

海洋贝类多糖的研究进展

刘志昌¹, 王海波¹, 洪滨², 李智博^{1,3}, 赵前程^{1,3}, 李莹^{1*}

(1. 大连海洋大学食品科学与工程学院, 大连 116023; 2. 大连出入境检验检疫局, 大连 116600;
3. 辽宁省水产品分析检验及加工技术科技服务中心, 大连 116023)

摘要: 海洋中蕴藏丰富的生物资源, 有着许多结构新颖、作用特殊的活性多糖。我国贝类资源丰富, 品种繁多, 扇贝、鲍鱼、贻贝、牡蛎、菲律宾蛤仔、青蛤等产量均居世界前列。这些海洋贝类富含活性多糖, 具有抗衰老、抗肿瘤、抗病毒、提高免疫力、降低血糖、血脂、血压等多种生物学活性, 因其很高的营养价值和保健功效, 已成为目前全球研究和开发的热点。研究海洋贝类多糖的提取、分离和纯化技术, 分析其结构、生物活性和构效关系, 能够实现海洋贝类资源高值化利用, 同时, 积极推进海洋生物产业和健康产业的发展。本文对海洋贝类多糖的提取、纯化、结构与活性方面的研究现状进行了综述, 并进行了展望, 旨在为海洋贝类资源的高附加值开发提供理论支持。

关键词: 海洋贝类; 多糖; 提取; 纯化; 结构; 活性

Progress of polysaccharides isolated from marine shellfish

LIU Zhi-Chang¹, WANG Hai-Bo¹, HONG Bin², LI Zhi-Bo^{1,3}, ZHAO Qian-Cheng^{1,3}, LI Ying^{1*}

(1. Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Dalian Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Dalian 116600, China; 3. Liaoning Province Aquatic Products Analysis and Processing Technology Service Center, Dalian 116023, China)

ABSTRACT: The sea is rich in biological resources, including many active polysaccharides with novel structure and special function. Shellfish in China is rich in resources and variety. Yields of *Scallop*, *Abalone*, *Mytiluscoruscus*, *Crassostrea*, *Ruditapes philippinarum* and *Cycline sinensis* occupy the front rank of the world. These marine shellfishes are rich in polysaccharides, with anti-aging, anti-tumor, anti-virus, immunity improvement, blood glucose reduction, blood lipid reduction, blood pressure reduction and other biological activities. Marine shellfish polysaccharide has become a research focus around the world because of its high nutritional value and health effects. Studying the technology of extraction, separation and purification of marine shellfish polysaccharide, and analysis of its structure, biological activity and structure-activity relationship of marine shellfish can realize high value utilization of marine shellfish resources, and promote the development of marine industry and the health industry at the same time. This paper summarized the present situation of extraction, purification, structure and activity of marine shellfish polysaccharides and provided an outlook, in order to provide theoretical support for the high value-added development of marine shellfish resources.

KEY WORDS: marine shellfish; polysaccharide; extraction; purification; structure; activity

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项(201505029-3)、辽宁省海洋渔业厅科研项目(201511)

Fund: Supported by National Marine Welfare Industry Research Project (201505029-3) and Scientific Research Project of Liaoning Marine Fisheries Department (201511)

*通讯作者: 李莹, 博士, 主要研究方向为海洋生物活性物质。E-mail: liying@dloou.edu.cn

*Corresponding author: LI Ying, Ph.D, Dalian Ocean University, No.52, Heishijiao Road, Shahekou Area, Dalian 116023, China. E-mail: liying@dloou.edu.cn

1 引言

贝类属于软体动物门,目前全世界约有10万多种,是对于具有壳的软体动物的泛称^[1]。根据其不同的生存环境,可分为海洋贝类、淡水贝类和陆生贝类,我国是海洋贝类养殖和加工大国,海洋贝类中,扇贝、鲍鱼、牡蛎等是“药食同源”的海之珍品^[2]。多糖同蛋白质、脂肪以及核酸被认为是构成生命的4大基本物质之一,广泛来源于动植物与微生物^[3],在抗衰老^[4]、抗病毒^[5]和肿瘤治疗^[6]、糖尿病治疗^[7]等方面有良好的应用前景。海洋贝类多糖是存在于海洋贝类体内的一种生物活性物质,海洋环境的特殊性赋予海洋多糖不同于陆地多糖的独特的合成途径,使其具有新颖的结构和功能^[8]。如何更高效地提取、分离海洋贝类多糖,并筛选其具备的生物活性一直是现阶段的热点研究方向。海洋贝类多糖成分复杂,其单糖组成有葡萄糖、氨基葡萄糖、半乳糖、葡萄糖醛酸、岩藻糖、甘露糖等,因其成分复杂,结构多变,导致其生物学活性存在差异^[9]。本文综述了海洋贝类多糖的提取、纯化、结构以及活性,旨在为海洋贝类资源开发提供理论支持。

2 海洋贝类多糖的提取

多糖的提取技术直接关系到多糖的提取率及纯度,是进一步研究多糖生理活性及开发应用的基础。多糖提取的方法有热水浸提法^[10]、弱酸提取法^[11]、弱碱提取法^[11]、超声波辅助提取法^[12]、微波辅助提取法^[13]和超临界流体萃取^[14]。由于多糖具有空间结构,不同的提取方法得到的多糖结构和功能存在差异,提取时应尽量避免使用剧烈条件,以免破坏多糖结构和功能。目前,热水浸提法是应用最多的一种方法,具有设备和工艺简单等优点,但水的极性比较大,提取过程中,容易将蛋白质等水溶性成分溶解出来,造成提取多糖的纯度低,给后续纯化带来困难。张月红等^[15]利用单因素实验优化了热水浸提法提取鲍鱼多糖的工艺参数,在固液比为1:40,温度为80℃,提取时间3h时,多糖提取率达到9.23%,粗多糖纯度达到74.89%;佟海菊等^[16]利用正交实验对热水浸提法提取海湾扇贝多糖工艺进行了优化,在固液比为1:40,温度为90℃,提取时间6h时,多糖提取率达到5.4%;赵艳景等^[17]利用超声波辅助热水浸提法提取了缢蛭多糖,多糖提取率显著提高,高达19.9%。也有研究报道原料的贮藏和干燥方式对多糖的提取率有明显影响。苏运聪^[18]研究保鲜贮藏和冷冻贮藏对扇贝多糖的提取率的影响,结果表明,保鲜贮藏的新鲜扇贝多糖的提取率为8.29%,明显高于冷冻贮藏扇贝的多糖提取率6.33%。烘箱干燥的扇贝多糖提取率仅为4.93%,远低于保鲜和冷冻贮藏的扇贝,而真空冷冻干燥的扇贝多糖提取率可达到6.70%,明显高于烘箱干燥的扇贝。

