

浒苔中生物活性物质的研究进展

Research progress on the bioactive compounds of seaweed *Enteromorpha*

金浩良, 徐年军, 严小军

(宁波大学 生命科学与生物工程学院 教育部应用海洋生物技术重点实验室, 浙江 宁波, 315211)

中图分类号: R151.3; TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)04-0100-07

浒苔(*Enteromorpha*)属于绿藻门(*Chlorophyta*)、石莼目(*Ulvales*)、石莼科(*Ulvaceae*), 是一类广温、广盐、耐干性的大型海藻, 常生长在高、中、低潮带砂砾、岩礁和石沼中。在世界范围内分布于俄罗斯远东海岸、日本群岛、马来群岛和欧洲沿岸等海域。在中国各海区均有分布, 属黄海、东海海域优势种^[1]。虽然近年来有些科学家认为浒苔应该归属于石莼属(*Ulva*), 但由于 *Enteromorpha* 沿用已久, 且作者所述进展囊括了 *Enteromorpha* 为检索词的所有种的资料, 所以最终采用 *Enteromorpha*, 而不采用 *Ulva*。2008 年北京奥运会前夕, 中国山东青岛爆发了以浒苔为主的绿潮灾害, 范围之大, 前所未有, 浒苔也因此进入了公众的视线。其实浒苔在近海分布非常广泛, 适温范围比较广, 生物量较大, 在浙江福建沿海, 浒苔被当作美味食品, 在菜场超市随处可见, 并远销日本韩国。《本草纲目》中记载浒苔可“烧末吹鼻止衄血, 汤浸捣敷手背肿痛”^[2], 说明浒苔作为民间药物的由来已久。然而, 到目前为止, 浒苔的生物活性物质及药物研发还没有系统报道。作者从抗肿瘤、抗氧化、抗细菌、抗病毒、抑藻和共附生微生物活性等几个方面对浒苔生物活性进行了综述, 旨在为浒苔活性物质的研究开发提供基础性资料。

1 抗肿瘤、抗氧化等活性

据不完全统计, 海洋植物提取物中有 3.5% 具有抗肿瘤活性。国内外学者^[3]对浒苔的研究中发现, 浒苔也具有抗肿瘤、抗氧化活性。如陈南岳等^[3]发现浒苔等海洋生物对鼻咽癌 CNE-2Z 细胞的生长产生明显抑制作用。Noda 等^[4]对 46 种海藻进行了抗肿瘤活性筛选, 发现 7 种海藻对 Ehrlich 肿瘤细胞具有显著

抑制活性, 其中绿藻中浒苔的抑制活性最强, 其对 Ehrlich 细胞的抑制率为 51.7%。

浒苔中的蛋白质、脂溶性色素都有一定的抗肿瘤活性。Lee 等^[5]研究了浒苔的胃蛋白酶水解产物, 通过凝胶柱层析分离得到 2 个具有较强的抗癌活性的低分子量多肽。Tang 等^[6]利用移植小鼠 SV-T2 细胞为模型, 发现条浒苔甲醇提取物具有选择性抗肿瘤活性, 并运用 Sephadex G50 凝胶渗透色谱法获得了两个抗癌蛋白质组分。脂溶性色素主要有 β -胡萝卜素和脱镁叶绿素 a 等。如 Okai 等^[7]对日本常见可食性海藻的抗肿瘤活性筛选过程中, 发现浒苔(*E. prolifera*)和紫菜(*Porphyra tenera*)具有较强的抗诱变、抗促癌活性, 浒苔中抗诱变作用的有效成分可能是 β -胡萝卜素(图 1)。Okai 等^[8-9]发现浒苔提取物对由化学物质诱发的小鼠上皮肿瘤细胞具有很强的抑制作用, 并通过进一步研究证实脱镁叶绿素 a(图 2)在这个过程中发挥了强大作用。Nishibori 等^[10]运用正己烷:乙醇提取了浒苔中脂类成分, 并通过硅胶柱层析分离和抗氧化活性检测, 结合高效液相色谱纯化和核磁共振技术解析了具有较强抗氧化活性的组分: 脱镁叶绿素 a(图 2)。

浒苔多糖具有较强的抗肿瘤、抗氧化和抗病毒活性。如赵素芬等^[11]从 3 种绿藻中提取出多糖并进行体外抗肿瘤研究, 发现肠浒苔多糖在 24、48、72 h

收稿日期: 2009-07-07; 修回日期: 2009-11-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40876073); 浙江省钱江人才计划资助项目(2007R10038); 教育部创新团队资助项目(IRT0734); 浙江省自然科学基金资助项目(Y507263); 宁波市自然科学基金资助项目(2007A610071)。

