

## ◆ 条斑紫菜栽培 ◆

光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝生长及生理指标的影响<sup>\*</sup>田翠翠<sup>1,2</sup>, 周伟<sup>1</sup>, 胡传明<sup>1</sup>, 邓银银<sup>1</sup>, 杨立恩<sup>1</sup>, 许广平<sup>1\*\*</sup>

(1. 江苏省海洋水产研究所, 江苏南通 226007; 2. 江苏省农业种质资源保护与利用平台, 江苏南京 210014)

**摘要:**为探究条斑紫菜自由丝状体营养藻丝扩增的适宜光照条件,本研究以条斑紫菜新品种“苏通1号”自由丝状体营养藻丝为材料,研究不同光照强度(5, 15, 30, 45, 60, 75  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )对营养藻丝生长及生理特性的影响。结果显示,经25 d培养后,条斑紫菜自由丝状体营养藻丝在15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度下生长较好,特定生长率可达3.68%–8.23%,藻体色泽呈暗黑色,藻丝粗壮且长,呈健康状态。藻体叶绿素a、藻红蛋白、藻蓝蛋白含量总体上随光照强度增加表现出先增加后降低趋势,其中在15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度下含量最高;类胡萝卜素含量则在各组间差异不显著。藻体光系统PS II最大量子效率 $F_v/F_m$ 值在15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度下最大,约为75  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 组的1.6倍。以上结果表明,15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度最有利于条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的快速生长。

**关键词:**条斑紫菜 自由丝状体 光照强度 生长 生理指标

中图分类号: S968.43 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2021)01-0053-07

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20210429.009

## 0 引言

条斑紫菜(*Pyropia yezoensis*)隶属红藻门(Rhodophycophyta)、红藻纲(Rhodophyceae)、红毛菜亚纲(Bangiophycidae)、红毛菜目(Bangiales)、红毛菜科(Bangiaceae)、紫菜属(*Pyropia*)<sup>[1]</sup>,广泛栽培于我国江苏、山东沿海地区,年总产值超50亿美元<sup>[2]</sup>。条斑紫菜生活史包括叶状体和丝状体两个时

期<sup>[3]</sup>,丝状体时期包括营养藻丝(丝状藻丝)、孢子囊枝(膨大细胞)、壳孢子形成与放散<sup>[4]</sup>,其中营养藻丝粉碎后可钻入含钙质的基质长成贝壳丝状体,在栽培生产中属于种苗阶段<sup>[5]</sup>。营养藻丝在无附着基质的人工培养条件下可生长发育成自由丝状体(游离丝状体)<sup>[6]</sup>。目前,随着我国条斑紫菜新种质的不断开发和推广,越来越多的生产单位采用自由丝状体营养藻丝接种贝壳,用于贝壳丝状体育苗<sup>[7]</sup>。因此,对条斑

<sup>\*</sup> 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”专项(2018YFD0901502-3, 2018YFD0901506-3),国家藻类体系(CARS-50),江苏现代农业(紫菜)产业技术体系项目(JATS[2019]393, JATS[2019]394, JATS[2019]395)和南通市项目(JCZ20047)资助。

## 【作者简介】

田翠翠(1989-),女,工程师,主要从事藻类种质资源与遗传育种研究, E-mail: tiancuicui198997@126.com。

## 【\*\*通信作者】

许广平(1980-),女,副研究员,主要从事紫菜育种与栽培学研究, E-mail: gpxu1980@163.com。

## 【引用本文】

田翠翠,周伟,胡传明,等.光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝生长及生理指标的影响[J].广西科学院学报,2021,37(1):53-59.

TIAN C C, ZHOU W, HU C M, et al. Effect of Light Intensity on the Growth and Physiological Properties of Free-living Conchocelis of *Pyropia yezoensis* [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2021, 37(1): 53-59.

