

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.05.012

田婧, 聂晶, 王树林, 等. 蒸汽爆破对膳食纤维改性作用的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 167-171.

TIAN J, NIE J, WANG S L, et al. Research progress of modifying effect of steam blasting on dietary fibre[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(5): 167-171.

# 蒸汽爆破对膳食纤维改性作用的研究进展

田婧<sup>1,2</sup>, 聂晶<sup>2</sup>, 王树林<sup>1</sup>, 李春霖<sup>2</sup>, 邵圣枝<sup>2</sup>, 袁玉伟<sup>1,2</sup>✉

(1. 青海大学 农牧学院, 青海 西宁 810016;

2. 浙江省农业科学院 农产品质量安全与营养研究所, 浙江 杭州 310021)

**摘要:** 膳食纤维具有良好的生理功能, 对人体健康发挥着重要作用。综述了蒸汽爆破技术对食品副产物中膳食纤维的改性作用以及对膳食纤维的结构特性、理化性质、功能特性的影响。蒸汽爆破处理可以将膳食纤维中的部分不溶性膳食纤维转变为可溶性膳食纤维, 来增加食品及其副产品中可溶性膳食纤维的含量, 提高膳食纤维的品质, 以期能将高品质的膳食纤维应用于食品加工中, 提高膳食纤维的利用率。蒸汽爆破处理可以显著提高膳食纤维的理化功能特性, 有助于更好的开发膳食纤维功能性食品。

**关键词:** 蒸汽爆破技术; 膳食纤维; 改性; 理化特性; 功能特性

**中图分类号:** TS210.9    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-7561(2022)05-0167-06

## Research progress of Modifying Effect of Steam Blasting on Dietary Fibre

TIAN Jing<sup>1,2</sup>, NIE Jing<sup>2</sup>, WANG Shu-lin<sup>1</sup>, LI Chun-lin<sup>2</sup>, SHAO Sheng-zhi<sup>2</sup>, YUAN Yu-wei<sup>1,2</sup>✉

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;

2. Institute of Agricultural Products Quality, Safety and Nutrition, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021, China)

**Abstract:** Dietary fiber has good physiological function and plays an important role in human health. This paper reviews the modification of dietary fiber in food by-products by steam explosion technology and its influence on structure, physical and chemical properties and functional properties of dietary fiber. Steam explosion treatment can change some insoluble dietary fiber into soluble dietary fiber. It's expected to increase the content of soluble dietary fiber in food and its by-products and improve the quality of dietary fiber, so as to apply high-quality dietary fiber in food processing and improve the utilization rate of dietary fiber. Steam explosion treatment can significantly improve the physical and chemical functional characteristics of dietary fiber, helping to develop functional food of dietary fiber.

收稿日期: 2022-04-07

基金项目: 浙江省农业科学院产地溯源学科建设财政专项经费(2022)

**Supported by:** Financial Special Funds for the Construction of the Discipline of Origin Traceability of Zhejiang Academy of Agricultural Sciences (No. 2022)

作者简介: 田婧, 女, 1999年出生, 在读硕士生, 研究方向为农产品质量控制及安全评价研究。E-mail: 17395176850@163.com.

通讯作者: 袁玉伟, 男, 1975年出生, 博士, 研究员, 研究方向为农产品质量安全与溯源研究。E-mail: ywytea@163.com.

**Key words:** steam blasting technology; dietary fiber; modification; physical and chemical properties; functional characteristics

## 1 膳食纤维

膳食纤维 (Dietary Fiber, DF) 是指不能够被人体消化道酶消化吸收的可食用植物细胞壁、多糖、木质素以及相关物质的总和<sup>[1]</sup>。膳食纤维可根据在热水中的溶解性分为不溶性膳食纤维 (Insoluble Dietary Fiber, IDF) 和可溶性膳食纤维 (Soluble Dietary Fiber, SDF), 其中 SDF 具有较强的生理功能, SDF 含量的多少是评价膳食纤维品质好坏的一个重要指标<sup>[2]</sup>。SDF 的含量如果在 10% 以上, 可以最大限度地发挥其良好的加工特性、生理活性和保健功能, 许多食物中的膳食纤维总量很高, 但其中的 SDF 含量仅占膳食纤维总量的 3~4% 左右<sup>[3]</sup>。通过对膳食纤维进行改性, 可以有效地提高可溶性膳食纤维的含量, 从而使膳食纤维的利用率达到最大。