作者简介: 金浩良(1986-), 男, 浙江海宁人, 硕士生, 主要从事海藻生物技术学研究, 电话: 0574-87600458, E-mail: jhl8613384@yahoo.com.cn; 徐年军, 通信作者, 博士, 研究员, E-mail: xunianjun@nbu.edu.cn

时均对肿瘤细胞 K562 生长具有一定抑制作用。Jiao 等^[12]发现肠浒苔多糖对肿瘤细胞没有直接的细胞毒活性,但口服后对小鼠肿瘤表现出较强的抑制作用,深入研究表明肠浒苔多糖能刺激淋巴细胞增殖,促进 NO 和 TNF- α 分泌,增加细胞的吞噬作用,从而提高小鼠免疫力。于敬沂^[13]研究了错综根枝藻(*Rhizodonium implexum*)、管浒苔(*E. tubulosa*)、羊栖菜(*Sargassum fusiforme*)和孔石莼(*Ulva pertusa*)的水提粗多糖以及管浒苔多糖硫酸酯化产物的抗氧化、抗病毒活性,发现几种多糖样品对超氧负离子自由基(O_2^-)、羟自由基($HO\cdot$)和脂质自由基($R\cdot$)均有明显的抗氧化活性,硫酸酯化多糖抗氧化活性较未酯化多糖活性高。抗病毒试验表明,6 种多糖都有钝化烟草花叶病毒(TMV)粒子、保护侵染位点和抑制 TMV 粒子复制等活性,且硫酸酯化多糖的活性与硫酸化前差异不显著。薛丁萍等^[14]研究了浒苔多糖对羟自由基的清除作用,发现其水提多糖及酸提多糖对羟自由基均有一定的清除效果,且酸提多糖对羟自由基的清除能力大于水提多糖,前者在质量浓度为 2 mg/mL 时清除率高达 86.39 %。

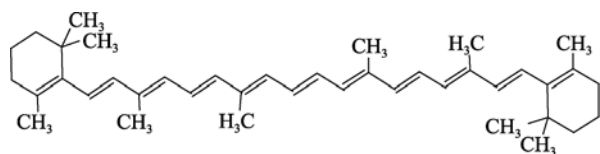
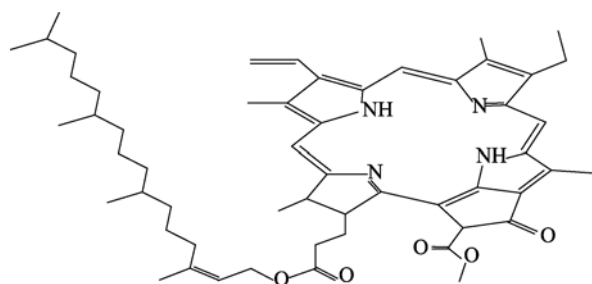
图 1 β -胡萝卜素

图 2 脱镁叶绿素 a

2 抗菌、抗病毒活性

浒苔及其提取物也具有较强的抗菌活性,如 Rizvi 等^[15]对巴基斯坦海岸 26 种海藻进行了抗菌活性筛选,发现肠浒苔对多种真菌具有抑制活性。Hellio 等^[16]研究了 30 种海藻提取物对 35 种海洋附生细菌的抑制作用,其中肠浒苔乙醇提取物对 6 种革兰氏阳性细菌具有较强的抑制活性(5~6 mm 抑菌圈),

对另 5 种革兰氏阳性细菌有一定的抑制活性(3-4 mm 抑菌圈)。Mehrtens^[17]对北极 21 种大型海藻研究发现扁浒苔(*E. compressa*)具有较高的碘代过氧化物酶活性,而该活性可能与其抗菌等化学防御作用相关。

