### 3.3 改善肠道微生态

人体胃肠道正常菌群是经过长期进化在宿主内形成的定植微生物群落,他们对宿主是有益和必需的,在正常状态下是无害的。人的胃肠道细菌,主要由厌氧菌、兼性厌氧菌和好氧菌组成,其中类杆菌与双歧杆菌占细菌总数的90%以上。乳杆菌和双歧杆菌是胃肠道起有益菌的作用,并与宿主终生伴随<sup>[35]</sup>。双歧杆菌、类杆菌属于厌氧菌,是肠道的优势菌群,具有营养及免疫调节作用。而致病菌主要是兼性需氧菌,数量相对较少,在肠道微生态平衡时是无害的;但过路菌为病原菌时,当其数量超出正常水平时,则可引起人体发病<sup>[36]</sup>。

菊粉在胃中不能被消化,在进入肠道后可使双歧杆菌增殖8~10倍。同时,被肠道内有益微生物发酵产生短链脂肪酸(short-chain fatty acids, SCFA),降低肠道内碱性,抑制某些有害菌生长<sup>[37]</sup>。Sasajima等<sup>[38]</sup>在研究益生菌能否对肠道微生物群产生影响并以此来抑制特异性皮肤炎症时发现,双歧杆菌是小鼠肠道中最主要的益生菌,通过补充菊粉果聚糖能使益生菌增殖,而且菊粉果聚糖的摄入可以减少2,4-二硝基氟苯诱导接触超敏反应。

菊粉是细菌优先食物,能保持肠中有益菌群数量平衡,使益生菌数量增加而成为优势菌群,抑制了腐败菌的生理行为<sup>[39]</sup>。菊粉具有很强吸水性,稀释肠道内亚硝酸盐等有毒物质,减少这些物质对肠道刺激,起到预防肠道疾病的作用<sup>[40]</sup>。

### 3.4 促进矿物质在肠道中的吸收

人体必需的矿物质,如Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>和Fe<sup>2+</sup>等吸收主要在小肠进行。菊粉与矿物质形成复合物后,在肠中发酵降解,释放出矿物质,使金属离子有效吸收<sup>[41]</sup>。另外,被益生菌降解产生的短链脂肪酸,降低碱性,促进了被动扩散使更多金属离子进入肠细胞<sup>[42]</sup>。矿物质中,钙是人体最容易缺少的宏量元素。它是构造人体骨骼的最重要的元素,99%分布在骨骼、牙齿和指甲等硬组织中,是人体的“钙库”。另外1%钙分布在血液、唾液和细胞中,是人体的“钙池”。钙池中必须保持一定数量的钙,心脏和大脑才能维持正常的生理功能。结果钙池中钙需要从钙库中“借入”,这种“钙迁徙”造成钙库的钙越来越少<sup>[43]</sup>。这是中国人日后骨质疏松率越来越高的主要原因。而补钙最需要解决的问题是,人体对钙制剂中钙的吸收率很低,很难从中获得足够的钙,达不到补钙的效果。如果为了得到更多的钙,盲目地加大钙制剂用量,又会加大尿和肾“结石”的风险。而越来越多的研究证实,低聚果糖这一活性益生元,可以有效促进生物体对钙离子的吸收<sup>[44]</sup>。

低聚果糖(菊粉)促进钙吸收的机制仍在讨论中,已有研究证实这一促进效应主要发生于结肠和盲肠处<sup>[45]</sup>。目前几个认可度较高的推理主要有下面3个<sup>[41]</sup>:(1)低聚果糖在大肠中促进双歧杆菌的增殖,使其分解为短链脂肪酸,降低肠道微生态的pH,促进钙离子的溶解,进而促进钙离子的吸收;(2)短链脂肪酸对肠道粘膜有一定的促进作用,刺激其更多的钙离子通过肠道粘膜进入体内循环,从而促进了钙离子的吸收;(3)低聚果糖能提高携钙多肽的含量,从而使更多的钙离子被携带进入血液循环共同作用,促进钙离子的吸收。

