

文章编号: 1674-5566(2013)04-0563-08

## 光照强度对灰叶马尾藻有性生殖和幼孢子体早期生长的影响

赵素芬<sup>1</sup>, 李海娟<sup>1</sup>, 孙会强<sup>2</sup>, 李健鹏<sup>1</sup>, 李国荣<sup>1</sup>

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025; 2. 广东海洋大学 实验教学部, 广东 湛江 524088)

**摘要:** 通过离体组织培养, 观察了灰叶马尾藻 (*Sargassum cinereum*) 有性生殖特征, 探讨了光照强度 20、40、60、80、120、160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  对其有性生殖与幼孢子体早期生长的影响。结果表明: 灰叶马尾藻每窝一般排卵 4~6 个, 单核, 核分裂产生 2~8 核卵。受精卵依次经过 2 次横分裂、2 次纵分裂, 再经多次分裂形成梨形幼孢子体。光照强度对灰叶马尾藻卵及受精卵大小、分裂速度影响不显著, 80~120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时合子分裂较快。光照强度极显著影响灰叶马尾藻幼孢子体假根数量及其长度。培养第 9 天幼孢子体产生分枝, 叶状部生长受光照强度影响显著, 适宜光强范围为 40~120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 早期生长以 40~60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  最适, 出现分枝后以 80~120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  最适。本研究结果为灰叶马尾藻的人工育苗提供理论依据。

**研究亮点:** 灰叶马尾藻自然分布于我国广东硃洲岛与香港, 其成熟期较当地其它马尾藻属种类延迟, 对维持海区的生态平衡发挥着重要作用, 研究其育苗对马尾藻的周年增殖有重要意义。探究光照强度对灰叶马尾藻卵大小、分裂速度及其幼孢子体假根、叶状部早期生长的影响, 一定程度上填补了国内外这方面研究的空白。

**关键词:** 灰叶马尾藻; 光照强度; 有性生殖; 幼孢子体; 生长

**中图分类号:** S 968.42

**文献标志码:** A

灰叶马尾藻 (*Sargassum cinereum* J. Ag) 隶属褐藻门 (Phaeophyta), 褐藻纲 (Phaeophyceae), 墨角藻目 (Fucales), 马尾藻科 (Sargassaceae), 马尾藻属 (*Sargassum*), 国内自然分布于广东硃洲岛和香港。马尾藻属有 300 多种, 中国报道了 130 种<sup>[1-2]</sup>。马尾藻种类多, 藻体大, 经济价值较高<sup>[3]</sup>, 主要应用在免疫以及抗肿瘤药物提取、畜牧及渔业饲料加工、海藻酸钠提取、健康食品开发、环境监测与保护等方面<sup>[4-10]</sup>。

随着马尾藻应用的日益广泛, 其需求量大大增加, 许多地区出现过度采集现象, 而野生资源远远不能满足其需求, 开展马尾藻的人工养殖、海区增殖已势在必行, 其中苗种培育是关键。国内外对羊栖菜 (*Sargassum fusiforme*)、鼠尾藻 (*S. thunbergii*)、海黍子 (*S. muticum*)、铜藻 (*S. horneri*)、硃洲马尾藻 (*S. naozhouense*) 和无肋马尾藻 (*S. fulvellum*) 等的育苗已有一定研

究<sup>[11-22]</sup>。灰叶马尾藻生殖季节较迟, 通常在半叶马尾藻中国变种 (*S. hemiphyllum* var. *chinense*) 等种类完成有性生殖、藻体流失之后, 培育灰叶马尾藻幼苗对于周年增殖马尾藻有重要意义。马尾藻幼孢子体生长与光照强度密切相关<sup>[16-19, 23-25]</sup>, 而光照强度对灰叶马尾藻有性生殖及幼孢子体早期生长的影响未见报道。本文重点研究光照强度对灰叶马尾藻有性生殖时卵分裂过程和幼孢子体假根、叶状部生长的影响, 探讨其卵、合子、幼孢子体生长对光照强度的适应规律, 旨在为灰叶马尾藻人工育苗提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

灰叶马尾藻种藻采自湛江市硃洲岛存亮海区潮下带 (海水盐度 30, 表层水温 30  $^{\circ}\text{C}$ ) 约 1 m 深处。采集后用湿运法将雌、雄藻体分别运输至

收稿日期: 2012-12-26 修回日期: 2013-05-17

基金项目: 广东省科技计划项目 (2009B080701048); 广东海洋大学引进人才科研启动费项目 (1112386); 广东海洋大学大学生创新创业训练计划项目 (CXXL12007); 2012 年地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目 (201210566007)

