

孙瑞彬,高梦舒,王 茜,等. 强壮硬毛藻粗多糖的组成、理化性质和抗氧化活性[J]. 江苏农业科学,2020,48(11):206-211.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.11.041

# 强壮硬毛藻粗多糖的组成、理化性质和抗氧化活性

孙瑞彬,高梦舒,王 茜,李铂阳,邢荣莲,周革非

(烟台大学生命科学学院,山东烟台 264003)

**摘要:**为了探究强壮硬毛藻(*Chaetomorpha valida*)的开发利用价值,采用糖脲乙酸酯衍生物气相色谱法测定强壮硬毛藻粗多糖的组成,分别用硫酸-咔唑法、硫化钡-明胶比浊法测定糖醛酸、硫酸基含量,同时通过强壮硬毛藻粗多糖对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,简称 DPPH)自由基、超氧阴离子自由基和羟自由基的清除作用来评价其抗氧化活性。结果表明,强壮硬毛藻粗多糖中主要的单糖鼠李糖、岩藻糖、葡萄糖的物质的量之比为 1.00:0.11:0.21;多糖中糖醛酸、硫酸基含量分别为 5.27%、3.77%;当多糖质量浓度为 1.0 mg/mL 时,对 DPPH·和超氧阴离子自由基的清除率最高,分别为 84.5%、83.61%;当多糖质量浓度为 0.2 mg/mL 时,对羟自由基的清除率最高,为 19.9%。由研究结果看出,强壮硬毛藻粗多糖能用于食品、医药及化妆品等领域。

**关键词:**强壮硬毛藻;多糖;组成;理化性质;抗氧化活性

**中图分类号:** S184 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)11-0206-06

海洋藻类生物的生存环境异于陆生植物,其代谢产物具有独特的理化性质和生物活性<sup>[1]</sup>。海藻多糖具有抗氧化、抗病毒、抗细菌、抗凝血、免疫调

节等功效,被广泛应用于药品、保健品、化妆品等领域<sup>[2]</sup>。随着人们对抗氧化剂的认识加深以及对藻类多糖功能研究的发展,寻找天然无毒、价廉易得的抗氧化剂已经成为食品保藏技术和现代保健中不可或缺的一部分<sup>[3]</sup>。从丰富的海藻资源中寻找能开发成为天然抗氧化剂的物质已经受到国内外研究者的广泛关注<sup>[4]</sup>。藻类多糖的研究及应用以常见种类的微藻和大型藻类为主<sup>[5]</sup>。研究发现,藻类多糖的结构组成、理化性质和活性因种类而异。马尾藻中的多糖主要有褐藻糖胶、藻酸盐和褐藻淀粉 3 类,并且从不同种马尾藻中提取的褐藻糖胶、藻酸盐的质量均有显著差异<sup>[6]</sup>;海带硫酸多糖清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-

收稿日期:2019-06-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:31572622);山东省级重点实验室专项建设计划开放课题(编号:SDKL2017009-03);国家海洋局海洋生物活性物质与现代分析技术重点实验室开放课题(编号:MBSMAT-2018-04);烟台大学大学生创新创业训练计划(编号:201811066145)。

作者简介:孙瑞彬(1998—),女,山东烟台人,主要从事海洋生物活性物质研究。E-mail:15192344844@163.com。

通信作者:邢荣莲,博士,副教授,主要从事海洋生物工程研究。E-mail:xingronglian@163.com。

[13]郭 力,过世东,刘海英. 盐煮和微波加热对即食龙虾质构的影响[J]. 食品与生物技术学报,2011,30(3):376-380.

[14]Imran A, Chawalit J, Somrote K. Characterization of quality degradation during chilled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) supply chain[J]. International Food Research Journal, 2013, 20(4):1833-1842.

[15]李 燕,周培根,戚晓玉. 罗氏沼虾在不同温度贮藏期间鲜度的变化[J]. 上海海洋大学学报,2002,11(1):62-67.

[16]国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定:GB 5009.228—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

[17]毛瑞鑫,刘福军,张晓峰,等. 鲤鱼乳酸脱氢酶活性的 QTL 检测[J]. 遗传,2009,31(4):407-411.

[18]Damodarannambudiri D, Gopakumar K, 庞荣清,等. ATP 酶、乳酸

脱氢酶活性作为冷藏鱼肉变质的指标[J]. 肉品卫生,1994(3):30-31.

[19]李培迪,李 欣,李 铮,等. 冰温贮藏对宰后肌肉成熟进程的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(3):554-562.

[20]张瑞霞,张 娟,熊善柏,等. 低温处理对鲫生化特性及肉质的影响[J]. 华中农业大学学报,2008,27(4):532-535.