海藻中抗菌活性物质主要有脂类、酚类、萜类、多糖类、卤化物、含硫化合物等。目前在浒苔中也已经鉴定出许多活性组分。如李凌绪等^[18]发现浒苔的乙醇提取物对甜椒灰霉菌(*Botrytis cinerea*)、链格孢菌(*Alternaria brassicae*)有较强的抑制作用,对立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)、苹果干腐菌(*Botryosphaeria dothidea*)、香蕉炭疽菌(*Gloeosporium musarum*)、镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)等植物病原真菌菌丝生长也有一定抑制作用,推测活性成分可能为酚类、糖类、内酯或甾醇。Salah 等^[19]发现曲浒苔(*E. flexuosa*)的乙酸乙酯提取物表现出抗枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)活性,并进一步分离纯化得到了 5 种化合物:棕榈酸、7-酮基胆固醇、羊毛甾醇、 β -谷甾醇、邻苯二甲酸二异辛酯(图 3)。Shahnaz 等^[20]研究发现肠浒苔甲醇提取物对 3 种细菌和 10 种真菌均具有抗菌活性,并利用质谱、核磁和 GC-MS 技术从活性提取物中分离鉴定了 β -谷甾醇、反式-植醇和多种脂肪酸物质。Awad 等^[21]分析鉴定了肠浒苔中 35 种挥发性组分、25 种脂肪酸甲酯、80 种未皂化的脂类成分,此外还分离鉴定了 24-亚甲基环木菠萝烷醇、羊毛甾醇、豆甾醇、 β -谷甾醇、岩藻甾醇、28-异岩藻甾醇、胆固醇乙酸酯和麝香草酚(图 4),并研究了挥发性物质的抗菌和驱虫活性。Sukatar 等^[22]发现缘管浒苔(*E. linza*)甲醇和氯仿提取物对 5 种革兰氏阳性细菌、4 种革兰氏阴性细菌和白色念珠菌的抗菌活性明显强于正己烷和二氯甲烷提取物活性,并运用 GC-MS 鉴定了缘管浒苔中的 35 种挥发性成分,主要有正三十四烷(8.45%)、正十七胺(6.65%)、二十二烷(6.46%)。

抗病毒方面, Hudson 等^[23]对韩国沿海的 13 种海藻进行了抗病毒活性的筛选,发现缘管浒苔具有抗单纯疱疹病毒(Herpes simplex virus, 简称 HSV)和辛德比斯病毒(Sindbis virus, 简称 SINV)病毒活性,研究还表明其抗病毒活性是直接的杀死病毒粒子的作用,而不是由于浒苔多糖和单宁质类物质的免疫增强作用和抗氧化作用。

