

厦门集美海域近岸绿潮藻浒苔属生长规律研究

曹英昆^{1,2}, 郭玉清¹, 李 鹏¹, 高 亚¹, 陈立义³, 陈 枫⁴

(1. 集美大学水产学院, 福建省高校水产科学技术与食品安全重点实验室, 集美大学水产生物技术研究所, 福建 厦门 361021; 2. 河北农业大学海洋学院, 河北 秦皇岛 066003;
3. 波鹰(厦门)科技有限公司, 福建 厦门 361004; 4. 集美学校委员会, 福建 厦门 361021)

[摘要] 选取厦门集美凤林人造沙滩、人工红树林光滩和龙舟池三个样点, 从2009年11月到2010年9月观察研究了浒苔(*Enteromorpha*)固着和漂浮的野外生长变化规律。结果表明: 凤林人造沙滩上的浒苔为固着的缘管浒苔(*Enteromorpha linza*), 冬季是缘管浒苔的生长繁殖期; 春季成熟藻体出现, 但生物量减少; 夏季, 当海水温度超过30℃, 肉眼不见缘管浒苔。研究还表明缘管浒苔有多种附着基质, 包括砾石、砖石、贝壳、维尼纶网片等, 但在砖石上藻体生长最为旺盛。龙舟池发现有石莼科的多种大型藻类, 但春夏季暴发的绿潮主要是由石莼(*Ulva lactuca*)引起的, 秋季暴发的绿潮中浒苔(*Enteromorpha prolifera*)占优势。观察期内未见到成熟期释放孢子的石莼。

[关键词] 厦门; 近海; 绿潮; 浒苔属

[中图分类号] Q 949.2

Study on Green Tide Plant *Enteromorpha* Occurred at Inshore in the Jimei, Xiamen

CAO Ying-kun^{1,2}, GUO Yu-qing¹, LI Peng¹, GAO Ya¹, CHEN Li-yi³, CHEN Feng⁴

(1. The Key Laboratory of Science and Technology for Aquaculture and Food Safety, Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Ocean College of Hebei Agricultural University, Qinhuangdao 066003, China;
3. Boying (Xiamen) Science and Technology Co., LTD, Xiamen 361004, China;
4. Committee of Jimei School, Xiamen 361021, China)

Abstract: The green algae *Enteromorpha* sp. were sampled at three sites: the artificial beach at Fenglin Site, the artificial mangrove beach and the Longzhou pond, at Jimei District, Xiamen City. From November 2009 to September 2010, the temporal and spatial variation of the attached and planktonic *Enteromorpha* were investigated, and the attached substrates for *Enteromorpha* were also recorded. The results showed that all the macro algae found on the artificial beach at Fenglin were *E. linza*. The *E. linza* grew fast in Winter, and the mature algae appeared in Spring, but the biomass decreased during this period. In Summer, when the sea water temperature was above 30℃, the *E. linza* were invisible by naked eye. *E. linza* could grow on a variety of substrates, including gravel, brick, shell and vinylon meshe etc, and the most vigorous growth of algae were observed on the bricks. Six species belonging to the family Ulvaceae were found in Longzhou pond. In

[收稿日期] 2015-10-20

[修回日期] 2015-12-17

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(141176107); 福建省教育厅项目(B09076); 波鹰(厦门)科技有限公司和集美学校委员会资助项目

[作者简介] 曹英昆(1986—), 女, 硕士。通信作者: 郭玉清(1965—), 女, 教授, 博士, 主要从事海洋生态学和生物多样性的研究, E-mail: guoyuqing@jmu.edu.cn.

Spring and Summer, the green tide was mainly caused by *Ulva*, whereas in Autumn *E. prolifera* was dominant. No mature *Ulva* that could release spores were observed during the investigation. The results of this study would provide a scientific basis for preventing the outbreak of green tide in Jimei, Xiamen.

