

文章编号: 1674-5566(2018)02-0230-08

DOI:10.12024/jsou.20170502054

## 防绿潮藻固着和生长的初步研究

刘材材<sup>1,2</sup>, 季晓<sup>1,2</sup>, 项凌云<sup>1,2</sup>, 刘守海<sup>1,2</sup>, 秦玉涛<sup>1,2</sup>, 邓邦平<sup>1,2</sup>, 徐韧<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 200137; 2. 国家海洋局海洋赤潮灾害立体监测技术与应用重点实验室, 上海 201206)

**摘要:** 选用 3 种不同材质的缆绳和 5 种不同涂料, 采用海上现场模拟实验的方法开展了防绿潮藻固着和生长的研究。实验结果表明, 3 种材质缆绳上绿潮藻幼苗的密度和长度总体随着时间的延长而增多, 第 4 周左右固着密度能达到最大, 随后呈现下降的趋势。从材质上看, 聚丙烯绳上的绿潮藻幼苗平均生长长度较其他 2 种材质略长。所选涂料能有效地抑制绿潮藻固着、萌发和生长, 涂有涂料的缆绳上的绿潮藻幼苗固着个数和生长长度明显低于对照组, 其中有机氟涂料的防固着效果最好, 涂在缆绳上既稳定又能有效地防止绿潮藻幼苗的固着生长。

**关键词:** 绿潮藻; 涂料; 材质; 防固着; 生长

**中图分类号:** X 43      **文献标志码:** A

绿潮(Green tide)是世界沿海各国普遍发生的海洋异常生态现象, 多以石莼属和浒苔属绿藻种类脱离固着基形成漂浮增殖群体所致<sup>[1]</sup>。在我国南黄海海域自 2007 年以来已连续 10 年发生了大规模的绿潮灾害, 已成为该海域主要海洋生态灾害之一<sup>[2]</sup>。绿潮的暴发, 严重影响了沿海的水产养殖、滨海旅游、海上交通运输及海上赛事, 给江苏、山东沿海城市带来巨大的经济损失和社会影响<sup>[3-5]</sup>。虽然对南黄海绿潮的暴发和溯源仍有一定的争议, 但是随着调查与研究的深入, 认为紫菜养殖与绿潮的暴发存在密切的关系, 筏架上固着生长的绿潮藻为绿潮的暴发提供了大量的初始生物量<sup>[5-12]</sup>, 因此如何有效降低紫菜筏架缆绳上绿潮藻的固着、生长, 对于有效防控绿潮的暴发具有重要意义。

目前对绿潮藻的生长和繁殖已开展了大量生态模拟实验, 基本掌握了水温、盐度、光照、营养盐、pH 等生态环境因子对其影响<sup>[13-19]</sup>, 也有少量的研究开展了附着基对绿潮藻固着和生长的影响<sup>[20-21]</sup>。但是, 上述所有报道的研究均在室内开展, 同时目前尚未有相关文献报道不同涂料

对绿潮藻固着和生长研究, 本文旨在通过在紫菜养殖筏架区的现场模拟实验, 研究探讨不同缆绳和涂料对绿潮藻固着和生长影响, 为今后开展绿潮防控提供帮助。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验材料

3 种不同材质缆绳: 缆绳直径均为 5 mm, 材质分别为尼龙、聚丙烯、锦纶, 每段绳长为 20 cm, 洗净晾干后备用。

5 种不同涂料分别为: 有机氟防污涂料(无锡 CDP 防污涂料)、有机硅防污涂料(疏水自洁涂料)、硅-氟树脂类涂料(聚硅氧烷涂料)、无机物防污涂料(无机多功能涂料)、酚醛调和涂料。将 5 种涂料均匀涂抹于缆绳上, 使涂料完全覆盖整个缆绳表面, 晾干后备用。

#### 1.2 幼苗固着实验

室外模拟实验场所选择在江苏启东紫菜养殖区, 随机选择一组紫菜筏架开展。将不同材质和刷有涂料的小段缆绳(每段 20 cm, 每种 30 个)固定于紫菜架上(图 1), 每段缆绳之间间距 0.5

收稿日期: 2017-05-16      修回日期: 2017-11-26

基金项目: 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室开放研究基金(MATHAB201402); 海洋公益性行业科研专项经费(201205010-06); 东海分局青年海洋科技基金项目(201302)