## 2 蒸汽爆破技术

蒸汽爆破技术 (简称汽爆技术), 最早是由美国学者 W.H.Mason 提出来的, 其原理是在原料中通入高温、高压的水蒸气, 用过热蒸汽将原料加热至 180~235 °C, 使蒸汽充分渗透到原料的组织与细胞之间, 并在毫秒间释放出高压, 在这个过程中, 原料中的水分会快速膨胀、外溢, 形成强大的剪切力, 从而破坏原料的组成, 提高纤维的品质<sup>[4]</sup>。

蒸汽爆破是一种在木质纤维原料预处理中得到广泛应用的技术, 它在食品领域起步比较晚, 但近年来发展迅速, 被证明是一种有效提高食品加工品质和营养品质的物理方法。作为一种新型原料热处理加工技术, 它是一种绿色环保, 能够有效溶出食品营养成分和对食品中大分子物质改性的方法, 在食品原料预处理方面有广阔的应用前景。

## 3 蒸汽爆破对膳食纤维的改性作用

利用蒸汽爆破技术对膳食纤维进行改性, 可以将部分 IDF 转变成 SDF, 其原因可能是因为 IDF 是由纤维素、部分半纤维素和木质素组成, 而 SDF 是由果胶、树胶、低聚糖和部分半纤维素组成<sup>[5]</sup>, 当高温高压水蒸气在毫秒间迅速被释放,

使得 IDF 中大分子物质的糖苷键断裂, 形成了小分子的糖类<sup>[6]</sup>, 从而提高了 SDF 的含量。且高温能使微生物活性降低, 可延长食品的保质期<sup>[7]</sup>。蒸汽爆破技术作为一种简单高效的食品副产物新加工技术, 具有很大的发展前景。

在蒸汽爆破后, 膳食纤维会在酸水解和热降解过程中溶解成小分子, 强大的机械力会破坏纤维大分子的结构, 氢键断裂, 分子链更容易重新排列<sup>[8]</sup>。蒸汽爆破技术在蔬菜、水果、粮谷类食品的膳食纤维改性中均有应用, 且改性效果明显。现阶段, 对于膳食纤维的改性作用主要集中在原料加工副产物中。Li 等<sup>[9]</sup>研究发现适当的汽爆处理可显著提高豆渣中的 SDF 含量, 张立娟等<sup>[10]</sup>采用蒸汽爆破技术对葡萄酒副产物进行改性, 较未汽爆处理的 SDF 提取率提高了 24.25%, Ma 等<sup>[11]</sup>测定了蒸汽爆破处理后对麦麸中 SDF 含量, SDF 含量由 18.88% 提高到 40.32%。由此可见, 蒸汽爆破处理可以提高 SDF 的溶出率, 增加食物副产物的附加值, 且对于保护环境和资源的开发再利用有重要意义。本文对近年来蒸汽爆破技术在膳食纤维改性方面的研究进行综述, 阐述了改性后的膳食纤维品质的变化, 以期对食物副产物的开发利用提供一定的参考。

### 3.1 对结构特性的影响

膳食纤维的结构会直接影响其理化和功能特性, 结构特性主要体现在其表面的形态特征、膳食纤维的结晶状态以及化学基团的组成等方面。通过扫描电子显微镜观测、比表面积测定、X-射线衍射表征、傅里叶红外光谱分析等多种方式对蒸汽爆破处理前后膳食纤维的结构进行对比, 可以更直观的看到汽爆处理对膳食纤维结构的影响, 为研究其理化性质提供依据。

未经汽爆处理的膳食纤维表面平整, 结构紧实, 当在汽爆处理后, 膳食纤维表面会出现大量空洞和孔隙, 说明蒸汽爆破处理对原料的细胞壁进行了破坏, 将原料内部的小分子物质溶出, 纤维的聚合度变小。郑佳欣<sup>[12]</sup>对改性前后的刺梨渣

