

党参多糖的生物学功能及其在畜牧生产中的应用

金俊奇 陈代文 毛湘冰 阎 辉*

(四川农业大学动物营养研究所,动物抗病营养教育部重点实验室,成都 611130)

摘 要: 党参多糖是从党参中分离提取的天然有效成分。党参多糖具有抗氧化、抗衰老、增强机体免疫力、调节胃肠道微生物、提高动物生产性能等多种生物学功能。本文介绍了常用的党参多糖制备及分子修饰方法,并对党参多糖的生物学功能,包括对动物生产性能的促进作用、抗氧化能力、免疫调节功能和维持肠道菌群平衡等方面进行综述,在全面限抗的背景下,为其作为潜在抗生素替代品在畜牧研究与生产中的应用中提供参考。

关键词: 党参多糖;生物学功能;畜禽生产

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)05-2527-08

党参(*Codonopsis pillosula*, CP)为桔梗科植物如党参、素花党参或川党参的干燥根。在中医临床上,党参用于治疗脾肺气虚、食少倦怠、气血不足、气短口渴、内热消渴^[1]。党参的化学成分主要包括多糖、三萜类、聚炔类、甾醇类、糖苷类、生物碱类等,以及多种矿物元素和氨基酸^[2]。党参多糖(*Codonopsis pillosula polysaccharides*, CPP)是从党参中提取的一类天然植物性多糖,具有抗氧化^[3]、抗衰老^[4]、抗肿瘤^[5]、增强机体免疫力^[6]等多种功能。我国养殖业正朝着集约化、专业化和智能化的现代养殖体系发展。随着我国正式进入畜禽饲料全面禁抗时代,畜牧业生产面临新的挑战。研究和发现抗生素替代品、提高动物生产性能和抗病能力已经成为畜牧研究和生产的首要目标。在畜禽生产中,党参多糖表现出提高动物生产性能、调节肠道微生物^[7]、增强机体免疫^[8]等多种生物学功能。因此,本文将对党参多糖的生物学功能以及在畜禽生产实践中的应用进行综述,为其在畜牧业中的使用提供参考。

1 党参多糖的理化性质和提取方式

粗党参多糖为棕褐色粉末,易溶于水,分别由

葡萄糖、半乳糖、半乳糖醛酸、木糖和阿拉伯糖等组成,且摩尔比为10.5:2.0:1.4:1.0:1.0^[9]。党参多糖的传统提取方式是溶剂提取法。通过把党参溶于溶剂中,通常是水,根据党参内的不同活性成分在相同溶剂中不同的溶解度,使不同活性成分溶于溶剂。影响党参多糖的提取因素有:所选溶剂、提取时间、提取温度、提取料液比、提取次数等^[10]。

张雅君等^[9]采用传统的水提醇沉法,将党参根以1:5(g/mL)在沸水中分别以2、1、1 h煮提3次;合并浓缩滤液后,以3倍体积的85%乙醇过夜醇析,离心,其粗党参多糖得率为9.7%。李达等^[11]以料液比1:30(g/mL),在75℃水中提取3次,每次提取时间2 h,粗多糖得率可达21.73%。武新亮等^[12]通过响应面法优化传统方法,以料液比1:25(g/mL),在80℃水中提取5次,每次提取5 h的工艺条件下,党参多糖得率为22.31%。综上所述,在粗多糖的提取中,在75~80℃水中,长时间多次提取可以提高党参多糖的得率。

随着技术的不断发展,植物多糖的提取方法也随之增多,这些提取方法都是以溶剂提取法为基础,辅以不同优化处理手段,如酶解提取法、微波提取法、超声波提取法、亚临界水提取法等^[10]。

收稿日期:2020-09-28

基金项目:国家自然科学基金重点项目(31730091);国家自然科学基金面上项目(31672436);四川农业大学引进人才科研启动资金

作者简介:金俊奇(1997—),男,浙江台州人,硕士研究生,从事猪营养研究。E-mail: 374057458@qq.com

* 通信作者:阎 辉,副教授,硕士生导师,E-mail: yan.hui@sicau.edu.cn

酶解法提取采用特异性酶破坏植物细胞壁和脂质体,使溶剂与植物内的活性成分充分混合溶解,促进活性物质的提取。高建德等^[13]利用果胶酶和纤维素酶等复合酶辅助提取党参多糖,其使用 0.2% 复合酶在 pH=4.2 的 50 ℃ 温水中酶解 1.5 h,其党参多糖的得率为 25.23%。周大寨等^[14]采用木瓜蛋白酶、纤维素酶和果胶酶,分别添加 90、90、150 U/g,在 pH=5.0、温度 50 ℃、反应时间 90 min 时,党参多糖得率最高达 26.47%。因此,在用传统水提法提取党参多糖的同时,可以使用复合酶来提高粗多糖的提取量。