作者简介: 刘材材(1981—), 男, 高级工程师, 研究方向为海洋生态环境监测与评价。E-mail: liucaicai@eastsea.gov.cn

m。实验时间分为春季和秋季,其中每周采样一次,实验周期春季(2015年3月17日至4月15日)为4周时间,秋季(2015年10月5日至12月2日)为8周时间。

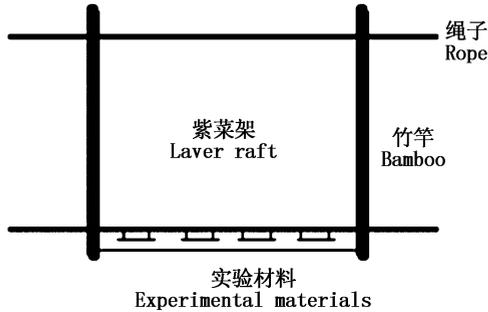


图1 实验设计示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental design

### 1.3 绿潮藻固着数量和长度的测定

固着数量采用显微镜计数法,每段绳子在体式显微镜(Nikon SMZ1500,放大倍数10)下随机选取15个视野,计算平均值。绿潮藻长度随机选取15段藻体,量取长度,计算平均值。

### 1.4 其他环境参数测定方法

水温测定采用表层温度计现场测定,pH测定采用pH计法现场测定,盐度采样后在实验室采用感应式盐度计(SYA2-2)测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同材质的缆绳对绿潮藻繁殖体萌发和生长的影响

#### 2.1.1 幼苗固着萌发情况

春季实验期间,表层水体pH范围为7.93~7.98;表层水体水温范围为8.90~16.00℃;表层水体盐度范围为29.25~30.74,平均值为29.91。随着实验时间的推移,不同材质缆绳上固着的绿潮藻幼苗密度逐渐增加(图2)。第一周尼龙绳上单位面积上固着的幼苗最多,第二周、第三周锦纶绳上固着的最多,第四周为聚丙烯绳。第四周3种材质缆绳绿潮藻幼苗平均固着个数尼龙绳为1 058.1个/cm<sup>2</sup>,聚丙烯绳为1 247.6个/cm<sup>2</sup>,锦纶绳为1 207.2个/cm<sup>2</sup>。四周后3种材质缆绳上幼苗固着个数没有太大的差异。

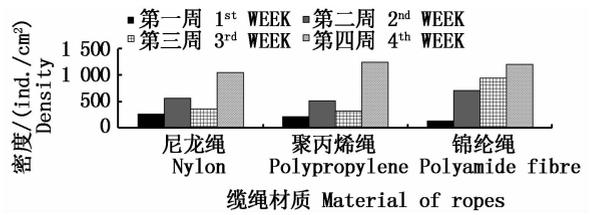


图2 春季幼苗在不同材质上固着的平均个数

Fig.2 Average number of seedlings on different materials in spring

秋季实验期间,表层水体pH范围为7.99~8.21;水温范围为10.20~22.80℃;盐度范围为22.95~27.96,平均值为26.73。随着实验时间推移,不同材质缆绳上绿潮藻幼苗密度总体呈先增加后减少再增加的趋势(图3)。第四周3种材质上幼苗的平均个数达到最大值,尼龙绳为577.3个/cm<sup>2</sup>,聚丙烯绳为834.0个/cm<sup>2</sup>,锦纶绳为621.2个/cm<sup>2</sup>。第八周3种材质都有一定的幼苗固着其上,固着平均个数分别为尼龙绳157.9个/cm<sup>2</sup>,聚丙烯绳397.1个/cm<sup>2</sup>,锦纶绳50.3个/cm<sup>2</sup>。八周实验表明,在聚丙烯绳上绿潮藻表现出了相对较强的固着能力。

