

浒苔多糖的研究进展

Research progress of polysaccharides from *Enteromorpha*魏鉴腾^{1,2}, 裴 栋^{1,2}, 刘永峰^{1,2}, 刘 毅^{1,2}, 邸多隆^{1,2}

(1. 中国科学院 兰州化学物理研究所, 中国科学院 西北特色植物资源化学重点实验室和甘肃省天然药物重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 青岛市资源化学与新材料研究中心, 山东 青岛 266000)

中图分类号: Q949.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)01-0091-05

doi: 10.11759/hyxx20121211003

浒苔(*Enteromorpha*), 俗称苔条、海苔, 属于绿藻门绿藻纲石莼目石莼科浒苔属, 常见的种类有浒苔、缘管浒苔、扁浒苔、条浒苔和肠浒苔等。浒苔主要分布在我国的海区, 尤其是东部沿海^[1]。浒苔营养丰富, 自古以来浒苔就是我国沿海居民食用和药用藻类, 《本草纲目》记载浒苔“烧末吹鼻止衄血, 汤漫捣敷手背肿痛”, 《随息居饮食谱》记载浒苔“消胆、消瘰疬瘰瘤、泄胀、化痰、治水土不服”^[2]。浒苔多糖是浒苔主要活性成分之一, 据报道, 浒苔多糖具有免疫调节、抗氧化、抗肿瘤、降血脂等多种生物学活性^[3-6]。近年来, 随着环境恶化和气候变化, 在我国沿海地区每年滋生大量的浒苔, 严重影响海洋生物生存、海洋运输等, 需花费大量人力物力进行打捞、清除。为了变废为宝, 深度开发这一宝贵资源, 近年来, 国内外研究者对浒苔, 尤其是浒苔多糖进行大量的研究。

1 浒苔多糖化学组成的研究概况

浒苔多糖的化学组分比较复杂, 主要由糖醛酸、硫酸根和单糖组成, 其中糖醛酸和硫酸根的含量相对比较稳定。许福超等^[7]提取浒苔粗多糖中糖醛酸含量为 19.51%, 硫酸根含量 15.42%。浒苔多糖的化学组成会因季节、种类和地区不同而有所差异^[8]。石学连等^[4, 9]发现不同时间采集的浒苔中提取的多糖中的单糖组成是一致的, 但各组分的含量却有所不同, 6 月份采集的浒苔中浒苔多糖的糖醛酸、硫酸根含量分别为 12.10%、16.70%, 甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖和木糖的组成比例为 6.74:65.56:5.54:2.83:19.33; 而 11 月份采集的浒苔中浒苔多糖的糖醛酸、硫酸根含量分别为 11.90%、16.17%, 甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖和木糖的组成比例为

2.81:67.55:2.31:2.71:24.61。Jiao 等^[5]研究发现肠浒苔多糖是由鼠李糖、木糖、半乳糖和葡萄糖组成; Chattopadhyay 等^[10]和 Ray^[11]分析的扁浒苔多糖的单糖组成与 Jiao 等的结果一致; 而 Qi 等^[12]检测的条浒苔的多糖组成为阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖和葡萄糖醛酸; 嵇国利等^[13]分析了爆发期条浒苔多糖中除了含有鼠李糖和葡萄糖醛酸外, 还含有少见的艾杜糖醛酸, 尤其不含甘露糖, 与常规的条浒苔明显不同。另外, 不同的研究者分析同种类浒苔的多糖, 得到的单糖组成却有所不同。宋雪原等^[14]从青岛收集的浒苔得到浒苔多糖含有鼠李糖、葡萄糖、木糖、半乳糖和甘露糖; 而 Cho 等^[15]从韩国莞岛郡采集的浒苔多糖中单糖包括鼠李糖、木糖和葡萄糖。两者的提取方法类似, 但浒苔的采集地区不同, 说明浒苔的生长环境不同也可能造成单糖组成产生差异。

从文献中可以发现, 浒苔多糖在单糖组成和含量方面既存在共性也存在差异性, 在分析的多种浒苔多糖中, 鼠李糖和葡萄糖是其最稳定的单糖组成, 在所有多糖中都存在, 分布最广泛; 半乳糖和木糖含量也比较多, 在多种浒苔多糖中都存在; 而甘露糖、阿拉伯糖和艾杜糖含量相对较少, 而在个别浒苔中存在。推测造成这种差异的原因可能是与浒苔的种类、采集地区和采集时间有关。

