

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.01069

漂浮绿潮藻浒苔孢子/配子的繁殖过程

陈群芳^{1,2}, 何培民^{1,2}, 冯子慧^{1,2}, 汤文仲^{1,2}, 李晓云^{1,2}, 张婷^{1,2}, 王阳阳^{1,2},
蔡春尔^{1,2}, 霍元子^{1,2}, 马家海^{1,2}

1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学 海洋科学研究院, 上海 201306

摘要: 以引起绿潮灾害的漂浮优势种浒苔(*Ulva prolifera*)为材料, 对其繁殖过程和特性进行研究。结果发现漂浮浒苔多以配子体形式出现。每平方厘米单层藻体叶片可以产生 $2.84 \times 10^6 \sim 6.62 \times 10^6$ 个孢子或 $1.14 \times 10^7 \sim 2.65 \times 10^7$ 个配子, 放散的生殖细胞中 91.6%~96.4% 可以成功萌发形成新的藻体, 在绿潮暴发高峰期, 平均 1 g 浒苔藻体 30% 的叶片所形成的生殖细胞囊完全放散生殖细胞后, 可以产生 $0.84 \times 10^8 \sim 8.21 \times 10^8$ 株新藻体。漂浮浒苔强大的繁殖力是生物量快速扩增的重要原因, 也是中国沿海绿潮暴发的一个主要原因。

关键词: 浒苔; 放散量; 萌发率; 繁殖率

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)05-1069-08

大型海洋绿藻的大量繁殖引发其在潮间带和浅海海域生物量累积的现象称为“绿潮”^[1-2]。中国自 2007 年以来连续 4 年在黄海海域暴发不同规模的绿潮现象, 对海洋生态环境造成了严重影响和破坏。根据形态等分类观察, 将黄海海域暴发的绿潮优势种定为浒苔(*Ulva prolifera*)^[2-4]。传统分类学将浒苔划分为绿藻门、绿藻纲、石莼目、石莼科、浒苔属(*Enteromorpha*), 但近年来更多学者倾向于将其归为石莼属(*Ulva*)^[5-10], 并认为导致绿潮暴发的优势藻类以浒苔属和石莼属为主^[11-13]。

前期相关浒苔研究主要涉及光合机制^[14-15]、生长生态条件^[16-17]、营养成分分析等^[18], 但对繁殖力相关研究报导较少。针对绿潮暴发过程中其生物量急速增加的现象, 笔者认为可能与其特殊

的繁殖机制密切相关。王晓坤等^[19]和叶乃好等^[20]曾报道过浒苔是通过释放孢子和配子进行繁殖, 浒苔发育过程中放散的孢子和配子为绿潮大规模暴发提供了基本的物质基础。据此, 本研究在实验室条件下对绿潮漂浮优势种类浒苔(*Ulva prolifera*)孢子与配子放散量、萌发率等繁殖生物学特性进行研究, 为研究绿潮暴发的繁殖特征及原因提供新的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

浒苔样品采自山东青岛海域绿潮大面积暴发时的漂浮种类, 采集后洗涤阴至半干(含水份 40%~50%), 用低温保种箱带回, 用消毒海水反复

收稿日期: 2011-04-14; 修订日期: 2011-04-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助课题(30371101); 国家海洋局绿潮灾害专项(LC-03-01); 国家海洋局公益性行业科研专项(2012418010); 上海市优秀学科带头人资助项目(08SD14037); 教育部博士点基金资助项目(2007-2008); 上海市浦江人才计划项目(05PJ14086); 上海市水生生物学重点学科资助项目(S30701); 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金(SSC08002); 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项目(MATHAB200912).

作者简介: 陈群芳(1986-), 女, 硕士研究生, 研究方向为海藻发育研究. E-mail: qfchenm@stmail.shou.edu.cn

通信作者: 何培民, 教授. E-mail: pmhe@shou.edu.cn

浸洗干净,挑选健康藻体进行单株充气培养。

1.2 实验方法

1.2.1 培养方法 单株浒苔用烧瓶培养。培养温度为 25℃,光强 130~160 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,光周期为 12L 12D,盐度为 20 (盐卤与海水按比例调配),培养液为VSE营养盐配方。培养期间每 4~5 天更换培养液。