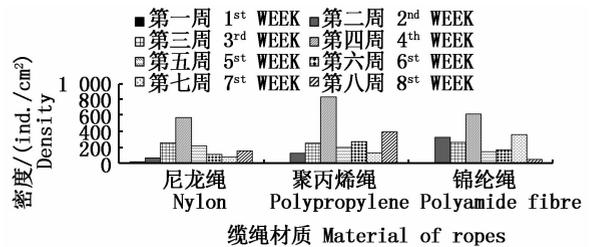


图3 秋季幼苗在不同材质上固着的平均个数

Fig.3 Average number of seedlings on different materials in autumn

#### 2.1.2 绿潮藻幼苗生长情况

春季随着培养时间的变化,各材质上绿潮藻幼苗的长度明显增加(图4)。第一周,幼苗的生长长度普遍较短,幼苗生长长度范围为0.03~0.12mm;尼龙绳幼苗生长的平均长度为0.05mm,聚丙烯绳为0.07mm,锦纶绳为0.05mm。第二周,尼龙绳幼苗长度范围在0.07~2.10mm,平均长度为0.30mm;聚丙烯绳长度范围为0.07~1.60mm,平均长度为0.51mm;锦纶绳长度范围为0.05~1.30mm,平均长度为0.46mm。第二周生长长度为第一周的5~9倍。第三周,

尼龙绳幼苗长度范围为 0.15 ~ 4.00 mm, 平均长度为 0.97 mm; 聚丙烯绳长度范围为 1.00 ~ 5.00 mm, 平均长度为 2.03 mm; 锦纶绳长度范围为 2.50 ~ 8.00 mm, 平均长度为 4.03 mm。第四周, 锦纶绳幼苗的长度明显增加, 幼苗长度为 15.00 ~ 45.00 mm, 平均长度为 28.33 mm。四周实验结果表明, 锦纶绳上幼苗的生长长度要大于其他两种材质, 最长可达 45.00 mm。

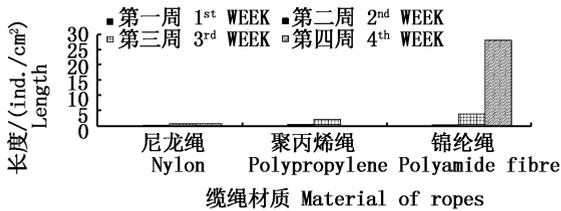


图4 春季幼苗在不同材质上生长的平均长度

Fig. 4 Average length of growth of spring seedlings on different materials

秋季随着时间的推移, 各材质上幼苗的长度总体在增加(图5)。第一周, 仅尼龙绳上有幼苗, 幼苗的生长长度普遍较短平均长度为 0.05 mm, 范围为 0.03 ~ 0.12 mm。第二周, 3 种材质缆绳上都有绿潮藻幼苗长出, 其中尼龙绳上幼苗长度范围为 0.30 ~ 2.60 mm, 平均长度为 0.96 mm; 聚丙烯绳上长度范围为 0.20 ~ 3.00 mm, 平均长度为 1.00 mm; 锦纶绳上长度范围为 0.40 ~ 5.00 mm, 平均长度为 2.05 mm。从第三周到第八周, 3 种缆绳上幼苗长度明显增加。到第八周时, 尼龙绳上幼苗长度最长达 20.00 mm, 平均长度为 7.09 mm; 聚丙烯绳上幼苗长度最长达 56.00 mm, 平均长度为 25.63 mm; 锦纶绳上幼苗长度最长达 30.00 mm, 平均长度为 13.90 mm。

实验结果表明, 随着时间的推移, 幼苗的长度在增加, 其中以聚丙烯缆绳上幼苗生长长度最长, 较有利于幼苗的生长。在观察中发现, 3 种材质的缆绳从第二周后都生长有念珠直链藻(硅藻), 且随着时间的推移, 该藻的密度也在不断地增加; 特别是锦纶绳上, 第三周显微镜观察时发现其可以紧密覆盖在整个绳子的表面, 致使绿潮藻幼苗附着面积大大减少, 与绿潮藻幼苗固着和生长形成一定的竞争。

