

## 多糖的生物活性及其对胃肠道功能的影响

张 帅, 高 媛, 杨 杨, 马春敏, 许馨予, 边 鑫, 张 娜\*

(哈尔滨商业大学食品工程学院 哈尔滨 150076)

**摘要** 研究发现多糖具有低毒、高效和良好的生物活性等特点,在胃肠道疾病的预防中应用广泛。本文在概述多糖的来源、化学结构的基础上,系统分析不同种类多糖对胃肠道功能的调节机制,以及对胃黏膜的保护作用,为探究多糖的生物活性及其在机体内的作用机制,对胃肠道疾病的调控机理提供新思路。

**关键词** 多糖;生物活性;胃肠道疾病;胃黏膜;作用机制

**文章编号** 1009-7848(2024)10-0438-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.10.040

由于生活节奏快,工作压力大,因此患有胃肠道疾病的人群数量逐渐增加,糖尿病、肥胖症、炎症性肠病及肠道癌变等代谢疾病的发病率也日益增高。针对胃肠道疾病,一般采用药物治疗,然而药物治疗的依赖性强,副作用较大,可能会对肝肾功能产生影响。多糖(Polysaccharide)是由多个单糖分子脱水、缩合而成的一类结构复杂且庞大的糖类物质,它作为传统饮食和药物中的重要成分,已被证实具有多种生理功能。近年来,人们发现从天然生物中提取出来的多糖具有安全、高效、低毒性、低成本、生物相容性好等优点<sup>[1]</sup>。与此同时,多糖可被用于多种疾病的辅助治疗,对身体健康有积极作用。

研究发现,多糖能够激活免疫细胞,刺激细胞因子的产生,从而提高人体的免疫力<sup>[2]</sup>。将多糖注入小鸡肌肉细胞后,可以显著提高淋巴因子的有丝分裂和巨噬细胞的活性,直接作为抗氧化剂调节胰岛素的敏感性,或者通过改善糖尿病患者的胆汁酸代谢来降低血糖<sup>[3-4]</sup>。在调节胃肠道功能方面,多糖能推动肠蠕动的速度,促进肠绒毛的生长<sup>[5]</sup>,同时能抑制幽门螺杆菌对人胃黏膜和红细胞

的吸附<sup>[6]</sup>。多糖还对大肠杆菌、亚杆菌等起到抑菌、抗炎的作用等<sup>[7]</sup>。综上所述,多糖具有增强机体免疫力,抗氧化,降低血糖,增强胃肠道功能以及抗炎等作用,其在生物化学和医学领域有着非常重要的影响,具有广阔的发展前景。

近年来,随着食品成分与胃肠道功能关系研究的深入,发现胃肠道是各类多糖发挥生物活性的重要场所。虽然大部分多糖不能被人体直接消化吸收,但是多糖作为生命物质的重要成分之一,可以在许多肠道细菌的共同作用下被降解<sup>[8]</sup>;还能刺激消化道黏膜免疫组织中的各种淋巴细胞,从而激活人体的免疫系统,作出免疫反应,对胃肠道起积极作用。本文综述多糖的来源、化学结构,对胃肠道功能的调节机制,以及不同多糖对胃黏膜的保护作用等,以期明确多糖在胃肠道中的作用机理,为多糖食品及药物的研发提供新思路。

### 1 生物活性多糖

#### 1.1 生物活性多糖的来源

多糖又称多聚糖,它不是一种单一的化学物质,是由 20~10 000 个单糖脱水缩合形成的大分子化合物<sup>[9]</sup>。作为发挥生理功能的重要生物活性物质,多糖具有不溶于水、无还原性等性质,相较于蛋白质、核酸、脂类的研究,多糖的研究起步较晚,在近年来得到广泛关注。按照其生物来源不同,多糖可被划分成植物、动物和微生物多糖<sup>[10]</sup>。其中,植物多糖分布广泛,含量丰富,是天然多糖的主要来源,可以从高等植物的根和果实、藻类和地衣等中分离得到,具有高效、无毒副作用等特点<sup>[11]</sup>;动

**收稿日期:** 2023-10-14

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2021YFD2100902-3);国家自然科学基金项目(32072258);黑龙江省科技重大专项(2021ZX12B07);中央引导地方科技发展专项(ZY2022B-HRB-12);黑龙江省青年人才托举项目(2022QNTJ010)

**第一作者:** 张帅,男,博士,教授

**通信作者:** 张娜 E-mail: foodzhangna@163.com

物性多糖的研究主要集中在海洋动物,如刺参、鱿鱼等<sup>[12]</sup>;微生物多糖根据多糖在微生物细胞内的部位可分为胞内多糖、胞壁多糖和胞外多糖,根据来源可分为细菌多糖和真菌多糖,微生物多糖的研究主要集中在真菌,尤其是具有食药同源的蘑菇中<sup>[13-14]</sup>。多糖的分类方式众多,根据化学成分不同,多糖包括同多糖和杂多糖 2 个部分,其中同多糖指的是由相同单糖组成的多糖,如葡聚糖、纤维素;杂多糖指的是在被水解时,会生成含有多种单

糖的混合物,以及它们的衍生物组成的多糖,如糖胺聚糖、阿拉伯糖、果胶;根据电荷的不同,多糖可以分成离子型多糖和非离子型多糖,离子型多糖又可以划分为阴离子型和阳离子型,其中阳离子型多糖包括壳聚糖、甲壳素等<sup>[15]</sup>;阴离子型多糖包括褐藻酸盐、肝素等<sup>[16]</sup>;非离子多糖有葡甘聚糖和瓜尔胶等。无论以何种方式分类,最终多糖都将通过肠黏膜被吸收利用,如图 1 所示。



图 1 生物活性多糖的类别

Fig.1 Categories of bioactive polysaccharides

## 1.2 生物活性多糖的化学结构

多糖的化学结构相对复杂,它能决定生物活性,主要是以葡聚糖、果聚糖和木聚糖为主要组分,或者是由两种或更多个单糖构成的高聚物组成。多糖的结构有初级结构、高级结构,二者都可以直接决定多糖的生物活性<sup>[17]</sup>。由于多糖来源和提取方法不同,不同多糖的化学结构也有很大的区别。如灵芝多糖主要由右旋糖酐、糖蛋白和水溶性杂多糖组成<sup>[18]</sup>。每个组成部分由葡萄糖、半乳糖、焦糖、木糖、阿拉伯糖等单糖组成,单糖间糖苷