### 3.5 预防慢性疾病

动物试验表明,摄入菊粉降低了血中甘油三酯和胆固醇浓度<sup>[46]</sup>。另外,由于菊粉在肠道的上部不会被水解成单糖,所以不会升高血糖水平和胰岛素含量。与此相反,菊粉能降低血糖,是由于低聚果糖在结肠发酵内产生不能被消化酶消化的碳水化合物和短链脂肪酸(short chain fatty acids, SCFA)(如丁酸)的结果<sup>[47-49]</sup>。从这两方面来讲,菊粉对预防和调节高血压、心脑血管疾病和糖尿病具有重大的作用。

菊粉低聚糖到达结肠内,很容易被结肠内益生菌发酵,产生丁酸盐等低脂肪酸盐。丁酸盐是一种特别的短链脂肪酸盐<sup>[50]</sup>,它选择性诱导结肠癌细胞死亡,而对健康的细胞却没有影响,是一种预防结肠癌的较好方式。对于益生菌和菊粉维持对肠道健康的分子机制研究,现在已有越来越多的学者在研究<sup>[51-53]</sup>。

## 4 我国菊粉的未来发展前景

2015年全球发布的含有膳食纤维的新产品中,含菊

粉占比 24%, 居首位。预计到 2023 年全球销售额将超过 32.2 亿美元, 从销量来看, 预计全球益生元销量年复合增长率超过 9%。

我国未来菊粉市场仍低于全球的增长速度。要扩大中国菊粉产量和销量, 首先要缩小中国菊粉与进口菊粉的质量差距, 同时要加大菊粉原料的栽培。增加菊粉的产量和质量, 并开发其新的用途, 将是我国菊粉产业的发展趋势。

