

膳食纤维的理化性质、生理功能及其应用

刘楠^{*}, 孙永, 李月欣, 吴培凤

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要: 膳食纤维是一种不能被胃肠道消化吸收的多糖。随着营养科学、食品科学等相关学科的深入发展及人们对膳食结构的日渐重视, 近年来膳食纤维成为研究的热点。由于其良好的理化特性和生理功能被人们称为继蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质和水之后的“第七大营养素”。本文对膳食纤维定义的发展、组成膳食纤维的多糖种类、膳食纤维的分类进行了简要的综述; 对膳食纤维的持水力、溶胀力、流变学性质等理化性质和预防心脑血管疾病、改善肠道菌群、抗氧化、清除自由基等主要生理功能进行了详细的综述; 对膳食纤维在乳制品、肉制品和功能食品等领域应用的相关报道进行概述。针对目前膳食纤维的研究中存在的问题, 对膳食纤维的研究的发展趋势进行了展望, 为膳食纤维的研究和新型膳食纤维产品的开发提供了科学支持。

关键词: 膳食纤维; 理化特性; 生理功能

Properties, physiological function and application of dietary fiber

LIU Nan^{*}, SUN Yong, LI Yue-Xin, WU Pei-Feng

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

ABSTRACT: Dietary fiber is a kind of polysaccharide which cannot be digested and absorbed by the gastrointestinal tract. With the development of nutrition science, food science and other related subjects, and people pay more attention to the structure of the diet, dietary fiber has become a hot research topic in recent years. Because of its good physical and chemical properties and physiological function, it is known as “the seventh nutrient” after protein, fat, carbohydrates, vitamins, minerals and water. In this paper, the definition of dietary fiber, and the classification of dietary fiber are briefly reviewed; the physical and chemical properties of dietary fiber, such as water holding capacity, swelling capacity, rheological properties, etc., and main physiological functions of dietary fiber, such as prevention of cardiovascular diseases, improvement of intestinal flora, antioxidant, scavenging free radicals, etc., are summarized in this paper. The related reports of dietary fiber in dairy products, meat products and functional food are summarized. In view of the existing problems in the research of dietary fiber, the development trend of dietary fiber is prospected, which provides a scientific support for the research and development of new dietary fiber products.

KEY WORDS: dietary fiber; physical and chemical properties, physiological function

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费(20603022015001)、青岛市市南区科技发展资金项目(2014-14-008-SW)

Fund: Supported by the Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Yellow Sea Fisheries Research Institutes (20603022015001), Fund of Science and technology development of Shinan District, Qingdao(2014-14-008-SW)

*通讯作者: 刘楠, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为海洋功能食品与生物制品。E-mail: liunan@ysfri.ac.cn

*Corresponding author: LIU Nan, Assistant Professor, Yellow Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, No. 106, Nanjing Road, Qingdao 266071, China. E-mail: liunan@ysfri.ac.cn

1 引言

自本世纪五十年代以来,膳食纤维(dietary fiber, DF)逐渐成为科研领域新的研究热点。一系列的研究成果表明,膳食纤维与人体健康密切相关,使膳食纤维有“第七大营养素”之美誉^[1]。1953年, Eben Hipsley^[2]首次使用膳食纤维一词,他在发表的刊物中指出,摄入富含膳食纤维饮食的人怀孕毒血症发病率较低。随后, Trowell^[3]在1972年,将膳食纤维定义修正为“被人体小肠消化吸收的多糖类碳水化合物与木质素”。1999年美国谷物化学家协会(American Association of Cereal Chemist, AACC)提出从生理学角度重新将膳食纤维定义为“可食植物不能被人体消化和吸收部分及其类似碳水化合物,包括多糖、寡糖、木质素和有益身体健康的植物成分”^[4]。2004年食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)经过进一步讨论将膳食纤维定义为不能被人体小肠消化吸收的寡糖(聚合度 3~9)和碳水化合物聚合物^[5]。我国对于膳食纤维的定义出自《食品营养标签管理规范》,规范指出“膳食纤维是指在植物中存在或可以分离提取的聚合度大于等于三的碳水化合物,这些化合物有益身心健康,且不能在小肠内消化吸收”。

