

环境因子对鼠尾藻幼苗叶绿素荧光参数的影响

梁洲瑞^{1,2}, 王飞久^{1*}, 孙修涛¹, 汪文俊¹, 丁昌玲¹, 李涛¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所,农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室,山东 青岛 266071;

2. 上海海洋大学水产与生命学院,上海 201306)

摘要: 为了揭示鼠尾藻幼苗的生态适应性,研究了温度(5~34 ℃)、盐度(10~50)和营养盐等环境因子对鼠尾藻幼苗叶绿素荧光参数的影响。结果表明,(1) 氮浓度高于 8 mg/L 或磷浓度高于 1.2 mg/L,或温度高于 28 ℃,对鼠尾藻幼苗的光合作用均有显著影响($P < 0.05$);(2) 短时间的5~15 ℃的低温胁迫或 10~50 盐度胁迫 6 h 对鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m 值影响不明显;(3) 氮、磷浓度分别为 2~4 mg/L 和 0.2~0.8 mg/L,且 $\text{NH}_4^+-\text{N}:\text{NO}_3^--\text{N}$ 的比值为 1~3 时,较利于鼠尾藻幼苗光合作用的进行。

关键词: 鼠尾藻; 温度; 盐度; 营养盐; 叶绿素荧光

中图分类号: Q 945.78; S 917

文献标志码: A

鼠尾藻 (*Sargassum thunbergii*) 属于褐藻门 (Phaeophyta) 马尾藻属 (*Sargassum*)。鼠尾藻不仅是海参、鲍育苗及养殖的理想饵料,还具有较高的生态(如净化重金属污染海区、降低海区富营养化)、工业(如可提取碘、褐藻胶和甘露醇等)、药用(如可制备抗氧化药物)和营养价值^[1-6]。

叶绿素荧光于 1834 年被首次发现,由于调制叶绿素荧光技术是测定植物光合作用的灵敏、快速、有效和无损伤的探针,现已被广泛应用于植物光合作用和逆境生理的研究中^[7]。目前国内外利用该技术对高等植物生理胁迫、作物增产潜力预测等方面的研究报道较多^[8],对微型海藻^[9-11]和大型海藻(如浒苔,条斑紫菜,龙须菜等)^[12-15]的研究也有报道。在褐藻门中,有关羊栖菜、铜藻幼苗的温度、盐度和光照胁迫机制的研究已有一些报道^[16-18]。

营养盐是植物维持正常生长所必需的,营养盐浓度过高或过低都会对高等植物^[19-21]或藻类^[22-24]的叶绿素荧光参数产生影响。氮、磷是海藻光合作用过程中非常重要的两种元素,氮对海藻体内的叶绿素、光合酶等生化组分的生成和消

耗有重要影响^[25],氮代谢是叶绿体内依赖于光合电子传递、仅次于 CO_2 同化之外的另一个重要光合反应^[26];磷作为底物或调节物直接参与光合作用的各个环节,包括光能吸收、同化力的形成、卡尔文循环、同化产物的运输以及对一些关键性酶的活性起调节作用等^[27]。通过研究不同营养盐浓度下藻类叶绿素荧光参数的变化,可深入了解营养盐浓度对藻类光合系统 II 的影响。

鼠尾藻作为一种重要的大型经济海藻,目前其胁迫生理的研究尚未见报道。若要实现鼠尾藻人工大规模栽培,有必要了解其幼苗时期面对各种逆境的反应以采取相应措施。本实验利用叶绿素荧光技术研究温度、盐度和营养盐因子对鼠尾藻幼苗的影响,将有助于深入认识鼠尾藻幼苗的生态适应性,为鼠尾藻的人工栽培提供有价值的科学数据。

1 材料与方法

1.1 材料

2010 年 6 月底,在山东即墨市鼠尾藻实验海区采集成熟的雌、雄藻体,在低温室(11~13 ℃)

收稿日期:2011-04-07 修回日期:2011-05-30

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA10A416);公益性行业(农业)专项(200903030)

通讯作者:王飞久,E-mail:wangfj@ysfri.ac.cn

内进行采苗和培养,培养至幼苗 0.3~0.5 cm。实验前挑选藻体完整、无损伤腐烂、大小均一的鼠尾藻幼苗置于 GXZ 智能型光照培养箱适应一周,用灭菌天然海水作为培养液,温度 20 ℃。培养液中添加营养盐,其中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 0.3 mg/L,总氮 3 mg/L ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 1:1$,该比例为摩尔比,下同)。另外,培养液中还添加 2 mg/L 的二氧化锗以抑制硅藻繁殖。

