

乔子桐, 尹丽, 周旖璇, 等. 蜂花粉多糖成分研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 401–407. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070262

QIAO Zitong, YIN Li, ZHOU Yixuan, et al. Recent Advances in Bee-Pollen Polysaccharides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 401–407. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070262

· 专题综述 ·

蜂花粉多糖成分研究进展

乔子桐, 尹 丽, 周旖璇, 于琛琛, 程 岚, 张纯刚*
(辽宁中医药大学药学院, 辽宁大连 116620)

摘 要: 蜂花粉是一种富含蛋白质、多酚、黄酮等多种生物活性成分的天然营养品, 在国内外均有着悠久的药用和食用历史。多糖作为蜂花粉的主要无毒活性成分, 具有良好的抗肿瘤、增强免疫、抗氧化等作用。但因技术的限制和多糖本身的复杂性, 相较于蜂花粉中其他的营养物质, 多糖受到的关注较少。本文通过查阅近十年的文献, 对蜂花粉多糖的组成、提取、分离、纯化技术和生物活性等方面进行系统的比较和总结, 以期为进一步发展蜂花粉多糖提供参考。

关键词: 蜂花粉, 多糖, 组成, 生物活性, 提取方法, 分离技术

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)14-0401-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070262

Recent Advances in Bee-Pollen Polysaccharides

QIAO Zitong, YIN Li, ZHOU Yixuan, YU Chenchen, CHENG Lan, ZHANG Chungang*

(College of Pharmacy, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Dalian 116620, China)

Abstract: Bee pollen is a natural nutrient rich in protein, polyphenols, flavones and other bioactive ingredients. At home and abroad, bee pollen has a long history of medicine and dietary use. As the main non-toxic active component of bee pollen, its polysaccharide has good anti-tumor, immune enhancement and anti-oxidation effects. However, due to the limitations of the technology and the complexity of polysaccharide, it has received relatively less attention than other nutrients in bee pollen. This paper systematically compares and summarizes the extraction, separation, and purification techniques, composition and biological activities of bee pollen polysaccharides in recent ten years, in order to provide references for the further development of bee pollen polysaccharides.

Key words: bee pollen; polysaccharide; composition; biological activity; extraction method; separation technology

蜂花粉(bee pollen)是花粉经花蜜和蜜蜂腺体分泌物粘合后堆积在工蜂后腿花粉篮中形成的球粒状物^[1-2]。市售蜂花粉是由蜂农通过在蜂箱入口加装脱粉器收集而来^[3]。因其含有较全面的营养成分和多种重要的生物活性物质而受到人们的广泛关注^[4-7]。但以往科研工作者对于蜂花粉成分的研究主要聚焦在蛋白质类、脂质类、酚类和维生素上^[8-13]。直到 20 世纪 60 年代多糖作为广谱免疫促进剂受到关注后, 蜂花粉多糖才渐渐成为新药研究的热点之一。蜂花粉多糖的组成十分复杂, 不同的植物来源和提取分离技术均会影响其成分和含量, 进而影响其生物活

性。本文将对蜂花粉中多糖的组成、提取、分离纯化以及生物活性方面近年来的研究工作进行比较和总结, 以期深入研究蜂花粉多糖提供参考。

1 蜂花粉多糖的提取方法

1.1 溶剂提取法

溶剂提取法是利用溶剂相似相溶的原理提取有效成分。多糖作为一种极性分子, 易溶于水, 不易溶于醇、醚等有机溶剂^[14]。常见的溶剂提取法有: 酸提法、碱提法和水提法。其中, 酸提法通过增加植物细胞壁的溶胀和破裂提高多糖的溶出率^[15], 碱提法对酸

收稿日期: 2020-07-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81503257); 国家重点研发计划(2018YFC1706903); 辽宁省博士启动基金(201501098); 辽宁省自然科学基金指导计划项目(2019-ZD-0968); 中医脏象理论及应用国家教育部重点实验室一般项目(zyzx1809)。

作者简介: 乔子桐(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品开发、中药新剂型、新技术及体内药物分析, E-mail: 1807555194@qq.com。

* **通信作者:** 张纯刚(1985-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品开发、中药新剂型、新技术及体内药物分析, E-mail: gaogaoii123@163.com。

性多糖尤其是含糖醛酸多的多糖提取效果较好^[16]。但酸性或碱性条件往往会使多糖分子结构破坏^[15,17-18],因此在使用这两种方法时应严格控制酸、碱的用量及作用时间。对于蜂花粉而言,以酸或碱作为溶剂提取多糖还需进一步研究,目前蜂花粉多糖普遍应用水提法(水提醇沉法)进行提取。左绍远等^[19]通过正交试验确定当提取温度为90℃、浸提时间12h、料液比1:20时,红花蜂花粉多糖最高提取率为2.385%,明显高于其他试验组合的结果,重复三次,红花蜂花粉多糖平均提取率为2.35%,工艺稳定可行。但在提取过程中,蛋白质、苷类等易溶于水的成分也将被浸提出来,增加了后续分离纯化的难度,另外,提取温度高,有可能破坏多糖的结构,相关数据有待进一步说明。

