

浒苔的利用和研究进展

张勇^{1,2} 刘鹏霞² 程祥圣²

(1. 中国海洋大学化学化工学院 青岛 266100; 2. 国家海洋局东海环境监测中心 上海 200137)

摘要 综述国内外有关浒苔的研究动态,包括浒苔的生活习性、营养和药物方面利用以及对环境影响方面的研究进展,以期对浒苔研究工作的进一步开展提供一些参考和思路。

关键词 浒苔; 研究进展; 综合利用

浒苔是重要的经济海藻,在我国沿海一带均有自然生长,多被人们用作食品、饲料和肥料等。有关浒苔的研究很早就有,我国可以查到的最早文献记载是对1961年象山港浒苔进行的调查研究^[1]。我国浒苔资源十分丰富,仅在福建沿海每年的产量就在10万t以上,养殖海域中一年四季均可发生。

2008年浒苔的爆发对海洋环境带来极大的影响,从而加速了对浒苔杀灭技术、藻类迁移以及环境影响等方面的研究工作。本研究对目前国内外的浒苔研究情况进行综述,希望能为对浒苔的进一步研究提供一些参考。

1 国内研究进展

1.1 浒苔营养成分分析和经济价值研究

浒苔具有很高的营养价值,在国内有关其应用的报道很多。有研究表明,浒苔中粗蛋白的含量为13.21%,脂肪为1.04%,灰分为21.87%;谷氨酸的含量相对较高,占总氨基酸含量的13.80%;亚麻酸占总脂肪酸含量的15.98%。因此,浒苔是一种很有开发前途的药用保健食品^[2]。在药物利用方面,浒苔中的多糖可使高胆固醇血症小鼠血清

胆固醇下降,一定剂量的多糖可使高脂血症大鼠TCH和TG显著降低并提高血清、脑和肝SOD活力,降低高脂血症大鼠血清和心脏LPO含量^[3]。另外还有人研究纤维素酶法提取浒苔多糖的工艺条件,通过单因素试验和正交实验确定最适提取工艺条件,为多糖的进一步综合利用打下基础^[4];也有研究者针对浒苔的基本营养成分、营养特点和药用价值综述浒苔及其深加工产品在养殖业和食品工业的开发利用现状,并提出应重视浒苔的人工养殖和深加工等问题^[5-6],为浒苔在药物、食品和保健品方面的开发和利用提供条件。

1.2 浒苔的生活习性研究

浒苔属广温广盐、低辐照适应、耐酸和微嗜碱的海藻,其繁殖能力要强于藻体生长,发育具有明显的极性,其叶状体管腔内部结构对于藻体的形态发育有积极作用,主要细胞器的超微结构既具有绿藻的普遍特征又具有特异性^[7]。叶状体中细胞的发育能力和方向都具有明显的极性,通过切段培养实验发现,浒苔组织块中细胞的发育速度和规模与组织块大小和细胞在组织块中的位置有关,同时也发现浒苔细胞有5种发育途径,而且藻段中的不同

细胞可能发生不同的发育情况^[8-9]。浒苔的生活史是单倍体的配子体与二倍体的孢子体相互交替的同形世代交替,雌雄配子具有正趋光性,易大量聚集,结合后同游孢子一样都呈负趋光性^[10]。也有研究对潮间带的浒苔的光合作用进行分析,浒苔在干出状态下的光合速率具有随脱水增加而下降的趋势,而呼吸速率在脱水过程中保持稳定;光合作用受目前大气二氧化碳浓度水平的限制,大气二氧化碳浓度加倍使得浒苔暴露于空气过程中的光合作用增加 35%~52%,在严重脱水状态下光合效率与羧化效率下降,而光补偿点和二氧化碳补偿点则升高^[11]。

1.3 浒苔对其他藻类的可生效应研究

在浒苔相克作用的研究中,许妍等利用共存培养系统研究缘管浒苔对赤潮异弯藻生长的克生效应,认为缘管浒苔和培养水过滤液对赤潮异弯藻生长均有强烈的克生效应。赤潮异弯藻在缘管浒苔培养水过滤液的半连续添加方式下生长受到明显的克制作用,但在一次性培养方式下生长未受到明显的抑制作用,说明克生物质的连续分泌是有效克制赤潮异弯藻生长的关键;煮沸的大藻培养水过滤液对微藻的生长无抑制作用,表明克生物质在高温下不稳定和易分解^[12]。

冯朝的研究结果表明,温度、盐度、光照和 pH 这 4 个因子能显著影响蜈蚣藻和缘管浒苔克制东海原甲藻的效果。蜈蚣藻和缘管浒苔对东海原甲藻的最高抑制效果不是发生在东海原甲藻单养时的最适条件,而是发生在环境因子胁迫时,即较低的温度(15℃)、较低的盐度(10)、较高的光照强度($400\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和高 pH 值(10)均能增强蜈蚣藻和缘管浒苔克制东海原甲藻的效果^[13]。也有研究者研究条浒苔对赤潮藻类三角褐指藻生长的影响。结果表明,在无营养盐限制条件下,低密度条浒苔(0.3~0.7 g/L)均能抑制三角褐指藻(起始浓度 10^4 个/mL)的生长,最大抑制率为 74.5%;低起始浓度($10^2\sim10^3$ 个/mL)的三角褐指藻对条浒苔具有促生长效应,而较高起始浓度