键以 $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3), $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 6)连接或者以 $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3), $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)连接,大多为 $\beta$ -型结构,少数为 $\alpha$ -型结构<sup>[19-20]</sup>。通过热水浸提、碱液提取法进行提取的灵芝多糖成分也各不相同。热水提取的灵芝多糖为水溶性杂多糖,分子质量约 3.5 ku;用碱液法提取的灵芝多糖为水不溶性的葡聚糖,分子质量约 4.0 ku<sup>[21]</sup>。多糖的结构能够直接影响其功能,利用热水萃取、乙醇沉淀的方法从螺旋藻中提取 SP90-1 酸性多糖,主要由鼠李糖、葡萄糖和葡萄糖醛酸组成,其次是小成分焦糖和木糖,发现 SP90-1 能够

显著增强巨噬细胞的吞噬能力,促进体内一氧化氮、白细胞介素(IL)- $1\beta$ 和IL-6的分泌<sup>[23]</sup>。利用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)、高效液相色谱法(HPLC)和傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)分析得到了一种新的平菇子实体多糖,发现具有三甲基壳聚糖结构的平菇多糖具有强体外抗凝血活性<sup>[23]</sup>。根据茯苓多糖的化学结构,将茯苓多糖分为 $\beta$ -茯苓聚糖和杂多糖, $\beta$ -茯苓聚糖的分子质量分布在50~652 ku,杂多糖的分子质量分布在9~243 ku,并且其通过热水浸提和超声辅助法提取茯苓多糖,发现含有1,6支链的(1-3)- $\alpha$ -D-半乳糖具有抗炎功效,含有 $\beta$ -(1-3)-D-葡聚糖具有抗肿瘤功能<sup>[24]</sup>。

## 2 多糖对胃肠道功能的调节机制

常见的炎症胃肠道疾病(急、慢性阑尾炎)、消化性溃疡、胃癌、食管癌、结直肠癌、肠易激综合征等都属于胃肠道疾病的范畴。目前,由于饮食、作息不规律、嗜烟、嗜酒导致胃肠道疾病的发生率逐年升高,“十人九胃病”的说法并不夸张,而且其具有治疗困难,反复发作,时间长等特点。经过医疗专业人士调查发现:胃黏膜的保护因子及攻击因子之间出现了平衡失调导致胃肠道黏膜内的保护因子低于攻击因子,从而导致胃肠道疾病的发生<sup>[25]</sup>。多糖是一种高营养价值的物质,在科研人员对食物成分与胃肠功能之间的联系进行了深入探讨之后,发现胃肠道很有可能是各种天然多糖发挥活性作用的一个重要场所,会对机体胃肠道产生保护作用,如多糖可以与肠道微生物发生积极互动,提高机体免疫等功效。多糖在肠道中的作用机制将为探究生物活性多糖对机体健康的影响提供新见解。

### 2.1 多糖与肠道微生物相互作用

人体肠道中有数万亿微生物,统称为人体肠道菌群,越来越多的研究表明肠道菌群与肥胖、炎症性肠病、帕金森病、糖尿病等多种疾病有关<sup>[26]</sup>。拟杆菌门和厚壁菌门在多糖与肠道菌群的互作中占主导地位,其中拟杆菌门被认为是最优秀的多糖降解者,拟杆菌强大的多糖利用能力可为其它细菌提供合适的聚糖,并有助于复杂肠道群落的共生,是制药和食品工业中潜在的益生菌<sup>[27]</sup>。胃肠

道是人体重要的消化及免疫器官,富含大量的微生物群落。人类饮食中含有多种膳食多糖,虽然一些膳食多糖很难被胃肠道消化吸收,但最终会进入大肠,在大肠杆菌的作用下,被肠道中的共生细菌所分解,与此同时,在肠道菌群的影响下,多糖会被转换成一种短链脂肪酸(SCFA),SCFA可以刺激一些肠道菌群的增殖,增强机体的免疫耐受性,从而维持肠道的屏障功能,为肠道中的微生物提供营养和能量<sup>[28]</sup>,如图2所示。多糖的存在对胃肠道动力具有一定的积极作用。有研究表明银耳多糖可以加快鸡的生长速度,促进鸡肠道中的双歧杆菌增殖,从而改善其肠道有益菌群<sup>[29]</sup>。灵芝多糖能够抑制小鼠的炎性反应及肥胖,其作用机制可能是通过调节小鼠肠道内的菌群,维护小鼠肠上皮细胞的表面屏障来达到效果<sup>[30]</sup>。

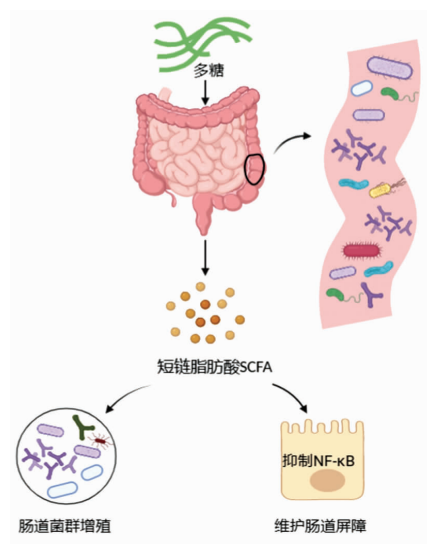


图2 多糖对肠道的作用影响

Fig.2 Effect of polysaccharides on the intestinal tract

### 2.2 多糖诱导免疫反应

机体的免疫反应是机体对外界环境的一种识别和清除有害物质的过程,具有抑制机体的吞噬、细胞毒性与细胞内杀伤活性等功能。巨噬细胞一旦被激活,就可以直接通过吞噬作用来对抗病原体,或者是通过产生一些相关因子,比如一氧化氮(NO)、白细胞介素(IL)、肿瘤坏死因子(TNF- $\alpha$ )和活性氧(ROS)等<sup>[31]</sup>。免疫调节功能异常会导致肠道炎症的发生,此时多糖可以发挥积极作用。多糖可以作为增强免疫器官、体液、细胞机能和促进细胞



