

大蒜果聚糖的研究进展

蒋茂婷, 刘娜, 张广文, 王超, 黄雪松*
(暨南大学理工学院 广州 510632)

摘要 大蒜果聚糖是大蒜中含量最高、性质稳定、分子质量较低的杂多糖,主要由果糖与葡萄糖组成,属于 1-蔗果三糖型果聚糖,其既具有优良的理化性质和多种生物活性,又具有优良的加工性能和保健功能,可应用于调味品、肉制品、乳制品、粮食加工品、保健食品等领域。为进一步了解大蒜果聚糖的潜在利用价值,本文综述大蒜果聚糖的提取方法与步骤、结构特性、常用测定方法、理化性质、生物活性等相关研究进展,分析其研究中存在的问题,为其进一步研究和开发利用提供参考。

关键词 大蒜果聚糖; 结构; 理化性质; 生物活性; 代谢酶; 改性

文章编号 1009-7848(2022)08-0374-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.08.040

我国既是世界最大的大蒜生产与消费国,又是世界最大的大蒜出口国(占国际贸易量 85%~90%)^[1]。大蒜营养丰富,尤其其所含的大蒜果聚糖成分,对于大蒜的功能、大蒜产业的发展非常重要。大蒜果聚糖是大蒜中除水分外含量最高的成分^[2],占大蒜干重的 75%~80%^[3],其既是大蒜的贮藏物质,又是大蒜药效或保健功能的重要物质基础之一。随着现代提取、分离、纯化、鉴定、生物活性评价等技术水平的提高,大蒜果聚糖的研究报道越来越多,然而,未见其系统的综述报道。为弥补这一缺陷并促进其进一步的开发利用,本文综述大蒜果聚糖的结构、理化性质、生物活性、代谢酶、改性、应用等研究进展,分析其研究存在的不足,为大蒜果聚糖的研究、开发、利用等提供参考。

1 大蒜果聚糖的提取

大蒜果聚糖的提取流程一般为:大蒜→脱脂→水提取→脱蛋白→乙醇沉淀→粗大蒜果聚糖→柱色谱纯化→大蒜果聚糖。

大蒜果聚糖是大蒜多糖的一种,两者提取方法一致,都是以水为提取溶剂,并辅之以调节 pH 值、或给予超声、酶、微波处理等。由于先前大蒜多糖方面的综述文献^[4]已对大蒜多糖提取方法进行

综述(大蒜果聚糖的提取方法与其一致),因此本文只综述近几年新提出的提取方法及其操作要点。

大蒜果聚糖提取率的高低,主要取决于:①大蒜的品种与产地;②醇沉时的乙醇体积分数,大蒜果聚糖可富集于 30%~80%乙醇部分。Yang 等^[5]提出了高频电场辅助提取法,其激励电压 200 V,频率 20 kHz, pH 2, 温度 70 °C, 料液比 1:20, 时间 30 min, Sevag 试剂脱蛋白, 75%乙醇沉淀, 提取率为 (9.73±0.31)%, 提取效率高。Yan 等^[6]首次提出三相分离【上部叔丁醇层、中间悬浮蛋白层、下部 (NH₄)₂SO₄ 层】结合梯度乙醇沉淀从大蒜中提取果聚糖, 在最终乙醇体积分数分别为 35%, 50%, 65% 和 80% 的情况下, 获得了 4 种果糖聚合物 GPS35、GPS50、GPS65 和 GPS80, 其多糖纯度均超过 80%, 该法较传统提取方法节能且耗时短。

2 大蒜果聚糖的结构

2.1 大蒜果聚糖的分子质量

根据已有的研究结果,将大蒜果聚糖的主要结构单元进行整理,结果见图 1(该图虽未见文献报道,但能反映已有的主要结构研究结果)。图 1 中的 n 值不同,大蒜果聚糖的聚合度 (Degree of polymerization, DP) 则不同,一般认为:其 DP=6~58^[7-8]。在此聚合度条件下,大蒜果聚糖的分子质量大约在 1 000~10 000 u^[8-9]之间。高效凝胶渗透色谱 (HPGPC) 法和基质辅助激光解析/电离飞行时间质谱 (MALDI-TOF-MS) 法是检测大蒜果聚糖分子质量较常用的方法。黄雪松等^[7]使用 MALDI-TOF-

收稿日期: 2021-08-10

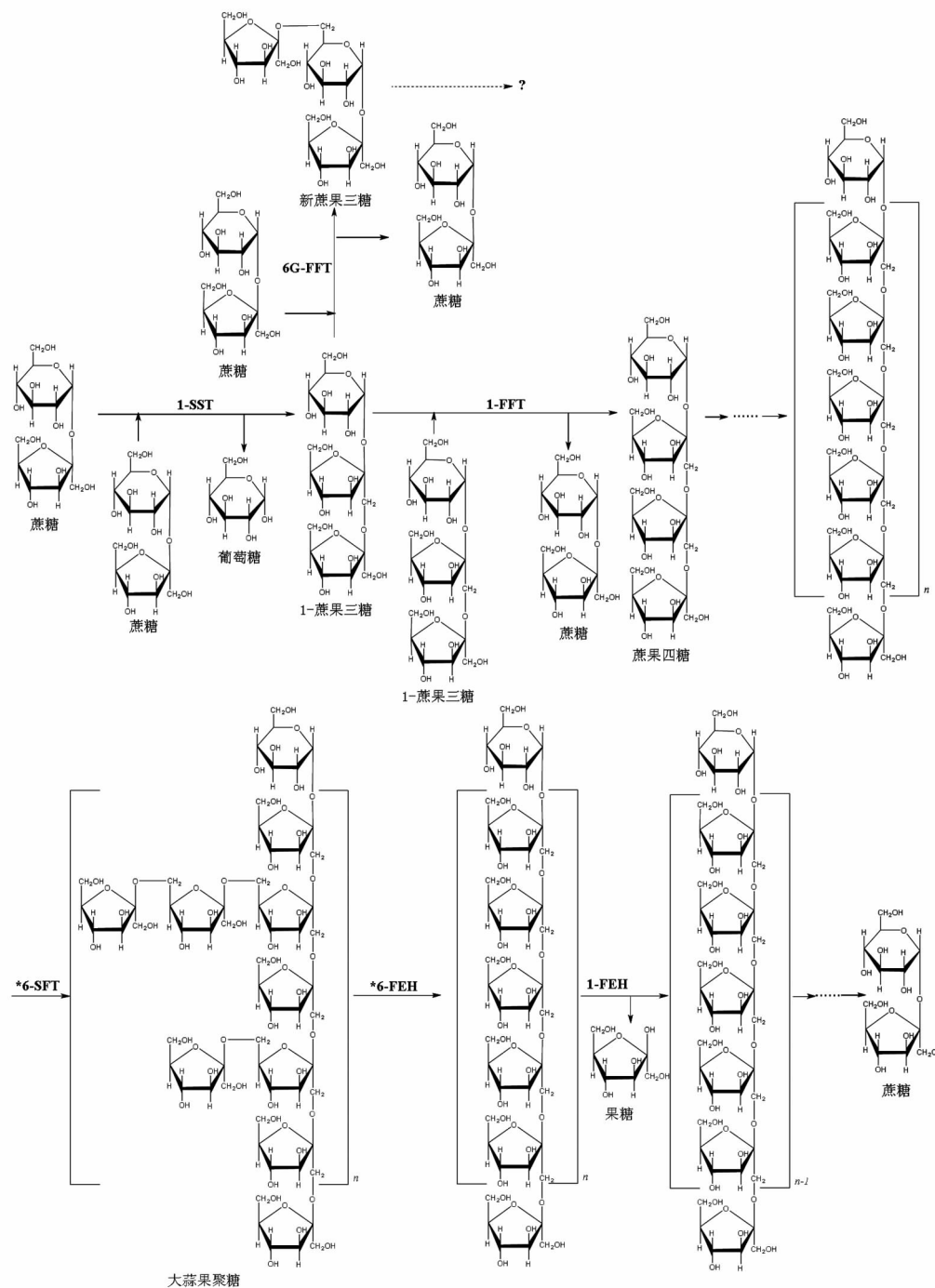
基金项目: 广东省重点研发计划项目(2018B020239001);
广东省驻镇帮镇扶村农村科技特派员项目
(KTP20210168)