紫菜自由丝状体进行快速扩繁的研究显得至关重要。

20世纪60年代,国内外研究学者对紫菜丝状体的生长发育及其与培养环境间的关系进行研究。例如,以条斑紫菜贝壳丝状体为研究对象的:Iwasaki<sup>[8]</sup>认为紫菜丝状体的生长对光照强度有一定的要求;日本藻类学者黑木宗尚等<sup>[9]</sup>曾报道直射光对紫菜丝状体有致命伤害;我国研究学者郑宝福等<sup>[10]</sup>、任国忠等<sup>[11]</sup>分别报道光照强度、温度对条斑紫菜丝状体生长发育的影响。以条斑紫菜自由丝状体为对象的:骆其君等<sup>[12]</sup>研究温度、光照强度、盐度和营养盐对条斑紫菜自由丝状体生长的影响;朱建一等<sup>[13]</sup>在悬浮培养条件下,比较光照、光照时间对条斑紫菜丝状体生长的影响;张美如等<sup>[14]</sup>报道条斑紫菜丝状体扩增的最适营养盐浓度;郭文竹<sup>[15]</sup>系统研究温度、光照强度、海水比重、光暗周期对条斑紫菜丝状藻丝生长的影响;魏家慧等<sup>[16]</sup>研究条斑紫菜营养藻丝和孢子囊枝阶段对光照、温度的光合适应能力;侯和胜等<sup>[17]</sup>报道了高温胁迫对条斑紫菜丝状体的生长和生理影响。然而,光照强度对条斑紫菜自由丝状体生理特性的研究较少,因此本研究以光照强度作为单一变量,研究不同光照强度下条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的生长和生理特性变化,以期筛选出最适宜其生长的光照强度,为丰富条斑紫菜自由丝状体的快速扩繁提供科学参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

采用江苏省海洋水产研究所培育的条斑紫菜新品种“苏通1号”自由丝状体营养藻丝为供试材料。

### 1.2 方 法

#### 1.2.1 藻体培养

试验于光照培养箱(MGZ-120B-3,上海丙林电子)中进行。称取条斑紫菜自由丝状体营养藻丝( $0.3 \pm 0.01$ ) g,分别置于5,15,30,45,60,75  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度下培养,每组设置3个平行,用PLA-20植物光照分析仪进行光照强度测定。其他培养条件为光周期16 L:8 D,温度( $18 \pm 0.5$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,盐度26。培养期间每天定时摇动培养瓶2次(10:00,16:00),每隔5 d更换一次加富海水(PES)营养液<sup>[18]</sup>,并称量藻体鲜重,培养时间为25 d。

#### 1.2.2 藻体特定生长率的测定和显微观察

每5 d更换培养液时,称量各个培养瓶内条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的鲜重(Fresh Weight,FW),

具体方法如下:将自由丝状体营养藻丝经150目筛绢过滤后,放于滤纸上吸干水分,置于电子分析天平上称重记录。按以下公式计算各组样品的特定生长率(Specific Growth Rate,SGR): $\text{SGR}(\%) = 100 \times (\ln S_T - \ln S_{T-5}) / 5$ ,其中: $S_T$ 为第T天藻体鲜重, $S_{T-5}$ 代表前一次称量时的藻体鲜重。

采用Nikon-Eclipse Ni光学显微镜(日本尼康公司)对培养25 d后的自由丝状体营养藻丝进行形态观察和显微拍照。

#### 1.2.3 叶绿素a和类胡萝卜素含量测定

培养至25 d时,将条斑紫菜自由丝状体营养藻丝按照1.2.2节方法称量。称取0.1 g藻体,暗光条件下置于甲醇(100%)溶液中研磨粉碎;避光过夜后于4 $^{\circ}\text{C}$ 、10 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下离心10 min,取上清液,用紫外可见分光光度计(UV-2450,日本岛津公司)测定上清液的吸光值OD。叶绿素a和类胡萝卜素含量测定分别参照Porra<sup>[19]</sup>和Parsons等<sup>[20]</sup>报道的方法,具体计算公式如下:

$$\text{叶绿素 a} (\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}) = 16.29 \times (OD_{665} - OD_{750}) - 8.54 \times (OD_{652} - OD_{750}),$$

$$\text{类胡萝卜素} (\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}) = 7.6 \times [(OD_{480} - OD_{750}) - 8.54 \times (OD_{510} - OD_{750})].$$