2 浒苔多糖制备工艺研究进展

目前已报道的浒苔多糖制备工艺很多, 但归纳

收稿日期: 2012-12-11; 修回日期: 2013-03-07

基金项目: 中国科学院“百人计划”择优支持资助项目

作者简介: 魏鉴腾(1980-), 男, 山东青岛人, 博士研究生, 从事海洋活性物质的分离分析, 电话: 0532-58701350, E-mail: weijt@163.com; 邸多隆, 通信作者, 研究员, E-mail: didl@licp.cas.cn

起来主要有三种: 溶液浸提法、酶辅助提取法和物理辅助提取法^[16]。

2.1 溶液浸提法

2.1.1 水浸提法

多糖提取的传统工艺即为水提醇沉法, 在水浸提法中, 料液比、水温度、浸提时间均影响多糖的提取率。许福超等^[7]在研究浒苔多糖的提取方法时选用的最佳工艺为料液比 1:60, 90℃热水提取 4 h, 最终得到的浒苔多糖提取率为 21.96%。姚炳兴等^[17]将料液比降低为 1:20, 85℃热水提取 5 h, 提取率却大幅度降低, 仅为 5.37%。另外, 为了去除一些醇溶性的物质, 嵇国利等^[13]在水提的工艺前先用乙醇浸提, 然后再按照料液比 1:20, 90℃热水提取 2 h, 得到的浒苔多糖提取率为 17.56%。Cho 等^[15]也是先利用乙醇浸提, 料液比 1:20, 65℃提取 2 h, 提取率为 12.75%。由此可见, 料液比是影响提取率的最主要的因素, 水温和浸提时间也同样非常重要, 水提法得到的多糖会含有很多水溶性杂质, 且提取的时间较长, 而在水提前加一步醇提工艺, 从结果上看提取率不升反降, 但这种工艺会去除一部分既溶于水又溶于乙醇的物质, 这样就有可能有利于提高多糖的纯度。

2.1.2 酸液和碱液浸提法

在水提法的基础上, 通过改变提取液的 pH 来研究浒苔多糖制备工艺的一种方法。酸性提取液可以用于提取一些酸溶性的多糖。宋雪原等^[14]首先用 95%乙醇浸提 2 h, 然后利用 0.05 mol/L 的盐酸, 料液比 1:50, 提取 2 h, 提取率为 8.83%。张智芳等^[18]将浸提液的 pH 调整为 5, 料液比 1:90, 80℃提取 4 h, 提取率为 8.73%。

碱液浸提法与酸液提法类似, 将提取液保持在碱性条件下, 用于提取碱溶性的多糖。Ray^[11]用丙酮和乙醇浸提后, 调整料液比 1:150, 1 mol/L KOH 溶液, 在 4~8℃条件下提取 16 h, 然后在 30~35℃条件下提取 6 h, 提取率为 4.32%; 而上述剩余残渣按料液比 1:150 加入 4 mol/L KOH 后, 在 30~35℃条件下提取 6 h, 然后在 4~8℃条件下提取 16 h, 仍然有浒苔多糖存在, 多糖提取率为 3.78%。嵇国利^[12]首先用 85%乙醇浸提, 调整料液比为 1:20, 90℃热水提取 2 h, 提取率为 17.56%, 然后剩余残渣中再加 10 倍 2%的 NaOH 溶液, 90℃提取 1 h, 依然得到 10.45%的浒苔多糖。

上述数据显示, 水提取法工艺简单, 操作简便易行, 但是对提取物的选择性不好, 可把浒苔中的

其他一些水溶性物质同时提取出来, 得到的多糖粗品纯度较低, 制约了浒苔多糖的研究与开发。酸液或碱液提取法对提取物的选择性有所提高, 能够去除多糖中酸或碱不溶性的物质, 但对提取工艺中的设备要求较高, 同时产生的酸碱液对环境的影响较大, 因此不利于工业化生产。另外, 这些方法需要溶液的温度较高, 增加了提取成本, 不符合节能减排的宗旨。