作者简介: 赵素芬 (1970—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为海藻生物学、海藻健康栽培理论与技术。E-mail: sufzhao@126.com

实验基地。用过滤海水(孔径 50  $\mu\text{m}$  筛绢过滤)清洗藻体表面,以除去杂藻和其它附着物,将雌、雄藻体分别放入 1  $\text{m}^3$  白色塑料桶中暂养。暂养条件:水温 26.3 ~ 30.9  $^{\circ}\text{C}$ ,盐度 26 ~ 30,自然光照,光照强度介于 0 ~ 150  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  之间,充气培养。

## 1.2 方法

用 50 mL 烧杯或直径 50 mm 培养皿作为培养容器,直径 2 cm 盖玻片为固着基质,经过消毒处理后备用。海水经网孔 50  $\mu\text{m}$  筛绢布过滤、煮沸消毒,冷却后放于冰箱内冷藏备用,海水盐度为 30。设 20、40、60、80、120、160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  6 个光照强度梯度,每个梯度 2 个平行,置于微电脑培养箱(型号 SPX-250B-G,上海博迅实业有限公司医疗设备厂)培养,光周期 12 L:12 D,温度 25  $^{\circ}\text{C}$ ,每天定时换水一次。

### 1.2.1 排卵及托上卵发育观察

肉眼结合显微镜观察。挑选发育健壮、侧枝多、成熟度高且一致性好的雌体,在消毒海水中用毛笔刷除雌托表面附着物,将成熟待排放的生殖托分离成单个。

在 50 mL 烧杯中添加消毒海水 30 mL,投放 9 个雌生殖托,3 个雄生殖托,用保鲜膜封口,于微电脑培养箱培养,观察、记录不同光照强度下雌托排卵及托上卵的发育情况。

### 1.2.2 离体卵及幼孢子体生长观察

在 50 mL 烧杯中投放适量雌、雄生殖托,待卵排出并发育至梨形后取出雌生殖托,用毛笔轻轻将卵刷下,置于另一烧杯中。在直径 50 mm 培养皿中添加 15 mL 消毒海水,放置数个盖玻片,35 个卵,于微电脑培养箱中培养,每天定时、随机从每个培养皿中抽取 5 个幼孢子体,观测各光强下其生长情况。

### 1.2.3 数据处理

参照 CHU 等<sup>[21]</sup>的方法,分析幼孢子体相对生长速率(relative growth rate,  $R_{\text{RG}}$ )。  $R_{\text{RG}} = 100 (\ln L_t - \ln L_0) / t$ 。其中  $L_t$ : 培养  $t$  时间后幼孢子体平均长度,  $L_0$ : 最初幼孢子体平均长度,  $t$ : 培养时间。成活率(%) = 存活幼孢子体个数 / 初始幼孢子体个数  $\times 100\%$ 。

所得数据用统计软件 SPSS 17.0 处理,结果用平均值  $\pm$  标准误表示,并进行单因素方差分析,用 LSD 进行多重比较,  $P < 0.05$  表示差异显

著,  $P < 0.01$  表示差异极显著。

## 2 结果

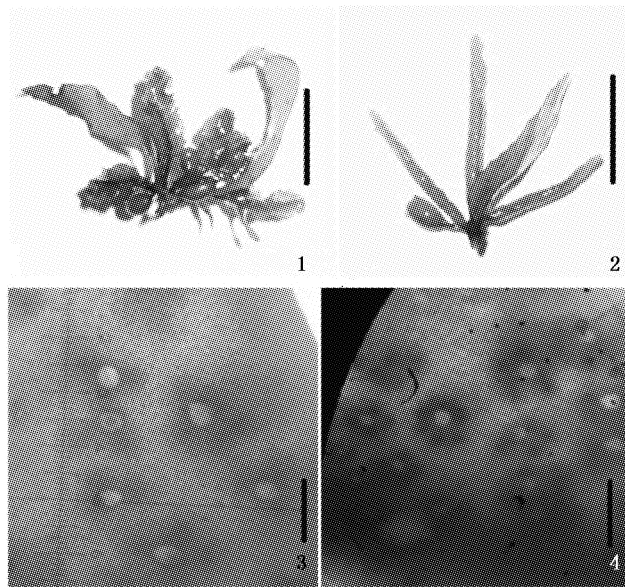
### 2.1 生殖托及其成熟度鉴别

灰叶马尾藻雌、雄异株,灰褐色。雌生殖托为直或扭转三棱形,边缘呈锯齿状(图版 I - 1);雄生殖托扁椭圆形或椭圆形,表面有疣状突起(图版 I - 2),侧缘偶见少数齿。一般雄托托序比雌托托序长且分枝多,雌托比雄托宽。成熟雌托饱满、肥厚,在光下表面可见许多透亮小点,即生殖窝。在光学显微镜下观察,雌托生殖窝孔四周呈深色模糊阴影,无卵排出,表明雌托尚未成熟(图版 I - 3);生殖窝孔周围含有大量黑色颗粒状阴影,表明雌托已成熟,卵即将排放(图版 I - 4)。