Keywords: Xiamen; inshore; green tide; *Enteromorpha*

0 引言

绿潮是指由石莼属和浒苔属等大型绿藻大量增殖形成的一种呈飘浮状态的有害藻华^[1], 目前已经成为世界沿海各地普遍发生的海洋生态灾害, 中国黄海绿潮是目前世界上发生规模最大的绿潮灾害^[2]。在国外, 日本东京湾谷津滩涂、墨西哥西北部的海岸咸水湖、法国布瑞特尼以及荷兰西南海滩也都有绿潮的发生^[3-4]。绿潮会破坏海域环境的生物多样性, 降低水产养殖的经济效益, 影响当地的旅游景观及居民生活。目前, 研究多集中在绿潮的起源及形成机制^[5]、绿潮生物的分类学^[6]和绿潮藻的分布^[7]上。2006年以来, 厦门集美龙舟池频繁出现绿潮灾害, 严重影响了集美嘉庚旅游区的景观, 引起了社会各界的高度关注。集美凤林人造沙滩、人工红树林光滩和龙舟池, 是集美主要的近海旅游休闲场所, 而龙舟池更是嘉庚旅游区的重要景观, 近年来这三处绿潮频繁暴发。选取这三个地方, 观察优势大型绿藻的外部形态、附着基质和成熟度等生长变化特征, 为防止厦门近海绿潮大面积暴发提供一定的科学依据。

1 研究方法

选取厦门集美凤林人造沙滩、人造红树林光滩和龙舟池为采样点。于2009年11月到2010年9月期间观察记录3个采样点大型绿色藻类的种类, 并对优势种藻体的外形特征进行室内外观察记录(室内需制作徒手切片)。观察记录内容主要包括藻体颜色、附着基质和藻体成熟度等。在Leica以及Nikon显微镜下进行室内观察。采集附着有藻体的维尼纶网片编织袋基质, 带回实验室, 取2 cm × 2 cm面积, 小心取下附着的浒苔, 用吸水纸吸干表面水分, 用电子天平称量藻体湿重。依据文献[5, 8-10]将获得的样本鉴定到种。

2 研究结果

2.1 凤林人造沙滩

该区域优势大型藻类为绿藻门浒苔属的缘管浒苔(*Enteromorpha linza*)。其固着生长, 藻体呈深绿色、鲜绿色或黄绿色, 藻体边缘有褶皱, 由顶部到基部逐渐变细, 藻体生长发育从幼体到成熟呈现为丝状、管状以及片形条状三种形态(见图1)。从2009年11月到2010年的10月, 进行为期近一年四个季度的研究观察, 得出该站缘管浒苔生长的变化规律如下:

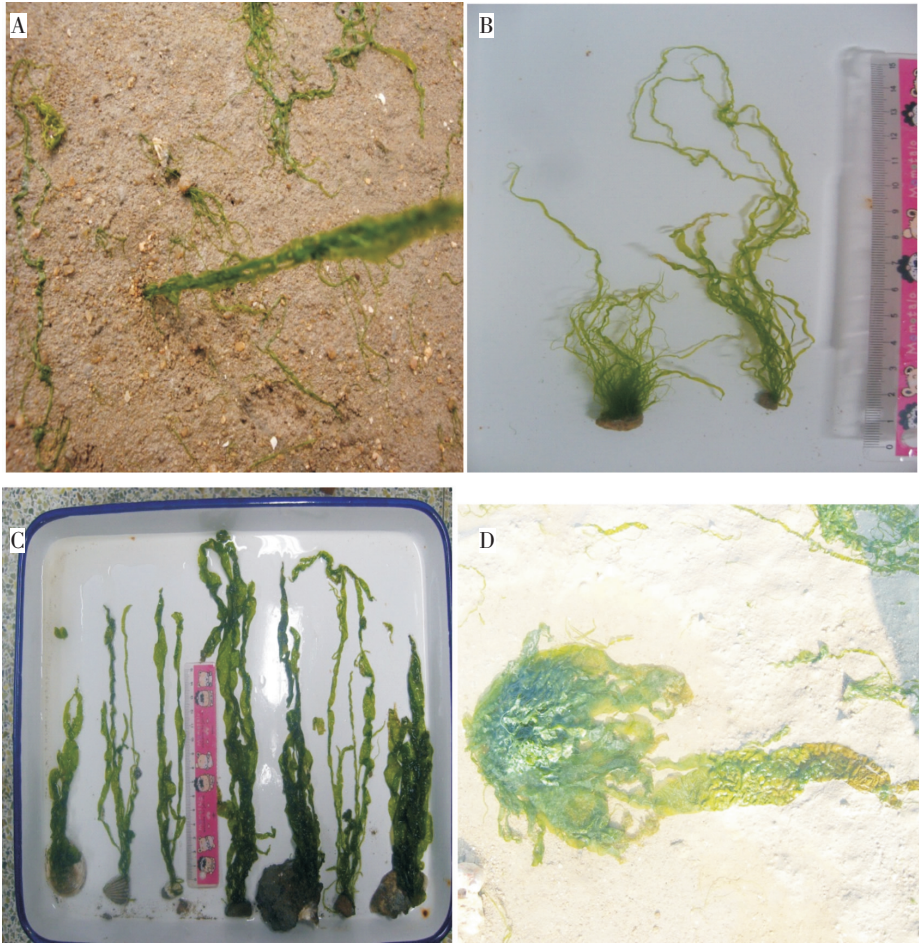
1) 2009年11月—2010年1月, 代表冬季, 水温11.0~23.0℃。11月, 只观察到鲜绿色、管状的缘管浒苔。12月, 藻体呈现有丝状、管状以及片形条状三种形态, 维尼纶网片编织袋基质上单位面积藻体的平均湿重为0.19 g/cm²。1月, 藻体大多为黄褐色, 片形条状, 有成熟藻体顶端释放孢子。1月上旬, 藻体单位面积平均湿重为0.27 g/cm²; 1月中旬, 单位面积平均湿重为1.08 g/cm², 是观察时间内的最高值, 在沙滩旁水坑的砖石上, 藻体最长可达90 cm, 一般为15~40 cm, 最宽达6 cm。