膳食纤维进行了结构分析,在电子显微镜下可以看出未经汽爆处理的刺梨渣膳食纤维表面光滑平整、结构致密,而汽爆处理后的其表面则是出现了大量褶皱、呈现蜂窝状。姜永超等<sup>[13]</sup>对菠萝皮渣膳食纤维的形貌结构进行了电镜扫描,汽爆处理后,其表面出现了大量褶皱,具有很多空隙,增大了相对比表面积。蒸汽爆破处理破坏了膳食纤维原本的结构,使其表面积增大,出现很多的孔隙,有利于增强膳食纤维的吸附能力,提高持油力等。

对于膳食纤维的晶体结构,汽爆处理不会对其造成影响,王磊等<sup>[14]</sup>对改性后的麦麸进行了X-射线衍射表征,发现对DF的晶体结构基本不造成影响。

红外光谱图可根据吸收峰的峰形和峰面积等反映出膳食纤维官能团的位置有没有发生变化,以及膳食纤维中多糖的变化情况,对于汽爆处理后的膳食纤维,一般情况下,处理前后的峰形大致相似,因为汽爆处理没有改变膳食纤维原本的结构,只是将一些大分子的纤维素转变成小分子的糖类,因此,红外光谱图上会出现吸收峰的红移,说明一些纤维素、半纤维素发生了水解,并且出现了一些多糖的特征性吸收峰。Wang等<sup>[15]</sup>分析了蒸汽爆破前后甘薯渣膳食纤维的红外光谱图,发现处理前后的红外光谱大致相似,经过汽爆处理对甘薯渣的膳食纤维结构未造成显著改变,何晓琴等<sup>[16]</sup>对汽爆处理前后的苦荞麸皮进行光谱分析发现,处理后SDF的吸收峰变窄,吸收强度提高,说明经过汽爆处理的苦荞麸皮中纤维的氢键断裂,导致更多的羟基暴露在外面,使得SDF的吸收强度提高,汽爆处理有利于改善纤维的品质。

汽爆处理后膳食纤维的表面出现褶皱和很多孔隙,比表面积增大,这些特征可以更直观的反映出持水力、持油力、膨胀力等提高的原因。且汽爆处理没有导致膳食纤维中出现新的官能团,说明该技术不会引入其他有害物质,影响膳食纤维的品质。

### 3.2 对理化性质的影响

理化性质可以从持水力、持油力、膨胀力等

方面表现出来,它们会影响食品在加工过程中挤压、搅拌、均质中膳食纤维与其他组分结合的能力,从而对食品的口感和品质发挥作用。白晓州等<sup>[17]</sup>对废弃的沙棘果渣中可溶性膳食纤维进行了蒸汽爆破处理,沙棘果渣SDF其持水力、膨胀力和持油力比未经处理的提高了2.43、2.04、2.48倍。说明经过蒸汽爆破处理后,沙棘渣中SDF表面积增加,可以吸附更多的水分子和油分子,从而可以提高沙棘中SDF的持水力、膨胀力和持油力。崔潇文等<sup>[18]</sup>以番茄皮渣为原料,蒸汽爆破处理后番茄皮渣膳食纤维持油力显著提高。由于汽爆处理破坏了纤维结构,增大了比表面积,所以提高了对油的吸附能力。

持水力和膨胀力的提高,有助于膳食纤维与水分子的结合,使得膳食纤维可以吸收肠道内的水分,形成大体积的凝胶状物质,可以促进肠道蠕动,起到通便的作用来预防便秘。持油力与膳食纤维的表面结构有着密切关系,经过蒸汽爆破处理后的膳食纤维因其表面积增大,可以使更多的油分子吸附在膳食纤维表面,若可以将它们添加在脂肪含量高的食品中,可以减少因食用脂肪含量高的食物而导致肥胖的几率。