因子产生的重要武器, 以及通过激活抗体和补体来对人体免疫系统进行调控<sup>[32-33]</sup>。天然多糖还可作为益生元, 促进肠道内机体免疫应答, 与多种免疫细胞发挥协同作用, 促进机体免疫功能。其对机体免疫反应的机制如图3所示, 从猴头菇子实体中分离得到一种新型多糖组分 (HEP-W), HEP-W通过 AKT 信号通路发现该多糖具有免疫调节活性, 能够使巨噬细胞被激活后释放抗炎因子, 显著促进胞饮和吞噬能力, 增加 NO、TNF- $\alpha$  的分泌<sup>[34]</sup>。邓媛媛等<sup>[35]</sup>对茯苓提取物进行探究, 结果发现, 通过醇沉提取茯苓多糖可以提高小鼠腹部内巨噬细胞的吞噬指数, 并明显提高了小鼠血清内免疫因子 IL-2 和 TNF- $\alpha$  的含量, 表明三萜类、水溶性和酸性多糖是茯苓发挥免疫调节作用的主要物质基础。银耳多糖对免疫调节和抗肿瘤活性具有保护作用, 其原因是生物活性多糖通过帮助保持体内活性氧(ROS)稳态来治疗慢性疾病, 脂质过氧化(LPO)连锁反应产生的活性氧可以阻断或减缓脂

质过氧化, 因此, 多糖对免疫有保护作用的同时还可以增强抗氧化能力<sup>[36]</sup>。史振伟等<sup>[37]</sup>对银耳多糖进行更深入的研究, 利用减少 IL-4、IL-10, 上升 IFN- $\gamma$  的水平, 可以使调节性 T 细胞对 CD4+T 细胞的增殖进行抑制, 并诱导其由 Th2 转变为 Th1, 来辅助细胞发生免疫反应, 进而使人体的免疫活性增强。有研究人员用环磷酰胺建立小鼠模型, 之后给小鼠注射不同剂量的红枣多糖, 发现红枣多糖能够通过下调髓样分化因子 MyD88(是 Toll 样受体 TLR 信号通路中的一个关键接头分子)、NF- $\kappa$ B p65 蛋白的表达, 抑制 NF- $\kappa$ B 通路的激活, 进而提高小鼠肠道免疫功能, 保护肠道屏障<sup>[38]</sup>。此外, 一些研究表明枸杞多糖<sup>[39]</sup>、党参多糖<sup>[40]</sup>等可通过抑制 TLRs/NF- $\kappa$ B 信号通路来降低肠道内的炎症, 提高肠道免疫作用。虽然许多研究集中在植物多糖的免疫调节作用上, 但一些多糖的结构复杂, 免疫调节机制的研究尚不明确, 仍有一些问题有待从多个层面进行研究解决。

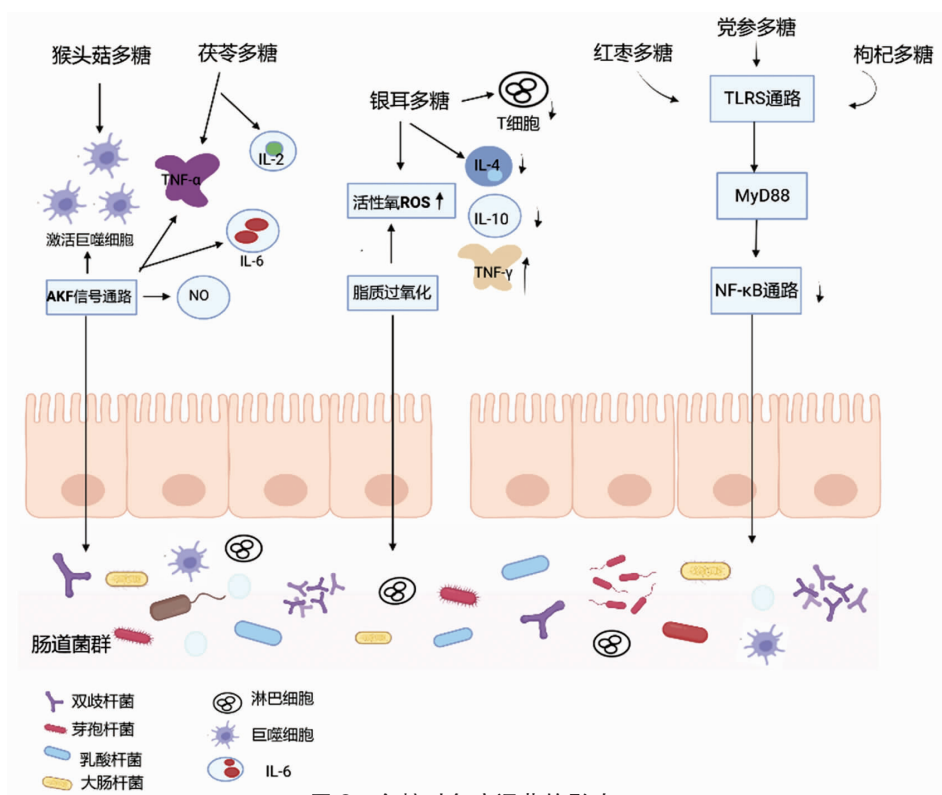


图3 多糖对免疫调节的影响

Fig.3 Effect of polysaccharides on immune regulation

### 3 不同多糖对胃黏膜的保护作用

中医理论认为, 对胃黏膜的保护应以“养”为

主, 而非以“治”为主, 从根本上治疗胃壁损伤, 应以健脾益气法为主。胃黏膜的攻击因子是胃酸和

胃蛋白酶,胃表面上皮细胞能够形成一层上皮屏障来阻止胃酸和胃蛋白酶反流从而保护胃黏膜。如表面上皮细胞中的环氧化酶(COX-1和COX-2)合成的前列腺素就属于一种非常重要的胃黏膜防御介质,它可以促进胃黏液,碳酸氢盐分泌以及提高胃黏膜血流量<sup>[41]</sup>。防御介质还包括白三烯、促凝血因子、NO、内皮素、胃饥饿素和生长因子等<sup>[42]</sup>。当前,胃黏膜的保护手段除了手术以外,主要有生胃酮及具有健胃养胃功效的提取物多糖<sup>[43]</sup>。多糖在体内可以促进黏蛋白的分泌,当体内炎症越严重,黏蛋白减少越明显时,多糖就可以发挥其作用。肠道黏膜是人体一大免疫系统,结肠黏蛋白是由肠黏膜上皮杯状细胞分泌的糖蛋白组成,可通