2) 2010年3—4月, 代表春季(2月数据缺失), 水温16.3~21.0℃。3月中旬, 呈深绿色片形条状、鲜绿色管状以及丝状的缘管浒苔幼苗同时出现, 维尼纶网片编织袋基质上其单位面积平均湿重为0.11 g/cm², 平均长度为28.73 cm。4月, 从数量上来看, 潮间带沙滩上的藻体明显减少, 单位面积平均湿重为0.12 g/cm², 平均长度为15.55 cm。

3) 2010年6—7月, 代表夏季(5月数据缺失), 水温25.0~31.0℃。6月, 成熟藻体出现, 显微观察到膨大的孢子囊, 细胞内有3~4个亮绿色圆球状蛋白核, 有孢子和配子产生, 但宏观观察,

藻体数量减少，单位面积平均湿重为 0.06 g/cm²。7 月，海水温度大部分超过 30 ℃，数量更少，单位面积平均湿重为 0.03 g/cm²，肉眼不见藻体。

4) 2010 年 8—10 月，代表秋季，水温 27.0~31.0 ℃。8 月，海水温度大部分超过 30 ℃，沙滩上肉眼不见藻体。9 月，沙粒上有幼苗出现，藻体长度达 0.8~1.5 cm。



说明：A—固着在沙滩砾石上；B—固着在沙滩砖石上；C—附着在沙滩附近水坑中的不同基质上；D—成熟期的缘管浒苔。
Notes: A—on the grave; B—on the brick; C—on kinds of substrates from a small pools on the beach; D—in the mature period.

图 1 集美凤林人造沙滩上的缘管浒苔

Fig.1 The *E. linza* present on a variety of substrates on the artificial beach at Fenglin Jimei

实验观察期间，发现缘管浒苔有多种附着基质，包括砾石、砖石、贝壳、维尼纶网片等。本实验于 2010 年 3 月 11 日采集附着在贝壳、维尼纶网片和砖石 3 种基质上的藻体，对其长度进行测量比较，结果（见图 2）表明在砖石上的藻体生长最好，是该区域藻体固着萌发优先选择的附着基质。

2.2 人造红树林光滩

2010 年 6 月 8 日到 2010 年 9 月 25 日，在集美污水处理厂旁的人造红树林光滩共进行 9 次观察和采样，发现大型藻类均为缘管浒苔，主要固着在维尼纶网片编织袋上和由沙粒、贝壳碎片构成的多毛类膜质管上。6 月，缘管浒苔相对生长旺盛；7 月，在维尼纶网片编织袋上可观察到其生长，而沙粒上少见；8 月，网片