3 抑藻活性

自 Molisch 于 1937 年首次提出“化感作用”的

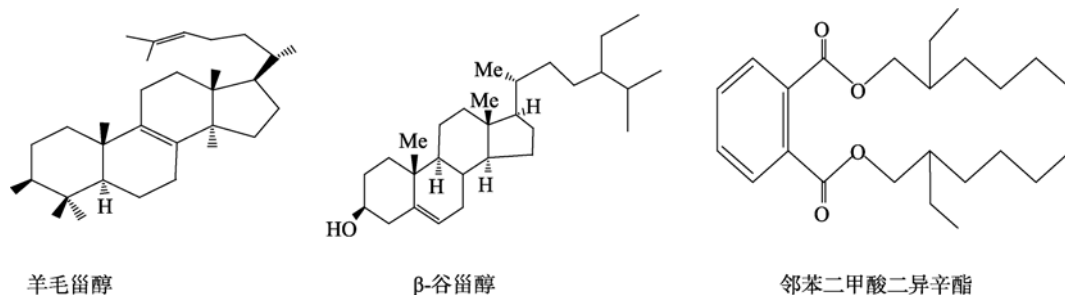


图3 羊毛甾醇、β-谷甾醇、邻苯二甲酸二异辛酯

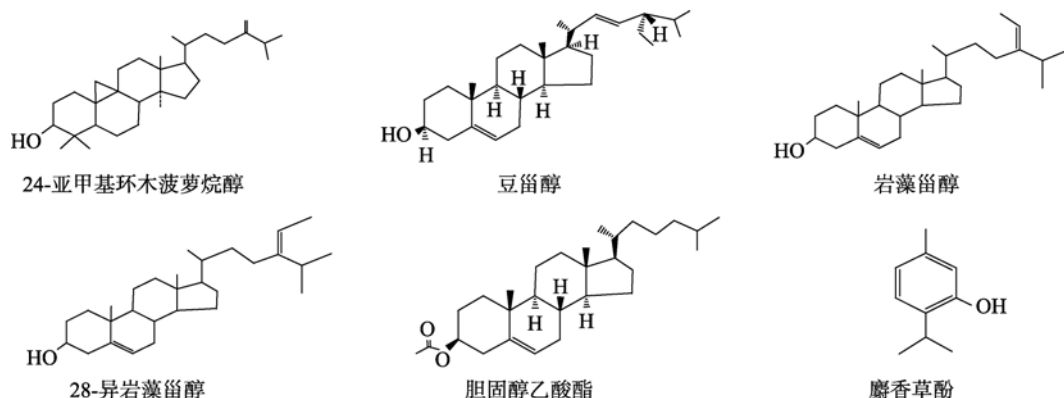


图4 24-亚甲基环木菠萝烷醇、豆甾醇、岩藻甾醇、28-异岩藻甾醇、胆固醇乙酸酯、麝香草酚

概念以来,海藻化感作用的研究也相继出现。Alamsjah 等^[24]筛选了 37 种大型海藻甲醇提取物和水提取物的抑藻活性,发现肠浒苔(*E. intestinalis*)提取物的活性仅次于石莼,对赤潮异弯藻(*H. akashiwo*)和鞭毛藻(*Fibrocapsa japonica*)都具有较强的抑制作用。许妍^[25-26]在研究几种大型海藻对赤潮异弯藻生长抑制效应中发现,缘管浒苔新鲜组织、干粉末和水过滤液均对赤潮异弯藻生长具有强烈的克生效应,并初步推测该克生物质在高温下不稳定和易分解。王兰刚等^[27]发现条浒苔及其水溶性抽提液均对三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)生长表现出明显的抑制效应,其水溶性抽提液抑制效果较鲜组织更为明显。

4 共附生微生物的活性

除浒苔本身活性物质外,其共附生微生物也具有多种生物活性。Lemos 等^[28]研究潮间带海藻附生细菌的抗菌活性时发现从肠浒苔分离的附生细菌中有 16 种具有抗金黄色葡萄球菌活性。张决等^[29]从福建漳州潮间带采集到的 10 种海藻中分离到 66 株海藻真菌,其中 34 株具有显著的抗肿瘤活性,活性最

强的是浒苔、蛎菜(*E. conglobata*)等的附生菌,从两种浒苔中分离的 30 株真菌中有 14 株对 KB 肿瘤细胞或 Raji 肿瘤细胞有抑制作用,其中有 10 株在其发酵液抽提物甲醇溶解液稀释 100 倍,5 株在稀释 1 000 倍后仍能 100%抑制 Raji 细胞。

目前从浒苔附生青霉菌中已分离出多种结构不同的化合物。如 Numata 等^[30-31]从肠浒苔附生青霉菌中分离出 Communesins A、B(图 5)以及 Penochalasin A-C(图 6)系列化合物,并证明其对人工培养的 P-388 细胞具有细胞毒性。Takahashi 等^[32]从肠浒苔附生青霉菌中分离出化合物 Penostatin A-D(图 7),并通过光谱分析鉴定了其结构,其中前 3 种对 P-388 细胞具有显著的细胞毒性。Iwamoto 等^[33-36]从肠浒苔附生青霉菌中分离出了 Penostatin E-O(图 8)以及 Penochalasin D-H(图 9)等 20 种化合物,并根据物理和化学方法鉴定了其化学结构。除 Penostatin D 外,其余 19 种化合物均对 P-388 细胞具有显著的细胞毒性。

