

2017 年黄海绿潮特点及绿潮灾害防控新挑战

刘 霜^{1,2}, 张洪亮^{1,2}, 刘旭东^{1,2}, 李瑞瑶³,
张继民^{1,2}, 王 梅^{1,2}, 宋文鹏^{1,2}

(1. 国家海洋局 海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室, 山东 青岛 266033;
2. 国家海洋局 北海环境监测中心, 山东 青岛 266033; 3. 英属哥伦比亚大学, 加拿大不列颠哥伦比亚 温哥华 V67 1Z4)

摘 要:对 2017 年黄海绿潮的监测发现:浒苔和铜藻伴生且铜藻占比显著;随着绿潮规模达到最大,铜藻出现站位所占比例明显上升并超过了浒苔单独出现站位;2017 年黄海绿潮分布面积与覆盖面积较小,发生过程具有发现时间较早、结束时间最早因而持续时间历年最短的特点,推测结束时间早和南方紫菜养殖大幅减产不无关系。由于铜藻和浒苔的光谱特征不同,而且铜藻藻体下潜深度大,现有的绿潮卫星遥感监测和预警预报技术面临新的挑战;针对浒苔的绿潮防护拦截装置、船只打捞装置和处置技术面对铜藻普遍失效,亟需重新开发新的打捞技术,研制新的打捞工具,黄海绿潮灾害监测防控面临新挑战。

关键词:绿潮;特点;伴生;结束时间;新挑战

中图分类号:X43

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2018)04-0062-09

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2018.04.008

绿潮或称大型藻藻华,是指由于大型藻过度增殖和生长而引起的一种海洋生态灾害现象,主要是由石莼属(*Ulva*),刚毛藻属(*Cladophora*),硬毛藻属(*Chaetomorpha*)等定生大型藻脱离固着基后漂浮并不断急剧增殖形成,在美国、法国、菲律宾、日本等许多国家都有爆发绿潮的报道^[1-4]。在我国,自 2007 年至今,黄海绿潮已连续发生了十余年,已成为该海域主要的海洋生态灾害之一。绿潮爆发,大量藻体漂浮聚集,破坏海洋生态系统,严重威胁沿海旅游、渔业和养殖业的发展^[5-6],历次绿潮均给沿岸省、市带来严重的经济损失,并需要投入大量的人力、物力、财力进行绿潮的打捞和防控工作。尤其是在 2008 年,绿潮持续时间长达 3 个月,对青岛奥帆赛的进行产生了威胁和影响,直接经济损失达 6 亿元^[7]。

多年来黄海绿潮一个最显著的特点是优势物种相同且单一,均为浒苔(*Enteromorpha prolifera*),即黄海绿潮系同一物种、也是单一物种的连续多年暴发。ZHAO 等^[8]对 2007—2011 年 5 a 来的黄海绿潮藻样本进行了物种水平和种内水平遗传多样性的研究,在种内水平,参考了现有文献中 2007—2009 年所发表的 182 个黄海绿潮藻样本和 155 个沿海定生石莼属绿藻样本的信息,结果发现虽然我国北部沿海的定生石莼属绿藻存在一定的物种多样性,但 5 a 间黄海绿潮的优势物种相同且单一,均为浒苔;在浒苔种内水平,ISSR 图谱的分子系统发育分析和黄海绿潮浒苔特异性 SCAR 标记的扩增结果具有高度的遗传相似性。

但是,据国家海洋局北海环境监测中心的监测结果,2017 年黄海绿潮海域铜藻数量异常增高,绿潮期间浒苔与铜藻均出现,且铜藻所占比例显著,后期北海监测中心技术人员陆岸巡视发现铜藻在山东半岛南岸多处登陆。

铜藻(*Sargassum horneri*)隶属于褐藻门(Phaeophyta)墨角藻目(Fucales)马尾藻科(Sargassaceae)马尾

收稿日期:2018-06-03

资助项目:山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金项目——南黄海浒苔—铜藻种间关系比较研究及复合型绿潮形成机制初步探究(201705);国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室开放基金——石油类胁迫下微食物环关键类群生态效应初步研究(201501)

作者简介:刘 霜(1977-),女,高级工程师,硕士,主要从事海洋生态灾害与海洋生态环境评估方面研究. E-mail: liushuang@bhj.gov.cn

(王佳实 编辑)

藻属(*Sargassum*),是一种常见的大型海洋藻类,不连续分布在我国沿海,多生长在低潮带深沼中或大潮线下深至 4 m 处的岩石上,枝叶繁茂,形成的铜藻场是幼鱼、小型鱼类避敌索饵、产卵的场所,因而又被称为“生态渔礁”^[9]。种群样方调查显示,自然种群主体是有性生殖长成的 1 a 生藻株,从残枝上长成的 2 a 生藻株约占种群总数的 5%^[10],因此铜藻具有在一定条件下大面积漂浮生长的可能。

本研究采用船舶现场监测和陆岸巡视监测的手段,对 2017 年绿潮过程进行了追踪调查和研究,分析了其中铜藻、浒苔两种藻的数量变化情况,并进一步分析了铜藻爆发对现有绿潮防控手段和措施的影响,以期对绿潮灾害的有效防控提供依据。

