

光强对萱藻孢子萌发、幼苗早期发育及 附生藻类动态变化的影响

罗 伟¹, 官相忠^{1*}, 高 伟¹, 夏云捷¹, 张必达²

(1. 中国海洋大学海洋生命学院, 山东 青岛 266003;

2. 长岛爱华海藻食品有限公司, 山东 烟台 265800)

摘要: 模拟萱藻育苗条件,以萱藻丝状体为材料,沙滤天然海水作为培养液,研究了光照强度 [7.2 ~ 126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]对萱藻孢子萌发、幼苗早期发育及附生藻类动态变化的影响。结果显示:(1)本实验条件下,萱藻孢子萌发的适宜光强范围为 27.0 ~ 72.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。其中,在 45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻孢子萌发率较高,并在放散后的第 16 天萌发率达到 (44.44% \pm 11.00%);(2)在本实验条件下,萱藻幼苗早期生长的适宜光强范围为 36.0 ~ 54.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中 45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 最适宜萱藻幼苗的生长,且附生藻类密度最低,孢子放散后第 34 天附生藻类密度为 (38.4 \pm 0.6) $\times 10^4$ 个/ cm^2 ;(3)本研究共鉴定出附生藻类 2 门 13 属 29 种,主要优势种为碎片菱形藻、小伪菱形藻、艳绿颤藻、膨胀色球藻、耳形藻和新月菱形藻。其中碎片菱形藻在 7.2 ~ 18.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下呈指数增长,而耳形藻与新月菱形藻在 27.0 ~ 126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下呈指数增长。研究表明,萱藻孢子萌发和幼苗早期发育的最佳光强为 45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且在萱藻育苗过程中应重点防治的附生藻类为耳形藻与新月菱形藻。

关键词: 萱藻; 孢子萌发; 幼苗; 附生藻类; 光照强度

中图分类号: Q 178.1; S 968.4

文献标志码: A

目前,中国是世界第一海藻养殖大国,根据 FAO 统计,2012 年全球包括大型海藻在内的水生植物产量为 2 377.6 万吨,其中,中国对全球的贡献率达到 54.0%,年产量约 1 283.2 万 t^[1]。海藻养殖不仅能促进经济的发展,带来可观的经济效益,缓解就业压力,同时还能减轻沿海海域的海水富营养化^[2-4],为沿海生态环境保护做出了巨大贡献。到目前为止,国内的人工养殖海藻主要有海带、紫菜、裙带菜等 10 余种^[5],随着经济的发展和人们生活水平的提高,现有种类的栽培海藻已不能满足人们对物质多样性的需求,而由于人们的过度采收,使一些具有经济价值的野生海藻资源濒临枯竭。因此,开发具有较高经济、营养和生态效益的海藻势在必行。

萱藻 (*Scytosiphon lomentaria*) 隶属于褐藻门 (Phaeophyta), 褐子纲 (Phaeosporae), 萱藻科 (Scytosiphonaceae), 为泛温带性海藻, 分布于我国北起辽东半岛, 南至广东省海陵岛之间的广大沿海海域。研究表明萱藻含有较高的抗肿瘤^[6-8]、抗病毒^[9]及抗氧化^[10]活性成分, 且其褐藻胶、不溶性膳食纤维、蛋白质和脂肪含量也比较高^[11]。同时, 萱藻因其味道鲜美、营养价值高而被中国、韩国和日本的沿海居民采集食用, 其市场价格甚至超过了紫菜, 被视为海藻珍品。因此, 萱藻是一种极具开发潜力和经济价值的海藻。

附生藻类 (epiphytic algae) 是一群生长在生物体 (如海带) 与非生物体 (如礁石) 表面的藻类, 包括硅藻 (Bacillariophyta)、蓝藻 (Cyanobacteria)、绿

收稿日期:2014-09-03 修回日期:2014-10-20

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A413)