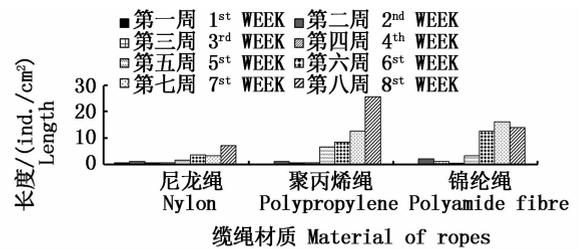


图5 秋季幼苗在不同材质上生长的平均长度

Fig. 5 Average length of autumn seedlings growing on different materials

## 2.2 不同涂料对绿潮藻繁殖体萌发和生长的影响

### 2.2.1 幼苗萌发情况

春季实验结果表明: 5 种涂有涂料的缆绳上绿潮藻幼苗固着个数明显低于对照组(图6)。第一周结果显示, 5 种涂有防污涂料的缆绳中均未发现有固着绿潮藻幼苗。两周以后有机氟、无机物和酚醛调和涂料的缆绳均未发现有绿潮藻幼苗固着; 而在硅-氟树脂和有机硅涂料处理的缆绳上有极少量固着的绿潮藻幼苗。第二周硅-氟树脂类涂料上绿潮藻幼苗平均固着个数为 167.3 个/cm<sup>2</sup>; 两周后, 用硅-氟树脂涂料处理的缆绳上一小部分位置有幼苗聚集在一起而形成群落。第二、三、四周有机硅涂料上绿潮藻幼苗平均固着个数分别为 8.8 个/cm<sup>2</sup>、12.3 个/cm<sup>2</sup>、9.4 个/cm<sup>2</sup>, 其上固着的幼苗个数有限。

秋季实验结果表明: 5 种涂有涂料的缆绳绿潮藻幼苗固着个数明显低于对照组(图7)。第一周结果显示, 5 种涂料的缆绳中均未发现固着绿潮藻幼苗。两周以后涂有有机氟、无机物涂料的缆绳均未发现绿潮藻幼苗固着; 而硅-氟树脂、有机硅和酚醛调和涂料处理的缆绳上有少量固着的绿潮藻幼苗。第二周硅-氟树脂涂料上绿潮藻幼苗平均固着个数为 29.2 个/cm<sup>2</sup>, 随着时间推移, 绿潮幼苗固着个数总体有所增加, 第八周时固着个数达到了最大值, 平均个数为 88.9 个/cm<sup>2</sup>, 固着个数总体较少。有机硅涂料上绿潮藻幼苗平均个数第二周直到第八周并没有太大差异, 到第八周时为 15.2 个/cm<sup>2</sup>, 其上固着的幼苗个数有限。而对于酚醛调和涂料来说, 四周以后才有部分绿潮藻幼苗固着其上, 到第八周时绿潮

