

陈灿辉, 江文韬, 林 彤, 等. 竹笋多糖的提取、结构鉴定与生理功效研究进展[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(6): 1513-1520.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.06.034

竹笋多糖的提取、结构鉴定与生理功效研究进展

陈灿辉, 江文韬, 林 彤, 庄玮婧, 郑宝东, 李舒婷, 郑亚凤
(福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002)

摘要: 竹笋不仅美味营养丰富, 而且在传统中医和现代研究中均被证明具有良好的生理功效。竹笋多糖是竹笋中重要的功能性成分, 本文对国内外关于竹笋多糖的提取方法、分离纯化、结构鉴定以及生物活性和结构关系的研究进展进行了概述, 以期为进一步推动竹笋多糖的研究、开发与利用提供参考。

关键词: 竹笋; 多糖; 结构表征; 生物活性

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)06-1513-08

Progress in extraction, structural characterization and biological activities of bamboo shoot polysaccharide

CHEN Can-hui, JIANG Wen-tao, LIN Tong, ZHUANG Wei-jing, ZHENG Bao-dong, LI Shu-ting, ZHENG Ya-feng

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Bamboo shoots are not only considered as a delicious and nutritious food, but also proved to exhibit promising biological activities by traditional and modern studies. Bamboo shoot polysaccharide is one of the important functional components in bamboo shoots. In order to further promote the research, development and utilization of bamboo shoot polysaccharides, this review summarized the recent research progress on the extraction methods, separation and purification, structure identification, biological activity and structural relationship of bamboo shoot polysaccharides.

Key words: bamboo shoot; polysaccharide; structural characterization; biological activity

竹子是一种多年生的禾本科(*Gramineae*)竹亚科(*Bambusoideae*)常绿草本植物, 广泛种植于热带、亚热带地区, 特别是在中国、日本等亚洲国家具有悠久的栽培和利用历史^[1]。竹笋是竹子初生的芽或嫩茎, 是一种美味、营养丰富、药食兼备的传统森林蔬菜^[2]。竹笋不仅可为人体提供优质且丰富的膳食纤维, 还具有高蛋白、酚类、矿物质^[3]和低脂肪^[4]等优点。中国传统中医学认为竹笋具有清热化痰、

益气 and 胃、治消渴、利水道等功效, 现代科学研究还证实竹笋中的生物活性成分具有降血脂^[5]、抗衰老^[6]、预防冠心病^[7]和糖尿病^[8]以及防止肥胖^[9]等生理功效。

植物多糖是高分子量碳水化合物, 通常由 10 个以上单糖通过糖苷键连接而成, 结构多样并含有异构体^[10], 是自然界中重要的生物大分子之一, 具有增强免疫力^[11]、抗氧化^[12-13]、抗肿瘤^[14]、降血压^[15]、调节血糖血脂^[16]等多种生理功效。竹笋多糖是竹笋的主要生物活性成分之一, 被证明具有抗氧化、延缓衰老、增强免疫力、促进肠道菌群健康等多种生物活性^[17-21]。为推动竹笋多糖的进一步开发与利用, 提高竹笋精深加工水平, 本文对国内外竹

收稿日期: 2019-04-12

基金项目: 福建省高校青年自然科学基金重点项目(JZ160434)

作者简介: 陈灿辉(1994-), 男, 福建晋江人, 硕士研究生, 研究方向为笋多糖结构与功效, (E-mail) cchfst@163.com

通讯作者: 郑亚凤, (E-mail) zyffst@163.com

笋多糖的相关研究报道进行整理和归纳,对竹笋多糖提取工艺、结构表征与生物活性关系等方面的研究进行概述。

1 竹笋多糖的提取工艺

植物源多糖主要是植物细胞壁的一部分,细胞壁的结构对于多糖的提取有决定性影响^[22]。竹笋中不同部位均可用于多糖的提取,除了可供鲜食或加工的笋肉外,近年来对于竹笋加工废弃物(笋头、笋壳)的多糖提取,也已成为竹笋综合利用的一条新途径。国内外对竹笋多糖的提取进行了大量研究,已报道的提取方法主要有水提醇沉法、超声波辅助提取法、微波辅助提取法、复合酶法以及其他提取法等,具体提取工艺优化条件见表1。

1.1 水提醇沉法

水提醇沉法是用一定温度的溶剂对竹笋进行萃取,常用的溶剂包括酸液、碱液、热水^[23],然后通过乙醇沉淀法除去非活性物质,获得竹笋粗多糖,其影响因素包括提取温度、时间、次数和料液比。陈蕾俊等^[24]通过单因素试验及正交优化确定了毛竹笋水提醇沉法最佳提取工艺为料液比1:25(g:ml)、提取时间2 h和提取温度80℃,优化后的粗多糖提取率为8.47%。不同因素对多糖提取率的影响次序为:提取时间<提取温度<料液比。随着提取温度的提升,多糖提取率呈现先增后减的趋势,这可能是由于长时间的高温造成竹笋多糖结构被破坏或降解,使得提取率下降。Zhang等^[19]验证了不同溶剂对多糖提取效果的影响,以蒸馏水、1.25%硫酸和0.1 mol/L氢氧化钠3种不同的溶剂提取竹笋多糖,提取率分别为6.82%、3.50%和4.14%。相比于酸提(1.25%硫酸)和碱提(0.1 mol/L氢氧化钠),传统水提的提取率最高,且溶剂需要量少,更加环保,但提取温度高,耗能大。相比于传统水提法,酸提法将多糖提取时间缩短了83.33%。