过硫酸盐修饰抑制肠道菌群对肠道黏液的降解,起到一定的保护作用<sup>[44]</sup>。经研究调查发现,多种植物、真菌和细菌以及海洋生物中的多糖对胃黏膜均有一定的保护作用。

3.1 植物多糖对胃黏膜的保护作用

植物多糖进入机体后可以阻断细菌对营养物质的吸收,抑制了致病菌和细菌毒素的生长和死亡,使它们无法黏附肠壁,同时使大量的有益菌增殖,促进生长因子的分泌,促使肠道内有益菌群,如双歧杆菌、乳酸菌的酵解吸收进而减轻体内的炎症来保护胃黏膜。大量研究证明不同植物多糖能够在动植物体内发挥对胃黏膜的保护作用,如表1所示。

表 1 不同植物多糖对胃黏膜的保护作用

Table 1 Protective effects of different plant polysaccharides on gastric mucosa					
植物多糖	试验动物	试验期	诱导方法	多糖剂量	试验结论
马齿笕多糖	48 只 SD 大鼠	7 d	三硝基苯磺酸法(TNBs)	200 mg/0.33 mL	缓解大鼠炎症的效应,促进大鼠黏蛋白的合成和分泌,从而对损伤的黏膜进行修复 <sup>[45]</sup>
党参根多糖	60 只大鼠(30 只雄,30 只雌)	7 d	乙醇模型	低:12.5 mg/kg 中:25.0 mg/kg 高:50.0 mg/kg	改善胃肠功能不良,治疗胃溃疡和慢性胃炎,减轻胃黏膜损伤和组织形态异常,增加 SOD 活力,降低 MPO 活力、MDA 和 NO 含量 <sup>[46]</sup>
白术多糖	30 只 SD 大鼠	8 周	运动应激性模型	100 g/mL	对胃黏膜具有保护作用,通过调控胃黏膜中生长抑素、PGE2a(前列腺素)的含量从而减少胃黏膜的损伤 <sup>[47]</sup>
黄芪多糖	60 只 SD 大鼠	8 周	胃癌前病变(PLGC)模型	低:0.5 g/kg 高:1.0 g/kg	可下调胃癌前病变大鼠 P53、P65 蛋白表达,抑制总补体的活力,对控制胃癌,减轻胃黏膜损伤有积极作用 <sup>[48]</sup>
甘草多糖	50 只雄性成年大鼠	21 d	吲哚美辛诱导	100 mg/kg	使胃酸、胃蛋白酶的分泌显著降低,同时,胃溃疡评分、胃 MDA 值、血清 IL-6 值均明显降低,胃 GSH 值、CAT 活性、NO 值均明显升高 <sup>[49]</sup>
燕麦多糖	60 只雄性昆明小鼠	14 d	乙醇诱导	低:100 mg/kg 中:200 mg/kg 高:400 mg/kg	对胃黏膜有较好的保护作用,能够保持肠道黏膜屏障的结构与功能完整,从而对肠道黏膜的机械与生物屏障的损害起到促进作用 <sup>[50]</sup>
白及多糖	GES-1(胃黏膜上皮)细胞	24 h	乙醇诱导	0.25,0.5,1.0,2.0,4.0,8.0 mg/mL	可增强胃黏膜的抗氧化能力,质量浓度范围为 1~4 mg/mL 的白及多糖溶液能够保护人胃黏膜上皮细胞,当质量浓度为 8 mg/mL 时会产生毒性,导致细胞活力下降 <sup>[51]</sup>
铁皮石斛多糖	GES-1(胃黏膜上皮)细胞	24 h	阿司匹林诱导	低:50.0 ng/L 中:100 ng/L 高:300 ng/L	使炎症因子 TNF-α 和 IL-6 的分泌下降,从而起到保护胃黏膜的作用效果 <sup>[52]</sup>
人参多糖	70 只雄性大鼠	14 d	乙醇诱导	低:100 mg/kg 高:200 mg/kg	NO 和 PGE2 都可以增加胃黏膜的血流量,其中 PGE2 还能促进胃黏蛋白的合成,引发黏膜细胞增殖,人参多糖可以使胃组织中 NO 与 PGE2 的含量增加,从而保护胃黏膜 <sup>[53]</sup>

### 3.2 微生物多糖对胃黏膜的保护作用

**3.2.1 猴头菇多糖对胃黏膜的保护作用** 猴头菇子实体富含多糖、甾醇、萜类、酚类等多种生物活性物质<sup>[54]</sup>,其中多糖对肠道病原菌群的抑制和对肠道菌群的调控起到关键作用<sup>[55]</sup>。医学研究人员表明,将猴头菇多糖加入到食品或药物中可以起到抗氧化,提高免疫力,抗肿瘤和降低血脂等功效<sup>[56]</sup>。此外,有很多研究人员发现,猴头菇多糖具有显著的抗胃黏膜损伤效应,能够降低大鼠的胃溃疡面积,提高胃黏膜的血流量(GMBF),并在胃黏膜组织中上调前列腺素(PGE2)和多种生长因子的水平。对胃黏膜损伤、慢性萎缩性胃炎有一定的疗效,对幽门螺旋杆菌的根除率和溃疡痊愈率也有明显的改善作用<sup>[57-58]</sup>。其保护作用的机理是猴头菇中的多糖成分可以有效地改善胃黏膜的循环状态,减轻微血管的损伤,并降低微血管通透性<sup>[59]</sup>。一方面,猴头菇多糖能够提高一些肠胃益生菌对胃液和肠液的耐受性,从而调节胃肠中的益生菌的菌群结构,另外,猴头菇多糖能够刺激胃肠中原有益生菌的生长,使人体内的益生菌的数量增多,从而达到对胃肠的改善和调控作用<sup>[60]</sup>。

**3.2.2 茯苓多糖对胃黏膜的保护作用** 茯苓是我国传统食药同源佳品<sup>[61]</sup>。将茯苓单独或添加在其它食品中可治疗便秘、失眠等疾病,起到健脾益气、利水通便、宁心的作用<sup>[62]</sup>。多糖是茯苓主要的活性成分之一,具有抗肿瘤、抗炎、调节机体免疫等药理作用,在食品、医药和保健品等领域得到广泛应用。有研究发现,茯苓多糖对胃黏膜有辅助保护作用,如潘世杰等<sup>[63]</sup>通过酒精诱导小鼠产生急性胃黏膜损伤实验,观察小鼠胃黏膜损伤情况并做出损伤评价,发现茯苓多糖能够使小鼠在正常情况下,其胃部的产酸能力得到恢复,并且还能抑制胃蛋白酶的活性,使胃组织中的脂多糖含量下降,从而起到保护作用。