通信作者:官相忠, E-mail: gxzhw@163.com

藻(Chlorophyta)及褐藻(Phaeophyta)等。这些附生藻类不仅能降低被附生海藻的可利用光能^[12-13],还会在营养盐和碳的利用上与附生海藻形成竞争^[14-15]。萱藻孢子附着、萌发以及幼苗早期发育是一个连续的、动态变化的过程。在这个过程中,萱藻不仅受到诸如光照、温度和盐度等非生物因素的影响,还受到附生藻类、附生动物和附生菌等生物因素的影响,尤以附生藻类的影响最为显著。在实际生产过程中,有时附生藻类的大量生长还会导致萱藻幼苗死亡,因此研究环境条件对附生藻类生长的影响,有利于在萱藻育苗过程中通过适当改变环境条件来控制附生藻类的快速生长,这是萱藻育苗能否成功的关键。

光强不仅影响海藻幼苗的生长^[16],同时也影响附生藻类的分布^[17-18]和数量^[19]。本实验应用实验生态学手段模拟萱藻育苗条件,研究不同的光照强度下,萱藻孢子萌发、幼苗早期生长及附生藻类的动态变化,以期探索既有利于萱藻孢子萌发、幼苗早期生长,又有利于防控附生藻类生长的适宜的光强条件,为萱藻规模化育苗奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用萱藻丝状体取自本实验室萱藻种质库。为获得足够量的萱藻丝状体,先将萱藻丝状体进行充气扩增培养,当其达到足够量时,改变培养条件,进行单室孢子囊的诱导^[20],诱导 35 d 后,收集具有成熟孢子囊的丝状体用于本实验。

1.2 实验方法

萱藻孢子液的制备 将一定量的含有孢子囊的萱藻丝状体藻液用 200 目尼龙筛绢过滤,阴干 4 h 后,加入 12 ℃ 沙滤天然海水(2013 年 11—12 月取自山东长岛爱华海藻食品有限公司育苗场)进行孢子放散,30 min 后将丝状体取出,得到一定密度的孢子液。

萱藻孢子附着 将孢子液用沙滤天然海水稀释到密度为 1.0×10^3 个/mL,分装到直径为 15 cm 的培养皿中,每皿 200 mL。向培养皿中加入 18 mm × 18 mm 盖玻片,每皿 12 片,避免盖玻片之间重叠。每组实验设 3 个平行样。为了避免萱藻孢子附着具有趋光性,将培养皿置于 12 ℃, 24 h 黑暗条件下进行孢子附着。

光照强度实验 孢子附着 48 h 后,进行第

一次换水处理,加入沙滤天然海水 200 mL。此后每隔 24 h 用 200 mL 沙滤天然海水进行换水处理。将培养皿放入 GXZ-280B 型培养箱中培养,光照强度设置 7.2、18.0、27.0、36.0、45.0、54.0、72.0、126.0 (± 3.6) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 8 个梯度,光周期 L:D = 10:14^[21],水温 12 ℃,pH 8.0,盐度 32。

1.3 附生藻类鉴定

附生藻类鉴定参考《中国海洋底栖硅藻类》(上、下卷)^[22-23]、《中国海洋生物图集》第一册^[24]、《中国近海赤潮生物图谱》^[25]、《中国海域常见浮游硅藻图谱》^[26]进行鉴定,附生藻类中文及拉丁文种名更改参考孙军等^[27]。

1.4 数据统计与处理

不同光照强度条件下,分别从 3 个平行样中随机取出 1 个盖玻片,在 400 × 显微镜下随机选取 15 个视野进行观察计数。孢子放散后第 3 天统计孢子附着数与初始附生藻类细胞数。此后分别在第 6、8、12、16、21、29、31、34 天进行孢子萌发数、孢子萌发后细胞发育状态及幼苗细胞数、幼苗发育状态、附生藻类密度的观察统计。计数后的盖玻片不再放入培养皿继续培养。

萱藻孢子在不同光强条件下的萌发情况以孢子萌发率^[28]为指标,计算公式如下:

$$\text{孢子萌发率}(\%) = \frac{\text{萌发孢子数}}{\text{萌发孢子数} + \text{未萌发孢子数}} \times 100\%$$