微波提取法是利用微波加热让溶剂快速进入细胞内,从而使植物细胞内的有效成分快速溶出。余兰等^[15]通过微波辅助萃取洛龙党参,在萃取温度为 70 ℃、料液比 1:40 (g/mL)、微波时间为 20 min、微波辐射功率为 500 W 的条件下,党参多糖的得率为 14.8%。相对于传统提取法,尽管微波提取法并没有提高党参多糖的得率,但却极大地精简工艺和缩短提取时间。

超声波辅助法是在水提的同时,使用超声波辅助,快速地破坏细胞壁,使党参中的有效成分更加迅速地溶于溶剂,缩短提取时间,提高提取效率。Zou 等^[16]在超声波提取工艺中,以料液比 1:56 (g/mL)、采用 320 W 功率的超声波提取 44 min 的条件下,其多糖得率为 36.26%。超声波辅助法在缩短提取时间的同时,有效提高了多糖得率。

亚临界水提取法是在高温高压下,水的物理性质发生改变,其更容易萃取到植物细胞内的活性成分。张锐等^[17]以料液比 1:12 (g/mL)、在 150 ℃ 高压热水中提取 45 min 的条件下,其粗多糖得率为 19.5%。此方法快速,溶解充分,能使水再利用,很大程度降低提取的成本。

传统水提法不仅粗多糖的得率低,而且所提取的粗多糖杂质较多,并且提取的时间较长。然而,近几年所出现的酶解法、超声波法、微波提取法和亚临界提取法都在较大程度上节省提取时间,并一定程度提高了粗多糖的得率和纯度,为进一步开展党参多糖的产业化生产提供了保障。

2 党参多糖的化学修饰改造

研究表明,分子结构的修饰可以显著增强多糖的生物活性。硒化和硫酸化是党参多糖最常见

的分子修饰方法。通过与硒结合形成硒多糖,多糖表现出更高的生物活性,同时更加容易被机体吸收。硒化党参多糖是党参多糖与亚硒酸钠在一定的温度和反应时间下,按照一定比例制备而成。目前,人工合成硒多糖的方法有 3 种方式:一是在温和条件下,用亚硒酸钠对多糖进行修饰;二是利用化学性质活泼、具有酰氯结构的二氯化硒进行反应;三是将硒官能团转移到多糖分子上^[18]。最常见的方法为:将一定量的纯化党参多糖溶于水,并加入等量的冰醋酸,再加入等量亚硒酸钠溶液,然后在 50 ℃ 下搅拌反应 48 h;混合溶液经过乙醇沉淀、离心、洗涤、透析后,得到硒化党参多糖^[19]。Qin 等^[20]将按照亚硒酸与多糖类化合物以 3:5 混合,70 ℃ 反应 8 h,其制备硒化党参多糖用原子荧光光谱法测得硒含量为 11.86 mg/g。Qin 等^[21]报道,在过氧化氢所诱导的巨噬细胞氧化损伤模型中,与未修饰的党参多糖相比,经过硒化修饰的党参多糖超氧化物歧化酶(SOD)的产生更多,丙二醛(MDA)的含量更少,巨噬细胞活性更强。这说明硒化可提高党参多糖的抗氧化活性。

硫酸化修饰是用硫酸中的磺基基(SO_3H^+)取代多糖分子中的羟基氢或者羧基氢形成硫酸酯多糖。据报道,被 SO_3H^+ 修饰的多糖具有更好地抗病毒活性和免疫增强活性^[22]。目前,所采取的硫化方式有:氯磺酸-吡啶法、硫酸法和三氧化硫-吡啶法^[23]。Liu 等^[24]采用氯磺酸-吡啶法将党参多糖悬浮于 N,N-二甲基甲酰胺,然后以 1:6 体积比与磺酰吡啶(CSA-Pyr)混合,在 80 ℃ 水浴 3 h;混合液调至 pH=7~8,经过酒精沉淀、透析后,冷冻干燥得到硫化党参多糖。Liu 等^[25]报道,采用氯磺酸-吡啶法制备的硫化党参多糖,其抗氧化活性强于未修饰的党参多糖;在小鼠肝损伤试验中,相较于模型组和党参多糖组,硫化党参多糖显著降低肝脏匀浆液中 MDA 含量,同时提高 SOD 和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性。因此,可以通过化学修饰提高党参多糖的生物活性。