1.2 超声波辅助提取法

超声波辅助提取,主要是利用超声波的机械效应对竹笋细胞壁结构进行破碎,从而加速多糖的析出,影响因素包括超声波功率、温度、时间、料液比等。郑炯等^[25]通过响应面试验对超声波辅助提取麻竹笋多糖进行工艺优化,结果表明,在料液比、温度、超声波功率以及时间分别为1:40(g:ml)、55℃、400 W和29 min条件下,麻竹笋多糖的提取率

为2.49%,对比该课题组先前所采用的水提醇沉法(最高提取率2.19%),超声波辅助将提取时间缩短50%以上,并在较低的提取温度下显著提升提取效率。Chen等^[26]从竹笋罐头加工废弃物中提取竹笋多糖,通过单因素试验和响应面优化,结果表明料液比1.0:20.2(g:ml)、提取温度49℃、超声波功率240 W、提取时间40 min条件下,多糖提取率为8.76%。相对于传统的水提醇沉法,超声波辅助提取法具有能耗少、时间短、操作简单、效率高等优点。

1.3 微波辅助提取法

微波辅助提取法是指利用微波的电磁效应和热效应,使细胞内部热能增加,压力升高,导致细胞壁破裂,从而促进多糖的溶出^[27-28],影响因素包括微波功率、时间、料液比等。为研究微波辅助提取对笋壳多糖提取率的影响,张帅^[29]通过正交试验对微波辅助提取笋壳多糖进行工艺优化,结果表明,在料液比1:45(g:ml)、微波时间3 min、微波功率800 W、提取次数4次的条件下,笋壳多糖提取率为1.41%。相比于水提醇沉法和超声波辅助提取法,微波辅助提取法的主要优势是大幅度缩短了提取时间,提高了提取效率。

1.4 复合酶解法

复合酶解法,主要是针对竹笋中多糖以外的成分,如蛋白质、纤维素、果胶等,利用酶的分解作用促进竹笋多糖的溶出,是一种可以在较低温度下提取多糖的温和提取方法。陈晓燕等^[30]通过单因素试验和正交优化得到在料液比、酶解时间、酶解温度分别为1:35(g:ml)、2.2 h、60℃条件下,每0.3 g笋肉样品中添加木瓜蛋白酶7 200 U、果胶酶1 080 U、纤维素酶360 U,多糖提取率为17.20%。刘焕燕等^[31]通过单因素试验和响应面优化,得到在复合酶(蛋白酶:纤维素酶:果胶酶=1:1:1)添加量为1.6%、料液比1:30(g:ml)、酶解温度51℃、酶解时间105 min条件下,毛竹笋壳多糖提取率为1.98%。复合酶解法有利于实现较高的多糖提取率,可能是由于适当的复合酶可以在温和的条件下快速地降解竹笋细胞壁,使得多糖物质能够快速有效地溶解释放,从而提高多糖的提取率。

1.5 其他提取法

近年来,随着多糖提取技术的进步,一些新方法在竹笋多糖提取上得到了研究与应用。张帅^[29]通过正交试验对微波-超声波联合提取笋壳多糖的工

艺进行优化,在提取时间、料液比、微波功率和超声波功率分别为 30 min、1 : 25(g : ml)、200 W 和 750 W 的条件下,提取 3 次,笋壳多糖得率为 2.76%,对比该课题组先前的水提醇沉法(提取率为 1.52%),微波-超声波联合提取不仅提高了多糖提取率,而且大幅度缩短了提取时间。Chen 等^[32]采用快速溶剂萃取(ASE)技术从笋头中快速提取多糖,优化后的工艺为:将笋肉粉末与硅藻土按照 1 : 5(质量比)混

合,使用提取溶剂 40 ml,在不锈钢提取罐中进行加压(100 bar)、加热(126 ℃)、静态提取 22 min,提取 2 次,在该条件下竹笋多糖的得率为 9.96%。可见,相比水提醇沉法,快速溶剂萃取法时间更短、提取率更高,这可能是由于在高压高温的作用下,竹笋细胞壁发生破裂,细胞内物质扩散更加活跃,促进了多糖的析出,从而提高了提取效率。

表 1 竹笋多糖不同提取工艺参数

Table 1 Parameters of different extraction processes for bamboo shoot polysaccharide