常林瑞等^[19]采用碱提法提取了蛤蜊多糖,多糖提取

率比较高,达到15.45%,碱提法是通过NaOH溶液破坏蛋白聚糖,提取多糖的同时也能起到去除蛋白质的目的,但由于某些糖苷键,如糖链中呋喃型糖苷键以及链末端和支链上的一些糖苷键,在一定酸碱水解条件下更容易断裂^[20],因此,应用较少。对贝类多糖的研究不如植物多糖成熟,这主要是因为贝类多糖大多以糖肽键的形式与蛋白质共价结合成大分子的蛋白聚糖,造成了多糖提取困难,因此,贝类多糖提取的难点在于蛋白质的去除和多糖活性的保持。目前蛋白质的去除方法主要有化学法、酶解法和其他新方法。

化学法应用较多的有Sevage法和三氯乙酸法。Sevage法采用氯仿及戊醇等有机试剂使蛋白变性、沉淀,其处理条件温和,能较好地避免多糖降解,但处理效率低,常需要反复脱除,多糖损失严重^[21]。利用三氯乙酸沉淀蛋白,多糖提取率较高,但常伴有糖链降解^[22]。姚滢等^[23]采用Sevage法对厚壳贻贝的多糖进行了纯化,获得产品的多糖纯度达到70.78%,仍含有少量蛋白质;周文丽^[24]也采用Sevage法反复脱除蛋白,最终获得厚壳贻贝多糖纯度为91%,蛋白质含量仅5%,且水溶性较好,多糖提取率达到鲜组织的7.7%;李莉^[25]探讨了Sevage法脱除文蛤粗多糖中蛋白质的脱除效率,获得多糖纯度高达95%以上;刘新^[26]则采用三氯乙酸法对四角蛤蜊粗多糖进行纯化,获得了纯度为90%以上的精多糖。这些经典的蛋白质脱除方法适用于以科学研究为目的获得高纯度的多糖,但作为保健食品的活性多糖不推荐这类使用有毒有机试剂的方法,这在一定程度上制约了海洋贝类多糖的精深加工与应用。

酶解法也是贝类多糖提取纯化中较为常规使用的有效方法。在热水浸提,离心获得上清液之后,即可进行酶解,也有研究先将蛋白质和多糖用乙醇沉淀,重新溶解后再进行酶解去除蛋白质^[27]。常用的水解酶有胰蛋白酶、碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶等,酶解法由于其高效性和安全性而被广泛使用。在紫贻贝多糖提取的过程中,赵巧灵^[28]研究了6种蛋白酶对蛋白去除及多糖提取效率的影响,研究发现碱性蛋白酶对蛋白质去除效果最好,并对碱性蛋白酶的酶解条件进行了优化;范秀萍等^[29]分别采用胰蛋白酶和中性蛋白酶逐级酶解菲律宾蛤仔全脏器,粗多糖得率达到21.6%;钟城城等^[30]建立了联合酶法(木瓜蛋白酶和胰蛋白酶双酶法)提取厚壳贻贝多糖,并优化了工艺,结果表明,联合酶法可以提高多糖的得率,达到23.69%,同时,提高了糖胺聚糖的含量。

此外,还有一些新型方法应用到粗多糖蛋白质的脱除中,比如微生物发酵法^[31]和D-葡萄糖酸-γ-内酯法^[32]等。微生物发酵法去除蛋白质主要是利用一些可以产生胞外蛋白酶的微生物,这些微生物不能利用多糖,但可以通过水解蛋白质或将蛋白质转化为菌体蛋白,通过离心使菌体沉淀达到去除蛋白质的目的。由于选用的微生物多为可食用的益生菌,所以安全性相对较高,与酶解法相比降低了成本。此方法是近年发展起来的新方法,目前只在百合多糖

中得到应用, 尚未应用于贝类多糖的提取。刘瑀等^[32]首次采用 *D*-葡萄糖酸- γ -内酯法提取了虾夷扇贝的多糖, 多糖提取率是 10.66%, 蛋白脱除率为 92.23%。

3 海洋贝类多糖的纯化

由于从贝类中提取的多糖多为多种大分子多糖的混合物, 需要对不同类型的多糖进行分离纯化, 为后续结构和功能分析奠定基础。多糖的纯化方法有膜分离法、柱层析法、电泳法和超临界流体萃取法等^[9], 其中最常用的是柱层析法, 且常常需要多种柱层析法联合使用进行分离。Yang 等^[33]采用纤维素阴离子交换柱层析和凝胶柱层析分离纯化出一种纯度达到 97.77% 的牡蛎多糖聚合物, 凝胶色谱柱和高效液相色谱进行纯度鉴定为单一峰, 证明纯度良好; Zhao 等^[34]利用离子交换色谱和凝胶色谱从鲍鱼中分离纯化出多糖组分 AGP33, 该多糖是硫酸化的多糖; 邓一清^[10]采用离子交换柱和凝胶柱分离翡翠贻贝多糖得到 2 个组分, 其单糖组成主要都是木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖。赵巧灵^[28]对紫贻贝多糖进行膜分离、过离子柱层析和凝胶柱得到 MES-I-11、MES-I-12 和 MES-I-2 3 个组分, 均由不同摩尔比的甘露糖、半乳糖和葡萄糖组成。杜挺挺^[35]采用离子交换层析和凝胶柱分离得到了厚壳贻贝的 4 个多糖组分 MT0、MT0.1-1、MT0.1-2 和 MT1.2, 总糖含量结果依次为: 61.00%、62.47%、62.25 和 39.23%; 蛋白含量依次为: 0、0、0 和 1.15%; 王俊等^[36]采用联合柱层析分离纯化得到了水溶性较好的厚壳贻贝 3 个半纯品多糖组分 MPs-A、MPs-B 和 MPs-C, 随后采用高效液相色谱对 3 个组分进行进一步分离, 共得到 8 个单一对称峰。

4 海洋贝类多糖的结构

多糖结构的研究是贝类多糖研究中的一个难点。多糖具有多样的生物学活性, 其结构起着决定性作用, 因此有必要了解贝类多糖结构和活性的关系。多糖的结构分析一般包括单糖组成分析、分子量分析、红外光谱分析和核磁共振分析等。糖的位置、糖环的大小、异头碳的结构、连接的位置、内部排列顺序、分支、非碳端的取代等都不可能通过一种方法解决, 必须结合使用多种方法才能完成。徐红丽等^[37]采用了红外光谱、气相色谱、甲基化分析、核磁共振等多种方法相结合, 分析了贻贝多糖的化学结构。