5 其他

浒苔还具有抗炎症、降血糖、降血脂的活性。

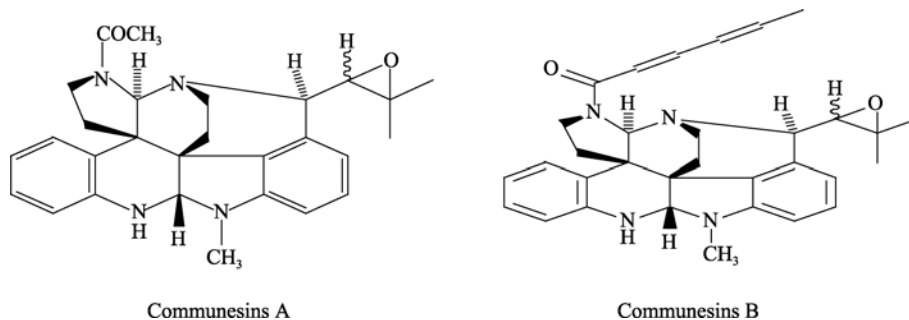


图 5 Communesins A-B

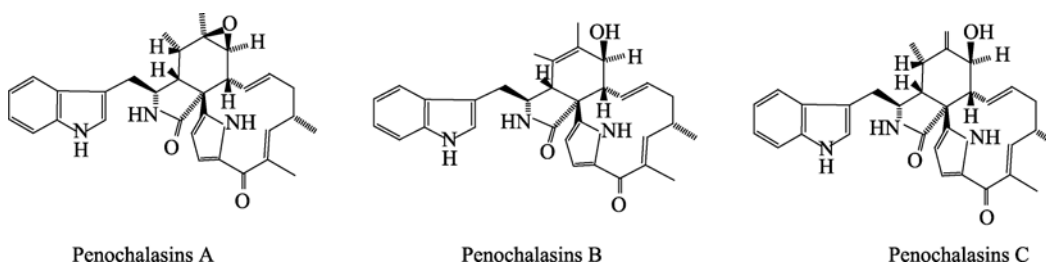


图 6 Penochalasin A-C

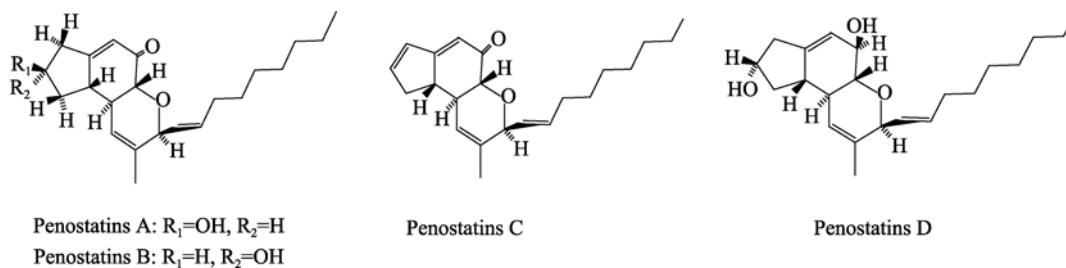


图 7 Penostatin A-D

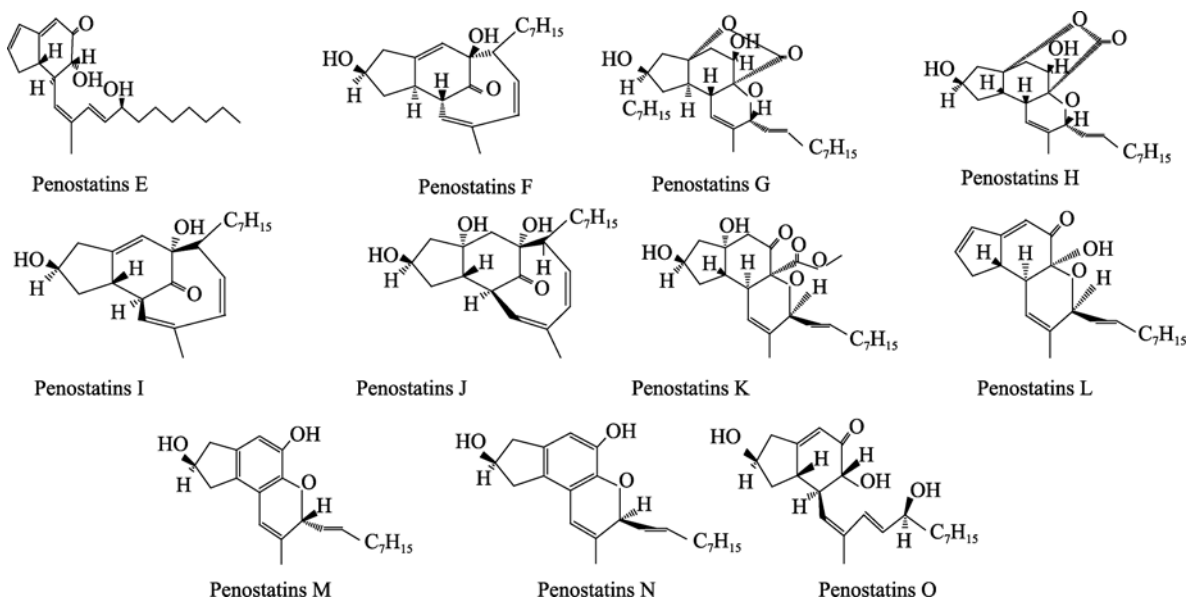


图 8 Penostatin E-O

Okai 等^[37]研究发现浒苔脱镁叶绿素 a 具有较强的抗炎活性, 它能够抑制小鼠巨噬细胞中 TPA 诱导的

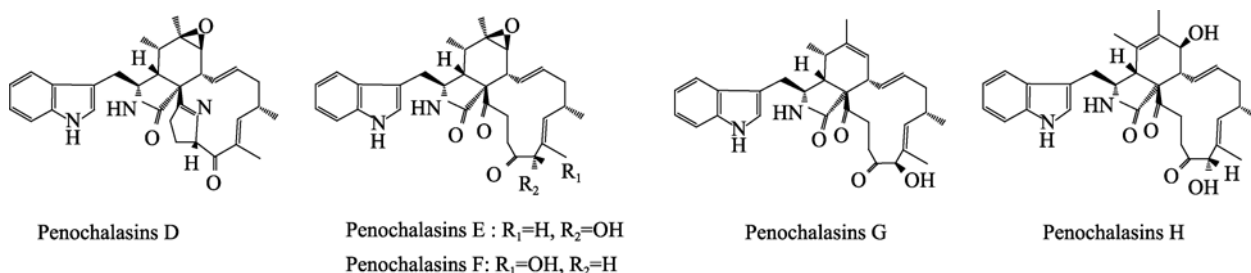


图9 Penochalasin D-H

超氧化物阴离子(O_2^-)的产生和 TPA 诱导的小鼠炎症反应,并抑制短肽链:甲酰甲硫氨酸-亮氨酸-苯丙氨酸三肽(fMLP)诱导的人类多形核细胞(PMNS)的趋化性。孙士红^[38]研究发现碱提浒苔细胞壁多糖具有明显的降血糖、降血脂的功效,其高、中、低剂量组对糖尿病小鼠的降糖率分别是 15.4%、20.3%和 14.4%。3 种剂量的多糖均能显著降低总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)和低密度脂蛋白含量,并提高高密度脂蛋白(HDL-c)含量($P<0.01$)。周慧萍等^[39]发现 150 mg/kg 的浒苔多糖可使高胆固醇血症小鼠血清胆固醇下降 22%, 168 mg/kg 可使高血脂大鼠 TC、TG 分别下降 58%和 61%, HDL 升高 27%, 血清和心脏 LPO 含量下降 35%和 46%, 250 mg/kg 可分别提高血清、脑、肝 SOD 活力 33%、118%和 224%。

此外,浒苔还具有提高免疫力的功能。如 Castro 等^[40]研究发现石莼、浒苔和角叉菜(*Chondrus crispus* Stackh)的水溶性提取物能增强大菱鲆(turbot)吞噬细胞的呼吸能力,并推断这种提高机体免疫能力的作用可能与海藻多糖活性有关。徐大伦等^[41]研究证明一定浓度的浒苔多糖(EP)能显著增强华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)血淋巴细胞中 SOD 酶和溶菌酶活力,从而增强华贵栉孔扇贝的免疫活性。在小鼠实验中,浒苔多糖能促进 T、B 细胞的增殖反应,而且对抗原提呈细胞活化所致的诱导 IFN-g 的产生有非常显著的增强作用,但对 ConA 诱导 T 细胞直接活化所致的 IFN-g 和 IL-2 的产生未见显著影响,显示出较强的非特异性免疫作用^[42]。