1.2.2 观察与计算方法 用 Olympus 显微镜观察浒苔营养细胞转变成生殖细胞,以及生殖细胞释放和萌发过程,并进行拍照记录。

放散量研究方法:挑选浒苔藻体不同部位,至显微镜下制片观察,拍照记录藻体成熟过程中生殖细胞囊数和单个生殖细胞的放散量。

放散量计算公式为: $R_s = A_s(A_n \cdot G_1 / S_1)$ 。

式中: R_s 为一定表面积藻体的生殖细胞放散量; A_s 为已产生放散的藻体表面积(μm^2); A_n 为一定显微视野范围内生殖细胞囊数量(个); G_1 为单个生殖细胞囊放散的生殖细胞数(个); S_1 为显微视野面积(μm^2)。

计算单位质量藻体的放散量时,则根据单位质量藻体的表面积进行换算。

萌发率研究方法:收集单株藻体放散的孢子/配子液,稀释一定倍数后摇匀,分别取含有一定数量的孢子/配子液至多个装满 10 mL 培养液的培养皿中平行培养,培养期间每 2 d 添加 1 次营养液,10 d 后在解剖镜下统计小苗数量。计算每毫升营养液中孢子/配子数方法:取 1 mL 生殖细胞液加碘液固定,用 25 × 16 型血球计数板计数,得到孢子/配子数。

萌发率计算公式为: $G = P_n / G_n \times 100\%$

式中: G 为小苗萌发率; P_n 为萌发出的小苗数量; G_n 为孢子/配子数。

繁殖力 = 放散量 × 萌发率。

2 结果与分析

2.1 浒苔生殖细胞囊成熟过程

浒苔营养细胞成熟前一般为鲜绿色,细胞内周边细胞质首先出现颗粒化,颗粒数较少(图版 I-A)。1~2 d 后,细胞内周边细胞质形成小颗粒,

并逐步扩展到整个细胞(图版 I-B)。48 h 内这些母细胞内小颗粒逐步形成生殖细胞—孢子或配子,统称为生殖细胞囊(germ cell cytocyst, 图版 I-C),放散配子称为配子囊(gametangium),放散孢子则称为孢子囊(sporangium)。成熟后细胞直径略大于成熟前营养细胞 1~2 μm 。生殖细胞囊中的生殖细胞是由原来母细胞的细胞质通过多次细胞分裂(或芽生)逐步形成的,为原生质体状,无壁,可以做变形运动。由于受外界环境条件的影响,各细胞分裂后形成的生殖细胞数不尽相等,为 2^n 个。

营养细胞在形成生殖细胞囊过程中,颜色逐渐由鲜绿色转变为黄绿色,形成生殖细胞囊后,藻体则完全为黄绿色,与最初鲜绿色的营养细胞藻体形成鲜明对比(图版 I-D)。

2.2 浒苔生殖细胞放散过程

放散前,生殖细胞在囊内大小约为 1 μm 。生殖细胞在囊中形成后可依靠鞭毛在细胞囊内不停高速旋转,开始时由少数几个生殖细胞旋转,随着细胞囊不断成熟,旋转的生殖细胞越来越多,旋转的速度也越来越快,并不断撞击细胞囊壁。当成熟到一定程度时,细胞囊的顶端可逐步形成放散孔,不久细胞囊中的生殖细胞便以变形方式从放散孔中瞬间依次逐个放散出来(图版 II)。放散出来的生殖细胞一般为梨形(图版 III-A),大小为 5~13 μm ,细胞前端大部分为色素体,顶端宽圆,带有橘红色眼点(图版 III-A、B),后端为液泡,故呈透明状,底端渐尖,带有鞭毛。鞭毛数量为区分孢子和配子重要标志。浒苔孢子体藻体生殖细胞囊放散出来的生殖细胞为孢子,孢子数一般为 4~8 个;而配子体生殖细胞囊放散出来的生殖细胞为配子,配子数一般为 16~32 个。图版 II 为 32 个配子从配子囊中放散的全过程。孢子个体略大于配子,孢子大小为 10~13 μm ,具有 4 鞭毛(图版 III-A),鞭毛的长度一般为 11~15 μm ;配子大小为 6~10 μm ,具有 2 鞭毛(图版 III-B),鞭毛的长度一般为 7~12 μm 。配子又可分为雄配子和雌配子,雌配子与雄配子放散后可发生接合现象(图版 III-B),形成合子并进一步发育形成小苗;配子也可以不发生接合而直接形成小苗,这种现象称为单性生