2.2 酶辅助提取法

酶辅助提取法是在水提法的基础上, 结合酶技术提取多糖的一种新方法, 选用合适的酶能够分解浒苔细胞壁中的纤维素、半纤维素及果胶, 破坏细胞壁的结构, 有利于溶剂进入细胞, 加快多糖的溶出速度和效率, 但为了保持酶的活性, 提取温度和 pH 会做出相应的调整。徐大伦等^[19]在水提液中加入 8% 纤维素酶, 40℃提取 2.5 h, pH 值 5.0, 浒苔多糖提取率为 20.22%。肖宝石等^[20]比较了热水提取法和酶辅助提取法的差异, 热水浸提法的浒苔多糖提取率为 10.43%。加入 8% 的木瓜蛋白酶, 60℃酶解 2 h、料液 pH 值 5.5, 浒苔多糖提取率提高到 13.88%。酶辅助提取法中酶的加入, 降低了制备工艺中对温度的要求, 与同组热水提取法比较, 酶辅助提取法能够明显提高浒苔多糖提取率, 虽然制备过程中节约了能源, 但同时由于酶的参与而增加了制备成本。

2.3 物理辅助提取法

2.3.1 超声波辅助提取法

超声波辅助提取法是采用超声波辅助溶剂进行提取, 超声波能够产生高速、强烈的空化效应和搅拌作用, 从而破坏浒苔细胞, 使溶剂能够渗透到细胞中, 缩短提取时间, 提高提取率。唐志红等^[21]使用的工艺条件为料液比 1:54.81, 超声功率 531.17 W, 提取时间为 4.8 min, 浒苔多糖的提取率为 17.42%。该方法与传统热水浸提法相比, 提取时间缩短 95.8%, 多糖提取率提高了 22.17%, 节省了能源, 但是由于提取时间过短, 也存在提取效果不稳定的因素, 郭雷等^[22]选用制备工艺的条件为料液比 1:63, 超声功率 500 W、超声温度 80℃、超声时间 28 min, 但多糖提取率仅为 2.58%。因此, 仍需要大量的实验来优化其制备工艺, 从而提高实验的稳定性和可控性。

2.3.2 微波辅助提取法

微波能加速溶液对浒苔多糖的提取过程, 微波具有波动性、高频特性以及热特性或非热特性等特

点。陈小梅等^[23]利用微波提取多糖的条件为微波功率 610 W, 料液比 1:62, 提取时间 11 min, 在此条件下, 浒苔多糖的提取率为 7.58%。郭雷等^[24]选择微波功率 800 W, 料液比 1:78, 95℃提取 32 min, 最终多糖提取率仅为 4.04%。与传统水浸提法和超声辅助提取法比较, 微波辅助提取法具有节能、快速等优点, 但在得率方面却没有明显的提高, 需要进一步研究微波辅助提取法的制备工艺, 从而提高多糖提取率。

综上所述, 目前的研究多以水溶性浒苔多糖为主, 因此提取方法均以水提法为基础, 尽管研究者对其进行了多种优化方案, 但并没有达到最大化利用, 所以仍需进行大量制备工艺的研究, 以便获得高纯度、低成本的水溶性浒苔多糖, 从而进行浒苔多糖的后续研究。

