

# 方格星虫多糖抗菌和抗氧化活性研究\*

## Studies on the Antimicrobial and Antioxidant Activities of Polysaccharide from *Sipunculus nudus*

董兰芳<sup>1</sup>, 张 琴<sup>1\*\*</sup>, 童 潼<sup>1</sup>, 许明珠<sup>1,2</sup>DONG Lan-fang<sup>1</sup>, ZHANG Qin<sup>1</sup>, TONG Tong<sup>1</sup>, XU Ming-zhu<sup>1,2</sup>

(1. 广西壮族自治区海洋研究所, 广西海洋生物技术重点实验室, 广西北海 536000; 2. 广西大学动物科学技术学院, 广西南宁 530005)

(1. Guangxi Institute of Oceanology, Key Laboratory of Marine Biotechnology of Guangxi, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530005, China)

**摘要:**通过比较水提和碱提方格星虫粗多糖的抗菌和抗氧化活性, 探讨这两种方法在方格星虫粗多糖提取中的优劣。结果, 水提粗多糖对副溶血弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)不敏感, 对枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)中度敏感, 对其它细菌均为低敏感; 碱提粗多糖对大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和鳃弧菌(*Vibrio anguillarum*)低敏感, 对白葡萄球菌(*Staphylococcus cremoris*)和副溶血弧菌中度敏感, 对枯草芽孢杆菌和藤黄八叠球菌(*Sarcina lutea*)高度敏感。表明, 碱提粗多糖的抗菌活性较水提粗多糖强。两种方法提取的方格星虫粗多糖均有一定的抗氧化性。水提和碱提多糖浓度均在  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时对羟自由基的清除能力最大, 清除率分别为 40.32% 和 39.86%; 两种多糖浓度分别在  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  和  $600 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时对超氧自由基的抑制作用最大, 抑制率分别为 9.91% 和 5.86%。表明, 水提方格星虫粗多糖的抗氧化性强于碱提粗多糖。

**关键词:**方格星虫 多糖 抗菌活性 抗氧化活性

中图分类号: R284.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2013)04-0289-05

**Abstract:** The antimicrobial and antioxidant activities of crude polysaccharide from *Sipunculus nudus* were studied by two extraction methods, water extraction and alkali extraction. The results show that the crude polysaccharide extracted by water is insensitive to *Vibrio parahaemolyticus*, medium sensitive to *Bacillus subtilis*, and low sensitive to other bacteria, while that extracted by alkali is low sensitive to *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Vibrio anguillarum*, medium sensitive to *Staphylococcus cremoris* and *Vibrio parahaemolyticus*, and hypersensitive to *Bacillus subtilis* and *Sarcina lutea*. The antimicrobial activity of alkali-extracted polysaccharide is higher than that of water-extracted polysaccharide. Both of the crude polysaccharides from *S. nudus* extracted by the two methods have some effects on antioxidant activities. The scavenging ability to hydroxyl radical ( $\cdot\text{OH}$ ) reaches the

maximum when the concentrations of the two polysaccharide extracts are  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , and the clearance rates of water-extracted polysaccharide and alkali-extracted polysaccharide are 40.32% and 39.86%, respectively. The inhibition ability to superoxide anion ( $\text{O}_2^-$ ) reaches the maximum when the water-extracted polysaccharide concentration is  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , while the alkali-extracted polysaccharide concentration is

收稿日期: 2013-05-16

修回日期: 2013-08-12

作者简介: 董兰芳(1987-), 女, 实习研究员, 主要从事水产动物天然产物开发的研究。

\* 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 11107011-6); 广西科学院基本科研业务费项目(12YJ25HYS20) 资助。

\*\* 通讯作者: 张 琴(1982-), 女, 博士, 副研究员, 主要从事水产动物天然产物开发的研究。E-mail: celery996@yahoo.com.cn.

600 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . Their inhibition rates are 9.91% and 5.86%. In short, antioxidant activity of water-extracted polysaccharide is higher than that of alkali-extracted polysaccharide.