作者简介: 蒋茂婷(1996—),女,硕士

通信作者: 黄雪松 E-mail: thxs@jnu.edu.cn

MS 法测得大蒜果聚糖的分子质量为 1 010~2 811 u;Chen 等^[10]使用 HPGPC 法测得大蒜果聚糖的分子质量为 4 540 u;Li 等^[11]使用 HPGPC 法测得大蒜果聚糖的分子质量为 10 ku。由于大蒜果聚糖分子

质量的差异与大蒜的产地、品种、新鲜程度、提取方法、尤其是测定方法等有关,如大蒜果聚糖水解酶常常容易使样品中的果聚糖水解而降低其分子质量;MALDI-TOF-MS 法因低聚合度样品容易电



注:大蒜果聚糖的结构参照 Chandrashekar 等^[13]的研究结果绘制;1-SST. 蔗糖:蔗糖 1-果糖基转移酶;1-FFT. 果聚糖:果聚糖 1-果糖基转移酶;6G-FFT. 果聚糖:果聚糖 6G-果糖基转移酶;6-SFT. 蔗糖:果聚糖 6-果糖基转移酶;6-FEH. 果聚糖 6-外切水解酶;1-FEH. 果聚糖 1-外切水解酶;? . 未见糖链延长报道;*. 推测可能的果聚糖代谢酶,目前在大蒜中没有此类代谢酶的报道。

图 1 大蒜果聚糖的主要结构单元^[12-13]

Fig.1 The main structural unit of garlic fructan^[12-13]

离而测得分子质量常低于 HPGPC 所测结果;因此建议引用大蒜果聚糖分子质量时,应注明其测定方法。

2.2 组成大蒜果聚糖的单糖种类与比例、构型与连接方式

采用水解、衍生化、定量分析(气相色谱或高效液相色谱)等方法,分析、测得大蒜果聚糖主要由果糖和葡萄糖组成,组成比例一般为4:1~15:1(见表1),差异较大,这可能与大蒜产地、品种、检测方法等不同有关。一般认为:大蒜果聚糖只含有果糖、葡萄糖两种单糖【主要为 β -D-呋喃果糖、 α -D-吡喃葡萄糖(见表1、图1)],然而,由表1可知,也有极少数研究者认为大蒜果聚糖含有极少量其它单糖,这可能与糖残基结构转化(如果糖极易衍生化)、定性分析方法等有关,有必要进一步研究澄清该差异。

大蒜果聚糖的连接方式主要为 β -(2,1)糖苷

键,部分为 β -(2,6)糖苷键(见表1、图1)。Baumgartner 等^[8]的报道称大蒜果聚糖由48.2% β -(2,1)连接、15.5% β -(2,6)连接、19.1%末端和15.5%支化的 β -D-呋喃果糖残基和1.7%的 α -D-吡喃葡萄糖残基组成,属于新蔗果三糖型果聚糖,即 β -D-吡喃果糖以 β -(2,1)糖苷键连接为主链,以 β -(2,6)糖苷键连接为侧链,并且以 β -(2,1)和 β -(2,6)糖苷键与一个 α -D-吡喃葡萄糖基相连。然而,Chandrashekar 等^[13]却认为:大蒜果聚糖由42% β -(2,1)连接、9% β -(2,6)连接、24%末端和21%支化的 β -D-呋喃果糖残基组成,属于1-蔗果三糖型果聚糖,即 β -D-吡喃果糖以 β -(2,1)糖苷键连接为主链,以 β -(2,6)糖苷键连接为侧链,非还原末端以 β -(2,1)糖苷键与 α -D-吡喃葡萄糖基相连。对于两种不同的观点,Chen 等^[10]通过二维核磁共振光谱法证实了 Chandrashekar 等人的观点,即大蒜果聚糖属于1-蔗果三糖型果聚糖。

表1 组成大蒜果聚糖的单糖种类与比例、构型与连接方式

Table 1 Types and proportions, configurations and connection methods of monosaccharides of garlic fructan

单糖种类与比例	单糖构型	单糖连接方式	文献
果糖:葡萄糖=15:1	-	-	[9]
-	新蔗果三糖型, β -D-呋喃果糖、 α -D-吡喃葡萄糖	β -2,1糖苷键、 β -2,6糖苷键	[8]
果糖:葡萄糖:半乳糖=85:14:1	-	β -2,1糖苷键	[14]
果糖:葡萄糖=7.95:1	-	β -型糖苷键	[15]
果糖:葡萄糖=11:1	β -D-呋喃果糖、 α -D-吡喃葡萄糖	β -2,1糖苷键、 β -2,6糖苷键	[16]
-	1-蔗果三糖型, β -D-呋喃果糖、 α -D-吡喃葡萄糖	β -2,1糖苷键、 β -2,6糖苷键	[13]
果糖:葡萄糖=14:1	1-蔗果三糖型, β -D-呋喃果糖、 α -D-吡喃葡萄糖	β -2,1糖苷键、 β -2,6糖苷键	[10]
果糖:葡萄糖=4:1	-	β 型糖苷键	[17]

2.3 大蒜果聚糖的分支度

大蒜果聚糖分支度的相关报道较少且结论不同。Baumgartner 等^[8]将大蒜果聚糖通过 HPGPC 分离,合并馏分后使用气相色谱-质谱联用仪进行分析,测得大蒜果聚糖的分支度为15.5%。索慧^[18]将甲基化大蒜果聚糖通过三氟乙酸水解、硼氢化钠还原、醋酸酐乙酰化后使用气相色谱-质谱联用仪进行分析,认为大蒜果聚糖的分支度至少为17%。Chandrashekar 等^[13]将大蒜果聚糖通过¹H核磁共

振(¹H-Nuclear magnetic resonance, ¹H-NMR)和¹³C核磁共振(¹³C-Nuclear magnetic resonance, ¹³C-NMR)光谱进行分析,认为其分支度为21%。