萱藻幼苗的生长情况早期采用幼苗细胞数为指标,后期由于幼苗生长,细胞数不可数,因此对幼苗进行生长状态的记录。

附生藻类优势度 Y ^[29] 计算公式:

$$Y = (n_i / N_T) \times f_i$$

式中, n_i 为第 i 种的个体数, N_T 为某一特定光强条件下所有生物个体总数, f_i 为第 i 种个体在某一特定光强条件出现的频率。

2 结果

2.1 光照强度对萱藻孢子萌发的影响

经过连续观察,在所设置的光强 7.2 ~ 126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻孢子在放散后的第 6 天开始萌发。

在 45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的条件下,孢子放散后第 6 天和第 8 天的萌发率均为 (3.17% \pm 5.50%),孢子放散后第 12 天萌发率达 (41.27% \pm

14.55%),孢子放散后第16天萌发率为(44.44% ± 11.00%),显著高于其他光强条件下的孢子萌发率($F = 4.94, P < 0.05$)。因此,45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件最适宜于萱藻孢子的萌发,且在该光强条件下萱藻孢子萌发主要集中在孢子放散后的第8天到第12天(图1)。

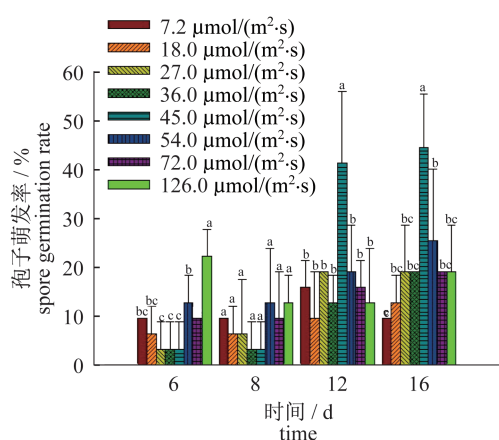


图1 光照强度对萱藻孢子萌发的影响

死亡的细胞不再计入萱藻孢子萌发;同一天中的不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Fig.1 Effects of light intensity on spore germination of *S. lomentaria*

The dead cells were no longer counted in the spore germination of *S. lomentaria*. Different letters in the same day indicate significant difference($P < 0.05$)

在高光强126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第6天萱藻孢子萌发率最高,达(22.22% ± 5.50%),与其他光强条件下的萌发率差异显著($F = 5.619, P < 0.05$)。但孢子放散后第8天,萱藻孢子萌发率下降到(12.70% ± 5.50%),与其他光强条件下的萌发率差异不显著($F = 0.76, P > 0.05$),这是由于该光强条件下,部分孢子萌发后的细胞死亡并脱离附着基而导致萌发率降低。孢子放散后第8天与第12天的萌发率相同,直到第16天孢子萌发率仅为(19.05% ± 9.52%)。结果表明,前期的高光强刺激能够促使一部分孢子快速萌发,但持续的高光强照射,容易对萌发后的萱藻细胞造成损伤,甚至导致细胞死亡并脱离附着基。

在较低光强7.2 ~ 18.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻孢子的萌发率一直较低,孢子放散后第16天,7.2和18.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的孢子萌发率分别为(9.52% ± 0.00%)和(12.70% ± 5.50%),显著低于其他光强条件的孢子萌发率

($F = 4.94, P < 0.05$)。且在7.2 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻孢子萌发后的部分细胞变绿死亡并脱离附着基。因此较低光强[7.2 ~ 18.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]条件不适宜萱藻孢子萌发。

在27.0、36.0、54.0和72.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻孢子的萌发率在孢子放散后的第12天和第16天的差异均不显著,且孢子放散后第16天的孢子萌发率分别为(19.05% ± 9.52%)、(19.05% ± 0.00%)、(25.40% ± 14.54%)和(19.05% ± 0.00%)(图1)。

综上所述,光照强度对萱藻孢子的萌发和萌发后细胞的正常生长有着十分重要的影响。较低光强[7.2 ~ 18.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]和高光强[126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]条件下孢子萌发率低,且部分孢子萌发后细胞死亡并脱离附着基。27.0 ~ 72.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为萱藻孢子萌发的适宜光强范围,且在45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻孢子的萌发率最高。