### 2.2 卵的排放与分裂

灰叶马尾藻雌托一般由基部、中部、端部依次排卵,通常基部和中部卵质量较好,端部较差,后者排放较分散,卵径小,卵数少,卵发育迟缓、容易死亡。成熟生殖窝窝孔明显扩张;每窝通常排卵 4 ~ 6 个,偶见 8 ~ 9 个;卵排出后,粘附在生殖窝孔周围(图版 II - 1),等待受精。受精卵发育成梨形后脱落,未受精卵大约 24 h 后逐渐变黑、变白,内含物由均匀分布变成聚块状(图版 II - 2)。刚排出的卵呈圆形或者椭圆形,浅褐色,内含物均匀,大小 135 ~ 220  $\mu\text{m} \times 165 \sim 220 \mu\text{m}$ ,平均(160  $\pm 9.8$ )  $\mu\text{m} \times (185 \pm 7.7)$   $\mu\text{m}$ 。卵子排出时单核,经过分裂,形成 2 核卵、4 核卵、8 核卵(图版 II - 3 ~ 6),此过程发育较快,卵径无明显变化。

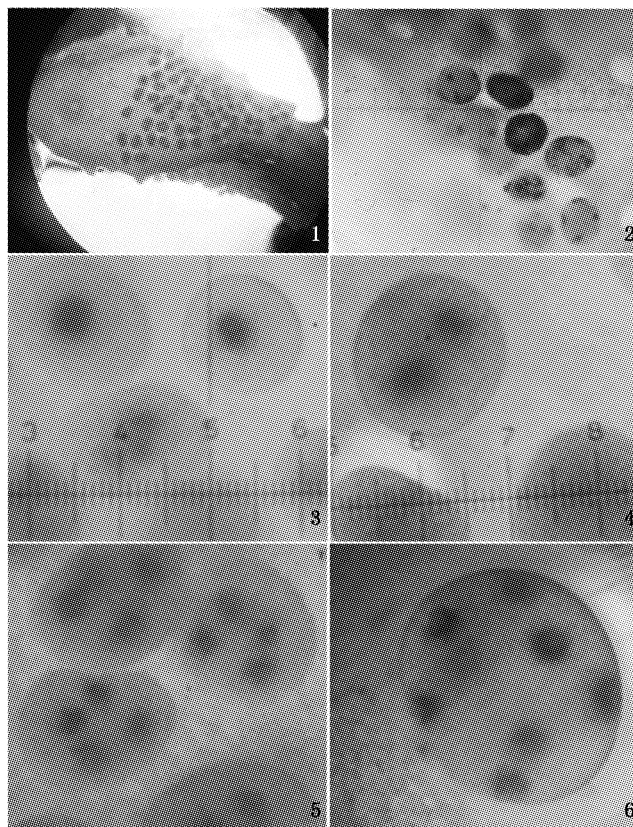
卵受精后其他 7 个细胞核消失,形成单核细胞,即合子,合子迅速进行分裂。细胞分裂前核先分裂,第一次为横分裂,近细胞中部产生,形成 2 个细胞,二者上下排列、大小近似相等。第二次由其中一个细胞横分裂,分裂线偏向端部,出现未来发育成假根的小细胞(假根细胞)。第三、四次为纵分裂,分别由大、小细胞分裂。第五次分裂线不定,可能其中任何一个细胞分裂,经过多次分裂后,细胞逐渐拉长,形成“梨形”细胞(图版 III - 1 ~ 9)。然后假根细胞分裂、长出假根雏形,其末端膨大呈吸盘状,内含色素,末端有时分叉(图版 III - 10 ~ 11),假根出现标志着幼孢子体形成。