**3.2.3 灵芝多糖对胃黏膜的保护作用** 灵芝的大部分药理功效都与其成分相关,其中最主要的一种成分就是灵芝多糖。在临床上,它能够提高人体的抵抗力,让血液的微循环得到加快,从而增强血液的供氧能力,能够让人体细胞膜的闭合度得到提升。还对胃黏膜损伤有一定的修复能力,通过增

加胃组织胃黏液和 PGE2 水平,能够促进醋酸致大鼠胃溃疡愈合<sup>[64]</sup>。另外,灵芝多糖能够抑制胃黏膜 TNF- $\alpha$  的蛋白和 mRNA 表达,并提升鸟氨酸脱羧酶活力,从而达到治愈大鼠胃溃疡的效果<sup>[65]</sup>。因为灵芝多糖具有独特的生理功能和临床功效,而且它是一种安全、无毒性的多糖,所以在医药、食品和化妆品等领域有着广阔的应用前景和市场价格。

**3.2.4 其它多糖对胃黏膜的保护作用** 除了上述提到的 3 种微生物多糖以外,银耳多糖、树舌多糖、猪苓多糖以及香菇多糖等微生物多糖也对胃黏膜有保护、修复的作用效果。覆盖在胃黏膜表面的黏液能抑制胃酸、胃蛋白酶以及有害物质的入侵,从而起到对胃黏膜物理性的保护作用。其中银耳多糖通过抑制胃酸和胃蛋白酶的活力,来保护胃黏膜<sup>[66]</sup>;树舌多糖对大鼠胃黏膜保护作用的机制可能与其通过增加大鼠胃壁黏液和游离黏液的分泌量有关<sup>[67]</sup>;猪苓多糖和香菇多糖是通过抑制 NF- $\kappa$ B 信号通路,进而抑制下游炎症因子的表达,对胃黏膜上皮细胞发挥保护作用<sup>[68-69]</sup>。

### 3.3 海洋生物多糖对胃黏膜的保护作用

来自海洋生物资源的天然化学物质,包括海藻、海洋动物、鱼类和真菌,由于其良好的生物活性而被广泛研究和应用<sup>[70]</sup>。多糖是海洋生物最主要的生物活性物质之一,有超过 19 种海洋生物多糖在体内和体外皆表现出对胃黏膜的保护作用。海藻含有大量的多糖,如海藻酸盐、岩藻糖胶、海藻聚糖、琼脂糖和卡拉胶。Hye 等<sup>[71]</sup>探究绿藻多糖对酒精诱导的大鼠胃损伤和腺癌细胞的保护作用,结果表明,绿藻多糖预处理可抑制酒精诱导的胃黏膜损伤,降低了与溃疡相关的环氧化酶-2(COX-2)和诱导型一氧化氮(iNOS)的表达,有助于修复损伤的胃黏膜。Park 等<sup>[72]</sup>对岩藻多糖抗炎活性和分子机制进行研究,结果表明 NO 和前列腺素 E2(PGE2)是影响胃黏膜的防御因子,岩藻糖胶处理显著抑制了岩藻多糖诱导的 BV2 小胶质细胞中 NO 和前列腺素 E2(PGE2)的过度产生;除此之外,岩藻多糖还对 NO 合酶(iNOS)、环氧化酶(COX)-2 和单核细胞趋化蛋白-1(MCP-1)也有一定的抑制作用。



## 4 结语

多糖作为传统饮食和药物中的重要成分,具有多种重要的生物活性。由于它与胃肠道存在相互调节作用,影响肠道菌群,并能够保护胃肠道健康。目前在开发天然食品、保健品和药物方面,多糖已成为不可或缺的一部分。同时,多糖在调控胃肠黏膜损伤方面的研究也有很多。然而,一些多糖的分子结构复杂且种类繁多,多糖在肠道菌群中发挥的作用效果、药理功能及代谢机制尚不明确,限制了其在食品与药物生产实践中的开发利用。今后可从多糖与肠道菌群的组成结构、相互影响及多糖在机体内的代谢机制进行更深入研究,以期通过某些多糖对肠道菌群进行有益调控,研发出更多对胃肠道或其它疾病有益的产品。

## 参 考 文 献

- [1] ZONG A Z, CAO H Z, WANG F S. Anticancer polysaccharides from natural resources: A review of recent research[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90(4): 1395–1410.
- [2] 王莹. 枸杞多糖的分离纯化及基于对肠道菌群调节的免疫作用机制研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2020.  
WANG Y. Isolation and purification of *Lycium barbarum* polysaccharides and study on the immune mechanism based on the regulation of intestinal microflora [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2020.
- [3] 孙世琦. 芦荟的生物活性成分及其作用研究进展[J]. 当代化工研究, 2019, 37(1): 166–167.  
SUN S Q. Research progress on the bioactive components and their effects of aloe vera[J]. Contemporary Chemical Research, 2019, 37(1): 166–167.
- [4] 蔡蒋帆, 唐建红. 芦荟活性成分药理作用机制研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(A2): 122–125.  
CAI J F, TANG J H. Research progress on the pharmacological mechanism of active ingredients in aloe vera[J]. Abstract of the Latest Medical Information in the World, 2018, 18(A2): 122–125.
- [5] 谢琦, 程雪梅, 胡芳弟, 等. 党参化学成分、药理作用及质量控制研究进展[J]. 上海中医药杂志, 2020, 54(8): 94–104.  
XIE Q, CHENG X M, HU F D, et al. Research progress on the chemical composition, pharmacological effects, and quality control of *Codonopsis pilosula*[J]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2020, 54(8): 94–104.
- [6] LEE J H, SHIM J S, CHUNG M S, et al. Inhibition of pathogen adhesion to host cells by polysaccharides from *Panax ginseng*[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2009, 73(1): 209–212.
- [7] XIAO Z Q, ZHANG Q, DAI J, et al. Structural characterization, antioxidant and antimicrobial activity of water-soluble polysaccharides from bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) leaves[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 142: 432–442.
- [8] BACKHED F, LEY R E, SONNEDBURG J L, PETERSON D A, et al. Host-bacterial mutualism in the human intestine. Science, 2005, 307(5717): 1915–1920.
- [9] LIU M, WANG S M, BI W T, et al. Plant polysaccharide itself as hydrogen bond donor in a deep eutectic system-based mechanochemical extraction method[J]. Food Chemistry, 2022, 399: 133941.
- [10] 时潇丽, 姚春霞, 林晓, 等. 多糖药物应用与研究进展[J]. 中国新药杂志, 2014, 23(9): 1057–1062.  
SHI X L, YAO C X, LIN X, et al. Progress in the application and research of polysaccharide drugs [J]. Chinese Journal of New Drugs, 2014, 23(9): 1057–1062.
- [11] 王文丽, 张金玲, 魏亚宁, 等. 天然多糖提取、纯化及生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 470–480.  
WANG W L, ZHANG J L, WEI Y N, et al. Research progress in the extraction, purification, and biological activity of natural polysaccharides[J]. Food Industry Technology, 2022, 43(22): 470–480.
- [12] PAULSEN B S. Plant polysaccharides with immunostimulatory activities [J]. Curr Org Chem, 2001, 5(9): 939–950.
- [13] FAN X P, LIN Z M, WU H M, et al. A preliminary study on the hypolipidemic effect of *Scapharca subcrenata* glycosaminoglycan and its mechanism[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(2): 70–76.
- [14] YIN Z H, WANG J M, MA C Y, et al. Polysaccharides from edible fungi *Pleurotus* spp.: Advances