**Key words:** *Sipunculus nudus*, polysaccharide, antimicrobial activity, antioxidant activity

方格星虫 (*Sipunculus nudus*), 俗称“沙虫”, 隶属星虫动物门、方格星虫纲、方格星虫属, 为世界广布性种类, 中国沿海从南到北均有分布<sup>[1,2]</sup>。方格星虫具有丰富的营养物质, 我国多种本草中记载了其食用和药用价值, 东南沿海民间称其为“海洋冬虫夏草”<sup>[3]</sup>。现代医药研究表明方格星虫富含多种活性成分, 具有清肺、滋阴降火和健脾功能, 有些地区用其代替冬虫夏草使用, 主治骨潮热、阴虚盗汗、胸闷、肺癆咳嗽、痰多、夜尿症及牙肿痛等症<sup>[4~7]</sup>。目前国内对方格星虫的研究主要集中于繁殖发育<sup>[8~11]</sup>、营养生理<sup>[12~14]</sup>、药用价值<sup>[4,7,15]</sup>及环境毒理<sup>[16,17]</sup>等方面, 对其多糖抗菌和抗氧化活性的研究仅有零星报道<sup>[18]</sup>。多糖同核酸、蛋白质一样是所有生命有机体的重要组成部分, 广泛地存在于动物细胞膜、植物和微生物细胞壁中, 是一类具有广泛生物活性的生物大分子物质。近年来, 随着生物学、化学等学科的飞速发展, 对多糖及其复合物的化学结构和生物活性的研究也越来越深入。本实验以方格星虫为材料, 通过水提和碱提方格星虫粗多糖, 探讨了两种方法提取的粗多糖提取率和多糖质量分数以及粗多糖抗菌和抗氧化活性等问题, 为进一步研究方格星虫的药用价值, 开发海洋多糖类药用资源提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验用方格星虫购自北海市南珠水产品市场, 平均体质量为 25.3g。

试验菌种: 枯草芽孢杆菌, 白葡萄球菌, 金黄色葡萄球菌, 大肠杆菌, 副溶血弧菌, 鳃弧菌, 藤黄八叠球菌。实验菌种由广西海洋生物技术重点实验室提供。

### 1.2 方格星虫粗多糖的提取与纯化

用剪刀将鲜活的方格星虫纵向剖开, 体壁用蒸馏水洗涤, 经高速组织匀浆机匀浆打碎成糊状。体壁肉酱一部分加入 6 倍体积 6% NaOH, 50 $^{\circ}\text{C}$  提取 4h, 调 pH 值 7.0, 9000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 30min (KR25i, 美国 Thermo 公司出品), 弃去沉淀, 得上清液; 另一部分加 2 倍体积超纯水, 煮沸提取 3h, 过滤, 残渣继续加水煮沸 2h 和 1h, 合并 3 次滤液离心得上清液。用三氯乙酸去蛋白 2~3 次, 加乙醇至终浓度为 75%, 4 $^{\circ}\text{C}$  沉淀过夜。4 $^{\circ}\text{C}$ , 9000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 10min, 沉淀以无水乙醇、丙酮洗涤多次, 置通风处晾干后超纯水溶

解, 用截留相对分子量为 10000 以上的玻璃纸流水透析 48h, 乙醇再沉淀, 离心, 冷冻干燥 (Coolsafe 1104L, Denmark, 丹麦 LaboGene 公司出品) 得到方格星虫粗多糖。

### 1.3 粗多糖质量分数测定

精密称取 100 $^{\circ}\text{C}$  干燥至恒重的对照葡萄糖 508.5mg, 加水溶解, 定容于 200mL 容量瓶中, 配成 2.5425 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  的葡萄糖标准溶液。吸取稀释 5 倍的葡萄糖标准溶液 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mL 置于 20mL 的干燥刻度试管中, 加超纯水至体积均为 1.0mL, 再分别加入 5% 苯酚 2.0mL, 摇匀, 迅速加入浓硫酸 3.0mL, 冷却至室温, 490nm 处测定其吸光度 (UV6300, 上海美谱达公司出品), 以浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标绘制标准曲线。将葡萄糖溶液换成粗多糖用同样的方法测定吸光度, 参照标准曲线获得多糖浓度。

### 1.4 多糖抗菌活性的测定

将提取的方格星虫粗多糖, 用无菌水配制成 6.25 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  多糖溶液备用。采用圆形纸片法<sup>[19]</sup>进行方格星虫粗多糖抗菌实验。具体方法为: 分别刮取供试菌菌苔于 5mL 无菌水中, 震荡摇匀得菌悬液, 倒入经高压灭菌并冷却至 40~45 $^{\circ}\text{C}$  的培养基中, 摇匀后, 迅速分装于培养皿中, 待凝固后, 取已消毒过的圆形滤纸 (直径  $D = 6\text{mm}$ ) 用移液枪注入多糖提取液 20 $\mu\text{L}$ , 滤干后贴于培养基平板上, 同时作一溶剂空白对照。置 37 $^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱中培养 24h 后分别观察结果, 测量抑菌圈的大小。以上步骤均按无菌条件操作, 每个样品设 3 个平行样, 结果取平均值。抑菌效果判断标准为:  $D \leq 8\text{mm}$  为不敏感,  $8\text{mm} < D \leq 13\text{mm}$  为低度敏感,  $13\text{mm} < D \leq 19\text{mm}$  为中度敏感,  $D > 19\text{mm}$  为高度敏感。

