

不同增殖方式来源的绿潮藻浒苔藻体生长及 光合生理特性差异

刘雅萌^{1,2}, 徐军田², 李信书², 姚东瑞^{1,3*}, 刘兆普¹

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095;

2. 淮海工学院海洋学院, 江苏 连云港 222005;

3. 江苏省中国科学院植物研究所植物景观与生态工程研究中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 为了探讨原位状态下不同增殖方式得到的绿潮藻浒苔生物体的差异, 通过原位围隔实验, 分别获取漂浮浒苔释放的孢子萌发形成的藻体(ST)和浒苔自身营养增殖得到的藻体(VT), 通过比较这两种浒苔的生长、光合作用和荧光参数的不同, 来估测其光合生理特性的差异。结果表明, ST的生长速率比VT显著高出61.27%, 并且ST的最大光合作用速率(P_{max})、光合效率(α)和光合活性(P/R)比VT分别显著高出25.33%、14.93%和134.69%, 而呼吸作用速率和光补偿点比VT显著低了45.7%和52.2%, 这表明ST与VT相比具有更大的生长优势。另外, VT的相对电子传递速率(rETR)显著高于ST, 在高光下尤为显著, 并且VT在高光下具有更高的非光化学猝灭(NPQ)能力, 这说明浒苔通过自身营养增殖产生的藻体对高光的适应能力比其由孢子萌发形成的藻体更强。

关键词: 浒苔; 原位; 光合作用; 叶绿素荧光参数; 生长

中图分类号: S 917.3

文献标志码: A

自1980年起, 美国、加拿大、荷兰、日本以及中国都暴发了由石莼科海藻引起的绿潮^[1-4]。特别是近些年, 在中国黄海、东海近岸海域多次发生绿藻大量聚集的情况, 对人们的生产生活造成了严重影响。经鉴定, 这些绿藻主要是石莼属的浒苔(*Ulva prolifera*)^[5-6]。浒苔分布广泛, 可营漂浮生活, 也可附着在潮间带的岩石或其他固体, 以及其他大型海藻藻体上^[7]。

绿潮对沿海生态环境和周围人们生产生活造成了严重影响, 黄海绿潮藻浒苔暴发的起源、生态特征、分布情况等成为人们关注的焦点。Liu等^[5]通过分子鉴定的方法, 认为绿潮藻浒苔来源于江苏沿海的紫菜养殖筏架; 但也有研究认为, 绿潮藻是来源于沿海池塘中的微型繁殖体^[6-8]; 除了绿潮藻的溯源问题, 有关学者也对浒苔的漂移路径、发生过程^[9-11]以及一些生理

特性进行了调查研究^[12-15]。浒苔作为绿潮藻的主要种类, 具有适应大规模暴发的生理机制, 如高生长速率^[16](为暴发式生长提供基础)和高pH补偿点^[17](利用强无机碳能力, 浒苔可以在大规模聚集后仍然保持高水平的光合作用)。大型海藻主要有3种繁殖方式, 分别为营养繁殖、无性生殖和有性生殖, 以前两种繁殖方式为主。由不同繁殖方式形成的浒苔藻体, 其生理特性的变化对于绿潮的暴发会产生怎样的影响, 这个问题的解决将从浒苔繁殖生物学的角度为研究绿潮的大规模暴发提供实验基础。本实验以连云港海域采集的漂浮浒苔样品为研究材料, 通过原位围隔实验, 获取由不同繁殖方式形成的浒苔藻体, 并且通过比较它们之间生长、光合作用和荧光参数的差异, 来探讨不同增殖方式来源的浒苔光合生理特性的差异。

收稿日期: 2013-12-17

修回日期: 2014-03-05

资助项目: 江苏省自然科学基金(BK2011400); 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201205010)