图版 I 灰叶马尾藻的生殖托

Plate I Receptacles of *S. cinereum*

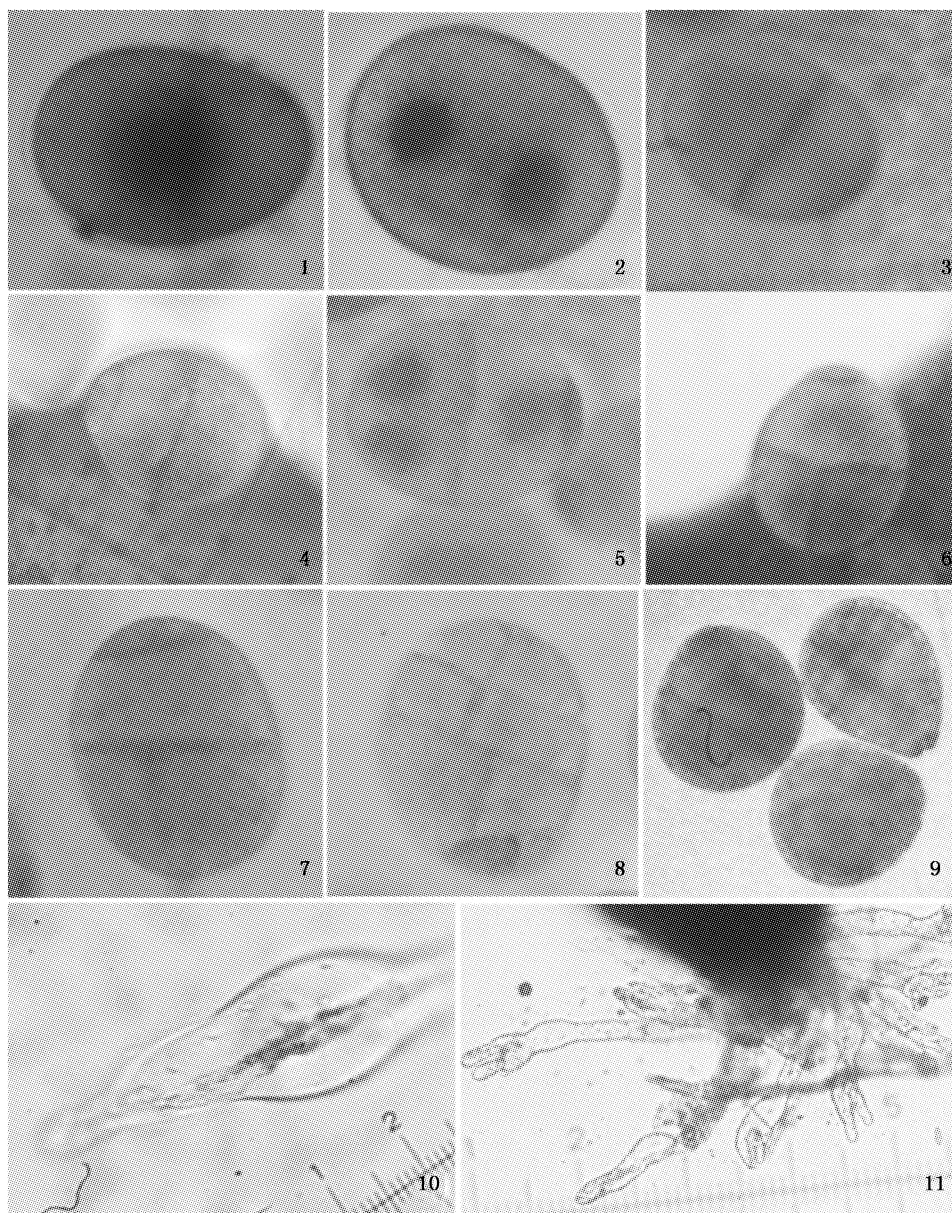
1. 雌生殖托; 2. 雄生殖托; 3. 生殖窝孔周围深色阴影; 4. 成熟待排放的粒状卵; 标尺:1-2 为 1 cm; 3-4 为 250 μm。



图版 II 灰叶马尾藻的卵细胞及其核分裂

Plate II Eggs and their nuclear division of *S. cinereum*

1. 粘在卵窝孔四周的卵; 2. 未受精的死亡卵; 3. 1 核期; 4. 2 核期; 5. 4 核期; 6. 8 核期。



图版 III 灰叶马尾藻合子的分裂过程及幼孢子体的假根末端

Plate III Cell division of *S. cinereum* zygotes and rhizoid ends of *S. cinereum* germlings

1. 受精卵; 2. 2 细胞前期, 核已分裂; 3. 2 细胞期; 4. 3 细胞期; 5. 4 细胞前期, 核已分裂; 6. 4 细胞期; 7. 5 细胞期; 8. 多细胞期; 9. 梨形幼孢子体期; 10. 假根末端单条膨大; 11. 假根末端分叉。