- and perspectives[J]. *Journal of Future Foods*, 2021, 1(2): 128–140.
- [15] IRA Y F, TONY A, ESTHER M, et al. Cationic polysaccharides as antiprion agents[J]. *J Med Chem*, 2005, 48(5): 1414–1420.
- [16] FUNAMI T, NAKAUMA M, NODA S, et al. Effects of some anionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behaviors of wheat starch; Soybean-soluble polysaccharide and gum Arabic[J]. *Food Hydrocolloid*, 2007, 22(8): 1528–1540.
- [17] LIU J, WILLFOR S, XU C L. A review of bioactive plant polysaccharides: Biological activities, functionalization, and biomedical applications [J]. *Bioact Carbohydr Diet Fibre*, 2015, 5(1): 31–61.
- [18] NIE S P, ZHANG H, LI W J, et al. Current development of polysaccharides from *Ganoderma*: Isolation, structure and bioactivities[J]. *Bioact Carbohydr Diet Fibre*, 2013, 1(1): 10–20.
- [19] CHEN Y, XIE M Y, NIE S P. Purification, composition analysis and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of *Ganoderma atrum*[J]. *Food Chem*, 2007, 107(1): 231–241.
- [20] SONG Y, OKUDA R, WADA N, et al. Structures and antitumor activities of the polysaccharides isolated from fruiting body and the growing culture of mycelium of *Ganoderma lucidum*[J]. *Agri Biol Chem*, 1985, 49(9): 2641–2653.
- [21] 王颖, 魏佳韵, 吴思佳, 等. 灵芝多糖结构特征及药理作用的研究进展[J]. *中成药*, 2019, 41(3): 627–635.
- WANG Y, WEI J Y, WU S J, et al. Research progress on structural characteristics and pharmacological effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharide [J]. *Chinese Patent Medicines*, 2019, 41(3): 627–635.
- [22] CAI B N, ZHAO X T, LUO L X, et al. Structural characterization, and *in vitro* immunostimulatory and antitumor activity of an acid polysaccharide from *Spirulina platensis*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 196: 46–53.
- [23] YIN Z H, LIU X P, WANG J M, et al. Structural characterization and anticoagulant activity of a 3-omethylated heteroglycan from fruiting bodies of *Pleurotus placentodes* [J]. *Frontiers in Chemistry*, 2022, 10: 825127.
- [24] 程玥, 丁泽贤, 张越, 等. 茯苓多糖及其衍生物的化学结构与药理作用研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(18): 4332–4340.
- CHENG Y, DING Z X, ZHANG Y, et al. Research progress on the chemical structure and pharmacological effects of *Poria cocos* polysaccharides and their derivatives[J]. *Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2020, 45(18): 4332–4340.
- [25] 张昊, 褚梦慧, 宋雪莉, 等. 消化性溃疡的中医治疗及作用机制研究进展[J]. *中医研究*, 2021, 34(2): 50–54.
- ZHANG H, CHU M H, SONG X L, et al. Research progress on traditional Chinese medicine treatment and mechanism of action of peptic ulcer[J]. *Traditional Chinese Medicine Research*, 2021, 34(2): 50–54.
- [26] SCHIEMER M, GARNE A, VLAMAKIS R H, et al. Microbial genes and pathways in inflammatory bowel disease[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2019, 17(8): 497–511.
- [27] JHA R, BERROCOSO J D. Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine[J]. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 2015, 9(9): 1441–1452.
- [28] ZHENG L X, CHEN X Q, CHEONG K L. Current trends in marine algae polysaccharides: The digestive tract, microbial catabolism, and prebiotic potential[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 151(C): 344–354.
- [29] GUO F C, KWAKKEL R P, WILLIAMS B A, et al. Effects of mushroom and herb polysaccharides on cellular and humoral immune responses of *Eimeria tenella*-infected chickens[J]. *Poultry Science*, 2004, 83(7): 1124–1132.
- [30] CHANG C J, LIN C S, LU C C, et al. *Ganoderma lucidum* reduces obesity in mice by modulating the composition of the gut microbiota [J]. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 16130.
- [31] LI Y H, LI Z K, LI C Y, et al. Study on the regulatory effects of crude polysaccharides from *Plantago asiatica* L. on the immune function of human macrophages and its mechanism[J]. *Chin Med Mater*, 2020, 43: 2795–2798.
- [32] 施松善, 王顺春. 多糖生物活性研究进展[J]. *生命科学*, 2011, 23(7): 662–670.
- SHI S S, WANG S C. Research progress on the