通信作者: 姚东瑞, E-mail: yaodongrui@hotmail.com

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验材料为2013年7月采自连云港连岛海域大片漂浮的浒苔。为了获得由孢子萌发形成的浒苔,本研究在连岛进行了围隔实验,围隔为直径3.2 m,高度2 m的不透水装置,外面通过聚乙烯塑料膜将海水隔开,形成一个上端开口的封闭空间。将20 g挑选好的浒苔放于围隔内,培养2周后,一部分浒苔大量释放孢子,而后萌发形成的固着浒苔附着在塑料膜的内壁上(为了确定这些浒苔来自于绿潮藻,用相同的围隔装置但不加藻进行对照),另一部分浒苔以营养繁殖的方式大量增殖。这样,本实验在同一环境下获得两批不同增殖方式来源的浒苔,分别是漂浮浒苔释放的孢子萌发而成的浒苔(ST)和浒苔自身营养增殖得到的藻体(VT),VT和ST的形态如图1所示。取VT和ST用低温箱在2 h内带回实验室,用过滤灭菌海水清洗干净后,选取形态大小适中的健康藻体置于500 mL的三角瓶内充气暂养,培养温度设置和海区一致,为25 °C,光强400 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。培养液为过滤灭菌的自然海水,每两天更换一次。

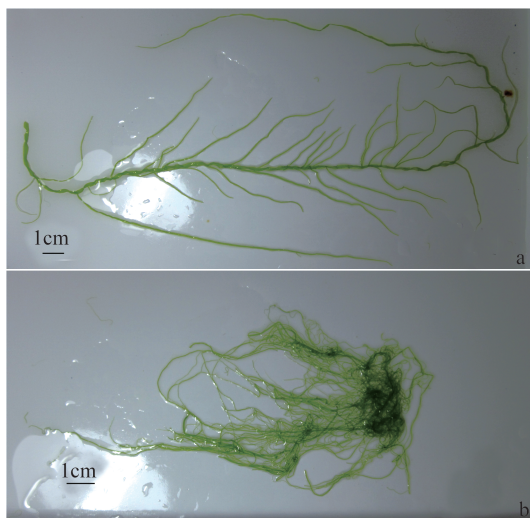


图1 营养增殖藻体(VT)(a)和孢子繁殖藻体(ST)(b)形态比较

Fig. 1 Morphological comparison of the thalli grown through vegetative multiplication (VT) (a) and grown from the spores (ST) (b)

1.2 实验方法

生长测定 每两天测定一次藻体鲜重,相对生长速率(relative growth rate, RGR)按照以下公式进行计算: $RGR = 100 \times (\ln W_N - \ln W_0) / \Delta t$,

其中 W_N 为第 N 天藻体的鲜重。

光合作用的测定 使用氧电极法测定浒苔的光合放氧速率,将约0.02 g的藻体放入8 mL的反应介质中,通过调节光源与反应槽的距离来获得不同光照强度,光强梯度分别为0、10、20、50、100、200、400和600 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,从而可以得到藻体的光合作用—光照强度响应曲线(P-I曲线)。光响应曲线的参数计算公式^[18]如下: $P = P_m \times \tanh(\alpha \times I/P_m) + R_d$, $I_k = P_m/\alpha$, $I_c = -R_d/\alpha$ 。其中, I 代表光强, P 是光强为 I 时所对应的的光合放氧速率, P_m 是最大光合放氧速率, R_d 为呼吸速率, I_k 为光饱和点, I_c 为光补偿点, α 为光合效率。而光合作用潜力则通过 P_m/R_d 得到^[19]。