## 参考文献

- [1] 欧盟批准菊苣菊粉有助维持正常肠道功能的健康声称[J]. 饮料工业, 2016, 19(1): 46.  
EU approves the health claim that chicory inulin helps maintain normal intestinal function [J]. Beverage Ind, 2016, 19(1): 46.
- [2] 常志远. 菊苣菊粉为何一再被 EFSA 提及[N]. 中国食品报, 2016-6-14(Z006).  
Chang ZY. Why does Chicory inulin often be mentioned by EFSA? [N]. Chinese Food Newspaper, 2016-6-14(Z006).
- [3] Delgado GTC, Tamashiro WMSC, Pastore GM. Immunomodulatory effects of fructans [J]. Food Res Int, 2010, 43: 1231-1236.
- [4] 刘宏. 菊粉的功能特性与开发应用[J]. 中国食物与营养, 2010, (12): 25-27.  
Liu H. Functional characters of inulin and its development and application [J]. Food Nutr China, 2010, (12): 25-27.
- [5] Shoaib M, Shehzad A, Omar M, *et al.* Inulin: properties, health benefits and food applications [J]. Carbohydr Polym, 2016, 144(4): 444-454.
- [6] Gibson GR, Beatty ER, Wang X, *et al.* Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin [J]. Gastroenterol, 1995, 108(4): 975-982.
- [7] Marcel BR. Concepts and strategy of functional food science: The European perspective [J]. Am J Clin Nutr, 2000, 71(S1): 1660-664.
- [8] Cummings JH, Antoine JM, Azpiroz F, *et al.* PASSCLAIM-gut health and immunity [J]. Eur J Nutr, 2004, 43(Suppl 2): II/118-II/173
- [9] 郭传琦, 庞明利, 杨海军. 低聚果糖在保健食品领域中的应用研究[J]. 精细与专用化学, 2014, 22(11): 21-24.  
Guo CQ, Pang ML, Yang HJ. Study on the application of fructo-oligosaccharides in the health food field [J]. Fine Spec Chem, 2014, 22(11): 21-24
- [10] 王乃强, 刘辉, 李国庆, 等. 低聚果糖在特殊医学用途食品中的应用[J]. 精细与专用化学, 2013, 21(6): 11-14  
Wang NQ, Liu H, Li GQ, *et al.* The application of fructooligosaccharides in medical foods [J]. Fine Special Chem, 2013, 21(6): 11-14
- [11] 陈兴都, 陈庆安, 翟丹云, 等. 菊粉果聚糖的保健功能及应用价值[J]. 中国酿造, 2018, 37(1): 21-24.  
Chen XD, Chen QA, Zhai DY, *et al.* Healthy function and application value of inulin-fructan [J]. China Brew, 2018, 37(1): 21-24.
- [12] Massaro A, Colombini MP, Ribecchini E. Fructose and inulin: Behaviour under analytical pyrolysis [J]. J Anal Appl Pyrol, 2016, 121(7): 205-212.
- [13] 彭英云, 郑清, 张涛. 菊粉的功能与利用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(10): 236-240.  
Peng YY, Zheng Q, Zhang T. The function and utilization of inulin [J]. Food Res Dev, 2012, 33(10): 236-240
- [14] 陈君石. 益生菌和益生元对肠道健康的双效作用[N]. 中国食品报, 2015-10-16(Z005).  
Chen JS. The double functions of probiotics and prebiotics on intestinal health [N]. Chinese Food Newspapers, 2015-10-16(Z005).
- [15] Holschneider DP, Bradesi S. The role of experimental models in developing new treatments for irritable bowel syndrome [J]. Expert Rev Gastroenterol Hepatol, 2011, 5(1): 43-57.
- [16] 月儿, 邢渤海. 擦去肠道年轮, 让您更长寿[J]. 中老年保健, 2010, (3): 51.  
Yue E, Xing BT. Wipes out intestinal growth rings, allowing you to live longer [J]. Elderly Health, 2010, (3): 51.
- [17] Gerritsen J, Smidt H, Rijkers GT. Intestinal microbiota in human health and disease: The impact of probiotics [J]. Genes Nutr, 2011, 6(3): 209-240.
- [18] Kim JJ, Khan WI. Goblet cells and mucins: Role in innate defense in enteric infections [J]. Pathogens, 2013, 2(1): 55-70.
- [19] Sheng YH, Hasnain SZ, Florin THJ, *et al.* Mucins in inflammatory bowel diseases and colorectal cancer [J]. J Gastroenterol Hepatol, 2015, 27(1): 28-38.
- [20] 吴迪, 综述, 何方, 等. 益生菌与肠道健康[J]. 卫生研究, 2016, 45(6): 1035-1038  
Wu D, Zong S, He F, *et al.* Probiotics and intestinal health [J]. J Hyg Res, 2016, 45(6): 1035-1038
- [21] Bachanke I, Barszcz M, Taciak M, *et al.* Microbial activity in the large intestine of chicks fed diets with different types and levels of inulin [J]. Ann Anim Sci, 2016, 16(4): 1141-1152.
- [22] 王璟, 繆海萍. 肠道年轻能增寿[N]. 医药养生保健报, 2006-4-24(001).  
Wang J, Miao HP. Young intestinal can increase life period [N]. Newspaper of Medicine And Health Care, 2006-4-24 (001).
- [23] 翟红梅. 益生元系列配方奶粉的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.  
Zhai HM. Research of prebiotics series of milk powder [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [24] 许爱清, 李宗军, 王远亮, 等. 肠道健康导向的功能食品研究进展[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 158-163.  
Xu AQ, Li ZJ, Wang YL, *et al.* Progress in the researches on gut-health-oriented functional foods [J]. Food Mach, 2010, 26(5): 158-163.
- [25] 张晶, 覃小丽, 刘雄. 膳食主成分对肠道微生物的影响研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(5): 305-309.  
Zhang J, Tan XL, Liu X. A review of the influence of major dietary macronutrients on the gut microbiota [J]. Food Sci, 2015, 36(5): 305-309.
- [26] 韩冬. 膳食纤维与肠道健康. 中国微生态学杂志, 2013, 25(10): 1225-1228.  
Han D. Dietary fiber and intestinal health [J]. Chin J Microecol, 2013, 25(10): 1225-1228.
- [27] 王小蕾, 王蔚虹, 戴芸, 等. 益生菌/益生元制剂治疗功能性便秘效果的系统评价和 Meta 分析[J]. 临床药物治疗杂志, 2014, 12(4): 33-38.  
Wang XL, Wang WH, Dai Y, *et al.* Probiotics/prebiotics preparation for functional constipation: A systemic review and Meta-analysis [J]. Clin Med J, 2014, 12(4): 33-38.
- [28] 沈定树, 郑静. 益生元与肠道微生态[J]. 中国微生态学杂志, 2013, 25(6): 742-744.  
Sheng DS, Zheng J. Prebiotics and gut microbial ecosystem [J]. Chin J Microecol, 2013, 25(6): 742-744.
- [29] 苏晓琳, 姜淑娟, 张兆国. 菊粉益生元的最新研究进展[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(12): 160-162.