($10^4\sim10^5$ 个/mL)的三角褐指藻在一定程度上抑制条浒苔的生长。条浒苔水溶性抽提液(0.3~0.7 g/L)对三角褐指藻的生长皆表现出明显的抑制效应,平均抑制率为 75.2%,抑制效果较条浒苔鲜组织更为明显;其最大抑制效应(84.8%)表现在接种后的第 8 天,三角褐指藻的生长抑制量随条浒苔水溶性抽提液浓度的增加而增大,表明条浒苔可能通过相生相克作用影响共培养体系中三角褐指藻的生长^[14]。

1.4 重金属对浒苔的毒性效应研究

于志刚等研究重金属铜对缘管浒苔的毒性效应。结果发现,铜对缘管浒苔的毒性效应阈值为 0.10 mg/L,0.50 mg/L 的铜使缘管浒苔迅速死亡;EDTA 可抑制铜在藻体中的累积并缓解毒性,8-羟基喹啉则促进铜在藻体中的累积并加剧毒性,认为铜离子可能首先经离子交换机制结合于藻体表面,之后逐步向细胞内转移^[15]。雷清新等研究重金属 Cd^{2+} 对肠浒苔中叶绿素 a 含量、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性及可溶性蛋白含量的影响作用,分析不同浓度 Cd^{2+} 对肠浒苔的胁迫作用。研究表明,较低浓度 Cd^{2+} 对肠浒苔 5 项指标参数值较对照组均有一定的提高,随着 Cd^{2+} 浓度的增加 5 项指标参数值均下降,即高浓度 Cd^{2+} 对肠浒苔具有明显的胁迫作用^[16]。

2 国外研究进展

2.1 药物研究

在浒苔的药物利用方面有很多的研究,有人从浒苔中提取脱镁叶绿素,实验证明这类物质参与消炎的过程并具有消炎的作用^[17];在抗癌症方面,利用二甲苯并蒽和 TPA 诱导产生的皮肤肿瘤实验,提取浒苔中的一些化合物,经小白鼠的皮肤肿瘤实验证明,其对皮肤癌有抑制作用^[18]。

另有研究者研究从浒苔中提取的一种单链、非糖基蛋白外源凝聚素,并对其物理化学性质进行讨论。通过结构测定,说明 EPL-1 和 EPL-2 是新

的蛋白质; 扩散平衡的实验说明, EPL-1 和 EPL-2 有平均的分子量, 有可能存在同源四聚体和二聚体之间的转换平衡; 对 EPL-2 深入研究表明 EPL-2 可以和 D-甘露糖和 L-海藻糖结合, 结合的位置 2 位和 4 位的羟基, 包括在 O_1 位和支化的甘露糖碎片也可以被替代^[19]。

2.2 对重金属和有机物的吸附过程研究

研究地中海沿岸土耳其 Mersin 海岸的浒苔对酸性红 274 的生物吸收作用, 研究初始的酸度、温度、染料浓度和吸附剂浓度对其的影响, 其生物吸附平衡过程符合 The Langmuir 和 Freundlich 等温式, 最适宜的温度为 30℃ 和初始的 pH 2.0 ~ 3.0。The Langmuir 等温式最适合实验最大浓度的单层覆盖 244 mg/g, 生物吸附过程遵循准一级动力学, 活化能为 -4.85 kJ/mol。热力学研究表明浒苔对酸性红 274 的生物吸附作用是放热和自发过程^[20]。浒苔对酸性蓝 324 和酸性红 337 染料的生物吸附的最佳吸附初始 pH 为 2.0 和 0.0, 初始温度为 30℃ 和 25℃, 最佳的吸附量在浒苔浓度为 0.5 g/L 时获得。浒苔对酸性蓝 324 和酸性红 337 的单层覆盖量分别为 160.6 mg/g 和 210.9 mg/g, 其生物吸附 Redlich-Peterson 吸附模型适合不论是表面吸附还是离子内扩散都对真实的吸附过程有贡献。准二级动力学的酸性蓝 324 和酸性红 337 生物吸附的活化能分别为 31.5 kJ/mol 和 19.87 kJ/mol, 通过热力学参数的计算得出浒苔对酸性染料的吸附本质上是放热反应^[21]。

Storelli 等研究浒苔对金属镍的生物吸附作用, 讨论酸度、温度、初始重金属浓度和生物吸附剂的

浓度等各因子单独和复合的效果, 通过表面响应方法得到最佳吸附条件是初始 pH 为 4.3、温度为 27℃、吸附剂浓度为 1.2 g/L 和镍 (II) 离子的初始浓度为 100 mg/L, 在最佳生物吸附条件下生物吸附浒苔对镍 (II) 离子的吸附量为 36.8 mg/g。经过两个小时的生物吸附, 利用 L-F 等温模式计算浒苔对镍离子的单层吸附量为 65.7 mg/g, 为了考察吸附的限速步骤, 测试物质转移和化学反应动力学及粒子内扩散模型和外扩散模型, 发现其对金属镍的吸附较好地符合准二级动力学模型^[22]。