藻幼苗平均固着个数为 16.4 个/cm<sup>2</sup>,固着幼苗个数维持在较低水平。实验结果表明所选涂料

可以有效地抑制绿潮藻繁殖体的固着和幼苗的萌发。

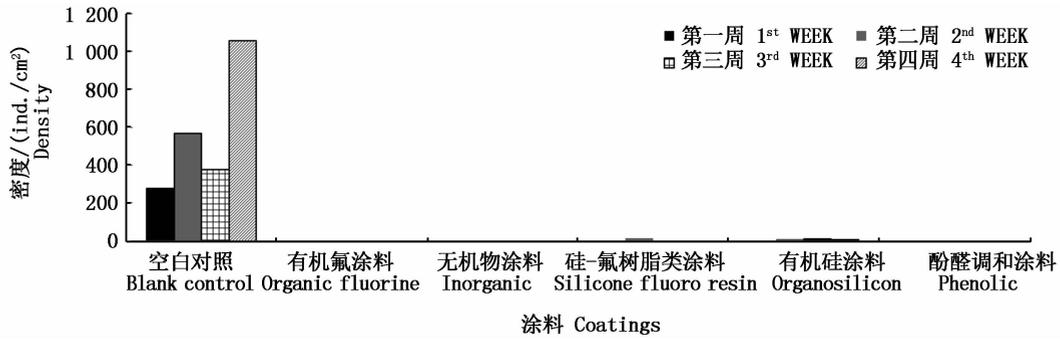


图 6 春季幼苗在不同涂料上固着的平均个数

Fig. 6 Average number of seedlings on different coatings in spring

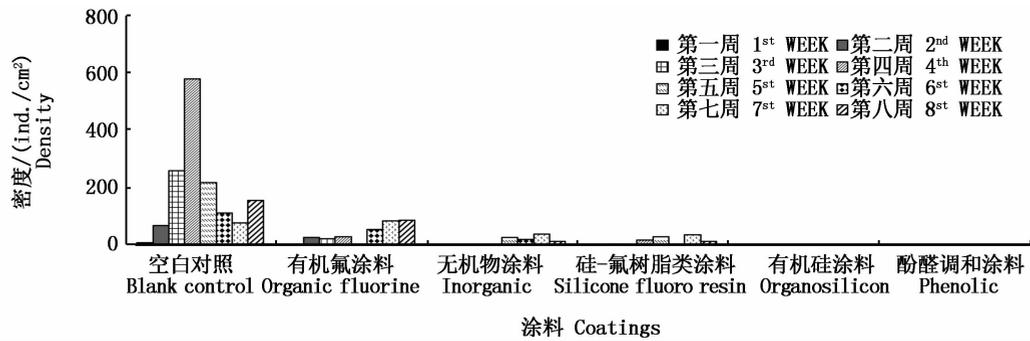


图 7 秋季幼苗在不同涂料上固着的平均个数

Fig. 7 Average number of seedlings on different coatings in autumn

实验过程中,从开始到第八周 5 种涂料都有不同程度的损耗,特别是有机硅和酚醛调和涂料的脱落较其他涂料严重。对于没有绿潮藻幼苗生长的有机氟、无机物涂料来说,有机氟涂料稳定性更加好,几乎没有脱落;无机物涂料虽然防绿潮藻幼苗固着的效果与有机氟涂料一样,但是涂料脱落比有机氟严重。而对于有绿潮藻幼苗长出的涂料来说,虽然第八周时有机硅和酚醛调和涂料上绿潮藻幼苗固着其上,但是在显微镜下观察时发现绿潮藻幼苗是直接生长在涂料之上,并不在涂料脱落的位置。同时也可以看出有机硅防污涂料和酚醛调和涂料分别从第三周和第五周开始,涂料上附着生长了大量的念珠直链藻(硅藻),而其他涂料上没有或者很少;说明这 2 种涂料防生物附着效果有限,虽然能够有效防止绿潮藻幼苗的大规模附着生长,但是防其他生物附着效果不强。

### 2.2.2 幼苗生长情况

春季实验结果表明(图 8),涂有硅-氟树脂和有机硅涂料的缆绳上有幼苗出现,幼苗的长度随着生长时间的推移而增加;但幼苗的长度均小于对照组尼龙绳。涂有有机氟、无机物和酚醛调和涂料的缆绳上没有幼苗固着其上,故无生长长度数据。第四周时,空白组尼龙绳幼苗平均长度为 0.89 mm,而硅-氟树脂涂料上幼苗长度为 0.60 mm,有机硅涂料上幼苗长度为 0.41 mm。

秋季实验结果表明(图 9),涂有硅-氟树脂、有机硅和酚醛调和涂料的缆绳上有幼苗出现,幼苗的长度随着生长时间的推移而增加;但幼苗平均长度均小于对照组尼龙绳。涂有有机氟和无机物涂料的缆绳上自始至终都没有幼苗固着其上,故无生长长度数据。第八周时,空白组尼龙绳幼苗平均长度为 7.09 mm,硅-氟树脂涂料上幼苗平均长度为 4.22 mm,有机硅涂料上幼苗平均

长度为2.69 mm, 酚醛调和涂料上幼苗平均长度为3.85 mm。结果表明, 涂料对于幼苗的生长有一定的抑制作用。

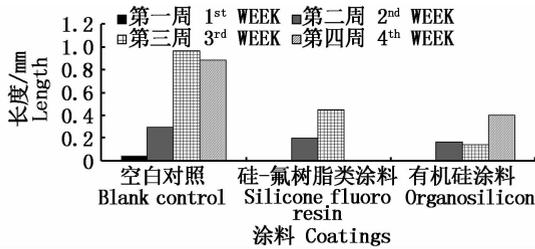


图8 春季幼苗在不同涂料上生长的平均长度  
Fig.8 Average length of growth of spring seedlings on different coatings

涂有有机氟、无机物和酚醛调和涂料的缆绳没有幼苗固着其上  
the ropes coated with organic fluorine, inorganic substances and phenolic resin paint have no seedling fixation

### 2.3 模拟实验结果的比较与分析

春、秋两季实验对比发现, 春季不同材质缆绳上绿潮藻幼苗的固着个数要比秋季的少, 分析其主要原因可能有以下几个方面: 紫菜架缆绳上的绿潮藻春季比秋季多。春季的紫菜架由于前一年秋季已经放置, 缆绳在海上受到长时间生物侵蚀, 绿潮藻个体已经比较多, 密密麻麻地分布在缆绳上, 并且已经达到一定的长度; 相对而言, 秋季缆绳刚下水, 其上没有或者有很少的绿潮藻, 放散出的生殖细胞也十分有限。春季水温 10℃左右, 并且在逐步回升, 这为缆绳上的绿潮藻生物量的快速生长提供了有利的条件; 绿潮藻释