- Su XL, Jiang SJ, Zhang ZG. Advances on the research of the prebiotic inulin [J]. *Food Res Dev*, 2009, 30(12): 160–162.
- [30] 何君, 韩育梅, 刘敏, 等. 益生元在发酵乳中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, (8): 379–383
- He J, Han YM, Liu M, *et al.* Progress of research on the application of prebiotics in fermented milk [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, (8): 379–383
- [31] Molis C, Flourie B, Ouarne F, *et al.* Digestion, excretion, and energy value of fructooligosaccharides in healthy humans [J]. *Am J Clin Nutr*, 1996, 64: 324–328.
- [32] Mori N, Kano M, Masuoka N, *et al.* Effect of probiotic and prebiotic fermented milk on skin and intestinal conditions in healthy young female students [J]. *Biosci Microb Food Health*, 2016, 5(3): 105–112.
- [33] 宋继宏, 王记成, 其木格苏都, 等. 酸乳中风味物质的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(2): 214–220.
- Song JH, Wang JC, Qi MGSD, *et al.* Review on research of yogurt flavor [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(2): 214–220.
- [34] 李勇超, 刘瑞雪, 李亚琦, 等. 添加魔芋低聚糖对益生菌增殖和酸奶品质的影响[J]. *中国乳品工业*, 2016, 44(5): 62–64.
- Li YC, Liu RX, Li YQ, *et al.* Effect of konjac oligosaccharide on the growth of probiotics and quality in yoghurt [J]. *China Dair Ind*, 2016, 44(5): 62–64.
- [35] 高侃, 汪海峰, 章文明, 等. 益生菌调节肠道上皮屏障功能及作用机制[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(9): 1936–1945.
- Gao K, Wang HF, Zhang WM, *et al.* Functions of intestinal epithelial barriers modulated by probiotics and mechanisms [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2013, 25(9): 1936–1945.
- [36] 鲜凌瑾, 张瑞强. 影响人肠道微生物菌群结构的因素[J]. *微生物学通报*, 2015, 42(4): 768–773.
- Xian LJ, Zhang RQ. The impact factors of human's gut microbiota structure [J]. *Microbiol China*, 2015, 42(4): 768–773.
- [37] 魏凌云, 王建华, 郑晓冬, 等. 菊粉研究的回顾与展望[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(7): 81–85.
- Wei LY, Wang JH, Zheng XD, *et al.* Review and prospects of the inulin research [J]. *Food Ferment Ind*, 2005, 31(7): 81–85.
- [38] Sasajima N, Ogasawara T, Takemura N, *et al.* Role of intestinal bifidobacterium pseudolongum in dietary fructo-oligosaccharide inhibition of 2,4-dinitrofluorobenzene-induced contact hypersensitivity in mice [J]. *Brit J Nutr*, 2009, (4): 539–548.
- [39] 杨立娜, 吴凯为, 朱力杰, 等. 益生元、多酚、蛋白质和多不饱和脂肪酸对肠道健康的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, (21): 336–340.
- Yang LN, Wu KW, Zhu LJ, *et al.* Effect of prebiotics, phytochemicals, protein and polyunsaturated fatty acids on intestinal health [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, (21): 336–340.
- [40] 李雨露, 刘丽萍, 佟丽媛. 菊粉的特性及在食品中的应用[J]. *食品工业科技*, 2013, (13): 392–394.
- Li YL, Liu LP, Dong LY. Characteristics of inulin and its application in food [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, (13): 392–394.
