

萱藻中多酚类抗过敏活性成分纯化方法的研究

陈瑜¹, 李振兴^{1*}, 朱珍¹, 林洪¹, 慕全贵²

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003;

2. 山东海之宝海洋科技有限公司(国家海带加工技术研发分中心), 烟台 264300)

摘要: **目的** 研究不同的大孔树脂对萱藻多酚的纯化效果, 建立其纯化方法。 **方法** 以透明质酸酶抑制活性为抗过敏活性的评价指标, 通过分析7种不同大孔树脂对萱藻多酚的静态和动态吸附曲线, 建立并优化萱藻多酚的纯化工艺。 **结果** XDA-1型大孔树脂对萱藻多酚有良好的吸附性能和解吸效果, 优化pH及解吸剂浓度后, 通过一步大孔树脂纯化能够得到纯度达45.27%的萱藻多酚, 其透明质酸酶抑制活性比纯化前提高了1.94倍。

结论 建立了萱藻多酚的大孔树脂一步法纯化方法。

关键词: 萱藻; 抗过敏; 多酚; 纯化

Purification of polyphenols with anti-allergic activity from *Scytosiphon lomentosrius*

CHEN Yu¹, LI Zhen-Xing^{1*}, ZHU Zhen¹, LIN Hong¹, MU Quan-Gui²

(1. Food Science and Engineering College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Shandong Haizhibao Ocean Science and Technology Co. Ltd (National R&D Branch Center For Kelp Processing), Yantai 264300, China)

ABSTRACT: Objective To select appropriate macroporous resin for preliminary purification of polyphenols from *Scytosiphon lomentosrius*. **Methods** Seven different macroporous resins were evaluated with static and dynamic adsorption curves, and pH of sample, concentration of resolving agent were assessed to optimize the purification process. **Results** XDA-1 macroporous resins have good adsorption and desorption with polyphenols. With the optimized process such as pH and resolving agents, polyphenols in *Scytosiphon lomentosrius* can be got with a purity of 45.27%. Compared with the crude extracts of *Scytosiphon lomentosrius*, the specific inhibition of hyaluronidase activity improved 1.94 times. **Conclusion** One step method for purification of polyphenols from *Scytosiphon lomentosrius* was established.

KEY WORDS: *Scytosiphon lomentosrius*; anti-allergic; polyphenols; purification

1 引言

近年来, 过敏性疾病的发病率逐渐增多, 据国内外流行病学调查显示, 22%以上的儿童和35%以上的成年人都曾受过不同程度的过敏性疾病的困扰,

主要症状包括食物过敏、花粉症、过敏性皮炎、哮喘, 严重的甚至会引起过敏性休克甚至死亡^[1]。针对过敏性疾病的治疗还没有安全有效的药物和技术, 而且存在一定的毒副作用, 因此从食品原料中开发新的抗过敏活性成分成为当前治疗过敏性疾病研究的热

基金项目: 山东省中青年科学家奖励基金项目(BS2011HZ020)

Fund: Supported by Shangdong Province Young and Middle-Aged Scientists Research Awards Fund(BS2011HZ020)

*通讯作者: 李振兴, 副教授, 主要研究方向为水产品蛋白质质量与安全。E-mail: lizhenxing@ouc.edu.cn

*Corresponding author: LI Zhen-Xing, Associate Professor, No.5, Yushan Road, Qingdao 266003, China. E-mail: lizhenxing@ouc.edu.cn

点之一^[2-3]。

萱藻 *Scytosiphon lomentaria*, 俗称海麻线、骆驼毛, 是一种尚未被开发的, 食用价值和保健价值都很高的海藻^[4]。它隶属于褐藻门(*Phaeophyta*), 萱藻目(*Scytosiphonales*), 萱藻科(*Scytosiphonaceae*), 萱藻属(*Scytosiphon*)。长期以来萱藻都是我国沿海一带居民的海藻蔬菜珍品, 北起辽东半岛, 南至广东省海陵岛之间的沿海地区都有分布。近年来, 随着人们对于萱藻的药用价值认识越来越深刻, 萱藻中的多酚类活性成分引起了相关科技工作者的关注。Harada 等^[5]发现萱藻水提物能选择性的抑制肿瘤细胞活性。刘志峰等^[6]研究了海带、鼠尾藻、萱藻、石莼的抗血小板聚集作用, 发现萱藻的作用最强, 当剂量达到 2 g/L 时, 萱藻的血小板聚集抑制率可达 80%以上。徐秀丽等^[7]研究发现萱藻对 B 淋巴细胞增殖有较好的抑制活性, 可对某些自身免疫性疾病有治疗效果。本课题组在研究过程中发现, 萱藻中的多酚类物质具有很好的抗过敏效果, 为了进一步研究萱藻多酚的抗过敏机制, 首先需要得到纯度较高的萱藻多酚。