[21]孔有琴. 秀丽白虾乳酸脱氢酶组织的特异性[J]. 湖州师范学院学报,2008,30(2):46-48.

[22]张丽丽. 冷冻罗氏沼虾深加工研究[D]. 上海:上海海洋大学,2008.

[23]Szezeniak A S. Clasification of textural characteristics[J]. Journal of Food Science,1963,28(4):385-389.

[24]林婉玲,杨贤庆,李来好,等. 脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J]. 现代食品科技,2013(1):1-7.

2-picrylhydrazyl, 简称 DPPH) 的效果比紫菜硫酸多糖好<sup>[7]</sup>; 用碳酸钠提取的羊栖菜多糖对自由基的清除效率比较高<sup>[7]</sup>。研究不同藻类多糖的组成、理化性质和活性对于认识该藻多糖的性质及其开发利用具有十分重要的意义。

强壮硬毛藻 (*Chaetomorpha valida*) 是一种生长速度快、易采收、不易分解的可再生资源, 因不能被生物直接摄食而成为相对静止水体 (池塘、湖泊) 中的杂藻<sup>[8-9]</sup>, 在每年 5—9 月大量繁殖甚至暴发<sup>[10]</sup>。养殖水体中发现的强壮硬毛藻通常采用人工捞取后丢弃的方式处理, 不仅对环境造成污染<sup>[11]</sup>, 对资源也造成极大的浪费<sup>[10]</sup>。研究强壮硬毛藻的应用价值, 对于提升经济效益具有重要意义, 但目前的相关研究甚少。笔者在前期研究中发现, 强壮硬毛藻含有大量多糖, 而对其多糖的相关研究还未见报道。因此, 本文研究了强壮硬毛藻粗多糖的组成、理化性质和抗氧化活性, 并探讨其利用价值, 旨在为强壮硬毛藻资源的开发和利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

强壮硬毛藻采自山东东方海洋科技股份有限公司乳山分公司海参养殖区, 带回实验室后去除附着于其上的贝类、藻类等, 用过滤海水洗净, 晾干, 粉碎, 备用。试验中所用标样为天津市致远化学试剂有限公司生产的分析纯无水葡萄糖。

### 1.2 多糖的提取

称取 10 g 强壮硬毛藻粉, 加入 200 mL 蒸馏水, 沸水浴提取 2 h, 重复操作 3 次, 合并提取液。于 3 000 r/min 离心 20 min 以去除不溶性杂质, 将上清液冷却后, 加入 4 倍体积的 95% 乙醇沉淀后离心, 得强壮硬毛藻粗多糖。再将强壮硬毛藻粗糖用 Sevage 法<sup>[12]</sup>去除其中的蛋白质。

### 1.3 理化性质的测定

总糖含量的测定采用苯酚-硫酸法<sup>[13]</sup>, 糖醛酸含量的测定采用硫酸-咔唑法<sup>[14-15]</sup>, 硫酸基含量的测定采用氯化钡-明胶比浊法<sup>[14-15]</sup>。单糖组分的分析采用糖腈乙酸酯衍生物气相色谱法<sup>[16]</sup>。准确称取 15 mg 硬毛藻粗多糖样品, 加入 10 mL 浓度为 2 mol/L 的三氟乙酸于磨口试管中溶解, 严格密封, 在沸水浴条件下水解 4 h, 将水解液真空蒸干待用。称取 10 mg 标准糖和上述处理好的糖样 10 mg, 分别加入 10 mg 盐酸羟胺、0.5 mL 吡啶、1 mg 肌醇, 充分

溶解振摇后于 90 ℃ 水浴中加热反应 30 min, 取出混合液并冷却至室温, 再加入 0.5 mL 乙酸酐, 在 90 ℃ 水浴条件下继续反应 30 min 进行乙酰化, 将反应产物直接进行气相色谱分析。

按照下式计算相对质量校正因子:

$$f_{i/s} = (m_i/A_i)/(m_s/A_s) \quad (1)$$

式中:  $m_i$ 、 $m_s$  分别为待测样品、标准样品的质量 (mg);  $A_i$ 、 $A_s$  分别为待测样品、标准样品的峰面积。

各单糖组分含量 ( $P_i$ ) 计算公式如下:

$$P_i = (A_i \times f_{i/s}) / (A_1 \times f_{i/s} + A_2 \times f_{i/s} + \cdots + A_n \times f_{i/s}) \times \% \quad (2)$$