单糖的组成分析一般采用色谱法和电泳法^[38], 无论哪种方法均需要将多糖降解为单糖, 再进行检测。早期多糖水解多采用盐酸, 近年来更多报道采用三氟乙酸对多糖进行水解^[39,40]。单糖的组成和连接方式是贝类多糖结构测定中的核心。主要的测定方法有红外光谱法、气相色谱法、甲基化分析和核磁共振分析等。王瑞芳^[41]经离子交换柱与凝胶柱分离分别得到由半乳糖醛酸、氨基半乳糖、半乳糖组成的马氏珠母贝 Z-1-1 组分和由葡萄糖、氨基半乳糖、

半乳糖组成的菲律宾蛤仔 F-1-1 组分。蒋长兴^[42]采用凝胶柱分离, 从青柳蛤中分离得到由木糖、葡萄糖组成的 CSPS-1, 由葡萄糖组成的 CSPS-2 和由李糖、岩藻糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖组成的 CSPS-3 3 个组分, 其均由不同链接方式的葡萄糖构成主链。殷秀红^[43]采用 PMP 柱衍生高效液相色谱法, 分析了冷水、60 °C 热水和联合酶解 3 种方法提取紫贻贝多糖的单糖组成, 冷水法和 60 °C 热水法提取的多糖单糖组成比较简单, 主要是葡萄糖, 联合酶解法提取的多糖单糖组成相对复杂, 含有葡萄糖、氨基葡萄糖、甘露糖、氨基半乳糖、半乳糖和岩藻糖。栾晓虹^[44]通过对水提法与碱提法得到的缢蛭、细长缢蛭多糖的研究发现, 缢蛭多糖是由葡萄糖组成其结构是 α -(1 \rightarrow 4)葡萄糖为主链, 而细长缢蛭多糖为杂多糖且结构复杂。邢晓旭^[45]通过对比水提与碱提扁玉螺多糖的研究发现, 水提扁玉螺多糖只含有葡萄糖, 其 BYL-S2 的结构是以 α -(1 \rightarrow 4)为主链, 而碱提扁玉螺多糖组分较为复杂。张联怡^[46]通过离子交换层析与凝胶柱分离得到了由鼠李糖和甘露糖组成的 OG0-1, 由葡萄糖组成的 OG1-1 和由鼠李糖、岩藻糖、木糖、半乳糖组成的 OG2-1 3 个组分, 其中 OG1-1 为 α -吡喃糖。通过以上研究可以看出多数的海洋贝类多糖均含有葡萄糖、半乳糖、氨基葡萄糖、葡萄糖醛酸等单糖, 其结构都为 α -吡喃糖。

谢坤山^[47]研究表明, 鲍鱼多糖 B₁ 主要含有葡萄糖和半乳糖, 此外还有甘露糖等。Zhao 等^[34]利用离子交换色谱和凝胶色谱从鲍鱼中分离纯化出多糖组分 AGP33, 液相色谱检测主要含有甘露糖、葡萄糖和半乳糖^[34]; 刘春燕^[48]对鲍鱼内脏多糖的结构进行了分析, 其多糖结构含有葡萄糖、半乳糖和甘露糖。Wang 等^[49]利用 1D 和 2D NMR 分析了鲍鱼性腺中的多糖 AGSP 的结构, 结果表明 AGSP 的骨架为 \rightarrow 4)- β -葡萄糖醛酸(1 \rightarrow 2)- α -甘露糖(1 \rightarrow 重复单元, 支链中含有夫糖、木糖和半乳糖。通过鲍鱼不同部位多糖成分的对比, 可以发现鲍鱼各部位的单糖组成相差不大。

曹倩倩^[50]研究表明于扇贝糖原单糖组成全部为葡萄糖, 而于运海等^[27]从虾夷扇贝脏器中制备了 2 种硫酸酯多糖 SSV-P-I 和 SSV-P-II, 用气相色谱法测定单糖组成, 结果显示 SSV-P-I 主要由鼠李糖、岩藻糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖组成。通过对扇贝柱与扇贝脏器多糖的单糖组成的比较, 可以看出扇贝内脏的单糖组成与结构较扇贝柱要复杂的多。

戴军^[51]对杜氏盐藻的研究发现, 其 PD4a 组分主要由 1,4-连接的 α -D-Galp 构成主链, 在主链半乳糖的 2 或 3 位有多种类型的分支。顾佳雯^[52]对龙斑紫菜的研究发现, 其 PV-G1 组分主要由含硫酸基的前体[(1 \rightarrow 3)- β -D-半乳糖-(1 \rightarrow 4)-6-OS03- α -L-半乳糖]组成。通过 2 种藻类多糖的结构和贝类多糖结构的比较, 可以发现贝类多糖结构的组成单元主要是葡萄糖, 而藻类多糖结构的主要单元主要是半乳糖。不同来源的多糖的组成与结构见表 1。

表1 不同来源的多糖的组成与结构
Table 1 Composition and structure of polysaccharides from different sources