荧光参数的测定 使用叶绿素荧光仪(Water-PAM, Walz, Germany)来测定荧光参数。在测定前,将样品在黑暗中适应15 min,之后测定荧光诱导曲线,设置5个不同光化光,分别为2 746、1 962、861、379和167 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在5种不同的光化光下测量达到稳态的相对电子传递速率rETR和非光化学猝灭NPQ,其公式可以通过以下公式^[20-22]计算:

$$rETR = yield \times 0.5 \times PAR$$

式中, $yield$ 代表光系统II的有效光合效率,0.5是指光系统II吸收的光能占总入射PAR的比例,PAR是光化光强 $[\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 。

$$NPQ = (F_m - F'_m) / F'_m$$

式中, F_m 是暗适应后最大叶绿素荧光, F'_m 是打开光化光后的最大叶绿素。

数据处理 本实验数据处理使用Origin 7.0软件,显著性分析采用 T -test分析,设置显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 VT和ST的生长速率

ST和VT的相对生长速率分别为25.35和15.72 %/d,ST的相对生长速率比VT高约61.27% ($P < 0.05$) (图2)。

2.2 VT和ST的P-I曲线

ST的净光合作用速率显著高于VT(图3),ST的最大光合作用速率(P_{max})、光合效率(α)和光合活性(P/R)分别比VT高25.33%、14.93%和134.69% ($P < 0.05$),而ST的呼吸作用速率(R_d)和光补偿点(I_c)却显著低于VT ($P < 0.05$),分别为45.7%和52.2%,但两者的光饱和点无显著性差异 ($P > 0.05$) (表1)。

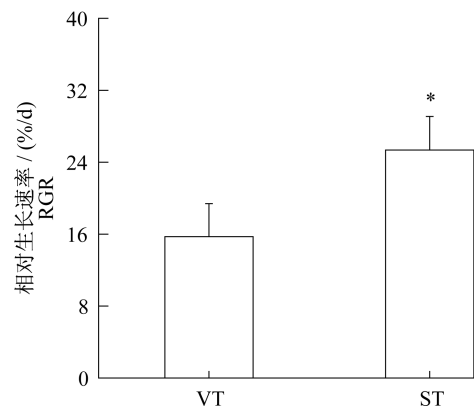


图2 VT和ST的相对生长速率

*表示不同处理间有显著性差异

Fig. 2 The relative growth rate of VT and ST

* indicates significant difference between treatments

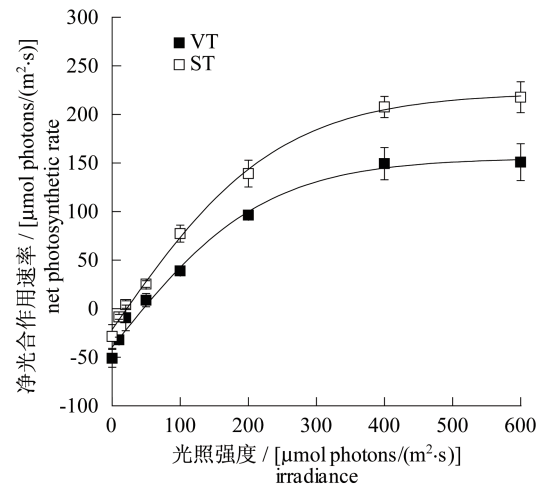


图3 VT和ST光合作用—光强响应曲线(P-I曲线)

Fig. 3 P-I curves of VT and ST

表1 VT和ST浒苔光合作用—光强响应曲线参数

Tab. 1 Photosynthetic parameters of P-I curves for VT and ST

	P_{max}	α	R_d	I_k	I_c	P/R
VT	195.0 ± 19.0	0.88 ± 0.02	39.6 ± 1.9	222.6 ± 17.5	45.2 ± 2.5	4.9 ± 0.5
ST	244.4 ± 20.5*	1.01 ± 0.06*	21.5 ± 3.8*	243.8 ± 28.2	21.6 ± 4.8*	11.5 ± 1.7*

注: *表示不同处理之间有显著性差异($P < 0.05$)Notes: * indicates significant difference between treatments ($P < 0.05$)

2.3 VT和ST的相对电子传递速率(rETR)

在不同的光强下,两种浒苔藻体的相对电子传递速率(rETR)表现为不同的变化趋势。在高光[2 746和1 692 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]条件下,VT的相对电子传递速率(rETR)均显著高于ST($P < 0.05$),而在中等光强下[861 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],这种差异不显著($P > 0.05$)(图4)。