- [41] 王乃强, 李国庆, 刘辉, 等. 低聚果糖促进钙离子吸收的研究[J]. *精细与专用化学品*, 2015, (5): 20–23.
- Wang NQ, Li GQ, Liu H. The calcium ion absorption stimulated by fructo-oligosaccharides [J]. *Fine Spec Chem*, 2015, (5): 20–23.
- [42] Mensinkma, Frijlink HW, Maarschalk K, *et al.* Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, (130): 405–419.
- [43] 卢维奇, 陈忻, 刘弋璐, 等. 地方高校学生学习营养学知识符合社会发展趋势[J]. *广东化工*, 2011, (2): 183–185
- Lu WQ, Chen X, Liu YL, *et al.* That the students at local college learn nutritional knowledge accords with trend of social development [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2011, (2): 183–185.
- [44] Tahiri M, Tressol JC, Arnaud J, *et al.* Effect of short-chain fructooligosaccharides on in-testinal calcium absorption and calcium status in postmenopausal women: a stable-isotope study [J]. *Am J Clin Nutr*, 2003, 77(2): 449–457.
- [45] Lopez HW, Coudray C, Levrat-Verny MA, *et al.* Fructooligosaccharides enhance mineral apparent absorption and counteract the deleterious effects of phytic acid on mineral homeostasis in rats [J]. *J Nutr Biochem*, 2000, 11(10): 500–508.
- [46] 苏晓琳, 姜淑娟, 张兆国. 菊粉益生元的最新研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(12): 160–163.
- Su XL, Jiang SJ, Zhang ZG. Advances on the research of the prebiotic inulin [J]. *Food Res Dev*, 2009, 30(12): 160–163.
- [47] 王文亮, 张奇志, 孙宏春, 等. 菊粉的开发与利用研究[J]. *农产品加工学刊*, 2007, (10): 90–91.
- Wang WL, Zhang QZ, Sun HC, *et al.* The research advance of developing and utilization of inulin [J]. *Acad Period Farm Prod Process*, 2007, (10): 90–91.
- [48] Cousin FJ, Jouanl S, Theret N, *et al.* The probiotic propionibacterium freudenreichii as a new adjuvant for TRAIL-based therapy in colorectal cancer [J]. *Oncotarget*, 2016, 7(6): 7161–7178.
- [49] 奚文博, 严昌国, 崔莲花. 益生元-菊粉在动物营养中的研究进展[J]. *饲料研究*, 2017, (21): 8–12.
- Xi WB, Yan CG, Cui LH. The research advances of prebiotics and inulin applied in animal nutrition [J]. *Feed Res*, 2017, (21): 8–12.
- [50] 孙博喻, 张冰, 林志健, 等. 菊苣提取物对腹型肥胖大鼠肠道菌群的影响[J]. *中国中药杂志*, 2014, 39(11): 2081–2085.
- Sun BY, Zhang B, Lin ZJ, *et al.* Chicory extract's influence on gut bacteria of abdominal obesity rat [J]. *China J Chin Mater Med*, 2014, 39(11): 2081–2085.
- [51] 黄东彦, 朱剑锋, 周海泳, 等. 益生菌群维持肠道健康分子机制的研究进展[J]. *湖南生态科学学报*, 2016, 3(2): 43–50.
- Huang DY, Zhu JF, Zhou HY, *et al.* Review on molecular mechanisms of probiotics microbiota on maintaining of intestinal health [J]. *J Hunan Ecol Sci*, 2016, 3(2): 43–50.
- [52] Wlodarska M, Finlay BB. Host immune response to antibiotic perturbation of the microbiota [J]. *Mucosal Immunol*, 2010, 3(2): 100–103.
- [53] Fukuda S, Toh H, Hase K, *et al.* Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate [J]. *Nature*, 2011, 469(7331): 543–547.

(责任编辑: 武英华)

## 作者简介



卢维奇, 博士, 教授, 主要研究方向为营养化学和药膳食疗。

E-mail: 19507244@qq.com