种类	多糖来源	多糖的组成与结构
翡翠贻贝 ^[10]		热水浸提法提取的翡翠贻贝多糖经离子交换柱和凝胶柱分离得到 PVPS-2A 和 PVPS-2B 2 个组分, 其中, PVPS-2A 单糖组成主要为木糖(30.77%)、甘露糖(11.40%)、葡萄糖(34.63%)和半乳糖(16.94%), PVPS-2B 单糖组成主要为木糖(24.55%)、甘露糖(14.44%)、葡萄糖(33.52%)和半乳糖(20.84%); 2 个组分的构型为 α -吡喃糖。
紫贻贝 ^[28]		热水浸提法提取的紫贻贝多糖脱蛋白后得到 MES-I, 再经膜分离、离子柱层析和凝胶柱得到 MES-I-11、MES-I-12 和 MES-I-2 3 个组分, 均由不同摩尔比的甘露糖、半乳糖和葡萄糖组成。MES-I-11 的摩尔比为 2.74:1:18.06; MES-I-12 的摩尔比为 2.2:1:19.44; MES-I-2 的摩尔比为 2.87:1:3.63。3 个组分均有 α -D-葡萄糖吡喃糖苷, 且在 C ₆ 上有发生被取代, 主要以 α -D-葡萄糖(1 \rightarrow 4)-为主要的连接方式。
厚壳贻贝 ^[35]		木瓜蛋白酶酶解法得到厚壳贻贝粗多糖, 采用离子交换层析和凝胶柱分离得到了厚壳贻贝的 4 个多糖组分 MT0、MT0.1-1、MT0.1-2 和 MT1.2, 4 个组分均含有有糖醛酸和氨基糖但含量各不同, MT0 中为 16.15%、0.24%; MT0.1-1 中为 20%、0.42%; MT0.1-2 中为 11.83%、0.24%; MT1.2 中为 8.8%、1.46%。MT0、MT0.1-1、MT0.1-2 为 α -D-葡萄糖吡喃糖, 而 MT1.2 为 B-吡喃糖。
厚壳贻贝 ^[36]		热水浸提法提取的贻贝多糖, 经离子交换层析、凝胶柱得到 MPs-A、MPs-B 和 MPs-C 3 个组分, 随后采用高效液相色谱分离纯化获得贻贝多糖纯品多个组分 MPs-A ₁ /A ₂ /B ₁ /B ₂ /B ₃ /C ₁ /C ₂ /C ₃ , 其中 MPs-B1 纯度较高, 主要含有葡萄糖、半乳糖 2 种单糖组分, 二者比例接近 1:1, 其结构为 α -吡喃己糖。
马氏珠母贝 ^[41]		经离子交换柱与凝胶柱分离得到的 Z-1-1 组分的单糖组成为半乳糖醛酸、氨基半乳糖、半乳糖, 3 者的含量为 0.26%、0.065%、0.025%; 其主链部分主要由半乳糖、半乳糖醛酸、氨基半乳糖构成, 3 者均为不连续排列; 侧链部分由(1 \rightarrow 4)、(1 \rightarrow 4,6) 半乳糖醛酸、氨基半乳糖、半乳糖构成, 还存在大量 1 \rightarrow 3、1 \rightarrow 2,3、1 \rightarrow 2,4、1 \rightarrow 3,4、1 \rightarrow 3,6、1 \rightarrow 2,3,4 的键型。
菲律宾蛤仔 ^[41]		经离子交换柱与凝胶柱分离得到的 F-1-1 组分的单糖组成为葡萄糖、氨基半乳糖、半乳糖, 3 者含量为 6.11%、0.86%、0.48%; 其主链部分主要由葡萄糖、半乳糖、氨基半乳糖构成, 3 者均为不连续排列; 由葡萄糖、半乳糖、氨基半乳糖、半乳糖醛酸以 1 \rightarrow 4、1 \rightarrow 4,6 及 1 \rightarrow 2、1 \rightarrow 2,6 键构成侧链及主链末端, 另外还存在大量 1 \rightarrow 3、1 \rightarrow 2,3、1 \rightarrow 2,4、1 \rightarrow 3,4、1 \rightarrow 3,6、1 \rightarrow 2,3,4 键型。
海洋贝类	青蛤 ^[42]	热水浸提法得到的青蛤多糖经凝胶柱分离得到 CSPS-1/2/3 3 个组分, 其中 CSPS-1 由木糖、葡萄糖组成, 摩尔百分比分别为: 4.92%、95.08%; CSPS-2 由葡萄糖组成; CSPS-3 由鼠李糖、岩藻糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖组成, 摩尔百分比分别为: 11.48%、17.15%、12.44%、21.57%、37.36%。CSPS-1 主链由(1 \rightarrow 4)-葡萄糖构成, 支链为(1 \rightarrow 6)-葡萄糖; CSPS-2 主链由(1 \rightarrow 3)-葡萄糖、(1 \rightarrow 4)-葡萄糖构成, 支链为(1 \rightarrow 2)-葡萄糖、(1 \rightarrow 6)-葡萄糖; CSPS-3 主链为(1 \rightarrow 3)-葡萄糖、(1 \rightarrow 3)-半乳糖, 支链为(1 \rightarrow 6)-葡萄糖。
	缢蛭 ^[44]	水提和碱提的缢蛭多糖组成都只含有葡萄糖。经过阴离子交换柱和凝胶柱得到的 YC-S2 组分, 其结构是 α -(1 \rightarrow 4)葡萄糖为主链, 少量 β -(1 \rightarrow 3,4)和 β -(1 \rightarrow 4)为分支的 D-吡喃型葡聚糖。
	细长竹蛭 ^[44]	水提的粗多糖组分 ZC-S 和碱提的粗多糖组分 ZC-J 均为杂多糖, 其中 ZC-S 单糖组成为葡萄糖:氨基葡萄糖:半乳糖:氨基半乳糖:岩藻糖:甘露糖=16.1:2.9:2.1:1.9:1.7:1; ZC-J 的单糖组成为葡萄糖:氨基葡萄糖:半乳糖:甘露糖:氨基半乳糖:岩藻糖=9.1:2.1:1.5:1.1:1.1:1。ZC-S 主链含有 \rightarrow 4)葡萄糖(1 \rightarrow , \rightarrow 3,4)甘露糖(1 \rightarrow , \rightarrow 2,4)葡萄糖(1 \rightarrow 和 \rightarrow 4,6)半乳糖(1 \rightarrow);共 4 种连接方式; ZC-J 主链含有 \rightarrow 4)葡萄糖(1 \rightarrow , \rightarrow 3,4)甘露糖(1 \rightarrow ,和 \rightarrow 4,6)半乳糖(1 \rightarrow 共 3 种连接方式。
	扁玉螺 ^[45]	水提扁玉螺多糖 BYL-S 只含有葡萄糖; 碱提扁玉螺多糖 BYL-J 中单糖组成相对复杂, 除含有葡萄糖外, 还含有甘露糖、葡萄糖醛酸、氨基半乳糖、半乳糖和岩藻糖, 其摩尔比为葡萄糖:甘露糖:葡萄糖醛酸:氨基半乳糖:半乳糖:岩藻糖=78.9:1.7:3.4:2.2:5.2:5.6。经离子交换柱与凝胶柱分离纯化得到的 BYL-S1/2/3/4, 和 BYL-J1/2/3, 其中 BYL-J1 单糖组成摩尔比为甘露糖:氨基葡萄糖:氨基半乳糖:葡萄糖:半乳糖=1.5:2.7:1:23:4.9; BYL-J2 单糖组成摩尔比为氨基葡萄糖:氨基半乳糖:葡萄糖:半乳糖:岩藻糖=1:4.7:1.6:10.1:2.9:8.7; BYL-J3 单糖组成摩尔比为氨基葡萄糖:氨基半乳糖:葡萄糖:半乳糖=12.4:1:11:10.2:9.2。BYL-s2 的结构是以 α -(1 \rightarrow 4)为主链, 含有少量 β -(1 \rightarrow 3,4)和 β -(1 \rightarrow 3)分支的 D-吡喃型葡聚糖。
	近江牡蛎 ^[46]	碱提法得到的牡蛎糖原经离子交换得到 OG0/1/2 3 个组分, 在由凝胶柱分离得到的 OG0-1,OG1-1,OG2-1 3 个组分, 其中 OG0-1 由鼠李糖和甘露糖组成, 其摩尔百分比为 90.05%:8.71%; OG1-1 仅由一种单糖葡萄糖组成; OG2-1 由 4 种单糖组成, 鼠李糖、岩藻糖、木糖、半乳糖的摩尔百分比分别为 57.47%、4.06%、12.11%、22.56%。其中 OG1-1 为 α -吡喃糖, 其主链由(1,4)-葡萄糖构成, 存在 1-4,6 分支和一些末端糖基(1 \rightarrow),主链上约有 15%的支链。
	鲍鱼 ^[47]	采用胃蛋白酶和胰蛋白酶水解制备的鲍鱼多糖, 经凝胶柱分离得到 B ₁ 组分有葡萄糖和半乳糖组成, 此外还含有甘露糖等。
	虾夷扇贝 ^[50]	胃蛋白酶水解法制备的扇贝糖原单糖组成全部为葡萄糖, 所含键型中 1,4 链接葡萄糖占据大多数, 为糖原的典型特征。