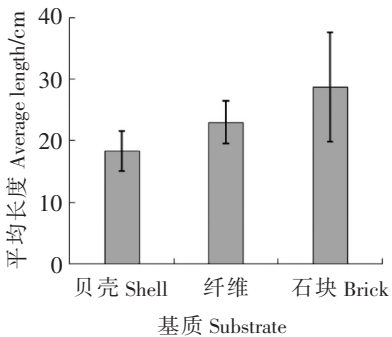


图 2 生长在不同附着基质上缘管浒苔长度的比较

Fig.2 Comparison of body length of *E. linza* on different substrates

编织袋上可见绿色;9月在沙粒和网片编织袋上有其幼苗出现。

2.3 龙舟池

龙舟池为一个半封闭式的水池。本研究从2009年9月到2010年9月进行了10次野外采样和观察,结果表明,该点大型藻类种类多样。依据相关研究^[8-10]发现,这里出现的石莼科大型藻类为石莼(*Ulva lactuca*)、孔石莼(*U. pertusa*)、肠浒苔(*E. intestinalis*)、脆江蓠(*Gracilaria bursa-pastoris*)、浒苔(*E. prolifera*)和缘管浒苔(*E. linza*)6种。造成龙舟池绿潮的主要种类为浒苔(*E. prolifera*)和石莼。进一步研究表明:9—11月,在池中水浅处,浒苔(*E. prolifera*)、石莼、脆江蓠和刚毛藻(*Cladophora*)均有发现;池中央水深处,优势种群为浒苔(*E. prolifera*),多漂浮生长,大部分呈鲜绿色,多为管状,也有片形条状,形成绿潮;藻体有分枝,分枝基部无收缩,主枝最长十几厘米,最宽不到半厘米。3月,发现浒苔(*E. prolifera*)和石莼共存,石莼较多;浒苔(*E. prolifera*)绝大多数漂浮,有处于成熟期的藻体出现。6月,暴发的绿潮中石莼占优势,观察期内未见到成熟期释放孢子的石莼。在3、4、10月都发现浒苔(*E. prolifera*)有产生大量孢子。

3 讨论

3.1 厦门集美凤林缘管浒苔生长基质暴发探讨

根据2008年厦门市政府批复通过的《集美北部片区控制性详细规划》:集美北部新城区,即乐海路、凤林村以北,龙凤山庄以南,同集路以东,总用地面积 $4.4972 \times 10^6 \text{ m}^2$,将为厦门岛外新的中高档居住区。目前,规划中的集美大桥北侧红树林公园、人工沙滩、马拉松赛道正在建设。2004年以前,这里是1989—1993年种植的一片白骨壤(*Avicennia marina*(Forssk.) Vierh)红树林林区,周边有大量养虾池塘,文献[11]曾对这片红树林中的自由生活海洋线虫进行过研究。由于该水域相对封闭、水产养殖过量且无序、污水直接入海等原因,造成这里海域淤积严重,沉积物中有机质和硫化物含量相对较高^[12-13]。

通过对集美大桥附近人造沙滩和集美红树林(污水处理厂旁)光滩上缘管浒苔附着基质的比较研究发现,缘管浒苔生长旺盛的区域是有沙粒覆盖的区域,而砂砾的下面就是黑色的淤泥,但在其他泥质沉积物和红树林中未见。人造沙滩上的沙粒、建筑垃圾、碎贝壳、尼龙网等为缘管浒苔长期生长提供了大量的附着基质,而富含有机质的底泥为其萌发和生长提供营养。建议在修建集美人造沙滩时应考虑消除绿潮藻浒苔暴发的隐患。

3.2 控制集美龙舟池绿潮暴发措施的探讨

龙舟池位于集美旧城区,由于市政排污管线不完善,长期以来生活污水直接排进龙舟池,造成龙舟池水质污染,水体经常发臭。有实验数据表明,龙舟池水的无机磷和无机氮均超过了GB3097-82三类海水水质标准,尤其是N和P的含量大大超标^[14]。近海水体氮磷含量的增加,经常会引起藻类暴发^[15-16],同样也会促进绿潮藻浒苔的大量生长,Lin等^[17]认为淡水的注入使盐度和pH值降低,同样也促进了绿潮藻浒苔的生长。对于龙舟池而言,2005年,尽管海水成功引入龙舟池,但仍然没有实现完全截留,近年来绿潮频繁暴发,给旅游业和水上活动带来一定的负面影响,相关部门主要采取打捞和排水曝晒的方法来消灭绿潮藻浒苔,以减少对旅游区的不利影响。

陈群芳等^[18]证实绿潮藻浒苔具有强大的繁殖力,往往通过释放大量孢子实现种群快速扩增,打捞会造成大量藻体碎片的形成,进而增加其营养细胞向孢子囊转化的过程,促进孢子的形成。Dan等^[19]研究发现增加光照对绿潮藻浒苔孢子释放有很大的促进作用,不定期的排水曝晒减少池中的水位,增加了水体的扰动,使得池底的营养物质更易进入水体,增加了水体的透光度,最终的结果是提高了光合作用效率,增加了水体的初级生产力。值得注意的是,集美龙舟池与集美近海不断进行的海水交换流通,使得龙舟池的绿潮藻浒苔孢子会随着水体的交换流入外海,对于厦门近海绿潮的暴发带来一些隐患。