殖(apomixes)。

放散后细胞囊顶端的放散孔十分清晰, 孔径大约为 2~3 μm (图版 III-C), 放散后的空细胞体积有所缩小, 且藻体呈现为灰白色。

2.3 浒苔叶片细胞繁殖率

同一部位的营养细胞成熟程度并不同步, 同一视野里有的细胞刚处于颗粒化状态, 有的细胞已发育为细胞囊状态(图版 III-D)。且放散时间也不完全相同, 一般从诱导到放散最快为 3~4 d。一般情况下, 大多数细胞囊均把生殖细胞全部放散出来, 但少数细胞囊不完全放散, 可留有少数生殖细胞在细胞囊中(图版 III-E)。留在囊中的生殖细胞不久开始变圆, 并进行细胞分裂发育形成小苗, 从原有藻体萌发出来。也有少数细胞囊即使成熟后也不放散生殖细胞, 生殖细胞继续在囊中并逐渐变圆, 并可直接在囊中萌形成幼苗。

4 月份采集的浒苔, 其繁殖主要以配子体形式为主, 孢子体形式较少。浒苔配子体放散量比孢子体放散量大, 且配子体释放的配子具有趋光性, 有利于配子附着于海面漂浮的藻体上萌发, 因此在绿潮漂浮浒苔中, 配子体在数量上占有优势。

1 cm^2 浒苔叶片(单层)形成的生殖细胞囊数为 $7.10 \times 10^5 \sim 8.28 \times 10^5$ 个, 其中孢子体叶片放散量达 $2.84 \times 10^6 \sim 6.62 \times 10^6$ 个, 而配子体则高达 $1.14 \times 10^7 \sim 2.65 \times 10^7$ 个, 是孢子体叶片放散量的 1.7~9.3 倍(表 1)。

浒苔配子具有趋光性, 而合子和孢子具负光性^[19]。漂浮浒苔配子的这种趋光性使其更易于在光线较强的海水上层聚集, 并附着在漂浮藻体上

生长发育。显微镜下观察发现生殖细胞具有明显的群聚现象, 以带有鞭毛端快速聚集到群中, 这种群聚性生长使得浒苔的生物量迅速扩增(图版 III-G~I)。

2.4 生殖细胞放散后固着与萌发过程

生殖细胞从细胞囊中放散出来后, 仍快速旋转, 一般在 48 h 内固着。刚固着时仍为梨形或梭形, 其后细胞逐步变圆, 鞭毛消失。固着后生殖细胞内的原生质体经过一段时间累积后体积逐渐变大, 并分裂成 2 细胞(图版 III-F)。最终透明端细胞将形成假根(图版 III-K), 色素体端细胞则形成丝状叶片(图版 III-J~L)。

表 2 为生殖细胞经过培养后形成幼苗数及萌发率。从表 2 可以看出, 浒苔孢子的平均萌发率为 91.6%, 配子的平均萌发率为 96.4%。

3 讨论

2008 年黄海海域暴发的绿潮生物量巨大, 梁宗英等^[2]曾通过研究指出, 海区聚集漂浮的浒苔日生长速率达 10%~37%, 短期内如此大量的浒苔暴发, 除了与其生长快速有关外, 还可能与其独特的繁殖特性有关。本研究发现, 浒苔营养细胞发育成生殖细胞后, 单个生殖细胞囊含有的生殖细胞数量高达 32 个, 实验室条件下平均 1 g 藻体的放散量高达 2.84×10^9 个, 萌发率高达 91.6%~96.4%。1 g 浒苔藻体中 30% 的叶片形成生殖囊后放散产生的新藻体有 $0.84 \times 10^8 \sim 8.21 \times 10^8$ 株, 海区连续产生的大量浒苔新苗在适宜环境下快速生长, 累积了巨大的生物量, 从而成为引发“绿潮”