式中:  $A_i$  为待测组分峰面积;  $f_{i/s}$  为待测组分的质量因子。

### 1.4 抗氧化活性的测定

1.4.1 多糖对超氧阴离子自由基 ( $O_2^{\cdot-}$ ) 的清除作用 取 1 mL 质量浓度分别为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的多糖溶液, 加入 4.6 mL 浓度为 0.05 mol/L 的 Tris-HCl (pH 值为 8.2), 在 25 ℃ 水浴中恒温 10 min, 立即加入 0.3 mL 浓度为 0.06 mol/L 的邻苯三酚溶液, 摇匀, 10 min 后在 420 nm 波长处测得吸光度  $D_{420\text{ nm}(1)}$ 。保持其他条件不变, 以等体积的去离子水代替多糖样品溶液作为空白对照, 测得吸光度  $D_{420\text{ nm}(0)}$ <sup>[17]</sup>。以不同浓度维生素 C 替代多糖样品作为阳性对照。超氧阴离子清除率的计算公式如下:

$$\text{清除率} = [1 - D_{420\text{ nm}(1)} / D_{420\text{ nm}(0)}] \times 100\% \quad (3)$$

1.4.2 多糖对羟自由基 ( $\cdot\text{OH}$ ) 的清除作用 取 2 mL 质量浓度分别为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的多糖溶液, 分别加入 2 mL 6 mmol/L  $\text{FeSO}_4$  溶液、2 mL 0.06 mol/mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液, 摇匀后静置 10 min, 再加入 2 mL 6 mmol/L 水杨酸溶液静置 30 min, 在 510 nm 处测得吸光度  $D_{510\text{ nm}(i)}$ 。其他条件不变, 对照用去离子水代替多糖样品溶液, 测得吸光度  $D_{510\text{ nm}(x)}$ ; 样品对照用 2 mL 去离子水代替  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 测得吸光度  $D_{510\text{ nm}(j)}$ <sup>[18]</sup>。用不同浓度的维生素 C 替代多糖样品作为阳性对照。对羟自由基 ( $\cdot\text{OH}$ ) 清除率的计算公式如下:

$$\text{清除率} = [1 - (D_{510\text{ nm}(i)} - D_{510\text{ nm}(j)}) / D_{510\text{ nm}(x)}] \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $D_{510\text{ nm}(j)}$  为 2 mL 各浓度多糖溶液、2 mL  $\text{FeSO}_4$  溶液 (6 mmol/L)、2 mL 去离子水和 2 mL 水杨酸溶液 (6 mmol/L) 的吸光度;  $D_{510\text{ nm}(i)}$  为待测组吸光度。

1.4.3 多糖对 DPPH $\cdot$  的清除作用 取 2 mL 质量

浓度分别为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的多糖溶液,加入 2 mL 0.2 mol/L DPPH 溶液和 2 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液,摇匀,室温避光静置 20 min,用 95% 乙醇对分光光度计调零,在 517 nm 处测得吸光度  $D_{517\text{ nm}(a)}$ <sup>[18]</sup>。用不同浓度维生素 C 替代多糖样品作为阳性对照。对 DPPH · 清除率的计算公式如下:

$$\text{清除率} = [1 - (D_{517\text{ nm}(b)} - D_{517\text{ nm}(a)}) / D_{517\text{ nm}(c)}] \times 100\% \quad (5)$$

式中: $D_{517\text{ nm}(c)}$  为 2 mL DPPH 溶液 + 2 mL 去离子水的吸光度; $D_{517\text{ nm}(b)}$  为 2 mL 95% 乙醇 + 2 mL 多糖样品溶液的吸光度; $D_{517\text{ nm}(a)}$  为待测组吸光度。

### 1.5 数据分析

数据采用 Excel 2007 和 Origin 8.5 软件进行处

理和分析,结果以“ $\bar{x} \pm s$ ”形式表示。用统计学方差分析来检验有无显著性差异, $P < 0.05$  表示差异显著, $P < 0.01$  表示差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 理化性质的测定

结果表明,强壮硬毛藻粗多糖总糖含量为 26.77%,糖醛酸含量为 5.27%,硫酸基含量为 3.77%。用气相色谱法测得强壮硬毛藻单糖的色谱结果和 3 种标准样的色谱结果,详见图 1 至图 4。图 3 中的峰对应岩藻糖和本试验中所加参照物。由图 1 至图 4 还可看出,强壮硬毛藻粗多糖的主要成分为鼠李糖、葡萄糖和岩藻糖,鼠李糖、岩藻糖、葡萄