2 膳食纤维的组成及分类

膳食纤维是纤维类化合物的总称,主要成分是纤维素、木质素和半纤维素,也包括果胶、树胶及果胶类似物等^[6]。纤维素由葡萄糖残基组成,通过 β -1,4糖苷键连接,形成聚合物大分子,这些长链大分子通过氢键形成纤维素的网络结构^[7]。半纤维素是由糖基和糖醛酸组成的大分子聚合物。木质素是一种苯基类丙烷聚合物,通常由芥子醇、对羟基肉桂醇和松柏醇组成,具有三维网络结构,能够与碳水化合物紧密结合,很难溶于水,不易消化吸收^[8]。果胶是半乳糖醛酸通过 α -1,4糖苷键链接起来的聚合物,果胶的性质与其支链上的糖基的特性和甲氧基含量密切相关^[8]。

膳食纤维来源丰富,种类繁多,根据其品质特性,从营养学角度可将膳食纤维分为水不溶性膳食纤维(IDF)和水溶性膳食纤维(SDF)^[9,10]。

2.1 水不溶性膳食纤维(IDF)

IDF主要指纤维素、半纤维素和木质素等,几乎不能在小肠内吸收和代谢。IDF具有预防肥胖、结肠癌、高血压、心脏病和动脉硬化等生理功能,在保健品、肉制品、面制品等产业中有广泛的应用^[11]。

2.2 水溶性膳食纤维(SDF)

SDF主要指植物细胞壁内存物和分泌物,也包括微生物分解的多糖和合成多糖,主要成分为胶类和糖类,能够在小肠内消化吸收^[12]。SDF可在水中稳定分散,在肠道内形成具有一定黏度的胶体,可结合水、吸收矿物质阳离子

和作为肠内微生物发酵的基质^[13]。有研究表明SDF比IDF对人体健康的影响更显著^[14]。

3 膳食纤维的理化特性

主要包括水溶性、持水力、膨胀力、流变学特性、吸附作用、离子交换能力、凝胶和粒子分布等^[15]。

3.1 持水力和膨胀力

膳食纤维结构中含有大量的亲水基团,因此具有较强的持水力^[16]。因来源不同膳食纤维的持水力有很大的区别,持水力大致在自身质量的1.5~25.0倍之间。由于膳食纤维的持水特性,可以在人体肠道中吸收大量的水分,增加了人体排便的体积与速度,从而缩短有毒物质在肠道内的停留时间,降低疾病发生的潜在几率。

3.2 流变学特性

根据膳食纤维水溶性的不同,其流变学特性差异很大,SDF/IDF的比例不但影响膳食纤维的理化性质和代谢特性,对其生理功能也有重大影响。由于不同提取工艺(浸泡、挤压蒸煮和微米技术)制备的膳食纤维成分不同,最终导致SDF/IDF比例不同,进而影响膳食纤维的营养价值和生理功能。因此,现代技术手段倾向于使用高压均质、挤压蒸煮、氧化、交联、醚化、羧甲基化、发酵或酶处理等物理、化学方法制备膳食纤维,强化其理化特性,对膳食纤维进行改性研究^[17]。

3.3 离子交换能力和吸附作用

膳食纤维结构中,含有一些重要的侧链基团,主要包括羧基和羟基,呈现一个弱酸性阳离子交换树脂的作用,在阳离子交换中扮演重要的角色,可与阳离子进行可逆交换^[18]。膳食纤维离子交换作用不仅可以以结合的方式减少机体对离子的吸收,而且可以改变离子的瞬间浓度,通过稀释离子浓度延长离子的转换时间,在缓冲的环境进行更有益的消化吸收。有研究表明许多有毒阳离子能够被膳食纤维交换,然后随粪便排出体外,同时,膳食纤维还能够吸收 NO_2^- 、结合胆汁酸,进而预防癌症、高血压、高血脂等疾病^[19]。

4 膳食纤维的生理功能

膳食纤维特殊的理化性质和生理功能使它在生理代谢过程和预防疾病等方面扮演重要的角色^[20]。膳食纤维具有调节人体对脂肪等营养物质吸收的功能,对人体营养平衡具有重要意义。膳食纤维的生理功能主要包括:

4.1 预防心脑血管疾病。

膳食纤维能够预防心脏病^[21]、糖尿病^[22]、肥胖、冠心病、高血压、肝脏疾病^[23],还可以降低血液胆固醇水平^[24,25]和血糖^[22],提高胰岛素敏感性,膳食纤维的生理功能