2.2 光照强度对萱藻幼苗早期发育与附生藻类动态变化的影响

经过连续观察,萱藻孢子放散后第8天,首先在54.0和72.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 两个光强条件下观察到幼苗的形成,其他光强条件下均在孢子放散后第12天观察到幼苗的形成(表1)。结果表明,在54.0 ~ 72.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻孢子萌发后的细胞能迅速进行细胞分裂,并形成幼苗。

在实验所设置的光强条件下,萱藻幼苗的生长速率并未随光强的增高而增加,这可能是由于萱藻幼苗的生长还受到附生藻类的影响所致。在同一光强条件下,附生藻类密度随着时间的延长逐渐升高,但在同一时间内的附生藻类密度并不随光强的增高而呈线性增长,这是由于附生藻类的生长同时也受到了萱藻幼苗的影响(图2)。因此,在各光强条件下,萱藻幼苗和附生藻类在生长过程中是一种相互竞争的关系。

在7.2 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第21天萱藻幼苗平均细胞数达(51.0 ± 0.0)个,孢子放散后第29天所有幼苗的细胞数大于100个(表1),而孢子放散后第34天萱藻幼苗死亡,此时附生藻类密度为(40.5 ± 1.0) × 10⁴个/cm²(图2)。在18.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻幼苗的生长速率较7.2 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下快,孢子放

散后第 21 天所有幼苗的细胞数大于 100 个(表 1),但孢子放散后第 34 天时萱藻幼苗也死亡,此时附生藻类密度为 $(44.0 \pm 0.6) \times 10^4$ 个/cm²,显著高于 $7.2 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的附生藻类密度 ($F = 427.965, P < 0.05$) (图 2)。在 $27.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,从孢子放散后的第 12 天和第 16 天,萱藻幼苗的早期生长均较 $18.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

条件下慢,孢子放散后第 21 天所有幼苗的细胞数大于 100 个,但孢子放散后第 34 天时萱藻幼苗死亡(表 1),此时附生藻类的密度为 $(55.0 \pm 0.7) \times 10^4$ 个/cm²,显著高于 $7.2 \sim 18.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的附生藻类密度 ($F = 427.965, P < 0.05$) (图 2)。

表 1 光照强度对萱藻幼苗细胞数(个)的影响
Tab. 1 Effects of light intensity on early development of the sporelings of *S. lomentaria*

光强/ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ light intensity	时间/d time						
	8	12	16	21	29	31	34
7.2	—	17.8 ± 6.8	27.5 ± 10.6	51.0 ± 0.0	B	N	D
18.0	—	18.3 ± 1.5	39.8 ± 16.6	B	N	N	D
27.0	—	16.0 ± 5.1	24.2 ± 14.2	B	N	N	D
36.0	—	13.5 ± 7.8	32.3 ± 9.0	B	N	N	N
45.0	—	15.3 ± 13.0	37.0 ± 17.9 [(8.3% \pm 0.7%) A]	B	N	N	N
54.0	4.0 ± 0.0	16.0 ± 3.7	43.0 ± 17.8 [(14.3% \pm 0.3%) A]	B	N	N	N
72.0	12.0 ± 7.8	26.0 ± 19.3	40.0 ± 20.6 [(33.3% \pm 0.6%) A]	40.3 ± 3.1 [(50.0% \pm 10.0%) A]	B	N	D
126.0	—	9.5 ± 6.4	44.8 ± 17.0 [(33.3% \pm 0.8%) A]	B	N	D	

注:“—”表示未观察到幼苗;表中的数字为幼苗的平均细胞数(个),并以此来反映幼苗的早期生长状态;“A”表示幼苗细胞数大于 100 个细胞;“B”表示所有幼苗的细胞数大于 100 个细胞;当在显微镜下观察到幼苗细胞数大于 100 个细胞时,细胞数不可数,此后对幼苗生长状况进行记录,“N”表示幼苗正常生长,“D”表示幼苗死亡