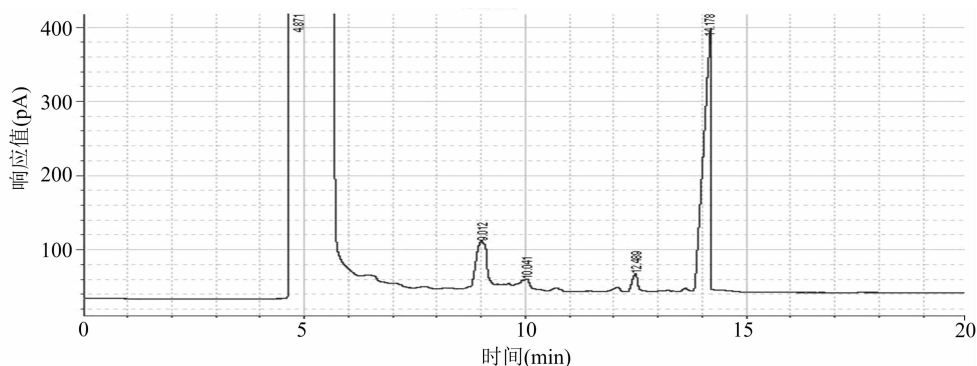


图1 强壮硬毛藻单糖的气相色谱结果

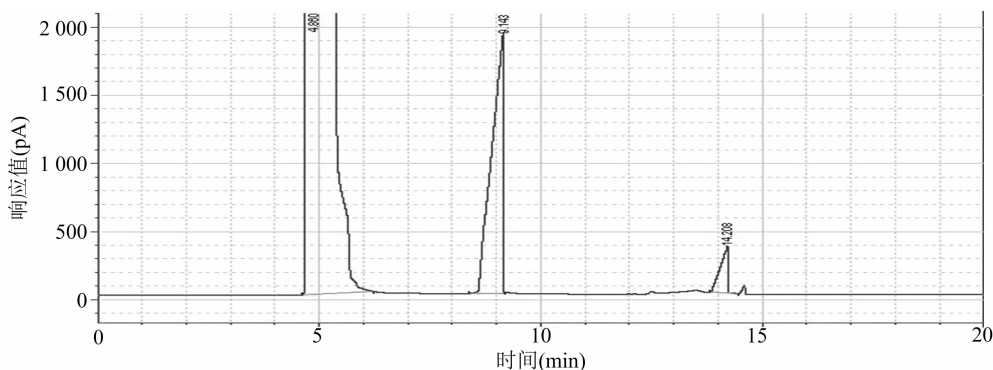


图2 鼠李糖标准样品的气相色谱结果

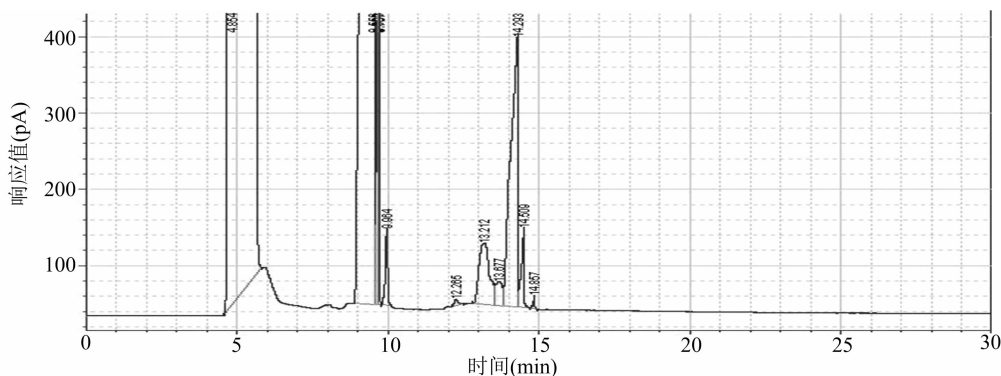


图3 岩藻糖标准样品的气相色谱结果

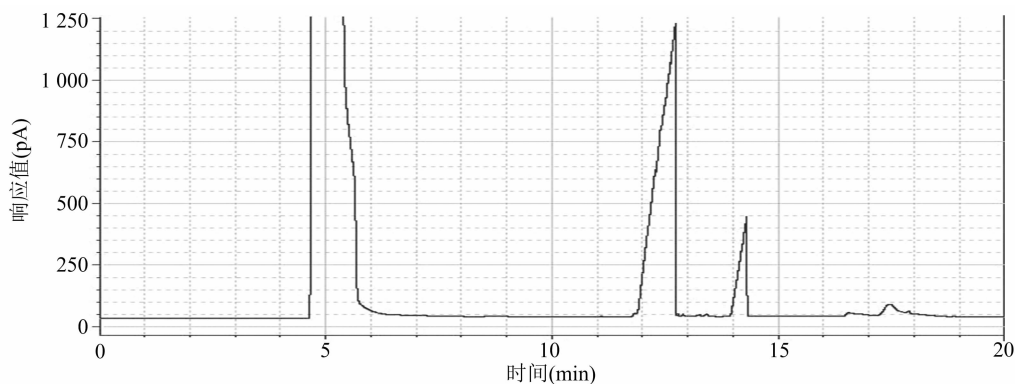
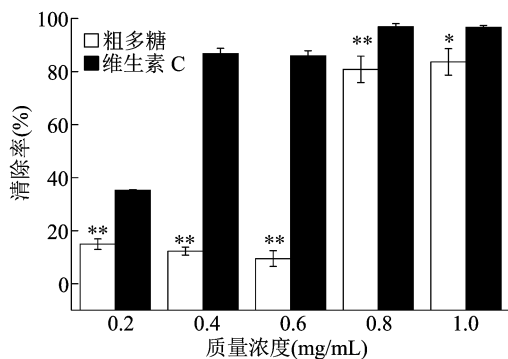


图4 葡萄糖标准样品的气相色谱结果

糖物质的量之比为 1.00 : 0.11 : 0.21, 鼠李糖占比最高, 约为葡萄糖的 5 倍, 远高于其他单糖。

## 2.2 粗多糖对超氧阴离子自由基的清除作用

由图 5 可以看出, 不同质量浓度粗多糖对超氧阴离子自由基的清除作用与维生素 C 相比差异极显著 ( $P < 0.01$ )。当粗多糖质量浓度为 0.8 ~ 1.0 mg/mL 时, 清除率较高, 当粗多糖质量浓度为 1.0 mg/mL 时, 有最大清除率, 达 83.61%; 当粗多糖、维生素 C 质量浓度为 0.2 ~ 0.8 mg/mL 时, 相同质量浓度的粗多糖、维生素 C 间对超氧阴离子的清除作用差异极显著 ( $P < 0.01$ ); 当粗多糖质量浓度为 1.0 mg/mL 时, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。



\*、\*\* 分别表示与维生素 C 相比清除率差异显著 ( $P < 0.05$ )、极显著 ( $P < 0.01$ ), 下同