3 浒苔多糖生物活性研究进展

浒苔多糖是浒苔的主要活性物质之一, 现有的文献报道了浒苔多糖具有多种生物学活性, 主要包括免疫调节、抗氧化、抗肿瘤和降血脂等活性^[3-6]。

3.1 免疫调节作用

免疫是机体抵御外界刺激保护机体的一种自身防御作用, 研究发现, 浒苔多糖具有免疫调节作用。体外实验发现, 浒苔多糖能促进 T、B 淋巴细胞增殖, 而且可以增强巨噬细胞的吞噬作用, 促进巨噬细胞分泌一氧化氮(NO), 增强诱导型-氧化氮合酶(iNOS)活性, 促进 TNF- α 和 IL-6 的分泌^[25], 徐大伦等^[26]报道了浒苔多糖对抗原提呈细胞活化所致的诱导 IFN- γ 产生有明显增强作用, 但对 Con A 诱导 T 细胞直接活化所致的 IFN- γ 和 IL-2 的产生没有明显的影响。而 Kim 等^[3]的研究结果显示, 浒苔的多糖能够促进 IFN- γ 和 IL-2 分泌量增加, 可能的机制是浒苔多糖可以上调关键因子的 mRNA 表达, 从而增强 iNOS 的活性, 刺激 NO 和下游细胞因子的产生。小鼠体内实验结果表明, 浒苔多糖能明显提高小鼠的免疫功能, 它不仅增强机体的吞噬指数和自然杀伤能力, 还可以增加 Con A 诱导的脾细胞增殖^[3]。韩秋风等^[27]发现浒苔多糖具有防治右旋葡聚糖硫酸钠致小鼠溃疡性结肠炎的作用, 作用机制可能也是通过促进淋巴细胞增殖和分化、刺激巨噬细胞的吞噬功能、促进细胞因子和抗体的产生等途径来实行机体对免疫系统功能的调节。研究还发现, 浒苔多糖可以显著提高大菱鲆的呼吸爆发活性,

从而提高吞噬细胞中的中性粒细胞和巨嗜细胞杀死细菌病原体的能力^[28]。尽管浒苔多糖能够提高机体免疫力, 但具体的机制仍不清楚, 因此需要大量的研究来阐述其机制。

3.2 抗氧化作用

体内代谢产生和外源性因素产生的自由基均可诱导细胞衰老和凋亡, 多糖抗氧化作用的机理主要有 4 种: (1)直接作用于 ROS 本身; (2)多糖分子作用于抗氧化酶; (3)多糖分子络合产生 ROS 所必需的金属离子; (4)促进 SOD 从细胞表面释放^[29]。文献中报道了浒苔多糖能具有较好的抗氧化作用。许晶晶等^[30]报道了浒苔粗多糖(总糖含量为 75.39%)的浓度为 0.6 g/L 时, 对羟基自由基的清除率为 44%, 对超氧阴离子自由基的清除作用较弱。而石学连等^[4]提取的浒苔多糖(总糖含量 47.86%)对超氧阴离子自由基清除能力最强, 浓度为 0.0103 mg/mL 时清除率高达 49.8%, 0.5 g/L 浒苔多糖对羟基自由基的清除率约为 40%, 对 DPPH(1, 1-二苯基苦基苯肼)的清除率仅为 3%。宋雪原等^[14]也报道了浒苔多糖对羟基自由基和超氧阴离子具有良好的清除能力, 当多糖浓度为在浓度为 0.0125 g/L 左右, 对超氧阴离子的消除率为 49.3%。0.08 g/L 时, 对羟基自由基的清除率达到 30%。另外, 薛丁萍等^[31]也证实了浒苔多糖的抗氧化作用。

3.3 抗肿瘤作用

近年来, 研究者发现, 浒苔多糖对肿瘤细胞本身并没有毒性作用^[5], 但对荷瘤小鼠肿瘤生长有明显抑制作用, 分析原因可能与免疫调节有关, 浒苔多糖能刺激小鼠脾和胸腺生长, 诱导淋巴细胞增殖, 增加巨噬细胞 TNF- α 产物, 上调诱导型 iNOS 的活性, 引起巨噬细胞 NO 产量上升, 从而增强了机体的免疫能力, 通过免疫系统间接抑制或杀死细胞, 达到抑制肿瘤的效果^[15, 32]。另外, 林文庭等^[33]报道了浒苔多糖能提高 IL-2 水平和降低 VEGF 水平。目前的研究显示, 浒苔多糖的抗肿瘤作用并非传统意义上的抗肿瘤药, 通过抑制细胞增殖或诱导细胞凋亡达到抗肿瘤的效果, 它主要通过提高机体免疫力, 利用免疫系统间接杀死肿瘤细胞, 因此浒苔多糖是一类潜在的辅助抗肿瘤候选药物。