方法	提取部位	温度 (℃)	时间 (min)	料液比 (g : ml)	其他工艺参数	多糖提取率 (%)	参考文献
水提醇沉法	笋肉	80	120	1 : 25	蒸馏水	8.47	[24]
		100	180	1 : 15	蒸馏水	6.82	[19]
		85	30	1 : 40	1.25%硫酸溶液	3.50	
		85	240	1 : 40	0.1 mol/L 氢氧化钠溶液	4.14	
	笋壳	90	120	1 : 30	蒸馏水	1.52	[29]
超声波辅助提取法	笋肉	55	29	1 : 40	超声功率 400 W	2.47	[25]
	笋加工废弃物	49	40	1 : 20.2	超声功率 240 W	8.76	[26]
	笋肉	50	50	1 : 40	超声功率 250 W,提取 3 次	2.80	[33]
微波辅助提取法	笋壳	NA	3	1 : 45	微波功率 800 W;提取 4 次	1.41	[29]
复合酶解法	笋肉	60	132	1 : 35	每 0.3 g 笋肉添加木瓜蛋白酶 7 200 U、果胶酶 1 080 U、纤维素酶 360 U	16.10	[30]
	笋壳	51	105	1 : 30	按 1.6%添加复合酶(蛋白酶 : 纤维素酶 : 果胶酶 = 1 : 1 : 1,质量比)	1.98	[31]
快速溶剂萃取法	笋肉	126	22	1 : 8	提取罐压力维持在 100 bar,提取 2 次	9.96	[32]

NA 表示文中未提及。

2 竹笋多糖的分离纯化和结构表征

多糖的结构多样,组成复杂,分离纯化过程一般包含除杂和分级 2 部分,除杂为除去蛋白质、色素、小分子杂质等,分级则有离子交换层析法、凝胶过滤层析法等。结构表征分析一般包含多糖的分子量大小、单糖组分、糖苷键类型、取代基的位置及含量、空间构象以及是否存在异构^[34]。多糖不同的生物活性取决于其不同的结构表征^[35],因此探究竹笋多糖的结构表征对竹笋多糖进一步的开发和应用具有重要意义。近年来竹笋多糖分离纯化及结构表征研究见表 2。

Jinsong 等^[36]通过水提醇沉法,并经过 Sevag 法脱蛋白质、透析脱色以及 DEAE-52 纤维素柱层析和 Sephadex-50 葡聚糖凝胶柱纯化,得到 BSP1A、BSP2A、BSP3B 3 种竹笋多糖组分,其糖醛

酸含量分别为 1.8%、6.7%、7.6%,分子量分别为 1.02×10^4 、 1.70×10^4 、 2.00×10^4 。对不同竹笋多糖片段的单糖组分鉴定结果表明,BSP1A 中的阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖的摩尔比为 1.0 : 40.6 : 8.7,而 BSP2A 和 BSP3B 中的阿拉伯糖、木糖、葡萄糖和半乳糖摩尔比分别为 6.6 : 1.0 : 5.2 : 10.4 和 8.5 : 1.0 : 5.1 : 11.1。红外光谱试验结果证实 BSP2A 与 BSP3B 含有 β -D-吡喃型糖环,而 BSP1A 不仅含有 β -D-吡喃型糖环还具有 α -D-吡喃型糖环。从 ¹³C NMR 和 ¹H NMR 图谱分析结果可知 BSP2A 通过→5)β-Ara(1→和→3)β-Gal(1→连接,而 BSP3B 通过→3)β-Glu(1→和→3)β-Gal(1→连接,同时刚果红试验结果表明三者皆具有三股螺旋结构。

Kato 等^[37]使用草酸铵-草酸和 4%、24%的 KOH 溶液连续进行萃取,分离出 2 种新型竹笋细胞壁多

糖,分别是用 4%KOH 溶液分离出的 β -D-葡聚糖和用 24%KOH 溶液分离出的木葡聚糖。酶降解和甲基化试验结果表明, β -D-葡聚糖主要由摩尔比为 2:1 的 3-O- β -纤维二糖基-d-葡萄糖和 3-O- β -纤维三糖基-d-葡萄糖构成,而木葡聚糖则是由 α -D-吡喃木糖基-(1 \rightarrow 6)- β -D-吡喃葡萄糖基-(1 \rightarrow 4)-D-葡萄糖和 α -D-吡喃木糖基-(1 \rightarrow 6)- β -D-吡喃葡萄糖基-(1 \rightarrow 4)-D-葡萄糖构成。

He 等^[38]通过水提醇沉法(90 ℃、4 h),并经由 DEAE-52 纤维素柱层析 Sephadex-100 葡聚糖凝胶柱纯化,从竹笋中分离出 WBP-1 和 WBP-2 2 个组分新型多糖,其平均分子量分别为 8.350×10^4 和 8.008×10^4 。两者的单糖组成皆为鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖以及半乳糖, WBP-1 单糖组分摩尔