与其结构中 1,3 和 1,4 糖苷键的比例和分子量有关, 也受加工工艺影响^[26]。宋真真等^[27]研究表明, 豆渣膳食纤维可以提高血清和肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性, 降低丙二醛(MDA)含量、乳酸脱氢酶(LDH)活性, 有效的保护心脏和肝脏, 具有较好的降血糖保健的功效。

4.2 改善肠道菌群

许多慢性疾病, 如肥胖、糖尿病肠、高血压、冠心病等都是由于肠道菌群的结构失调造成的。膳食纤维能够有效增殖肠道中的有益菌、盖上肠道菌群结构、保护肠屏障等功能, 对慢性疾病具有预防作用^[28]。膳食纤维中的非淀粉性多糖(如戊糖、小麦 β -葡聚糖、亚麻籽胶、葫芦巴胶^[29])进入肠道, 能够促进有益菌—双歧杆菌的生长繁殖, 从而改善人体肠道中微生物菌群结构^[30]。

4.3 抗氧化、清除自由基

膳食纤维中含有黄酮和多酚类物质, 具有清除自由基的能力, 在预防心脑血管疾病方面有特殊疗效^[31]。石秀梅等^[32]研究了 3 种来源的膳食纤维的抗氧化能力, 结果表明 3 种来源的膳食纤维都具有良好的抑制亚油酸氧化的能力, 并对清除自由基具有良好的效果。周小理等^[33]用不同的方法处理膳食纤维使其抗氧化活性得到一定的提高。

4.4 阻碍重金属吸收

膳食纤维具有阳离子交换作用, 能够减少或延缓重金属离子的吸收。有研究表明, 膳食纤维对 Pb、Cd、Hg 和高浓度的 Zn、Cu 等重金属都具有清除的功能^[34]。有研究表明膳食纤维排重金属离子的机制为螯合、络合或吸附作用。由于膳食纤维上还有丰富的游离的-OH 和-COOH 基团可以与重金属络合, 在体内形成难以吸收的凝胶, 有效地阻止重金属在胃肠的吸收。

4.5 预防便秘和结肠癌

膳食纤维可作用整个消化道, 在消化吸收的过程中, 膳食纤维与肠道内的食物残渣共同被微生物发酵。膳食纤维可以通过吸附、螯合等作用吸收有毒的代谢产物, 减少有毒代谢物对肠壁的刺激, 减少结肠癌等发生的几率^[35]。在肠道中膳食纤维可作为益生元, 增加肠道菌群中益生菌的数量, 同时不溶性膳食纤维可提高粪便体积和促进排便更加规律^[36]。膳食纤维中富含酚类等生物活性物质, 能够影响脂肪代谢, 同时具有预防癌症的功效^[37], 主要包括预防前列腺癌^[38]、结肠癌^[39]、乳腺癌^[40]和直肠癌^[41]等。

4.6 其他

膳食纤维还具有其他的生理功能, 也逐渐被人们发现。如膳食纤维能调节人体消化吸收、消炎^[42]、增强免疫力、治疗肥胖症、预防胆结石、增强口腔、牙齿的保健功能等。

5 膳食纤维的应用

膳食纤维新资源的出现和改良其功能特性技术手段的提高, 使膳食纤维在食品工业得到了广泛的应用, 同时也增加了富含膳食纤维新食品开发的可能性^[26]。

由于膳食纤维具有良好的理化特性, 已被广泛的应用于食品加工领域。膳食纤维在食品工业中体现的特性主要有持水性、持油性、乳化性和凝胶特性。作为营养增强剂和天然添加剂, 主要是改变食品的风味与质构。可以通过添加膳食纤维, 改变食物(饮料、面食、奶制品、肉、烘烤食品、果酱等)的品质特性^[43], 进而避免胶体脱水收缩和高脂肪食品的固化及乳化^[44]。膳食纤维可作为增稠剂、均质剂、稳定剂和脂肪替代品添加到饮料、食物和加工食品中^[45, 46]。此外, 膳食纤维在早点、香肠、膨化食品、冰淇淋、内脂豆腐、糖果、调味料品中也有广泛应用。2012 年 1 月 12 日, 卫生部 1 号文件批准“聚葡萄糖”这种膳食纤维作为营养强化剂应用于婴幼儿配方产品^[47]。