3 大蒜果聚糖含量的测定方法

大蒜果聚糖含量的测定方法主要有比色法和色谱法。由于比色法较色谱法成本低、操作简单、分析速度快,因此为较常用的方法。

比色法包括苯酚硫酸法、蒽酮硫酸法、Seli-

wanoff 法。苯酚硫酸法^[19]以浓硫酸为水解液水解大蒜果聚糖、苯酚溶液为显色液,反应后于波长 490 nm 处测定吸光度;蒽酮硫酸法^[20]也是以浓硫酸为水解液、以蒽酮溶液为显色液,反应后于波长 620 nm 处测定吸光度;Seliwanoff 法^[21]以硫酸铁铵为催化剂、浓盐酸为水解液、间苯二酚溶液为显色液,反应后于波长 473 nm 处测定吸光度,该法测定速度最快。因果聚糖与间苯二酚反应专一性强,所以如需精确测定大蒜果聚糖含量,建议优先采用 Seliwanoff 法;另外,测定大蒜果聚糖时,应注意采用具有呋喃环的果糖或低聚糖作为参比或对照样品,以免出现负误差。

色谱法主要为高效液相色谱法(HPLC),一般采用凝胶柱。青海大学^[22]报道了一种强酸水解-HPLC 法检测大蒜果聚糖含量的方法,即以 0.15~0.17 mol/L 盐酸为水解液将大蒜果聚糖彻底水解,通过 HPLC 法(Shodex SUGAR KS-801 串 KS-802 色谱柱)检测水解前、后蔗糖、葡萄糖和果糖的含量并计算即可得大蒜果聚糖的含量。使用色谱法除了可以得到大蒜果聚糖的含量信息,还可以得到相关单糖的组成与比例。

4 大蒜果聚糖的理化性质

4.1 物理性质

大蒜果聚糖的物理性质包括其在常温下的性状、熔点、溶解性、黏度、吸油性、吸湿性和保湿性、成胶能力、起泡性和泡沫稳定性。

4.1.1 性状^[23] 大蒜果聚糖通过提取、分离、纯化后呈白色粉末状。

4.1.2 熔点^[24] 大蒜果聚糖的熔点为 231.7~232.5 °C,其较高的熔点表明大蒜果聚糖的热稳定性好。

4.1.3 溶解性^[24-25] 大蒜果聚糖在水中溶解度(25 °C)为 102 g,形成透明溶液,且随着温度的升高溶解度明显提高;其微溶于乙醇;不溶于乙醚、丙酮、正丁醇、乙酸乙酯、氯仿等有机溶剂,在丙酮中形成白色颗粒状,在正丁醇和乙酸乙酯中形成粉状;与水溶性高分子物质可以很好地混合,且对混合物的溶解度没有任何影响。其高水溶性,使其已在喷雾干燥产品、拟脂肪类食品、微胶囊化产品中使用。

4.1.4 黏度^[26] 大蒜果聚糖的黏度与其浓度、温

度及不同电解质相关。浓度增高黏度增大,温度增高黏度降低,不同电解质对黏度的影响程度为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}$,并且随着电解质浓度的增加,大蒜多糖的黏度会有不同程度的增大。

4.1.5 吸油性^[27-28] 与酪蛋白相比,大蒜果聚糖的吸油性是酪蛋白的 1.26 倍,主要是因为大蒜果聚糖的亲水结构多于酪蛋白。

4.1.6 吸湿性和保湿性^[27-28] 大蒜果聚糖具有强吸湿性(如:室温下在分析天平上称量时,可看到读数随时间延长而明显增大),其吸湿和保湿能力在潮湿和干燥环境中比甘油高;该特点使其适用于制造面膜、涂膜类产品。

4.1.7 成胶能力^[28] 大蒜果聚糖与菊粉相比,菊粉可以在 30% 的浓度下形成一种牢固的凝胶,而大蒜果聚糖溶液在 40% 的浓度下也不会形成凝胶。由此说明大蒜果聚糖缺乏形成凝胶的能力,也说明了大蒜果聚糖和菊粉(线性果聚糖分子)的分子结构应有明显地不同。

4.1.8 起泡性和泡沫稳定性^[28-29] 大蒜果聚糖具有一定的起泡和保持泡沫的能力,然而与蛋清相比,其起泡性(50%)低于蛋清的起泡性(70%),并且泡沫在 60 min 内就会消失完全,主要是由于大蒜果聚糖没有疏水基团导致。

大蒜果聚糖的这些物理性质,使其具有良好的加工性能,可作为主辅料添加至饮料、面包、肉制品、乳制品、化妆品、酱体等领域的产品,增强其产品的保健功能和加工适性。

4.2 化学性质

大蒜果聚糖在高温和高酸环境下具有不稳定性,尤其在酸性条件下易于水解,Huang 等^[27]研究发现:2% 的大蒜果聚糖溶液在 90 °C 下 30 min 分解率为 3.5%,120 min 分解率为 14.5%;在 pH=2.01 和环境温度(20±5) °C 下 35 h 分解率为 35%,说明应将其置于尽可能低的温度且避免与酸性食品接触以减少分解。

由于大蒜果聚糖为非还原性多糖^[29],因此不可以直接用 3,5-二硝基水杨酸比色法和对羟基苯甲酸酰肼比色法对其含量进行直接测定。大蒜果聚糖结构中含有的主要基团羟基(-OH)为参与化学反应的活性部位,且果糖残基的 C₃ 位羟基更易发生反应,在分子的反应区域中可发生取代反

应(-OH 功能)和键的断裂反应(C-O-C 功能)^[30];另外,大蒜果聚糖中 β -(2,1)和 β -(2,6)糖苷键也为果聚糖代谢酶的主要作用位点。

5 大蒜果聚糖的生物活性

5.1 免疫调节作用

5.1.1 对免疫器官的调节作用 大蒜果聚糖可显著提高肉鸡的胸腺指数和法氏囊指数,提高蛋雏鸡的脾脏指数、胸腺指数和法氏囊指数,还能提高肉鸡和蛋雏鸡血清免疫球蛋白 IgA、IgG 和 IgM 的含量^[31-32]。

5.1.2 对免疫细胞的调节作用 大蒜提取物中的果聚糖和生大蒜中的果聚糖均显示出对鼠淋巴细胞和腹膜渗出液细胞中巨噬细胞的活化作用^[13],进而促进一氧化氮(NO)的释放和对酵母细胞的吞噬作用^[33]。大蒜果聚糖还对 RAW264.7 巨噬细胞具有免疫刺激作用,进而促进其吞噬作用和 NO 及几种免疫相关细胞因子(白细胞介素 IL-6、IL-10,肿瘤坏死因子 α 和干扰素 γ)的释放^[11]。此外,大蒜果聚糖还可提高免疫抑制小鼠血液中的白细胞总数、显著增强免疫抑制小鼠单核-巨噬细胞的功能^[34]。