1 材料与方法

1.1 监测区域和站位布设

船舶监测区域为南起 35°N 线附近,北到 36°45'N 附近的山东半岛南岸的黄海海域。监测期间,根据绿潮发生位置和面积,在近海进行绿潮走航式巡视并在航线上布设站位;当绿潮将要到达近岸时,增加对绿潮前沿的巡视性监测并在重点海湾及发现绿潮海域布设站位,站位布设原则是在巡视海域航行每间隔一段时间布设一个;当绿潮登陆时,巡视藻体登陆情况并在重点区域布站。

1.2 监测内容和方法

1.2.1 监测内容

监测内容包括 2017 年黄海绿潮期间,海上绿潮发生发展过程的时间节点、位置、规模,绿潮藻的种类组成,藻体形态,绿潮藻生长状况、数量比例及其变动,黄海绿潮分布面积和覆盖面积情况;绿潮在山东半岛的登陆时间、位置、登陆数量、藻体数量比例等。

1.2.2 监测时间和频率

根据《国家海洋局国家海洋局北海分局关于印发绿潮灾害应急执行预案》,按绿潮分布和覆盖面积从大到小,分一至三级应急响应工作程序和应急预警响应工作程序共 4 个级别进行监测:一级应急响应期间 1 次/d;二级应急响应期间 3 次/周;三级应急响应期间 2 次/周;应急预警响应工作程序期间 1 次/周。

2 监测结果

2.1 2017 年绿潮监测过程与铜藻的发现

基于卫星遥感并辅以船舶观测的结果,2017 年黄海绿潮过程大致为:05-14 卫星在苏北浅滩海域发现漂浮大型藻类,05-20 浒苔前沿到达 35°N 线,06-14 和 06-20 绿潮分布和覆盖面积增大到一定程度,分别启动绿潮灾害三级和二级应急响应,07-03 由二级调整为三级,07-10 起终止绿潮灾害三级应急响应,07-20 起终止绿潮灾害应急响应。2017 年黄海绿潮与往年绿潮灾害一个显著的不同是,在绿潮发生发展期间大量马尾藻(后经形态学和分子生物学鉴定为铜藻)与浒苔伴生。

铜藻在黄海海域被船舶巡视发现是在 2017-05 下旬,05-24—26 船舶巡视路线为沿 35°N 自西向东,到达 122°E 后向北,后继续回 35°N,巡视中发现绿潮中浒苔与铜藻同时存在,且铜藻所占比例不低;在随后的巡视中也时见铜藻出现;进入 2017-06 中旬,山东半岛南部沿岸海域发现多处浒苔伴生铜藻漂浮现象;06-25 胶州湾口开始发现浒苔铜藻伴生,青岛近岸的团岛、小青岛、青岛湾、汇泉湾、太平湾、五四广场近岸海域一直到 07-17 均多次发现浒苔铜藻伴生;2017-06 底—2017-07 初,烟台乳山沿岸开始出现大量伴生的浒苔铜藻。进

入 2017-07 中旬,黄海海域绿潮数量开始减少,但铜藻数量没有随之减少。

根据国家海洋局北海监测中心的监测结果,2017-05-24—07-17 走航巡视监测的 489 个近海监测站位中,367 个站位发现绿海藻体,其中,177 个站发现铜藻(图 1),发现铜藻站位占发现绿潮站位的 48.2%,占有所有监测站位 36.2%。