#### 1.2.4 藻胆蛋白含量测定

培养至25 d时,将条斑紫菜自由丝状体营养藻丝按照1.2.2节方法称量。称取0.1 g藻体,置于8 mL 0.1  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸缓冲液(pH值为6.8)中研磨,然后放入4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中(避光保存),静止24 h后于4 $^{\circ}\text{C}$ 、10 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下离心10 min,取上清液,用紫外分光光度计检测样品上清液在455,564,592,618,645 nm波长下的吸光值。按照Beer等<sup>[21]</sup>报道的方法计算藻红蛋白(PE)和藻蓝蛋白(PC)含量,计算公式如下:

$$\text{PE} (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{[(A_{564} - A_{592}) - 0.20 \times (A_{455} - A_{592})]}{\text{FW}} \times V,$$

$$\text{PC} (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{[(A_{618} - A_{645}) - 0.51 \times (A_{592} - A_{645})]}{\text{FW}} \times V,$$

式中:A表示吸光度,V代表抽提量,FW为藻体鲜重(g)。

#### 1.2.5 最大量子效率测定

采用调制叶绿素荧光仪(PAM II,德国WALZ公司)测定藻体光系统II(PS II)最大量子效率

$F_v/F_m$ 。测量方法如下:藻体于EP管中进行30 min暗适应后,打开测量光(约  $0.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),测得样品最小荧光值( $F_o$ ),随后提供0.8 s约4000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 饱和脉冲光,测得最大荧光值( $F_m$ ),依据公式获得最大量子效率( $F_v/F_m$ ):

$$F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m。$$

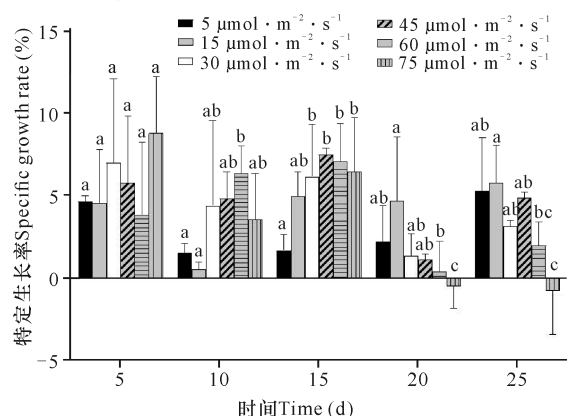
### 1.3 数据处理

采用Graph Pad Prism 7.0和Origin 7.0软件进行数据处理及统计分析,用One-Way ANOVA检验差异显著水平,设显著水平为 $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的特定生长率

由图1可知,初始培养5 d后,不同光照强度处理下条斑紫菜自由丝状体营养藻丝都处于较快的生长状态,其中  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的藻体SGR最大,为8.78%,但与其他试验组间无显著性差异( $P > 0.05$ )。培养10 d后,各试验组藻体生长开始出现差异,  $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的SGR最大,分别约为5,  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组的4.18倍和12.57倍( $P < 0.05$ )。15 d后,  $30 - 75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的藻体SGR明显大于  $5, 15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组( $P < 0.05$ );而20 d后,  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下藻体表现出明显的生长优势( $P < 0.05$ ),  $5, 30, 45, 60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的藻体生长减缓,  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下藻体



不同字母表示同一时间内组间差异显著( $P < 0.05$ )

Different letters indicate significant difference among treatments in the same time ( $P < 0.05$ )

图1 不同光照强度下条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的特定生长率

Fig. 1 Specific growth rate of free-living conchocelis of *P. yezoensis* under different light intensities

SGR出现负增长。培养25 d后,  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下藻体SGR最大,生长速率明显快于  $60, 75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组( $P < 0.05$ )。