1.2 方法

实验于光照培养箱中进行,实验时把鼠尾藻幼苗放于盛有 200 mL 培养液的烧杯中培养(每个烧杯放 5 棵幼苗)。叶绿素荧光参数的测定均采用水下饱和脉冲叶绿素荧光仪(DIVING-PAM, WALZ, Germany)。测定方法如下:幼苗进行暗适应 30 min 后再测 F_v/F_m ;测定快速光曲线时,设置的光合有效辐射(PAR)分别为 26、48、88、131、176、254、399、499 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,每个 PAR 照射 10 s。所测定的参数由数据采集软件 Wincontrol 计算出。

温度实验 设置 7 个温度处理组(5、10、15、25、28、31 和 34 ℃)与对照组(20 ℃),每个组 5 个平行。培养条件:白色日光灯,光照强度 3 000 lx,光周期 12L:12D,盐度 33。分别测定在各个温度下培养 1 h 后和在对照条件下恢复培养 24 h 后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m 值。

盐度实验 设置 4 个盐度处理组(10、20、40 和 50)与对照组(33),每个组 5 个平行(用氯化钠和蒸馏水调节海水培养液的盐度)。培养条件:白色日光灯,光照强度 3 000 lx,光周期 12L:12D,温度 20 ℃。分别测定在各个盐度下培养 0.5、1.0、2.0、4.0、6.0 h 和在对照条件下恢复培养 24 h 后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m 值。

营养盐实验 用 NaNO_3 和 NH_4Cl 做氮源, KH_2PO_4 做磷源。设置不同氮、磷浓度和不同氮形态比例实验。培养条件:白色日光灯,光照强度 3 000 lx,光周期 12L:12D,温度 20 ℃,盐度 33。先用 PhotoLab 多参数水质分析仪(德国 WTW 公司)测定培养液中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的浓度,再添加一定量的营养盐以达到下述相应的设计浓度。以下每个处理组做 5 个平行。

不同氮浓度实验中($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 1:1$),磷浓度 0.3 mg/L,设置 5 个总氮浓度如下(括号中为相应处理表示符号,下同):0.2 mg/L($\text{N}_{0.2}$)、2

mg/L(N_2)、4 mg/L(N_4)、8 mg/L(N_8)、12 mg/L(N_{12})。不同磷浓度实验中,氮浓度 3 mg/L ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 1:1$),设置 5 个磷浓度:0.02 mg/L($\text{P}_{0.02}$)、0.2 mg/L($\text{P}_{0.2}$)、0.4 mg/L($\text{P}_{0.4}$)、0.8 mg/L($\text{P}_{0.8}$)、1.2 mg/L($\text{P}_{1.2}$)。分别测定上述各个氮、磷起始浓度下培养 3、6、18、30、42 h 后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m 值及快速光曲线。不同氮形态比例实验设置 5 个处理($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 分别为 4:0, 3:1, 2:2, 1:3, 0:4),总氮浓度均为 4 mg/L,磷浓度均为 0.3 mg/L。分别测定上述 5 个氮形态比例下培养 24 h 后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m 值及快速光曲线。

1.3 数据处理

采用 SPSS 软件分别进行 T 检验、单因子方差分析和多重比较(以 $P < 0.05$ 作为显著性差异),用 GraphPad Prism 软件绘制图形。用 Statistica 软件,采用最小二乘法对快速光曲线进行拟合^[28],以求出 $r\text{ETR}_{\text{max}}$ (最大潜在相对电子传递速率)。

2 结果

2.1 温度实验

5、31 和 34 ℃ 处理组胁迫 1 h 后光系统 II (PS II) 最大荧光产量 F_v/F_m 值与对照组(20 ℃)间均呈显著性差异($P < 0.05$)(图 1)。31 和 34 ℃ 处理组在恢复培养 24 h 后, F_v/F_m 值与对照组间均呈显著性差异($P < 0.05$)(图 1)。

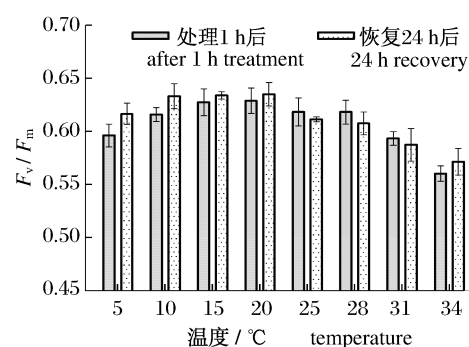


图 1 不同温度胁迫处理 1 h 及恢复培养 24 h 后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m ($n = 5$)

Fig. 1 F_v/F_m of young seedlings of *S. thunbergii* at different temperatures for 1 h and the corresponding recovered values after 24 h ($n = 5$)