比为 1.0:1.2:2.0:19.3:5.6:6.6,而 WBP-2 为 1.1:3.3:3.0:13.3:1.0:6.6,且红外光谱和核磁共振谱显示多糖糖基之间存在 α -糖苷键和 β -糖苷键。

由此可见,竹笋多糖的分子量大小跨度较大,这也决定了竹笋多糖的分离纯化以 DEAE-52 纤维素柱和 Sephadex-100 葡萄糖凝胶柱组合分离为佳。单糖的组成主要由葡萄糖、葡萄糖醛酸、甘露糖、木糖、半乳糖、半乳糖醛酸、岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖等,不同品种或者同一笋品种不同部位的竹笋多糖,其单糖组分和摩尔比存在差异。连接单糖与单糖之间的糖苷键类型一般包含 α -和 β -2 种类型,空间结构则常表现为三股螺旋结构。

表 2 竹笋多糖分离纯化及结构表征

Table 2 Isolation, purification and structural characterization of bamboo shoot polysaccharides

多糖名称	纯化方法	分子量($\times 10^3$)	单糖组成及摩尔比	结构特征	参考文献
WBP-1	DEAE-52; Sephadex-100	83.50	Rha : Ara : Xyl : Man : Glc : Gal = 1.0 : 1.2 : 2.0 : 19.3 : 5.6 : 6.6	α -糖苷键和 β -糖苷键	[38]
WBP-2		80.08	Rha : Ara : Xyl : Man : Glc : Gal = 1.1 : 3.3 : 3.0 : 13.3 : 1.0 : 6.6		
BSP1A	DEAE-52; Sephadex-50	10.2	Ara : Glc : Gal = 1.00 : 40.62 : 8.65	β -D-吡喃型糖环和 α -D-吡喃型糖环	[39]
BSP2A		17.0	Gal : Xyl : Glc : Gal = 5.43 : 1 : 2.87 : 10.37	β -D-吡喃型糖环,主链为 \rightarrow 5)	
BSP3B		20.0	Ara : Xyl : Glc : Gal = 6.57 : 1 : 3.69 : 12.08	β -D-吡喃型糖环,主链为 \rightarrow 3)	
BSP2a	DEAE-52; Sephadex-100	1.63 \times 104	Ara : Xyl : Man : Glc : Gal = 20.4 : 4.9 : 1.0 : 3.4 : 20.6	β 型吡喃多糖	[40]
PCPs	Sephadex-100	136.1、29.7、8.3	Man : Rha : GlcA : Gal : Glc : Gal : Xyl : Ara = 1.00 : 2.05 : 2.28 : 2.36 : 15.76 : 49.06 : 16.70 : 39.86	1 \rightarrow 或 1 \rightarrow 6 糖苷键(35.1%)、1 \rightarrow 2 或 1 \rightarrow 4 糖苷键(14.8%)、1 \rightarrow 3 糖苷键(50.1%)	[25]
WBP1	DEAE-52; Sephadex-100	83.44	Rha : Ara : Xyl : Man : Glc : Gal = 5.05 : 6.06 : 10.13 : 97.19 : 28.11 : 33.41	NA	[41]
WBP2		80.01	Rha : Ara : Xyl : Man : Glc : Gal = 4.39 : 13.65 : 12.43 : 55.34 : 4.16 : 27.33		

Rha:鼠李糖;Ara:阿拉伯糖;Xyl:木糖;Man:甘露糖;Glc:葡萄糖;Gal:半乳糖;GlcA:葡萄糖醛酸;GalA:半乳糖醛酸。NA 表示文中未提及。

3 竹笋多糖的生物活性

竹笋多糖是竹笋中重要的有效生物活性成分之一,在体内外试验中表现出抗氧化、抗糖尿病、促进肠道益生菌健康、增强免疫力等多种生物活性。竹笋多糖生理活性功效的研究对于促进竹笋多糖在功能性食品中的应用具有重大意义^[42]。近年来有关竹笋多糖生物活性的主要文献报道见表 3。

3.1 抗氧化活性

由于外界因素的影响,人体内会不断地产生自由基,而人体的衰老、病变、癌症等大都与体内过量的自由基有关^[43]。俞泉宇等^[44]通过体外抗氧化试验证实竹笋多糖对 H_2O_2 和 $O_2^{\cdot-}$ 有很强的清除能力,对 $\cdot OH$ 存在一定的清除作用,并对 LOP(卵黄脂蛋白)具有抑制作用。Chen 等^[26]通过体外抗氧化试验证实从竹笋中分离纯化出的新型多糖 PCPs 对