1.2 超声波提取法

超声波提取法是利用超声波的空化作用和机械效应破坏蜂花粉外壁,从而加速蜂花粉内容物的溢出。米佳等^[20]采用超声波提取法提取枸杞蜂花粉多糖,以单因素实验为基础,得率为指标,结合Box-Behnken试验设计考察了料液比、提取温度、超声功率、超声时间对多糖的得率的影响。实验结果表明料液比1:25g/mL、超声时间20min就可达到较大得率。与无超声条件下的提取工艺进行相比^[19,21],超声波提取法能够明显缩短提取时间,减少提取过程中溶剂的使用量。已有研究表明超声波强度越大破壁作用越强,越有利于多糖的释放,但也极有可能导致糖苷键的断裂破坏多糖结构^[22-23]。此外,利用微波提取法提取蜂花粉多糖也出现了同样的情况。李月等^[24]发现当微波功率超过500W时,会导致红花蜂花粉多糖部分水解,使其工艺优化后的提取率低于水提醇沉法。因此,在使用这些方法提取蜂花粉多糖时应该严格控制操作条件。

1.3 酶解法

酶解法能够利用外源酶作用于蜂花粉壁,使其破裂,促进多糖溶出。孟良玉等^[25]根据单因素实验结果设计正交试验,当料液比1:50g/mL,加1.75%纤维素酶,酶解温度47.5℃,酶解时间5h时,油菜蜂花粉破壁率高达85.72%,多糖提取率为18.85%。可见,酶解法可显著降低提取温度,降低提取时的能量消耗,能够避免由于温度过高而使多糖中的生物活性降低的现象。此外,对于一些外壁异常坚硬的蜂花粉,常采用复合酶制剂对其进行破壁处理。如青藏地区油菜蜂花粉,因受恶劣气候的影响,花粉孢子壁异常坚硬,酵母菌、食用菌、曲霉属等发酵方法效果很差,甚至用冷冻加热法亦无法将之破开^[26-27]。卢挺^[26]采用复合酶(纤维素复合酶辅加适量果胶酶)对其进行破壁,内容物溶出率≥90%。酶解法虽然简单有效,但由于酶的专一性和实验条件(需严格控制如温度、pH等实验条件避免酶失活)的复杂性,与其他提取方法相比酶解法提取蜂花粉多糖的成本较高。

1.4 混合提取法

蜂花粉壁结构十分复杂^[28],其异常坚硬的外壁会影响内容物的释放与吸收。因此,在提取多糖时常与蜂花粉破壁法相结合。常见的混合提取方法有温差-酶法、温差-超声法、超声-酶法等。马福敏等^[29]发现经超声波结合酶法提取茶花蜂花粉总多糖的含量较其他复合法高。这可能是由于超声产生的机械振动破坏蜂花粉外壁的同时,还增加了蜂花粉组织在溶剂中的分散性,进而增大了酶与蜂花粉组织的作用面积,使提取率升高^[30-31]。且这种方法对松花粉和梨花粉的破壁率、多糖提取率也有较大影响,值得进一步研究。

2 蜂花粉多糖的分离纯化

蜂花粉粗多糖中含有大量蛋白质、无机盐、色素等非糖物质。分离纯化技术不仅能够除去蜂花粉多糖中的非糖物质,还可有效地对多糖进行分级以得到具有单一对称峰的多糖化合物^[32]。对于蛋白质杂质可选用Sevage、三氟三氯乙烷及三氯乙酸(TCA法)等化学试剂,使蛋白质形成胶状物质,离心除去,或利用蛋白酶法,二者相比,化学试剂法极易造成多糖的断裂;而蛋白酶法,由于酶的特异性,在清除蛋白的同时能够较好的保证多糖的生物活性^[33],但价格较高。若将二者相结合,就能在有效脱除蛋白的同时,降低多糖的损失,并且能够节约成本、降低污染,可应用于工业生产。李月等^[34]探究红花蜂花粉多糖的最佳脱蛋白工艺,发现相同条件下Sevage-酶法的效果最好,蛋白清除率可达45.88%,多糖保留率为86.49%,有良好的应用前景。对于蜂花粉粗多糖中色素、低分子化合物和无机盐,可选用如活性炭吸附法、反胶束法、透析法等进行分离处理。其中活性炭吸附法是目前较为常见的多糖脱色方法,而透析法由于耗时较长,多糖溶液长期在室温下容易滋生细菌等缺陷,近年来也常采用超滤法代替。