续表 1

种类	多糖来源	多糖的组成与结构
海洋贝类内脏	鲍鱼内脏 ^[48]	鲍鱼内脏多糖主链部分主要由(1→4)-葡萄糖组成, 分支点为葡萄糖的 6-O 处, 分支点残基为(1→4,6)-葡萄糖; 支链部分主要是(1→3,6)-甘露糖, 非还原末端残基是(1→)-半乳糖和(1→)-葡萄糖。
	虾夷扇贝脏器 ^[27]	是一种硫酸酯多糖, 分离得到的 SSV-P1 单糖组成为鼠李糖、岩藻糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖, 其摩尔比为 1.0:1.3:2.4:3.0:1.3:4.1:2.5。
藻类	杜氏盐藻 ^[51]	热水浸提得到的多糖经 FastFlow 分离得到的 PDI 组分是硫酸酯化的葡萄糖, 是一种线型的 α -(1→4)-D-葡聚糖, 在部分 O-6 上取代有硫酸基。PD4a 的单糖组成为甘露糖:核糖:鼠李糖:葡萄糖醛酸:半乳糖醛酸:葡萄糖:半乳糖:木糖:阿拉伯糖:岩藻糖=5.04:0.71:3.6:2.41:5.26:5.38:42.04:11.56:19.48 主要由 1,4-连接的 α -D-Galp 构成主链, 在主链半乳糖的 2 或 3 位有多种类型的分支, 分别由阿拉伯糖, 木糖, 鼠李糖, 半乳糖构成非还原末端。
	龙斑紫菜 ^[52]	热水浸提提取的多糖经过离子交换层析与凝胶柱分离得到的 PV-G1 主要由含硫酸基的前体[(1→3)- β -D-半乳糖-(1→4)-6-OS03- α -L-半乳糖]组成, 同时还存在琼胶二糖[(1→3)- β -D-半乳糖-(1→4)-3,6-内醚-2-OCH3- α -L-半乳糖]及[(1→3)- β -D-半乳糖-(1→4)- α -L-半乳糖]的重复单元, 3 者比例约为 9:9:1。此外 1,4 连接的半乳糖残基的 2 位和 1,3 连接的半乳糖残基 6 位上尚含有天然的甲氧基。

多糖的分子量是指多糖的平均分子量, 因为多糖一般是混合物样品。主要的测定方法是凝胶渗透色谱法等。采用适合的高效凝胶色谱柱和示差折光检测器, 以已知分子量的多糖标准品为外参, 根据样品的保留时间计算出其分子量, 可使用 Gel Permeation Chromatography 专用软件对结果进行分析。宋荪阳^[53]用琼脂糖凝胶柱测定了扇贝性腺中多糖 2 个组分 SGP2 和 SGP3 的分子量, 分别为 270 kDa 和 80 kDa; 徐红丽等^[37]测定厚壳贻贝水溶性多糖组分 MP-1, 其分子量大小为 130 kDa, 而王俊等^[36]分离纯化得到的厚壳贻贝多糖 MPs 的 3 个组分的分子量大小分布在 4.1~68.5 kDa, 远小于 MP-1; 马明华^[54]提取分离了 9 种厚壳贻贝多糖组分, 分子量范围介于 10~121 kDa 之间。

5 海洋贝类多糖的活性

一般认为, 多糖具有降血糖、抗肿瘤、抗病毒和提高免疫力的生物学活性^[55-58]。有研究发现多糖能够激活巨噬细胞, 因此, 推测多糖增强免疫力的功能可能是通过激活巨噬细胞, 从而增强机体特异性免疫引起的^[59]。多糖增强免疫的机制也可能由于其对人体肠道微生物的调节功能, 有助于肠道生态系统的稳定性和功能多样性^[60]。研究发现在肠道共生的卵形拟杆菌中有一种交叉进食酶系统, 其以自身代谢消耗多糖, 从而对其他微生物产生有利影响^[61]。由于多糖生物活性机制复杂以及海洋贝类多糖结构的特殊性, 目前海洋贝类多糖新药的开发仍处于实验室研究阶段。Woo 等^[62]从文蛤中得到一种多糖, 能够阻止艾滋病病毒对免疫细胞的识别, 从而具有抗艾滋病病毒活性的作用; Zhao 等^[63]研究了鲍鱼性腺多糖对 STC-1 细胞中胆囊收缩素释放的影响及其信号传导机制, 研究发现, 3 种鲍鱼性腺多糖可显著增加 STC-1 细胞中胆囊收缩素的分泌; Li 等^[64]从文蛤中分离出多糖 MMPX-B2, 体外免疫实验显示

MMPX-B2 可刺激鼠巨噬细胞释放各种细胞因子; 此外, 研究还发现栉孔扇贝和海湾扇贝的生殖腺多糖具有修复受损免疫器官的功能^[65]; 刘娜等^[66]提取出鲍鱼性腺多糖, 体内抗氧化试验结果表明, 鲍鱼性腺多糖能够显著提高正常小鼠以及受到氧化损伤的大鼠的抗氧化能力; Jiang 等^[67]将青蛤提取的多糖经过硫酸酯化后, 获得了较好的抗氧化及抗癌活性。