DPPH、ABTS 以及羟自由基具有一定清除能力。谈伟锋等^[45]通过小鼠试验证实毛竹笋醇提物能有效地增加 *SOD*(超氧化物歧化酶)的含量,同时降低小

鼠血清中 *MDA*(丙二醛)的含量,这也进一步说明了毛竹笋醇提物对酒精性肝损伤的小鼠所产生的改善作用很有可能与竹笋多糖的抗氧化功效有关。

表 3 竹笋多糖生物活性

Table 3 Biological activities of polysaccharide from bamboo shoot

生物活性	试验方式	功能	参考文献
抗氧化	体外试验	对 $\cdot\text{OH}$ 有一定的清除作用,对 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 有很强的清除能力,对 <i>LOP</i> 具有抑制作用	[44]
	体外试验	对 DPPH、ABTS 和羟基自由基有清除能力,以及对金属螯合活性方面表现出良好的抗氧化能力	[26]
	体外试验	对 DPPH 和羟基自由基有清除能力,以及对金属螯合活性方面表现出良好的抗氧化能力	[32]
	小鼠试验	增加 <i>SOD</i> 含量,降低血清中 <i>MDA</i> 含量	[45]
抗糖尿病	小鼠试验	提高糖尿病小鼠的胰岛素水平和糖耐量,降低甘油三酯和总胆固醇,维持血糖平衡	[29]
	小鼠试验	改善体重下降和血清胰岛素损失情况,显著降低血糖、血清甘油三酯、总胆固醇水平	[40]
促进肠道菌群健康	体外试验	促进双歧杆菌 ATCC 1053、长双歧杆菌 BB 536 和嗜酸乳杆菌 ATCC 4356 生长,抑制猪霍乱沙门氏菌 JCM 6977 生长	[46]
	体外试验	促进双歧杆菌增殖	[38]
辅助抗肿瘤	小鼠试验	抑制肿瘤细胞分裂	[47]
降压、降脂	小鼠试验	高效抑制 <i>ACE</i> ,改善脂质代谢,对自发性高血压具有降压作用	[48]

3.2 降血糖活性

张帅^[29]通过竹笋壳粗多糖对 II 型糖尿病小鼠模型(链脲做菌素联合高脂饮食建立)进行干预,并以盐酸二甲双胍(降糖药)作为对照,试验结果显示竹笋壳粗多糖能有效维持模型小鼠的血糖平衡,提高糖耐量和胰岛素水平,降低总胆固醇和甘油三酯含量,其中高剂量组[竹笋壳粗多糖, 400 mg/(kg·d)]小鼠空腹血糖下降到 6.3 mmol/L,与对照组[盐酸二甲双胍, 100 mg/(kg·d)]的 6.5 mmol/L 接近,表明竹笋壳粗多糖具有良好的辅助抗糖尿病效果。

Zheng 等^[40]通过低、中、高 3 个剂量梯度的竹笋壳多糖 BSSP 对 II 型糖尿病小鼠进行干预,结果表明高剂量的 BSSP (400 mg/kg) 有效改善了小鼠由于糖尿病症状引发的体质量下降和血清胰岛素损失的状况,并且显著降低了血糖 (48.7%)、血清甘油三酯 (34.8%) 和总胆固醇水平 (26.5%),说明笋壳多糖可调整糖尿病小鼠的糖脂代谢紊乱,因此具有作为天然抗糖尿病药物的潜力。

3.3 促进肠道菌群健康活性

Azmi 等^[46]利用从毛竹笋中提取到一种竹笋多糖 BSCP 作为碳源进行改善体外益生菌活性试验,并将低聚果糖 (FOS) 作为对比,结果显示,对双歧杆菌 ATCC 1053、长双歧杆菌 BB 536 和嗜酸乳杆菌

ATCC 4356 的增殖效果显著,且猪霍乱沙门氏菌 JCM 6977 的存活率下降,这表明竹笋多糖 BSCP 具有被开发为益生元的潜力。

He 等^[38]将从竹笋中提取得到的 2 种多糖 WBP-1 和 WBP-2 以及作为对照的 FOS 分别加入灭菌的 MRS 培养基(补充 0.05% 半胱氨酸,但不含碳水化合物),随后将活性双歧杆菌菌株加入 MRS 培养基,并在厌氧条件下进行培养,结果显示,相比于对照组, WBP-1 和 WBP-2 组显著增加了双歧杆菌的数量,这也表明竹笋多糖 WBP-1 和 WBP-2 能促进益生菌的增殖。

3.4 其他生理活性

Suzuki 等^[47]从竹笋中分离纯化出一种水溶性竹笋多糖,通过小鼠试验发现其对小鼠肿瘤的分裂具有抑制作用。刘连亮^[48]从竹笋中提取竹笋粗多糖并进行小鼠试验,结果表明竹笋粗多糖对血管紧张素转化酶 (*ACE*) 具有高效的抑制作用,并对高脂大鼠的脂质代谢具有显著的改善作用,同时对自发性高血压大鼠具有降压作用。