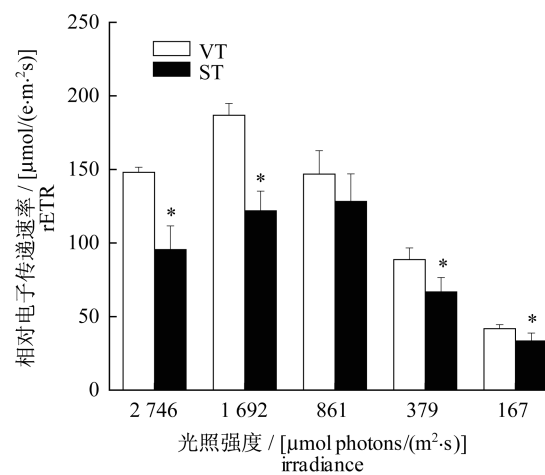


图4 VT和ST在不同光强下的相对电子传递速率

*表示在同一光强下不同处理间有显著性差异,以下图中注释同此

Fig. 4 The rETR of VT and ST measured at different irradiance

* indicates significant difference between the two treatments in the same irradiance, the same as the following

2.4 VT和ST的非光化学猝灭(NPQ)

对于藻体的非光化学猝灭(NPQ)来说,在高光下[2 746和1 692 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]VT的NPQ显著高于ST($P < 0.05$),其他光强除379 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 处理下ST的NPQ显著高于VT外($P < 0.05$),两种藻体的NPQ没有显著性差异($P > 0.05$)(图5)。

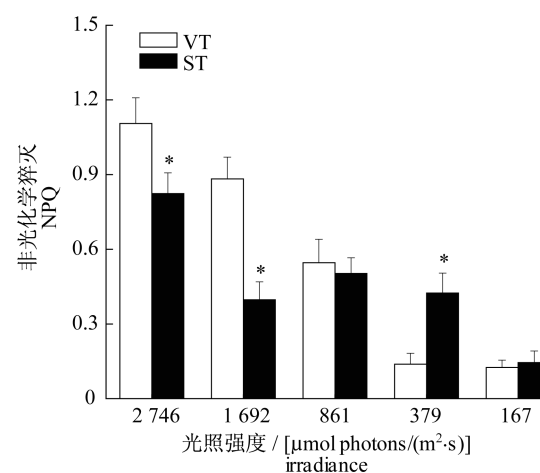


图5 VT和ST在不同光强下的非光化学猝灭

Fig. 5 The NPQ of VT and ST measured at different irradiance

3 讨论

漂浮浒苔释放孢子后萌发形成藻体(ST)的生长速率显著高于浒苔自身营养增殖得到的藻体(VT),并且其最大光合作用速率、光合效率和光合活性均显著高于VT,呼吸作用速率和光补偿点均显著低于VT,说明ST比VT更具有生长优势。生长是植物体细胞生理学和生物化学变化的综合指标,而且每一种藻都有适宜的光强范围,当光照超过光补偿点时,藻体积累有机物才会生长;而当光强高于光饱和点时,可能会造成藻体色素含量和关键酶活性的下降,进而影响藻体光合作用和生长^[23]。甚至同一种海藻,其不同繁殖模式、不同发育阶段,受其生长状态的影响,藻体对环境条件的响应与适应特征也会存在差异。高光下,VT的rETR显著高于ST,同时,VT的NPQ高于ST,说明在室外情况下,通过自身营养增殖的浒苔比由孢子萌发形成的藻体对高光的适应能力更强。VT漂浮在海面上,在高光的条件下,有效的光保护机制可以减少光抑制和紫外线对藻体的伤害^[24-25]。