除去杂质后的多糖需进一步纯化,目前应用最广泛的多糖处理方法是柱层析法。研究者将水提醇沉法得到的红花蜂花粉粗多糖(PBPC),经DEAE-52 cellulose(1.6cm×40cm)柱分离,依次用水、0.1、0.2、0.3和1mol/L的NaCl洗脱,得到5种组分(PBPC-I、PBPC-II、PBPC-III、PBPC-IV、PBPC-V),再经SephadexG75进一步分级纯化,除PBPC-I分离得到PBPC-Ia和PBPC-Ib两个级分外,其余组分均为单一对称峰^[35]。李娟等^[36]采用水提醇沉法提取荞麦蜂花粉粗多糖,经木瓜蛋白酶-Sevage法、DEAE-52 cellulose柱层析法对多糖分离纯化,得到三种多糖组分(WFPP-N、WFPP-1、WFPP-2),紫外光谱分析三个组分多糖均不含有蛋白、核酸等杂质,但均含β-型糖苷键。吴盼盼等^[37]利用DEAE-纤维素柱、HW-55F色谱柱及Sephacryl色谱柱、Sephacryl色谱柱对油菜蜂花粉水提醇沉物进行分离,得到具有单一对

称峰的多糖化合物 A。再经氢谱与碳谱确定其为直链型化合物,片段结构为:HOCH₂-[CHOH]₄-COOH。

3 蜂花粉多糖的组成分析

由于花卉物种来源、提取方法和分离纯化技术的差异,蜂花粉多糖的成分和摩尔比各不相同。表 1 总结了近几年来报道的蜂花粉多糖的组成、摩尔比及其检测方法。气相色谱和气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)是分析蜂花粉多糖中单糖组成的常用方法。王昀等^[39]通过三氟乙酸水解、衍生化、GC-MS 技术对红花蜂花粉多糖组分 PBPC-Ⅱ的单糖组成进行分析,结果发现 PBPC-Ⅱ由鼠李糖(Rha)、阿拉伯糖(Ara)、岩藻糖(Fuc)、木糖(Xly)、葡萄糖(Glc)及半乳糖(Gal)构成,其摩尔比为 1.40:1.53:1:1.11:2.79:9.73。高效液相色谱法也被用来分析蜂花粉多糖的单糖组成。据报道,经高效液相色谱法测定的菊花蜂花粉总多糖(WDPP)主要由鼠李糖(Rha)、半乳糖醛酸(GalA)、葡萄糖(Glc)、半乳糖(Gal)、阿拉伯糖(Ara)和少量的葡萄糖醛酸(GlcA)和甘露糖(Man)组成^[41]。此外,王建波等^[44]利用毛细管电泳法(HPCE)测定玉米花粉多糖的单糖组成,创新使用含硼砂的缓冲液,在改善糖在水中的解离能力较差、不易带电荷特性的同时,利用不同单糖与硼砂的络合物形成有效淌度的差异,再经 α-萘胺衍生试剂衍生处理,得出玉米花粉多糖主要是由葡萄糖、阿拉伯糖、半乳糖 3 种单糖组成。此法为蜂花粉多糖中单糖组成的分析提供了新思路。

4 蜂花粉多糖的生物活性研究

蜂花粉多糖由于来源丰富、种类繁多,近年来渐渐成为食品与药品研究的热点。其在抗肿瘤、抗氧化、降糖、降脂等多方面均表现出良好的生物活性(见图 1),极具开发和利用前景。

4.1 抗肿瘤作用

根据世界卫生组织的数据,全球有 13% 的人死于癌症^[45]。目前治疗癌症的放疗与化疗药物均表现出极大的细胞毒性而致患者产生脱发、贫血等不良反应。据报道,天然多糖在一系列癌细胞系中除表现出良好的抗癌活性外,对恶性肿瘤患者的毒副作用较小,是一种新型的抗癌候选药物^[46-47]。王昀等^[48]发现红花蜂花粉多糖组分 PBPC-Ⅱ对 MDA -MB231 细胞(人乳腺癌细胞)具有明显的抑制作用,通过抑制 *C-myc*、*Bcl-2* 基因转录与蛋白表达,增强 *P53*、*Bax* 基因及蛋白的表达,抑制 MDA -MB231 细胞的生长并加速其凋亡。这也表明红花蜂花粉多糖组分 PBPC-Ⅱ可能是一种治疗人类乳腺癌的潜在药物。与此同时,研究人员进行了大量的动物模型试验。发现枸杞蜂花粉多糖可显著调节小鼠体内 *Bax*、*Bcl-2* 的表达水平,活化 *Caspase-9* 和 *Caspase-3*^[49]。这可能与癌细胞的线粒体凋亡途径有关。即通过抑制 PI3K/AKT 信号通路,降低线粒体膜电位,促进半胱氨酸蛋白酶(*Caspase*,引起细胞凋亡的活性物质)生成,诱导癌细胞凋亡^[50]。目前,这种信号通路的抑制剂已经被认为是抗肿瘤潜在的候选药物。此外,红花

表 1 不同来源的蜂花粉多糖的单糖组成及测定方法

Table 1 Composition of monosaccharide and determination methods in bee pollen polysaccharides from different sources