浒苔中还可以分离凝集素,如宋玉娟等^[43]运用硫酸铵分级、离子交换层析和分子筛层析等方法从肠浒苔中分离出具有较强耐热性的凝集素,其在 90℃ 加热 1 h 后仍然具有对单胞藻、动物细胞等的凝集活性。Ambrosio 等^[44]也从浒苔中分离出了 EPL-1 和 EPL-2 两种凝集素,它们都含有 2-2.2 万道尔顿的单链非糖基化的蛋白质, N-末端分析显示可

能是两种新的蛋白质。Li 等^[45]研究发现肠浒苔、扁浒苔提取物对 α -葡萄糖苷酶具有一定的抑制活性,其活性比石莼、缘管浒苔要强。Han 等^[46]研究了 7 种大型海藻中的甜菜碱含量,结果发现浒苔中甜菜碱的含量最高,可达其干质量的 0.9%。

6 结语

浒苔具有多种生物活性,其中主要活性成分有浒苔多糖、脂溶性色素、蛋白质多肽、甾醇、脂肪酸、挥发性成分等。由于浒苔能附生在其他养殖生物体上,常被当作一种有害生物,对其生物利用方面的工作开展的不多。但浒苔本身具有多种生物活性,也有丰富的营养物质^[47-48]。对其生物活性物质的充分利用将有利于对浒苔的控制,特别是浒苔潮的爆发,使其巨大生物资源的利用摆在科学家的面前,对其深入研究是一个具有重要研究意义的科学问题。

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] 王晓坤, 马家海, 叶道才, 等. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生活史的初步研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(5): 112-116.
- [3] 陈南岳, 赵明伦. PKC 抑制剂与六种海洋生物和中草药对鼻咽癌细胞生长的影响[J]. 中国病理生理杂志, 1996, 12(6): 596-599.
- [4] Noda H, Amano H, Arashima K, et al. Antitumor activity of marine algae[J]. Hydrobiologia, 1990, 204/205: 577-584.
- [5] Lee J M, You S G, Kim S M. Functional activities of low molecular weight peptides purified from enzymatic hydrolysates of seaweeds[J]. Korean Society of Food Science and Nutrition, 2005, 34(8): 1124-1129.
- [6] Tang H J, Inoue M, Uzawa Y, et al. Anti-tumorigenic