由于膳食纤维独特的生理功能, 在功能食品领域成为热点的研究对象^[48]。熊霜等^[49]研究表明江蓠膳食纤维、海藻酸钠、泽泻提取物和绞股蓝提取物的复合型海藻膳食纤维功能食品原料具有良好的辅助降血脂作用。陈继承等^[50]指出水溶性膳食纤维在降血脂的功能食品应用方面具有巨大的作用。

6 展望

目前关于膳食纤维生理功能的研究很多, 但是对于膳食纤维生理活性作用机制、构效关系及分子水平的研究很少, 需要进一步的研究。膳食纤维成本低, 来源广泛, 具有特殊的生物活性, 在很多领域有了广泛的应用, 但我国对膳食纤维的研发与国外还存在一定差距。随着人们对健康的持续关注, 膳食纤维的开发和利用迫在眉睫, 具有重要的现实意义和广阔的市场前景。

参考文献

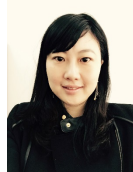
- [1] 王波, 张颖, 肖颜林, 等. 豆渣膳食纤维的制备工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2013,49(3):10-14.
Wang B, Zhang Y, Xiao YL, et al. The preparation of dietary fiber from soybean dregs [J]. Food Ferment Technol, 2013,49(3): 10-14.
- [2] Brownlee IA. The physiological roles of dietary fibre [J]. Food Hydrocolloid, 2011, 25(2): 238-250.
- [3] 刘博, 曾琳娜, 林亲录, 等. 可溶性膳食纤维生理功能研究进展[J]. 粮食与油脂, 2013, (9): 42-45.
Liu B, Zeng LN, Lin QL, et al. Research progress on physiological function of soluble dietary fiber [J]. Cereal Oil, 2013, (9): 42-45.
- [4] Debusca A, Tahergorabi R, Beamer SK, et al. Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber [J]. Food Chem, 2014, 148: 70-76.
- [5] Molist F, van Oostrum M, Perez JF, et al. Relevance of functional