2.2 盐度实验

从第4小时开始,各个盐度胁迫对鼠尾藻幼苗 F_v/F_m 值的影响差异显著 ($P < 0.05$) (图2)。多重比较结果表明,在整个胁迫培养过程中,20和40盐度组 F_v/F_m 值均显著高于10和50盐度组 ($P < 0.05$);10和50盐度组, F_v/F_m 值在胁迫0.5 h后与对照组(33)间差异显著 ($P < 0.05$);而20和40盐度组在胁迫4 h时, F_v/F_m 值与对照组间差异显著 ($P < 0.05$) (图2)。胁迫时间为6 h的处理组,进行恢复培养24 h,其 F_v/F_m 值与对照组间无显著差异(图3)。

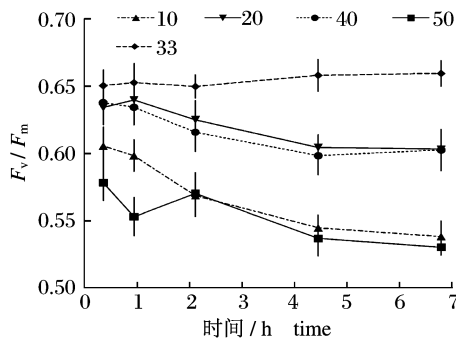


图2 不同盐度处理0.5、1、2、4及6 h后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m ($n=5$)

Fig. 2 F_v/F_m of young seedlings of *S. thunbergii* at different salinities for 0.5, 1, 2, 4 and 6 h respectively ($n=5$)

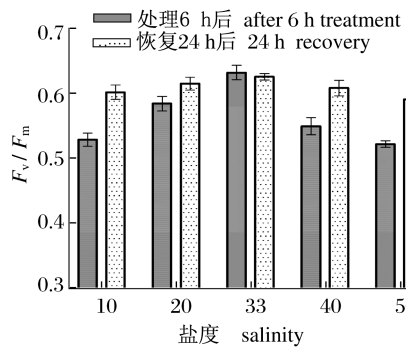


图3 不同盐度处理6 h后恢复培养24 h,鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m ($n=5$)

Fig. 3 F_v/F_m of young seedlings of *S. thunbergii* at different salinities for 6 h after 24 h recovery ($n=5$)

2.3 营养盐实验

氮浓度对鼠尾藻幼苗 F_v/F_m 值影响如图4。 $N_{0.2}$ 和 N_{12} 处理组从第30小时始,而 N_8 组在42 h时,其相应氮浓度处理对 F_v/F_m 值的影响差异显

著 ($P < 0.05$);而 N_2 和 N_4 组在42 h内,其相应氮浓度对 F_v/F_m 值的影响差异不显著。多重比较结果表明,从第30小时始, N_2 和 N_4 组的 F_v/F_m 值均显著高于其它处理组 ($P < 0.05$)。

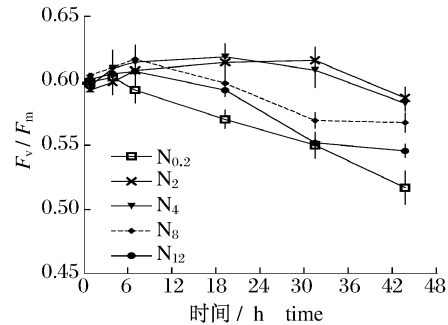


图4 不同氮浓度处理3、6、18、30及42 h后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m ($n=5$)

Fig. 4 F_v/F_m of young seedlings of *S. thunbergii* at different nitrogen concentrations for 3, 6, 18, 30 and 42 h respectively ($n=5$)

氮浓度对鼠尾藻幼苗 $rETR_{max}$ 值影响如图5。 $N_{0.2}$ 组从第18小时始,而 N_8 和 N_{12} 组从第30小时始,其相应氮浓度对 $rETR_{max}$ 值的影响差异显著 ($P < 0.05$);而 N_2 和 N_4 组,其 $rETR_{max}$ 值在前18 h均有明显上升趋势,18 h后虽然有所下降,但直到42 h时,与其相应的起始 $rETR_{max}$ 值相比均无显著差异。多重比较结果表明,从第18小时始, N_2 和 N_4 组的 $rETR_{max}$ 值均显著高于其它处理组 ($P < 0.05$)。

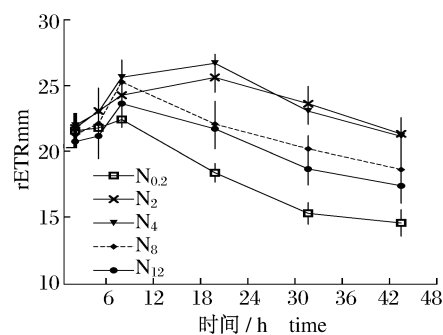


图5 不同氮浓度处理3、6、18、30及42 h后鼠尾藻幼苗的 $rETR_{max}$ ($n=5$)