3 党参多糖的生物学功能

3.1 改善生长性能

目前,在畜禽研究和生产中,中草药作为抗生素潜在替代品,被广泛添加在饲料中用于提高动物生长性能。

党参多糖对畜禽的生长性能有明显的促进作

用。在断奶仔猪中,饲料中添加党参多糖可以提高平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI),同时降低料重比(F/G),极大地提高仔猪对饲料的利用率,降低了能耗损失和养殖成本,给养殖带来更大的经济回报。王希春等^[26]在14日龄仔猪代乳料中分别添加0、1%、2%的党参多糖。21日龄时,2%添加组仔猪ADG极显著高于对照组;28日龄时,2组党参多糖组平均体重均显著高于对照组;22~28日龄时,2%的党参多糖组仔猪ADFI显著高于对照组。Lan等^[27]研究发现,在育肥猪饲料中添加党参和大蒜等混合物,也可显著提高ADG,降低F/G。李开菊等^[28]报道,在乌鸡饲料中添加100 mg/kg素花党参多糖可以促进对乌鸡的生长。Liu等^[24]在小龙虾的饲料中分别添加0、0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.30%党参多糖,发现添加党参多糖的小龙虾ADG和F/G均得到显著改善。因此,在饲料中添加党参多糖可以极大改善动物的生长性能。

3.2 增强抗氧化作用

党参多糖可以增强动物机体的抗氧化作用。刘文生^[29]利用小鼠腹腔注射过氧化氢的氧化应激损伤模型,发现党参多糖能减缓过氧化氢造成的损伤,有效清除体内自由基,增强SOD、GSH-Px、过氧化氢酶(CAT)的活性,降低血浆MDA含量。李启艳等^[30]在体外试验中发现,党参多糖具有清除1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、羟自由基和超氧阴离子自由基的能力;在D-半乳糖所致衰老小鼠模型中,添加高剂量党参多糖能够抵抗D-半乳糖导致的小鼠衰老,显著提高小鼠血清和肝脏中的SOD、GSH-Px的活性和还原型谷胱甘肽(GSH)的含量。细胞氧化损伤模型常被用来评价多糖的体外抗氧化活性。孙嘉琪^[31]研究发现,在巨噬细胞中,党参多糖和硫酸党参多糖可以缓解过氧化氢诱导下的免疫应激,提高SOD活性,降低血清中MDA含量,有效促进GSH-Px活性;降低ROS含量,提高CAT活性。综上所述,党参多糖通过提高抗氧化酶活性、消除自由基,进而增强机体抗氧化作用。然而,党参多糖调节抗氧化酶活性的作用机制依旧不清楚。

3.3 提高免疫功能

近几年的研究发现,党参多糖对先天性免疫和适应性免疫均具有调节作用,可以提高机体免疫力。

免疫器官(如脾脏、胸腺、肝脏)的指数在一定程度上反映了机体免疫活性和状态。研究报道党参多糖对免疫器官的应答和器官指数具有调节作用。Fu等^[32]研究发现,在小鼠腹腔注射环磷酰胺诱导小鼠免疫抑制的模型中,添加党参多糖显著提高脾脏、胸腺和肝脏指数。石铁男等^[33]研究发现,党参多糖可显著提高肉鸡的胸腺、脾脏和法氏囊指数。尽管党参多糖可以调节免疫器官指数,其对免疫力的调节作用还需要结合免疫指标和机体状态综合解读。

先天性免疫是机体对抗病原体感染的快速反应机制。先天性免疫细胞主要是巨噬细胞和树突细胞,感受病原体入侵后,释放大炎症因子,激活适应性免疫细胞增殖和分化^[34]。尹莉莉^[8]研究发现,在仔猪饲料中添加党参多糖,能够提高血清中干扰素- γ (IFN- γ)、白细胞介素(IL)-2、IL-4和IL-6含量,且提高水平与添加党参多糖浓度呈正相关趋势。Zhang等^[35]报道,党参多糖能诱导产生更多的IL-2、IFN- γ 、肿瘤坏死因子- α (TNF- α),进而改善Th1细胞所介导的免疫反应。Fu等^[32]研究也发现,在环磷酰胺所造成的免疫抑制中,党参多糖组可以恢复血清中IFN- γ 、IL-2、IL-10和免疫球蛋白G(IgG)含量,还能提高回肠分泌免疫球蛋白A(sIgA)的含量。以上报道表明,党参多糖可以促进机体免疫应答,提高抵抗力。然而,过度炎症反应会导致机体免疫应激、正常细胞凋亡。因此,免疫稳态的维持对动物抗病能力和恢复能力具有重要作用。一氧化氮(NO)过量产生时是机体过度炎症反应的标志,其会导致机体组织和细胞损伤,并加剧免疫应激^[36]。孟燕等^[37]研究发现,不同组分的党参多糖均能够通过抑制细胞NO的产生来减弱细胞的炎症反应。先天性免疫细胞Toll样受体感受病原体,并激活核转录因子- κ B(NF- κ B)介导促炎性因子表达,导致炎症发生。孟燕等^[37]进一步发现,党参多糖能减少NF- κ B、Toll样受体4(TLR4)和炎性因子mRNA的表达水平,从而减弱炎症反应。Gao等^[38]研究发现,在卵清蛋白所致的小鼠免疫耐受模型中,硒化党参多糖能够提高IL-2、IFN- γ 、IL-4的分泌,调节由Th1和Th2所介导的免疫反应。综上所述,党参多糖可以调节先天性免疫激活和炎性因子的水平,提高机体的免疫活性,同时也可调节机体免疫稳态,防止免疫应激。然而,党参多糖调节免疫稳态机