表 1 浒苔叶状体生殖细胞放散力
Tab.1 Germ cell expansion ability of *Ulva prolifera* thallus

观察对象 observed object	藻体面积/ μm^2 algal area	生殖细胞囊数 no. of germ cell cytocests	囊中生殖细胞数 no. of germ cells
观察结果 result	4225	30-35	孢子 spore 4-8 / 配子 gamete 16-32
计算项 calculated item	1 cm^2 单层藻体生殖细胞囊数 no. of germ cell cytocests on 1 cm^2 monolayer algae	1 cm^2 单层藻体放散孢子/配子量 no. of spores/gametes discharging from 1 cm^2 monolayer algae	1 g 浒苔藻体放散孢子/配子量* no. of spores/gametes in 1 g algae*
结果 result	$7.10 \times 10^5 \sim 8.28 \times 10^5$	$2.84 \times 10^6 \sim 6.62 \times 10^6 /$ $1.14 \times 10^7 \sim 2.65 \times 10^7$	$3.05 \times 10^8 \sim 7.08 \times 10^8 /$ $1.22 \times 10^9 \sim 2.84 \times 10^9$

注: 1 g 浒苔藻体约为 53.5 cm^2 。

Note: Square of 1 g algae is about 53.5 cm^2 .

表 2 浒苔生殖细胞萌发率
Tab.2 Germination rate of germ cells of *Ulva prolifera*

$n=3$; $\bar{x} \pm SD$

组号 no.	配子 gamete			孢子 spore		
	数目 number	萌发幼苗 number of seedlings	萌发率/% germination rate	数目 number	萌发幼苗 number of seedlings	萌发率/% germination rate
1	4500	4198±10	93.3	1500	1442±5	96.1
2	6000	5394±10	89.9	2000	1928±5	96.4
3	5500	5038±10	91.6	1500	1437±5	95.8
平均 average			91.6±0.2			96.1±0.3

暴发的原因之一。

Lotze等^[21]也认为浒苔属藻体可以持续不断地放散孢子或配子,且放散量巨大。本实验通过观察进一步发现,浒苔孢子囊和配子囊形成的时间也具有持续性和不同步性。另外通过4-8月海区调查发现,在绿潮暴发的不同时期,漂浮绿潮藻浒苔均有生殖细胞囊放散出生殖细胞。尤其在绿潮漂浮暴发高峰期,浒苔更容易在适宜的海况条件下大量放散生殖细胞,该研究为探讨黄海海域“绿潮”的起因带来一定的启示。本实验室将海区采集的浒苔进行继续培养观察发现,浒苔藻体存在形式多为配子体。王晓坤等^[19]曾报道过浒苔的单性生殖现象。配子不经接合直接固着后发育成新藻体,配子体放散的数量远大于孢子体,这种生殖方式增加了浒苔的繁殖速度和生物量。

浒苔藻体为管状单层细胞,这种单层结构有利于其有效地吸收海水中的营养盐,促使藻体速生长。Schramm^[22]、Nelson等^[23]认为适合浒苔生长海区的富营养化、光照强度、温度条件都可以成为浒苔暴发形成绿潮的动力。也有研究认为春、夏季时海底的温度、盐度、光照强度以及溶解无机氮等条件最适合石莼属在潮下带生长^[24-25]。同时,海区的海流和涡旋又在一定程度上影响了其分布情况^[24]。笔者在研究浒苔繁殖率时发现放散量与光强变化关联较大,受温度影响较小,这可能与光强较强有利于浒苔藻体成熟形成孢子囊/配子囊有关^[5]。王建伟等^[16]在研究浒苔孢子释放条件时也指出高光强对促进浒苔释放孢子有明显的促进作用。浒苔各生长阶段的形态各有不同,实验发现叶状体时期的藻体比囊状藻体更容易在

强光作用下产生放散现象。放散生殖细胞的固着需要一定的附着物^[26-27],此次实验中发现,除了报道过的黏附在藻体自身及外界泥沙等介质外^[28-29],少数放散的孢子/配子破裂后产生的胶状黏液也是其很好的固着基质,而且生殖细胞会互相聚集附着发育形成小苗簇。对于其具体的固着机理将在今后进行深入的研究。结论认为,浒苔自身独特的强大繁殖能力在有利的海区条件下得到充分发挥是造成浒苔大量暴发的主要原因之一。

参考文献:

- [1] Fletcher R L. The occurrence of 'green tide'-a review[M]// Schramm W, Nienhuis P H. Marine Benthic Vegetation. Berlin: Springer, 1996: 7-43.
- [2] 梁宗英, 林祥志, 马牧, 等. 浒苔漂流聚集绿潮现象的初步分析[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(4): 601-604.
- [3] Ye N H, Zhuang Z M, Jin X S, et al. China is on the track tacking *Enteromorpha* spp. forming green tide[J]. Nat Proc, 2008, ODI:10101/npre.2008.2352.1.
- [4] 丁兰平, 栾日孝. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)的分类鉴定、生境习性及分布[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(1): 68-71.
- [5] Dan A, Hiraoka 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*(Müller) J. Agardh (Chlorophyta, Ulvales)[J]. Fish Sci, 2002, 68(6): 1182.
- [6] 应成琦, 张婷, 李信书, 等. 我国近海浒苔漂浮种类ITS与18S rDNA序列相似性分析[J]. 水产学报, 2009, 33(2): 215-219.
- [7] 何培民, 秦松, 严小军, 等. 海藻生物技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 86-98.
- [8] 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.

- [9] Shimada S, Yokoyama N, Arai S, et al. Phylogeography of the genus *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) with special reference to the Japanese freshwater and brackish taxa[J]. *J Appl Phycol*, 2008, 20(5): 529–539.
- [10] Hayden H S, Blomster J, Maggs A C, et al. Linnaeus was right all along: *Ulva* and *Enteromorpha* are not distinct genera[J]. *Phycology*, 2003, 38(8): 277–294.
- [11] Callow M E, Callow J A. Primary adhesion of *Enteromorpha* (Chlorophyta, Ulvales) propagules: quantitative settlement studies and video microscopy[J]. *J Phycol*, 1997, 33: 938–947.
- [12] Hiraoka M, Ohno M, Kawaguchi S, et al. Crossing test among floating *Ulva thalli* forming ‘green tide’ in Japan[J]. *Hydrobiologia*, 2004, 512: 239–245.
- [13] Schramm W, Nienhuis P H. Marine benthic vegetation -Recent changes and the effects of eutrophication [M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1996: 1–4.
- [14] 林阿朋, 王超, 乔洪金, 等. 青岛海域漂浮和沉降浒苔的光合作用研究[J]. *科学通报*, 2009, 54(3): 294–298.
- [15] Binzer T, Middelboe A L. From thallus to communities: scale effects and photosynthetic performance in macroalgae communities [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2005, 287: 65–75.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 王晓坤, 马家海, 李宇航, 等. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生活史的初步研究[J]. *水产学报*, 2009, 33(1): 45–52.
- [20] 叶乃好, 张晓雯, 毛玉泽, 等. 黄海绿潮浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生活史的初步研究[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(5): 853–859.
- [21] Lotze H K, Schramm W, Schories D, et al. Control of macroalgal blooms at early developmental stages: *Pilayella littoralis* versus *Enteromorpha* spp.[J]. *Oecologia*, 1999, 119: 46–54.
- [22] Schramm W. Factors influencing seaweed responses to eutrophication: some results from EU-project EUMAC[J]. *J Appl Phycol*, 1999, 11: 69–78.
- [23] Nelson T A, Haberlin K, Nelson A V, et al. Ecological and physiological controls of species composition in green macroalgal blooms[J]. *Ecology*, 2008, 89: 1287–1298.
- [24] Merceron M, Morand P. Existence of a deep subtidal stock of drifting *Ulva* in relation to intertidal algal mat developments[J]. *J Sea Res*, 2004, 52: 269–280.
- [25] 汤文仲, 李信书, 黄海燕, 等. 不同光强和温度对长石莼(缘管浒苔光合作用)和叶绿素荧光参数的影响[J]. *水产学报*, 2009, 33(5): 762–769.
- [26] Schories D, Reise K. Germination and anchorage of *Enteromorpha* sp. in sediments of the Wadden Sea[J]. *Helgolander Meeresunter*, 1993, 47: 275–285.
- [27] 李德, 周亮, 李东年. 生态因子对缘管浒苔生长和孢子附着的影响[J]. *现代渔业信息*, 2009, 24(5): 22–24.
- [28] Christie A O, Margaret S. Settlement experiments with zoospores of *Enteromorpha intestinalis* (L.) link[J]. *Br Phycol Bull*, 1968, 3(3): 529–534.
- [29] FimLay J A, Callow M E, Schultz M P, et al. Adhesion strength of settled spores of the green alga *Enteromorpha*[J]. *Biofouling*, 2002, 18(4): 251–256.