Fig. 5 $rETR_{max}$ of young seedlings of *S. thunbergii* at different nitrogen concentrations for 3, 6, 18, 30 and 42 h respectively ($n=5$)

磷浓度对鼠尾藻幼苗 F_v/F_m 值影响如图6。 $P_{0.02}$ 和 $P_{1.2}$ 处理组从第18小时始,其相应磷浓度

对 F_v/F_m 值的影响差异显著 ($P < 0.05$); 而 $P_{0.2}$ 、 $P_{0.4}$ 和 $P_{0.8}$ 处理组在 42 h 内, 其相应磷浓度对 F_v/F_m 值的影响无显著差异。多重比较结果表明, 从第 18 小时始, $P_{0.02}$ 和 $P_{1.2}$ 组的 F_v/F_m 值均显著低于其它处理组 ($P < 0.05$)。

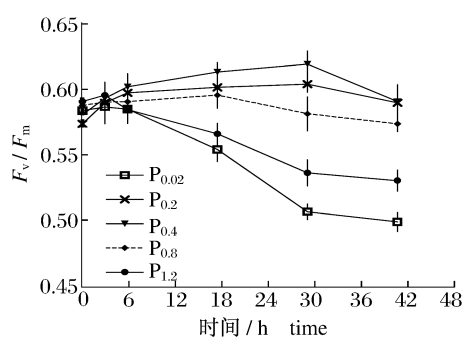


图 6 不同磷浓度处理 3、6、18、30 及 42 h 后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m ($n=5$)

Fig. 6 F_v/F_m of young seedlings of *S. thunbergii* at different phosphorus concentrations for 3, 6, 18, 30 and 42 h respectively ($n=5$)

磷浓度对鼠尾藻幼苗 $rETR_{max}$ 值影响如图 7。 $P_{0.02}$ 和 $P_{1.2}$ 处理组从第 30 小时始, 其相应磷浓度对 $rETR_{max}$ 值的影响差异显著 ($P < 0.05$); 而 $P_{0.2}$ 、 $P_{0.4}$ 和 $P_{0.8}$ 组, 其 $rETR_{max}$ 值在前 6 h 均表现出显著上升趋势, 虽然 30 h 后均明显下降, 但直到 42 h 时, 与其相应的起始 $rETR_{max}$ 值相比均无显著差异。多重比较结果表明, 从第 30 小时始, $P_{0.02}$ 和 $P_{1.2}$ 组的 $rETR_{max}$ 值均显著低于其它处理组 ($P < 0.05$)。

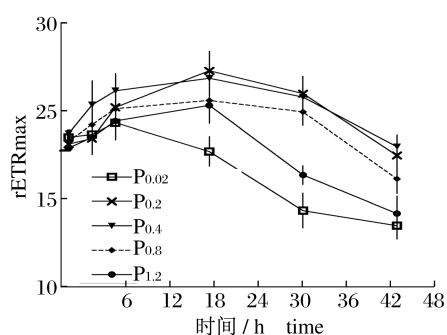


图 7 不同磷浓度处理 3、6、18、30 及 42 h 后鼠尾藻幼苗的 $rETR_{max}$ ($n=5$)

Fig. 7 $rETR_{max}$ of young seedlings of *S. thunbergii* at different phosphorus concentrations for 3, 6, 18, 30 and 42 h respectively ($n=5$)

不同氮形态比例对鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m 值和 $rETR_{max}$ 值的影响如图 8。5 个不同氮形态处理

组间 F_v/F_m 值均无明显差异, 但纯硝态氮和纯氨态氮组的 F_v/F_m 值均略低于其它 3 个混合氮组。纯硝态氮的处理组, 24 h 后其 $rETR_{max}$ 值与其它处理组的相比均呈显著性差异 ($P < 0.05$); 除了纯硝态氮组, 其它处理组间的 $rETR_{max}$ 值均无明显差异。但是, 氨态氮比例较低的处理组 ($NO_3^- : NH_4^+ = 3:1$) 的 F_v/F_m 值和 $rETR_{max}$ 值均略低于氨态氮比例较高的 2 个组 ($NO_3^- : NH_4^+ = 1:3, 2:2$)。

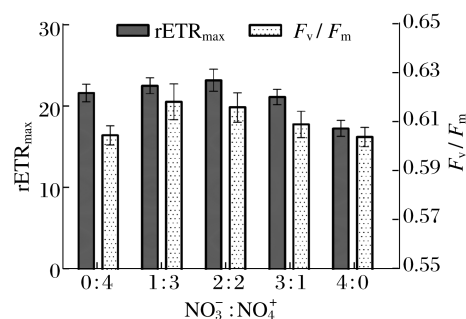


图 8 不同氮形态处理 24 h 后鼠尾藻幼苗的 F_v/F_m 和 $rETR_{max}$ ($n=5$, 总氮: 4 mg/L)