制依旧不清楚。

适应性免疫通过 T、B 淋巴细胞来实现功能,持续对病原体进行清除,并长时间保护机体不受感染。研究报道,党参多糖具有调节 T、B 细胞增殖分化的作用。Sun 等^[39]研究发现,党参多糖可以剂量依赖性地促进脾淋巴细胞增殖。Deng 等^[40]研究发现,党参多糖对维持小鼠外周血或者脾脏的 CD4⁺/CD8⁺ 有调节作用,其添加可以提高 CD8⁺T 细胞的含量从而维持 CD4⁺/CD8⁺T 细胞比例的平衡。Zhang 等^[35]研究发现,党参多糖可以增加 CD28⁺和减少 CD152⁺ T 淋巴细胞。CD28⁺ T 淋巴细胞可以破坏病毒宿主细胞及各种病原微生物;CD152⁺T 淋巴细胞发送负信号去终止 T 淋巴细胞的分化。以上研究表明,党参多糖可以调节免疫增殖细胞分化,进而提高免疫力。免疫球蛋白指具有抗体(Ab)活性或化学结构,由动物免疫系统淋巴细胞产生的蛋白质,经抗原的诱导可以转化为抗体,包括 IgG、免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 M(IgM)、免疫球蛋白 D(IgD)和免疫球蛋白 E(IgE)。尹莉莉^[8]研究发现,在仔猪饲料中添加党参多糖能提高仔猪小肠黏膜 SIgA 含量,增加小肠黏膜 SIgA、IgM 和 IgG 的蛋白表达量以及 mRNA 的相对表达量,由此来提高小肠黏膜免疫。林丹丹等^[41]研究表明,党参多糖和硒化党参多糖对环磷酰胺所致的免疫抑制小鼠均有免疫增强作用,且硒化修饰多糖组的 IgG 和 IgM 含量高于未修饰的党参多糖组。因此,党参多糖可能通过促进机体的淋巴细胞合成与分泌免疫球蛋白含量来提高机体的体液免疫水平。

3.4 改善肠道健康

研究表明,党参多糖在改善肠道菌群失调、恢复机体健康等方面有一定的作用。Lan 等^[27]研究发现,在育肥猪饲料中添加党参混合物能明显改变肠道微生物的平衡,增加乳酸菌数量,降低大肠杆菌数量,进而改变猪的消化能力。Fu 等^[32]研究发现,在环磷酰胺诱导小鼠免疫抑制模型中,党参多糖恢复由环磷酰胺导致的盲肠乳酸杆菌数量降低和乙酸含量降低。Li 等^[42]研究发现,从党参根中提取的 3 种高聚合度菊糖型果糖,在添加量 2.0 g/L 的条件下,显著促进益生菌双歧杆菌的生长,改善肠道健康,促进动物的生长发育。马方励等^[43]研究发现,党参多糖能明显增加大鼠采食量以及体重,其中高剂量组能明显促进胃蛋白酶的

排出;在大鼠肠道切片中发现,党参多糖能增加胃黏膜、胃壁厚,促进十二指肠、空肠微肠毛的生长,增加肠道对养分吸收的表面积,由此来提高动物的生长性能。

周卫东等^[44]研究发现,通过小鼠口服党参多糖,能改善由 5-氟尿嘧啶所引起的结肠炎症状,降低腹泻,其中添加 50 mg/kg 的党参多糖能够极显著抑制 5-氟尿嘧啶所引起的小肠绒毛缩短、隐窝深度下降。