Reproduction of spores/gametes of floating green tide algae *Ulva prolifera*

CHEN Qunfang^{1,2}, HE Peimin^{1,2}, FENG Zihui^{1,2}, TANG Wenzhong^{1,2}, LI Xiaoyun^{1,2}, ZHANG Ting^{1,2},
WANG Yangyang^{1,2}, CAI Chuner^{1,2}, HUO Yuanzi^{1,2}, MA Jiahai^{1,2}

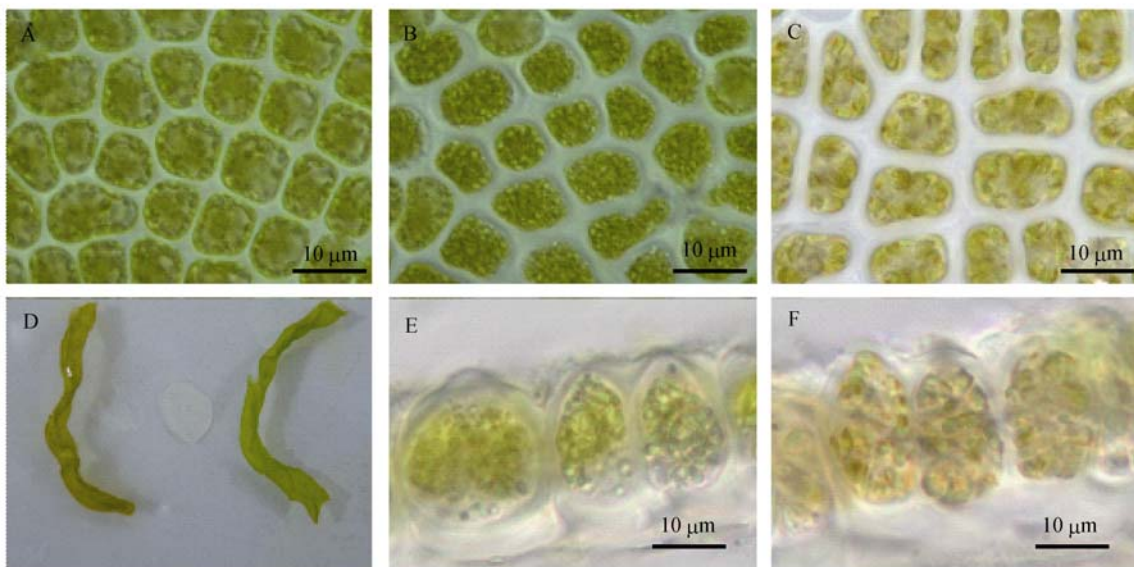
1. Fisheries and Aqua-life College, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Institute of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Green-tide blooms have occurred during each of four years since 2007 in the Yellow Sea of China. Each of the blooms was characterized by a rapid expansion in the area covered by green macroalgae, which caused a series of environmental problems associated with eutrophication. We investigated the biology of *Ulva prolifera*, the dominant floating macroalgae in these blooms. Our observations suggest that the gametophytes are the primary survival form. Each single blade of the algae thallus is able to produce 2.84×10^6 – 6.62×10^6 spores/ 1.14×10^7 – 2.65×10^7 gametes per cm^2 . Furthermore, of the zooids that are released, about 91.6%–96.4% are able to successfully germinate, forming new plants. Thus, one third per unit weight of the algal thallus is able to produce 0.84×10^8 – 8.21×10^8 new individuals during the peak-hour of a bloom. Our results demonstrate that *Ulva prolifera* is able to reproduce very rapidly, which is likely a major factor in the spread of green tide blooms in the coastal areas of China.