### 2.2 条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的生长形态变化

光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的生长形态存在一定影响。初始培养的藻体呈深褐色,细胞为细长圆柱形,色素体为侧生带状。但随着培养时间的延长,不同光照强度下藻体色泽、形态和色素体等细胞内含物的分布逐渐发生变化。培养25 d后,  $5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下,藻体呈深褐色,细胞内含物较满,色素体清晰可见,色素体大且弥散在细胞四周(图2a)。  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下,丝状藻丝颜色暗黑色,藻丝长且粗壮,色素体饱满,带状充盈分布在细胞四周,藻体处于健康生长状态(图2b)。  $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下,藻体色泽略微暗淡,色素体浅黄色且偏于一侧,有些藻丝的侧枝或顶端已形成膨大细胞(图2c)。  $45 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下,藻丝颜色趋于淡黄色,细胞色素体内容物外溢呈半中空状,在藻丝顶端或侧枝细胞已形成2-10个单条或不规则分枝的膨大细胞(图2d)。  $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下,丝状体颜色趋于黄色,色素体部分降解,颜色偏淡,营养藻丝顶端及侧枝进一步发育变宽,膨大细胞比例增大(图2e)。  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下,藻体色泽灰白,细胞内含物较贫乏,色素体分解,完全呈中空状态,且藻丝之间裹着大量硅藻(图2f)。

### 2.3 条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的光合色素及藻胆蛋白含量比较

如图3所示,不同光照强度下条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的叶绿素a含量存在差异,呈现出随光照强度增加先升高再降低的趋势,其中  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的藻体叶绿素a含量最高,为  $2357.18 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,较  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组增加32.73%( $P < 0.05$ )。与叶绿素a含量的测定结果不同,类胡萝卜素含量总体上随光照强度增加而逐渐下降,当光照强度增加至  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,藻体类胡萝卜素含量最低,为  $696 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,但各组间藻体类胡萝卜素含量差异不显著( $P > 0.05$ )。

比较不同光照强度条件下藻体的藻胆蛋白含量发现,  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的藻体藻红蛋白含量最高,为  $43.74 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组含量最低,为  $28.78 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (图4)。藻体的藻蓝蛋白含量随光照强度增强呈现先增



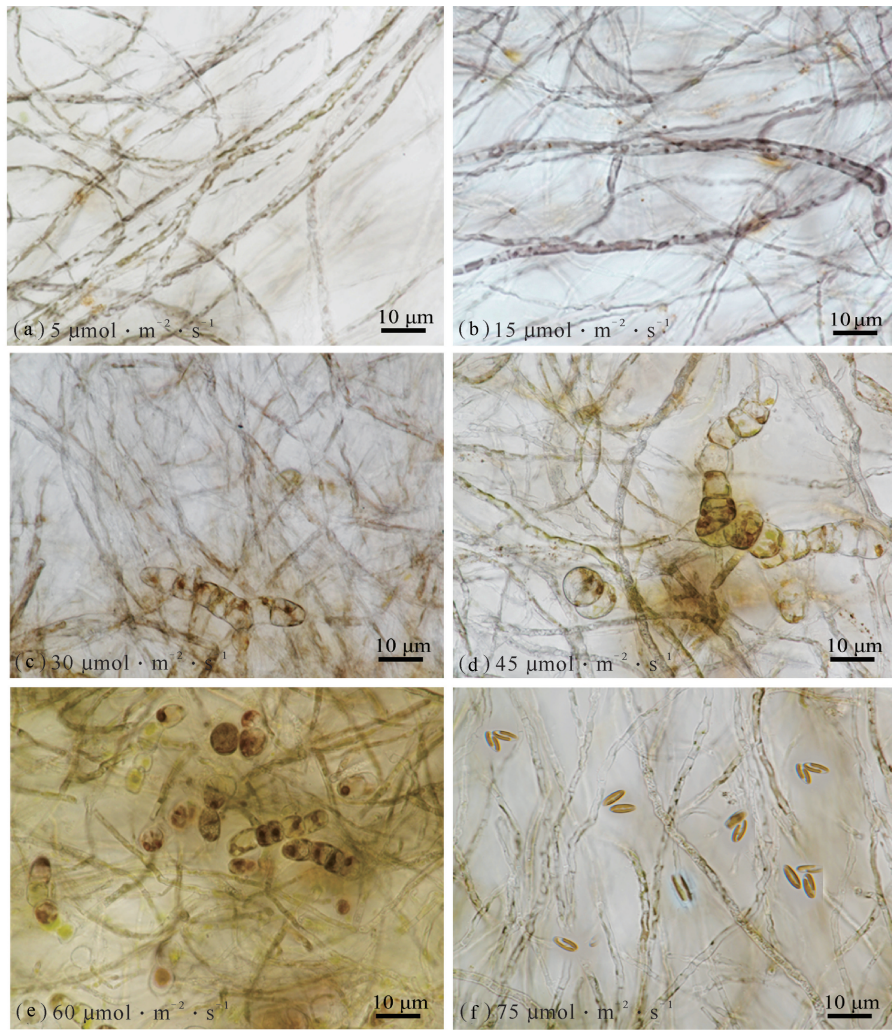
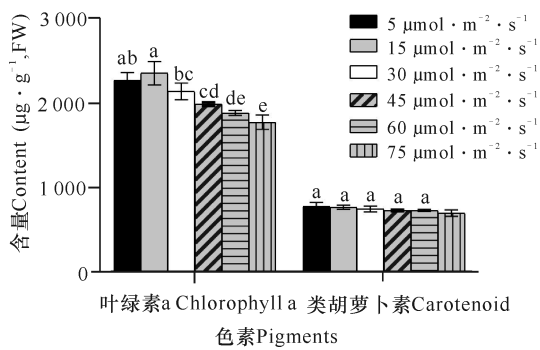