抗过敏活性与透明质酸酶抑制活性有密切的关系, Kakegawa 等^[8]研究发现各种影响肥大细胞释放组胺的药物能调节透明质酸酶的活性, 透明质酸酶活性抑制率和肥大细胞释放组胺抑制活性之间有好的相关性。Yoo^[9]研究发现透明质酸酶参与组织发炎过程, 导致肥大细胞脱颗粒。因此透明质酸酶体外抑制试验可以作为评价抗过敏活性的指标。

本研究计划计划筛选大孔树脂对萱藻多酚进行有效的纯化, 以期后续的研究提供物质基础。

2 材料与方法

2.1 材料与设备

萱藻, 采于山东砣矶岛, 用去离子水冲洗干净后, 于 50 °C 左右烘干并磨碎后备用; AB-8 大孔树脂, 购于上海摩速器材有限公司; XAD-7, 购于 Sigma 公司; XDA-1、LSA-10, 购于西安蓝晓交换吸附材料公司; NKA-II、S-8、D101, 购于南开大学化工厂。透明质酸酶(500 U/mL), 色甘酸二钠(95%)均购于 Sigma 公司, 透明质酸钠购于 Fluka 公司, 其他试剂未经特殊说明均为分析纯。

MF99-1 自动液相色谱分离层析仪: 上海沪西分析仪器厂有限公司; TU-1801 分光光度计: 北京普析

通用仪器有限公司; FD-1 型冷冻干燥机: 丹麦 Heto 公司; DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱: 上海精宏实验设备有限公司; Ro DI digital 自动纯水仪: 北京康铭泰克科技发展有限公司。

2.2 实验方法

2.2.1 萱藻多酚的粗提取

10 g 干粉末样品加入 100 mL 85%(v/v)的乙醇中, 于室温下充分搅拌 24 h 后, 8000 r/min 离心 10 min 后收集上清。将上清用旋转蒸发器浓缩至 50 mL, 用等体积氯仿洗涤浓缩样, 以去除脂肪和色素。将上清用 50 mL 乙酸乙酯提取, 并反复提取 3 次, 旋转蒸发器减压蒸干后, 用水溶解后-18 °C 冻存备用。

2.2.2 总酚含量的测定

采用以间苯三酚为标准的福林酚法测总酚含量^[10]。精确称取 0.0200 g 间苯三酚, 用水溶解定容到 200 mL, 得到 100 μg/mL 对照液。取 0、0.05、0.15、0.25、0.35、0.45 mL 标准液置于 EP 管中, 加 0.5 mL 2 mol/L 福林酚, 加水稀释至 1.1 mL, 充分反应后, 加入 2 mL 20% (w/v)的 Na₂CO₃ 后混合物平衡 3 min。室温黑暗中孵育样品 45 min, 3000 r/min 离心 8 min。在 730 nm 处测定上清的吸光值。以质量(μg)为 x 轴, 吸光度 A 为 y 轴绘制标准曲线。

将样品稀释至分光光度计的测定范围内(0.025~0.1 mL 水溶性酚提取物混合 0.4~0.475 mL 水), 每 0.1 mL 稀释样品混合 0.5 mL 2 mol/L 福林酚和 0.5 mL 水, 其余步骤同上。测吸光值计算。

2.2.3 大孔树脂的预处理

2.1 中的 7 种大孔树脂各称 100 g, 分别用 95%的乙醇浸泡 24 h 后, 接着用无水乙醇洗至流出液与水 1:5 混合无浑浊, 再用水反复浸泡清洗直至无乙醇味。用 5% HCl 浸泡 2~4 h, 用水清洗直至 pH 达到中性, 用 2% NaOH 浸泡 2~4 h, 用水清洗直至 pH 达到中性。