Fig. 8 F_v/F_m and $rETR_{max}$ of young seedlings of *S. thunbergii* at different nitrogen forms for 24 h ($n=5$, gross nitrogen: 4 mg/L)

3 讨论

光合能力的强弱与光合器官 PS II 活性及电子传递有关, 可由叶绿素荧光参数反映^[29-30]。经过充足暗适应后测出的 F_v/F_m 反映了当时所有的 PS II 反应中心均处于开放态时的量子产量, 即植物的潜在最大光合能力, 是衡量 PS II 完整性的指标^[31]。在正常生理状态下, F_v/F_m 是一个很稳定的值, 藻类约为 0.65^[32], 当受到胁迫时, 其值显著下降^[33]。PS II 的相对光合电子传递速率 (ETR) 是反映实际光强下的表观电子传递速率^[33]。本实验中, 经过不同温度、盐度和营养盐浓度胁迫后 F_v/F_m 不同程度下降, 表明不同胁迫条件使鼠尾藻幼苗的 PS II 反应中心受到不同程度地损害。各种胁迫条件下 $rETR_{max}$ 呈现的下降趋势也表明了光合电子传递的过程受到了阻碍。

大量研究表明, PS II 的活性在高温时受到抑制, 它是最易热敏感的色素蛋白复合体之一^[34-35]。类囊体膜含有光合色素和电子传递链组分, 是进行光反应的部位, 其对高温也非常敏感, 高温可导致其结构的改变^[36]。本次温度胁迫

的实验结果说明,短时间的 5 ~ 15 °C 的低温胁迫对鼠尾藻幼苗的光合系统没有大的破坏性,而短时间 31 °C 和 34 °C 的高温却有较大破坏,可推断在本实验条件下,鼠尾藻幼苗生长的温度上限为 28 °C。同为马尾藻属,铜藻的幼苗在 35 °C 高温下胁迫 1 h 也对其 PS II 造成了非逆转的损伤,其可耐受的温度上限为 28 °C^[18],而羊栖菜幼苗却能耐受长达 6 h 的 40 °C 高温^[16]。

关于盐度影响藻类生长的报道不多,有研究指出,Na⁺ 传递系统是藻类耐盐的最重要决定因素^[37];BALNOKIN 等^[38]也认为 Na⁺ 转运 ATP 酶在藻细胞质离子动态平衡中起着关键作用。本次盐度胁迫实验结果显示,即使是低盐度 10 和高盐度 50 处理 6 h,在恢复培养 24 h 后其 F_v/F_m 值也能恢复到正常水平 ($P > 0.05$),这暗示着鼠尾藻幼苗可能具有较强大的离子传递系统。同为马尾藻属的羊栖菜的幼苗也能耐受淡水 6 h 的低盐胁迫^[16];铜藻幼苗同样具有较强耐受盐度变化的能力,其能耐受高盐度 60 处理 6 h 和低盐度 0 处理 1 h^[18]。在鼠尾藻幼苗人工栽培过程,可利用其能耐受盐度胁迫的特点,用自来水浸泡一段时间除掉那些对渗透压较为敏感的附生杂藻,如水云属 (*Ectocarpus* spp.) 和多管藻属 (*Polysiphonia* spp.) 中的藻类。

氮是植物体内氨基酸、核酸、光合色素以及各种辅酶的重要组成部分,氮可以通过对叶绿体发育、叶绿素生物合成及光合作用酶活性对光合作用进行调节,缺氮处理对 PS II 的影响较大,使 PS II 反应中心蛋白含量下降或使蛋白降解^[39-40]。磷酸盐是能量新陈代谢和核酸与细胞膜生物合成的关键底物,它在光合作用中也发挥着重要作用,许多研究指出,缺磷导致光合速率下降主要是由于磷不足影响了代谢过程,缺磷植株光照后叶片中的 ATP 和 NADPH 明显下降,影响同化力的形成^[41-42]。在本实验条件下,鼠尾藻幼苗在氮、磷浓度分别为 2.0 ~ 4.0 mg/L 和 0.2 ~ 0.8 mg/L 时,较有利于其光合作用的进行。而在大于 4.0 mg/L 的高 N 浓度或大于 1.2 mg/L 的高 P 浓度培养 30 h 后,幼苗的 F_v/F_m 和 $rETR_{max}$ 值均有显著下降,这表明鼠尾藻幼苗受到了高氮或高磷胁迫,其光合作用受到了抑制。在低氮浓度 (0.2 mg/L) 和低磷浓度 (0.02 mg/L) 培养 30 h 后, F_v/F_m 和 $rETR_{max}$ 值均明显下降,原因可能是缺氮

