

海藻中抗氧化、保湿功能活性物质的研究进展

The research progress of antioxidant and moisturizing active substance in seaweed

吴燕燕¹, 张婉^{1,2}, 李来好¹, 杨贤庆¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300; 2. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

中图分类号: TS254.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)09-0138-05
doi: 10.11759/hyxx20140729002

海藻是海洋生物资源的重要组成部分, 是低等隐花植物, 主要分为四大类——蓝藻(Cyanophyta)、绿藻(Chlorophyta)、红藻(Rhodophyceae)和褐藻(Phaeophyceae), 另外还包括硅藻(Diatom)、甲藻(Gymnodinium)、金藻(Chrysophyceae)等微藻^[1], 全世界海洋中生长约有 30 000 余种海藻。海藻中存在着许多结构新颖独特的化合物, 例如: 脂类、酚类、多糖类、萜类, 含硫化合物等。这些化合物赋予海藻许多神奇功能, 抗菌抗肿瘤、抗氧化、保湿功能等。海藻来源广泛, 成本低廉, 本身含水量高, 具有良好的抗菌抗氧化性, 是人们添加至护肤品中用来美容护肤的好选择。作者主要就海藻中具有抗氧化、保湿性的活性物质做重点介绍, 了解国内外研究现状, 为进一步研究天然保湿剂应用于日化产品提供参考。

1 海藻中抗氧化活性物质研究现状

1.1 海藻多糖的抗氧化功能研究

海藻中含有丰富的多糖, 占海藻干质量的 50% 以上。海藻多糖是一类多组分的混合物, 由不同的单糖基通过糖苷键相连而成, 是海藻细胞间和细胞内各种高分子碳水化合物的总称^[1]。海藻多糖按来源可分为红藻多糖、褐藻多糖、绿藻多糖等^[2]。红藻多糖普遍含有半乳糖, 例如, 位于南太平洋海域的红藻中半乳糖含量从 14% 至 47% 不等^[3]。另外, 红藻多糖中也存在半乳糖衍生物、葡萄糖、木糖、甘露糖等单糖以及琼胶、卡拉胶、红藻淀粉等多糖组分。褐藻多糖主要组分有褐藻胶、海带淀粉、褐藻糖胶、海藻纤维素等, 其中多数海藻含岩藻聚糖。绿藻多糖主要含有树胶醛糖、甘露聚糖、葡聚糖等多糖成分。

卡拉胶、岩藻聚糖、琼胶等组分已在医药、化工、食品及护肤产业中得以应用。目前国内外多采用超氧阴离子体系、羟自由基体系、红细胞溶血试验体系和 DPPH 体系等来评价海藻多糖的体外抗氧化活性, 其中有新技术方法如化学发光法、大肠杆菌法、电子自旋光谱法等。采用这些方法能对海藻多糖的抗氧化过程进行深入和较准确的定位。

1.1.1 褐藻多糖抗氧化研究

马尾藻(*Sargassum pallidum*)属褐藻, 在中国黄海、渤海等沿岸地区盛产。马尾藻多糖成分多而复杂, 叶红^[1]将其分离纯化后得 3 种纯度较高的多糖组分, 3 种多糖对 DPPH 自由基(23.838%、13.232%、12.828%)和 $\cdot\text{OH}$ (68.391%)有一定的清除率, 同时表明清除率会随多糖浓度增大而增大。马尾藻多糖的抗过氧化氢溶血能力随着浓度的增加而升高, 对超氧阴离子也具有一定的清除作用, TAC(抗氧化能力)值能高达 62.55%^[4]。同样做为褐藻的海带(*Laminaria japonica*), 其粗提物及酸水解产物甘露糖醛酸寡糖、古罗糖醛酸寡糖对超氧阴离子自由基($\cdot\text{O}_2^-$)清除作用也随浓度增大而提高^[5]。根据海带多糖的动物实验结果可推测: 提高生物体内 SODCAT 等抗氧化酶的活性, 降低过氧化脂质分解的最终产物丙二醛的含量是海带多糖抗氧化的途径之一^[6]。Hu^[7]等从一种裙带菜 *Undaria pinnatifida* 海藻中提取出两种硫酸化多

收稿日期: 2014-07-29; 修回日期: 2014-11-06

基金资助: 国家自然科学基金青年基金项目(21205138); 广东省海洋经济创新发展区域示范专项(GD2012-A01)