5.2 抗氧化作用

大蒜果聚糖的抗氧化作用对心肌、肝脏、学习记忆能力、紫外线损伤、胃溃疡等方面均有影响。近几年对大蒜果聚糖的抗氧化性的研究主要集中在抗脂质过氧化方面。在健康肉鸡饮水中添加大蒜果聚糖,可以使肉鸡血清中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的含量提高,丙二醛含量降低,且添加 6~12 g/L 的大蒜果聚糖效果较好^[35]。对无水乙醇灌胃诱发的急性胃溃疡模型小鼠施用大蒜果聚糖,同样也可以使模型小鼠血清中超氧化物歧化酶活性提高,从而起到阻滞胃黏膜脂质过氧化反应的作用,使血清丙二醛含量降低^[36]。

5.3 抗病毒作用

大蒜果聚糖的抗病毒活性主要通过体外试验进行研究,作用机制主要是大蒜果聚糖通过抑制病毒基因的复制而达到对病毒感染的抑制作用。大蒜果聚糖可下调 EB 病毒裂解期诱导因子 BZLF1 和 DNA 复制期关键因子 EBNA-1 的表达,进而抑制 EB 病毒早期抗原的表达、衣壳抗原的

表达以及核酸复制^[37];另外,大蒜果聚糖还可以抑制与呼吸道合胞病毒复制晚期相关的聚合酶 L、磷酸蛋白 P 的基因表达,进而抑制呼吸道合胞病毒的复制^[38]。

5.4 增殖益生菌作用

大蒜果聚糖可作为益生元,在不同程度上显著刺激 4 种乳酸菌(干酪乳杆菌、嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、解淀粉芽孢杆菌)的生长,并产生短链脂肪酸。其中干酪乳杆菌显示出更多的生长,而植物乳杆菌则产生了较多的短链脂肪酸。不同 DP 的大蒜果聚糖能被菌株不同程度地利用^[39],其 DP 越小,越容易被益生菌利用。范颖等^[40]研究表明,大蒜果聚糖可以使急性酒精性肝损伤小鼠的肠道菌群多样性和均匀度指数增加,优杆菌属和乳酸菌属细菌数量增多,对急性酒精性肝损伤伴随的肠道菌群失调具有调节作用。另外,Wang 等^[23]还发现大蒜果聚糖可以使酒精性肝纤维化小鼠的肠道菌群丰富度增加,使毛螺菌属和乳酸杆菌属丰度增加,费克蓝姆氏菌属和厚壁菌门丰度减少,可用于治疗酒精性肝纤维化小鼠的肠道菌群失调。

5.5 其它生物活性

大蒜果聚糖除了上述活性外,还具有促进生长、改善血清生化指标和抗炎作用。大蒜果聚糖通过使肉鸡日增重提高、耗料增重比降低,来促进肉鸡的生长^[36];通过使肉鸡的血清总胆固醇和甘油三酯含量降低,来改善肉鸡血清生化指标^[40];通过使炎症因子 IL-6 和 IL-8 表达下调,来减轻呼吸道合胞病毒诱导的炎症反应^[38]。

6 大蒜果聚糖代谢相关酶

果聚糖是植物中常见的贮存多糖,其新陈代谢涉及到合成酶(至少 4 种)、水解酶(至少 3 种)等多种酶。在大蒜果聚糖代谢相关酶的作用下,大蒜果聚糖的代谢过程见图 1。

6.1 合成酶

大蒜中的合成酶已报道的有 1-SST^[12]、6G-FFT^[41]和 1-FFT^[42]3 种。各合成作用位点如图 1 所示,即:1-SST 可将大蒜中的蔗糖合成 1-蔗果三糖;6G-FFT 可将 1-蔗果三糖上的果糖基转移到蔗糖分子中葡萄糖基的 C6 位上,以 β -(2,6)糖苷键连接形成新蔗果三糖^[43];1-FFT 可将 1-蔗果三

糖分子的果糖基转移至另一个1-蔗果三糖分子上,以 β -(2,1)糖苷键连接形成蔗果四糖,继续该过程可延长果聚糖的糖链^[8,44]。而对于6-SFT还未见在大蒜中存在的报道。

6.2 水解酶

大蒜果聚糖水解酶(Fructan exohydrolase, FEH)作为外切酶,可将果聚糖分子上的末端果糖基依次分离,最终水解为蔗糖或果糖^[45]。FEH主要有3类:水解 β -(2,1)糖苷键的1-FEH(其作用位点见图1);水解 β -(2,6)糖苷键的6-FEH(其作用位点见图1);水解 β -(2,1)和 β -(2,6)两种糖苷键的1&6-FEH^[46]。对于大蒜中含有的具体FEH种类尚不清楚(如还不清楚是果聚糖转移酶还是果聚糖内切酶造成了果聚糖的非端基水解),一般将大蒜FEH作为一个大类来进行研究,也有学者分离纯化得到过大蒜1-FEH^[47]。

大蒜果聚糖各种代谢酶不仅有益于理解果聚糖在大蒜体内的合成与分解代谢规律,对于其产后加工、改性等都至关重要,比如生产低聚果糖^[48]或高聚果糖^[49]。然而,由于大蒜果聚糖代谢相关酶的研究报道较少,限制了大蒜生长、发育、储存和加工等科学问题的研究,因此有必要对此进一步研究清楚。

7 大蒜果聚糖的改性

大蒜果聚糖的改性主要是通过改变大蒜果聚糖分子的结构而改善其理化性质、增强生物学活性,其修饰部位主要发生在果糖呋喃环的羟基上。对大蒜果聚糖改性的现有方法有硒化、铁化、辛烯基琥珀酸酐酯化、磷酸化、硫酸化、羧甲基化等。

7.1 硒化

大蒜果聚糖硒化改性的方法主要有硝酸-亚硒酸钠法、冰醋酸-亚硒酸法、冰醋酸-亚硒酸钠法和氯化硒法^[50]。由于硝酸-亚硒酸钠法所需试剂容易获得,制备过程相对简单,产物含硒量高、回收方便,为常用的方法,硒化改性后的大蒜果聚糖与硒和果聚糖相比具有双重或更好的生物活性,且更容易被吸收利用^[51]。

邱树磊^[52]使用硝酸-亚硒酸钠法对大蒜果聚糖进行硒化,红外光谱(IR)鉴定其结构存在Se=O, Se-O-C特征吸收峰;氢化物发生-原子荧光光

谱法测定硒含量为0.11%~0.91%;通过体内、体外试验表明硒化大蒜果聚糖具有较高的抗氧化性和免疫增强活性。Gao等^[53]得到免疫增强活性最佳的改性条件为亚硒酸钠与大蒜果聚糖的质量比为0.8:1,反应温度为70℃,反应时间为6h。

7.2 铁化

将三氯化铁和果聚糖共热可以合成大蒜果聚糖-Fe(III)复合物。其粉末颜色由白色变为红棕色, $K_4Fe(CN)_6$ 经典化学显色反应未出现特征色,说明大蒜果聚糖-Fe(III)复合物中不存在自由Fe离子,证实了大蒜果聚糖被铁化,IR峰形的变化表明多糖的羟基参与了铁化反应^[54]。由于大蒜果聚糖-Fe(III)复合物的铁含量不能锁定磁场,因此未获得其复合物的NMR。邻菲咯啉比色法测定大蒜果聚糖-Fe(III)复合物中铁含量为9.2%;铁化的大蒜果聚糖在高浓度下对脂质过氧化的抑制作用高于大蒜果聚糖^[54]。