因此,在畜禽饲料中添加党参多糖不仅能调节肠道菌群,促进有益菌和降低致病菌,还能改善肠道的结构,促进营养物质的充分吸收,提高畜禽的生长发育,提高饲料转化率。

3.5 其他生理作用

疫苗是畜牧业发展中保证动物健康生长发育的重要手段。周建强等^[45]研究发现,党参多糖能够提高新城疫疫苗的效价,促进外周血淋巴细胞增殖。韩天飞等^[46]报道,党参多糖可以缓解鸡球虫疫苗免疫对鸡增重的不良影响,提高鸡球虫疫苗的免疫效果。李恺等^[47]研究表明,党参多糖对兔出血症疫苗效果具有增强作用。Liu 等^[48]证实,硫化党参多糖和黄精多糖有协同作用,一同增强抗新城疫病毒作用。

近几年来,多糖提取物在抗肿瘤方面备受关注。植物类多糖对癌细胞的抑制通过以下途径:1)抑制细胞增殖;2)诱导细胞凋亡;3)阻滞细胞周期;4)调节免疫功能^[36]。Yang 等^[5]研究发现,从党参中提取的由半乳糖醛酸、鼠李糖、半乳糖和阿拉伯糖组成的果胶多糖,可以作为免疫增强剂,与抗癌药甲氨蝶呤共同作用抑制癌细胞生长,其可能是通过增强肿瘤对药物治疗的敏感性和增强免疫反应来介导。Xu 等^[49]研究表明,党参侧根所提取的多糖能明显抑制肿瘤生长,其通过促进超氧硝酸盐在肿瘤细胞中的合成,从而抑制呼吸链中电子传递,引起肿瘤细胞的 DNA 损伤,抑制肿瘤细胞的生长,最终导致肿瘤细胞死亡。

4 小结和展望

在 2020 年畜禽饲料全面禁抗的背景下,寻找和发现无毒、安全、促生长的抗生素替代品,成为了目前畜牧产业的挑战。党参资源丰富,党参多糖作为党参的提取物质,具有抗氧化、增强免疫力、提高动物生产性能、改善动物肠道健康等生理

学功能,同时安全高效、毒副作用小。在当前禁抗的背景下,党参多糖可以发展成为替抗产品。但目前,有关党参多糖在动物体内的作用和机制研究较少,在动物生产中的运用也较少,还需要更多研究去验证其效果。因此,今后需要进一步研究党参多糖在动物体内的作用机制及其在畜禽生产中的应用。

参考文献:

- [1] 刘美霞,戚进,余伯阳.党参药理作用研究进展[J].海峡药学,2018,30(11):36-39.
LIU M X, QI J, YU B Y. Research progress on the pharmacological activity of *codonopsis pilosula* [J]. Strait Pharmaceutical Journal, 2018, 30(11): 36-39. (in Chinese)
- [2] GAO S M, LIU J S, WANG M, et al. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Codonopsis*: a review [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2018, 219: 50-70.
- [3] 褚旭,刘晓菊,邱敬满,等.党参多糖对细颗粒物所致慢性阻塞性肺疾病小鼠肺泡巨噬细胞吞噬功能障碍加剧的抑制作用[J].中华医学杂志,2016(14): 1134-1138.
CHU X, LIU X J, QIU J M, et al. Inhibitory effects of *Codonopsis pilosula* polysaccharides on the deterioration of impaired phagocytosis of alveolar macrophage induced by fine particulate matter in chronic obstructive pulmonary disease mice [J]. National Medical Journal of China, 2016, 96(14): 1134-1138. (in Chinese)
- [4] HE J Y, MA N, ZHU S, et al. The genus *Codonopsis* (Campanulaceae): a review of phytochemistry, bioactivity and quality control [J]. Journal of Natural Medicines, 2015, 69(1): 1-21.
- [5] YANG C X, GOU Y Q, CHEN J Y, et al. Structural characterization and antitumor activity of a pectic polysaccharide from *Codonopsis pilosula* [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 886-895.
- [6] SUN Y X. Immunological adjuvant effect of a water-soluble polysaccharide, CPP, from the roots of *Codonopsis pilosula* on the immune responses to ovalbumin in mice [J]. Chemistry & Biodiversity, 2009, 6(6): 890-896.
- [7] JING Y P, LI A P, LIU Z R, et al. Absorption of *Codonopsis pilosula* saponins by coexisting polysaccharides alleviates gut microbial dysbiosis with dextran sulfate sodium-induced colitis in model mice [J]. BioMed Research International, 2018, 2018: 1781036.
- [8] 尹莉莉.党参多糖对仔猪免疫机能的影响[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2016.
YIN L L. Effects of *Codonopsis pilosula* polysaccharide on immune function in piglets [D]. Master's Thesis. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [9] 张雅君,梁忠岩,赵伟,等.党参水溶性多糖的分离、纯化及组成分析[J].中国药学杂志,2005,40(14): 1107-1109.
ZHANG Y J, LIANG Z Y, ZHAO W, et al. Separation, purification and compositional analysis of water soluble polysaccharide CPPS3 from *Codonopsis pilosula* [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2005, 40(14): 1107-1109. (in Chinese)
- [10] SUN Y X, LIU J C, KENNEDY J F. Application of response surface methodology for optimization of polysaccharides production parameters from the roots of *Codonopsis pilosula* by a central composite design [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(3): 949-953.
- [11] 李达,何先元,冯婧,等.党参多糖水提法工艺研究[J].安徽农业科学,2011,39(30): 18514-18515.
LI D, HE X Y, FENG J, et al. Study on water extraction technology of *Codonopsis pilosula* polysaccharide [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(30): 18514-18515. (in Chinese)
- [12] 武新亮,王宏军,白子霞,等.响应面法优化川党参多糖的提取工艺研究[J].天津中医药,2015,32(7): 432-436.
WU X L, WANG H J, BAI Z X, et al. Optimization of the extraction technique of *Codonopsis tangshen* Dliv. polysaccharide using response surface methodology [J]. Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2015, 32(7): 432-436. (in Chinese)
- [13] 高建德,朱晓玉,宋开蓉,等.复合酶辅助提取党参多糖工艺的优化[J].中成药,2018,40(5): 1189-1193.
GAO J D, ZHU X Y, SONG K R, et al. Optimization of complex enzyme assisted extraction of polysaccharides from *Codonopsis pilosula* [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2018, 40(5): 1189-1193. (in Chinese)
- [14] 周大寨,朱玉昌,黄卫,等.复合酶法提取板党多糖的研究[J].时珍国医国药,2009,20(8): 1928-1929.
ZHOU D Z, ZHU Y C, HUANG W, et al. Study on the extraction of platinum-party polysaccharides by