当海水中营养盐浓度一定的情况下,海藻的营养盐吸收速率常常与单位海藻生物量的表面积成正相关性,而大型海藻营养盐吸收的 K_m 值与表面积/体积成负相关性^[26]。相较于VT,ST形态细小更有利于吸收营养盐促进生长。氮、磷等营养盐是藻体生长必不可少的重要成分,其吸收速率必定影响藻体合成物质的能力,藻体吸收营养盐量的增加使同化作用增强,从而促进藻体的生长^[27]。

浒苔适宜生长的温度为 $10 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[28-29], $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 为最佳温度^[30]。本实验采集样品时,海水温度为 $24 \text{ }^\circ\text{C}$,并且近海岸营养盐丰富,两者皆有利于浒苔的生长发育。作为一种机会主义者的浒苔^[31],当水域温度、营养盐等条件适宜,浒苔会大量快速增殖,并且不断占领生态位^[32]。2008年青岛外海绿潮藻大规模暴发,根据研究表明^[33],暴发的原因并非是当地污染,而是从长江口以北的黄海中部聚集而来。据报道^[33],从初次发现浒苔到此后5d,浒苔覆盖区域增加了5倍以上,而后以更快的速度增长,导致生物量暴增的主要原因就是藻体的大量快速繁殖^[34]。浒苔漂浮种群与定生种群有着明显差异,漂浮浒苔放散生殖细

胞的能力是定生浒苔的近10倍。并且漂浮浒苔聚集在海面上形成了优势种,充足的阳光进一步提高了藻体的光合作用和放散生殖细胞的能力^[35-36]。

近岸海水的富营养化以及适宜的光强温度都会有利于绿潮藻的繁殖生长^[2]。另外受海浪等环境条件影响,藻体很容易断开形成一些碎片,产生孢子,通过风浪的作用,漂浮藻体携带孢子可以扩散到更远的范围;同时,新生代藻体具有更强的生长和光合能力,使得浒苔大量增殖^[13,37-38]。

综上所述,ST的生长速率和光合潜力更大,而VT在高光下比ST有着更强的光适应能力。这两种增殖方式形成的藻体各具有优势,在绿潮的发生过程中交替进行,从而使浒苔大量增殖,促进了绿潮的大规模暴发。但是影响浒苔绿潮暴发的原因复杂多样,其暴发机制还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Charlier R H, Morand P, Finkl C W, *et al.* Green tides on the Brittany coasts [J]. *Environmental Research, Engineering and Management*, 2007, 3(41):52-59.
- [2] 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(5):1287-1298.
- [3] Sun S, Wang F, Li C L, *et al.* Emerging challenges: Massive green algae blooms in the Yellow Sea [J]. *Nature Precedings*, 2008, 2266(1):1-5.
- [4] Yabe T, Ishii Y, Amano Y, *et al.* Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan [J]. *Limnology*, 2009, 10(3):239-245.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Tan I H, Blomster J, Hansen G, *et al.* Molecular phylogenetic evidence for a reversible morphogenetic switch controlling the gross morphology of two common genera of green seaweeds, *Ulva* and *Enteromorpha* [J]. *Molecular Biology and*