### 1.5 多糖抗氧化活性的测定

#### 1.5.1 羟自由基清除率

羟基自由基测定采用 Smimoff 的方法测定<sup>[20]</sup>, 利用 Feton 体系测试, 并略作改动。配制一定浓度的多糖溶液以及浓度为 8.0mmol/L 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 8.0mmol/L 的  $\text{FeSO}_4$  和 8.0mmol/L 的水杨酸-乙醇溶液备用。取上述配制的  $\text{FeSO}_4$ , 水杨酸-乙醇溶液各 1.0mL 于试管中, 分别加入 1.0mL 不同浓度的多糖溶液, 再分别加入 1.0mL  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 摇匀, 37 $^{\circ}\text{C}$  水浴 30min, 以蒸馏水做参比, 于 510nm 处测其吸光度值。

实验均重复操作 3 次,结果取平均值。

### 1.5.2 超氧自由基抑制率

超氧自由基测定采用改良的邻苯三酚自氧化法<sup>[21,22]</sup>,取 50mmol/L Tris-HCl 缓冲液 4.5mL(pH=8.2)和 4.2 mL 蒸馏水混匀后在 25℃ 水浴中保温 20 min,取出后分别加入不同浓度的多糖溶液 1mL 和 25mmol/L 邻苯三酚 0.4mL(空白管用 8 mmol/L HCl 代替邻苯三酚溶液)。充分混匀后,于 25℃ 水浴锅中准确反应 5min 后(加入邻苯三酚时开始计时),立即加入 8mmol/L HCl 溶液终止反应,在 320nm 处测定吸光度。实验均重复操作 3 次,结果取平均值。

### 1.6 计算与统计分析

羟基自由基清除率(%) =  $(A_0 - A_f) / A_0 \times 100\%$ , 式中:  $A_0$ —试剂空白液的吸光值;  $A_f$ —加入多糖溶液后的吸光值。

超氧自由基抑制率(%) =  $(A_n - A) / A_n \times 100\%$ , 其中  $A_n$ —邻苯三酚的自氧化速率;  $A$  为加入多糖溶液后邻苯三酚的自氧化速率。

采用 SPSS 13.0 for Windows 对所得数据进行方差分析,若差异达到显著,则进行 Tukey 多重比较,显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种方法提取的方格星虫多糖提取率和多糖质量分数

从表 1 可以看出,两种方法提取的方格星虫多糖提取率和多糖质量分数有一定差异。碱提多糖的提取率和多糖质量分数均远远高于水提多糖,说明碱性条件更适于方格星虫多糖物质的释放,杂质较容易除去。动物多糖主要存在细胞质间质中,多糖常常与蛋白质结合,碱提适用于多糖与蛋白质间结合型的转化,通过蛋白多糖中的糖肽键对碱的不稳定性,达到对多糖的提取<sup>[23]</sup>。

### 2.2 两种方法提取的方格星虫多糖的抗菌活性

两种方法提取的方格星虫多糖对供试的 7 种细菌显示出不同程度的抑制作用,实验结果见表 2。

除对大肠杆菌的抑制作用水提多糖强于碱提外,对其它细菌的抑制作用均是碱提强于水提。水提多糖对枯草芽孢杆菌的抑菌圈大于 13mm,小于 19mm,属中度敏感;对副溶血弧菌的抑菌圈小于 8mm,属不敏感;对其它细菌的抑制作用均为低敏感。碱提多糖对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌及鳃弧菌的抑菌圈大于 8mm,小于 13mm,均属低敏感;对白葡萄球菌和副溶血弧菌的抑菌圈在 13mm 和 19mm 之间,属中度敏感;对枯草芽孢杆菌和藤黄八联球菌

的抑菌圈大于 19mm,属高度敏感。

表 1 两种方法提取的方格星虫多糖的提取率和多糖质量分数(%)

Table 1 The yield and content of crude *S. nudus* polysaccharides extracted by two methods (%)