- properties of dietary fibre in diets for weanling pigs [J]. *Anim Feed Sci Tech*, 2014, 189: 1–10.
- [6] Park SY, Yoon KY. Enzymatic production of soluble dietary fiber from the cellulose fraction of Chinese cabbage waste and potential use as a functional food source [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2015, 24(2): 529–535.
- [7] 李来好. 海藻膳食纤维的提取、毒理和功能特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- Li LH. Study on extraction, toxicology and functional properties of dietary fibers from seaweeds [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [8] 郑红艳. 小米麸皮膳食纤维的提取及成分和功能性质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- Zheng HY. Study on the extraction of Millet Bran Dietary Fibre and research on its ingredient functional properties [D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [9] Chen Y, Ye R, Yin L, *et al.* Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and in vivo evaluation [J]. *J Food Eng*, 2014, 120: 1–8.
- [10] 邵明攀, 李焱, 陶文亮. 功能性食品添加剂-膳食纤维[J]. *中国酿造*, 2013, (9): 17–20.
- Shao MP, Li Y, Tao WL. Functional food additives-dietary fiber [J]. *China Brewing*, 2013, (9): 17–20.
- [11] 裘纪莹, 陈蕾蕾, 王未名, 等. 发酵法制备高品质膳食纤维的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2010, (6): 24–27.
- Qiu JY, Chen LL, Wang WM, *et al.* Advancement of high-quality dietary fiber preparation by fermentation [J]. *Food Nutri China*, 2010, (6): 24–27
- [12] Huang Z, Ye R, Chen J, *et al.* An improved method for rapid quantitative analysis of the insoluble dietary fiber in common cereals and some sorts of beans [J]. *J Cereal Sci*, 2013, 57(3): 270–274.
- [13] 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. Study on modification of soybean dietary fiber and its baking application [D]. Shanghai: East China Norm University, 2013.
- [14] Jing Y, Chi Y. Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue [J]. *Food Chem*, 2013, 138(2–3): 884–889.
- [15] Arrigoni E, Caprez A, Amadò R, *et al.* Chemical composition and physical properties of modified dietary fibre sources [J]. *Food Hydrocolloid*, 1986, 1(1): 57–64.
- [16] Ramasamy UR, Gruppen H, Kabel MA. Water-holding capacity of soluble and insoluble polysaccharides in pressed potato fibre [J]. *Ind Crop Prod*, 2015, 64: 242–250.
- [17] Park KH, Lee KY, Lee HG. Chemical composition and physicochemical properties of barley dietary fiber by chemical modification [J]. *Int Biol Macromol*, 2013, 60: 360–365.
- [18] 张世仙, 杨春梅, 吴金鸿, 等. 豆渣膳食纤维提取方法及功能研究进展[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2009, (4): 93–97.
- Zhang SX, Yang CM, Wu JH, *et al.* Advance in Extraction Method and Function of Dietary Fiber from Soybean Dregs [J]. *J Southwest China Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2009, (4): 93–97.
- [19] Hong Y, Wu ZJ, Jian X, *et al.* Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties[J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(9): 3367–3374.
- [20] Galanakis CM, Tornberg E, Gekas V. A study of the recovery of the dietary fibres from olive mill wastewater and the gelling ability of the soluble fibre fraction [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43(7): 1009–1017.
- [21] Singh M, Liu SX, Vaughn SF. Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality [J]. *Biocatal Agr Biot*, 2012, 1(4): 348–352.
- [22] Owens TJ, Larsen JA, Farcas AK, *et al.* Total dietary fiber composition of diets used for management of obesity and diabetes mellitus in cats [J]. *Javma-J Am Vet Med A*, 2014, 245(1): 99–105.
- [23] Gong J, Yang C. Advances in the methods for studying gut microbiota and their relevance to the research of dietary fiber functions [J]. *Food Res Int*, 2012, 48(2): 916–929.
- [24] Lan G, Chen H, Chen S, *et al.* Chemical composition and physicochemical properties of dietary fiber from *Polygonatum odoratum* as affected by different processing methods [J]. *Food Res Int*, 2012, 49(1): 406–410.
- [25] Laerke HN, Meyer AS, Kaack KV, *et al.* Soluble fiber extracted from potato pulp is highly fermentable but has no effect on risk markers of diabetes and cardiovascular disease in Goto-Kakizaki rats [J]. *Nurt Res*, 2007, 27(3): 152–160.
- [26] Tanaka M, Takamizu A, Hoshino M, *et al.* Extraction of dietary fiber from *Citrus junos* peel with subcritical water [J]. *Food Bioprod Process*, 2012, 90(2): 180–186.
- [27] 宋真真. 豆渣膳食纤维的制备及其降血糖功能与面条工艺优化研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- Song ZZ. Research on bean dregs dietary fiber noodles and its hypoglycemic function [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2014.
- [28] 孙元琳, 陕方, 赵立平. 谷物膳食纤维——戊聚糖与肠道菌群调节研究进展[J]. *食品科学*, 2012, (9): 326–330.
- Sun YL, Shan F, Zhao LP. Research Progress in Pentosans as A Kind of Cereal Dietary and Their Microflora Effect [J]. *Food Sci*, 2012, (9): 326–330.
- [29] Ying X, Gong J, Goff HD, *et al.* Effects of pig colonic digesta and dietary fibres on in vitro microbial fermentation profiles [J]. *Bioact Carbohydr Dietary Fibre*, 2013, 1(2): 120–130.
- [30] 韩冬. 膳食纤维与肠道健康[J]. *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.
- [31] Basanta MF, de Escalada Pla MF, Raffo MD, *et al.* Cherry fibers isolated from harvest residues as valuable dietary fiber and functional food ingredients [J]. *J Food Eng*, 2014, 126: 149–155.
- [32] 石秀梅, 雷激, 梁爱华, 等. 3种来源膳食纤维抗氧化特性比较[J]. *食品科技*, 2013, (1): 71–75.
- Shi XM, Lei J, Liang AH, *et al.* Comparison of antioxidant properties among three dietary fibers [J]. *Food Sci Technol*, 2013, (1): 71–75.
- [33] 周小理, 钱贻芳, 周一鸣, 等. 不同处理工艺对苦荞麸皮膳食纤维体外抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2011, (8): 1–4.
- Zhou XL, Qian YF, Zhou YM, *et al.* Effect of different processing methods on *in vitro* antioxidant properties of dietary fiber from tartary buckwheat bran [J]. *Food Sci*, 2011, (8): 1–4.
- [34] Yan H, Wang Z, Xiong J, *et al.* Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties [J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(9): 3367–3374.
- [35] Tadayoni M, Sheikh-Zeinoddin M, Soleimani-Zad S. Isolation of