Key words: *Ulva prolifera*; release amount; germination rate; reproductive rate

Corresponding author: HE Peimin. E-mail: pmhe@shou.edu.cn

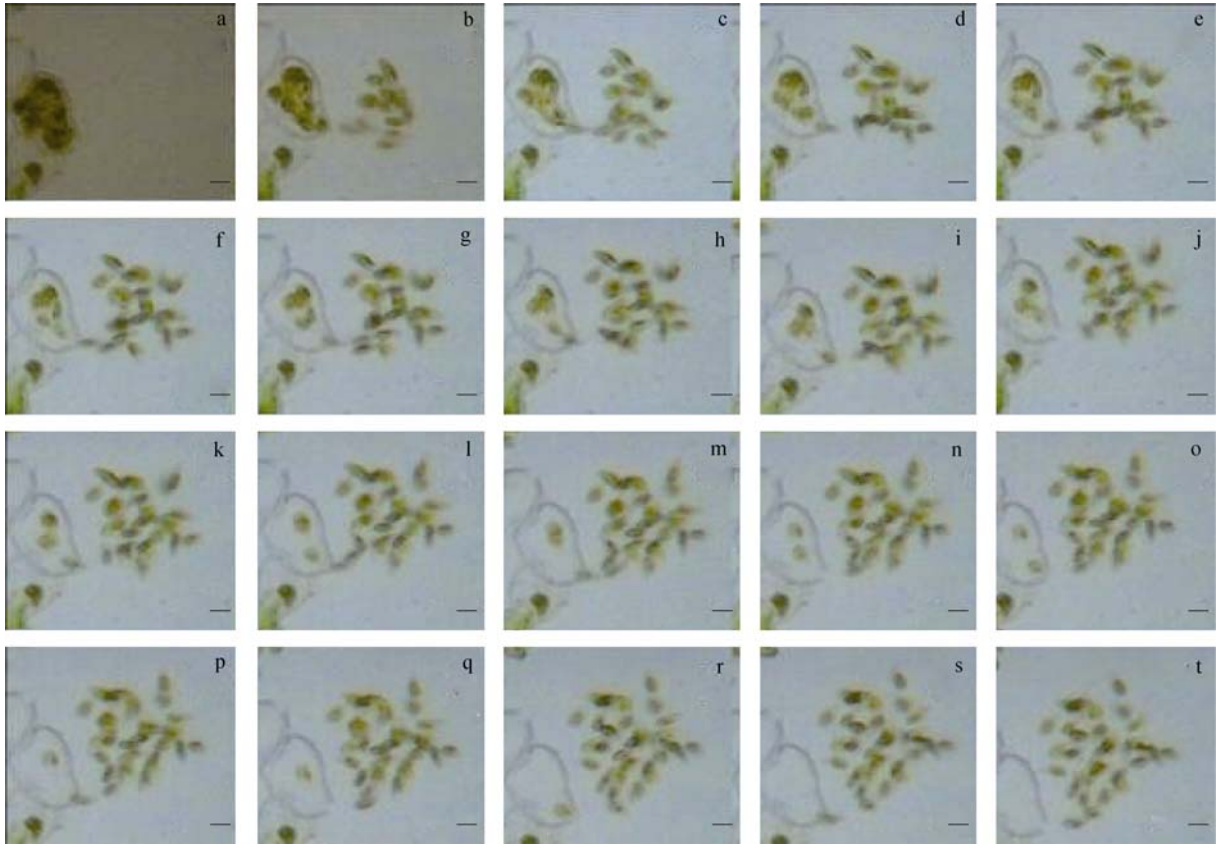


图版 浒苔生殖细胞囊的形成

A: 营养细胞; B: 营养细胞内周边颗粒化; C: 营养细胞向生殖细胞转化, 形成黄绿色的生殖细胞囊; D: 左为成熟藻体片段(黄绿色), 右为未成熟藻体片段(鲜绿色); E: 颗粒化营养细胞横切面; F: 成熟配子体横切面。

Plate Formation of germ cell cytoysts of *Ulva prolifera*

A: vegetative cells; B: tiny particles around vegetative cells; C: vegetative cells become germ cells turning into germ cell cytoysts with greenish yellow hue; D: segments of algae thallus (left: yellow green)(right: emerald green); E: vegetative cells cross-section with tiny particles; F: mature gamete cross-section.