6 展 望

目前, 贝类多糖由于其特殊的结构和较高的活性越来越受到人们的关注, 然而其研究多停留在实验室阶段。只有进一步地了解贝类多糖的结构及构效关系, 才能有针对性地开发提取方法, 从而开发出高效、高活性的多糖药物, 为人类健康服务。阻碍贝类多糖发展的另一个问题是, 贝类本身作为食品具有一定的经济价值, 如果提取的多糖没有特殊活性或者活性不强则会造成效益不高。因此, 开发和利用贝类加工产品的废弃物(如扇贝裙边等)的多糖具有比较重大的意义, 不仅使资源得到回收利用, 同时降低成本。综上, 贝类多糖作为一种大分子天然产物, 具有巨大的药用价值和保健食品价值, 对其进行深入的研究将对社会的发展和人类的健康起到积极推动作用。

参考文献

- [1] 陈德牛, 张国庆. 中国动物志(无脊椎动物, 软体动物门, 瓣鳃纲)[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Chen DN, Zhang GQ. Chinese animal (invertebrates, soft animal phyla, Lamellibranchia) [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] 牛荣丽, 张玉艳, 林秀坤. 海洋贝类生物活性成分的研究进展[C]. 全国生化与生物技术药物学术年会, 2007.
Niu RL, Zhang YY, Lin XK. Advances in studies on bioactive constituents of marine shellfish[C]. Annual Meeting of National Society for

- Biochemical and Biotechnology Drugs, 2007.
- [3] 胡香玉. 多糖提取纯化领域专利技术综述[J]. 科技创新与应用, 2016, (18): 76-77.
Hu XY. Review of patent technology in extraction and purification of polysaccharides [J]. Technol Innov Appl, 2016, (18): 76-77.
- [4] 李孟婕, 范秀萍, 吴红棉, 等. 翡翠贻贝糖胺聚糖的体外抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(7): 759-762.
Meng JL, Fan XP, Wu HM, *et al.* *In vitro* antioxidative activity of glycosaminoglycan from pernaviridis [J]. Mod Food Sci Technol, 2011, 27(7): 759-762.
- [5] Ahmadi A, Zorofchian MS, Abubakar S, *et al.* Antiviral potential of algae polysaccharides isolated from marine sources: A review [J]. Biomed Res Int, 2015, 2015(4): 825203.
- [6] 刘倩, 范秀萍, 吴红棉, 等. 尖紫蛤糖胺聚糖抑制肿瘤细胞生长作用的研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(4): 396-398.
Liu Q, Fan XP, Wu HM, *et al.* Inhibition effect of glycosaminoglycan from sanguinolaria acutas on the growth of Tumor cells [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(4): 396-398.
- [7] 崔青曼, 陈菁菁, 袁春营, 等. 四角蛤蜊糖胺聚糖的化学组成与生物学功能研究[J]. 食品工业, 2013, (4): 154-156.
Cui QM, Chen JJ, Yuan CY, *et al.* The study on chemical composition and biological function of glycosaminoglycan from mastraveneriformis [J]. Food Ind, 2013, (4): 154-156.
- [8] 陈艳丽. 不同海洋生境来源微生物胞外多糖的结构及抗氧化活性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
Chen YL. Structures and antioxidant activities of extracellular polysaccharides produced by marine microorganisms [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [9] 廖芙蓉. 海洋贝类多糖的制备及生物活性研究概况[J]. 饮料工业, 2012, 15(2): 12-14.
Liao FR. A survey of researches on preparation and bioactivities of marine shellfish polysaccharide [J]. Beverage Ind, 2012, 15(2): 12-14.
- [10] 邓一清. 翡翠贻贝多糖的分离纯化成分测定和保湿型性研究[D]. 广东: 广东海洋大学, 2012.
Deng YQ. Studies on isolation and purification, composition determination and moisture absorption-retention of polysaccharides extracted from *Perna viridis* [D]. Guangdong: Guangdong Ocean University, 2012.
- [11] 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(自然科学版), 2016, 39(4): 65-70.
Wang MJ, Lu WJ, Yu C, *et al.* The effect of antioxidant activity of the polysaccharides from *pleurotus cornucopiae* with different extraction ways [J]. J Nanjing Normal Univ (Nat Sci Ed), 2016, 39(4): 65-70.
- [12] 王雪艳. 龙眼多糖的提取纯化及其抗氧化活性研究[D]. 厦门: 集美大学, 2009.
Wang XY. Study on extraction, purification and anti-oxidative activity of polysaccharides from *Longan fruit* [D]. Xiamen: Jimei University, 2009.
- [13] 卫冰, 杨云, 刘炯, 等. 半边莲多糖的微波提取工艺研究[J]. 中国中医药现代远程教育, 2012, 11(19): 143-145.
Wei B, Yang Y, Liu J, *et al.* Study on microwave extraction process of polysaccharides from *Lobelia Chinensis lour* [J]. Chin Med Mod Distance Edu China, 2012, 11(19): 143-145.
- [14] 朱俊玲. 超临界流体萃取芦荟多糖的研究[J]. 农产品加工, 2011, (7): 67-68.
Zhu JL. Study on Extraction of *aloe* polysaccharide by supercritical fluid extraction [J]. Acad Period Farm Prod Process, 2011, (7): 67-68.
- [15] 张月红, 姜波, 刘长建, 等. 鲍鱼多糖提取工艺的研究[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2011, (3): 20-23.
Zhang YH, Jiang B, Liu CJ, *et al.* Extraction technology of polysaccharide in abalone [J]. J Minzu Univ China (Nat Sci Ed), 2011, (3): 20-23.
- [16] 佟海菊, 张志胜, 王鸥, 等. 海湾扇贝多糖水提工艺研究[J]. 河北农业大学学报, 2011, (3): 85-87.
Tong HJ, Zhang ZS, Wang O, *et al.* Study on the water extraction process of polysaccharides from argopectensirradias [J]. J Agric Univ Hebei, 2011, (3): 85-87.
- [17] 赵艳景, 胡虹, 王颖. 缢蛭多糖的提取及抗氧化作用研究[J]. 水产科学, 2010, (2): 91-94.
Zhao YJ, Hu H, Wang Y. Extraction of polysaccharides from razor clam *sinonovaculastricuta* and their antioxidant activity [J]. Fish Sci, 2010, (2): 91-94.
- [18] 苏运聪. 扇贝多糖提取方式及活性的研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2014.
Su YC. Study on the scallops polysaccharide extraction methods and activity [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2014.
- [19] 常林瑞, 李清, 孙振兴, 等. 中国蛤蜊多糖的抗氧化性及抑菌性[J]. 食品科学, 2012, (7): 101-104.
Chang LR, Li Q, Sun ZX, *et al.* Antioxidant and antibacterial activities of polysaccharides from Chinese surf clam (*mastrachinensis*) [J]. Food Sci, 2012, (7): 101-104.
- [20] Coenen GJ, Bakx EJ, Verhoef RP, *et al.* Identification of the connecting linkage between homo- or xylogalacturonan and rhamnogalacturonan type I [J]. Carbohydr Polym, 2007, 70(2): 224-235.
- [21] 王应想. 甘薯藤活性多糖的分离、纯化及功能研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2005.
Wang YX. The research on the isolation, purification and function of polysaccharides from *Sweet potato vines* [D]. Nanchang: Nanchang University, 2005.
- [22] 郑爽. 玉竹多糖的提取、纯化及理化性质与结构分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
Zheng S. Extraction, purification, physicochemical properties and structure of polysaccharides in *Polygonatum Odoratum* [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [23] 姚滢, 魏江洲, 王俊, 等. 厚壳贻贝多糖的提取和免疫学活性研究[J]. 第二军医大学学报, 2005, (8): 896-899.
Yao Y, Wei JZ, Wang J, *et al.* Extraction of mytiluscoruscus polysaccharides and study on their immunoactivities [J]. Acad J Second Mil Med Univ, 2005, (8): 896-899.
- [24] 周文丽. 东海厚壳贻贝多糖的抗衰老生物学活性研究[D]. 上海: 第二军医大学, 2009.
Zhou WL. Research on the antiaging activity of polysaccharide from *mytiluscoruscus* [D]. Shanghai: The Second Military Medical University,