3.4 降血脂作用

随着人们生活水平的提高, 生活方式及饮食结构的变化, 血脂异常的人群日渐增长, 对健康构成

较大威胁。浒苔多糖用于高血脂的治疗和预防,其作用也已引起人们的广泛关注。浒苔多糖可显著降低高脂血症模型的血清总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇和丙二醛含量,并且可以显著提高高密度脂蛋白胆固醇含量。同时,浒苔多糖还可降低高脂血症大鼠肝细胞的脂肪变性程度^[6]。因而,浒苔多糖对高脂血症大鼠模型具有降血脂及预防脂肪肝的作用。原因可能与机体的免疫调节有关,浒苔多糖能够有效增强机体的免疫能力,加快肝胆循环,使肝内的酮体和肝外组织所能利用的限度达到很好的一个平衡,从而降低了血脂在血液中的堆积^[34]。

4 其他

除上述活性外,浒苔多糖还具有其他生物学活性和应用。研究发现,浒苔多糖能保护 H_2O_2 导致的细胞损伤^[35]。随着研究者对浒苔多糖的进一步研究,人们逐步发现浒苔多糖新的用途,如薛志欣等^[36]发现热水法提取的浒苔多糖可以用 $BaCl_2$ 做凝固浴经湿法纺丝制得浒苔纤维,为纤维提供新的来源。石学连等^[7]发现浒苔多糖具有较强的保湿和吸湿活性,且与天然活性保湿因子透明质酸的保湿和吸湿特征很相似。另外,浒苔多糖还具有凝胶性能^[37]和抗凝血活性^[12]。随着研究的不断深入,浒苔多糖新的用途被不断开发,从而更有效的利用这种天然的资源。

5 展望

我国浒苔资源十分丰富,产量巨大,浒苔多糖可以应用于天然植物食物,食品添加剂和药物加工,具有广阔的开发前景。目前的制备工艺已经能够获得大量的浒苔多糖,但上述方法制备的浒苔多糖通常纯度太低,无法达到工业生产的要求,如何提高浒苔多糖的纯度,目前仍是研究者研究的热点之一。另外,浒苔多糖是一种具有多种生物活性的生物大分子,适量摄入将会有利于机体健康,但由于研究的时间较短,对其功能性和安全性仍无法掌握,很多研究仅限于实验室中,这就需要研究者深入研究其化学组成和生物活性,从而增加其可控性,以期为保障人类健康发挥作用。

参考文献:

- [1] 乔方利, 马德毅, 朱明远, 等. 2008 年黄海浒苔爆发的基本状况与科学应对措施[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 409-410.
- [2] 金浩良, 徐年军, 严小军. 浒苔中生物活性物质的研究进展[J]. 海洋科学, 2011, 35(4): 100-106.
- [3] Kim J K, Cho M L, Karnjanapratum S, et al. In vitro and in vivo immunomodulatory activity of sulfated polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 49(5): 1051-1058.
- [4] 石学连, 张晶晶, 王晶, 等. 浒苔多糖的分级纯化及体外抗氧化活性研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2009, 28(3): 44-49.
- [5] Jiao L, Li X, Li T, et al. Characterization and anti-tumor activity of alkali-extracted polysaccharide from *Enteromorpha intestinalis* [J]. International Immunopharmacology, 2009, 9(3): 324-329.
- [6] 林文庭, 张智芳. 浒苔多糖降血脂及抗脂质过氧化作用[J]. 中国公共卫生, 2009, 25(5): 567-569.
- [7] 许福超, 薛志欣, 叶乃好, 等. 浒苔多糖的提取, 提纯和分析[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(10): 2413-2415.
- [8] 齐晓辉, 李红燕, 郭守东, 等. 4 种不同来源浒苔中多糖的提取分离及理化性质[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(5): 15-18.
- [9] 石学连, 张晶晶, 宋厚芳, 等. 浒苔多糖的分级纯化及保湿活性研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(7): 81-85.
- [10] Chattopadhyay K, Mandal P, Lerouge P, et al. Sulphated polysaccharides from Indian samples of *Enteromorpha compressa* (Ulvaes, Chlorophyta): Isolation and structural features[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 928-935.
- [11] Ray B. Polysaccharides from *Enteromorpha compressa*: Isolation, purification and structural features[J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 66(3): 408-416.
- [12] Qi X, Mao W, Gao Y, et al. Chemical characteristic of an anticoagulant-active sulfated polysaccharide from *Enteromorpha clathrata*[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90(4): 1804-1810.
- [13] 嵇国利, 于广利, 吴建东, 等. 爆发期条浒苔多糖的提取分离及其理化性质研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2009, 28(3): 7-12.
- [14] 宋雪原, 郭秀春, 周文辉, 等. 浒苔水溶性多糖的组成及其生物活性研究[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(10): 2448-2450.