蜂花粉多糖			单糖组成成分(摩尔比)									单糖组成测定方法	文献
科属	物种	名称	Glc	Rha	Xly	Man	Ara	Gal	Fuc	GalA	GlcA		
蔷薇科	玫瑰	WRPP	0.064	0.021	—	0.014	0.319	0.119	—	0.062	0.005	HPLC	[38]
		WRPP-1	0.017	0.018	—	0.011	0.359	0.137	—	0.064	—		
		WRPP-2	0.016	0.048	—	0.009	0.325	0.083	—	0.119	—		
		WRPP-N	0.191	0.021	—	0.022	0.245	0.139	—	—	—		
	红花	PBPC-2	2.79	1.40	1	—	1.53	9.73	1.11	—	—	GC-MS	[39]
菊科	菊花	WDPP	0.086	0.054	—	0.009	0.172	0.201	—	0.062	0.006	HPLC	[40]
		WDPP-N	0.182	—	—	0.024	0.211	0.168	—	—	—		
		WDPP-1	0.023	0.021	—	0.026	0.247	0.214	—	0.048	0.013		
		WDPP-2	0.013	0.046	—	0.009	0.267	0.112	—	0.135	0.012	HPLC	[41]
		WDPP-3	0.013	0.096	—	0.012	0.238	0.102	—	0.123	0.008		
		WDPP	0.096	0.033	—	0.014	0.252	0.154	—	0.031	0.006		
		WDPP-N	0.182	—	—	0.024	0.211	0.168	—	—	0.005		
		WDPP-1	0.023	0.021	—	0.026	0.247	0.214	—	0.048	0.013		
		WDPP-2	0.007	0.062	—	—	0.271	0.089	—	0.157	0.007		
廖科	荞麦	WFPP-N	80.7	1.15	0.93	2.53	2.95	8.18	—	—	—	气相色谱、HPLC	[36]
		WFPP-1	3.20	2.73	1.74	0.70	45.3	36.8	—	—	—		
		WFPP-2	4.17	8.19	1.72	1.02	70.1	11.3	—	—	—		
山茶科	山茶	WCPP	0.069	0.048	—	0.014	0.147	0.084	—	0.191	—	HPLC	[42]
		WCPP-30	0.059	0.045	0.014	0.024	0.135	0.057	—	0.232	—		
		WCPP-50	0.049	0.055	0.013	0.011	0.159	0.064	—	0.22	—		
		WCPP-70	0.091	0.053	0.01	0.012	0.223	0.114	—	0.08	0.01		
		WCPP-80	0.238	0.029	—	0.035	0.196	0.068	—	0.025	—		
茄科	枸杞	WBPPS	0.22	0.17	0.08	0.38	1.03	0.67	—	0.64	—	HPLC	[43]

注: 葡萄糖(Glc); 鼠李糖(Rha); 木糖(Xly); 甘露糖(Man); 阿拉伯糖(Ara); 半乳糖(Gal); 岩藻糖(Fuc); 半乳糖醛酸(GalA); 葡萄糖醛酸(GlcA)。