提取方法 Extraction methods	多糖提取率 Yield of polysaccharide	多糖质量分数 Content of polysaccharide
水提 Water-extraction	0.92	28.6
碱提 Alkali-extraction	1.58	56.0

表 2 两种方法提取方格星虫多糖的抑菌圈直径 (mm)

Table 2 The inhibition zone diameters of crude *S. nudus* polysaccharides extracted by two methods (mm)

细菌种类 Species of bacteria	抑菌圈直径 Inhibition zone diameters	
	水提多糖 Water-extracted polysaccharide	碱提多糖 Alkali-extracted polysaccharide
大肠杆菌 <i>E. coli</i>	13.3±0.28	12.2±0.14
枯草芽孢杆菌 <i>B. subtilis</i>	13.85±0.21	21.1±0.42
白葡萄球菌 <i>S. cremoris</i>	12.1±0.14	14.2±0.21
金黄色葡萄球菌 <i>S. aureus</i>	10.1±0.35	12.4±0.21
副溶血弧菌 <i>V. parahemolyticus</i>	6.0±0.00	14.1±0.24
鳃弧菌 <i>V. anguillarum</i>	10.3±0.07	12.1±0.21
藤黄八叠球菌 <i>S. lutea</i>	11.1±0.14	26.9±0.78

注:表中所给数据为 3 个重复的平均值±标准误。

Note: Values are means ± S. E. of three replicates.

动物多糖中壳聚糖的抗菌性已被广泛证实,有关相对分子质量能影响其抗菌性的报道较多,郑连英等<sup>[24]</sup>通过考察不同分子量壳聚糖对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌性能,发现随壳聚糖分子量的增大,其对金黄色葡萄球菌的抑制作用逐渐增强,对大肠杆菌的抑制则恰恰相反;Hong 等<sup>[25]</sup>研究发现,对 G<sup>-</sup> 细菌的抑制壳聚糖相对分子质量为 7kDa 时较好,过大或过小抑制效果都会减弱;吴迪等<sup>[26]</sup>在大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的菌悬液内加入相对分子质量  $20 \times 10^4$  Da 的壳聚糖,发现细菌的细胞壁发生了明显缺失。另外,由于革兰氏阳性菌和阴性菌的细胞壁组成和厚薄不一样,其抑菌原理也有所差异。阳性菌的细胞壁较厚结构紧密,其抑制方式主要是大分子多糖吸附在细胞表面并成膜,阻止营养物质的运输达到抑菌目的;阴性菌细胞壁薄,有一层外脂膜,大分子成分难进入,其抑制方式主要是基于小分子成分进入菌体细胞内,引起絮凝,影响其新陈代谢以达到抑菌目的<sup>[19,27]</sup>。这在一定程度上解释了相对分子质量对多糖抗菌性能有影响的原因。

该研究结果表明,除对大肠杆菌的抑制作用差别不大外,方格星虫碱提多糖对其它 6 种供试菌的抑制

作用均强于水提多糖。原因可能是,水、碱抽提处理时,多糖成分中的侧链和糖苷键结构不同程度地降解断裂<sup>[19]</sup>,多糖相对分子质量出现差异,使其抗菌活性也表现出一定的差异。碱性条件对多糖的降解、破坏程度较高,造成碱提多糖相对分子质量不均一,分布范围较宽,易得到对细菌抑制较好的多糖分子;热水提取条件则相对温和,水提多糖相对分子质量的分布范围较窄,对细菌的抑制有一定的局限性。

### 2.3 两种方法提取的方格星虫多糖的抗氧化性

#### 2.3.1 对羟自由基清除率的影响

由图1可看出,两种方法提取的方格星虫多糖对羟自由基的清除作用均随多糖浓度的增加而显著增大( $P < 0.05$ ),并且当多糖浓度持续增大时( $> 800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ),两种方法提取的多糖对羟自由基的清除效果均趋于平缓。当多糖浓度小于  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时,水提多糖的清除能力高于碱提多糖,当多糖浓度大于  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时,两种方法提取的多糖清除率接近相等。水提和碱提多糖均在  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时对羟自由基的清除能力最大,清除率分别为 40.32% 和 39.86%。

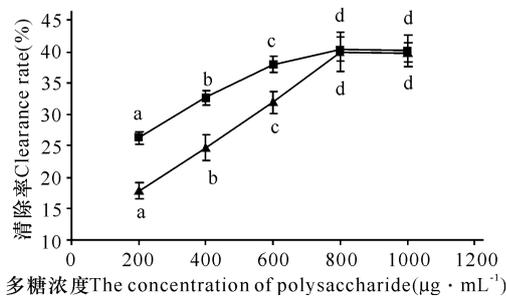


图1 两种方法提取的多糖对羟自由基清除率

Fig. 1 The clearance rate of polysaccharides extracted by two methods to hydroxyl radical

注:图中不同字母标记的表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters in the figure denote significant differences( $P < 0.05$ ).