2.2.4 大孔树脂静态吸附量及解吸率的测定

准确称取预处理后的各种大孔树脂各 1.0 g 分别置于 50 mL 具塞三角瓶中, 各加入 5 mL 浓度为 1.0 mg/mL 萱藻粗提液, 置于 25 °C, 150 r/min 振荡, 调整 pH 至初始值(5.83), 每 30 min 定时取样(100 μL)测定总酚含量, 直至吸附平衡, 计算吸附量(Q_e)吸附率(E%)。

$$Q_e = (C_0 - C_1)V_1/W$$

$$E\% = (C_0 - C_1)/C_0 \times 100$$

将吸附后的树脂过滤,再各用5 mL 80%乙醇解吸,置于25 °C,150 r/min振荡,每30 min定时取样(100 μL)测定总酚含量,直至解吸平衡,计算解吸量(Q_d)和解吸率($D\%$)。

$$Q_d = C_2 \times V_2$$

$$D\% = Q_d / Q_e \times 100$$

式中 C_0 为吸附前样品总酚浓度(mg/mL); C_1 为吸附后样品总酚浓度(mg/mL); V_1 为样品体积(mL); W 为树脂干重(g); C_2 为解吸液总酚浓度(mg/mL); V_2 为解吸液体积(mL)。

2.2.5 萱藻抽提液 pH 对吸附量和解吸率的影响

将原液用 HCl(10%) 和 NaOH(10%) 调节成 pH 为 2~3、6~7 和 8~9 的溶液,进行静态吸附实验,测定吸附量 Q_e 、吸附率 $E\%$ 、解吸量 Q_d 和解吸率 $D\%$ 。

2.2.6 解吸剂浓度的选择

将已充分吸附萱藻多酚的树脂等分成 5 份,分别用 20%、40%、60%、80%、100% 的乙醇进行解吸,测定解吸液中总酚的含量,计算解吸率。

2.2.7 动态吸附实验

称取一定量预处理好的 XDA-1 树脂,湿法装柱,双蒸水平衡;取总酚浓度为 1 mg/mL 的样品上样,控制流速为 1 mL/min,分部检测并收集流出液,检测波长为 280 nm。流出液浓度达上样的 1/10 时,认为海藻多酚已透过,停止进样。

用双蒸水洗掉未吸附的萱藻提取物,待检测器稳定后,再用 80% 的乙醇进行洗脱。观察出峰情况,合并萱藻多酚含量较高的试管,制成干样,测定萱藻多酚的纯度、回收率及抗透明质酸酶活性。

2.2.8 萱藻多酚纯度及回收率的计算

$$\text{纯度}(\%) = C_2 \times V_2 / M \times 100\%$$

式中: C_2 ——纯化后样品的浓度(mg/mL); V_2 ——纯化后样品体积(mL); M ——纯化后样品干重(mg)

$$\text{回收率}(\%) = C_2 \times V_2 / C_1 \times V_1 \times 100\%$$

式中: C_1 ——上柱前样品浓度(mg/mL); V_1 ——上柱前样品体积(mL); C_2 ——纯化后样品浓度(mg/mL); V_2 ——纯化后样品体积(mL)。

2.2.9 透明质酸酶抑制活性的测定

按照 Morgan-Elson 法^[11]略作修改。取 4 个 EP 管,分别标记上 A、B、C、D,之后步骤如下:

分别向 A 管中加入 100 μL 缓冲液、50 μL 透明质酸酶, B 管中加入 150 μL 缓冲液, C 管中加入 100

μL 样品、50 μL 透明质酸酶, D 管中加入 100 μL 样品、50 μL 缓冲液,接着将各管 37 °C 孵育 20 min 后加入 20 μL 2.5 mol/L 的 CaCl₂ 溶液, 37 °C 孵育 20 min, 然后加入 50 μL 透明质酸、100 μL 缓冲液、250 μL 去离子水, 37 °C 孵育 40 min, 室温放置 10 min, 再加入 110 μL 碱性硼酸盐溶液,沸水加热 4.5 min 终止反应,冰水浴 20 min, 然后加入 1.5 mL p-二甲氨基苯甲醛, 37 °C 孵育 20 min, 最后在 585 nm 处测定吸光值。