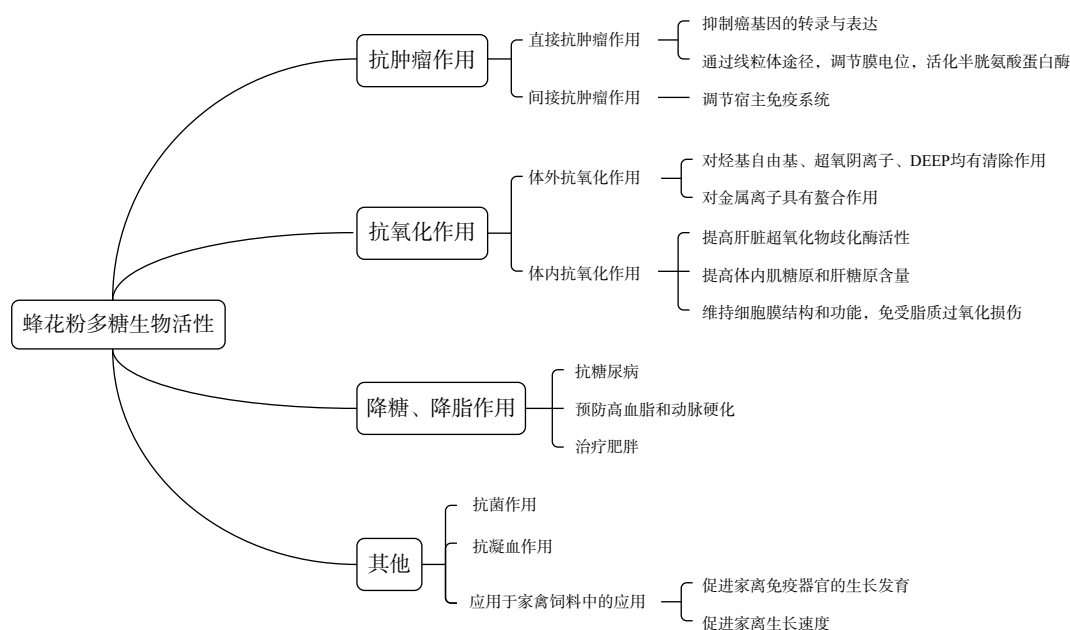


图1 蜂花粉多糖生物活性

Fig.1 Biological activity of polysaccharide from bee pollen

蜂花粉多糖组分 PBPC- I 对肝癌小鼠的抑癌作用也被证实^[51]。其抗肿瘤机理被认为是多糖通过宿主免疫系统间接发挥其抗肿瘤作用,而不是通过直接细胞毒性。PBPC- I 能够促进 T 细胞生长因子的分泌增强免疫细胞活性,保护免疫器官,调控血管内皮生长因子(VEGF)水平,进而调节 *Bcl-2*、*C-myc*、*Bax*、*P53* 表达促进肿瘤细胞凋亡,间接抑制肿瘤的分裂增殖与生长。

4.2 抗氧化作用

许多疾病,如心血管疾病、代谢性疾病、退行性疾病(关节炎、帕金森氏病、阿尔茨海默病)和某些肿瘤疾病均与机体氧化现象有关^[52]。目前研究蜂花粉多糖的体外抗氧化活性,常采用如 1,1-二苯基-2-苦基肼法(DPPH)、铁还原/抗氧化能力法(FRAP)和 2,2'-阿兹诺比斯-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)法(ABTS)进行评定。王昀等^[48]发现红花蜂花粉多糖组分 PBPC- II 对羟自由基、超氧阴离子和 DPPH 均有清除作用,且在一定范围内随着 PBPC- II 浓度的增加其清除活性增强。同时,从枸杞蜂花粉中提取的多糖对 ABTS 和 DPPH 的清除作用也得到了证实^[20]。值得注意的是,周望庭等^[53]比较枸杞蜂花粉中水提物、水提醇沉上清液(多酚)和水提醇沉物(粗多糖)的抗氧化活性发现三者均具有显著的 ABTS 清除作用,与 V_C 对 ABTS 的最高清除率相比无显著性差异。另外,粗多糖对 Fe^{2+} 的螯合作用明显较其余二者更强。这表明粗多糖中的其他因素,如蛋白质、某些功能性基团以及多酚的含量可能在抗氧化活性中起到了一定作用。蜂花粉多糖在体外的抗氧化作用的机制仍不确定。

为进一步证明蜂花粉多糖抗氧化损伤的作用,近年来研究者还进行了一些动物试验,发现云南产油

菜蜂花粉多糖(RBPP)对 CCl_4 建立的肝损伤小鼠模型具有良好的抗氧化作用,在明显减轻肝损伤小鼠肝小叶结构破坏、细胞条索状结构解离、肝细胞水肿等现象的同时, RBPP 各剂量组均可增强 CCl_4 所致急性肝损伤小鼠的抗氧化能力,使小鼠肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性明显回升、丙二醛(MDA, 过氧化反应的最终产物)含量显著下降,且高剂量组 SOD 活性已恢复到了正常水平^[54]。这表明蜂花粉多糖对小鼠氧化型肝损伤具有治疗作用。此外,蜂花粉多糖还可以通过保护小鼠细胞膜免受脂质过氧化反应的损伤、维持细胞膜的结构和功能、清除自由基以及提高小鼠体内肝糖原和肌糖原含量,达到延缓小鼠红细胞的衰老、提升机体抗疲劳能力的作用,防治氧化损伤^[55-57]。可见蜂花粉多糖作为抗氧化药用或食用天然添加剂值得进一步研究。

4.3 降糖、降脂作用

山茶蜂花粉多糖能有效降低实验性糖尿病小鼠的血糖值,且呈现出一定的剂量依赖性,但对正常小鼠的血糖值无影响^[58]。可见,蜂花粉多糖对小鼠血糖值表现出双向调节的作用,又因其毒副作用极小、可长期使用,对轻、中度及老年性糖尿病的防治有一定的应用价值^[59-60]。此外,蜂花粉多糖还可使糖尿病大鼠血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量下降。且高剂量荞麦蜂花粉多糖($300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)能使糖尿病模型大鼠的高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量明显升高,表明荞麦蜂花粉多糖能有效对抗四氧嘧啶(ALX)所致大鼠血脂代谢紊乱,其调脂作用接近或优于阳性对照药苯乙双胍,对预防高血脂和动脉粥样硬化也有一定作用^[60]。

蜂花粉多糖也是一种可以用于治疗肥胖的新型潜在药物。宫海全等^[61]发现,玫瑰蜂花粉酸性多糖

可通过特异性激活饮食诱导肥胖小鼠 AMPK/mTOR 介导的自噬水平,显著抑制脂质堆积。

4.4 其他作用

4.4.1 抗菌和抗凝血作用 植物多糖对肠道微生物环境有积极影响^[62-63]。枸杞蜂花粉多糖能显著提高短链脂肪酸的产量,通过增加普雷沃菌属、*Dialister* 属、巨单胞菌属,减少类杆菌属、梭状芽孢菌属、弗雷杆菌属、大肠杆菌、志贺氏杆菌的数量调节肠道菌群^[49]。此外,蜂花粉多糖对沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、普通变形杆菌、枯草芽孢杆菌、藤黄微球菌和大肠埃希菌均有抑制作用^[64]。