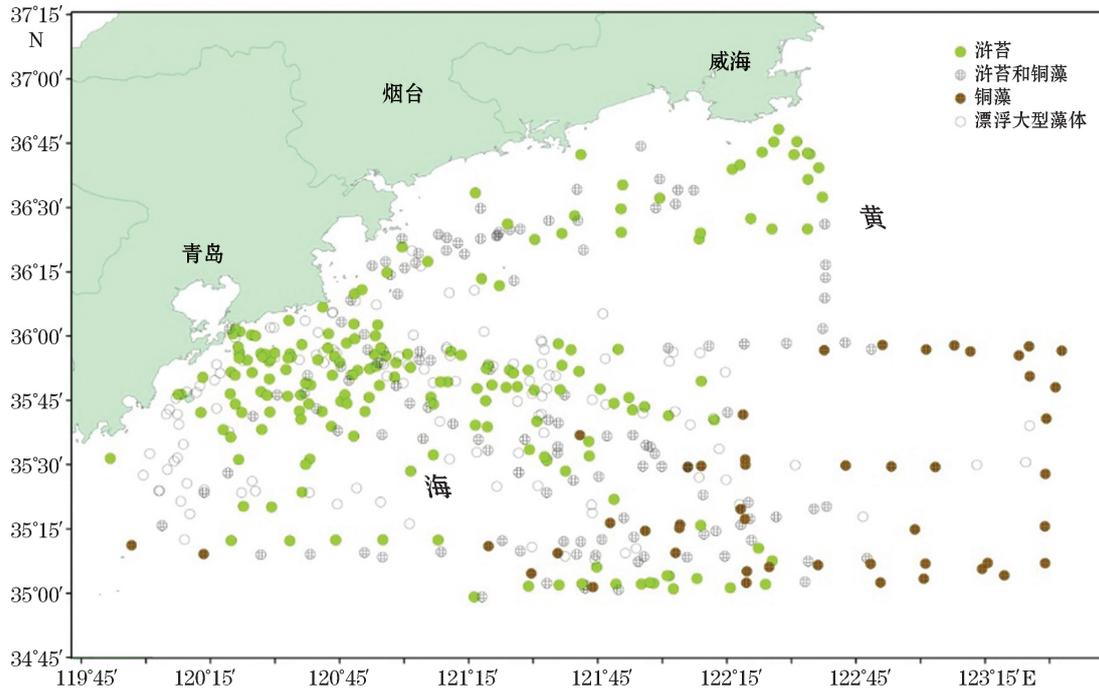


图 1 2017-05-24—07-17 绿潮监测站位及藻种分布站位图

Fig.1 Stations of the green tide monitoring and the algae species distribution in the Yellow Sea in May 24-July 17, 2017

6 月底 7 月初,山东烟台南岸某大型涉海企业取水渠出现铜藻,对企业取水安全构成明显威胁,高峰期取水渠内每日铜藻打捞量超过 5 000 kg。陆岸巡视显示,大量浒苔铜藻伴生上岸的现象并不只在烟台出现,在东至即墨温泉镇海滩,西至黄岛连三岛路附近海滩的 15 个青岛前海一线重要地点均发现浒苔铜藻伴生并一起登陆,铜藻约占登陆藻体生物量的 10%~30%。其中,青岛第六海水浴场海面设置了浒苔防护栏,到达浴场及沙滩的浒苔数量明显减少,但铜藻轻松越过防护栏,进入浴场并上岸,浴场每日清理的藻类数量激增,其中约 1/3 为铜藻。

可见,2017 年南黄海浒苔监测站位铜藻出现比例明显增高,大量铜藻和浒苔伴生并一起在山东半岛南岸登陆,综合分析后,推测是马尾藻金潮和浒苔绿潮同时期出现在黄海,鉴于能够从卫星遥感手段监测到其明显的漂移过程,并且该现象在以往年份没有出现,估计可能是由于 2017 年特定的风场和海流方向综合作用的结果,至于 2017 年会有如此大规模马尾藻金潮爆发的原因还有待进一步的监测和研究,而将来这种 2 种藻体伴生爆发并登陆的情况会不会再次并经常出现,其发生发展过程如何,以及铜藻未来可能的登陆量对沿岸产业带来的威胁大小均是未知,因此,这种 2 种藻体伴生爆发的海洋灾害新动态,应引起人们足够关注和重视。

2.2 2017 年绿潮中铜藻出现站位占比变化情况

通过 2017 年监测期间铜藻出现站位分别占发现绿潮站位的百分比(图 2)可以看出,在 06-20—07-03 期间出现绿潮发生发展期间的最高占比,此时铜藻发现站位占发现藻体站位的 71.8%(图 2),而这个时间段与国家海洋局北海分局绿潮灾害应急响应等级为二级的时间吻合。从图 2 还可以看出,06-20 之前,浒苔所占比例有个升高过程,然后随着绿潮规模达到最大的过程中,铜藻出现站位所占比例明显上升并超过了浒苔单

独出现站位,推测铜藻在 2017 绿潮达到最大规模的期间相对浒苔而言更适应周围的环境和气候等条件,增长速率有所提升。

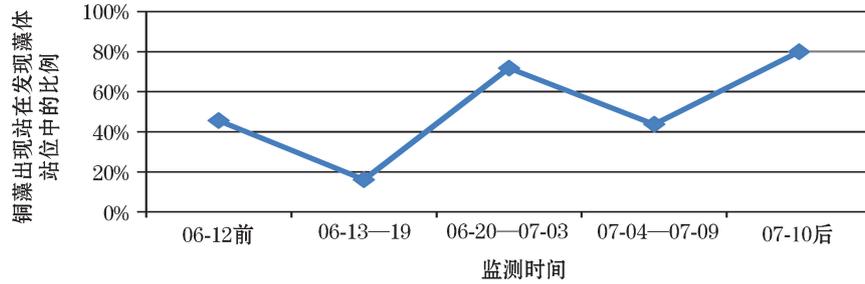


图 2 2017 年监测期间铜藻出现站位占绿潮发现站位百分比

Fig.2 The percentage of the stations where *Sargassum horneri* occurred accounting for the stations at which green tides were founded during the monitoring in 2017

由绿潮灾害二级应急响应期间(06-20—07-03)监测站位藻种分布站位图(图 3)可以看出,70.7%的站位出现铜藻;在外海的站位中,铜藻占优势,而近岸的站位中,浒苔铜藻伴生站位比例较高。