图5 粗多糖和维生素 C 对超氧阴离子的清除作用

## 2.3 粗多糖对羟自由基的清除作用

经方差分析, 不同质量浓度粗多糖对羟自由基的清除作用差异显著 ( $P < 0.05$ )。由图 6 可以看出, 当质量浓度为 0.2 ~ 1.0 mg/mL 时, 粗多糖对羟自由基的清除率差异不明显且均不超过 50%; 当质量浓度为 0.4 ~ 1.0 mg/mL 时, 相同质量浓度的粗多糖和维生素 C 对羟自由基的清除作用差异极显著 ( $P < 0.01$ ); 当质量浓度为 0.2 mg/mL 时, 粗多糖、维生素 C 对羟自由基的清除作用差异显著 ( $P < 0.05$ )。

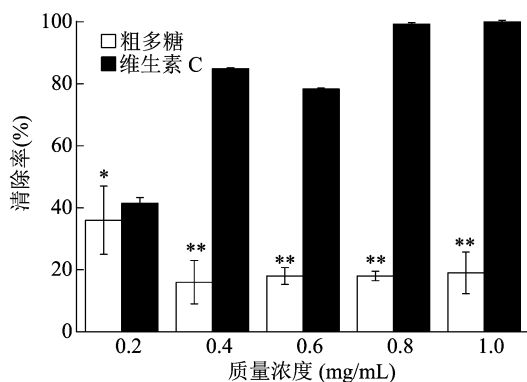


图6 粗多糖和维生素 C 对羟自由基的清除作用

## 2.4 粗多糖对 DPPH· 的清除作用

经方差分析表明, 不同质量浓度粗多糖对 DPPH· 的清除作用差异极显著 ( $P < 0.01$ )。由图 7 可知, 强壮硬毛藻粗多糖对 DPPH· 有较好的清除作用。强壮硬毛藻粗多糖对 DPPH· 的清除率随粗多糖质量浓度的升高而增大, 1.0 mg/mL 质量浓度的粗多糖对 DPPH· 的清除率最高, 达 84.5%; 当质量浓度为 0.2 ~ 0.8 mg/mL 时, 相同质量浓度的粗多糖和维生素 C 对 DPPH· 的清除作用差异极显著 ( $P < 0.01$ ); 当粗多糖、维生素 C 质量浓度为 1.0 mg/mL 时, 清除率间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