### 2.3 光照强度对卵分裂的影响

#### 2.3.1 对卵大小的影响

以不同光照下多核卵、受精卵、二细胞、三细胞、四细胞、多细胞等的长径、短径为因变量, 光照强度为因子, 进行单因素方差分析。结果表明, 方差具有齐性 ( $P > 0.05$ ), 而在不同时期, 卵的长径、短径与光照强度没有相关性 ( $P > 0.05$ ), 说明光照强度对灰叶马尾藻卵、合子大小无显著影响。

#### 2.3.2 对合子分裂速度的影响

不同光照强度下, 受精卵前 4 次分裂中, 平均每次分裂所需时间见图 1。由该图可见,  $20 \sim 80 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  范围内, 合子分裂速度随光强增大而加快,  $80 \sim 120 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时合子分裂速度几乎相等, 达到最快, 而在  $160 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时速度减慢, 单因子方差分析显示光照强度对灰叶马尾藻受精卵分裂速度影响不显著。

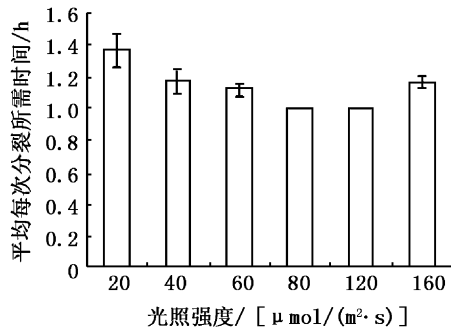


图1 不同光照强度下灰叶马尾藻合子的分裂速度  
Fig.1 Cell division velocity of *S. cinereum* zygotes under different light intensity conditions

## 2.4 光照强度对幼孢子体生长的影响

静水中,幼孢子体脱落后,附着于基质或生殖托上生长。早期以假根生长为主,之后叶状部生长。随着幼孢子体生长,其外形由梨形变成椭圆形、棒状,伸长到一定程度在藻体近顶端产生分枝。

### 2.4.1 对幼孢子体假根的影响

光照强度对灰叶马尾藻幼孢子体假根数影响极显著。培养初始尚无假根伸出,经过2 d培养,各组假根数8~16不等,之后明显增多,培养6 d,假根数最多。20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组假根数始终最少,而40~160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组较多,120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组最多(图2)。

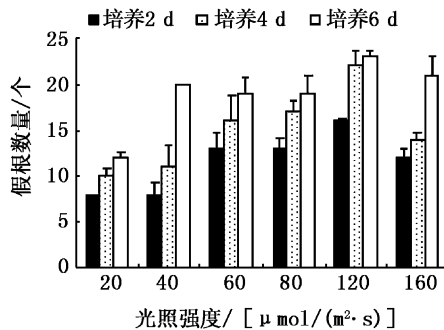


图2 不同光照强度下灰叶马尾藻幼孢子体的假根数量  
Fig.2 Rhizoid numbers of *S. cinereum* germlings under different light intensity conditions

光照强度对灰叶马尾藻幼孢子体假根长度的影响与培养时间有关,培养时间延长,影响显著。培养2~6 d,60~80  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组幼孢子体假根最长,其次为40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组或120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组,而20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组或160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组假根最短(图3)。

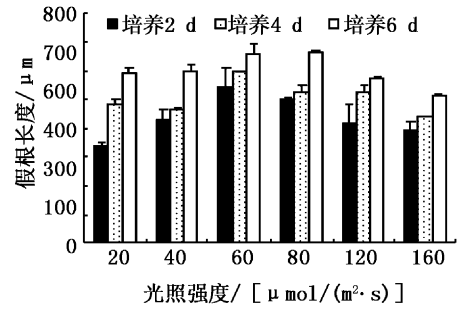


图3 不同光照强度下灰叶马尾藻幼孢子体的假根长度  
Fig.3 Rhizoid lengths of *S. cinereum* germlings under different light intensity conditions

### 2.4.2 对幼孢子体叶状部的影响

光照强度极显著影响灰叶马尾藻幼孢子体叶状部生长。培养第6天,叶状部相对增长率达到最大,60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 最适,40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 其次。第9天产生第一次分枝,分枝前各光强组幼孢子体长度相对增长率下降,宽度相对增长率因光强而异,40~60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组下降,光强偏高先上升,随着培养时间延长而下降,20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 组始终增长(图4、图5)。

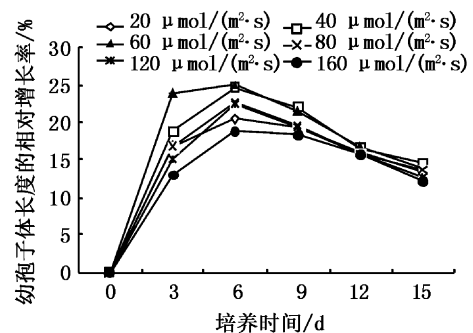


图4 不同光照强度下灰叶马尾藻幼孢子体长度的生长  
Fig.4 Growth of *S. cinereum* germling in length under different light intensity conditions