导致幼苗的叶绿素、光合酶等蛋白质的合成受到了严重阻碍;缺磷影响幼苗叶片中 ATP 和 NADPH 的合成进而影响到碳、氮代谢和电子传递。

海藻(包括大型藻和微藻)在富氮环境中,会吸收过量的氮,并在体内储存,当环境中缺乏氮源时,体内的氮库就会慢慢释放出来,供应海藻生长及生理需求^[43]。在低氮、低磷处理的初始阶段, F_v/F_m 和 $rETR_{max}$ 值有上升趋势,这表明幼苗叶片中可能存在氮、磷的储存库,也可能是因为低氮限制起初刺激藻细胞,使其光合活性有瞬时增强的现象。

许多植物(包括大型海藻)在混合氮源培养下更有利于其生长^[43-45]。本次不同氮形态比例实验中,纯硝态氮和纯氨态氮组的幼苗在培养 24 h 后的 F_v/F_m 值和 $rETR_{max}$ 值均低于其它 3 个混合氮组(其中 $rETR_{max}$ 值的差异达到显著水平),由此可推断,混合氮源也有利于鼠尾藻幼苗的光合作用。海藻主要以 NO_3^- -N 及 NH_4^+ -N 的形式从环境中吸收氮,且优先吸收 NH_4^+ -N, NO_3^- -N 须先还原成 NH_4^+ -N 后才能被利用^[46-47]。本实验中, NO_3^- : NH_4^+ = 3:1 处理组的 F_v/F_m 和 $rETR_{max}$ 值均低于 NO_3^- : NH_4^+ = 1:3 和 NO_3^- : NH_4^+ = 2:2 这两个组,可能是由于直接利用环境中的 NH_4^+ 可以节省鼠尾藻幼苗能量的消耗,有利于其进行其它代谢过程(例如蛋白质的合成),也可能与藻类细胞缺乏硝酸还原酶有关^[48],待到环境中的 NH_4^+ -N 浓度降低到一定程度时,硝酸还原酶才受 NO_3^- -N 的诱导,藻类才开始吸收利用环境中的 NO_3^- -N^[49]。董彩霞等^[50]报道在弱光和强光下不同氮素形态对叶绿素荧光的影响并不相同。本实验中 5 个不同氮形态处理组间 F_v/F_m 值均无明显差异,这可能与本实验的光照强度有关,有待进一步研究验证。

参考文献:

- [1] 包杰,田相利,董双林,等. 温度、盐度和光照强度对鼠尾藻氮、磷吸收的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 293 - 300.
- [2] 韩晓弟,李岚萍. 鼠尾藻特征特性与利用[J]. 特种经济动植物, 2005, 8(1): 27.
- [3] 刘朝阳,孙晓庆,范士亮. 当前刺参养殖面临的主要困境及发展策略[J]. 饲料工业, 2006, 27(22): 28 - 30.