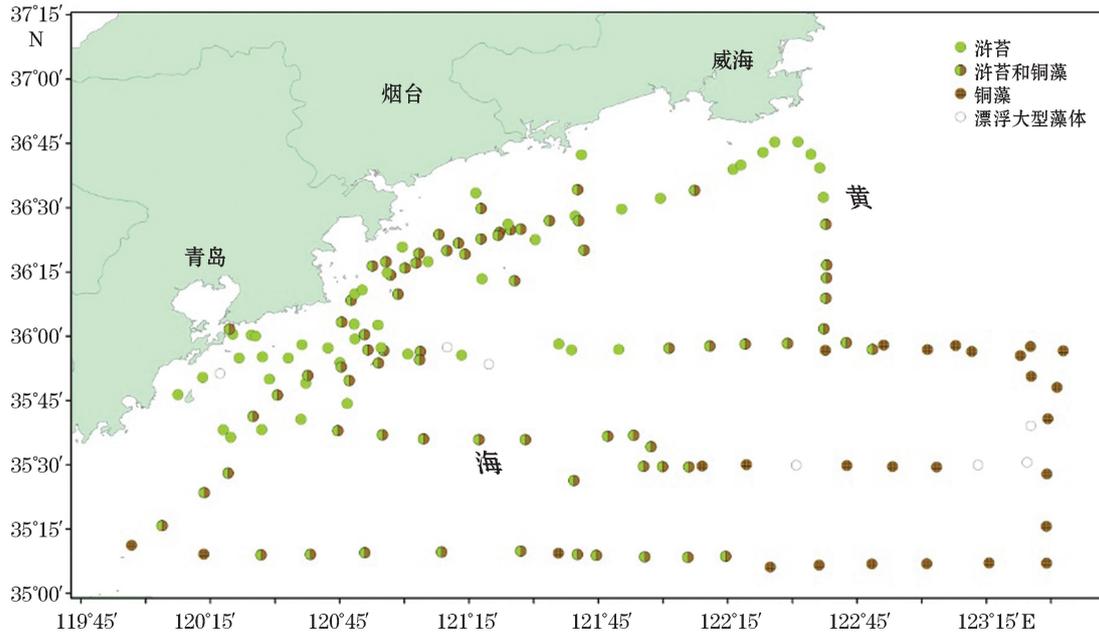


图 3 2017 年绿潮灾害二级应急响应期间藻种分布站位图

Fig.3 Stations of algae species distribution during the secondary emergency response of green tide disaster in 2017

此外,从图 2 还可以看出,2017-07-10 以后,铜藻出现站位比例又明显上升,分析统计结果发现,10 日以后浒苔单独发现站位的数量明显下降,80.0%的站位都是铜藻或者铜藻浒苔伴生,说明到了绿潮后期,浒苔数量明显下降,铜藻所占比例相对上升。

绿潮藻的打捞量也反映了铜藻出现站位在绿潮高峰期和绿潮消亡期明显升高这一变化,据前述大型涉海企业工作人员介绍,2017-07-07—07-10,取水渠通过防护网的铜藻数量比例逐渐上升,2017-07-10 以后浒苔数量大幅降低,但是铜藻数量减少幅度较小。

据有关人员介绍,在青岛近岸附近海域打捞的海状元号,2017-07 初绿潮打捞高峰时,日打捞量为 8 000 ~10 000 t,打捞的铜藻占比大约是 10%~15%;从 07-06 开始,打捞的绿潮中铜藻比例大幅上升,所占比例

最高曾达 2/3;07-12 打捞后期,海状元号打捞量 500 多 t,铜藻占比超过 1/3。

2.3 2017 年绿潮发生发展过程较短,规模较小

根据国家海洋局《北海区海洋灾害公报》^[11]数据,2008 年以来的黄海绿潮起止时间统计表见表 1,从表中可以看出,相比往年,2017 年黄海绿潮发生发展过程明显较短,2017 年黄海海域绿潮首次发现时间为 05-14,较一般年份的 5 月中下旬属较早年份;06-19 绿潮分布面积达到最大,比往年提前;登陆青岛沿岸为 06-14,相对往年的 6 月下旬也均属于较早年份;以往黄海绿潮大都是 2017-08 中旬左右结束,最晚的是 2008 年和 2012 年,绿潮在 2017-08 底结束,而 2017 年却在 07-20 就结束,比往年提前了半个月左右,持续时间不到 70 d,是历史最短年份。

此外,就发生规模而言,2008—2016 年,绿潮最大分布面积的平均值为 38 750 km²,而 2017 年最大分布面积仅为 29 090 km²,低于往年均值 9 660 km²,且远低于过去 3 a(2014—2016 年)的最大分布面积。2008—2016 年最大覆盖面积的平均值为 720 km²,2017 年最大覆盖面积却仅为 281 km²。2017 年最大分布面积与最大覆盖面积均出现在 6 月中旬(06-19),属于较早年份。2012 年虽然发生规模较小,但持续时间较长,到 8 月底才结束。2016 年虽然结束时间也稍早,但是发生规模却很大。

因此,通过对比 2008—2017 年绿潮发生发展情况,2017 年黄海绿潮发生过程具有发现时间较早、结束时间最早、持续时间最短、分布面积与覆盖面积较小的特点。

表 1 2008—2017 年黄海绿潮时间和规模统计

Table 1 Statistics of the green tide duration and scale in the Yellow Sea from 2008 to 2017

年 份	卫星首次 发现日期	最大分布 面积/km ²	最大覆盖 面积/km ²	最大分布面积 出现日期	消亡日期	持续时间/d
2008	05-14	25 000	540	07-12	09-01	110
2009	05-20	58 000	2 100	07-02	08-22	94
2010	06-02	29 800	530	07-10	08-17	76
2011	05-27	26 400	560	07-19	08-17	82
2012	05-16	19 610	267	06-13	08-30	106
2013	05-10	29 733	790	06-27	08-14	96
2014	05-12	50 000	540	07-14	08-15	95
2015	05-16	52 700	594	06-19	08-14	93
2016	05-10	57 500	554	06-25	08-02	85
2017	05-14	29 090	281	06-19	07-20	68