综上,汽爆处理可以提高食物原料副产物的利用,为废弃的食物皮渣等提供附加值,如果今后将改性后的膳食纤维添加在其他食品中,理化性质的提高对于研究功能性膳食纤维食品提供新的思路及方向。

### 3.3 对功能特性的影响

膳食纤维具有胆固醇吸收能力、降低血糖、维持膳后血糖水平和抗氧化等功能。膳食纤维中丰富的物质主要通过三个途径来降低血糖:一是抑制 $\alpha$ -淀粉酶的活性、二是通过增加体系粘度来阻断葡萄糖的扩散、三是通过吸附游离葡萄糖降低消化道内可吸收的葡萄糖<sup>[19]</sup>。Liu等<sup>[20]</sup>发现蒸汽爆破后的菠萝皮膳食纤维的抗氧化活性提高,张明等<sup>[21]</sup>测定了汽爆压力对西兰花老茎膳食纤维DPPH自由基清除率的值,与对照组比较提高约2倍,胡莹莹等<sup>[22]</sup>对汽爆后香蕉花SDF对清除DPPH自由基能力进行测定,发现汽爆后清除DPPH自由基能力显著提高。汽爆处理对于膳食

纤维的抗氧化能力有明显的效果,多食用富含氧化的食物,对于抗疲劳、缓解压力有很好的作用。汽爆处理后的 SDF 表现出良好的胆固醇结合能力<sup>[23]</sup>,胆固醇具有合成胆汁的作用,可以更好的帮助人体消化。膳食纤维中葡萄糖的吸附能力与膳食纤维的比表面积有关,比表面积增大,其表面基团的暴露增强了和葡萄糖的作用,汽爆处理可以显著提高葡萄糖的吸附能力,从而降低人体的血糖浓度。汽爆处理后 SDF 对小鼠血糖水平有调节作用,可显著降低小鼠的血糖<sup>[24]</sup>。

膳食纤维可以将血糖维持在正常的水平,降低血脂含量<sup>[25]</sup>,胆固醇的吸收被抑制<sup>[26]</sup>,还可以清除自由基提高抗氧化能力<sup>[27]</sup>,对于肠道益生菌的生长有促进作用,减少便秘<sup>[28]</sup>,控制体重,可以减少肠道癌等疾病的发病率。膳食纤维作为第七大营养素,其原本的营养价值就很高,汽爆处理后对于膳食纤维的功能特性有辅助效应,表现出较强的抗氧化能力、清除自由基能力,今后可以将改性后的膳食纤维添加在食品中,为食品提供更高的营养价值。

#### 4 结论与展望

综上所述,蒸汽爆破技术对于膳食纤维的改性作用效果明显,可有效提高其 SDF 的溶出率,促进膳食纤维中 IDF 向 SDF 的转化,SDF 含量的提高,可提升膳食纤维的品质。蒸汽爆破处理后改变了膳食纤维原有致密的结构,使其中的小分子多糖溶解出来,变成疏松多孔的结构,增大了表面积,有助于膳食纤维吸附更多的水油分子,结构特性的改变对于理化特性和功能特性的研究奠定了基础。汽爆处理提高了膳食纤维的抗氧化和清除自由基能力以及降血糖等功能,改善了膳食纤维的功能特性,蒸汽爆破技术对于食物中膳食纤维的利用具有良好的发展前景,对于废弃食品原料的开发提供了新的发展方向。

目前,蒸汽爆破技术在膳食纤维中的研究主要集中在优化工艺参数和理化结构特性的基础研究。对于蒸汽爆破处理后膳食纤维具体成分的变化以及改性机制的研究还较缺乏;对于蒸汽爆破处理后膳食纤维功能性食品的开发力度还不够,还处于研究汽爆技术对于食品原材料改性基本机

理的阶段。今后,还需再深入研究其对于人体健康的影响;对改性后的膳食纤维应用范围可以扩大,不能仅仅作为功能性食品出现在市场上,还要以其他形式的食品出现,以供消费者更好的做出选择,以期能将更高品质的膳食纤维的应用于实际生产中;对于蒸汽爆破的应用,不能局限在原料的加工上,还应根据蒸汽爆破技术的特点,找到其他适合开发的食物,以实现资源利用最大化。