蜂花粉多糖的抗凝血作用主要表现在体外抗凝血。红花蜂花粉多糖(PBPC-II)能延长人体血浆 APTT(活化部分凝血活酶时间)与 PT(凝血酶原时间),且呈剂量依赖关系^[35]。蜂花粉多糖的抗菌及抗凝血活性虽不及临床常规药物(青霉素和肝素),但其来源于天然产物,具有低毒、安全、低耐药性等特点,具有良好的应用前景。

4.4.2 应用于家禽饲料的作用 有研究表明蜂花粉多糖作为饲料喂肉鸡可以促进肉鸡的肝、胰腺、小肠腺等免疫器官的生长发育,提高肉鸡的免疫器官指数(免疫器官重量/活鸡重),增强肉鸡的消化功能和代谢功能^[65]。此外,蜂花粉多糖对家禽生长速度也有一定促进作用^[66],但对其体态结构的性状影响不大^[67]。

5 结论及展望

有研究者利用体外抗氧化活性实验对比多糖中不同成分的生物活性,经傅立叶变换红外光谱(FT-IR)发现多糖较强的抗氧化活性和肝保护作用均由其特殊的单糖组成 C-O-Se 键型决定^[68]。可见,阐明多糖的结构特征对探索多糖结构与生物活性之间的构效关系具有重要的意义。但蜂花粉多糖结构复杂,其复杂性不仅仅只体现在其种类繁多上,多糖链间的连接方式和糖基构型的差异也对蜂花粉多糖的结构分析造成了困难。因此,蜂花粉多糖的结构与生物活性的构效关系有待进一步发展。此外,人们对蜂花粉多糖的许多药理作用及其机理的研究并不深入,药物代谢动力学数据缺失严重,关于蜂花粉多糖的质量标准也尚不完善。为了更好的开发蜂花粉多糖类产品,临床应用试验和对蜂花粉多糖的结构分析仍然是目前发展的重点。

参考文献

- [1] De-Melo A A M, Almeida-Muradian L B D. Chemical composition of bee pollen[M]. Bee Products-Chemical and Biological Properties, 2017: 222-223.
- [2] Katarzyna K V, Pawel O, Justyna K, et al. Bee pollen: Chemical composition and therapeutic application[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015, 2015: 1-6.
- [3] José S S, Estefanía S R, Silvia S D, et al. Bee products-chemical and biological properties[M]. Berlin: Springer International Publishing, 2017: 221-277.
- [4] Bárbara Marivalda, Cerilene M, Sodrê Geni, et al. Microbiological assessment, nutritional characterization and phenolic compounds of bee pollen from *Mellipona mandacai* Smith, 1983[J]. *Molecules*, 2015, 20(7): 12525-12544.
- [5] Li Q, Wang K, Marcucci M, et al. Nutrient-rich bee pollen: A treasure trove of active natural metabolites[J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 49(10): 472-484.
- [6] Harif Fadzilah N, Jaapar M F, Jajuli R, et al. Total phenolic content, total flavonoid and antioxidant activity of ethanolic bee pollen extracts from three species of Malaysian stingless bee[J]. *Journal of Apicultural Research*, 2017, 56(2): 130-135.
- [7] Abdelnour S A, Mohamed E, Alagawany M, et al. Beneficial impacts of bee pollen in animal production, reproduction and health[J]. *Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition*, 2019, 103(2): 477-484.
- [8] Taha E K A, Al-Kahtani S, Taha R. Protein content and amino acids composition of bee-pollens from major floral sources in Al-Ahsa, eastern Saudi Arabia[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019, 26(2): 232-237.
- [9] Ares A M, Valverde S, Bernal, et al. Extraction and determination of bioactive compounds from bee pollen[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2018, 147(1): 110-124.
- [10] Magdalena W, Szostak R, Kita A, et al. Determination of nutritional parameters of bee pollen by Raman and infrared spectroscopy[J]. *Talanta*, 2020, 212(5): 120790.
- [11] Conte G, Benelli G, Serra A, et al. Lipid characterization of chestnut and willow honeybee-collected pollen: Impact of freeze-drying and microwave-assisted drying[J]. *Journal of Food Composition & Analysis*, 2017, 55(1): 12-19.
- [12] Kosti A, Bara B, Stanojevi P, et al. Physicochemical composition and techno-functional properties of bee pollen collected in Serbia[J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2015, 62(1): 301-309.
- [13] Campos M G, Webby R F, Markham K R, et al. Age-Induced diminution of free radical scavenging capacity in bee pollens and the contribution of constituent flavonoids[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(3): 742-745.
- [14] Stephen, Alistair M, Phillips, et al. Food polysaccharides and their applications[M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Taylor & Francis, 2006: 679-680.
- [15] 王美菊, 陆文娟, 喻晨, 等. 不同提取方法对姬菇多糖抗氧化活性的影响[J]. *南京师大学报*, 2016, 39(4): 65-70.
- [16] 朱翠玲, 陈亮, 周瑾怡, 等. 不同提取方法对小麦麸皮多糖化学组分及免疫调节活性的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(7): 17-23.
- [17] 陈亮, 张国波, 尤龙, 等. 不同的提取方法对莲藕渣多糖组分的影响[J]. *广东化工*, 2019, 46(9): 55-57.
- [18] 黄丽媛, 邓婷, 何传波, 等. 仙草多糖提取工艺的优化[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(8): 2907-2913.