注:消亡日期是指卫星遥感监测下黄海绿潮基本消亡的日期,通常与黄海绿潮灾害应急响应终止日期重合

3 讨 论

3.1 往年绿潮期间发现马尾藻情况回顾

针对 2017 年绿潮期间出现马尾藻伴生的异常现象,本研究搜索了往年的绿潮资料,发现在黄海海域绿潮期间铜藻曾经出现过数次。其中,易俊陶等^[12]对江苏省盐城市沿海 2008 年浒苔发生情况的调查和实地观测发现,海上浒苔通常漂浮于清水区,成区域分布,其间夹杂有铜藻。而铜藻在盐城市海域以前没有发现,故怀疑是从基岩质海区漂移而来。由于漂浮铜藻生物量较小,当时并未引起人们关注。

此外,监测结果发现,2013 年也有发现过铜藻,当年 06-20 下午,北海监测中心技术人员乘“海勘 08”船

巡视,在日照以东远岸海域(HT073,120°43′42″E,35°35′12″N)发现大面积的漂浮马尾藻,呈棕褐色块状分布。漂浮马尾藻分布海域面积约 20 km²,覆盖率约 2%,距离青岛约 50 km。2013-06-25—27,青岛沿海的灵山岛一大公岛至胶州湾口均有漂浮铜藻分布,分布数量(体积)约占浒苔 1%,局部区域可达浒苔数量(体积)的 20%。但是 2013 年后铜藻数量快速减少,最终没有在黄海以及山东半岛南部近岸海域形成规模。张洪亮等^[13]认为 2013 年绿潮出现新的藻种马尾藻(铜藻),使绿潮灾害防治形势更加复杂了。

2014-05-14,根据国家海洋局东海分局监测结果,在盐城以东海域(120°45′~122°30′E,33°00′~34°00′N)发现大量马尾藻,目测范围内马尾藻数量远多于浒苔。05-15 绿潮进入北海区海域。05-26,北海区绿潮覆盖面积约 158 km²,分布面积约 9 020 km²,漂移至山东半岛南部,仍夹杂马尾藻,船舶监测结果显示浒苔比例已远大于马尾藻。然后马尾藻在黄海海域很快消失。

此外,据宋伦等^[14]2015 年辽宁近海曾发现铜藻形成的绿潮,06-25 大连湾、星海湾、小平岛沿岸发现大量漂浮褐藻,经鉴定主要为铜藻(*S. horneri*),少量间杂海黍子(*S. muticum*),分布面积达 10 km²,最大覆盖厚度近 1 m;07-04 卫星遥感监测到大连东南和西部海域异常条带(铜藻,海黍子),分布面积达 96 km²;7 月下旬逐渐消失。但是该研究没有提到该铜藻的来源,是原生还是从南黄海漂浮而来不得而知。

3.2 铜藻的生物学特点及对漂浮生活的适应性

铜藻是北太平洋西部特有的暖温带性海藻,适温的季节里,铜藻借圆柱状气囊漂浮于水面,在强光条件下,生长迅速,生物量大,单株鲜重可达 3 kg。其生长和繁殖适温^[15]为 11~16 °C,繁殖盛期水温 16~20 °C。入春后,随着水温回升,海水透明度加大,逐渐进入快速生长。4 月末至 5 月中旬,水温 18~20 °C,精卵排放高峰期出现。铜藻鲜质量高峰出现在 5 月上旬,随着长度生长而增加。观察表明,铜藻一方面通过主枝的顶端和众多分枝的顶端进行多点的株高生长;另一方面它不断地从主、分枝上增生出大量次生分枝和侧枝、藻叶、气囊及生殖托形成,由此构成铜藻重量增长。

不同培育水层的铜藻生长差别较大,藻体在漂浮水面后开始快速生长,培育在 0.5 m 以内表水层的铜藻生长较快。而且,同自然分布相似潮位的海带、裙带菜相比,铜藻对光照的适应范围要大的多。

结合 2017 年度绿潮发生过程期间的现场跟踪观察,认为铜藻之所以能在 2017 年黄海绿潮中后期所占生物量比例明显上升,和铜藻对光照的适应范围广、单株重量较大、漂浮生长状态下生物量增长速度较高有着密切关系。

3.3 黄海绿潮灾害监测防控面临新挑战

山东某大型涉海企业取水渠现场调查发现,由于铜藻下潜深度大,而原来针对浒苔设置的海上拦截装置多设置在水面,因而对铜藻没有拦截作用;由于浒苔藻丝短、细、易断,而铜藻藻体长,枝干粗且韧性强,原有的浒苔打捞船只和机械打捞工具对铜藻失去效果,只能依靠人力捞取铜藻藻体,明显限制了打捞工作的速度和进度。此外,漂浮的铜藻从水面上看分布面积并不大,一旦捞取上来,每团漂浮的铜藻藻体都体积很大,生物量高。观察发现,浒苔是依靠藻体本身的中空结构而漂浮在海水表层,铜藻而与浒苔不同,它是依靠多个从叶腋处长出的气囊而漂浮,藻体露出水面的部分很少,水下潜量大。