- [4] 魏玉西,于曙光.两种褐藻乙醇提取物的抗氧化活性研究[J].海洋科学,2002,26(9):49-51.
- [5] 吴海歌,于超,姚子昂,等.鼠尾藻营养成分分析[J].大连大学学报,2008,29(3):84-86.
- [6] 吴海一,詹冬梅,刘洪军,等.鼠尾藻对重金属锌、镉富集及排放作用的研究[J].海洋科学,2010,34(1):69-74.
- [7] 韩博平,韩志国,付翔.藻类光合作用机理与模型[M].北京:科学出版社,2003.
- [8] 陈建明,俞晓平,程家安.叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J].浙江农业学报,2006,18(1):51-55.
- [9] 梁英,冯力霞,田传远,等.高温胁迫对盐藻和塔胞藻叶绿素荧光动力学的影响[J].中国水产科学,2007,14(6):961-968.
- [10] 梁英,冯力霞,田传远.高温胁迫对球等鞭金藻3011和8701叶绿素荧光特性的影响[J].水产学报,2009,33(1):37-44.
- [11] 梁英,冯力霞,尹翠玲,等.高温胁迫对三角褐指藻和纤细角毛藻叶绿素荧光动力学的影响[J].中国海洋大学学报,2006,36(3):427-433.
- [12] LIN A P, SHEN S D, WANG G C, *et al.* Comparison of chlorophyll and photosynthesis parameters of floating and attached *Ulva prolifera* [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2011, 53(1):25-34.
- [13] LIN A P, WANG G C, SHEN S D, *et al.* Two specific causes of cell mortality in freeze-thaw cycle of young thalli of *Porphyra yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta) [J]. Journal of Phycology, 2010, 46(4):773-779.
- [14] WANG Z Y, WANG G C, NIU J F, *et al.* Optimization of conditions for tetraspore release and assessment of photosynthetic activities for different generation branches of *Gracilaria lemaneiformis* Bory [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(4):738-748.
- [15] 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.
- [16] PANG S J, ZHANG Z H, ZHAO H J, *et al.* Cultivation of the brown alga *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura: stress resistance of artificially raised young seedlings revealed by chlorophyll fluorescence measurement [J]. Journal of Applied Phycology, 2007, 19(5):557-565.
- [17] PANG S J, JIN Z H, SUN J Z, *et al.* Temperature tolerance of young sporophytes from two populations of *Laminaria japonica* revealed by chlorophyll fluorescence measurements and short-term growth and survival performances in tank culture [J]. Aquaculture, 2007, 262(2):493-503.
- [18] 张玉荣,刘峰,单体锋,等.利用叶绿素荧光技术揭示人工培育的铜藻幼苗对胁迫温度、光照和盐度的反应[J].南方水产,2009,5(2):1-9.
- [19] 吉彪,李晶,商文楠,等.氮素水平对小黑麦旗叶叶绿素荧光参数的影响[J].作物杂志,2010(3):50-53.
- [20] 吴楚,王政权,孙海龙,等.氮磷供给对长白落叶松叶绿素合成、叶绿素荧光和光合速率的影响[J].林业科学,2005,41(4):31-36.
- [21] 杨凤娟,王秀峰,魏珉,等. NO₃⁻ 胁迫及恢复对黄瓜幼苗叶片叶绿素荧光参数及 ATPase 活性的影响[J].应用生态学报,2006,17(3):403-407.
- [22] 尹翠玲,梁英,冯力霞,等.氮浓度对盐生杜氏藻和纤细角毛藻叶绿素荧光特性及生长的影响[J].海洋湖沼通报,2007(1):101-110.
- [23] 梁英,金月梅,田传远.磷限制及恢复对小球藻叶绿素荧光特性的影响[J].南方水产,2008,4(4):1-7.
- [24] 梁英,金月梅,田传远.氮磷浓度对绿色巴夫藻生长及叶绿素荧光参数的影响[J].海洋湖沼通报,2008(1):120-128.
- [25] LAPOINTE B E, DAWES C J, TENORE K R. Interactions between light and temperature on the physiological ecology of *Gracilaria tikvahiae*. II. nitrate uptake and levels of pigments and chemical constituents [J]. Marine Biology, 1984, 80(2):171-178.
- [26] KAISER W M, BRENDLE-BEHNISCH E. Rapid modulation of spinach leaf nitrate reductase activity by photosynthesis [J]. Plant Physiology, 1991, 96(2):363-367.
- [27] 李绍长.低磷胁迫对植物光合和呼吸作用的影响[J].石河子大学学报,2003,7(2):157-160.
- [28] PETER J R, ROLF G. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity [J]. Aquatic Botany, 2005, 82(3):222-237.
- [29] ANDERSON J M, EVANS P K, GOODCHILD D J. Immunological cross-reactivity between the light-harvesting chlorophyll a/b-proteins of a marine green alga and spinach [J]. Physiologia Plantarum, 1987, 70(4):597-602.
- [30] DEMMIG A B, ADAMS W, BARKER D H, *et al.* Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of