4 竹笋多糖结构对活性的影响

多糖的结构是由初级结构和高级结构组成^[49],初级结构包括多糖的分子量大小、单糖组成及比例、糖苷键类型、异头碳的构型等,高级结构则为多糖分

子链间非共价键结合的空间构象。初级结构和高级结构的改变都将对竹笋多糖的生物活性产生巨大的影响^[50]。而多糖结构对其生物活性的影响,更是近年来糖生物学和糖化学领域关注的重点^[51]。

Azmi 等^[46]从竹笋中分离提纯出的竹笋多糖 BSCP 是平均分子量为 7.0×10^3 的长链多糖,含有高度不消化(超过 99%)的 β -糖苷键。以 BSCP 作为碳源的试验证实, BSCP 对动物双歧杆菌 ATCC 1053、嗜酸乳杆菌 ATCC 和长双歧杆菌 BB 536 有显著的增殖作用,且红外光谱表明 BSCP 中可能含有 β -葡聚糖,说明 BSCP 具有与益生元相似的功效。

Mao 等^[52]通过水提醇沉法,分离提纯出 WB1、WB2、WB3 3 种新型毛竹多糖, DPPH 自由基清除试验结果表明, 3 种多糖均对 DPPH 自由基的清除有明显作用,其中 WB1 的清除效果最好,尤其在低溶度时 3 种多糖之间存在着明显差异,而气相色谱分析结果表明 WB1、WB2、WB3 都含有常见的几种单糖,但 WB1 的主要单糖是葡萄糖,而 WB2、WB3 则是含有较多的岩藻糖和半乳糖,这说明单糖的组成可能对多糖的抗氧化活性有很大的影响。Chen 等^[53]通过不同的提取方法获取 5 种不同的竹笋多糖,结构鉴定结果显示,这 5 种竹笋多糖的糖醛酸含量、单糖含量和分子量大小存在显著性差异,其中 UAE-CPS(超声波辅助提取)具有最高的糖醛酸含量(9.94%)和最低的中高分子量值(1.1749×10^5),经抗氧化活性试验证实 UAE-CPS 的抗氧化活性最佳。Zhang 等^[21]通过 70%、75%和 80% 3 种浓度乙醇,醇沉出 3 种多糖,分别为 CPS70、CPS75 和 CPS80,相比于 CPS70 和 CPS80, CPS75 具有较低的葡萄糖含量、较高的糖醛酸含量、最低的中高分子量值($1.1653 \times 10^5 \sim 1.1818 \times 10^5$)和最高的中低分子量值($2.1300 \times 10^4 \sim 2.2680 \times 10^4$),对 DPPH、羟基和 ABTS 自由基具有较高的清除能力,对氧自由基具有较高吸收能力,这都表明较高的糖醛酸含量、较小的分子量和较低的葡萄糖含量都有助于提高多糖的抗氧化活性。

Kweon 等^[54]从竹笋中分离纯化出 BS-BGA、BS-BGB 和 BS-BGC 3 种 β -葡聚糖,试验证明 3 种 β -葡聚糖在 0.1~1.0 mg/ml 条件下,均表现出免疫激活效应,其中 BS-BGA 效果最显著。相比于 BS-BGB 和 BS-BGC, BS-BGA 含有更多 3-连接吡喃葡萄糖基残基和具有更低的酯化度,尤其 BS-BGA 在 3-连接

吡喃葡萄糖基残基的 C-6 上还含有少量的 O-乙酰基。这表明,免疫激活效应与 O-乙酰基、多糖分子大小以及酯化程度有很大关系。

5 结 论

由于羟基的存在,竹笋多糖具有水溶性,所以通常采用水提醇沉法提取竹笋粗多糖^[55],而分离和纯化一般经由醇沉、脱蛋白、脱色、透析脱盐、离子交换层析以及凝胶过滤层析等步骤。试验结果表明,竹笋多糖具有显著的抗氧化、抗糖尿病、抑制肿瘤细胞分裂、增强免疫力、降血脂、降血压、促进肠道菌群健康等多种生物活性功效,而进一步研究发现竹笋多糖的益生元功效可能与 β -葡聚糖和 β -糖苷键有关,抗氧化活性则很大可能是受单糖组分的影响,且其免疫激活效应很有可能与多糖的 O-乙酰基、多糖分子大小以及酯化程度有关。随着竹笋制品和其功能性产品的开发和应用,竹笋多糖的生物功效将受到越来越多的关注,这也使得竹笋多糖相关制品在未来具有广阔的前景。但是,竹笋多糖的结构表征对其生物活性及药理作用的影响尚未明确,这也将是未来竹笋多糖研究的一个重要方向。

参考文献:

- [1] HE M X, WANG J L, QIN H, et al. Bamboo: A new source of carbohydrate for biorefinery [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 111:645-654.
- [2] CHONGTHAM N, BISHT M S, HAORONGBAM S. Nutritional properties of bamboo shoots: Potential and prospects for utilization as a health food [J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2011, 10(3):153-168.
- [3] PARK E J, JHON D Y. The antioxidant, angiotensin converting enzyme inhibition activity, and phenolic compounds of bamboo shoot extracts [J]. LWT - Food Science and Technology, 2010, 43(4):655-659.
- [4] SINGHAL P, BAL L M, SATYA S, et al. Bamboo shoots: a novel source of nutrition and medicine [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2013, 53(5):517-534.
- [5] PARK E J, JHON D Y. Effects of bamboo shoot consumption on lipid profiles and bowel function in healthy young women [J]. Nutrition, 2009, 25(7/8):723-728.
- [6] CHOUDHURY D, SAHU J K, SHARMA G D. Value addition to bamboo shoots: a review [J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(4):407-414.
- [7] WOLK A. Long-term intake of dietary fiber and decreased risk of coronary heart disease among women [J]. Journal of the American

- Medical Association, 1999, 281(21):1998.
- [8] MEHROTRA R, BAJAJ S, KUMAR D. Use of complementary and alternative medicine by patients with diabetes mellitus [J]. National Medical Journal of India, 2004, 17(5):243.
- [9] SATYA S, BAL L M, SINGHAL P, et al. Bamboo shoot processing: food quality and safety aspect (a review) [J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(4):181-189.
- [10] SINHA V R, KUMRIA R. Polysaccharides in colon-specific drug delivery [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2001, 224(1):19-38.
- [11] CHEN R, LI H, LI S, et al. Extraction optimization, preliminary characterization and immunological activity of polysaccharides from figs [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72:185-194.
- [12] WANG Z B, PEI J J, MA H L, et al. Effect of extraction media on preliminary characterizations and antioxidant activities of *Phellinus linteus* polysaccharides [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 109:49-55.
- [13] 马若影,李幼梅,邓志勇,等. 大孔树脂对红心火龙果茎多糖脱色除蛋白及抗氧化活性的影响 [J]. 热带作物学报, 2018, 39(7):44-50.
- [14] ZONG A, CAO H, WANG F. Anticancer polysaccharides from natural resources: A review of recent research [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90(4):1395-1410.
- [15] 王再花,叶庆生,李杰,等. 4种石斛的多糖对高血压大鼠降血压的影响 [J]. 热带作物学报, 2017, 38(9):1764-1768.
- [16] LIMEI L I, HENG L I, MIAO Z, et al. Review on structure and reducing blood lipid of opuntia polysaccharides [J]. Journal of Zhanjiang Normal University, 2013, 34(3):98-102.
- [17] QIAN L, QIANG W. Research progress on deep-processing and functional activities of bamboo shoot [J]. Natural Product Research and Development, 2012, 24(1):136-141.
- [18] 冯爱博,杨光,贺亮,等. 竹笋有效成分提取纯化技术及其生物活性的研究进展 [J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(3):46-50.
- [19] ZHANG Z, WANG X, YU S, et al. Isolation and antioxidant activities of polysaccharides extracted from the shoots of *Phyllostachys edulis* (Carr.) [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 49(4):454-457.
- [20] SUZUKI S, SAITO T, UCHIYAMA M, et al. Studies on the anti-tumor activity of polysaccharides. I. Isolation of hemicelluloses from Yakushima-bamboo and their growth inhibitory activities against sarcoma-180 solid tumor [J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 2008, 16(10):2032-2039.
- [21] ZHANG F, RAN C, ZHENG J, et al. Polysaccharides obtained from bamboo shoots (*Chimonobambusa quadrangularis*) processing by-products: New insight into ethanol precipitation and characterization [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112:951-960.
- [22] NIE S P, XIE M Y. A review on the isolation and structure of tea polysaccharides and their bioactivities [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(2):144-149.
- [23] JIN M, ZHAO K, HUANG Q, et al. Isolation, structure and bioactivities of the polysaccharides from *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels: A review [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 89(3):713-722.
- [24] 陈蕾俊,王晓梅,张忠山. 毛竹笋多糖水浸提工艺条件研究 [J]. 中国酿造, 2012, 31(2):144-146.
- [25] 郑炯,吴金松,阚建全. 超声辅助提取麻竹笋多糖 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(5):203-208.
- [26] CHEN G, BU F, CHEN X, et al. Ultrasonic extraction, structural characterization, physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides from bamboo shoots (*Chimonobambusa quadrangularis*) processing by-products [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112:656-666.
- [27] 张丽娇,费瑞,高立宏,等. 植物多糖抗炎活性的研究进展 [J]. 北方园艺, 2010(20):199-202.
- [28] 陈燕文,胡晶红,李佳,等. 金银花多糖提取、精制方法和药理活性综述 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2017, 19(1):155-159.
- [29] 张帅. 笋壳多糖结构与生物活性的研究 [D]. 福州:福建农林大学, 2015.
- [30] 陈晓燕,王军辉,姚玉飞,等. 竹笋多糖复合酶法辅助提取及抗氧化活性研究 [J]. 广东农业科学, 2014, 41(4):113-117.
- [31] 刘焕燕,杨波,李琴,等. 复合酶法优化毛竹笋壳多糖提取工艺及其抗氧化活性研究 [J]. 上海理工大学学报, 2018, 40(6):572-578.
- [32] CHEN G, CHEN K, ZHANG R, et al. Polysaccharides from bamboo shoots processing by-products: New insight into extraction and characterization [J]. Food Chemistry, 2018, 245:1113-1123.
- [33] 陈莉华,高文昱,王晓静,等. 竹笋总多糖的提取及抗氧化活性研究 [J]. 林产化学与工业, 2014, 34(5):157-161.
- [34] JIN M, LU Z, HUANG M, et al. Sulfated modification and antioxidant activity of exopolysaccharides produced by *Enterobacter cloacae* Z0206 [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 48(4):607-612.
- [35] 陈海霞. 高活性茶多糖的一级结构表征、空间构象及生物活性的研究 [D]. 武汉:华中农业大学, 2002.
- [36] JINSONG W, JIONG Z, XUEJUAN X, et al. Purification and structural identification of polysaccharides from bamboo shoots (*Dendrocalamus latiflorus*) [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16(12):15560-15577.
- [37] KATO Y, SHIOZAWA R, TAKEDA S, et al. Structural investigation of a β -D-glucan and a xyloglucan from bamboo-shoot cell walls [J]. Carbohydrate Research, 1982, 109(1):233-248.
- [38] HE S, WANG X, ZHANG Y, et al. Isolation and prebiotic activity of water-soluble polysaccharides fractions from the bamboo shoots (*Phyllostachys praecox*) [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 151:295-304.
- [39] 吴金松. 大叶麻竹笋多糖的分离纯化和鉴定 [D]. 重庆:西南大学, 2015.