在设置浒苔防护栏的青岛第六海水浴场监测发现,由于铜藻和浒苔漂浮机制不同,大量铜藻轻松从水下穿过设置在海面的浒苔防护栏,到达并在浴场滩面大量上岸,对浴场功能造成一定威胁,清理和垃圾清运工作量激增。

综上所述,一方面,铜藻属于褐藻,而浒苔属于绿藻,尽管 2 种藻体光谱特征不同,2 种藻体却常伴随出现,已有的绿潮浒苔遥感监测技术面临识别新挑战;而且铜藻藻体大部分潜在水下,且部分被水面(浒苔)掩盖,即使以后解决了识别的问题,遥感监测结果也会因偏差太大而无法使用,所以,绿潮预警预报技术面临新的挑战;另一方面,由于原有的针对浒苔的绿潮防护拦截装置、船只打捞装置和处置技术对铜藻普遍失效,亟需重新开发新的打捞技术,研制新的打捞工具,以应对防灾减灾的迫切需要。

3.4 2017 年黄海绿潮过程短、规模小与紫菜养殖关系的探讨

关于黄海绿潮的起源地及发生原因,曾有过多种观点。有的观点认为漂浮藻体来源于江苏辐射沙洲的水体和底泥存在的大量微观繁殖体,是黄海绿潮的种源^[16],并且沿岸海水池塘具有重要作用^[17-18],黄海绿潮与江苏紫菜栽培未必有必然联系^[2];有的认为江苏浅滩和近海紫菜养殖海域可能是爆发的源头^[19-21],大规模的养殖阀架为绿潮提供了苗床;有的观点认为长江以北的黄海南部近岸海域可能是绿潮的发生地^[22];也有观点认为漂浮藻可能存在多种来源^[23]。

据刘材材等^[24]对南黄海绿潮爆发与紫菜养殖关系的研究,对南黄海紫菜养殖区(蒋家沙、竹根沙等)近 14 a 养殖面积遥感分析结果表明,2005 年以来受日本取消紫菜进口原产地为韩国的限制,紫菜养殖面积持续上升,为绿潮爆发提供的初始生物量越来越多,是引发 2007 年以来绿潮持续暴发的重要原因,也解释了为何 2007 年以后南黄海绿潮年复一年爆发。刘湘庆等^[25]对江苏南部紫菜养殖区绿潮微观繁殖体现状的研究表明,江苏如东紫菜养殖区及附近海域养殖设施为大量绿潮微观繁殖体提供了附着场,5 月左右回收阀架时附着绿潮被人为脱落在海滩,在潮流作用下漂浮和继续生长并在黄海大规模形成绿潮。

综合分析后,本研究也倾向于漂浮绿潮来源于紫菜养殖阀架的观点。故此,推测 2017 年绿潮过程提前结束与 2016 年底至 2017 年初南方紫菜养殖大面积减产不无关系。2017 年初,江苏省海洋水产研究所、江苏省紫菜协会等有关部门就江苏紫菜减产进行的联合调查结论也从侧面印证了这一推测。

2017 年初,南方紫菜大幅减产成为社会、市民关注的热点。据报道,2017 年是近 3 a 来紫菜损失最大的一年。据南通新闻报道,“2017 年受海上漂浮而来的马尾藻袭击,紫菜大面积烂菜,南通紫菜减产 60%。根据江苏省海洋研究所发布的数据,2017 年南通、盐城两市紫菜行业直接损失达 5 亿元之多。”^[26]

回溯此事件,2017-01-12,新华网、中国水产频道、盐城新闻网、中国水产养殖网、中国海洋食品网等多家媒体报道,“今年江苏沿海突发马尾藻灾情,对紫菜行业影响巨大。对此,江苏省海洋与渔业指挥部、江苏省海洋水产研究所、江苏省紫菜协会三方组成联合调查组,得出的结论是,因为马尾藻的原因,今年盐城、南通二市紫菜行业总直接损失达 5 亿元之多,据联合调查组出具的报告,从 2016-12-15 开始,在东沙养殖的紫菜养殖区受海上漂浮的马尾藻袭击,其事发突然,来势迅猛,最大马尾藻群达 4~5 亩,有的可载人,随潮水漂流,布满海面,所到之处,筏架被布满了马尾藻。”^[27]

而且,实际的遥感监测结果也可以作为佐证,根据 2017 年的遥感监测结果,6 月上旬以后,苏北浅滩没有继续生成新的大规模浒苔,35°N 以北的浒苔因而没有后续新生面积的补给,本研究推测这和马尾藻袭击造成养殖紫菜大规模受灾,从而引起绿潮暴发初始生物量大量减少有关;进而导致 2017 年绿潮结束时间提前,发生过程较短且规模较小。而往年在浒苔整体向北漂移的过程中,苏北浅滩海域新生浒苔会持续不断生成,一般会持续到 6 月中下旬,导致往年浒苔分布面积广、持续时间长。