作者简介: 吴燕燕 (1969-), 女, 广东揭阳, 研究员, 博士, 主要从事水产品加工与质量安全控制研究, E-mail: wuyygd@163.com

糖,其抗氧化性能比去硫酸化多糖抗氧化性能更强,这表明,抗氧化活性应与硫酸盐含量有关。

1.1.2 红藻多糖抗氧化研究

巴西江蓐藻(*Gracilaria birdiae*)、杉藻(*Gigartina skottsbergii*)、红海藻(*Schizymenia binderi*)均属红藻,从这些藻中提取的硫酸多糖均有良好的抗氧化能力^[8-9],其中江蓐硫酸多糖对 $\cdot\text{OH}$ 的 IC_{50} 值达1.73mg/mL。

1.1.3 其他藻类多糖抗氧化研究

除了褐藻、红藻外,蓝绿藻等藻类也同样存在硫酸多糖。两种金门藻 *Pavlova viridis*、*Sarcinochrysis marina* 中水溶性硫酸多糖对 DPPH、羟自由基、脂质过氧化、鼠红细胞都有很好的清除作用,且低分子量的多糖比高分子量的多糖表现出更好的抗氧化能力^[10]。螺旋藻多糖对 Fenton 反应产生的 $\cdot\text{OH}$ 最大清除率能达 80.3%,对光照核黄素产生的($\cdot\text{O}_2^-$)清除率高达 70.0%,清除效应比 Vc 更持久稳定,其体内和体外抗氧化测试结果说明螺旋藻多糖是一种稳定、高效的抗氧化剂^[11]。经证实,浒苔(*Enteromorpha*)多糖对羟基自由基和超氧阴离子自由基均有不错的清除能力^[12]。

由此可见,不论是褐藻、红藻、蓝藻或绿藻类,其中多糖成分均有一定的抗氧化功能。水溶性小分子多糖和带硫酸基团的多糖能发挥更好的抗氧化活性。这些多糖的抗氧化性多具有浓度依赖效应,即随浓度的增大抗氧化性增强。根据优先排阻学说^[1]推测,小分子糖类优先与水结合,从蛋白质分子的溶剂化层排除出来,使蛋白质的分子结构和构象更稳定,从而抵御外界极端环境的影响。这可能是小分子多糖抗氧化能力优于大分子量多糖抗氧化能力的原因之一。

1.2 海藻多酚的抗氧化功能研究

海藻多酚是植物体内最普遍存在的次生代谢物质和唯一的分子水平上的防御物质,有阻食及毒害两方面的作用。多酚物质具有清除自由基、螯合金属离子、自身解离氢离子、吸收紫外光等性质,因此起到抗氧化作用。目前,以 DPPH 体系、羟自由基体系、烷基自由基引发的亚油酸氧化体系为基本的抗氧化指标来测定海藻多酚的研究得到推广。许多研究也表明不同藻类所含多酚含量决定了其有机提取物的抗氧化活性强弱。

1.2.1 褐藻多酚抗氧化研究

褐藻多酚是褐藻中的一类天然产物,含量丰富,

能达藻体干质量 1%~10%^[13]。韩国产褐藻铁钉菜(*Ishige okamurae*)中一系列多酚化合物有很强的自由基清除能力,其中一种褐藻多酚成分对 DPPH 清除率(IC_{50} =3.41mmol/L)和烷基自由基清除率(IC_{50} =4.92mmol/L)很高,甚至优于抗坏血酸^[14]。昆布(*Ecklonia cava*)也存在多种 phlorotannins 类多酚化合物,用亚油酸模型和电子自旋共振法及 DCFH-DA 和膜蛋白氧化法对其进行自由基消除和抗氧化试验,发现其体外抗氧化作用很强^[15]。Athukorala 等^[16]也从昆布中提取粗多酚发现 DPPH 的清除率能高达 70%,比相同浓度下的商业用叔丁基羟基茴香醚(BHA)和二叔丁基对甲酚(BHT)抗氧化性更高。Chew 等^[17]研究了扇藻(*Padinaantillarum*)、总状蕨藻(*Caulerpa racemosa*)和长心卡帕藻(*Kappaphycus alvarezzi*)3种海藻的 TPC(总酚含量)和 AOA(抗氧化能力),发现扇藻不仅具有最高的 TPC 值和抗坏血酸能力,而且有最强的还原能力和金属螯合能力。扇藻属于褐藻,总状蕨藻属于绿藻,长心卡帕藻属于红藻,由此推测褐藻多酚具有更强的抗氧化能力。