抑制率% = [(A-B)-(C-D)] / (A-B) × 100, A, B, C, D 分别指各管的吸光值。

3 结果与讨论

3.1 不同大孔吸附树脂对萱藻多酚静态吸附效果的比较

七种大孔树脂静态吸附和解吸曲线如图 1~4 所示。结果表明,各种大孔树脂对萱藻多酚的吸附呈现较为统一的特点,即吸附时间在 0.5 h 之前,萱藻多酚的吸附量随时间的增加而有明显增大;当吸附时间达到 0.5 h 之后,吸附量基本保持不变,即基本达到了饱和吸附。对静态解析效果而言,同样,当解吸时间在 0.5 h 之内,解吸量随时间的增加而显著增大;当解吸时间大于 0.5 h 后,解吸液中的萱藻多酚的含量基本不再增加。该吸附和解吸效果与本课题组在前期对海带多酚进行纯化时类似^[12],这说明大孔树脂能够在较短的时间内达到吸附平衡,而这种吸附平衡主要依靠的是分子间作用力,这种作用力强度不大,当遇到外界因素作用时,容易失去作用力而解吸。

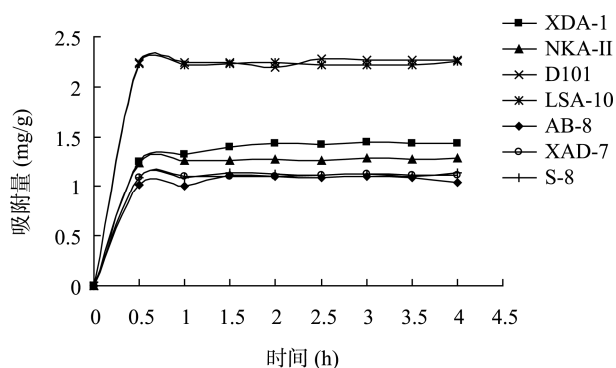


图1 大孔树脂对海藻多酚的静态吸附动力学曲线
Fig. 1 Static adsorption kinetic curves of macroporous resin to algae polyphenol

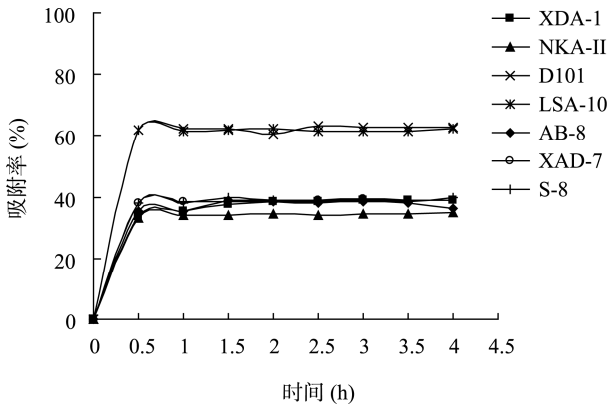


图 2 大孔树脂对海藻多酚的静态吸附率

Fig. 2 Static adsorption rate of macroporous resin to algae polyphenol

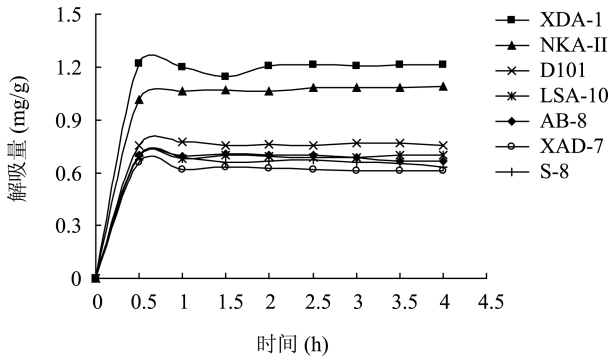


图 3 大孔树脂对海藻多酚的静态解析动力曲线

Fig. 3 Static desorption kinetic curves of macroporous resin to algae polyphenol

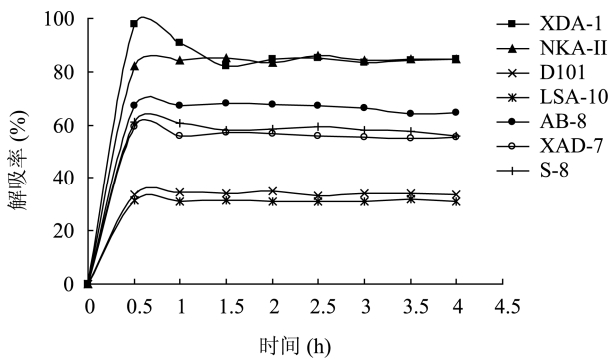


图 4 大孔树脂对海藻多酚的静态解吸率

Fig. 4 Static desorption rate of macroporous resin to algae polyphenol

逐一分析各种大孔树脂的吸附特征, 从图 1 和图 2 可以发现 7 种树脂中, 以 D101 及 LSA-10 的吸附量最高, 每克树脂可分别吸附 2.24 mg、2.23 mg 海藻多酚, XDA-1、NKA-II 次之, 分别可吸附 1.25 mg 和 1.24