图2 不同光照强度下的条斑紫菜自由丝状体营养藻丝形态

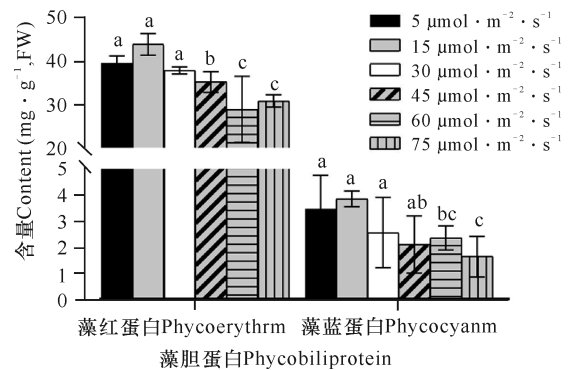
Fig. 2 Morphogenesis of free-living conchocelis of *P. yezoensis* under different light intensities

不同字母表示同一时间内组间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different letters indicate significant difference among treatments in the same time ( $P < 0.05$ )

图3 不同光照强度下条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的叶绿素a和类胡萝卜素含量

Fig. 3 Contents of Chlorophylla and carotenoid of free-living conchocelis of *P. yezoensis* under different light intensities



不同字母表示同一时间内组间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different letters indicate significant difference among treatments in the same time ( $P < 0.05$ )

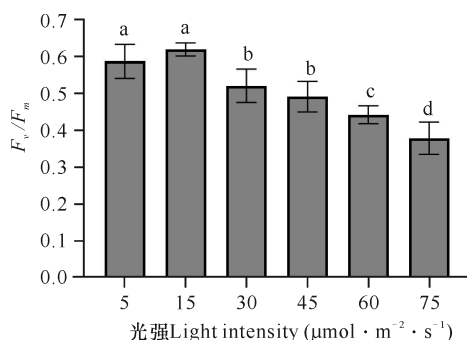
图4 不同光照强度下条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的藻胆蛋白含量

Fig. 4 Contents of phycobiliprotein of free-living conchocelis of *P. yezoensis* under different light intensities

加再降低的趋势,藻蓝蛋白含量最低的是  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组,为  $1.58 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,约为最高组  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的  $1/2$  ( $P < 0.05$ )。

#### 2.4 条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的 PS II 最大量子效率 $F_v/F_m$ 比较

如图 5 所示,条斑紫菜自由丝状体营养藻丝  $F_v/F_m$  随光照强度增大呈现先升高再降低趋势, $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度培养下的营养藻丝 PS II 最大量子效率  $F_v/F_m$  最大,约为 0.62,显著高于  $30-75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组 ( $P < 0.05$ )。 $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组  $F_v/F_m$  最小,为 0.38,约为  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组的 0.6 倍。



不同字母表示同一时间内组间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different letters indicate significant difference among treatments in the same time ( $P < 0.05$ )

图 5 不同光照强度下条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的  $F_v/F_m$

Fig. 5  $F_v/F_m$  of free-living conchocelis of *P. yezoensis* under different light intensities