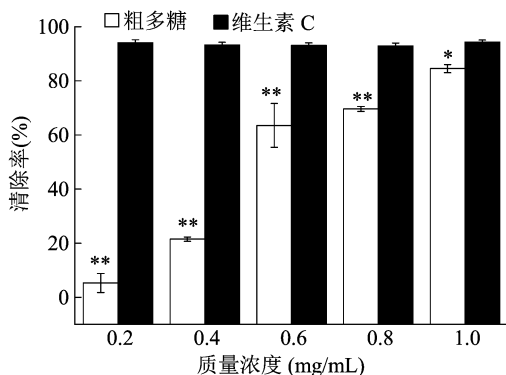


图7 粗多糖和维生素 C 对 DPPH· 的清除作用

### 3 讨论与结论

糖腈乙酸酯衍生物气相色谱法试验结果显示,强壮硬毛藻粗多糖的组成成分非常简单,以鼠李糖为主,其中鼠李糖具有提高免疫力、保护肝脏器官、减轻疲劳感等功能<sup>[19]</sup>。强壮硬毛藻粗多糖中鼠李糖含量较高,预示该粗多糖在药品、食品、保健品、化妆品等方面具有应用潜能。超氧阴离子是一种活性氧,对机体中的蛋白质、酶和 DNA 有一定的损害作用,超氧阴离子过多时,会损伤细胞或造成机体衰老、患癌等,而多糖可与超氧阴离子发生氧化反应,清除超氧阴离子,保护机体免受氧化损伤,起到抗氧化的作用<sup>[20-22]</sup>。研究发现,强壮硬毛藻粗多糖具有一定的去除超氧阴离子的能力,而且高浓度的强壮硬毛藻粗多糖对超氧阴离子的清除作用较强,能够起到良好的抗氧化作用。当粗多糖质量浓度在 0.6 ~ 0.8 mg/mL 间增加时,粗多糖清除超氧阴离子的能力随羟基数量的增加而增强,当粗多糖质量浓度较低时,羟基数量减少,而且由于羟基包裹在内部,与超氧阴离子结合的能力较弱,可能导致清除能力较低<sup>[23]</sup>。当粗多糖的质量浓度达到 0.8 mg/mL 时,粗多糖溶液提供的羟基数量迅速增多,使超氧阴离子自由基转变为稳定的化合物,因此对超氧阴离子的清除率升高。红藻如江蒿多糖对超氧阴离子的清除率达 56.2%,蜈蚣藻多糖对超氧阴离子的清除率也达 59.0%<sup>[24]</sup>。绿藻中南方团山藻多糖对超氧阴离子的清除率最高可达 90% 以上,石莼可达 40% 以上<sup>[25]</sup>。当质量浓度为 0.02 mg/mL 时,7 种不同分子量的褐藻岩藻多糖对超氧阴离子的清除率均高于 50%<sup>[26]</sup>,表明强壮硬毛藻与其他绿藻、红藻和褐藻对超氧阴离子都具有一定的清除能力,可以代替红藻、褐藻或其他绿藻应用于食品制造工艺等多个领域。

羟自由基是一种活性氧,属于强氧化剂,可与多种成分发生化学反应,过量的羟自由基会对机体造成一定的氧化损伤<sup>[27-28]</sup>。与超氧阴离子相比,羟自由基对生物体的毒性更强,危害更大<sup>[29-30]</sup>。金属离子可以和硫酸基发生螯合反应,使羟自由基的生成受到抑制<sup>[31]</sup>。强壮硬毛藻粗多糖中的硫酸基含量较少,与金属离子的螯合作用较弱,影响了羟自由基的清除作用。当反应达到一定程度时,硫酸基的减少,可能导致羟自由基清除率在粗多糖质量浓度较低时(0.2 ~ 0.4 mg/mL)迅速下降。本试验采

用强壮硬毛藻粗多糖为样品,由于分子量对多糖的生物活性有一定影响,分子量大的多糖的抗氧化活性可能略低于分子量小的多糖<sup>[21]</sup>,可能导致强壮硬毛藻粗多糖对羟自由基的清除能力较弱,硫酸根含量较低也可能是影响强壮硬毛藻粗多糖对羟自由基的清除能力的原因之一,可见在清除羟自由基方面,强壮硬毛藻粗多糖效果较弱。绿藻中的南方团扇藻和石莼对羟自由基的清除率分别为 50%、40% 以上<sup>[25]</sup>。红藻中的红蒿对羟自由基表现出了较高的清除能力<sup>[24]</sup>。褐藻岩藻多糖对羟自由基的清除作用也较强,当清除率达到 90% 时,其所需多糖的质量浓度相对较低,分子量为 64.3 ku 的多糖仅需 0.89 mg/mL<sup>[26]</sup>。由此可以看出,强壮硬毛藻与其他绿藻对羟自由基的清除能力相当,且强壮硬毛藻原料来源丰富、易大量繁殖,且价廉,也可以作为其他绿藻、红藻及褐藻的替代品或在不同领域使用。