- excess excitation [J]. *Physiologia Plantarum*, 1996, 98(2):253-264.
- [31] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论 [J]. *植物学通报*, 1999, 16(4):444-448.
- [32] KOLBER Z, ZEHR J, FALKOWSKI P G. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthesis energy conversion in photosystem II [J]. *Plant Physiology*, 1988, 88(3):72-79.
- [33] 许大全, 张玉忠, 张荣铨. 植物光合作用的光抑制 [J]. *植物生理学通讯*, 1992, 28(4):237-243.
- [34] MORGAN-KISS R, IVANOV A G, WILLIAMS J, *et al.* Differential thermal effects on the energy distribution between photosystem II and photosystem I in thylakoid membranes of a psychrophilic and mesophilic alga [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2002, 1561(2):251-265.
- [35] WEN X, GONG H, LU C. Heat stress induces an inhibition of excitation energy transfer from phycobilisomes to photosystem II but not to photosystem I in a cyanobacterium *Spirulina platensis* [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2005, 43(4):389-395.
- [36] 郭延平, 周慧芬, 曾光辉, 等. 高温胁迫对柑橘光合速率和光系统活性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(6):867-870.
- [37] SERRANO R, MULET J M, RIOS G, *et al.* A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1999, 50(special issue):1023-1036.
- [38] BALNOKIN Y U, POPOVA L, GIMMLER H. Further evidence for an ATP-driven sodium pump in the marine alga *Tetraselmis (Platymonas) viridis* [J]. *Journal of Plant Physiology*, 1997, 150(3):264-270.
- [39] BERGES J A, CHARLEBOIS D O, MAUZERALL D C, *et al.* Differential effects of nitrogen limitation on photosynthetic efficiency of photosystems I and II in microalgae [J]. *Plant Physiology*, 1996, 110(2):689-696.
- [40] KOLBER Z, ZEHR J, FALKOWSKI P. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthetic energy conversion photosystem II [J]. *Plant Physiology*, 1988, 88(3):923-929.
- [41] FREDEN A L, RAAB T K, RAO I M, *et al.* Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine max*(L.) Merr [J]. *Planta*, 1990, 181(3):399-405.
- [42] RAO I M, ARULANANTHAM A R, TERRY N. Leaf phosphate status, photosynthesis and carbon partitioning in sugar beet: II. Diurnal changes in sugar phosphates, adenylates, and nicotinamide nucleotides [J]. *Plant Physiology*, 1989, 90(3):820-826.
- [43] 徐永健, 钱鲁闽, 王永胜. 氮素营养对龙须菜生长及色素组成的影响 [J]. *台湾海峡*, 2006, 25(2):222-228.
- [44] 曹翠玲. 氮素及形态对作物的生理效应 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2002.
- [45] 黄鹤忠, 孙菊燕, 申华, 等. 无机氮浓度及其配比对细基江蓠繁枝变型生长及生化组成的影响 [J]. *海洋科学*, 2006, 30(9):23-27.
- [46] MENGEL K, KIRKBY E A. 植物营养原理 [M]. 北京:中国农业出版社, 1987:171-186.
- [47] 潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学 [M]. 北京:高等教育出版社, 1995:52-77.
- [48] 严国安, 谭智群. 藻类净化污水的研究及其进展 [J]. *环境科学进展*, 1995, 3(3):45-54.
- [49] 李铁, 史致丽, 李俊, 等. 营养盐对中肋骨条藻和新月菱形藻部分生化组成和性质的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31(3):239-245.
- [50] 董彩霞, 田纪春, 赵世杰. 不同形态氮素对高蛋白小麦幼苗叶绿素荧光特性的影响 [J]. *西北植物学报*, 2002, 22(2):229-234.

Effects of environment factors on young seedlings of *Sargassum thunbergii* by chlorophyll fluorescence method

LIANG Zhou-rui^{1,2}, WANG Fei-jiu^{1*}, SUN Xiu-tao¹, WANG Wen-jun¹, DING Chang-ling¹, LI Tao¹

(1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Effects of different temperatures (5 – 34 °C), different salinities (10 – 50), different nutrient concentrations and different nitrogen forms on chlorophyll fluorescence parameters of young seedlings of *Sargassum thunbergii* were researched in this paper. The main parameters determined in the study included the optimal chlorophyll fluorescence quantum yield (F_v/F_m) and the maximum relative electron transport rate ($rETR_{max}$) of photosystem II. The results are shown as follows: (1) If nitrogen concentration or phosphorus concentration was higher than 8 mg/L and 1.2 mg/L respectively, or temperature was greater than 28 °C, there were significant effects on the photosynthesis of young seedlings of *S. thunbergii*. (2) Short time treatments in 5 – 15 °C and six hours treatments in 10 – 50 salinity of seawater did not affect the F_v/F_m of young seedlings of *S. thunbergii* obviously. (3) If nitrogen concentration and phosphorus concentration was 2 – 4 mg/L and 0.2 – 0.8 mg/L respectively, and moreover, $NH_4^+ - N : NO_3^- - N$ was equal to 1 – 3, it was beneficial to the photosynthesis of young seedlings of *S. thunbergii*.

Key words: *Sargassum thunbergii*; temperature; salinity; nutrition; chlorophyll fluorescence

Corresponding author: WANG Fei-jiu. E-mail: wangfj@ysfri.ac.cn

欢迎订阅 2012 年《上海海洋大学学报》

《上海海洋大学学报》为上海海洋大学主办,面向全国的以海洋、水产科学技术为主的综合性学术刊物。主要刊登研究论文,少量刊登综述、评述、简讯等。目前学报是《中国科学引文数据库》来源期刊,《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊,《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊,万方数据-数字化期刊群全文收录期刊,中国科技论文统计源核心期刊,水产渔业类中文核心期刊。

本刊为双月刊,大 16 开,国内外公开发行。每期单价: 10.00 元。国际标准刊号: ISSN 1674 – 5566,国内统一刊号: CN 31 – 2024/S。国内邮发代号: 4 – 604,国际发行代号: 4822Q。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款至编辑部订阅。

编辑部联系地址: 上海市临港新城沪城环路 999 号,上海海洋大学 201 信箱(邮编: 201306)

联系人: 郭丰红

联系电话: 021 – 6190022,传真: 021 – 61900227

E-mail: xuebao@shou.edu.cn

Website: www.shhydxxb.com