2.3 对环境的影响研究

在环境影响, 主要是对营养盐和重金属的吸收和利用, 研究者采集南亚得里亚海不同海域的浒苔和其他生物与沉积物样品, 分析其中重金属的含量, 研究这个区域生物和重金属之间的相关关系, 为海洋中重金属的污染状况提供生物指示作用^[23]。也有研究者根据西班牙南部的 Palmones 河口富营养化的系统, 研究浒苔等对营养盐的有效输入的影响, 表明浒苔对磷酸盐在沉积中的影响是长期的, 储存在沉积物中的磷酸盐通过易降解的有机物和其他过程从沉积物中释放出来^[24]。

3 建议

从上述的研究看来, 浒苔的药物利用、对环境的影响以及污染物对其毒性等方面开展的研究比较多, 而浒苔对环境的净化能力研究目前还没有, 因此开展海洋中浒苔对环境的净化作用研究, 掌握浒苔对营养盐和重金属的净化过程和净化能力以及开展浒苔的综合利用研究是今后的方向。

参考文献:

- [1] 邬坤富. 象山港浒苔初步调查 [J]. 浙江农业科学, 1961 (12): 23-24.
- [2] 徐大伦, 黄晓春, 杨文鸽, 等. 浒苔营养成分分析 [J], 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2003, 22 (4): 318-320.
- [3] 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): 26-27.
- [4] 徐大伦, 欧昌荣, 杨文鸽, 等. 纤维素酶法提取浒苔多糖的工艺条件 [J]. 海洋渔业, 2005, 27 (1): 85-88.

- [5] 林文庭. 浅论浒苔的开发与利用 [J]. 中国食物与营养, 2007 (9): 23-25.
- [6] 杨君, 安利佳, 王茜, 等. 石莼属 (*Ulva*) 和浒苔属 (*Enteromorpha*) 绿藻的 RAPD 分析 [J]. 海洋湖沼, 2000, 31 (4): 408-413.
- [7] 林阿朋, 王建伟, 阎斌伦, 等. 浒苔 *Enteromorpha prolifera* 组织培养初步研究 [J]. 生态科学, 2006, 25 (4): 320-324.
- [8] 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.
- [9] 王建伟. 浒苔生态因子研究及发育形态学观察 [D]. 苏州: 苏州大学, 2007.
- [10] 邹定辉. 脱水对浒苔光合作用的影响 [J]. 湛江海洋大学学报, 2001 (2): 30-34.
- [11] 邹定辉, 陈雄文. 高浓度 CO₂ 对条浒苔 (*Enteromorpha clathrata*) 生长和一些生理生化特征的影响 [J]. 海洋通报, 2002, 21 (5): 38-45.
- [12] 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 (10): 2 281-2 285.
- [13] 冯朝. 缘管浒苔、蜈蚣藻和鼠尾藻对东海原甲藻克生效应的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [14] 王兰刚, 徐姗楠, 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.
- [15] 于志刚, 张经, 吴莹, 等. 铜对缘管浒苔的毒性效应 [J]. 环境科学学报, 1994, 14 (4): 494-500.
- [16] 雷清新, 于志刚, 张经, 等. 铜对缘管浒苔生理生化状态的影响 [J]. 海洋环境科学, 1998, 17 (1): 11-14.
- [17] OKAI Y, OKAI K H. 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.
- [18] OKAJA K H, OTANIB 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.
- [19] AMBROSIO A L, SANZ L. 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.
- [20] OZER A, AKKAYA G, TURABIK M. Biosorption of Acid Red 274 (AR 274) on *Enteromorpha prolifera* in a batch system [J]. Journal of Hazardous Materials B, 2005, 126: 119-127.
- [21] OZER A, AKKAYA G, TURABIK M. The Biosorption of Acid Red 337 and Acid Blue 324 on *Enteromorpha prolifera*: The application of nonlinear regression analysis to dye Biosorption [J]. Chemical Engineering Journal, 2005, 112: 181-190.
- [22] STORELLI M M, STORELLI A, MARCOTRIGIANO G O. Heavy metals in the aquatic environment of the Southern Adriatic Sea, Italy Macroalgae, sediments and benthic species [J]. Environment International, 2001 (26): 505-509.
- [23] OZER A, GURBUZ G, CALIMLI A. Investigation of nickel (II) Biosorption on *Enteromorpha prolifera*: Optimization using response surface analysis [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 152: 778-788.
- [24] PALOMO L, CLAVERO V, IZQUIERDO J J, et al. Influence of macrophytes on sediment phosphorus accumulation in a eutrophic estuary (Palmones River, Southern Spain) [J]. Aquatic Botany, 2004, 80 (2): 103-113.