- biological activity of polysaccharides [J]. Life Sciences, 2011, 23(7): 662–670.
- [33] 陈小燕, 高泽立. 多糖的研究进展-多糖对机体免疫功能的影响[J]. 胃肠病学和肝病学杂志, 2006, 15(5): 540–543.
- CHEN X Y, GAO Z L. Research progress in polysaccharides – The effect of polysaccharides on immune function of the body[J]. Chinese Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2006, 15(5): 540–543.
- [34] WU F F, ZHOU C H, ZHOU D D, et al. Structure characterization of a novel polysaccharide from *Hericium erinaceus* fruiting bodies and its immunomodulatory activities[J]. Food & Funct, 2018, 9(1): 294–306.
- [35] 邓媛媛, 邵贝贝, 王光忠, 等. 茯苓调节免疫功能有效物质的比较研究[J]. 中国医药指南, 2012, 10(12): 94–95.
- DENG Y Y, SHAO B B, WANG G Z, et al. Comparative study on effective substances in regulating immune function of *Poria cocos* [J]. Chinese Medical Guidelines, 2012, 10(12): 94–95.
- [36] PELASEYED T, BERGSTR J H, GUSTAFSSON J K, et al. The mucus and mucins of the goblet cells and enterocytes provide the first defense line of the gastrointestinal tract and interact with the immune system[J]. Immun Rev, 2014, 260(1): 8–20.
- [37] 史振伟, 许焱, 李晓璐, 等. 银耳多糖改善脓毒症小鼠调节性 T 细胞的免疫活性[J]. 中国免疫学杂志, 2016, 32(3): 313–317.
- SHI Z W, XU Y, LI X L, et al. Tremella polysaccharide improved the immune activity of regulatory T cells in sepsis mice[J]. Chinese Journal of Immunology, 2016, 32(3): 313–317.
- [38] 牛佳卉, 袁静, 魏然, 等. 红枣多糖对小鼠肠道免疫屏障的保护作用及机制研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 295–306.
- NIU J H, YUAN J, WEI R, et al. The protective effect and mechanism of jujube polysaccharides on the intestinal immune barrier in mice[J]. Food Industry Technology, 2021, 42(4): 295–306.
- [39] QU J L, HUANG P, ZHANG L, et al. Hepatoprotective effect of plant polysaccharides from natural resources: A review of the mechanisms and structure–activity relationship[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 161: 24–34.
- [40] MENG Y, XU Y J, CHANG C, et al. Extraction, characterization and anti-inflammatory activities of an inulin-type fructan from *Codonopsis pilosula*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 163: 1677–1686.
- [41] TIAN H, YIN X Q, ZENG Q H, et al. Isolation, structure and surfactant properties of polysaccharides from *Ulva lactuca* L. from South China Sea [J]. Macromol International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 79: 577–582.
- [42] WALLACE J L. Prostaglandins, NSAIDs and gastric mucosal protection: Why doesn't the stomach digest itself[J]. Physiological Reviews, 2008, 88(4): 1547–1565.
- [43] BORATO D G, SCOPARO C T, MARIA-FERRIRA D, et al. Healing mechanisms of the hydroalcoholic extract and ethyl acetate fraction of green tea (*Camellia sinensis*, (L.) Kuntze) on chronic gastric ulcers[J]. Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 2015, 389(3): 259–268.
- [44] PELASEYED T, BERGSTREM J H, GUSTAFSSON J K, et al. The mucus and mucins of the goblet cells and enterocytes provide the first defense line of the gastrointestinal tract and interact with the immune system[J]. Immun Rev, 2014, 260(1): 8–20.
- [45] 张涛, 潘峰, 陈建永, 等. 大鼠实验性结肠炎结肠黏蛋白分泌异常及马齿苋多糖干预研究[J]. 中成药, 2010, 32(6): 1050–1052.
- ZHANG T, PAN F, CHEN J Y, et al. Experimental colitis in rats with abnormal secretion of colonic mucin and intervention of purslane polysaccharides [J]. Traditional Chinese Patent Medicines and Simple Preparations, 2010, 32(6): 1050–1052.
- [46] LI J K, WANG T, ZHU Z C, et al. Structure features and anti-gastric ulcer effects of inulin-type fructan CP-A from the roots of *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf[J]. Molecules, 2017, 22(12): 1–11.
- [47] 曹艳霞, 白光斌. 白术多糖对运动应激性溃疡大鼠抗氧化作用和胃黏膜 Bcl-2, Bax 表达影响的实验研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2016, 46(4): 553–557.
- CAO Y X, BAI G B. Experimental study on the effect of atracylodes macrocephala polysaccharide on antioxidation and the expression of Bcl-2 and Bax in gastric mucosa of rats with exercise irritability