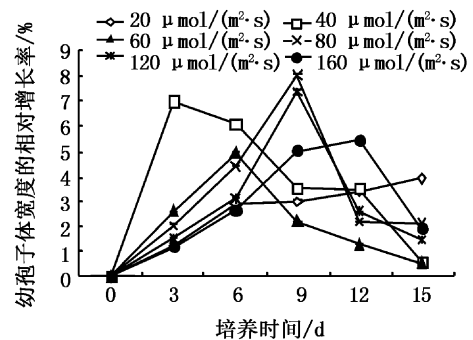


图5 不同光照强度下灰叶马尾藻幼孢子体宽度的生长  
Fig.5 Growth of *S. cinereum* germling in width under different light intensity conditions

### 2.4.3 对幼孢子体成活率的影响

培养早期以 80 ~ 120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光照强度下幼孢子体成活率最高, 40 ~ 60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光照组其次, 后期以 60 ~ 80  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光照组最高, 40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  与 120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  组次之。20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光照组始终成活率最低, 培养 18 d 后成活率仅 14.3% (图 6)。

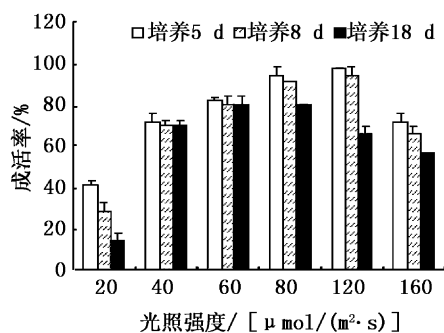


图 6 不同光照强度下灰叶马尾藻幼孢子体的成活率  
Fig. 6 The survival rate of *S. cinereum* germling under different light intensity conditions

## 3 讨论

灰叶马尾藻雌、雄异体, 雌生殖托三棱形, 雄生殖托圆柱形, 成熟时分别从生殖窝孔排卵、排精。灰叶马尾藻有性生殖时每窝排卵数与鼠尾藻相近, 卵径比鼠尾藻和海黍子大<sup>[12, 14, 26-27]</sup>, 灰叶马尾藻雌托不同部位通常分先后排卵, 托基部窝孔先排卵, 中部其次, 顶端最后排放, 这与铜藻<sup>[18]</sup>和鼠尾藻<sup>[27]</sup>相同。灰叶马尾藻卵刚排出时单核, 与潘金华等<sup>[28]</sup>报道鼠尾藻和莫氏马尾藻 (*S. moclurei*)<sup>[29]</sup>相同, 而羊栖菜和铜藻都是多核卵<sup>[16, 18, 23]</sup>, 这种差异源于物种本身还是外因, 排精详细过程如何, 有待进一步研究。灰叶马尾藻受精卵(合子)第 1 ~ 3 次分裂与鼠尾藻<sup>[26-28]</sup>相同, 而第 4 次分裂为未来发育为假根的基部小细胞纵分裂, 这在文献中未见报道。

灰叶马尾藻卵排出后, 在约 4 h 内完成核由 1 个分裂为 8 个的过程, 与鼠尾藻卵核分裂速度相近<sup>[27]</sup>。光照强度对马尾藻卵分裂期大小及分裂速度的影响未见报道。在实验光照强度范围内, 灰叶马尾藻受精卵各分裂期大小均无明显变化, 受精卵分裂速度亦无显著差异。前 4 次分裂中, 在 80  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  与 120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光

照强度下, 分裂时间比 20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光照组平均缩短 28% 和 16%, 光照偏弱或偏强时, 其分裂速度均下降。

光照强度对马尾藻属海藻假根生长的影响鲜见报道。灰叶马尾藻的假根数量及其长度受光照强度影响显著, 随着培养时间延长, 灰叶马尾藻假根数量增多, 长度增加。假根是固着器官, 其数量越多, 藻体固着能力越强; 其长度与固着能力的关系未见报道, 而灰叶马尾藻成体固着器呈盘状, 上有分枝愈合痕迹, 可能是假根伸长到一定程度便发生愈合的结果。灰叶马尾藻幼孢子体培养一定阶段后, 其假根末端出现吸盘状结构或分叉, 这可能是假根愈合前的变化。鼠尾藻幼孢子体假根数量也随着培养时间延长而增加<sup>[26]</sup>, 并且末端也出现吸盘状结构<sup>[28]</sup>。通常鼠尾藻排卵 24 ~ 48 h 后形成幼孢子体, 并从雌托上脱落, 再经 48 h 幼孢子体依靠假根牢固附着在基质上<sup>[26]</sup>, 灰叶马尾藻幼孢子体附着牢固所需时间有待进一步研究。