- components of a sea weed, *Enteromorpha clathrata*[J]. Bio Factors, 2004, 22(1-4): 107-110.
- [7] Okai Y, Higashi-Okai K, Nakamura S, et al. Suppressive effects of the extracts of Japanese edible seaweeds on mutagen-induced umu C gene expression in *Salmonella typhimurium* (TA 1535/pSK 1002) and tumor promotor-dependent ornithine decarboxylase induction in BALB/c 3T3 fibroblast cells[J]. Cancer Letters, 1994, 87(1): 25-32.
- [8] Higashi-Okai K, Otani S, Okai Y. Potent suppressive effect of a Japanese edible seaweed, *Enteromorpha prolifera* (Sujiao-nori) on initiation and promotion phases of chemically induced mouse skin tumorigenesis[J]. Cancer Letters, 1999, 140: 21-25.
- [9] Okai Y, Higashi-Okai K. Pheophytin a is a potent suppressor against genotoxin-induced umu C gene expression in *Salmonella typhimurium* (TA 1535/pSK 1002)[J]. J Sci Food Agric, 1997, 74: 531-535.
- [10] Nishibori S, Namiki K. Antioxidative substances in the green fractions of the lipids of aonori(*Enteromorpha* sp.)[J]. Journal of home economics of Japan, 1988, 39(11): 1173-1178.
- [11] 赵素芬, 吉宏武, 郑龙颂, 等. 三种绿藻多糖的提取及理化性质和活性比较[J]. 台湾海峡, 2006, 25(4): 484-489.
- [12] Jiao L L, Li X, Li T B, et al. Characterization and anti-tumor activity of alkali-extracted polysaccharide from *Enteromorpha intestinalis*[J]. International Immunopharmacology, 2009, 9: 324-329.
- [13] 于敬沂. 几种海藻多糖的提取及其抗氧化、抗病毒(TMV)活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2005.
- [14] 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.
- [15] Rizvi M A, Farooqui S, Shameel M. Bioactivity and elemental composition of certain seaweeds from Karachi coast[J]. Pakistan Journal of Marine Biology, 2000, 6(2): 207-218.
- [16] Hellio C, De L B D, Dufosse L, et al. Inhibition of marine bacteria by extracts of macroalgae: potential use for environmentally friendly antifouling paints[J]. Marine Environmental Research, 2001, 52(3): 231-247.
- [17] Mehrtens G. Haloperoxidase activities in Arctic macroalgae[J]. Polar Biology, 1994, 14: 351-354.
- [18] 李凌绪, 翟梅枝, 林奇英, 等. 海藻乙醇提取物抗真菌活性[J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2006, 35(4): 342-345.
- [19] Salah E D R A, Soliman H S M, Mahmoud I I, et al. Isolation of some chemical compounds from the green alga *Enteromorpha flexuosa* (Wulfen) J. Agardh from the Egyptian red sea[J]. Egyptian Journal of Biomedical Sciences, 2005, 17: 52-60.
- [20] Shahnaz L, Ghazala B, Shameel M. Phycochemistry and bioactivity of *Enteromorpha intestinalis* (Ulvo-phyceae, Chlorophyta) from Sindh, Pakistan[J]. International Journal of Phycology and Phycochemistry, 2006, 2(1): 59-62.
- [21] Awad N E. Phycochemical and biological studies on the green alga *Enteromorpha intestinalis* Link[J]. Egyptian Journal of Pharmaceutical Sciences, 1998, 39(4-6): 289-306.
- [22] Sukatar A, Karabay-Yavasoglu N U, Ozdemir G, et al. Antimicrobial activity of volatile component and various extracts of *Enteromorpha linza* (Linnaeus) J. Agardh from the coast of Izmir, Turkey[J]. Annals of Microbiology (Milano, Italy), 2006, 56(3): 275-279.
- [23] Hudson J B, Kim J H, Lee M K, et al. Antiviral compounds in extracts of Korean seaweeds: Evidence for multiple activities[J]. Journal of Applied Phycology, 1999, 10: 427-434.
- [24] Alamsjah M A, Hirao S, Ishibashi F, et al. Isolation and structure determination of algicidal compounds from *Ulva fasciata*[J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2005, 69(11): 2186-2192.
- [25] 许妍, 董双林, 金秋. 几种大型海藻对赤潮异弯藻生长抑制效应的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(3): 475-477.
- [26] 许妍, 董双林, 于晓明. 缘管浒苔对赤潮异弯藻的克生效应[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2681-2685.
- [27] 王兰刚, 徐姗姗, 何文辉, 等. 海洋大型绿藻条浒苔与微藻三角褐指藻相生相克作用的研究[J]. 海洋渔业, 2007, 29(2): 103-108.
- [28] Lemos M L, Toranzo A E, Barja J L. Antibiotic activity of epiphytic bacteria isolated from intertidal seaweeds[J]. Microb Ecol, 1985, 11: 149-163.
- [29] 张决, 郑忠辉, 黄耀坚, 等. 海藻真菌抗肿瘤活性的初步研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2004, 43(4): 551-556.
- [30] Numata A, Takahashi C, Ito Y, et al. Communesins, cytotoxic metabolites of a fungus isolated from a marine alga[J]. Tetrahedron letters, 1993, 34(14): 2355-2358.
- [31] Numata A, Takahashi C, Ito Y, et al. Penochalasin, a novel class of cytotoxic cytochalasins from a *Penicillium* species separated from a marine alga: structure