4 结 语

2017 年黄海绿潮期间,南黄海浒苔监测站位铜藻出现比例较往年明显增高,大量铜藻和浒苔伴生爆发,并一起在山东半岛南岸登陆,综合分析后,推测是马尾藻金潮和浒苔绿潮同时期出现在黄海。

2017 年黄海绿潮发生过程具有结束时间最早、持续时间历年最短、分布面积与覆盖面积较小的特点。绿潮过程中铜藻的大量出现,给绿潮遥感监测及识别技术带来了新挑战;另一方面,相关政府和涉海企业亟需开发新的打捞技术,研制新的防护拦截装置和打捞工具,以应对防灾减灾的迫切需要。

参考文献 (References):

[1] HAYDEN H S, BLOMSTER J, MAGGS C A, et al. Linnaeus was right all along: ulva and enteromorpha are not distinct genera[J]. Eu-

- ropean Journal of Phycology, 2003, 38(3): 277-294.
- [2] WU L J, CAO C H, GAO S. A review on the development mechanism of green tide in China[J]. Marine Sciences, 2013(12): 118-121. 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(12): 118-121.
- [3] NELSON T A, NELSON A V, TJOELKER M. Seasonal and spatial patterns of "green tides" (Ulvoid algal blooms) and related water quality parameters in the coastal waters of Washington State, USA[J]. Botanica Marina, 2003, 46(3): 263-275.
- [4] CHARLIER R H, MORAND P, FINKL C W, et al. Green tides on the Brittany coasts[C]//2006 IEEE US/EU Baltic International Symposium. Klaipeda Lithuania: IEEE, 2006: 1-13.
- [5] LIU F, PANG S J. Research advances on green tides in the Yellow Sea[J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(3): 441-449. 刘峰, 逢少军. 黄海浒苔绿潮及其溯源研究进展[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(3): 441-449.
- [6] AN X L, LI X M, XU C X, et al. Ecological effects of seaweeds on the coastal environment[J]. Fisheries Science, 2012, 9(2): 115-119. 安鑫龙, 李雪梅, 徐春霞, 等. 大型海藻对近海环境的生态作用[J]. 水产科学, 2012, 9(2): 115-119.
- [7] WANG X H, LI L, BAO X, et al. Economic cost of an algae bloom cleanup in China's 2008 Olympic sailing venue[J]. Transactions American Geophysical Union, 2009, 90(28): 238-239.
- [8] ZHAO J, JINAG P, LIU Z Y, et al. The Yellow Sea green tides were dominated by one species, *Ulva (Enteromorpha) prolifera*, from 2007 to 2011[J]. Science Bulletin, 2013, 58(19): 2298-2302.
- [9] CAI Y F, ZHANG P, WANG T G, et al. Genetic analysis based on 5.8S rDNA-ITS sequence of *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh in the coastal areas of Zhejiang Province, China[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2013, 21(2): 147-154. 蔡一凡, 张鹏, 王铁杆, 等. 基于 5.8S rDNA-ITS 序列的我国浙江沿海铜藻群体遗传多样性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2013, 21(2): 147-154.
- [10] SUN J Z, CHEN W D, ZHANG D G, et al. In situ ecological studies of the subtidal brown alga *sargassum horneri* at Nanji Island of China[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(3): 58-63. 孙建璋, 陈万东, 庄定根, 等. 中国南麂列岛铜藻 *Sargassum horneri* 实地生态学的初步研究[J]. 南方水产, 2008, 4(3): 58-63.
- [11] North China Sea Branch of State Oceanic Administration. Bulletin of North China Sea Marine disaster[EN/OL]. (2017-05-25)[2018-06-03]. <http://www.ncsb.gov.cn/nl/n127/n137/180627085510990247.html>. 国家海洋局北海分局. 北海区海洋灾害公报[EN/OL]. (2017-05-25)[2018-06-03]. <http://www.ncsb.gov.cn/nl/n127/n137/180627085510990247.html>.
- [12] 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 (Supp. 1): 57-58. 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(增刊 1): 57-58.
- [13] ZHANG H L, ZHANG J M. The main types of marine ecological disasters and their distribution status in the North China Sea[J]. Acta Laser Biology Science, 2014, 23(6): 566-571. 张洪亮, 张继民. 北海区海洋生态灾害的主要类型及分布现状研究[J]. 激光生物学报, 2014, 23(6): 566-571.
- [14] SONG L, SONG J, JIANG B. Marine ecological disasters and their distribution in Liaoning coastal waters[J]. Fisheries Science, 2017, 36(1): 118-124. 宋伦, 宋广军, 姜冰. 辽宁近岸海域生物灾害及分布现状[J]. 水产学报, 2017, 36(1): 118-124.
- [15] SUN J Z, ZHUANG D G, SUN Q H, et al. Artificial cultivation trials of *Sargassum horneri* at Nanji Islands of China[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(6): 41-46. 孙建璋, 庄定根, 孙庆海, 等. 铜藻人工栽培的初步研究[J]. 南方水产, 2009, 5(6): 41-46.
- [16] LIU F, PANG S J, SHAN T F, et al. A novel method to quantify the microscopic stages of *Ulva* species in seawater and its applications in forecasting green tides of the Yellow Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(6): 466-473. 刘峰, 逢少军, 单体锋, 等. 一种新的海水中石莼属海藻显微阶段个体数定量方法及在黄海绿潮暴发过程中的应用[J]. 科学通报, 2010, 55(6): 466-473.
- [17] LIU D, KEESING J K, DONG Z, et al. Recurrence of Yellow Sea green tide in June 2009 confirms coastal seaweed aquaculture provides nursery for generation of macroalgal blooms[J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60(9): 1423-1432.
- [18] 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.
- [19] LIU D, KEESING J K, HE P, et al. The world's largest macroalgal bloom in the Yellow Sea, China: formation and implications[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2013, 129: 2-10.
- [20] HU C, LI D, CHEN C, et al. On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and East China Sea[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2010, 115: C05017.
- [21] LIU D, KEESING J K, XING Q, et al. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58(6): 888-895.
- [22] FANG S, WANG Z L, LI Y, et al. The dynamics of macro-propagules before the green tide (*Ulva prolifera*) outbreak in the Southern Huanghai Sea and Changjiang (Yangtze) River Estuary area[J]. Haiyang Xuebao, 2012, 34(4): 147-154. 方松, 王宗灵, 李艳, 等. 南黄海及长江口附近海域绿潮暴发前期微观显微繁殖体的动态变化[J]. 海洋学报, 2012, 34(4): 147-154.