### 3 讨论

#### 3.1 光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝生长及形态的影响

0-15 d,本试验中  $30-75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组 SGR 大于低光照强度试验组 ( $5-15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),表明光照强度越大,藻丝生长越快,这与条斑紫菜<sup>[22]</sup>、坛紫菜<sup>[23]</sup>自由丝状体的研究结果一致。但是随着培养时间的延长,20 d 后, $5, 15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组 SGR 明显大于  $30-60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组, $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组 SGR 出现负值,说明光照强度持续过高,过多的光照会对藻体的生长产生一定的抑制作用<sup>[24,25]</sup>。本文 SGR 与藻体形态观察结果一致:藻体培养 25 d 后, $5, 15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组藻丝处于正常生长状态; $30-60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组藻丝

色泽偏黄,色素体有所降解,膨大细胞比例增加; $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组藻丝呈中空状,表明光照强度升高到不利于营养藻丝生长的情况下,会刺激藻丝进一步发育成膨大细胞,这与魏家慧等<sup>[16]</sup>对条斑紫菜丝状体观察的结果一致。张美如等<sup>[26]</sup>、薛学坤等<sup>[27]</sup>在紫菜丝状体扩增保种中发现,长时间的过强光照会导致喜光性硅藻、绿藻等杂藻污染的发生。本研究中也发现类似的结果: $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下藻丝团外裹着一层硅藻,因此在条斑紫菜丝状体长周期扩大培养中应避免长时间强光培养。综上所述, $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度适合条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的生长,这与骆其君等<sup>[12]</sup>研究认为  $15-60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度适合其生长的结果不同,其原因可能与开展的试验周期不同有关。

#### 3.2 光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝光合色素含量的影响

叶绿素 a 是海藻重要的光合色素,藻胆蛋白是红藻的捕光色素蛋白,两者含量的高低与光合作用密切相关<sup>[28]</sup>。本研究中,条斑紫菜自由丝状体营养藻丝在  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下,藻体叶绿素 a、藻红蛋白、藻蓝蛋白含量均表现出较高的水平;当光照强度为  $30-75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,其含量则随光照强度升高而逐渐下降。类胡萝卜素含量在  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组最低,但与其他各组间差异不显著。对坛紫菜<sup>[23]</sup>、条斑紫菜<sup>[29]</sup>、龙须菜<sup>[30]</sup>、细基江蓠<sup>[31]</sup>等海藻的研究已经证实,低光照强度下有利于藻体光合色素的积累,有助于藻体对光能的捕获和传导;而当光照强度过高时,光合作用单元和 PS II 反应中心数量会减少,藻体的光合色素含量也相应降低。

#### 3.3 光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝 $F_v/F_m$ 的影响

$F_v/F_m$  值反映 PS II 反应中心潜在的最大光能转换效率,而 PS II 在光合作用的光能吸收和转换中起着重要的作用<sup>[32]</sup>。本研究中,藻体在  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光照强度下的  $F_v/F_m$  值最大,表明该光照强度下藻体的潜在光合作用活性最强。随着光照强度增加, $F_v/F_m$  值显著降低, $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组  $F_v/F_m$  约为  $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  组的 0.6 倍,说明过高的光照强度可以损坏光合作用系统,导致 PS II 的光能利用效率显著降低。这与野生条斑紫菜<sup>[33]</sup>、“黄优 1 号”条斑紫菜<sup>[16]</sup>研究结果相似。本研究中,条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的  $F_v/F_m$  值为 0.38-0.62,低于坛紫菜自由丝状体的 0.66-

0.74<sup>[23]</sup>,说明条斑紫菜自由丝状体光能利用效率及通过PS II的电子传递速率较坛紫菜低,条斑紫菜自由丝状体更偏向低光照强度适应性,这与张涛等<sup>[33]</sup>的研究结果一致。因而在调控培养紫菜丝状体扩增时,不同的紫菜物种应采用不同的光照强度。本研究认为,采用 $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光照强度,更有利于条斑紫菜自由丝状体营养藻丝的生长扩增,达到最优的培养结果。