7.3 辛烯基琥珀酸酐酯化

辛烯基琥珀酸酐与大蒜果聚糖发生酯化反应得辛烯基琥珀酸大蒜果聚糖酯。IR显示辛烯基琥珀酸酐与大蒜果聚糖的羟基脱水形成了酯羰基C=O和不饱和双键C=C的特征吸收峰;¹³C-NMR分析得出辛烯基琥珀酸酐取代主要发生在果糖残基C₃和C₆位上;在最佳工艺条件下:pH 9.0~9.5,温度40℃,时间7h,大蒜果聚糖溶液质量分数20%,取代度为0.0239;最终得到的产物辛烯基琥珀酸酐大蒜果聚糖有较好的乳化性和一定的乳化稳定性^[30]。

7.4 其它改性方法

对大蒜果聚糖的其它改性方法的研究主要有磷酸化、硫酸化、羧甲基化、羧甲基化硫酸化和羧甲基化磷酸化等^[55-58]。改性后的大蒜果聚糖具有较强的抗氧化活性,不同取代基改性对大蒜果聚糖的抗氧化活性具有不同的影响^[57-58]。

硫酸化大蒜果聚糖的方法主要有三氧化硫-吡啶法和氯磺酸-吡啶法。刘燕琼等^[59]使用三氧化硫-吡啶法对大蒜果聚糖硫酸化,IR证明存在S=O和C-O-S的特征吸收峰;NMR表明硫酸基取代主要发生在果糖残基C₃和C₅位上;硫的取代度为2.19。Cheng等^[58]使用氯磺酸-吡啶法对大蒜果聚糖硫酸化,认为是果糖残基C₂位的一部分羟基

被氯磺酸取代,且硫的取代度为0.64。由此可见不同方法对产物的取代位置及取代度差异较大。

以三氯化磷与三乙胺作为大蒜果聚糖磷酸化试剂,其产物的IR存在P=O特征吸收峰;³¹P-NMR和¹³C-NMR结果体现大蒜果聚糖中的3个不同羟基被磷酸基团取代,其取代主要发生在果糖残基C₂,C₃,C₅位上;磷的取代度为0.04^[55]。

以氯乙酸作为大蒜果聚糖羧甲基化试剂,IR在1600cm⁻¹处的吸收峰增加表明引入了-COOH;¹³C-NMR光谱存在C=O和亚甲基中的C信号;羧甲基的取代度为0.92^[58],相比于硫和磷在大蒜果聚糖中的取代能力,一般认为羧甲基的取代能力更强。

8 大蒜果聚糖的应用

8.1 制备低聚果糖

大蒜低聚果糖具有调节体内菌群平衡、降低血脂、提高免疫力、促进矿物质吸收、预防龋齿、抗疲劳等活性^[17],除了可以直接合成或从大蒜中提取获得,还可以通过大蒜果聚糖的水解获得。贺苹苹^[60]将大蒜果聚糖的酸水解与膜分离结合,设计了大蒜低聚果糖连续制备系统。先前对大蒜果聚糖酸水解的研究发现^[17],底物浓度越低、pH值越低、温度越高,大蒜果聚糖的水解速度越快,因此其反应的最佳条件为使用盐酸,在底物质量分数为5%,pH值为3,温度为70℃水解大蒜果聚糖。

8.2 制备高果糖浆

酶解大蒜果聚糖,可得到高果糖浆。采用菊粉外切酶水解大蒜果聚糖,在pH值为4.8、温度为45℃、底物质量浓度为9mg/mL、加酶量为53.95U/mL、时间为8h的条件下,水解率达到96%;采用蔗糖酶水解大蒜果聚糖,在pH值为4.8、温度为45℃、底物质量浓度为8mg/mL、加酶量为210U/mL、时间为12h的条件下,水解率达到80%;而采用固定化蔗糖酶水解大蒜果聚糖,在pH值为5.0、温度为55℃、底物质量分数为10%、进料流速为0.4mL/min、连续降解4d的条件下,水解率达到85%^[61]。由此可见菊粉外切酶较蔗糖酶水解大蒜果聚糖得到的水解率更高,更适合高效生产高果糖浆。

8.3 其它

由于大蒜果聚糖具有水溶性好、起泡性、吸油

性、吸湿性和保湿性强等优良理化特性,且具有免疫调节、抗氧化、抗病毒、增殖益生菌等多方面的生理活性,因此可用于口服液^[62]、糖片^[63]、胶丸^[64]、保鲜剂^[65]、饮料^[66-67]、酒^[68]、冷饮^[69]、糖果^[70]、饼干^[71]、调味品^[72]、肉制品^[73]、乳制品^[74]、粮食加工品^[75]等多种产品中。然而,其报道虽多,却未见其相关工业化产品的报道;目前仅能够查到金乡县大蒜协会等单位制定的大蒜多糖的团体标准(T/JXDS 002—2020),根据该标准的生产工艺,其实主要成分是大蒜果聚糖。

9 结语

大蒜果聚糖在大蒜中含量高、生物活性高、原料易得;具有良好的物理、化学、生物学活性,商业化潜力巨大。为更好地提高大蒜果聚糖的利用价值,使其进一步被开发利用,未来的研究可以从以下几个方面进行:①目前得到纯化大蒜果聚糖所需流程复杂,且得率基本小于10%,远低于大蒜中果聚糖实际含量,应基于绿色加工,建立提高大蒜果聚糖提取率和纯度的提取方法;②大蒜果聚糖的聚合度、分子质量、分支度、结构单元等化学结构研究存在矛盾,主要与大蒜的产地、品种、新鲜程度、大蒜果聚糖的提取测定方法等不同有关,可针对同种大蒜不同提取测定方法做比较;③目前尚不清楚大蒜果聚糖高级结构和介观尺度等方面的特征,然而其高级结构对生物活性的影响比一级结构更重要,如多糖的三股螺旋结构可能与其免疫活性有相关联系,应更深入研究大蒜果聚糖的结构,探索新的生物活性及其机理;④需进一步鉴定大蒜果聚糖代谢酶种类,如糖链分支结构合成酶与水解酶,有助于更好地理解果聚糖在大蒜体内的合成与分解代谢规律;⑤目前已知大蒜鳞茎中存在大蒜果聚糖,本课题组已鉴定蒜皮中存在大蒜杂果聚糖(论文待发表),还有待鉴定在大蒜秸秆中是否也存在同类多糖,以对其进行充分利用,节约资源,保护环境。

参 考 文 献

- [1] 翟荣锦. 大蒜制品走俏国际市场[J]. 农家参谋, 2008(3): 31.