放大量的繁殖体, 同时较低的水温有利于保持繁殖体的活性; 对于繁殖体来说, 固着到物体上需要一定的时间, 因此为其在各材料上的固着提供有利因素。秋季水温 20℃左右, 多变的天气可能造成水体温度骤降, 不利于绿潮藻的生长, 往往能导致绿潮藻的死亡; 虽然较高的温度有利于绿潮藻的生长, 但是对于繁殖体来说是一个不利的因素; 秋季各材料上有硅藻出现, 而春季没有。秋季各材料上出现了大量的念珠直链藻, 其附着于材料的表面, 从而使材料表面积大大地减少, 影响到了绿潮藻的固着, 即与绿潮藻形成竞争关系, 此消彼长。春、秋两季各涂料无绿潮藻幼苗或者有极少数幼苗固着其上, 涂料可以有效地抑制绿潮藻繁殖体的固着和幼苗的萌发。从短期防固着效果来看, 有机氟、无机物和酚醛调和涂料的防护效果要好于硅-氟树脂和有机硅涂料。总体来看, 有机氟类防污涂料效果最好, 其对于环境污染较小, 虽然表面也有裂纹, 但是表面还是相对比较光滑, 并无绿潮藻及其他生物个体附着其上; 无机物涂料次之, 其涂抹在缆绳表面干燥之后, 容易造成脱落, 虽然其表面凹凸不平, 但也没有发现其上有生物附着, 然而随着时间的推移, 缆绳表面的涂层变薄很多; 而对于含硅的有机硅和硅-氟树脂涂料来说, 其都是降低涂层表面的自由能来防护生物的附着, 虽然对于绿潮藻具有很好的防附着效果, 但还是有一些绿潮藻繁殖体固着其上, 其对一些硅藻防附着效果不佳。

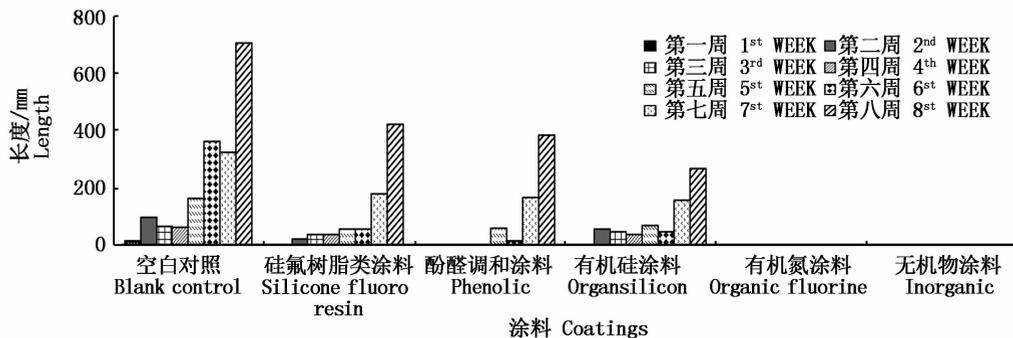


图9 秋季幼苗在不同涂料上生长的平均长度  
Fig.9 Average length of autumn seedlings growing on different coatings

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

(1)3种材质缆绳上绿潮藻幼苗的密度和长度总体随着时间的推移而增多,第四周左右固着密度能达到最大,随后呈现下降的趋势。从材质上看,聚丙烯绳上的绿潮藻幼苗平均生长长度较其他2种材质略长。

(2)所选涂料能有效地抑制绿潮藻固着、萌发和生长,涂有涂料缆绳上绿潮藻幼苗固着个数和生长长度明显低于对照组,其中有机氟涂料的防固着效果最好,涂在缆绳上既稳定又能有效地防止绿潮藻幼苗的固着生长。

(3)本实验选取材质、涂料类型有限,仅作为代表。虽然涂料对于绿潮藻幼苗的固着及生长有显著的抑制作用,但需要更大规模和更深入的研究和现场试验,以便于推广和应用。

#### 3.2 对策与建议

(1)加强源头治理,加大防控技术研究和推广,实现对绿潮的有效防控。目前对于筏架中附着生长的绿潮藻普遍采用刮除或涂刷酸类等办法,而涂刷酸类对于海洋环境必然造成污染,对紫菜养殖也会造成一定的影响,有必要加强防止绿潮藻在筏架区固着生长的技术研究。同时要采取措施,鼓励绿潮藻的回收和处置,防止大量绿潮藻被直接进入海洋,从源头上遏制绿潮暴发。