- complex enzymatic method [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2009, 20 (8): 1928–1929. (in Chinese)
- [15] 余兰, 陈华, 娄方明. 微波辅助萃取洛龙党参多糖的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2011, 32 (9): 26–29.
- YU L, CHEN H, LOU F M. Optimizing technics of extracting polysaccharides from *Codonopsis tangshen* Oliv with microwave-assisted extraction[J]. Food Research and Development, 2011, 32 (9): 26–29. (in Chinese)
- [16] ZOU Y F, CHEN X F, YANG W Y, et al. Response surface methodology for optimization of the ultrasonic extraction of polysaccharides from *Codonopsis pilosula* Nannf. var. *modesta* L. T. Shen [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84 (1): 503–508.
- [17] 张锐, 张旭, 刘建群, 等. 党参的亚临界水提取工艺优选[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19 (10): 34–37.
- ZHANG R, ZHANG X, LIU J Q, et al. Optimization of subcritical water extraction technology of *Codonopsis tangshen* [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2013, 19 (10): 34–37. (in Chinese)
- [18] 梁欢, 黄进, 王丽, 等. 药用植物硒多糖的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2018, 43 (15): 3080–3092.
- LIANG H, HUANG J, WANG L, et al. Recent research progress of selenium polysaccharides from medicinal plants [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2018, 43 (15): 3080–3092. (in Chinese)
- [19] 金黎明, 刘李娜, 许永斌, 等. 硒化党参多糖的制备及其抗氧化性能研究[J]. 大连民族学院学报, 2014, 16 (1): 10–13, 38.
- JIN L M, LIU L N, XU Y B, et al. Research on synthesis and antioxidant activity of selenium-*Codonopsis pilosula* polysaccharide [J]. Journal of Dalian Nationalities University, 2014, 16 (1): 10–13, 38. (in Chinese)
- [20] QIN T, REN Z, LIN D D, et al. Effects of selenizing *Codonopsis pilosula* polysaccharide on macrophage modulatory activities [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2016, 26 (8): 1358–1366.
- [21] QIN T, REN Z, LIU X P, et al. Study of the selenizing *Codonopsis pilosula* polysaccharides protects RAW264.7 cells from hydrogen peroxide-induced injury [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 125: 534–543.
- [22] ZHAO X N, HU Y L, WANG D Y, et al. The comparison of immune-enhancing activity of sulfated polysaccharides from *Tremella* and *Codonopsis pilosula* [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98 (1): 439–443.
- [23] WANG Z J, XIE J H, SHEN M Y, et al. Sulfated modification of polysaccharides: synthesis, characterization and bioactivities [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 74: 147–157.
- [24] LIU F, GENG C, QU Y K, et al. The feeding of dietary *Codonopsis pilosula* polysaccharide enhances the immune responses, the expression of immune-related genes and the growth performance of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2020, 103: 321–331.
- [25] LIU C, CHEN J, LI E T, et al. The comparison of antioxidative and hepatoprotective activities of *Codonopsis pilosula* polysaccharide (CP) and sulfated CP [J]. International Immunopharmacology, 2015, 24 (2): 299–305.
- [26] 王希春, 朱电锋, 尹莉莉, 等. 党参多糖对仔猪生长性能、血清细胞因子及肠黏膜分泌型免疫球蛋白 A 含量的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29 (11): 4069–4075.
- WANG X C, ZHU D F, YIN L L, et al. Effects of *Codonopsis pilosula* polysaccharide on growth performance, serum cytokines and intestinal mucosal secretory immunoglobulin A contents of piglets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29 (11): 4069–4075. (in Chinese)
- [27] LAN R X, PARK J W, LEE D W, et al. Effects of *As-tragalus membranaceus*, *Codonopsis pilosula* and alliin mixture on growth performance, nutrient digestibility, faecal microbial shedding, immune response and meat quality in finishing pigs [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2017, 101 (6): 1122–1129.
- [28] 李开菊, 陈文倩, 周霞, 等. 素花党参多糖对乌鸡生长性能、免疫功能、血常规及肠道菌群的影响[J]. 四川畜牧兽医, 2017, 44 (10): 32–34, 36.
- LI K J, CHEN W Q, ZHOU X, et al. Effects of *Codonopsis pilosula* polysaccharides on the production performance, immune function, routine blood indexes and intestinal microflora of black-bone chicken [J]. Sichuan Animal and Veterinary Sciences, 2017, 44 (10): 32–34, 36. (in Chinese)
- [29] 刘文生. 党参多糖、皂甙提取及对小鼠抗氧化和免疫功能影响的研究[D]. 硕士学位论文. 晋中: 山西农业大学, 2004.