- ulcer[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2016, 46(4): 553-557.
- [48] 徐静雯, 王楠. 黄芪多糖对胃癌前病变模型大鼠胃黏膜 P53、P65、VEGF 蛋白表达及 AI 的影响[J]. 中国药房, 2016, 27(22): 3069-3071.
- XU J W, WANG N. Effects of astragalus polysaccharide on P53, P65, VEGF protein expression and AI in gastric mucosa of gastric precancerous lesion model rats [J]. China Pharmacy, 2016, 27 (22): 3069-3071.
- [49] AMY F B, ASMAA M E, NOHA A L, et al. Protective effect of licorice (*Glycyrrhiza glabra* Linn) on indomethacin-induced gastric ulcer in male albino rats [J]. Biochemistry Letters, 2018, 13 (16): 187-201.
- [50] 丁丽婷, 潘世杰, 胡婕伦, 等. 燕麦多糖对小鼠急性胃黏膜损伤的保护作用[J]. 食品科学, 2022, 43 (9): 150-157.
- DING L T, PAN S J, HU J L, et al. Protective effect of oat polysaccharide on acute gastric mucosa injury in mice[J]. Food Science, 2022, 43 (9): 150-157.
- [51] 张慧. 白及多糖对乙醇型胃黏膜损伤保护作用的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018.
- ZHANG H. Study on the protective effect of *Bletilla striata* polysaccharide on ethanol induced gastric mucosa injury[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018.
- [52] 吴耽, 江婷婷, 赵青, 等. 铁皮石斛多糖抗阿司匹林诱导人胃黏膜上皮细胞 GES-1 损伤的保护作用机制研究[J]. 中国药理学通报, 2017, 33(10): 1479-1480.
- WU D, JIANG T T, ZHAO Q, et al. The protective mechanism of *Dendrobium officinale* polysaccharide against aspirin induced injury of human gastric mucosa epithelial cells GES-1[J]. Chin Pharmacol Bull, 2017, 33(10): 1479-1480.
- [53] 刘彦哲. 人参多糖对大鼠乙醇诱导胃黏膜损伤的保护作用及机制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- LIU Y Z. Protective effect of ginseng polysaccharide on ethanol induced gastric mucosa injury in rats and its mechanism[D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [54] 纪伟, 唐宁, 赵端, 等. 猴头菇的药理作用及栽培与应用[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(5): 1252-1257.
- JI W, TANG N, ZHAO R, et al. The pharmacological effects, cultivation and application of *Hericium erinaceus* [J]. Genomics and Applied Biology, 2016, 35(5): 1252-1257.
- [55] 赵睿秋, 马高兴, 杨文建, 等. 6 种食用菌子实体水提物对肠道菌群的影响[J]. 食品科学, 2017, 38 (5): 116-121.
- ZHAO R Q, MA G X, YANG W J, et al. Effects of water extracts from fruit bodies of six edible fungi on intestinal flora [J]. Food Science, 2017, 38 (5): 116-121.
- [56] WANG J, YE D F, DENG M G, et al. Determination of polyphenols contents in three edible and medicinal fungi and comparison of antioxidant activity[J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(4): 51-57.
- [57] THONGBAI B, RAPIOR S, HYDE K D, et al. *Hericium erinaceus*, an amazing medicinal mushroom [J]. Mycological Progress, 2015, 14(10): 91.
- [58] 周春晖, 廖兵武, 段迪, 等. 三种猴头菇口服液对大鼠胃黏膜损伤的保护作用研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 270-275.
- ZHOU C H, LIAO B W, DUAN D, et al. Study on the protective effect of three kinds of *Hericium erinaceus* oral liquid on gastric mucosa injury in rats [J]. Food Industry Technology, 2020, 41 (14): 270-275.
- [59] 黄萍, 罗珍, 郭重仪, 等. 猴头菇多糖胃黏膜保护作用研究[J]. 中药材, 2011, 34(10): 1588-1590.
- HUANG P, LUO Z, GUO Z Y, et al. Study on the protective effect of *Hericium erinaceus* polysaccharide on gastric mucosa [J]. Chinese Herbal Medicine, 2011, 34(10): 1588-1590.
- [60] HU Y M, ZHOU Y C, LIU S, et al. Protection of a protective stomach soft capsule against gastric mucosal damage[J]. Pract Prev Med, 2015, 22(11): 1382-1383.
- [61] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 2010 年版. 北京: 中国医药科技出版, 2010: 224.
- National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Part 1 [S]. 2010 edition. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2010: 224.
- [62] WANG Y I, ZHANG M. Chemical components and molecular mass of six polysaccharides isolated from the sclerotium of *Poriacocos* [J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(2): 327-334.
- [63] 潘世杰, 丁丽婷, 胡婕伦, 等. 茯苓多糖对乙醇致

- 小鼠急性胃黏膜损伤的辅助保护作用[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 1-6.
- PAN S J, DING L T, HU J L, et al. The auxiliary protective effect of *Poria cocos* polysaccharide on ethanol induced acute gastric mucosa injury in mice[J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 1-6.
- [64] GAO Y H, TANG W B, GAO H, et al. *Ganoderma lucidum* polysaccharide fractions accelerate healing of acetic acid-induced ulcers in rats [J]. Journal of Medicinal Food, 2004, 7(4): 417-421.
- [65] GAO Y H, ZHOU S F, WEN J B, et al. Mechanism of the antiulcerogenic effect of *Ganoderma lucidum* polysaccharides on indomethacin-induced lesions in the rat[J]. Life Sciences, 2002, 72(6): 731-745.
- [66] 侯建明, 蓝进, 高益槐. 银耳多糖抗溃疡作用的试验研究[J]. 中国疗养医学, 2008(5): 316-318.
- HOU J M, LAN J, GAO Y H. Experimental study on the anti ulcer effect of *Tremella fuciformis* polysaccharides [J]. Chinese Journal of Healing Medicine, 2008(5): 316-318.
- [67] 杨明, 孙红, 于德伟, 等. 树舌多糖对胃黏膜损伤大鼠胃黏膜 PGE2 含量及血流量和黏液分泌的影响[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(15): 1176-1178.
- YANG M, SUN H, YU D W, et al. The effect of polysaccharide from tree tongue on PGE2 content, blood flow and mucus secretion in gastric mucosa of rats with gastric mucosa injury[J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2005, 30(15): 1176-1178.
- [68] 刘璇, 耿乐, 冯小可, 等. 猪苓多糖对 Hp 诱导胃黏膜上皮细胞炎症的保护作用[J]. 医学研究生学报, 2022, 35(6): 568-574.
- LIU X, GENG L, FENG X K, et al. *Polyporus umbellatus* polysaccharide protects gastric mucosa epithelial cells from Hp induced inflammation [J]. Journal of Medical Graduate Students, 2022, 35(6): 568-574.
- [69] ZHANG Z Z, ZHA Z Q, ZHAO Z W, et al. Lentinan inhibits AGE-induced inflammation and the expression of matrix-degrading enzymes in human chondrocytes[J]. Drug Design, Development and Therapy, 2020, 14: 2819-2829.
- [70] TARNAWSKI A S, AHLUWALIA A, JONES M K. The mechanisms of gastric mucosal injury: Focus on microvascular endothelium as a key target[J]. Current Medicinal Chemistry, 2012, 19(1): 4-15.
- [71] HYE J H, MI J K, IN H K, et al. The effect of polysaccharide extracted from the marine alga *Capsosiphon fulvescens* on ethanol administration [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(8): 2653-2657.
- [72] PARK H Y, HAN M H, PARK C, et al. Anti-inflammatory effects of fucoidan through inhibition of NF- $\kappa$ B, MAPK and Akt activation in lipopolysaccharide-induced BV2 microglia cells [J]. Food Chem Toxicol, 2011, 49(8): 1745-1752.

### Biological Activity of Polysaccharides and Their Effects on Gastrointestinal Function

Zhang Shuai, Gao Yuan, Yang Yang, Ma Chunmin, Xu Xinyu, Bian Xin, Zhang Na\*  
(School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076)

**Abstract** It was found that polysaccharide has the characteristics of low toxicity, high efficiency and good biological activity, and it is widely used in the prevention of gastrointestinal diseases. Based on an overview of the source and chemical structure of polysaccharides, this paper systematically analyzed the regulatory mechanisms of different kinds of polysaccharides on gastrointestinal function and their protective effects on gastric mucosa, providing new ideas for exploring the biological activities of polysaccharides and their mechanisms of action in the body, as well as the regulatory mechanisms of gastrointestinal diseases.

**Keywords** polysaccharides; biological activity; gastrointestinal diseases; gastric mucosa; mechanism of action