马尾藻类海藻幼孢子体生长对光强的响应因种而异。光照强度显著影响鼠尾藻幼孢子体生长, 在 9 ~ 88  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  范围内幼孢子体都能生长, 培养 1 周和 8 周后, 88  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  组和 44  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  组分别生长最快<sup>[17]</sup>, 灰叶马尾藻幼孢子体生长也显著受到光强影响, 初期及出现分枝后 (9 d) 分别以 40 ~ 60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  组和 80 ~ 120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  组生长最快, 而羊栖菜幼孢子体在 60 ~ 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强范围内生长无显著差异<sup>[16]</sup>。瓦氏马尾藻 (*S. vachellianum*) 幼孢子体在日龄小于 20 d 时适宜光强为 40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 而日龄大于 30 d 时为 60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ <sup>[25]</sup>。曹淑青等<sup>[14]</sup>发现温度高低会导致海黍子最适生长光照强度发生变化, 说明温度与光强之间有协同作用, 有关灰叶马尾藻幼孢子体在多因子作用下的生长特性有待进一步研究。灰叶马尾藻幼孢子体出现分枝后, 其长度与宽度生长在不同光强条件下有差异, 80  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以上较强光有利于其宽度生长, 而 40 ~ 60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  较弱光有利于长度生长。

在实验光强范围内, 灰叶马尾藻幼孢子体都能生长, 但是在 20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强下幼孢子体生长缓慢, 并且成活率明显下降, 其它光照强度组成活率也偏低, 可能与频繁取样观测, 对幼

孢子体产生了一定程度损伤或与杂藻污染有关。在过滤、煮沸消毒海水中培养数天后各组均出现底栖硅藻污染,其中  $40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  组尤其明显,说明弱光培养易滋生底栖硅藻,让幼孢子体游离生长可以减少生物附着,利于其生长。