- determination and solution conformation[J]. J Chem Soc, Perkin Trans, 1996, 1: 239-245.
- [32] Takahashi C, Numata A, Yamada T, et al. Penostatins, novel cytotoxic metabolites from a *Penicillium* species separated from a green alga[J]. Tetrahedron Letters, 1996, 37(5): 655-658.
- [33] Iwamoto C, Minoura K, Hagishita S, et al. Penostatins F-I, novel cytotoxic metabolites from a *Penicillium* species separated from an *Enteromorpha* marine alga[J]. J Chem Soc, Perkin Trans, 1998, 1: 449-456.
- [34] Iwamoto C, Minoura K, Oka T, et al. Absolute stereostructures of novel cytotoxic metabolites, penostatins A-E, from a *Penicillium* species separated from an *Enteromorpha* alga[J]. Tetrahedron, 1999, 55: 14353-14368.
- [35] Iwamoto C, Yamada T, Enomoto S, et al. Structures for cytotoxic metabolites from a *Penicillium* species separated from a marine alga[J]. Symposium on the Chemistry of Natural Products, 1999, 41: 601-606.
- [36] Iwamoto C, Yamada T, Ito Y, et al. Cytotoxic cytochalasans from a *Penicillium* species separated from a marine alga[J]. Tetrahedron, 2001, 57: 2997-3004.
- [37] Okai Y, Higashi-Okai K. Potent anti-inflammatory activity of pheophytin A derived from edible green alga, *Enteromorpha prolifera* (sujiao-nori)[J]. Int J Immunopharmac., 1997, 19(6): 355-358.
- [38] 孙士红. 碱提浒苔多糖降血糖、降血脂生物活性研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.
- [39] 周慧萍, 蒋巡天, 王淑如, 等. 浒苔多糖的降血脂及其对 SOD 活力和 LPO 含量的影响[J]. 生物化学杂志, 1995, 11(2): 161-165.
- [40] Castro R, Zarra I, Lamas J. Water-soluble seaweed extracts modulate the respiratory burst activity of *turbot* phagocytes[J]. Aquaculture, 2004, 229: 67-78.
- [41] 徐大伦, 黄晓春, 欧昌荣, 等. 浒苔多糖对华贵栉孔扇贝血淋巴中 SOD 酶和溶菌酶活性的影响[J]. 水产科学, 2006, 25(2): 72-74.
- [42] 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.
- [43] 宋玉娟, 崔铁军, 李丹彤, 等. 肠浒苔凝集素的分离纯化及性质研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2005, 24 (1): 1-5.
- [44] Ambrosio A L, Sanz L, Sanchez E I, et al. Isolation of two novel mannan-and L-fucose-binding lectins from the green alga *Enteromorpha prolifera*: biochemical characterization of EPL-2[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2003, 415: 245-250.
- [45] Li X C, Niu R L, Fan X, et al. Macroalage as a source of a-glucosidase inhibitors[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2005, 23(3): 354-356.
- [46] Han L J, Fan X, Yan X J. The betaines from Chinese seaweeds[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2002, 20(1): 97-100.
- [47] 何清, 胡晓波, 周峙苗, 等. 东海绿藻缘管浒苔营养成分分析及评价[J]. 海洋科学, 2006, 30(1): 34-38.
- [48] 蔡春尔, 姚彬, 沈伟荣, 等. 条浒苔营养成分测定与分析[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 155-159.

(本文编辑: 谭雪静)