1.2.2 红藻多酚抗氧化研究

加拿大海域的红皮藻(*Palmaria palmata*)多酚提取物,能够抑制 AAPH 对脂质的诱导氧化($P \leq 0.03$)^[18]。3种印度红海藻:珊瑚藻(*Euchema kappaphycus*)、印度江蓐藻(*Gracilaria edulis*)、刺枝鱼栖苔(*Acanthophora spicifera*)^[19]中江蓐藻的石油醚提取物中总酚含量最高(相当于每克提取物中有 16.26 mg 没食子酸),刺枝鱼栖苔的乙酸乙酯提取物总抗氧化活性最高(相当于每克提取物中有 32.01 mg 抗坏血酸),这3种藻的甲醇提取物均有不错的体外抗氧化活性且与提取物浓度有相关性。红藻松节藻(*Rhodomela confervoides*)和红藻多管藻(*Polysiphonia urceolata*)的溴酚类化合物也具有一定的抗氧化活性^[20],有研究发现红藻中分离的溴代多酚清除自由基能力比丁羟甲苯还高。

褐藻多酚比红藻多酚的过羟基自由基清除能力强,但单线态氧淬灭能力比红藻弱(<13%)^[21]。20多种藻类多酚含量和还原力经对比,褐藻多酚的还原力最强,其中鼠尾藻(*Sargassum thunbergii kuntze*)多酚含量最高,红藻的还原力次之,绿藻的还原力较弱,各类藻的还原力与其多酚含量呈显著正相关性^[22]。可见,褐藻多酚在食品、化工、化妆品、医药等产业具有良好的抗氧化应用前景。

1.3 海藻蛋白抗氧化功能研究

1.3.1 藻胆蛋白抗氧化性研究

海洋肽的抗氧化性已得到研究和认可,最近几年,一些海洋肽开始在护肤品中应用,比如:可莱海洋肽、海蓝之谜面霜、安捷丽娜海洋修复肽、DHC美容液等产品。护肤实验和消费者使用后表明,添加有海洋肽物质的护肤品,确实有助于延缓皮肤老化和修复肌肤损伤。随着美容产业的发展,国内外学者及生产企业开始寻求从海洋藻类中获取能应用于化妆品的活性成分,但是海藻中多肽类物质的抗氧化研究尚处于基础阶段。

藻胆蛋白是一类捕光性色素蛋白,主要存在于蓝藻、红藻及部分隐藻中。藻胆蛋白主要包含藻红蛋白(phycoerythrin)、藻蓝蛋白(phycocyanin)和别藻蓝蛋白(allphycocyanin)。医学界常用这类蛋白作为荧光探针用于检测诊断,而藻胆蛋白同时还有抗氧化抗肿瘤等功能。

坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)中藻胆蛋白有清除 $\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}_2^-$ 的活性,同时能提高小鼠全血过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽氧化物酶(GSG—Px)和血清总SOD活性^[23]。*Porphyra columbina*红藻中藻红蛋白的抗氧化性表现出浓度依赖效应且与多酚含量也有关系^[24]。钝顶螺旋藻(*Spirulina platensis*)C-藻蓝蛋白(phycocyanin)含硒量最高(402mg/kg)时,对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}_2^-$ 清除作用(35%和83%)比其他淡水藻类相应蛋白更强^[25]。螺旋藻藻蓝蛋白对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除作用能修复DNA损伤,且抗氧化作用与抑制肿瘤坏死因子 α (TNF- α)及NO产生有关^[26]。以上研究表明藻体内的藻胆蛋白通过多种途径发挥其抗氧化性,达到保护机体适应环境的目的。

1.3.2 类菌胞素氨基酸(MAAs)的抗氧化性研究

类菌胞素氨基酸(mycosporine-like amino acids简称MAAs)是一大类以环己烯酮为基本骨架,通过不同类型氨基酸缩合作用形成的具有抗紫外辐射的水溶性氨基酸^[27]。其广泛分布于红藻、蓝藻、细菌、真菌及水生动物体内。红藻较褐藻和蓝绿藻相比含MAAs的范围和含量相对较高^[27]。MAAs通过吸收紫外光辐射防止细胞组织损伤而起抗氧化作用。