- ZHAI R J. Garlic products are popular in the international market[J]. The Farmers Consultant, 2008 (3): 31.
- [2] BEKENBILA N, SHIOMI N. Hydrolysis kinetic parameters of DP 6, 7, 8, and 9–12 fructooligosaccharides (FOS) of onion bulb tissues. Effect of temperature and storage time[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54 (7): 2587–2592.
- [3] PRAZNIK W, CIESLIC E, HUBER A. Fructans: Occurrence and application in food[M]. Boca Raton: CRC, 2003: 211.
- [4] 宋莎莎, 吕佳煜, 冯叙桥. 大蒜多糖研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(1): 364–368, 374.
- SONG S S, LÜ J Y, FENG X Q. Research progress of garlic polysaccharides [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(1): 364–368, 374.
- [5] YANG N, JIN Y M, JIN Z Y, et al. Electric-field-assisted extraction of garlic polysaccharides via experimental transformer device[J]. Food & Bioprocess Technology, 2016, 9(9): 1612–1622.
- [6] YAN J K, WANG C, YU Y B, et al. Physicochemical characteristics and *in vitro* biological activities of polysaccharides derived from raw garlic (*Allium sativum* L.) bulbs via three-phase partitioning combined with gradient ethanol precipitation method [J]. Food Chem, 2020, 339: 128081.
- [7] 黄雪松, 阎凤超, 吴建中. 基质辅助激光解析电离飞行时间质谱法测定大蒜寡糖和多糖分子量分布[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 146–149.
- HUANG X S, YAN F C, WU J Z. Determination of molecular weight distribution of garlic oligosaccharide and polysaccharide by matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry[J]. Food Sci, 2011, 32(2): 146–149.
- [8] BAUMGARTNER S, THOMAS G, DAX W, et al. Characterisation of the high-molecular weight fructan isolated from garlic (*Allium sativum* L.)[J]. Carbohydr Res, 2000, 328(2): 177–183.
- [9] JACK N L, SHURYO N. Molecular size of garlic fructooligosaccharides and fructopolysaccharides by matrix-assisted laser desorption ionization mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45(11): 4342–4346.
- [10] CHEN J L, CHEONG K L, SONG Z L, et al. Structure and protective effect on UVB-induced keratinocyte damage of fructan from white garlic [J]. Carbohydr Polym, 2013, 92(1): 200–205.
- [11] LI M, YAN Y X, YU Q T, et al. Comparison of immunomodulatory effects of fresh garlic and black garlic polysaccharides on RAW264.7 macrophages[J]. J Food Sci, 2017, 82(1/2/3): 767–773.
- [12] 文明. 大蒜果聚糖代谢酶的提取、分离与活性研究[D]. 广州: 暨南大学, 2015.
- WEN M. Extraction, separation and activity of garlic fructan metabolizing enzymes[D]. Guangzhou: Jinan University, 2015.
- [13] CHANDRASHEKAR P M, PRASHANTH K V H, VENKATESH Y P. Isolation, structural elucidation and immunomodulatory activity of fructans from aged garlic extract [J]. Phytochemistry, 2011, 72 (2/3): 255–264.
- [14] 黄雪松. 大蒜多糖的提取分离与分析[J]. 食品科学, 2005, 25(9): 48–51.
- HUANG X S. The extraction, separation and analysis of garlic polysaccharides[J]. Food Sci, 2005, 25 (9): 48–51.
- [15] 许克勇. 大蒜油逆流超临界 CO₂ 萃取及大蒜多糖提取技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
- XU K Y. Research on garlic oil countercurrent supercritical CO₂ extraction and garlic polysaccharide extraction technology[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2005.
- [16] 刘燕琼. 大蒜多糖的结构鉴定和工业化生产关键技术研究[D]. 广州: 暨南大学, 2007.
- LIU Y Q. Study on the structure identification and industrial production of garlic polysaccharides [D]. Guangzhou: Jinan University, 2007.
- [17] 卢晓明. 黑蒜低聚糖的产生规律及功能作用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- LU X M. Study on the production regularity and function of black garlic oligosaccharides[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2017.
- [18] 索慧. 大蒜果聚糖的一级结构研究[D]. 广州: 暨南大学, 2010.
- SUO H. Study on the primary structure of garlic fructan[D]. Guangzhou: Jinan University, 2010.
- [19] 杜瑞雪, 王丽丽, 张畅, 等. 大蒜及黑蒜多糖含量测定和抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 120–124.
- DU R X, WANG L L, ZHANG C, et al. Determination of polysaccharide content and antioxidant activity of garlic and black garlic[J]. Food Res Dev,

- 2019, 40(18): 120-124.
- [20] 李利华. 正交试验法优化超声辅助提取大蒜多糖工艺[J]. 中国调味品, 2014, 39(7): 70-73.
- LI L H. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of polysaccharide from garlic by orthogonal array design[J]. China Condiment, 2014, 39(7): 70-73.
- [21] 刘燕琼, 黄雪松. 大蒜中果聚糖的测定[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 84-86.
- LIU Y Q, HUANG X S. Determination of fructan in garlic[J]. Food Ferment Ind, 2005, 31(8): 84-86.
- [22] 青海大学, 青海省农林科学院. 一种强酸水解-HPLC法检测大蒜果聚糖含量的方法: 201711220784.9[P]. 2018-04-20[2021-04-10]. Qinghai University, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences. Method for detecting garlic fructan content by strong acid hydrolysis-HPLC: 201711220784.9[P]. 2018-04-20[2021-04-10].
- [23] WANG Y C, GUAN M, ZHAO X, et al. Effects of garlic polysaccharide on alcoholic liver fibrosis and intestinal microflora in mice[J]. Pharm Biol, 2018, 56(1): 325-332.
- [24] 蒋秋燕. 大蒜中性多糖的提取、纯化及其性质研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2003.
- JIANG Q Y. Study on extraction, purification and properties of garlic neutral polysaccharide[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2003.
- [25] 叶雪芳, 崔志英. 大蒜多糖的作用功效[J]. 广东饲料, 2012, 21(1): 27-30.
- YE X F, CUI Z Y. The effect of garlic polysaccharides[J]. Guangdong Feed, 2012, 21(1): 27-30.
- [26] 刘燕琼, 黄雪松. 大蒜多糖的粘度性质[J]. 食品研究与开发, 2007(12): 14-15.
- LIU Y Q, HUANG X S. Viscosity of garlic polysaccharide[J]. Food Res Dev, 2007(12): 14-15.
- [27] HUANG X S, WANG M, BAI W B. Some characteristics to the related food processing for garlic fructan [J]. Advanced Materials Research, 2011, 197-198: 79-85.
- [28] 黄雪松, 李颖思, 石思迷. 大蒜多糖功能性质的研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(6): 588-591.
- HUANG X S, LI Y S, SHI S M. Study of functions and properties of garlic polysaccharide[J]. Mod Food Sci Technol, 2009, 25(6): 588-591.
- [29] 陈真真, 周国勤, 陈新宏, 等. 转华山新麦草果聚糖合成酶基因对烟草相关生理指标的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(9): 95-98.
- CHEN Z Z, ZHOU G Q, CHEN X H, et al. Effects of transfer of fructan synthase gene of *Psathyrostachys huashanensis* on physiological indexes of tobacco[J]. Hubei Agric Sci, 2020, 59(9): 95-98.
- [30] 杨静. 辛烯基琥珀酸大蒜多糖酯的制备和性质研究[D]. 广州: 暨南大学, 2008.
- YANG J. Study on the preparation and properties of octenyl succinate garlic polysaccharide ester [D]. Guangzhou: Jinan University, 2008.
- [31] 张代, 黄修奇, 王中华. 大蒜多糖对肉鸡生长性能和免疫功能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(12): 120-123.
- ZHANG D, HUANG X Q, WANG Z H. Effect of garlic polysaccharide on growth performance and immune function of broilers [J]. Chin J Anim Sci, 2019, 55(12): 120-123.
- [32] 胥发英. 大蒜多糖对蛋雏鸡免疫功能的影响[J]. 乡村科技, 2019(20): 104-105.
- XU F Y. The effect of garlic polysaccharide on the immune function of laying chicks [J]. Countryside Science and Technology, 2019(20): 104-105.
- [33] CHANDRASHEKARA P M, VENKATESH Y P. Immunostimulatory properties of fructans derived from raw garlic (*Allium sativum* L.)[J]. Bioactive Carbohydrates & Dietary Fibre, 2016, 8(2): 65-70.
- [34] 许良, 李瑞瑞, 李心雨, 等. 大蒜化学成分(组)对免疫抑制小鼠免疫功能的调节作用[J]. 西北药学杂志, 2018, 33(6): 762-765.
- XU L, LI R R, LI X Y, et al. Immunoregulatory effect of garlic's chemical constituents (groups) on immunosuppressive mice [J]. North West Pharm J, 2018, 33(6): 762-765.
- [35] 赵香菊, 刘秀玲, 王中华. 大蒜多糖对肉鸡血清生化指标及抗氧化能力的影响[J]. 中国家禽, 2019, 41(20): 52-54.
- ZHAO X J, LIU X L, WANG Z H. Effects of garlic polysaccharide on serum biochemical indexes and antioxidant capacity of broiler chickens [J]. China Poultry, 2019, 41(20): 52-54.
- [36] 王雪辰, 孟凡景, 高广霞, 等. 大蒜多糖对无水乙醇致胃溃疡的保护作用[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(1): 47-49.
- WANG X C, MENG F J, GAO G X, et al. Protective effect of garlic polysaccharides on gastric ulcer induced by absolute alcohol [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2016, 27(1): 47-49.