#### 参考文献:

- [1] 康琪,朱若华.人类第七大营养素——膳食纤维[J].化学教育,2007(8):10-13.  
KANG Q, ZHU R H. The seventh most important nutrient for humans-Dietary fiber[J]. Chemical Education, 2007(8): 10-13.
- [2] 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,2013,26(9):42-45.  
LIU B, ZENG L N, LIN Q L, et al. Advances in the physiological functions of soluble dietary fiber[J]. Grains and Oils, 2013, 26(9): 42-45.
- [3] 胡娟.番茄皮膳食纤维对高脂膳食大鼠血脂的影响[D].西南大学,2011.  
HU J. Effect of dietary fiber from tomato peel on blood lipids in rats fed a high-fat diet[D]. Southwestern University, 2011.
- [4] 何晓琴,李苇舟,李富华,等.蒸汽爆破预处理在农产品加工副产物综合利用中的应用[J].食品与发酵工业,2019,45(8):252-257.  
HE X Q, LI W Z, LI F H, et al. Application of steam blasting pretreatment to comprehensive utilization of by-products in agricultural products processing[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(8): 252-257.
- [5] 丁莎莎,黄立新,张彩虹,等.膳食纤维的制备、性能测定及改性的研究进展[J].食品工业科技,2016,37(8):381-386.  
DING S S, HUANG L X, ZAHNG C H, et al. Research progress on the preparation, property determination and modification of dietary fiber[J]. Food Industry Technology, 2016, 37(8):381-386.
- [6] 王崇队,张明,马超,等.蒸汽爆破对绿芦笋废弃物膳食纤维改性的研究[J].中国果菜,2020,40(2):28-34+43.  
WANG C D, ZHANG M, MA C, et al. Modification of dietary fiber from green asparagus waste by steam blasting[J]. Chinese Fruit and Vegetable, 2020, 40(2): 28-34+43.
- [7] 张倩芳,李敏,孟晶岩,等.小麦麸皮改性及在食品中的应用研究进展[J].农产品加工,2021(2):64-67.  
ZHANG Q F, LI M, MENG J Y, et al. Research progress on the modification of wheat bran and its application in food[J]. Agricultural Processing, 2021(2): 64-67.
- [8] 张瀚文,余秋文,张一凡,等.膳食纤维的生理功能及改性方法研究进展[J].农业科技与装备,2021(1):64-65+68.  
ZHANG H W, YU Q W, ZHANG Y F, et al. Research progress on the physiological functions of dietary fiber and modification methods[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment,