- Evolution, 1999, 16(8): 1011 - 1018.
- [8] Liu D, Keesing J K, Dong Z, *et al.* Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, China: *Porphyra yezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms [J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60 (9): 1423 - 1432.
- [9] Fan S L, Fu M Z, Li Y, *et al.* Origin and development of Huanghai (Yellow) sea green-tides in 2009 and 2010 [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(6): 187 - 194. [范士亮, 傅明珠, 李艳, 等. 2009—2010 年黄海绿潮起源与发生过程调查研究. 海洋学报, 2012, 34(6): 187 - 194.]
- [10] Huo Y Z, Zhang J H, Chen L P, *et al.* Green algae blooms caused by *Ulva prolifera* in the southern Yellow Sea: Identification of the original bloom location and evaluation of biological processes occurring during the early northward floating period [J]. Limnology and Oceanography, 2013, 58 (6): 2206 - 2218.
- [11] Hu S, Yang H, Zhang J H, *et al.* Small-scale early aggregation of green tide macroalgae observed on the Subei Bank, Yellow Sea [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 81(1): 166 - 173.
- [12] Zhang J H, Huo Y Z, Yu K F, *et al.* Growth characteristics and reproductive capability of green tide algae in Rudong coast, China [J]. Journal of Applied Phycology, 2013, 25(3): 795 - 803.
- [13] Kim J H, Kang E J, Park M G, *et al.* Effects of temperature and irradiance on photosynthesis and growth of a green-tide-forming species (*Ulva linza*) in the Yellow Sea [J]. Journal of Applied Phycology, 2011, 23(3): 421 - 432.
- [14] Lin A, Shen S, Wang G, *et al.* Comparison of chlorophyll and photosynthesis of floating and attached *Ulva prolifera* [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2011, 53(1): 25 - 34.
- [15] Fan X, Xu D, Wang Y, *et al.* The effect of nutrient concentrations, nutrient ratios and temperature on photosynthesis and nutrient uptake by *Ulva prolifera*: Implications for the explosion in green tides [J]. Journal of Applied Phycology, 2014, 26 (1): 537 - 544.
- [16] Li X S, Xu J T, Yao D R, *et al.* Effects of eutrophication and biomass density on the mechanism of the bloom of *Ulva prolifera* [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(8): 1206 - 1212. [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.]
- [17] Xu J T, Wang X W, Zhong Z H, *et al.* The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (24): 7892 - 7897. [徐军田, 王学文, 钟志海, 等. 两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制. 生态学报, 2013, 33 (24): 7892 - 7897.]
- [18] Henley W J. Measurement and interpretation of photosynthetic light-response curves in algae in the context of photoinhibition and diel changes [J]. Journal of Phycology, 1993, 29(6): 729 - 739.
- [19] Wang C, Qiao H J, Pan G H, *et al.* Studies on the parameters of physiology of *Enteromorpha prolifera* collected from the Qingdao Olympic sailing center [J]. Marine Sciences, 2008, 32(8): 13 - 15. [王超, 乔洪金, 潘光华, 等. 青岛奥帆基地海域漂浮浒苔光合生理特点研究. 海洋科学, 2008, 32 (8): 13 - 15.]
- [20] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects, 1989, 990(1): 87 - 92.
- [21] Schreiber U, Bilger W, Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis [J]. Ecophysiology of Photosynthesis, 1995, 100: 49 - 70.
- [22] Kramer D M, Johnson G, Kiirats O, *et al.* New fluorescence parameters for the determination of Q_A redox state and excitation energy fluxes [J]. Photosynthesis Research, 2004, 79(2): 209 - 218.
- [23] Lapointe B E, Tenore K R, Dawes C J. Interactions between light and temperature on the physiological ecology of *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales; Rhodophyta) [J]. Marine Biology, 1984, 80 (2): 161 - 170.
- [24] White A, Critchley C. Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus [J]. Photosynthesis Research, 1999, 59(1): 63 - 72.
- [25] Ralph P J, Gademann R. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity [J]. Aquatic Botany, 2005, 82(3): 222 - 237.
- [26] Hein M, Pedersen M F, Sand-Jensen K. Size-dependent nitrogen uptake in micro- and macroalgae [J]. Marine Ecology Progress Series, 1995, 118(1):