#### 2.3.2 对超氧自由基抑制率的影响

两种方法提取的方格星虫多糖对超氧自由基的抑制作用与对羟自由基的清除作用保持相同的趋势,与多糖浓度成显著正相关( $P < 0.05$ )(图2)。无论多糖浓度大小,水提多糖的超氧自由基抑制率均大于碱提多糖。水提多糖和碱提多糖分别在浓度为  $800 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  和  $600 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时对超氧自由基的抑制作用最大,抑制率分别为 9.91% 和 5.86%。

生物体在代谢过程中产生的自由基,主要是超氧自由基和羟自由基以及它们的活性衍生物,过多的自由基可导致细胞和组织器官损伤,诱发机体的许多功能障碍和疾病,如炎症、肿瘤、衰老和辐射损伤等<sup>[28]</sup>。

研究表明,多糖具有清除自由基的抗氧化作用。王莅莎等<sup>[29]</sup>经碱性蛋白酶和胃蛋白酶两次酶解提取的鲍鱼脏器粗多糖具有较强的清除羟自由基能力和一定的还原能力。李军等<sup>[30]</sup>从南海海星中提取多糖并研究其抗氧化性,结果表明海星多糖可有效清除羟自由基和超氧自由基。该研究结果显示,方格星虫多糖对羟自由基和超氧自由基均有一定的抑制作用,但抑制能力尤其是对超氧自由基的抑制能力较弱。不同提取对方格星虫多糖的抗氧化性有影响,原因可能是活性多糖在不同的体系中溶解度不同或者在不同体系中结构发生改变<sup>[31]</sup>,热水提取条件较碱液提取温和,一定程度上避免了活性多糖的降解,因而水提多糖的抗氧化性较碱提多糖高。

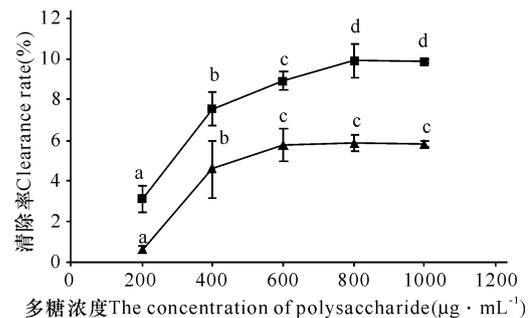


图2 两种方法提取的方格星虫多糖对超氧自由基抑制率

Fig. 2 The inhibition rate of polysaccharides extracted by two methods to superoxide radical

注:图中不同字母标记的表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters in the figure denote significant differences( $P < 0.05$ ).

### 3 结论

(1)不同对方格星虫多糖的提取率和多糖质量分数具有较大的影响,碱提粗多糖的提取率和多糖质量分数均高于水提多糖;

(2)两种方法提取的方格星虫粗多糖对7种供试菌显示出不同程度的抑制作用,不同提取方法获得的方格星虫粗多糖抗菌能力不同,碱提多糖强于水提多糖;

(3)两种方法提取的方格星虫粗多糖对羟自由基和超氧自由基均有一定的抑制作用,但抑制能力不强。

总体来看,碱提法在多糖提取率、多糖质量分数及抗菌活性方面均优于水提法,碱提法更适合方格星虫多糖的提取。

参考文献:

[1] 李凤鲁,孔庆兰,史贵田,等. 中国沿海方格星虫属(星虫  
Guangxi Sciences, Vol. 20 No. 4, November 2013

- 动物门)的研究[J]. 青岛海洋大学学报,1990,20(1):93-99.
- [2] 李凤鲁,周红. 中国沿海星虫动物门名录[J]. 青岛海洋大学学报,1992,22(2):72-86.
- [3] 陈细香,林秀雁,卢昌义,等. 方格星虫属动物的研究进展[J]. 海洋科学,2008,32(6):66-70.
- [4] 章超华,铃木健,吉江由美子. 沙虫干呈味及功能成分研究[J]. 湛江海洋大学学报,1999,20(2):24-27.
- [5] 谢宗墉. 海洋水产品营养与保健[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社,1991:57-58.
- [6] 郑建仙. 功能性食品:第2卷[M]. 北京:中国轻工业出版社,1999:191-192.
- [7] 沈先荣,蒋定文,贾福星,等. 方格星虫延缓衰老作用研究[J]. 中国海洋药物,2004(1):30-32.
- [8] 蒋艳,蔡德建,邹杰,等. 方格星虫苗种池塘中间培育试验研究[J]. 广西科学,2010,17(3):175-177.
- [9] 邹杰,蒋艳,彭慧婧,等. 方格星虫亲体培育试验[J]. 渔业现代化,2010,37(3):30-33.
- [10] 文雪,蒋艳,王志成,等. 两种不同规格方格星虫苗种滩涂养殖试验比较[J]. 科学养鱼,2011,6:35-36.
- [11] 童潼,邹杰,蔡德建,等. 方格星虫消化道发育与摄食研究[J]. 广西科学院学报,2011,27(3):218-220.
- [12] 张琴,董万平,董兰芳,等. 饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能、体组成及消化酶活性的影响[J]. 渔业科学进展,2011,32(6):99-106.
- [13] 张琴,董万平,董兰芳,等. 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成的影响[J]. 渔业科学进展,2012,33(1):86-92.
- [14] 董兰芳,张琴,童潼,等. 不同生长发育阶段方格星虫氨基酸组成的研究[J]. 南方水产科学,2012,8(5):60-65.
- [15] 蒋定文,沈先荣,贾福星,等. 海洋星虫提取物的营养分析及免疫调节作用的初步观察[J]. 中国生化药物杂志,2004,25(2):96-97.
- [16] 刘旭佳,蒋艳,蔡德建,等. 方格星虫苗种池塘中间培育过程水环境因子变化研究[J]. 广西科学,2009,16(3):289-292.
- [17] 陈静,刘志刚,李罗英,等. 3种药物对裸体方格星虫稚虫的急性毒性试验[J]. 南方水产科学,2012,5(1):54-58.
- [18] 夏乾峰,谭河林,覃西,等. 方格星虫多糖抗菌活性的初步研究[J]. 中国热带医学,2007,7(12):2192-2193.
- [19] 张雅利,梁花香,曹娜. 提取方法对柿多糖提取率及生物活性的影响[J]. 食品与生物技术学报,2008,27(6):18-22.
- [20] 林丽清,黄丽英,郑艳洁,等. 金线莲多糖的提取及清除氧自由基作用的研究[J]. 福建中医学院学报,2006(5):42-45.
- [21] 金铭,蔡亚欣,李金荣,等. 邻二氮菲-Fe<sup>2+</sup>氧化法检测H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>产生的自由基[J]. 生物化学与生物物理进展,1996,23(6):553-555.
- [22] Liu F, Ooi V E C, Chang S T. Free radicals scavenging activity of mushroom polysaccharide extracts [J]. Life Sci, 1997(60):763-771.
- [23] 刘玉明,钱甜甜,何颖,等. 方格星虫多糖不同提取工艺的比较[J]. 时珍国医医药,2011,22(6):1455-1554.
- [24] 郑连英,朱江峰,孙昆山. 壳聚糖的抗菌性能研究[J]. 材料科学与工程,2000,18(2):22-24.
- [25] Hong K H, Na Y P, Shin H L, et al. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002(74):65-72.
- [26] 吴迪,蔡伟民. 壳聚糖对细菌细胞壁的影响[J]. 黑龙江大学自然科学学报,2003,20(3):101-104.
- [27] 刘轮杰,吴大洋,汪涛. 壳聚糖的抗菌性研究进展与抗菌纺织品开发[J]. 纺织学报,2010,31(7):145-150.
- [28] 赵琳静,宋小平,梨方雅. 多糖及其衍生物抗氧化性质的研究进展[J]. 上海工程技术大学学报,2008,22(1):44-47.
- [29] 王莅莎,朱蓓薇,周大勇,等. 鲍鱼脏器多糖的抗氧化活性研究[J]. 食品与机械,2008,24(4):65-68.
- [30] 李军,蒋碧蓉,吴红梅,等. 海星多糖的提取分离与抗氧化活性研究[J]. 广东化工,2010,37(2):188-189.
- [31] 苏永昌,刘淑集,王茵,等. 鲍鱼内脏多糖的提取及其抗氧化活性研究[J]. 吉林农业,2010(10):170-171.

(责任编辑:尹 闯)