(2)加强资源化利用:目前我国对于绿潮藻的资源化利用规模较小,经济效益较差。国家和地方政府应引导、鼓励企业加强绿潮藻资源化利用等领域的开发,并给予一定政策扶持和优惠。特别在食品、饲料、医药等方面的研究,以真正实现变废为宝,化害为利,实现海洋生态环境可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] FLETCHER L. The occurrence of "Green Tides": a review [M]//SCHRAMM W, NIENHUIS H. Marine Benthic Vegetation: Recent Changes and Effects of Eutrophication. Berlin: Springer-Verlag, 1996: 7-43.
- [2] 国家海洋局. 2016年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- State Oceanic Administration. Marine environmental quality bulletin in China in 2016[R]. Beijing: Ocean Press, 2017.
- [3] 郭伟, 赵亮, 李秀梅. 黄海绿潮分布年际变化特征分析

[J]. 海洋学报, 2016, 38(12): 36-45.

GUO W, ZHAO L, LI X M. The interannual variation of Green Tide in the Yellow Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2016, 38(12): 36-45.

- [4] 刘守海, 刘材材, 徐韧, 等. 江苏陆上养殖池塘与南黄海绿潮源头的关系分析[J]. 海洋渔业, 2016, 38(3): 291-296.
- LIU S H, LIU C C, XU R, et al. Analysis of relationships between onshore aquaculture ponds in Jiangsu and the source of green tide in the South Yellow Sea[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(3): 291-296.
- [5] 吴玲娟, 曹丛华, 高松, 等. 我国绿潮发生发展机理研究进展[J]. 海洋科学, 2013, 37(12): 118-121.
- WU L J, CAO C H, GAO S, et al. A review on the development mechanism of Green Tide in China[J]. Marine Sciences, 2013, 37(12): 118-121.
- [6] 刘峰. 黄海绿潮的成因以及绿潮浒苔的生理生态学 and 分子系统学研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院, 2010.
- LIU F. The causes of green tides in the Yellow Sea, and ecophysiological and phylogenetic analysis of the bloom-forming alga, *Ulva prolifera*[D]. Qingdao: Chinese Academy of Sciences, People's Republic of China, 2010.
- [7] LIU D Y, KEESING J K, XING Q G, et al. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58(6): 888-895.
- [8] LIU F, PANG S J, XU N, et al. *Ulva* diversity in the Yellow Sea during the large-scale green algal blooms in 2008-2009[J]. Phycological Research, 2010, 58(4): 270-279.
- [9] 易俊陶, 黄金田, 宋建联. 对盐城市沿海 2008 年浒苔发生情况的初步认识[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(s1): 57-58.
- YI J T, HUANG J T, SONG J L. Initial understand of *Enteromorpha prolifera* Occurred in Yancheng Coastal Waters in 2008[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(s1): 57-58.
- [10] 李大秋, 贺双颜, 杨倩, 等. 青岛海域浒苔来源与外海分布特征研究[J]. 环境保护, 2008, 402(16): 45-46.
- LI D Q, HE S Y, YANG Q, et al. The research of the source of *Enteromorpha prolifera* in Qingdao sea and the distribution characteristics in the external sea area[J]. Environmental Protection, 2008, 402(16): 45-46.
- [11] 陆勤勤, 穆新武, 胡传明, 等. 中国黄海南部海域绿潮物种、分布及发生特征研究[C]//中国藻类学会第八次会员代表大会暨第十六次学术讨论会论文摘要集. 上海: 中国海洋湖沼学会, 2011: 11.
- LU Q Q, MU X W, HU C M, et al. Study on the species, distribution and occurrence of green tide in the sea area of Hainan, China[C]//Abstracts of the 8th Member Congress and the 16th Symposium of the Chinese Society of Phycology. Shanghai: Chinese Society for Oceanology and Limnology, 2011: 11.