- [19] 左绍远, 钱金楸. 红花蜂花粉多糖提取工艺的优化及其抗氧化性质研究[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(7): 1631-1633.
- [20] 米佳, 杨雪莲, 禄璐, 等. 枸杞蜂花粉多糖的超声波提取工艺优化及抗氧化活性[J]. *食品科学技术学报*, 2020, 38(1): 97-103.
- [21] Wang W, Ma X, Jiang P, et al. Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 61: 730-739.
- [22] Al-Dhabi N A, Ponnurugan K, Maran J P. Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, 34: 206-213.
- [23] Maricela T M, L Paniwnyk, T J Mason. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2001, 8(2): 137-142.
- [24] 李月, 王昀, 罗永会, 等. 红花蜂花粉多糖提取工艺的研究[J]. *大理大学学报*, 2017, 2(10): 24-28.
- [25] 孟良玉, 蔡文倩, 兰桃芳, 等. 纤维素酶对油菜蜂花粉的破壁作用[J]. *食品科学*, 2012, 33(22): 72-75.
- [26] 卢挺. 青藏高原油菜蜂花粉酶解破壁研究[J]. *食品科学*, 2002, 23(8): 126-127.
- [27] 周小玲. 青海油菜蜂花粉酶解催化破壁动力学研究[D]. 青海: 青海师范大学, 2010.
- [28] Dong J, Gao K, Wang K, et al. Cell wall disruption of rape bee pollen treated with combination of protamex hydrolysis and ultrasonication[J]. *Food Research International*, 2015, 75(12): 123-130.
- [29] 马福敏, 刘玉玲. 复合破壁方法对蜂花粉破壁率及其主要功能性成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(5): 184-186.
- [30] Leigh C Hagenson LKD. Comparison of the effects of ultrasound and mechanical agitation on a reacting solid liquid system[J]. *Chemical Engineering Science*, 1997, 53: 131-148.
- [31] 李冬梅, 杭方学, 陆海勤, 等. 超声辅助提取枸杞多糖的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(20): 392-395.
- [32] Li F, Yuan Q, Rashid F. Isolation, purification and immunobiological activity of a new water-soluble bee pollen polysaccharide from *Crataeguspinnatifida* Bge[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 78(1): 80-88.
- [33] 王海茹, 王雪飞, 姚晶. 黄柏花粉多糖除蛋白方法比较及其对抗氧化功能的影响[J]. *食品科技*, 2015, 40(5): 224-228.
- [34] 李月, 王昀, 褚珊珊, 等. 响应面法优化红花蜂花粉多糖脱蛋白工艺[J]. *食品工业*, 2017, 38(11): 19-22.
- [35] Li Y, Wang Y, Chu S, et al. Isolation, purification and activity of polysaccharides from bee pollen of *Carthamus Tinctorius*[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(12): 191-195.
- [36] 李娟, 钟平娟, 万仁口, 等. 荞麦蜂花粉多糖的分离纯化及结构鉴定[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(12): 35-40.
- [37] 吴盼盼, 段元锋, 徐德平. 油菜蜂花粉多糖的分离鉴定及免疫活性研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2015, 34(10): 1040-1044.
- [38] 佟进. 玫瑰蜂花粉多糖的分离纯化及理化性质分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2011.
- [39] 王昀, 李月, 唐春兰, 等. 红花蜂花粉多糖 PBPC-II 结构分析及抗氧化活性[J]. *食品工业*, 2019, 40(5): 325-330.
- [40] 侯禹. 菊花蜂花粉多糖的分离纯化及结构特征研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2012.
- [41] 王博, 张梦珊, 张中玉, 等. 菊花蜂花粉多糖的分离纯化及抗肿瘤活性研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(5): 358-360.
- [42] 刘恩绪. 山茶蜂花粉多糖的分离纯化和免疫活性研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2011.
- [43] Zhou W, Yan Y, Mi J, et al. Simulated digestion and fermentation *in vitro* by human gut microbiota of polysaccharides from bee collected pollen of chinese wolfberry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(4): 898-907.
- [44] 王建波, 林鲁霞, 窦江丽, 等. 玉米花粉多糖中的单糖组成分析[J]. *山东师大学报*, 2004, 19(3): 69-71.
- [45] Liu L, Li M, Yu M, et al. Natural polysaccharides exhibit anti-tumor activity by targeting gut microbiota[J]. *International journal of biological macromolecules*, 2019, 121(1): 743-751.
- [46] Khan T, Date A, Chawda H, et al. Polysaccharides as potential anticancer agents-A review of their progress[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 210: 412-428.
- [47] Zong A, Cao H, Wang F. Anticancer polysaccharides from natural resources: A review of recent research[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 90(4): 1395-1410.
- [48] 王昀, 王成鑫, 孟帅磊, 等. 红花蜂花粉多糖组分 (PBPC-II) 对人乳腺癌 MDA-MB231 细胞生长的影响及作用机制[J]. *时珍国医国药*, 2019, 30(10): 2337-2340.
- [49] 闫亚美, 陈菲, 周望庭, 等. 枸杞蜂花粉多糖的健康作用研究及产品研发[C]//中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十六届年会暨第十届中美食品业高层论坛论文摘要集. 中国食品科学技术学会. 北京: 中国食品科学技术学会, 2019: 154-155.
- [50] He N, Shi X, Zhao Y, et al. Inhibitory effects and molecular mechanisms of selenium-containing tea polysaccharides on human breast cancer MCF-7 cells[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2013, 61(3): 579-588.
- [51] 陈路燕, 褚珊珊, 左绍远. 红花蜂花粉多糖 I 对 H22-荷瘤小鼠的抑瘤作用[J]. *亚太传统医药*, 2019, 15(6): 9-12.
- [52] Derochette S, Franck T, Mouithys-Mickalad A, et al. Intra and extracellular antioxidant capacities of the new water-soluble form of curcumin (NDS27) on stimulated neutrophils and HL-60 cells[J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2013, 201(1): 49-57.
- [53] 周望庭, 米佳, 禄璐, 等. 枸杞蜂花粉主要化学成分与抗氧化作用[J]. *食品科学*, 2018, 39(4): 219-224.
- [54] Wei S, Zuo S, Luo Y, et al. Research on protective effects of Yunnan rape bee pollen polysaccharide on acute liver injury[J]. *Food and Drug*, 2018, 20(1): 24-27.
- [55] 周昱. 阿里红多糖抗氧化和抗肿瘤及免疫调节活性的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2016.