念珠藻(*Nostoc commune*)属于蓝藻,其含有的糖基化MAAs体外清除自由基的活性最高达27%^[28]。集胞藻(*Synechocystis* sp. PCC 6803)、隅江藓(*Gracilaria cornea*)中MAAs含量均受UV辐照影响,且有一定的光保护和抗氧化作用^[29-30]。粘球藻

(*Gloeocapsa* sp. CU2556)属于蓝藻,从其中提取的2种MAAs成分在紫外辐射、压力、强氧化剂等理化压力下均表现出稳定的抗氧化活性,且活性强弱与浓度有关^[31]。研究表明,紫菜中MAAs化合物对卵磷脂氧化有一定的抑制作用且有较好的自由基清除效应,对紫菜中提取的MAAs化合物应用于防晒霜中也进行了初步的研究^[32]。MAAs类物质有20多种不同成分,其中多种成分有不同发色基团或糖基,猜测这些衍生物都是在应对严峻的环境下为保护细胞不受损伤的应激反应而产生的。例如南极冰藻(*Antarctic ice alga*)^[33]应对UV-B辐射时,其中抗辐射的蛋白及氨基酸色素物质能大量合成,分泌至胞外水体中,消除紫外线作用于水体产生羟自由基对细胞的伤害。同时说明MAAs类物质也能通过多种路径发生抗辐射抗氧化反应。

1.4 其他抗氧化活性物质研究

凹顶藻(*Laurencia*)萜类化合物(LET)也是一类独特的海洋活性物,其对酒精暴露大鼠的抗氧化实验表明LET能提高小鼠体内超氧化物歧化酶(SOD)活力,对酒精造成的机体氧化损伤有保护作用^[34]。另有文献报道,质体醌类(Plastoquinone)化合物、苯甲醛类次级代谢产物都具有清除DPPH的能力。

2 海藻中保湿活性物质研究现状

2.1 海藻多糖保湿性能研究

海藻多糖是海藻中重要的有机成分,不仅有抗氧化、抗肿瘤、抗辐射等的活性,还具有可观的吸湿能力和保湿能力。虽然已有“水替代”、“玻璃态”和“优先结合”的假说,但是这些假说并不足以解释各种海藻多糖是如何吸湿保湿而保护机体的。创造不同的相对湿度环境和干燥的硅胶环境,与卡拉胶寡糖、壳聚糖、透明质酸、芦荟胶、丙三醇等常用护肤品保湿剂进行对比参考是海藻多糖进行吸湿保湿活性测定方法之一。影响海藻多糖吸湿能力的因素有海藻的品种、硫酸基团、分子量等。

研究表明,从5种藻类:日本真海带(*Saccharina japonica*)、坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)、松藻(*Codium fragile*)、绿管浒苔(*Enteromorpha linza*)、羽藻(*Bryopsis plumose*)中提取的低分子量的硫酸多糖吸湿和保湿能力甚至比透明质酸更好^[35]。褐藻胶寡糖(81%的环境吸湿率达108.9%),吸湿保湿能力不亚于丙三醇和聚乙二醇^[36]。众多研究表明,海带粗提物、

褐藻酸钠寡糖、褐藻糖胶等都有良好的吸湿保湿性, 保湿效果甚至优于甘油、山梨醇以及天然多糖添加剂壳聚糖。其中硫酸基团的存在对吸湿保湿能力起了很大作用, 部分低分子量的多糖比高分子量多糖保湿效果更好, 推测是因为小分子糖能吸收更多水分才达到饱和状态。

2.2 海藻活性物质在护肤产品中的应用

海藻作为来源广泛的海洋资源, 含有丰富的天然活性物质, 目前, 这些活性物质除了一些在保健食品、海洋药物方面有较大的应用之外, 其抗氧化、抗辐射、抗菌和保湿等功能活性物质也适合应用于日用化工等领域。但海藻中活性物质应用于化妆品产业刚刚起步。

闫鸣艳等^[37]以狭鳕鱼(*Theragra chalcogramma*) 皮胶原多肽 3.7%, 海藻糖 6.5%, 藻蓝蛋白 0.12% 的配比制得具有良好稳定性效果的面膜。美国森馨 Sensient 日化科技推出 AP 成膜剂, 将普罗兰多糖、山梨糖醇和海藻糖等糖类物质及 10% 的盐含量混合研制, 作为睫毛膏具有增厚效果^[38]。SK-II 唯白晶焕莹透修护霜中蕴含从法国褐藻中提取的多酚物质, 达到抑制黑色素形成的效果。倩碧柔肤精华露含有褐藻精华, 具有保湿和吸收多余油脂作用。另外, 海藻中丰富的 SOD(超氧化物歧化酶)添加于化妆品中主要用作自由基清除剂, 在抗衰老护肤品中也得以应用。