DPPH 是一种具有单电子、稳定的、以氮为中心的化合物<sup>[32]</sup>。试验结果表明,强壮硬毛藻粗多糖对 DPPH· 的清除效果明显,清除率较高,抗氧化活性较高。由于多糖浓度升高时,硫酸基、糖醛酸含量增多,多糖的电负性增强,抗氧化活性随之增强,清除能力也有所提高<sup>[21]</sup>。绿藻中南方团扇藻、石莼对 DPPH· 的清除率分别为 70%、20%<sup>[25]</sup>。红藻江蒿、仙菜对 DPPH· 也具有一定的清除能力,清除率分别可达 57.4%、60%<sup>[24]</sup>。褐藻泡叶藻多糖对 DPPH· 的清除能力较弱,在质量浓度为 0 ~ 0.8 mg/mL 的范围内对 DPPH· 的清除率均不超过 30%。强壮硬毛藻粗多糖在质量浓度为 0.6 mg/mL 时对 DPPH· 的清除率已超过 30%<sup>[33]</sup>。以上结果表明,强壮硬毛藻相较于其他绿藻、红藻及褐藻对 DPPH· 具有更好的清除能力,可用作食品添加剂或应用到生物制药等多个领域。

由此可见,强壮硬毛藻粗多糖对羟自由基的清除能力小于对 DPPH· 和超氧阴离子自由基的清除能力,但仍具有良好的抗氧化活性。过量的自由基对多种生物具有极大的危害,会加速机体老化甚至引起多种严重疾病,如肿瘤、癌症<sup>[34]</sup>。红藻多糖的突出抗氧化活性在清除自由基、防止自由基损伤方面具有较好效果<sup>[24]</sup>,现已被应用于功能性食品添加剂和营养保健品技术等领域。研究证明,马尾藻、石莼、羊栖菜等海藻多糖已成为涂膜保鲜原材料中的新焦点<sup>[35]</sup>。褐藻岩藻多糖在食品、保健品和制药等领域有着广泛的应用<sup>[26]</sup>。由上述结果看出,强壮

硬毛藻粗多糖与部分红藻、褐藻和绿藻等都具有相当的抗氧化能力,且强壮硬毛藻也有丰富价廉等优点,因此强壮硬毛藻同样可以应用于功能性食品添加剂生产、保健品技术、食品涂膜保鲜及制药等多个领域。