- [12] 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[J]. *Marine Environmental Research*, 2010, 69(4): 207-215.
- [13] 王建伟, 阎斌伦, 林阿朋, 等. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生长及孢子释放的生态因子研究[J]. *海洋通报*, 2007, 26(2): 60-65.  
WANG J W, YAN B L, LIN A P, et al. Ecological factor research on the growth and induction of spores release in *Enteromorpha prolifera* (Chlorophyta) [J]. *Marine Science Bulletin*, 2007, 26(2): 60-65.
- [14] 丛珊珊. 环境因子对浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生长、生存状态和营养吸收影响的实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.  
CONG S S. A study on the effects of environmental factors on growth, living conditions and uptake rates of *Enteromorpha prolifera*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [15] 张晓红. 温度、盐度等环境因子对浒苔(*Enteromorpha prolifera*)及繁殖体生长的影响[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2011.  
ZHANG X H. Preliminary study on temperature, salinity and other environmental factors effect the visible thalli and microscopic propagules of *Enteromorpha prolifera* [D]. Qingdao: the First Institute of Oceanography, 2011.
- [16] 高珍. 浒苔生理生态特性和转录组研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.  
GAO Z. Study on physiological characteristics and the transcriptome of *Enteromorpha prolifera*[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010.
- [17] 吴洪喜, 徐爱光, 吴美宁. 浒苔实验生态的初步研究[J], *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2000, 19(3): 230-234.  
WU H X, XU A G, WU M N. Preliminary study on experimental ecology of *Enteromorpha prolifera* (Miill.) [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)* 2000, 19(3): 230-234.
- [18] 李瑞香, 吴晓文, 韦钦胜, 等. 不同营养盐条件下浒苔的生长[J]. *海洋科学进展*, 2009, 27(2): 211-216.  
LI R X, WU X W, WEI Q S, et al. Growth of *Enteromorpha prolifera* under different nutrient conditions [J]. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(2): 211-216.
- [19] 朱明, 刘兆普, 徐军田, 等. 不同氮磷水平对缘管浒苔生长及光合作用的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2011(3): 57-61.  
ZHU M, LIU Z P, XU J T, et al. The effects of different levels of N and P on the growth and photosynthesis of *Enteromorpha linza* [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2011(3): 57-61.
- [20] 朱明, 刘兆普, 徐军田, 等. 浒苔孢子放散与附着萌发特性及其干出适应性的初步研究[J]. *海洋科学*, 2011, 35(7): 1-6.  
ZHU M, LIU Z P, XU J T, et al. The release, adhesion and germination of spores of *Enteromorpha prolifera* and its adaptation to different desiccation conditions [J]. *Marine Sciences*, 2011, 35(7): 1-6.
- [21] 孙雷, 宋秀贤, 白洁, 等. 环境因子及不同附着基对浒苔孢子附着的影响[J]. *中国海洋大学学报*, 2015, 45(5): 59-63.  
SUN L, SONG X X, BAI J, et al. Impacts of environmental factors and different substrata on the adhesion of *Ulva prolifera* spores [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45(5): 59-63.

## Preliminary study on prevention of adhesion and growth of green tide algae

LIU Caicai<sup>1,2</sup>, JI Xiao<sup>1,2</sup>, XIANG Lingyun<sup>1,2</sup>, LIU Shouhai<sup>1,2</sup>, QIN Yutao<sup>1,2</sup>, DENG Bangping<sup>1,2</sup>, XU Ren<sup>1,2</sup>

(1. East China Sea Environmental Monitoring Center SOA, Shanghai 200137, China; 2. Key Laboratory of Integrated Monitoring and Applied Technology for Marine Harmful Algal Blooms SOA, Shanghai 201206, China)

**Abstract:** The efficiency of the adhesion and growth of *Ulva Prolifera* in 3 kinds of ropes with different materials and 5 different coatings was studied in the methods of outdoor simulation experiments. The results showed that the density and length of green tide algae seedlings on the 3 kinds of ropes increased as time went on, and around 4 weeks, the density of fixation reached the maximum, and then showed a downward trend. From the material point of view, the average growth length of green algae seedlings on polypropylene rope was slightly longer than those of other 2 kinds of materials. The selected coatings can effectively inhibit the germination and growth of green tide algae. The coated ropes fixed number of green tide algae seedlings and growth length were significantly lower than the control group. The organic fluorine coating had the best effect on preventing.

**Key words:** green tide algae; coating; material; prevention of adhesion; growth