#### 4 结论

本研究采用单因素分析法,研究光照强度对条斑紫菜自由丝状体营养藻丝生长及生理特性的影响,发现在 $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照强度下,藻体生长较好且叶绿素a、藻红蛋白、藻蓝蛋白、 $F_v/F_m$ 值含量最高。因此,建议在条斑紫菜自由丝状体长周期扩增培养中,采用 $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的较低光照强度,更有利于条斑紫菜丝状藻丝的快速生长,达到最优的培养结果。

#### 参考文献

- [1] SUTHERLAND J E, LINDSTROM S C, NELSON W A, et al. A new look at an ancient order: Generic revision of the Bangiales (Rhodophyta) [J]. *Journal of Phycology*, 2011, 47(5): 1131-1151.
- [2] 杨立恩, 韩晓磊, 周伟, 等. 条斑紫菜不同栽培品系的遗传多样性分析[J]. *广西科学*, 2016, 23(3): 241-247.
- [3] 曾呈奎, 王素娟, 刘思俭, 等. 海藻栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 55-121.
- [4] 许璞, 张学成, 王素娟, 等. 中国主要经济海藻的繁殖与发育[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 165-189.
- [5] 陈国宜. 关于坛紫菜自由丝状体的培养和直接采苗的研究[J]. *水产学报*, 1980, 4(1): 19-29.
- [6] 朱建一, 严兴洪, 丁兰平, 等. 中国紫菜原色图集[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 52-61.
- [7] 张美如, 陆勤勤, 朱建一. 条斑紫菜自由丝状体扩增的意义及影响因子[J]. *水产科技情报*, 2009, 36(2): 77-79.
- [8] IWASAKI H. The life cycle of *Porphyra tenera* in vitro [J]. *The Biological Bulletin*, 1961, 121(1): 173-187.
- [9] 黑木宗尚, 秋山和夫. 数種のアマノリの糸状体の成長と成熟と水温[J]. *東北水研研究報告*, 1966(26): 77-89.
- [10] 郑宝福, 陈美琴, 费修缙. 培养光强对条斑紫菜丝状体生长发育的影响[J]. *海洋与湖沼*, 1980, 11(4): 362-369.
- [11] 任国忠, 崔广法, 费修缙, 等. 温度对条斑紫菜丝状体生长发育的影响[J]. *海洋与湖沼*, 1979, 10(1): 28-38.
- [12] 骆其君, 卢冬, 费志清, 等. 生态因子对条斑紫菜自由丝状体生长的影响[J]. *水产科学*, 1999, 18(4): 6-9.
- [13] 朱建一, 郑庆树, 陆勤勤, 等. 条斑紫菜丝状体悬浮培养研究[J]. *水产养殖*, 1997(2): 12-14.
- [14] 张美如, 陆勤勤, 胡传明, 等. 营养盐浓度等因子对条斑紫菜(*Porphyra yezoensis* Ueda)种质扩增影响研究[J]. *现代渔业信息*, 2009, 24(4): 3-6.
- [15] 郭文竹. 环境因子对条斑紫菜孢子体生长发育的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [16] 魏家慧, 李国梁, 汪文俊, 等. 条斑紫菜丝状体不同发育时期对光照和温度的光合适应能力[J]. *渔业科学进展*, 2020, 41(6): 115-124.
- [17] 侯和胜, 何文君, 李洪艳, 等. 高温胁迫对条斑紫菜丝状体的生长和生理影响[J]. *辽宁师范大学学报: 自然科学版*, 2008, 31(4): 487-490.
- [18] PROVASOLI L. Media and prospects for the cultivation of marine algae [M]//WATANABE A, HATTORI A. Cultures and collections of algae. Tokyo: Japanese Society of Plant Physiology, 1966: 68-75.
- [19] PORRA R J. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b [J]. *Photosynthesis Research*, 2002, 73(1): 149-156.
- [20] PARSONS T R, STRICKLAND J D H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equation for ascertaining chlorophylls and carotenoids [J]. *Journal of Marine Research*, 1963, 21(3): 155-163.
- [21] BEER S, ESHEL A. Determining phycoerythrin and phycocyanin concentrations in aqueous crude extracts of red algae [J]. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 1985, 36(6): 785-792.
- [22] 王素平, 姜红如. 条斑紫菜 *Porphyra yezoensis* 游离丝状体生态的研究[J]. *海洋水产研究*, 1983(4): 34-56.
- [23] 翁祖桐. 光强对坛紫菜自由丝状体营养藻丝生长及生理指标的影响[J]. *福建农业学报*, 2019, 34(4): 488-494.
- [24] 陈翠芬, 李信书, 杨玲, 等. 外界因子对条斑紫菜自由壳孢子囊枝形成和生长的影响[J]. *生物技术通报*, 2008(4): 166-170.
- [25] LI X S, YANG L, HE P M. Formation and growth of free - living conchosporangia of *Porphyra yezoensis*: Effects of photoperiod, temperature and light intensity [J]. *Aquaculture Research*, 2011, 42(8): 1079-1086.
- [26] 张美如, 陆勤勤, 朱庙先, 等. 二氧化锗( $\text{GeO}_2$ )对条斑紫菜(*Porphyra yezoensis* Ueda)自由丝状体(Free Filamentous)中硅藻污染影响的研究[J]. *现代渔业信息*,