3 展望

综上所述, 海藻作为海洋中最重要的生物之一, 其中丰富的抗氧化保湿物质有不可估量的经济价值。然而对海藻各类物质的具体成分、抗氧化机理和保湿机理的研究还尚为少见。海藻中天然成分例如 MAAs、海藻多糖、多酚化合物等特殊物质在保健食品、海洋药物、护肤品、化工产品中的应用还处于初期发展阶段。从研究热点及发展方向来看, 可从以下方面做进一步研究。

(1) 海藻多糖、多酚、氨基酸蛋白类的抗氧化机理的完善。

(2) 如何将海藻中具有保湿、抗氧化、抗辐射的天然成分高效提取、纯化并安全添加于各类轻工化工产品, 达到保湿、抗氧化、抗辐射的作用。

(3) 如何将海藻中有效的抗菌物质添加护肤品中而减少甚至消除由护肤品引起的皮肤敏感现象。

中国是藻类资源非常丰富的国家, 在以往的开发应用中, 大多数非食用性藻类常作为饲料以及食品添加剂使用, 海藻的利用价值得以局限。相信海藻作

为天然抗氧化剂、防腐剂、保湿剂的原材料, 其中的活性物质在各行业也会有巨大的发展空间, 创造更大的经济价值。

参考文献:

- [1] 叶红. 马尾藻多糖的分离纯化、生物活性及结构分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [2] 洪泽淳, 方晓弟, 赵文红, 等. 海藻多糖的研究进展[J]. 农产品加工学刊, 2012, 8: 93-97.
- [3] 林晓芝, 唐渝, 张渊明, 等. 海藻多糖的组成及结构光谱分析[J]. 化学通报, 2005, 12: 911-917.
- [4] Vijayabaskar P, Vaseela N. In vitro antioxidant properties of sulfated polysaccharide from brown marine algae *Sargassum tenerrimum* [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 2012: S890-S896.
- [5] 赵丹, 汪秋宽, 张慧怡, 等. 海带粗提物及褐藻酸钠寡糖的保湿与抗氧化作用研究[J]. 水产科学, 2012, 6: 358-362.
- [6] 刘会娟. 海带多糖的生物活性研究新进展[J]. 甘肃畜牧兽医, 2010, 5: 38-42.
- [7] Hu T T, Liu D, Chen Y, et al. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fractions extracted from *Undaria pinnatifida* in vitro[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 46: 193-198.
- [8] Souza B W S, Cerqueira M A, Bourbon A I, et al. Chemical characterization and antioxidant activity of sulfated polysaccharide from the red seaweed *Gracilaria birdiae* [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 27: 287-292.
- [9] Barahona T, Chandía N P, Encinas María V, et al. Antioxidant capacity of sulfated polysaccharides from seaweeds. A kinetic approach[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25: 529-535.
- [10] Sun L Q, Wang L, Li J, et al. Characterization and antioxidant activities of degraded polysaccharides from two marine Chrysophyta[J]. Food Chemistry, 2014, 160: 1-7.
- [11] 李铃, 高云涛, 戴云, 等. 螺旋藻及螺旋藻多糖体外清除活性氧及抗氧化作用研究[J]. 化学与生物工程, 2007, 3: 55-57.
- [12] 魏鉴腾, 裴 栋, 刘永峰, 等. 浒苔多糖的研究进展[J]. 海洋科学, 2014, 38(1): 91-95.
- [13] 周贞兵. 马尾藻多糖与多酚的提取及其活性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2002.