- [37] 张小团. 大蒜多糖抑制 EB 病毒早期抗原、衣壳抗原表达及核酸复制的体外研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2016.
- ZHANG X T. *In vitro* study of garlic polysaccharide inhibiting the expression of epstein-barr virus early antigen, capsid antigen and nucleic acid replication [D]. Hengyang: University of South China, 2016.
- [38] 朱蕤, 孙剑刚, 邓毛子, 等. 大蒜多糖体外抑制呼吸道合胞病毒作用及其机制[J]. 湖北科技学院学报(医学版), 2018, 32(5): 376-379.
- ZHU Y, SUN J G, DENG M Z, et al. Inhibitory effect of garlic polysaccharide on respiratory syncytial virus *in vitro* and its mechanism [J]. J Hubei Univ Sci Technol (Med Sci), 2018, 32(5): 376-379.
- [39] SHALINI R, ABINAYA G, SARANYA P, et al. Growth of selected probiotic bacterial strains with fructans from Nendran banana and garlic [J]. LWT Food Science & Technology, 2017, 83: 68-78.
- [40] 范颖, 赵鑫, 李娜, 等. 大蒜多糖对急性酒精性肝损伤小鼠肠道菌群失调的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 141-146.
- FAN Y, ZHAO X, LI N, et al. The effects of garlic polysaccharide on the intestinal microflora dysbiosis in acute alcohol-induced hepatic injury mice [J]. Food Res Dev, 2018, 39(22): 141-146.
- [41] SUN X D, ZHU S Y, LI N Y, et al. A chromosome-level genome assembly of garlic (*Allium sativum* L.) provides insights into genome evolution and allicin biosynthesis[J]. Mol Plant, 2020, 13(9): 1328-1339.
- [42] 喻嘉鑫, 段翰英, 文明, 等. 大蒜果聚糖: 果聚糖 1-果糖基转移酶的酶学特性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 158-162.
- YU J X, DUAN H Y, WEN M, et al. Characteristics of fructan: Fructan 1-fructosyltransferase in garlic[J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(10): 158-162.
- [43] 许欢欢, 康健, 梁明祥. 植物果聚糖的代谢途径及其在植物抗逆中的功能研究进展[J]. 植物学报, 2014, 49(2): 209-220.
- XU H H, KANG J, LIANG M X. Research advances in the metabolism of fructan in plant stress resistance[J]. Chin Bull Bot, 2014, 49(2): 209-220.
- [44] GUEVARA -FIGUEROA T, LOPEZ -HERNANDEZ L, LOPEZ M G, et al. Conditioning garlic 'seed' cloves at low temperature modifies plant growth, sugar, fructan content, and sucrose sucrose fructosyl transferase (1-SST) expression[J]. Sci Hort, 2015, 189: 150-158.
- [45] MARTINEZ-NOEL G, TOGNETTI J A, SALERNO G, et al. Sugar signaling of fructan metabolism[J]. Plant Signaling & Behavior, 2010, 5(3): 311-313.
- [46] ENDE W V D, CONINCK B D, ANDRE V L. Plant fructan exohydrolases: A role in signaling and defense?[J]. Trends Plant Sci, 2004, 9(11): 523-528.
- [47] 卜利伟. 大蒜果聚糖代谢酶及黑蒜中糖与 5-HMF 的研究[D]. 广州: 暨南大学, 2014.
- BU L W. Study on garlic fructan metabolism enzymes and sugar and 5-HMF in black garlic [D]. Guangzhou: Jinan University, 2014.
- [48] 暨南大学. 一种利用大蒜果聚糖水解酶生产果糖和低聚果糖的方法: 200810220612.6[P]. 2009-06-17 [2021-04-10].
- Jinan University. Method for producing fructose and oligofructose by utilizing garlic fructan hydrolase: 200810220612.6[P]. 2009-06-17[2021-04-10].
- [49] 暨南大学. 大蒜果聚糖合成酶在生产高果聚糖中的应用: 201310013515.0[P]. 2013-05-01 [2021-04-10].
- Jinan University. Application of garlic fructan synthase in the production of high fructan: 201310013515.0 [P]. 2013-05-01[2021-04-10].
- [50] GAO Z Z, CHEN J, QIU S L I, et al. Optimization of selenylation modification for garlic polysaccharide based on immune-enhancing activity[J]. Carbohydr Polym, 2016, 136: 560-569.
- [51] STAAF M, YANG Z N, HUTTUNEN E, et al. Structural elucidation of the viscous exopolysaccharide produced by *Lactobacillus helveticus* Lb161 [J]. Carbohydr Res, 2000, 326(2): 113-119.
- [52] 邱树磊. 硒化大蒜多糖和硒化枸杞多糖的增强免疫和抗氧化活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- QIU S L. Study on the immunity and antioxidant activity of selenized garlic polysaccharide and selenized lycium barbarum polysaccharide [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [53] GAO Z Z, LIU K H, TIAN W J, et al. Effects of selenizing angelica polysaccharide and selenizing garlic polysaccharide on immune function of murine peritoneal macrophage [J]. Int Immunopharmacol,