本研究结果表明,强壮硬毛藻粗多糖提取率较高,抗氧化活性较强。因此将强壮硬毛藻粗多糖应用到食品、保健品、化妆品以及生物制药等领域具有良好的发展前景。

## 参考文献:

- [1] 闫忠辉,李小平,刘煜. 海洋植物来源的天然产物的研究进展[J]. 药物生物技术,2017,24(3):269-274.
- [2] Ali Ahmed A B, Adel M, Talati A, et al. Seaweed polysaccharides and their production and applications [M]//Venkatesan J, Anil S, Kim S K. Seaweed polysaccharides: isolation, biological and biomedical applications,2017:369-382.
- [3] 刘欢,陈胜军,杨贤庆. 海藻多糖的提取、分离纯化与应用研究进展[J]. 食品工业科技,2018,39(12):341-346.
- [4] 刘楠,孙永,曾帅,等. 海藻主要活性物质及其生物功能研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(8):2875-2880.
- [5] 路海霞,吴靖娜,刘智禹,等. 大型海藻多糖的制备及应用研究[J]. 渔业研究,2017,39(1):79-84.
- [6] Liu L, Heinrich M, Myers S P, et al. Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in traditional Chinese medicine: a phytochemical and pharmacological review [J]. Journal of Ethnopharmacology,2012,142(3):591-619.
- [7] 韩华,周海燕,刘承初,等. 三种藻类硫酸多糖的提取及其清除自由基活性研究[J]. 中国海洋药物,2006,25(3):33-36.
- [8] Tsutsui I, Miyoshi T, Aue - umneoy D, et al. High tolerance of *Chaetomorpha* sp. to salinity and water temperature enables survival and growth in stagnant waters of central Thailand [J]. International Aquatic Research,2015,7:47-62.
- [9] Zhang X M, Zhou Y, Liu P, et al. Temporal pattern in the bloom - forming macroalgae *Chaetomorpha linum* and *Ulva pertusa* in seagrass beds, Swan Lake lagoon, North China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014,89(1/2):229-238.
- [10] 迟永雪,王丽梅,栾日孝,等. 中国硬毛藻属新记录种——强壮硬毛藻[J]. 水产科学,2009,28(3):162-163.
- [11] Yacobi Y Z, Ostrovsky I. Sedimentation of phytoplankton: role of ambient conditions and life strategies of algae [J]. Hydrobiologia, 2012,698(1):111-120.
- [12] Zheng R J, Shi Y, Zheng J, et al. Effects of polysaccharides from abalone viscera (*Haliotis discus hannai* Ino) on MGC 803 cells proliferation [J]. International Journal of Biological Macromolecules,2018,106:587-595.
- [13] 陈新,孙维矿,赵玲,等. 米糠多糖理化性质的研究[J]. 食品研究与开发,2015,36(9):16-19.
- [14] 张媛媛,张彬. 苯酚-硫酸法与蒽酮-硫酸法测定绿茶多糖的比较研究[J]. 食品科学,2016,37(4):158-163.
- [15] 刘志超. 褐藻多糖硫酸酯对小鼠肝癌 Hca - F 细胞淋巴道转移的抑制作用[D]. 大连:大连医科大学,2015.
- [16] 郑梅霞,朱育菁,刘波,等. 微生物多糖胶质高产菌株的筛选与鉴定[J]. 食品科学,2016,37(15):171-178.
- [17] 奚光兴. 苦瓜藤多糖的分离纯化及理化性质和单糖组成研究[D]. 南昌:南昌大学,2013.
- [18] Wang J H, Xu J L, Zheng J C, et al. Physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharide from floral mushroom cultivated in Huangshan Mountain [J]. Carbohydrate Polymers, 2015,131:240-247.
- [19] 浦跃武,刘卫斌,陈志明. 鼠李糖的研究现状及其应用[J]. 食品工业科技,2002(2):84-85.
- [20] 席波,宋东辉,孙晶,等. 十种微藻粗多糖的抑菌作用及海水小球藻粗多糖的抗氧化活性[J]. 天津科技大学学报,2015,30(5):20-25.
- [21] 吴雅清,冷小鹏. 多糖体外抗氧化作用及其影响因素[J]. 广州化工,2018,46(4):4-9,16.
- [22] 胡月芳. 淮山多糖超声辅助提取及清除超氧阴离子自由基的作用[J]. 江苏农业科学,2017,45(4):144-146.
- [23] 王金玺,顾林,孔凡伟,等. 鸡腿菇粗多糖的体外抗氧化性[J]. 食品科学,2012,33(13):79-82.
- [24] 聂磊,谢子强,廖宝林,等. 深圳海滨潮间带常见海藻活性研究[J]. 现代食品,2017,9(17):81-84.
- [25] 马军,侯萍,陈燕,等. 几种海藻多糖抗氧化活性及体外抗脂质过氧化作用的研究[J]. 南方水产科学. 2017,13(6):98-103.
- [26] 王鸿,张甲生,严银春,等. 褐藻岩藻多糖生物活性研究进展[J]. 浙江工业大学学报,2018,46(2):209-215.
- [27] 郑捷,孙凯华,高芯,等. 海参斑软骨多糖的提取及其体外抗氧化活性分析[J]. 中国食品添加剂,2018(7):114-121.
- [28] 曹学彬,王建波,邢荣莲,等. 北极海参不同酶解多肽的抗氧化活性与高效液相色谱分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):211-214.
- [29] 元美花,姜成哲,崔明勋,等. 蓝莓粗多糖对自由基的清除作用及其抗溶血性[J]. 延边大学学报(自然科学版),2013,39(4):260-263.
- [30] 吕佳妮. 铁皮石斛根中石斛多糖提取优化及抗氧化活性研究[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [31] 王贺,方学智,杜孟浩,等. 茶粕多糖纯化及其理化特性、抗氧化和抑菌活性[J]. 食品工业科技,2019,40(3):48-53.
- [32] 王婉愉,李姣,王霄凯,等. 沙葱水提液体外抗氧化及  $\alpha$ -葡萄糖苷酶与胰脂肪酶抑制作用的研究[J]. 食品研究与开发,2019,40(3):1-6.
- [33] 虞娟,林航,高炎,等. 泡叶藻多糖的提取及其抗氧化活性研究[J]. 广东化工,2016,43(14):18-20.
- [34] 李晓萌,汲晨锋,季宇彬. 硫酸化海藻多糖及其生物活性研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2017,33(1):11-14.
- [35] 侯萍,马军,李铭,等. 海藻多糖用于食品涂膜保鲜的研究现状[J]. 热带农林科学,2016,36(4):82-85.