mg 海藻多酚。而通过图 3 和图 4 可以发现, 吸附量最高的 D101 和 LSA-10 的解吸量只有 0.76 mg 和 0.70 mg, 解吸率均不足 35%。而吸附量较高的 XDA-1 和 NKA-II 树脂的解吸量分别为 1.22 mg 和 1.02 mg, 它们的解吸率分别为 97.90% 和 82.25%。这与刘晓丽等报道的 XDA-1 对海藻多酚有较好的吸附量和解吸率一致^[13]。

在选择合适的大孔树脂进行海藻多酚的纯化时, 不仅要考虑树脂的吸附量大, 同时还需要较高的解吸率, 以保证活性物质能够最大程度的被回收。综合图表所示的实验结果可以看出, XDA-1 和 NKA-II 对海藻多酚的吸附量较大, 且易被解吸, 解吸率高。因此选择这两种大孔树脂进一步确定原液 pH、解析剂浓度等条件。

3.2 海藻抽提液 pH 对大孔树脂静态吸附和解吸效果的影响

由图 5 可以看出, XDA-1 和 NKA-II 两种大孔树脂在 pH=5.83 时吸附量最高, 而在较酸、中性和碱性的环境中吸附量均比较低, 且 XDA-1 的吸附量大于 NKA-II。而图 6 则表明在 pH=3.00 和 pH=5.83 时两种大孔树脂的解吸率大致相同, 因此选择 pH=5.83(即抽提液原始 pH)作为上样 pH。大孔树脂与多酚的结合力与环境 pH 有很大的关系, pH 不同, 大孔树脂所带电荷不同^[14]。

3.3 解吸剂浓度对大孔树脂解吸效果的影响

在对解吸剂进行筛选的过程中, 发现乙醇、甲醇、丙酮对海藻多酚均有比较好的解吸效果, 这和一些对多酚进行纯化时得到的结论是一致的^[15-16]。考虑到甲醇、丙酮有毒性, 微量的残留会对人体造成伤害, 因此选择乙醇作为海藻多酚的解吸剂, 并研究不同的乙醇浓度对解吸效果的影响。如图 7 所示, 随着乙

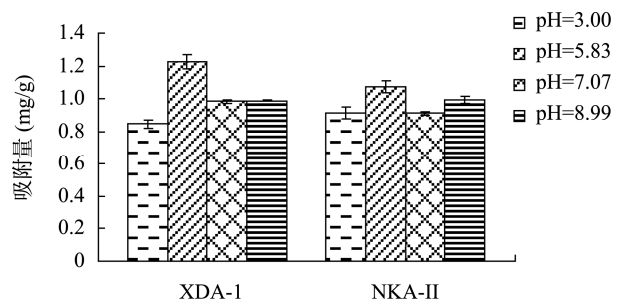


图 5 不同 pH 对大孔树脂吸附量的影响
Fig. 5 Effects of pH on adsorption capacity

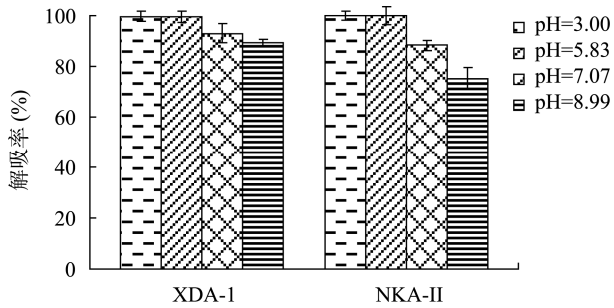


图 6 不同 pH 对大孔树脂解吸率的影响
Fig. 6 Effects of pH on desorption rate

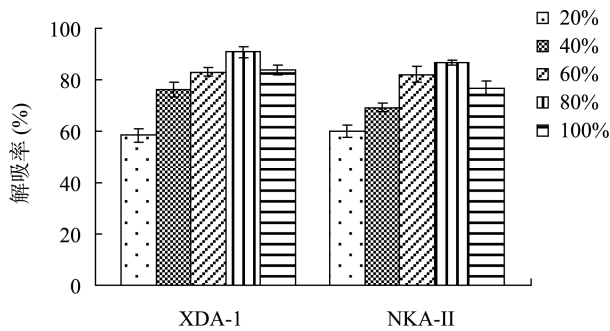


图 7 不同浓度的解析剂(乙醇)对大孔树脂解吸率的影响
Fig. 7 Effects of different ethanol concentrations on desorption rate