目前,国内外对于大面积海上绿潮藻浒苔的暴发,大多采用打捞收集,作为牲畜饲料或燃料进行无害化处理及资源化利用。但对于像龙舟池这样处于旅游风景区的重要小型水体,建议应该建立预警机制,将其消灭在暴发之前的萌芽期。有研究表明纳米催化微电解技术^[20]可以抑制养殖水体中病原微生物的生长,据此,本课题组尝试应用该技术抑制小型水体中绿潮藻浒苔的大量生长。

[参 考 文 献]

- [1] PANG S J, LIU F, SHAN T F, et al. Tracking the algal origin of the *Ulva* bloom in the Yellow Sea by a combination of molecular, morphological and physiological analyses. *Marine Environmental Research*, 2010, 69(4): 207-215. DOI:10.1016/j.marenvres.2009.10.007.
- [2] 丁月旻. 黄海浒苔绿潮中生源要素的迁移转化及对生态环境的影响. 北京: 中国科学院大学, 2014: 14-36.
- [3] YABE T, ISHII Y, AMANO Y, et al. Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan. *Limnology*, 2009, 10(3): 239-245. DOI:10.1007/s10201-009-0278-4.
- [4] CHARLIER R H, MORAND P, FINKL C W, et al. Green tides on the Brittany Coasts. *Environmental Research, Engineering and Management*, 2007, 41(3): 52-59.
- [5] 姚东瑞. 浒苔. 北京: 海洋出版社, 2011: 3-7.
- [6] 赵素芬, 刘丽丝, 孙会强, 等. 湛江海域浒苔属 *Enteromorpha* 种类的形态与显微结构. 广东海洋大学学报, 2013(6): 1-8.
- [7] 刘正一, 刘海燕, 赵玉山, 等. 渤海浒苔属绿藻调查. 生物学杂志, 2011, 28(5): 27-29. DOI:10.3969/j.issn.2095-1736.2011.05.027.
- [8] 黄宗国. 厦门湾物种多样性. 北京: 海洋出版社, 2006: 399-400.
- [9] 丁兰平, 栾日孝. 浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 的分类鉴定、生境习性及分布. 海洋与湖沼, 2009, 40(1): 68-71.
- [10] 浙江省水产厅, 上海自然博物馆. 浙江海藻原色图谱. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1983: 1-17, 79.
- [11] 郭玉清. 厦门凤林红树林湿地自由生活海洋线虫群落的研究. 海洋学报 (中文版), 2008, 30(4): 147-153.
- [12] 林秀春, 蔡立哲, 马丽, 等. 厦门凤林红树林湿地大型底栖动物群落. 生物多样性, 2006, 14(2): 128-135. DOI:10.1360/biodiv.050051.
- [13] 林海. 厦门市近岸海域主要水产养殖区水质状况分析与评价. 福建水产, 2013, 35(3): 218-225. DOI:10.14012/j.cnki.fjsc.2013.03.005.
- [14] 郭玉清, 于浩, 叶兆弘. 集美龙舟池自由生活海洋线虫数量的初步研究. 集美大学学报 (自然科学版), 2004, 9(4): 310-312.
- [15] VALIELA I, FOREMAN K, LAMONTAGNE M, et al. Couplings of watersheds and coastal waters-sources and consequences of nutrient enrichment in Waquoit Bay, massachusetts. *Estuaries*, 1992, 15(4): 443-457. DOI:10.2307/1352389.
- [16] 李信书, 徐军田, 姚东瑞, 等. 富营养化与生长密度对绿潮藻浒苔暴发性生长机制的影响. 水产学报, 2013, 37(8): 1206-1212. DOI:10.3724/SP.J.1231.2013.38319.
- [17] LIN A P, WANG C, PAN G H, et al. Diluted seawater promoted the green tide of *Ulva prolifera* (Chlorophyta, Ulvales). *Phycological Research*, 2011, 59(4): 295-304. DOI:10.1111/j.1440-1835.2011.00629.x.
- [18] 陈群芳, 何培民, 冯子慧, 等. 漂浮绿潮藻浒苔孢子/配子的繁殖过程. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1069-1076. DOI:10.3724/sp.J.1118.2011.01069.
- [19] DAN A, HIRAOA M, OHNO M, et al. Observations on the effect of salinity and photon fluence rate on the induction of sporulation and rhizoid formation in the green alga *Enteromorpha prolifera* (Muller) J. Agardh (Chlorophyta, Ulvales). *Fisheries Science*, 2002, 68(6): 1182-1188. DOI:10.1046/j.1444-2906.2002.00553.x.
- [20] 李榜文. 纳米催化微电解技术在水产动物疾病防控中的应用. 厦门: 集美大学, 2012: 13-14.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 马 英)