- 2009.
- [25] 李莉. 文蛤多糖的提取纯化、结构分析及抗氧化、免疫活性初步研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- Li L. Extraction, purification, structural analysis and antioxidant, immunity activities preliminary study of polysaccharides from *meretrixmeretrix Linnaeus* [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [26] 刘新. 四角蛤蜊多糖酸水解产物抗氧化及保肝活性研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2013.
- Liu X. Study on antioxidant and hepatoprotective activities of the acidic hydrolyzates of polysaccharide from *M.Veneriformis* [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2013.
- [27] 于运海, 周大勇, 孙黎明, 等. 虾夷扇贝脏器硫酸酯多糖的制备及性质研究[J]. 食品科学, 2009, (6): 68–71.
- Yu YH, Zhou DY, Sun LM, *et al.* Study on preparation and physicochemical analysis of sulphated scallop (*Patinopectenyessoensis*) viscus polysaccharides [J]. Food Sci, 2009, (6): 68–71.
- [28] 赵巧灵. 紫贻贝多糖提取分离、结构鉴定及其生物活性的初步研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010.
- Zhao QL. Study on extraction, isolation, structure and biological activity of polysaccharides from *Mytilusedulis* [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2010.
- [29] 范秀萍, 吴红棉, 卞小丽. 菲律宾蛤仔氨基多糖的分离纯化及化学性质[J]. 现代食品科技, 2005, (2): 97–99.
- Fan XP, Wu HM, Bian XL. Isolation and purification of glycosaminoglycan from *Ruditapesphilippinarum* and the analysis of its chemistry composition [J]. Mod Food Sci Technol, 2005, (2): 97–99.
- [30] 钟城城, 曲有乐, 陈荫. 厚壳贻贝多糖的提取工艺优化及体外生物活性研究[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 107–114.
- Zhong CC, Qu YL, Chen Y. Optimized extraction and bioactivity *in vitro* of polysaccharides from *Mytilusedulis* [J]. Food Sci, 2014, 35(10): 107–114.
- [31] Zhang DN, Guo XY, Chen ZG. A novel and efficient method for the isolation and purification of polysaccharides from lily bulbs by *Saccharomyces cerevisiae* fermentation [J]. Process Biochem, 2014, 49(12): 2299–2304.
- [32] 刘瑀, 方志强, 刘宇馨, 等. 虾夷扇贝柱多糖提取及纯化方法的优化[J]. 食品科学, 2017: 1–11.
- Liu Y, Fang ZQ, Liu YX, *et al.* Optimization of extraction and purification methods of polysaccharides from *Patinopectenyessoensis* [J]. Food Sci, 2017: 1–11.
- [33] Yang J, Zhu B, Zheng J, *et al.* Stimulation of lymphocyte proliferation by oyster glycogen sulfated at C-6 position [J]. Carbohydr Polym, 2013, 94(1): 301–308.
- [34] Zhao J, Yang J, Song S, *et al.* Anticoagulant activity and structural characterization of polysaccharide from abalone (*Haliotis discus hannai*) Gonad [J]. Molecules, 2016, 21(6): 697.
- [35] 杜挺挺. 厚壳贻贝糖胺聚糖结构及抗肿瘤活性测定[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2015.
- Du TT. Determinate structure and antitumor activity of glycosaminoglycans produced by thick shell mussels [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2015.
- [36] 王俊, 徐红丽, 张建鹏, 等. 贻贝多糖 MPs 的制备、组分鉴定和免疫学活性研究[J]. 第二军医大学学报, 2006, 27(1): 12–16.
- Wang J, Xu HL, Zhang JP, *et al.* Preparation, identification and immunological activities of polysaccharides extracted from *Mytilusedulis* [J]. Acad J Second Mil Med Univ, 2006, 27(1): 12–16.
- [37] 徐红丽, 郭婷婷, 郭一峰, 等. 贻贝水溶性多糖 MP-I 的分离纯化及体外抗肿瘤活性研究[J]. 第二军医大学学报, 2006, 27(9): 998–1001.
- Xu LH, Guo TT, Guo YF, *et al.* Isolation and purification of water-soluble polysaccharide MP-I from *Mytilusedulis* and study on its *in vitro* anti-tumor activity [J]. Acad J Second Mil Med Univ, 2006, 27(9): 998–1001.
- [38] 张丽芝. 单糖组成分析方法的研究进展[J]. 微生物学免疫学进展, 2013, 41(1): 77–81.
- Zhang LZ. Research advance of monosaccharide composition analysis [J]. Prog Microbio Immunol, 2013, 41(1): 77–81.
- [39] Harazono A, Kobayashi T, Kawasaki N, *et al.* A comparative study of monosaccharide composition analysis as a carbohydrate test for biopharmaceuticals [J]. Biologicals, 2011, 39(3): 171–180.
- [40] Chen FT, Dobashi TS, Evangelista RA. Quantitative analysis of sugar constituents of glycoproteins by capillary electrophoresis [J]. Glycobiology, 1998, 8(11): 1045–1052.
- [41] 王瑞芳. 两种贝类糖胺聚糖的理化性质及结构特性研究[D]. 广东: 广东海洋大学, 2009.
- Wang RF. Studies on the physico-chemical property and structure of glycosaminoglycan from two seashells [D]. Guangdong: Guangdong Ocean University, 2009.
- [42] 蒋长兴. 青蛤多糖分离鉴定、硫酸酯化及其生物活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- Jiang CX. Isolation, structural elucidation, sulfated modification and biological activities of polysaccharides from *Cyclina Sinensis* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [43] 殷秀红. 紫贻贝多糖的提取分离及结构研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- Yin XH. Extraction, isolation and structural characterization of polysaccharides from *Mytilusedulis Linnaeus* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [44] 栾晓红. 两种海蛭多糖的提取、分离和结构分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Luan XH. Extraction, separation and structural characterization of polysaccharides from two species of *Solenidae* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [45] 邢晓旭. 扁玉螺多糖的提取分离及结构分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- Xing XX. Extraction, separation and structural characterization of polysaccharides from *Neverita didyma* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [46] 张联怡. 近江牡蛎糖原提取、纯化及化学结构研究[D]. 广东: 广东海洋大学, 2013.
- Zhang LY. Study on extraction, purification and structure identification of glycogen from *Crassostrea Rivularis* [D]. Guangdong: Guangdong Ocean University, 2013.