- 2015, 27(1): 104-109.
- [54] CHEN X, HUANG G L. Synthesis and antioxidant activities of garlic polysaccharide-Fe(III) complex[J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 145: 813-818.
- [55] CHEN J F, HUANG G L. Antioxidant activities of garlic polysaccharide and its phosphorylated derivative[J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 125: 432-435.
- [56] GAO H, HUANG G L. Preparation and antioxidant activity of carboxymethylated garlic polysaccharide[J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 121: 650-654.
- [57] CHENG H, HUANG G L, HUANG H L. The antioxidant activities of carboxymethylated garlic polysaccharide and its derivatives [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 140: 1054-1063.
- [58] CHENG H, HUANG G L, HUANG H L. The antioxidant activities of garlic polysaccharide and its derivatives [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 145: 819-826.
- [59] 刘燕琼, 黄雪松. 硫酸化大蒜多糖的制备及其鉴定[J]. *食品科学*, 2007, 28(2): 91-94.
LIU Y Q, HUANG X S. Preparation of sulfated garlic polysaccharide and identification by spectrum [J]. *Food Sci*, 2007, 28(2): 91-94.
- [60] 贺苹苹. 大蒜低聚糖的制备及其益生活性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
HE P P. Study on the preparation of garlic oligosaccharides and its beneficial life [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019.
- [61] 黄菁. 酶解大蒜渣制备高果糖浆的工艺研究[D]. 广州: 暨南大学, 2011.
HUANG J. Study on the technology of preparing high-fructose syrup from garlic residue by enzymatic hydrolysis[D]. Guangzhou: Jinan University, 2011.
- [62] 王召华, 王双德. 大蒜多糖保健养生饮品及口服液: 201410046114.X[P]. 2015-07-29[2021-04-10].
WANG Z H, WANG S D. Garlic polysaccharide health care drink and oral liquid; 201410046114.X [P]. 2015-07-29[2021-04-10].
- [63] 菏泽天鸿果蔬有限公司. 一种大蒜多糖片及其制备方法: 201510410556.2 [P]. 2015-10-21 [2021-04-10].
Heze Tianhong Fruits and Vegetables Co. Ltd. Garlic polysaccharide tablets and preparation method thereof; 201510410556.2[P]. 2015-10-21[2021-04-10].
- [64] 王跃进. 一种大蒜多糖软胶丸: 201510311081.1[P]. 2015-10-21[2021-04-10].
WANG Y J. A kind of garlic polysaccharide soft gel pill; 201510311081.1[P]. 2015-10-21[2021-04-10].
- [65] 临沂市农业科学院. 一种甘薯专用保鲜剂及其制备方法和应用: 201710859824.8[P]. 2018-01-05[2021-04-10].
Linyi Academy of Agricultural Sciences. A special preservative for sweet potato and its preparation method and application; 201710859824.8[P]. 2018-01-05[2021-04-10].
- [66] 陈金玲, 陈小磊, 郭墨亭, 等. 大蒜益生元饮料生产工艺研究[J]. *食品科技*, 2009, 34(4): 85-87.
CHEN J L, CHEN X L, GUO M T, et al. Preparing prebiotic beverage from garlic fructan[J]. *Food Sci Technol*, 2009, 34(4): 85-87.
- [67] 湖南博隽生物医药有限公司. 一种防治心脑血管病的饮料及其制备方法: 201910076700.1[P]. 2019-04-30[2021-04-10].
Hunan Bojun Biological Medicine Co. Ltd. A beverage for preventing and treating cardiovascular and cerebrovascular diseases and its preparation method; 201910076700.1[P]. 2019-04-30[2021-04-10].
- [68] 邳州市朶星医药技术服务有限公司. 一种富含大蒜多糖的大蒜保健酒及其制备方法: 201810056451.5 [P]. 2018-05-18[2021-04-10].
Pizhou Gaxing Medical Technology Service Co. Ltd. A garlic health wine rich in garlic polysaccharides and its preparation method; 201810056451.5 [P]. 2018-05-18[2021-04-10].
- [69] 张晓燕. 一种营养均衡的山楂冰激凌: 201710846532.0[P]. 2018-01-19[2021-04-10].
ZHANG X Y. A balanced hawthorn ice cream; 201710846532.0[P]. 2018-01-19[2021-04-10].
- [70] 丁伟. 一种蓝莓叶黄素酯压片糖果: 201710598385.X[P]. 2017-11-28[2021-04-10].
DING W. A kind of blueberry lutein ester pressed candy; 201710598385.X[P]. 2017-11-28[2021-04-10].
- [71] 济南舜景医药科技有限公司. 一种辣木营养饼干及其制备方法: 201610242144.7[P]. 2016-08-24[2021-04-10].
Jinan Shunjing Pharmaceutical Technology Co. Ltd. Moringa nutritious biscuit and preparation method thereof; 201610242144.7[P]. 2016-08-24[2021-04-10].
- [72] 山东翁膳坊食品有限公司. 一种大蒜多糖米香醋制作配方及工艺: 201911167789.9[P]. 2020-04-10

- [2021-04-10].
Shandong Wengshanfang Food Co. Ltd. Formula and process for preparing garlic polysaccharide rice vinaigrette: 201911167789.9[P]. 2020-04-10[2021-04-10].
- [73] 聊城市立海冷藏有限公司. 一种茶香鸭胸肉及其制备方法: 201610242404.0[P]. 2016-06-08[2021-04-10].
Liaocheng Lihai Cold Storage Co. Ltd. A tea-flavored duck breast and its preparation method: 201610242404.0[P]. 2016-06-08[2021-04-10].
- [74] 广州市卫斯理日化实业有限公司. 超临界 CO₂ 萃余液中提取及纯化大蒜多糖的方法及大蒜多糖在制备酸奶中的应用: 201210340122.6 [P]. 2013-02-06 [2021-04-10].
Guangzhou Wesley Daily Chemical Industry Co. Ltd. Method for extracting and purifying garlic polysaccharide from supercritical CO₂ raffinate and its application in preparing yogurt: 201210340122.6 [P]. 2013-02-06[2021-04-10].
- [75] 李建顺. 一种大蒜多糖面及其制备方法: 201610995564.2[P]. 2017-03-15[2021-04-10].
LI J S. A garlic polysaccharide noodle and its preparation method: 201610995564.2[P]. 2017-03-15[2021-04-10].

Research Progress on Garlic Fructan

Jiang Maoting, Liu Na, Zhang Guangwen, Wang Chao, Huang Xuesong*
(College of Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632)

Abstract Garlic fructan is a heteropolysaccharide with the highest content, stable properties and low molecular weight in garlic. It is mainly composed of fructose and glucose. It belongs to 1-sucrose fructan, which not only has excellent physical and chemical properties and various biological activities, but also has excellent processing performance and health care functions. It can be used in condiments, meat products, dairy products, grain processing products, health food and other fields. In order to further understand the potential utilization value of garlic fructans, this article reviewed the extraction methods and procedures, structural characteristics, common determination methods, physical and chemical properties, biological activities and other research progress related to garlic fructans. Some problems in the research of garlic fructan were analyzed, which provided a basis for its further research and development.

Keywords garlic fructan; structure; physical and chemical properties; biological activity; metabolic enzymes; modified