- 2021(1): 64-65+68.
- [9] LI B, YANG W, NIE Y Y, et al. Effect of steam explosion on dietary fiber, polysaccharide, protein and physicochemical properties of okara[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 94.
- [10] 张立娟, 王琦, 佟永薇, 等. 蒸汽爆破技术在葡萄酒副产品可溶性膳食纤维提取中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(11): 67-71+81.  
ZHANG L J, WANG Q, TONG Y W, et al. Application of steam blasting technology in the extraction of soluble dietary fiber from grape winemaking by-products[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(11): 67-71+81.
- [11] MA J H, YUAN M, LIU Y, et al. Effects of steam explosion on yield and properties of soluble dietary fiber from wheat bran: Original Paper[J]. *Food Science and Technology Research*, 2021, 27(1).
- [12] 郑佳欣. 刺梨渣膳食纤维蒸汽爆破改性及结构、功能性质研究[D]. 北京林业大学, 2020.  
ZHENG J X. Steam blasting modification of prickly pear pomace dietary fiber and study of structural and functional properties[D]. Beijing Forestry University, 2020.
- [13] 姜永超, 林丽静, 龚霄, 等. 物理改性处理对菠萝皮渣膳食纤维物化特性的影响[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(5): 973-979.  
JIANG Y C, LIN L J, GONG X, et al. Effect of physical modification treatment on the physical and chemical properties of pineapple peel residue dietary fiber[J]. *Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(5): 973-979.
- [14] 王磊, 廖晨, 孟哲, 等. 改性麦麸膳食纤维功能和结构特性研究[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(7): 179-181.  
WANG L, LIAO C, MENG Z, et al. Functional and structural characterization of modified wheat bran dietary fiber[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2020, 48(7): 179-181.
- [15] WANG T L, LIANG X H, RAN J J, et al. Response surface methodology for optimisation of soluble dietary fibre extraction from sweet potato residue modified by steam explosion[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(3).
- [16] 何晓琴, 刘昕, 李苇舟, 等. 蒸汽爆破处理苦荞麸皮膳食纤维改性分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(9): 46-54.  
HE X Q, LIU X, LI W Z, et al. Analysis of dietary fiber modification of steam blast treated buckwheat bran[J]. *Food Science*, 2021, 42(9): 46-54.
- [17] 白晓州, 张镒飞. 蒸汽爆破对沙棘果渣可溶性膳食纤维性质影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(7): 34-39.  
BAI X Z, ZHANG Y F. Effect of steam blasting on soluble dietary fiber properties of sea buckthorn fruit pomace[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(7): 34-39.
- [18] 崔潇文, 袁茂翼, 叶发银, 等. 蒸汽爆破预处理对番茄皮渣膳食纤维组成及理化特性的影响[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-10 [2021-11-06].  
CUI X W, YUAN M Y, YE F Y, et al. Effect of steam blasting pretreatment on dietary fiber composition and physicochemical properties of tomato peel residues[J/OL]. *Food and Fermentation Industry*: 1-10 [2021-11-06].
- [19] WANG K L, LI M, HAN Q Y, et al. Inhibition of  $\alpha$ -amylase activity by insoluble and soluble dietary fibers from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)[J]. *Food Bioscience*, 2021, 42.
- [20] LIU M J. Effect of steam explosion modification and in vitro simulated digestion on antioxidant capacity of dietary fiber of pineapple peel[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 330(4): 042055-042055.
- [21] 张明, 马超, 吴茂玉, 等. 蒸汽爆破压力对西兰花老茎膳食纤维品质及理化特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(2): 46-51+58.  
ZHANG M, MA C, WU M Y, et al. Effect of steam bursting pressure on the quality and physicochemical properties of dietary fiber from old stems of broccoli[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2020, 41(2): 46-51+58.
- [22] 胡莹莹, 郑丽丽, 艾斌凌, 等. 汽爆处理对香蕉花可溶性膳食纤维理化性质的影响[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(2): 134-140.  
HU Y Y, ZHENG L L, AI B L, et al. Effect of steam explosion treatment on the physicochemical properties of soluble dietary fiber of banana flower[J]. *Chinese Journal of Food*, 2018, 18(2): 134-140.
- [23] SHEN M, GE Y F, KANG Z Y, et al. Yield and physicochemical properties of soluble dietary fiber extracted from untreated and steam explosion-treated black soybean hull[J]. *Journal of Chemistry*, 2019, 2019.
- [24] 何晓琴. 蒸汽爆破对苦荞麸皮膳食纤维理化特性及降血糖活性的影响[D]. 西南大学, 2020.  
HE X Q. Effect of steam blasting on the physicochemical properties and hypoglycemic activity of dietary fiber from buckwheat bran[D]. Southwest University, 2020.
- [25] YANG X, DAI J, ZHONG Y, et al. Characterization of insoluble dietary fiber from three food sources and their potential hypoglycemic and hypolipidemic effects[J]. *Food & Function*, 2021.
- [26] WU W J, HU J, GAO H Y, et al. The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics[J]. *Food Chemistry*, 2020, 332 (prepublish).
- [27] CHEN H, XIONG M, BAI T M, et al. Comparative study on the structure, physicochemical, and functional properties of dietary fiber extracts from quinoa and wheat[J]. *LWT*, 2021, 149.
- [28] JIA F J, YANG S F, MA Y Y, et al. Extraction optimization and constipation-relieving activity of dietary fiber from *Auricularia polytricha*[J]. *Food Bioscience*, 2020, 33(C). 