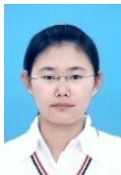
- [47] 谢坤山. 海洋软体动物翡翠贻贝多糖及鲍鱼多糖的研究[D]. 广州: 中山大学, 2005.
Xie KS. Study on polysaccharide of marine animal soft *PVPs* and *abalone* [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2005.
- [48] 刘春燕. 鲍鱼内脏多糖的结构和活性研究[D]. 吉林: 东北师范大学, 2011.
Liu CY. The study of structure and bioactivity of polysaccharide extracted from viscera of Abalone [D]. Jilin: Northeast Normal University, 2011.
- [49] Wang HX, Zhao J, Li DM, *et al.* Structural investigation of a uronic acid-containing polysaccharide from abalone by graded acid hydrolysis followed by PMP-HPLC-MSn and NMR analysis [J]. *Carbohydr Res*, 2015, 402: 95–101.
- [50] 曹倩倩. 扇贝糖原硫酸酯的制备及生物活性研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2011.
Cao QQ. Sulfate modification and bioactivity of scallop muscle glycogen [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2011.
- [51] 戴军. 杜氏盐藻多糖的提取、分离分析及其生物活性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
Dai J. Study on isolation, identification and bioactivity of polysaccharides from *Duanaliella Salina* [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [52] 顾佳雯. 条纹紫菜多糖结构鉴定及抗疲劳活性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.
Gu JW. Structural characterization and anti-fatigue biological activities of polysaccharide from *Porphyra Yezoensis* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008.
- [53] 宋菘阳. 扇贝性腺多糖复合物的提取分离纯化及活性研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2011.
Song SY. Purification and bioactivities of polysaccharide conjugates from scallop gonad [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2011.
- [54] 马明华. 厚壳贻贝多糖活性成分研究[D]. 上海: 第二军医大学, 2004.
Ma MH. Study on active constituents of polysaccharides from *Mytilusedulis* [D]. Shanghai: The Second Military Medical University, 2014.
- [55] Zong A, Cao H, Wang F. Anticancer polysaccharides from natural resources: A review of recent research [J]. *Carbohydr Polym*, 2012, 90(4): 1395–1410.
- [56] Ma FW, Kong SY, Tan HS, *et al.* Structural characterization and antiviral effect of a novel polysaccharide PSP-2B from *Prunellae Spica* [J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 152: 699–709.
- [57] Sen MA. Affection of the tea-polyphenols and tea-polysaccharide on arterial blood pressure in rabbit [J]. *J Anim Sci Vete Med*, 2009.
- [58] 常念. 四角蛤蜊软体降血糖有效部位筛选与多糖的化学研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2009.
Chang N. Screening of effective fractions of hypoglycemic peptides and chemical studies of polysaccharides in four horns clam [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2009.
- [59] Adachi Y, Ohno N, Ohsawa M, *et al.* Change of biological activities of (1-3)-beta-D-glucan from *Grifolafrondosa* upon molecular weight reduction by heat treatment [J]. *Chem Pharm Bull (Tokyo)*, 1990, 8(2): 477–481.
- [60] Sonnenburg JL, Xu J, Leip DD, *et al.* Glycan foraging *in vivo* by an intestine-adapted bacterial symbiont [J]. *Science*, 2005, 307(5717): 1955–1959.
- [61] Rakoff-Nahoum S, Foster KR, Comstock LE. The evolution of cooperation within the gut microbiota [J]. *Nature*, 2016, 533(7602): 255–259.
- [62] Woo ER, Kim WS, Kim YS. Virus-cell fusion inhibitory activity for the polysaccharides from various Korean edible clams [J]. *Arch Pharm Res*, 2001, 24(6): 514–517.
- [63] Zhao J, Zhou DY, Yang JF, *et al.* Effects of abalone (*Haliotis discus hamailno*) gonad polysaccharides on cholecystokinin release in STC-1 cells and its signaling mechanism [J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 151: 268–273.
- [64] Li L, Li H, Qian J, *et al.* Structural and immunological activity characterization of a polysaccharide isolated from *Meretrixmeretrix Linnaeus* [J]. *Mar Drugs*, 2015, 14(1): 6, 1–12.
- [65] 赵芙钗. 栉孔扇贝和海湾扇贝的生殖腺的基本营养成分分析及其多糖的免疫活性测定[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
Zhao FC. Study on the basic nutrition of the gonads of *Chlamysfarreri* and *Argopectenirradians* and the determination of their gonads polysaccharide immune activity [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [66] 刘娜, 朱蓓薇, 孙黎明, 等. 鲍鱼性腺多糖的体内抗氧化活性[J]. 大连工业大学学报, 2011, 30(3): 177–179.
Liu N, Zhu BW, Sun LM. Antioxidant activity of polysaccharide extracted from abalone gonad [J]. *J Dalian Polytech Univ*, 2011, 30(3): 177–179.
- [67] Jiang C, Wang M, Liu J, *et al.* Extraction, preliminary characterization, antioxidant and anticancer activities *in vitro*, of polysaccharides from *Cyclinasinensis* [J]. *Carbohydr Polym*, 2011, 84(3): 851–857.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



刘志昌, 硕士, 主要研究方向为海洋贝类多糖。
E-mail: 15004023480@163.com



李莹, 博士, 讲师, 主要研究方向为海洋生物活性物质。
E-mail: liying@dlou.edu.cn