- 247 - 253.
- [27] Dortch Q, Ahmed S I, Packard T T. Nitrate reductase and glutamate dehydrogenase activities in *Skeletonema costatum* as measures of nitrogen assimilation rates[J]. *Journal of Plankton Research*, 1979, 1(2):169 - 186.
- [28] 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. [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. *海洋通报*, 2007, 26(2):60 - 65.]
- [29] Liang Z Y, Lin X Z, Ma M, *et al.* A preliminary study of the *Enteromorpha prolifera* drift gathering causing the green tide phenomenon[J]. *Periodical of Ocean University of China; Natural Science*, 2008, 38(4):601 - 604. [梁宗英, 林祥志, 马牧, 等. 浒苔漂流聚集绿潮现象的初步分析. *中国海洋大学学报*, 2008, 38(4):601 - 604.]
- [30] 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. [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. 青岛: 中国海洋大学, 2011.]
- [31] Cohen R A, Fong P. Using opportunistic green macroalgae as indicators of nitrogen supply and sources to estuaries [J]. *Ecological Applications*, 2006, 16(4):1405 - 1420.
- [32] Schories D, Reise K. Germination and anchorage of *Enteromorpha* spp. in sediments of the Wadden Sea [J]. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 1993, 47(3):275 - 285.
- [33] Li D Q, He S Y, Yang Q, *et al.* The source and researches for distribution characteristics of *Enteromorpha* in Qingdao [J]. *Environmental Protection*, 2008, (16):45 - 46. [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. *环境保护*, 2008, (16):45 - 46.]
- [34] Zhang H W, Ma J H, Hu X, *et al.* Reproductive characteristics of the floating algae in green tide[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(4):600 - 606. [张华伟, 马家海, 胡翔, 等. 绿潮漂浮浒苔繁殖特性的研究. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(4):600 - 606.]
- [35] 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]. *Fisheries Science*, 2002, 68(6):1182 - 1188.
- [36] Tian Q L, Ren D M, Mu X W, *et al.* Compare of different population for green tide *Enteromorpha* in south Yellow sea[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(6):606 - 608. [田琪琳, 任冬梅, 穆新武, 等. 黄海南部海域绿潮浒苔不同种群繁殖特性比较. *江苏农业科学*, 2011, 39(6):606 - 608.]
- [37] Gao S, Chen X Y, Yi Q Q, *et al.* A strategy for the proliferation of *Ulva prolifera*, main causative species of green tides, with formation of sporangia by fragmentation[J]. *PLoS One*, 2010, 5(1):e8571.
- [38] Zhang X, Wang H, Mao Y, *et al.* Somatic cells serve as a potential propagule bank of *Enteromorpha prolifera* forming a green tide in the Yellow Sea, China[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2010, 22(2):173 - 180.

The effects of different proliferative ways for the green tide alga *Ulva prolifera* on their growth and photophysiological performances

LIU Yameng^{1,2}, XU Juntian², LI Xinshu², YAO Dongrui^{1,3*}, LIU Zhaopu¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. School of Marine Science and Technology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;

3. Plant Landscape and Ecological Engineering Research Center, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To compare the difference between *Ulva prolifera* cultured in different reproductive modes, we got the thalli grown from the spores (ST) and that from vegetative multiplication (VT) by using enclosure experiment *in situ* and then estimated the difference of photosynthetic performance between ST and VT by comparing the growth, photosynthesis and fluorescence parameter of VT and ST. Our results showed that the growth rate of ST was significantly higher than VT by 61.27% and the maximum photosynthetic rate P_{max} , photosynthetic efficiency α and P/R of ST were significantly higher than those of VT by 25.33%, 14.93%, 134.69%, respectively. While the respiration rate and light compensation point for photosynthesis of ST were lower than those of VT by 45.7% and 52.2%, respectively. It showed that ST possessed better growth advantage compared with VT. Relative electron transport rates (rETR) and non-photochemical quenching (NPQ) of VT were significantly higher than those of ST, and had a higher non-photochemical quenching in the high light. These results implied that compared with the thalli grown from the spores, the thalli grown through vegetative multiplication had stronger high light adaptation ability.

Key words: *Ulva prolifera*; *in situ*; photosynthesis; chlorophyll fluorescence parameter; growth

Corresponding author: YAO Dongrui. E-mail: yaodongrui@hotmail.com