- [23] LUO M B, LIU F. Research progress in the key process and main factors of occurrence and development of green tide (*Ulva prolifera*) in the South Yellow Sea[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(6): 570-574. 罗民波, 刘峰. 南黄海浒苔绿潮的发生过程及关键要素研究进展[J]. 海洋渔业, 2015, 37(6): 570-574.
- [24] LIU C C, XU R, HE P M, et al. Research on the relations between green tide and *Porphyra* cultivation in the South Yellow Sea[J]. Marine Science, 2017, 41(2): 35-43. 刘材材, 徐韧, 何培民, 等. 南黄海绿潮爆发与紫菜养殖的关系[J]. 海洋科学, 2017, 41(2): 35-43.
- [25] LIU X Q, WANG Z L, ZHANF X L, et al. The current situations of micro-propagules of green algae in *Porphyra yezoensis* farming area of southern Jiangsu in autumn in 2012[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science), 2015, 45(7): 58-63. 刘湘庆, 王宗灵, 张学雷, 等. 2012年秋季江苏南部紫菜养殖区绿藻微观繁殖体现状[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(7): 58-63.
- [26] Nantong laver reduced output 60% this year, farmers suffered serious losses[EB/OL]. (2017-03-06)[2018-06-03]. <http://www.ntjoy.com/news/vod/xwsph/nttv1/nttv/2017/03/2017-03-06552139.html>. 今年南通紫菜减产六成 养殖户损失严重[EB/OL]. (2017-03-06)[2018-06-03]. <http://www.ntjoy.com/news/vod/xwsph/nttv1/nttv/2017/03/2017-03-06552139.html>.
- [27] Sargassum sudden disaster Jiangsu Nantong Yancheng laver industry loss of over 500 million yuan[EB/OL]. (2017-01-12)[2018-06-03]. <http://www.haichaninfo.com/news/show-45992.html>. 马尾藻突发灾情 江苏南通盐城紫菜行业损失超 5 亿元[EB/OL]. (2017-01-12)[2018-06-03]. <http://www.haichaninfo.com/news/show-45992.html>.

Green Tide Characteristics in the Yellow Sea in 2017 and New Challenges in Prevention and Control of Green Tide Disaster

LIU Shuang^{1,2}, ZHANG Hong-liang^{1,2}, LIU Xu-dong^{1,2}, LI Rui-yao³, ZHANG Ji-min^{1,2},
WANG Mei^{1,2}, SONG Wen-peng^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Marine Spill Oil Identification and Damage Assessment Technology, SOA, Qingdao 266033, China;
2. North China Sea Environment Monitoring Center, SOA, Qingdao 266033, China;
3. University of British Columbia, British Columbia V6T 1Z4, Vancouver, Canada)

Abstract: The monitoring of green tide in the Yellow Sea in 2017 revealed that *Enteromorpha prolifera* was associated with *Sargassum horneri* and the proportion of *Sargassum horneri* is significant. With the scale of green tide reaching its maximum, the stations where *Sargassum horneri* appeared increased obviously and exceeded the stations where *Enteromorpha prolifera* occurred alone. The green tide in the Yellow Sea in 2017 was smaller both in the distribution and in the coverage areas and its occurrence process was characterized with early discovery, earliest end time and shortest duration over the years. The earliest end time of the green tide was presumed not to be irrelevant to the substantial reduction in the production of laver culture in the south of China. Because the spectral signatures of *Sargassum horneri* differ from those of *Enteromorpha prolifera* and the diving depth of *Sargassum horneri* is relatively deeper, the existing satellite remote sensing monitoring and early warning and forecasting technology for green tides is facing a new challenge. The protection interception devices, vessel salvage devices and disposal techniques for the green tide with *Enteromorpha prolifera* alone generally lost their effectiveness when encountering the green tide with *Sargassum horneri*. It is therefore desiderated to develop new salvage technology and tools. The prevention and control of green tide disasters in the Yellow Sea are facing new challenges.

Key words: green tide; characteristics; concomitance; end time; new challenge

Received: June 3, 2018