- LIU W S. Study on extraction of *Codonopsis* polysaccharide saponins and its effects on antioxidant and immune function in mice [D]. Master's Thesis. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- [30] 李启艳, 祝清芬, 刘春霖, 等. 党参多糖分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 中草药, 2017, 48(5): 907-912.
- LI Q Y, ZHU Q F, LIU C L, et al. Isolation and purification of *Codonopsis pilosula* polysaccharide and its anti-oxidant activity[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2017, 48(5): 907-912. (in Chinese)
- [31] 孙嘉琪. 硫酸化党参多糖对巨噬细胞及小鼠急性氧化损伤的保护作用[D]. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学, 2018.
- SUN J Q. Protective effect of sulfated *Codonopsis pilosula* polysaccharide on oxidative injury in macrophages and mice[D]. Master's Thesis. Guangzhou: Huannan Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [32] FU Y P, BIN F, ZHU Z K, et al. The polysaccharides from *Codonopsis pilosula* modulates the immunity and intestinal microbiota of cyclophosphamide-treated immunosuppressed mice [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1801
- [33] 石轶男, 杨绒娟, 扈妍妍, 等. 党参多糖可溶性粉对肉仔鸡血清 ND 抗体水平、IgG 及肠道 SIgA 含量的影响[J]. 中国兽药杂志, 2016, 50(9): 47-52.
- SHI Y N, YANG R J, YI Y Y, et al. Effects of *Codonopsis pilosula* polysaccharides soluble powder on broiler serum antibody level of ND, IgG and intestinal SIgA content[J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2016, 50(9): 47-52. (in Chinese)
- [34] 阎辉, 毛湘冰, 余冰, 等. 基于生猪疾病模型探讨营养对免疫的调控作用[J]. 动物营养学报, 2020, 32(10): 4471-4479.
- YAN H, MAO X B, YU B, et al. Nutritional regulation on immunity based on pig disease model[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(10): 4471-4479. (in Chinese)
- [35] ZHANG P, HU L H, BAI R B, et al. Structural characterization of a pectic polysaccharide from *Codonopsis pilosula* and its immunomodulatory activities *in vivo* and *in vitro* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 104: 1359-1369.
- [36] LIU F Y, ZHANG X F, LING P X, et al. Immunomodulatory effects of xanthan gum in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 169: 65-74.
- [37] 孟燕, 徐玉洁, 张宝徽, 等. 党参多糖不同组分的抗炎活性及机制研究[J]. 中国房, 2020, 31(11): 1348-1352.
- MENG Y, XU Y J, ZHANG B H, et al. Study on the anti-inflammatory activity and mechanism of different components from *Codonopsis radix* polysaccharides [J]. China Pharmacy, 2020, 31(11): 1348-1352. (in Chinese)
- [38] GAO Z Z, ZHANG C, JING L R, et al. The structural characterization and immune modulation activities comparison of *Codonopsis pilosula* polysaccharide (CPPS) and selenizing CPPS (sCPPS) on mouse *in vitro* and *in vivo* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 160: 814-822.
- [39] SUN Y X, LIU J C. Structural characterization of a water-soluble polysaccharide from the roots of *Codonopsis pilosula* and its immunity activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2008, 43(3): 279-282.
- [40] DENG X L, FU Y J, LUO S, et al. Polysaccharide from radix *Codonopsis* has beneficial effects on the maintenance of T-cell balance in mice [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2019, 112: 108682.
- [41] 林丹丹, 秦韬, 任喆, 等. 硒化党参多糖对免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2016, 43(6): 1544-1549.
- LIN D D, QIN T, REN Z, et al. Effects of selenium-*Codonopsis pilosula* polysaccharide on immune function of immunosuppressed mice [J]. China Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2016, 43(6): 1544-1549. (in Chinese)
- [42] LI J K, ZHANG X, CAO L Y, et al. Three inulin-type fructans from *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. roots and their prebiotic activity on *Bifidobacterium longum* [J]. Molecules, 2018, 23(13): 3123.
- [43] 马方励, 沈雪梅, 时军. 党参多糖对实验动物胃肠道功能的影响[J]. 安徽医药, 2014, 18(9): 1626-1629, 1630.
- MA F L, SHEN X M, SHI J. Effect of *Codonopsis* polysaccharide on gastrointestinal tract of experimental rats and mice [J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2014, 18(9): 1626-1629, 1630. (in Chinese)
- [44] 周卫东, 项磊, 卢汉琪, 等. 党参多糖改善 5-氟尿嘧啶诱导小肠黏膜炎的实验研究[J]. 辽宁中医杂志, 2016, 43(7): 1495-1498.
- ZHOU W D, XIANG L, LU H Q, et al. Radix *Codo-*