- [14] Heo S J, Kim J P, Jung W K, et al. Identification of chemical structure and free radical scavenging activity of diphlorethohydroxycarmalol isolated from a brown alga, *Ishige okamurae*[J]. Microbiol Biotechnol, 2008, 18(4): 676-681.
- [15] Li Y, Qian Z J, Ryu B, et al. Chemical components and its antioxidant properties in vitro: an edible marine brown alga, *Ecklonia cava*[J]. Bioorg Med Chem, 2009, 17(5): 1963-1973.
- [16] Athukorala Y, Kim K N, Jeon Y J. Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, *Ecklonia cava*[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44: 1065-1074.
- [17] Chew Y L, Lim Y Y, Omar M, et al. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia[J]. LWT, 2008, 41: 1067-1072.
- [18] Yuan Y V, Carrington M F, Walsh N A. Extracts from dulse (*Palmaria palmata*) are effective antioxidants and inhibitors of cell proliferation in vitro[J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43: 1073-1081.
- [19] Ganesan P, Kumar C S, Bhaskar N. Antioxidant properties of methanol extract and its solvent fractions obtained from selected Indian red seaweeds[J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 2717-2723.
- [20] 闫慧丽. 红藻中溴酚类化合物的合成与抗氧化活性研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2011.
- [21] Sachindra N M, Airanthi M K W A, Hosokawa M, et al. Radical scavenging and singlet oxygen quenching activity of extracts from Indian seaweeds[J]. J Food Sci Technol, 2010, 47(1): 94-99.
- [22] 赵国玲, 刘承初. 不同种类海藻多酚含量和还原力的对比研究[C]//中国水产学会, 2009年中国水产学会学术年会论文摘要集, 2009: 153.
- [23] 钱晓婕, 陈舜胜, 付杰. 坛紫菜中藻胆蛋白的提取及其抗氧化活性研究[J]. 中国海洋药物, 2008, 2: 42-45.
- [24] Cian R E, Salgado P R, Drago S R, et al. Development of naturally activated edible films with antioxidant properties prepared from red seaweed *Porphyra columbina* biopolymers [J]. Food Chemistry, 2014, 146: 6-14.
- [25] 成华, 向文洲, 吴华莲, 等. 海水螺旋藻 C-藻蓝蛋白富硒及其抗氧化特性[J]. 热带海洋学报, 2008, 5: 60-65.
- [26] 郝玮, 潘凌. 螺旋藻藻蓝蛋白生理活性的研究进展[J]. 医学综述, 2006, 2: 111-113.
- [27] 陈小兰, 邓国宾, 刘开庆, 等. 水生生物的紫外光防护剂——类菌胞素氨基酸[J]. 植物学通报, 2006, 1: 78-86.
- [28] Matsui K, Nazifi E, Kunita S, et al. Novel glycosylated mycosporine-like amino acids with radical scavenging activity from the cyanobacterium *Nostoc commune*[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2011, 105: 81-89.
- [29] Zhang L W, Li L Z, Wu Q Y. Protective effects of mycosporine-like amino acids of *Synechocystis* sp. PCC 6803 and their partial characterization[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2007, 86: 240-245.
- [30] Sinha R P, Klisch M, Gröniger A, et al. Mycosporine-like amino acids in the marine red alga *Gracilaria cornea* — effects of UV and heat[J]. Environmental and Experimental Botany, 2000, 43: 33-43.
- [31] Rastogi R P, Incharoensakdi A. UV radiation-induced biosynthesis, stability and antioxidant activity of mycosporine-like amino acids (MAAs) in a unicellular cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. CU2556[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2014, 130: 287-292.
- [32] 贺庆梅. 海藻中紫外线吸收物质的制备与特性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [33] 缪锦来, 阚光锋, 李光友, 等. UV-B 辐照培养下南极冰藻的形态和超微结构及主要生化组成的变化[J]. 中国海洋药物, 2003, 6: 3-7.
- [34] 逢丹, 梁惠, 贺娟, 等. 海藻萜类化合物对酒精暴露大鼠抗氧化作用[J]. 中国公共卫生, 2008, 4: 464-466.
- [35] Wang J, Jin W H, Hou Y, et al. Chemical composition and moisture-absorption/ retention ability of polysaccharides extracted from five algae[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 57: 26-29.
- [36] 许雷, 李湛, 周火兰, 等. 酶解褐藻胶寡糖的吸湿及保湿性能研究[J]. 日用化学工业, 2011, 1: 42-45.
- [37] 闫鸣艳, 秦松, 冯大伟, 等. 狭鳕鱼皮胶原多肽组合物水洗面膜的研制[J]. 日用化学工业, 2011, 3: 194-199.
- [38] 宋永波. 护肤品配方中的天然活性成分[J]. 日用化学品科学, 2013, 3: 44-46.

(本文编辑: 谭雪静)