- [40] ZHENG Y, ZHANG S, WANG Q, et al. Characterization and hypoglycemic activity of a β -pyran polysaccharides from bamboo shoot shells[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 25(144):438-446.
- [41] 王 静. 竹笋多糖的提取、纯化、结构及体外生物活性的研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2013.
- [42] 孙 杰, 吴金松, 郑 炯. 竹笋多糖的分离提取与构效关系研究进展[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(4):16-19.
- [43] 孟祥云, 汪永峰, 杨丽霞, 等. 中药多糖抗氧化作用及其机制研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2018, 33(8):298-303.
- [44] 俞泉宇, 李 义, 何沅滨, 等. 竹笋多糖对中华绒螯蟹血清中非特异性免疫因子的影响[J]. 饲料研究, 2013(3):63-65.
- [45] 谈伟锋, 刘 波, 徐 彭, 等. 毛竹笋醇提取物对小鼠酒精性肝损伤的保护作用[J]. 时珍国医国药, 2014(12):2823-2825.
- [46] AZMI A F, MUSTAFA S, HASHIM D M, et al. Prebiotic activity of polysaccharides extracted from *Gigantochloa levis* (Buluh beting) shoots[J]. Molecules, 2012, 17(2):1635-1651.
- [47] SUZUKI S, SAITO T, HATSUKAIWA H, et al. Anti-mitotic effect of water soluble polysaccharides of Yakushima bamboo and *Sacchromyces* on transplanted tumors of mice[J]. Nihon Rinsho Japanese Journal of Clinical Medicine, 1969, 27(6):1753-1758.
- [48] 刘连亮. 竹笋降压降脂有效成分及其活性研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [49] JIN M, LU Z, HUANG M, et al. Sulfated modification and antioxidant activity of exopolysaccharides produced by *Enterobacter cloacae* Z0206[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 48(4):607-612.
- [50] 石 磊, 韩 龙, 刘 超. 多糖的构象研究方法综述[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2012, 38(3):78-84.
- [51] GHOSH T, CHATTOPADHYAY K, MARSHALL M, et al. Focus on antivirally active sulfated polysaccharides: From structure-activity analysis to clinical evaluation[J]. Glycobiology, 2009, 19(1):2-15.
- [52] MAO J W, YIN J, GE Q, et al. *In vitro* antioxidant activities of polysaccharides extracted from Moso Bamboo-Leaf [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 55:1-5.
- [53] CHEN G, FANG C, RAN C, et al. Comparison of different extraction methods for polysaccharides from bamboo shoots (*Chimonobambusa quadrangularis*) processing by-products[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 130:903-914.
- [54] KWEON M H, HWANG H J, SUNG H C. Isolation and characterization of anticomplementary beta-glucans from the shoots of bamboo *Phyllostachys edulis*[J]. Planta Medica, 2003, 69(1):56-62.
- [55] LIU Z, JIAO Y, WANG Y, et al. Polysaccharides-based nanoparticles as drug delivery systems[J]. Advanced Drug Delivery Reviews, 2008, 60(15):1650-1662.

(责任编辑:张震林)