醇浓度的增大, 两种树脂的解吸率不断上升, 当乙醇浓度达到 80% 时, 解吸率分别达到 92.6% 和 89.2%, 乙醇浓度再增加, 则解吸效果下降, 因此选择 80% 的乙醇作为解吸剂解吸效果最好。

3.4 XDA-1 大孔树脂对萱藻多酚进行纯化及活性测定

根据前期获得的数据, 综合考虑吸附量和解析效果, 选择 XDA-1 大孔树脂作为分离萱藻多酚的填料。萱藻粗提液浓度为 1.0 mg/mL, 以 pH=5.83, 1.0 mL/min 的流速进样, 直至达到吸附饱和。用纯水洗掉残留在树脂表面的溶液后, 再用 80% 的乙醇洗脱, 洗脱流速也为 1.0 mL/min。其洗脱曲线如图 8 所示。

结果表明当洗脱体积为 80~100 mL 时, 洗脱液中萱藻多酚的含量较高, 峰形单一且无拖尾现象, 合并萱藻多酚含量较高的试管, 测得萱藻多酚的纯度为 45.27%, 回收率为 41.47%。对洗脱获得的萱藻多酚单一峰进行浓缩, 在浓度为 0.507 mg/mL 时, 测定其抗透明质酸酶活性, 其抑制率为 73.50%, 相比萱藻粗提液其比活性提高 1.94 倍。虽然从纯度看, 经过

纯化的萱藻多酚相比粗提物有了很大的提高, 但从抑制透明质酸酶活性来看, 提高并不是特别明显。这说明在进行纯化的过程中, 有一些抽提出的成分可能含量不高, 但活性比较强, 而在进行纯化时, 这部分物质发生了损失, 这在纯化的过程中并不少见^[17-18]。在进一步的工作中, 有必要对洗脱曲线中各组分进行抑制透明质酸酶活性测定, 找到活性更高的组分, 为研究萱藻的抗过敏作用提供物质基础。

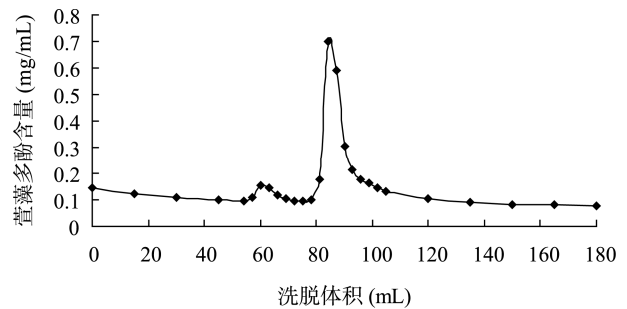


图 8 萱藻多酚动态洗脱曲线
Fig. 8 Dynamic elution curve to algae polyphenol

4 结 论

通过对静态吸附量和解吸效果的评价, 从 7 种常见的大孔树脂选择出 XDA-1 大孔树脂作为纯化萱藻多酚的填料, 并探讨了样品 pH 及解析剂浓度对解吸效果的影响, 获得了纯化萱藻多酚的最佳条件, 得到了纯度为 45.27% 的萱藻多酚, 其透明质酸酶抑制活性比粗提物提高了 1.94 倍。

参考文献

- [1] Ross MP, Ferguson M, Street D, *et al.* Analysis of food-allergic and anaphylactic events in the national electronic injury surveillance system[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2008, 121(1): 166-171.
- [2] Li YX, Wijesekara I, Li Y, *et al.* Phlorotannins as bioactive agents from brown algae[J]. *Process Biochem*, 2011, 46(12): 2219-2224.
- [3] Kim AR, Shin TS, Lee MS, *et al.* Isolation and identification of phlorotannins from *Ecklonia stolonifera* with antioxidant and anti-inflammatory properties[J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(9): 3483-3489.
- [4] 丁兰平, 栾日孝, 黄冰心. 中国海洋褐藻门萱藻目 Scytosiphonales 的分类学研究[C]. 中国藻类学会第八次会员代表大会暨第十六次学术讨论会论文集, 2011. Ding LP, Ruan RX, Huang BX. The Taxonomical Study of Chi-