- [56] Jovana B Žižić, Nenad L Vuković, Jadranin M B, et al. Chemical composition, cytotoxic and antioxidative activities of ethanolic extracts of propolis on HCT-116 cell line[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2013, 93(12): 3001–3009.
- [57] 魏淑飞, 左绍远, 罗永会. 云南产油菜蜂花粉多糖提高小鼠抗氧化和抗疲劳作用初探[J]. *世界临床药物*, 2015(1): 43–46.
- [58] 刘伟, 付中民, 杨文超, 等. 山茶蜂花粉多糖对四氧嘧啶致小鼠糖尿病的降血糖作用研究[J]. *蜜蜂杂志*, 2009, 29(2): 4–6.
- [59] 钱明辉, 达热卓玛, 徐德平. 荞麦蜂花粉多糖 A 的分离及其降血糖活性[J]. *食品与生物技术学报*, 2019, 38(6): 80–85.
- [60] Chunrong L, Cuixiang Z, Shaoyuan Z. Effect of polysaccharide from buckwheatbee pollen on blood glucose and lipids in experimental diabetic rats[J]. *Asia-Pacific Traditional Medicine*, 2013, 9(3): 7–9.
- [61] 宫海全, 周义发, 范玉莹. 玫瑰蜂花粉多糖调节肥胖小鼠肝脏的自噬水平及脂质代谢研究 [C]//第六届泛环渤海生物化学与分子生物学会学术交流会论文集. 山东: 山东生物化学与分子生物学会, 2016: 18.
- [62] Hooper L V, Littman D R, Macpherson A J. Interactions between the microbiota and the immune system[J]. *Science*, 2012, 336: 1268–1273.
- [63] Xie H, Zhou Y, Liu L, et al. Effects of botanical polysaccharide on growth performance and intestinal environment of weaned piglets[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(7): 2662–2671.
- [64] He Y, Du J, Ma C, et al. Analysis on antimicrobial activities of pollen polysaccharide *in vitro*[J]. *Science & Technology of Food Industry*, 2008(2): 129–131.
- [65] 宋运峰, 王珏, 李升和, 等. 蜂花粉对肉鸡消化腺发育的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2005, 37(4): 14–17.
- [66] 张国锋, 刁其玉, 屠焰, 等. 蜂花粉及其多糖对犊牛体增质量、物质消化与血清指标的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2010, 41(8): 981–987.
- [67] 潘珂, 孙汉, 高智慧. 蜂花粉多糖对肉鸡生长性能及肌肉化学成分的影响[J]. *饲料工业*, 2006, 27(12): 39–41.
- [68] Zhang C, Li S, Zhang J, et al. Antioxidant and hepatoprotective activities of intracellular polysaccharide from *Pleurotus eryngii* SI-04[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 91(10): 568–577.