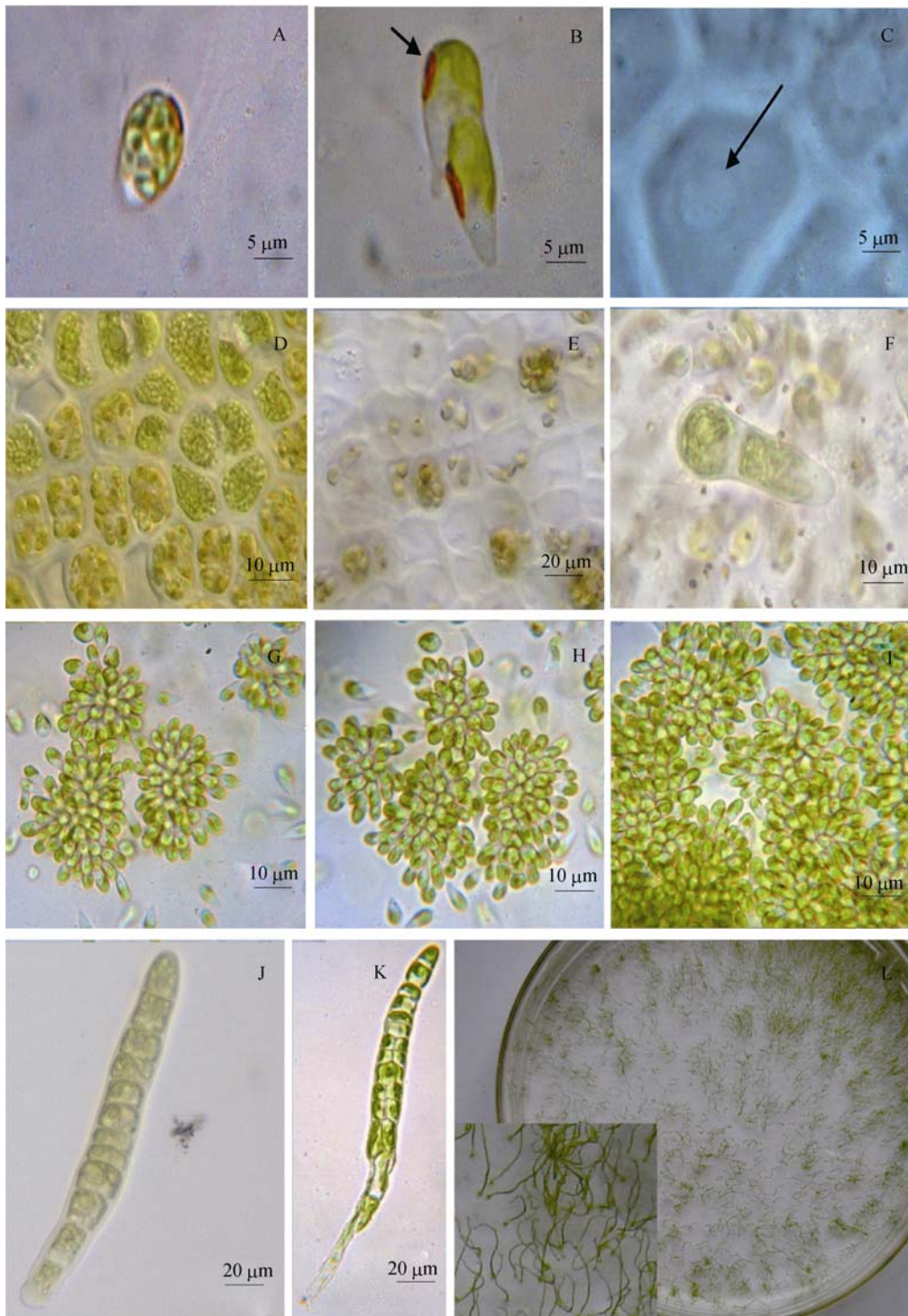


图版 浒苔生殖细胞囊放散配子过程

a: 含 32 个配子未放散的配子囊; b-k: 放散中的配子; l-s: 最后 3 个配子的放散; t: 放散完全. 标尺为 20 μm .

Plate Gametes release process of germ cell cytoysts of *Ulva prolifera*

a: gametangium containing thirty-two gametes; b-k: gametes releasing; l-s: release of the last three gametes; t: completely release. scale bars are 20 μm .



图版 浒苔生殖细胞的放散及萌发

A: 四鞭毛孢子; B: 2 个二鞭毛的配子正在接合(箭头); C: 示放散孔(箭头); D: 不同步成熟的细胞; E: 放散不完全的生殖细胞囊; F: 两细胞小苗; G-I: 群聚现象; J: 12 个细胞苗; K: 带假根细胞苗; L: 萌发的丝状体幼苗。

Plate Germ cells release and germination of *Ulva prolifera*

A: quadriflagellate spores; B: two conjugating biflagellate gametes (arrow); C: radiation hole (arrow); D: unsynchronized mature cells; E: partly released germ cell cytoysts; F: two cells seedling; G-I: phenomenon of cells clustering; J: twelve cells seedling; K: seedling with rhizoid; L: germinating filament.