- bioactive polysaccharide from acorn and evaluation of its functional properties [J]. *Int J Biol Macromol*, 2015, 72: 179–184.
- [36] 吴洪斌, 王永刚, 郑刚, 等. 膳食纤维生理功能研究进展[J]. *中国酿造*, 2012, (3): 13–16.
- Wu HB, Wang YG, Zheng G, *et al*. The physiological functions research progress on dietary fiber [J]. *China Brewing*, 2012, (3): 13–16.
- [37] Lou Z, Wang H, Wang D, *et al*. Preparation of inulin and phenols-rich dietary fibre powder from burdock root [J]. *Carbohydr Polym*, 2009, 78(4): 666–671.
- [38] Al-Farsi M A, Lee C Y. Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds [J]. *Food Chem*, 2008, 108(3): 977–985.
- [39] Grigelmo-Miguel N, Martín-Belloso O. Characterization of dietary fiber from orange juice extraction [J]. *Food Res Int*, 1998, 31(5): 355–361.
- [40] Thebaudin JY, Lefebvre AC, Harrington M, *et al*. Dietary fibres: Nutritional and technological interest [J]. *Trends Food Sci Tech*, 1997, 8(2): 41–48.
- [41] 李瑜元. 高纤维膳食对降低结肠癌发病风险的作用[J]. *胃肠病学*, 2014, (7): 385–388.
- Li YY. The effect of high dietary fiber intake on decrease of risk of colorectal cancer [J]. *Chin J Gastroentero*, 2014, (7): 385–388.
- [42] 石立民, 刘博, 曾琳娜, 等. 可溶性膳食纤维抗炎研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2014, (9): 20–22.
- Shi LM, Liu B, Zeng LN, *et al*. Progress in anti-inflammatory function of soluble dietary fiber [J]. *Cereals Oil*, 2014, (9): 20–22.
- [43] 黄良哲, 林欢, 王海滨, 等. 不同溶解性膳食纤维的功能特性差异浅析及其在肉制品中应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, (9): 2783–2790.
- Huang LZ, Lin H, Wang HB, *et al*. Different features between soluble and insoluble dietary fibers and their application in meat products [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, (9): 2783–2790.
- [44] Elleuch M, Besbes S, Roiseux O, *et al*. Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre [J]. *Food Chem*, 2008, 111(3): 676–682.
- [45] Ding H H, Cui S W, Goff H D, *et al*. Soluble polysaccharides from flaxseed kernel as a new source of dietary fibres: Extraction and physicochemical characterization [J]. *Food Res Int*, 2014, 56: 166–173.
- [46] 戚勃, 杨少玲, 李来好, 等. 麒麟菜膳食纤维固体饮料制备工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2014, (7): 168–171.
- Qi B, Yang SL, Li LH, *et al*. Research on preparation process of *Eucheum* Dietary fibre solid beverage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, (7): 168–171.
- [47] 董丹丹. 膳食纤维与益生元在婴幼儿奶粉中的应用研究进展[J]. *食品添加剂*, 2012, (S1): 107–109.
- Dong DD. The study progress of the applications of dietary fiber and prebiotics in infant milk powder [J]. *China Food Add*, 2012, (S1): 107–109.
- [48] Azevedo Carvalho AF, de Oliva Neto P, Da Silva DF, *et al*. Xylo-oligosaccharides from lignocellulosic materials: Chemical structure, health benefits and production by chemical and enzymatic hydrolysis [J]. *Food Res Int*, 2013, 51(1): 75–85.
- [49] 熊霜, 肖美添, 叶静. 复合型海藻膳食纤维功能食品的降血脂作用[J]. *食品科学*, 2014(17):220–225.
- Xiong S, Xiao MT, Ye J. Hypolipidemic effect of functional foods containing dietary fiber from edible seaweeds [J]. *Food Sci*, 2014, (17): 220–225.
- [50] 陈继承, 何捷, 何国庆. 降血脂功能食品研究进展[J]. *食品科学*, 2011, (23): 333–338.
- Chen JC, He J, He GQ. Research progress on hypolipidemic nutraceuticals and functional foods [J]. *Food Sci*, 2014, (17): 220–225.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



刘楠, 助理研究员, 主要研究方向为海洋功能食品与生物制品。
E-mail: liunan@ysfri.ac.cn