- 2007, 22(2): 24-26.
- [27] 薛学坤, 唐兴本, 陈百尧, 等. 对条斑紫菜自由丝状体污染的防与治[J]. 水产养殖, 2015, 36(11): 23-25.
- [28] THEISS C, SCHMITT F J, PIEPER J, et al. Excitation energy transfer in intact cells and in the phycobiliprotein antennae of the chlorophyll d containing cyanobacterium *Acaryochloris marina* [J]. Journal of Plant Physiology, 2011, 168(12): 1473-1487.
- [29] 曹原, 汪文俊, 梁洲瑞, 等. “黄优1号”条斑紫菜新品系遗传背景和营养成分分析[J]. 广西科学, 2016, 23(2): 131-137.
- [30] 林贞贤, 宫相忠, 李大鹏. 光照和营养盐胁迫对龙须菜生长及生化组成的影响[J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 22-26.
- [31] 刘静雯, 董双林. 光照和温度对细基江蓠繁枝变型的生长及生化组成影响[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2001, 31(3): 332-338.
- [32] 黄林彬, 黄文, 严兴洪. 条斑紫菜两个耐高温品系的耐低盐特性[J]. 水产学报, 2020, 44(2): 222-233.
- [33] 张涛, 沈宗根, 姚春燕, 等. 基于叶绿素荧光技术的紫菜光适应特征研究[J]. 海洋学报, 2011, 33(3): 140-147.

## Effect of Light Intensity on the Growth and Physiological Properties of Free-living Conchocelis of *Pyropia yezoensis*

TIAN Cuicui<sup>1,2</sup>, ZHOU Wei<sup>1</sup>, HU Chuangming<sup>1</sup>, DENG Yinyin<sup>1</sup>, YANG Li'en<sup>1</sup>, XU Guangping<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Marine Fisheries Research Institute, Nantong, Jiangsu, 226007, China; 2. Protection and Utilization of Agricultural Germplasm Resources in Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu, 210014, China)

**Abstract:** In order to explore the suitable light conditions for the amplification of free-living conchocelis of *Pyropia yezoensis*, the effects of varied light intensities (5, 15, 30, 45, 60 or 75  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) using LED on the growth and physiological properties of Sutong No. 1 were studied, which was a new cultivar of *P. yezoensis*. The results showed that after 25 d of culturing, under the condition of 15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , the free-living conchocelis of *P. yezoensis* grew well, and the specific growth rate could reach 3.68% – 8.23%. The algae color was dark black and conchocelis were thick and long, showing a healthy state. The contents of chlorophyll a, phycocyanin (PC) and phycoerythrin (PE) increased first and then decreased with the increase of light intensity, among which the content was the highest under the light intensity of 15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The carotenoid content was not significantly different among groups. The maximum photon quantum yield of photosystem II ( $F_v/F_m$ ) was the highest under the light intensity of 15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , which was about 1.6 times that of 75  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  group. In summary, 15  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  light intensity was most conducive to the rapid proliferation of free-living conchocelis of *P. yezoensis*.

**Key words:** *Pyropia yezoensis*, free-living conchocelis, light intensity, growth, physiological properties

责任编辑: 米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxk.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>