### 参考文献:

- [1] 赵素芬. 海藻与海藻栽培学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 178-222.
- [2] 曾呈奎, 陆保仁. 中国海藻志第三卷, 第二册[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-12.
- [3] 姜桥, 周德庆, 孟宪军, 等. 我国食用海藻加工利用的现状及其问题[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(5): 68-72.
- [4] KO S C, LEE S H, AHN G, et al. Effect of enzyme-assisted extract of *Sargassum coreanum* on induction of apoptosis in HL-60 tumor cells [J]. Journal of Applied Phycology, 2012, 24(4): 675-684.
- [5] KUMARI R, KAUR I, BHATNAGAR A K. Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill [J]. Journal of Applied Phycology, 2011, 23(3): 623-633.
- [6] YABUR R, BASHAN Y, HERNÁNDEZ-CARMONA G. Alginate from the macroalgae *Sargassum sinicola* as a novel source for microbial immobilization material in wastewater treatment and plant growth promotion [J]. Journal of Applied Phycology, 2007, 19(1): 43-53.
- [7] HOLDT S L, KRAAN S. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation [J]. Journal of Applied Phycology, 2011, 23(3): 543-597.
- [8] 王博, 黄和, 熊皓平, 等. 碓洲马尾藻的营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(10): 195-197.
- [9] PLOUGUERNÉ E, HELLIO C, CESCINETTO C, et al. Antifouling activity as a function of population variation in *Sargassum vulgare* from the littoral of Rio de Janeiro (Brazil) [J]. Journal of Applied Phycology, 2010, 22(6): 717-724.
- [10] 谢恩义, 陈秀丽, 申玉春, 等. 流沙湾 7 种海藻栽培比较及其对栽培海区水质的影响[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(3): 69-75.
- [11] STEEN H. Effects of reduced salinity on reproduction and germling development in *Sargassum muticum* (Phaeophyceae, Fucales) [J]. European Journal of Phycology, 2004, 39(3): 293-299.
- [12] 王增福, 刘建国. 鼠尾藻 (*Sargassum thunbergii*) 有性生殖过程与育苗[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(5): 453-457.
- [13] 张泽宇, 李晓丽, 韩余香, 等. 鼠尾藻的繁殖生物学及人工育苗的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(4): 255-259.
- [14] 曹淑青, 张泽宇, 王国书, 等. 海葵子室内人工育苗技术的研究[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(5): 359-363.
- [15] HWANG E K, PARK C S, BAEK J M. Artificial seed production and cultivation of the edible brown alga, *Sargassum fulvellum* (Turner) C. Agardh: developing a new species for seaweed cultivation in Korea [J]. Journal of Applied Phycology, 2006, 18(3/5): 251-257.
- [16] PANG S J, GAO S Q, SUN J Z. Cultivation of the brown alga *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura: controlled fertilization and early development of seedlings in raceway tanks in ambient light and temperature [J]. Journal of Applied Phycology, 2006, 18(6): 723-731.
- [17] ZHAO Z G, ZHAO J, YAO J T, et al. Early development of germlings of *Sargassum thunbergii* (Fucales, Phaeophyta) under laboratory conditions [J]. Journal of Applied Phycology, 2008, 20(5): 925-931.
- [18] PANG S J, LIU F, SHAN T F, et al. Cultivation of the brown alga *Sargassum horneri*: sexual reproduction and seedling production in tank culture under reduced solar irradiance in ambient temperature [J]. Journal of Applied Phycology, 2009, 21(4): 413-422.
- [19] 王丽梅, 李世国, 柴雨, 等. 鼠尾藻幼苗的室内培养及有性生殖同步化[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 395-403.
- [20] XIE E Y, LIU D C, LIU C, et al. Artificial seed production and cultivation of the edible brown alga *Sargassum naozhouense* Tseng et Lu [J]. Journal of Applied Phycology, 2013, 25(2): 513-522.
- [21] CHU S H, ZHANG Q S, TANG Y Z, et al. High tolerance to fluctuating salinity allows *Sargassum thunbergii* germlings to survive and grow in artificial habitat of full immersion in intertidal zone [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2012, 412: 66-71.
- [22] ZHANG Q S, TANG Y Z, LIU S K, et al. Zygote-derived seedling production of *Sargassum thunbergii*: focus on two frequently experienced constraints in tank culture of seaweed [J]. Journal of Applied Phycology, 2012, 24(4): 707-714.
- [23] 张婧, 严兴洪, 章守宇. 铜藻受精卵的早期发生与幼孢子体发育观察[J]. 水产学报, 2012, 36(11): 1706-1717.
- [24] 梁洲瑞, 孙修涛, 王飞久, 等. 光、温对鼠尾藻孢子排放和幼孢子体生长的影响[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 109-113.
- [25] 张婧. 瓦氏马尾藻与铜藻的室内人工培育[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 4-97.
- [26] 王增福. 鼠尾藻的生理生态和繁殖生物学研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2007: 22-30.
- [27] 许博. 鼠尾藻 (*Sargassum thunbergii*) 繁殖生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 40-73.
- [28] 潘金华, 张金胜, 徐博. 鼠尾藻有性繁殖和幼孢子体发育的形态学观察[J]. 水产科技, 2007, 26(11): 589-593.
- [29] 贾桎, 杨彬, 谢恩义. 莫氏马尾藻繁殖生物学初步研究[J]. 水产科学, 2012, 31(10): 616-619.

## Effects of light intensity on sexual reproduction and early development of *Sargassum cinereum* (Fucales, Phaeophyta) germlings

ZHAO Su-fen<sup>1</sup>, LI Hai-juan<sup>1</sup>, SUN Hui-qiang<sup>2</sup>, LI Jian-peng<sup>1</sup>, LI Guo-rong<sup>1</sup>

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, Guangdong, China; 2. Education Example Center, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China)

**Abstract:** Sexual reproduction characters of *Sargassum cinereum* were observed by tissue culture *in vitro*. Effects of light intensity 20, 40, 60, 80, 120, 160  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  on sexual reproduction and early development of *S. cinereum* germlings were studied. The results showed that four to six eggs were released from each female conceptacle. Freshly released unfertilized eggs had single nucleus, which then changed into two to eight nuclei by nuclear division. The first two cell divisions after fertilization were transverse, and the following two cell divisions were all longitudinal. Through subsequent countless cell divisions, a pyriform germling was formed. Light intensity insignificantly influenced the size of eggs, the size and the cell division velocity of zygotes. However, variations in rhizoid number, rhizoid length and thalli growth were highly significant under different irradiances. The first branches on germlings were observed after being cultured for 8 days. Suitable growth of *S. cinereum* occurred under irradiances from 40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  to 120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Optimal growth of these germlings occurred under irradiances from 40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  to 60  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  in early development stage and from 80  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  to 120  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  after one leaflet was formed, respectively. These results may provide theoretical basis for artificial seedling culture of *S. cinereum*.

**Key words:** *Sargassum cinereum*; light intensity; sexual reproduction; germling; growth