- [15] Cho M L, Yang C, Kim S M, et al. Molecular characterization and biological activities of watersoluble sulfated polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*[J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(2): 525-533.
- [16] 陈达妙, 林文庭. 浒苔多糖提取纯化和化学结构的研究进展[J]. 海峡预防医学杂志, 2012, 18(2): 22-24.
- [17] 姚炳兴, 牛决平, 李晋. 绿管浒苔多糖提取分离工艺的优化[J]. 中国海洋药物杂志, 2010, 29(2): 32-35.
- [18] 张智芳, 林文庭, 陈灿坤. 浒苔水溶性多糖提取工艺研究[J]. 中国食物与营养, 2009, 3: 39-41.
- [19] 徐大伦, 欧昌荣, 杨文鸽, 等. 纤维素酶法提取浒苔多糖的工艺条件[J]. 海洋渔业, 2005, 27(1): 85-88.
- [20] 肖宝石, 吕海涛. 酶法提取浒苔多糖工艺优化的研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 125-127.
- [21] 唐志红, 于志超, 赵巍, 等. 浒苔多糖超声波提取工艺的研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 56-59.
- [22] 郭雷, 陈宇. 响应面法优化超声辅助提取浒苔多糖的工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 117-121.
- [23] 陈小梅, 甘纯玑, 陈彩玲, 等. 响应面法优化微波辅助提取浒苔多糖工艺[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(4): 44-48.
- [24] 郭雷, 陈宇. 响应面法优化微波辅助提取浒苔多糖的工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 53-57.
- [25] 陈榕芳, 吴小南, 陈洁. 浒苔多糖粗提物调节巨噬细胞 RAW264.7 免疫功能研究[J]. 海峡预防医学杂志, 2012, 18(2): 4-7.
- [26] 徐大伦, 黄晓春, 杨文鸽, 等. 浒苔多糖的分离纯化及其对非特异性免疫功能的体外实验研究[J]. 中国食品学报, 2006, 6(5): 17-21.
- [27] 韩秋凤, 洪小冰, 王芸芸, 等. 浒苔多糖对右旋葡萄糖硫酸钠致小鼠溃疡性结肠炎的防治研究[J]. 海峡预防医学杂志, 2010, 16(2): 58-60.
- [28] Castro R, Zarra L, Lamas J. Water-soluble seaweed extracts modulate the respiratory burst activity of turbot phagocytes[J]. Aquaculture, 2004, 229: 67-78.
- [29] 俞慧红, 竺巧玲, 戴飞, 等. 多糖抗氧化作用的研究现状[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(3): 172-176.
- [30] 许晶晶, 唐志红, 王景玉, 等. 浒苔多糖的纯化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(10): 134-136.
- [31] 薛丁萍, 魏玉西, 刘淇, 等. 浒苔多糖对羟自由基的清除作用研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(1): 44-47.
- [32] Jiao L, Jiang P, Zhang L, et al. Antitumor and immunomodulating activity of polysaccharides from *Enteromorpha intestinalis*[J]. Biotechnology and Bio-process Engineering, 2010, 15(3): 421-428.
- [33] 林文庭, 张智芳. 浒苔多糖对荷瘤小鼠细胞抑制作用[J]. 中国公共卫生, 2011, 27(4): 457-458.
- [34] 孙士红. 碱提浒苔多糖降血脂作用研究[J]. 中国现代药物应用, 2010, 4(15): 118-119.
- [35] 史大华, 刘玮炜, 刘永江, 等. 浒苔多糖对 H₂O₂ 诱导的 PC12 细胞损伤的保护作用[J]. 中国生化药物杂志, 2012, 33(1): 40-42.
- [36] 薛志欣, 叶乃好, 姜雪琴, 等. 浒苔多糖纺丝性能的探索性研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 65-68.
- [37] 陈小梅, 甘纯玑, 叶诗敏. 浒苔多糖的提取及其凝胶特性研究[J]. 营养与功能, 2010, 26(4): 56-59.

(本文编辑: 康亦兼)