- nopsis* polysaccharide against 5-fluorouracil-induced gastrointestinal mucositis in mice model[J]. Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine, 2016, 43 (7):1495–1498. (in Chinese)
- [45] 周建强,潘琦,王涛,等.党参多糖对免疫雏鸡抗体效价和淋巴细胞增殖的影响[J].江苏农业科学,2010 (3):263–264.
ZHOU J Q, PAN Q, WANG T, et al. Effects of *Codonopsis pilosula* polysaccharide on antibody titer and lymphocyte proliferation in chickens[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2010 (3):263–264. (in Chinese)
- [46] 韩天飞,袁娜娜,张洪宇,等.党参多糖和黄芪多糖对鸡球虫疫苗免疫增强作用的研究[J].黑龙江畜牧兽医,2018 (11):172–175.
HAN T F, YUAN N N, ZHANG H Y, et al. Study on the immune enhancement effect of *Codonopsis pilosula* polysaccharides and astragalus polysaccharides on chicken coccidiosis vaccine[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2018 (11):172–175. (in Chinese)
- [47] 李恺,盛瑜,於廉沁,等.中药提取物对兔出血症疫苗免疫效果的影响[J].中国养兔,2017 (6):7–9.
LI K, SHENG Y, YU L Q, et al. The effect of Chinese herb extracts on rabbit hemorrhagic disease (RHD) vaccine[J]. Chinese Journal of Rabbit Farming, 2017 (6):7–9. (in Chinese)
- [48] LIU C, CHEN J, LI E T, et al. Solomonseal polysaccharide and sulfated *Codonopsis pilosula* polysaccharide synergistically resist newcastle disease virus[J]. PLoS One, 2015, 10 (2):0117916.
- [49] XU C, LIU Y, YUAN G X, et al. The contribution of side chains to antitumor activity of a polysaccharide from *Codonopsis pilosula*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 50 (4):891–894.

Biological Function and Application of *Codonopsis pilosula* Polysaccharide in Animal Production

JIN Junqi CHEN Daiwen MAO Xiangbing YAN Hui*

(Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: *Codonopsis pilosula* polysaccharide is a natural active ingredient separated and extracted from *Codonopsis pilosula*. *Codonopsis pilosula* polysaccharides have many biological functions, such as anti-oxidation, anti-aging, enhancing the immunity, regulating gastrointestinal microorganisms and improving animal production performance. This article introduced commonly used methods of preparation and molecular modification of *Codonopsis pilosula* polysaccharides, and reviewed the biological functions of *Codonopsis pilosula* polysaccharides, in terms of animal performance, antioxidant capacity, immune regulation, and intestinal microbial homeostasis. In the era of antibiotics-free, this review provided a reference for the application as an antibiotic alternative in animal research and production. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33 (5): 2527–2534]

Key words: *Codonopsis pilosula* polysaccharide; biological function; animal production