- nese Phaeophyta Scytosiphonales[C]. The Abstract Collection of the Eighth Member Representative Assembly in the Chinese Algae Society and the 16th Seminar, 2011.
- [5] Harada H, Yamashita U, Kurihara H, *et al.* Antitumor activity of palmitic acid found as a selective cytotoxic substance in a marine red alga[J]. *Anticancer Res*, 2001, 22(5): 2587–2590.
- [6] 刘志峰, 宫晓黎. 五种海藻多糖体外抗血小板聚集作用观察[J]. *中国海洋药物*, 2001, 20(2): 36–38.
Liu ZF, Gong XL. Observation the effects of five kinds algal polysaccharides on platelets aggregation[J]. *Chin J Marine Drugs*, 2001, 20(2): 36–38.
- [7] 徐秀丽, 范晓, 韩丽君. 山东海区大型海藻抗肿瘤及免疫活性[J]. *海洋科学*, 2003, 27(9): 44–48.
Xu XL, Fan X, Han LJ. Anti-tumor activity and immunocompetence of macroalgae from shandong sea area[J]. *Marine Sci*, 2003, 27(9): 44–48.
- [8] Kakegawa H, Matsumoto H, Satoh T. Inhibitory effects of some natural products on the activation of hyaluronidase and their anti-allergic actions[J]. *Chem Pharm Bull*, 1991, 40(6): 1439–1442.
- [9] Yoo. Effects of allergy related drugs on hyaluronidase action and histamine by rat peritoneal mast cell[J]. *Tachan Sacngri Hakboechi*, 1988, 22: 59–72.
- [10] Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. *Method Enzymol*, 1999, 299: 152–178.
- [11] Muckenschnabel I, Bernhardt G, Spruss T, *et al.* Quantitation of hyaluronidases by the Morgan-Elson reaction: comparison of the enzyme activities in the plasma of tumor patients and healthy volunteers[J]. *Cancer Lett*, 1998, 131(1): 13–20.
- [12] Samee H, Li Z, Lin H, *et al.* Anti-allergic effects of ethanol extracts from brown seaweeds[J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2009, 10(2): 147–153.
- [13] 刘晓丽, 吴克刚, 柴向华, 等. 海带多酚的纯化及其抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2010 (5): 160–163.
Liu XL, Wu KG, Chai XH, *et al.* Purification of Polyphenols from *Laminaria Japomica* and its Antioxidant Capacity[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010 (5): 160–163.
- [14] 刘建萍, 蔡淑娴, 刘仲华, 等. 大孔树脂纯化地肤子总皂苷的研究[J]. *江苏农业科学*, 2008 (2): 178–180.
Liu JP, Cai SX, Liu ZH, *et al.* The Research of Macroporous Resin Purify Total Saponins in Fructus Kochiae[J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2008 (2): 178–180.
- [15] Sugiura Y, Matsuda K, Yamada Y, *et al.* Isolation of a new anti-allergic phlorotannin, phlorofuocofuroeckol-B, from an edible brown alga, *Eisenia arborea*[J]. *Biosci Biotech Bioch*, 2006, 70(11): 2807.
- [16] Jung HA, Jin SE, Ahn BR, *et al.* Anti-inflammatory activity of edible brown alga *Eisenia bicyclis* and its constituents fucosterol and phlorotannins in LPS-stimulated RAW264.7 macrophages[J]. *Food Chem Toxicol*, 2013, 59: 199–206.
- [17] 冯进, 李敏, 曾晓雄, 等. 大孔树脂纯化蓝莓叶多酚及其组成分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(10): 86–91.
Feng J, Li M, Zeng XX, *et al.* Macroporous Resin Purification and Composition Analysis of Polyphenols from Blueberry Leaves[J]. *Food Sci*, 2013, 34(10): 86–91.
- [18] Shibata T, Ishimaru K, Kawaguchi S, *et al.* Antioxidant activities of phlorotannins isolated from Japanese Laminariaceae[J]. *J Appl Phycol*, 2008, 20(5): 705–711.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



陈瑜, 硕士研究生, 主要研究方向为抗过敏活性物质的开发。

E-mail: 441246541@qq.com



李振兴, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品中蛋白质的安全与质量控制。

E-mail: lizhenxing@ouc.edu.cn