Notes: “—” means no sporelings were observed. Numbers in the table indicate the average cell number of sporelings(ind.), and it was used to reflect the early growth state of sporelings. “A” means the cell number of sporelings exceed 100 cells. “B” means the cell number of all sporelings exceed 100 cells. The cell number of sporelings could not be counted when the cell number was more than 100 cells, so the sporelings growth situation was recorded in the rest of the time, “N” means sporelings developed normally and “D” means sporelings were dead

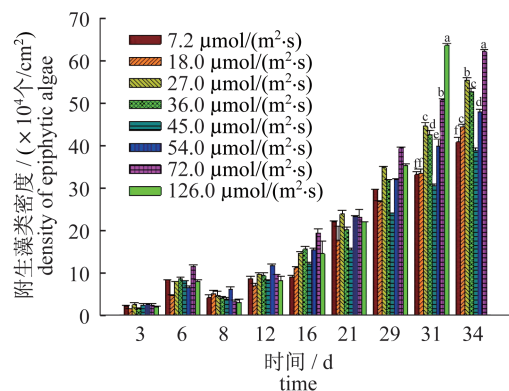


图 2 光照强度对附生藻类密度的影响

同一天中的不同字母表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)

Fig. 2 Effects of light intensity on the density of epiphytic algae

Different letters in the same day indicate significant difference ($P < 0.05$)

在 $36.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第 16 天萱藻幼苗平均细胞数为 (32.3 ± 9.0) 个,孢子放散后第 21 天所有幼苗的细胞数大于 100 个(表 1)。在 $45.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第 16 天有 $(8.3\% \pm 0.7\%)$ 的幼苗细胞数大于 100 个,孢子放散后第 21 天所有幼苗的细胞数大于 100 个。在 $54.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第 16 天时有 $(14.3\% \pm 0.3\%)$ 的幼苗细胞数大于 100 个,孢子放散后第 21 天时所有幼苗的细胞数大于 100 个。由此可见,在 $36.0 \sim 54.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻幼苗生长速率随光强的增强而加快。然而,相比其他光强条件,在 $36.0 \sim 54.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第 34 天,萱藻幼苗还能继续正常生长,且附生藻类密度均显著低于 $27.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的附生藻类密度 ($F = 427.965, P < 0.05$),并且 45.0

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的附生藻类密度在所有光强条件中最低,仅为 $(38.4 \pm 0.6) \times 10^4$ 个/ cm^2 (图2)。

在 $72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,萱藻幼苗早期生长较快,孢子放散后第16天有 $(33.3\% \pm 0.6\%)$ 的幼苗细胞数大于100个,但在此光强条件下,萱藻幼苗在孢子放散后第21天时仅有 $(50.0\% \pm 10.0\%)$ 的幼苗细胞数大于100个,直到孢子放散后第29天所有的幼苗细胞数才超过100个。孢子放散后第34天,萱藻幼苗死亡,此时附生藻类密度高达 $(61.7 \pm 0.4) \times 10^4$ 个/ cm^2 ,显著高于 $7.2 \sim 54.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的附生藻类密度($F = 427.965, P < 0.05$)。该结果表明,在 $72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,虽然萱藻幼苗早期生长较快,但附生藻类也迅速繁殖,当附生藻类达到一定密度时,其对光照和营养盐的竞争能力超过萱藻幼苗,进而阻碍萱藻幼苗的生长,并最终导致萱藻幼苗死亡。

在 $126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第16天有 $(33.3\% \pm 0.8\%)$ 的幼苗细胞数大于100个,孢子放散后第21天所有幼苗的细胞数大于100个。然而,萱藻幼苗在孢子放散后第31天全部死亡,比 $7.2 \sim 27.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下提前3天,且此时附生藻类密度高达 $(63.1 \pm 0.5) \times 10^4$ 个/ cm^2 ,显著高于其他光强条件下附生藻类的密度($F = 439.496, P < 0.05$)。

综上所述,在沙滤天然海水中,光强为 $7.2 \sim 27.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $72.0 \sim 126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 均不适宜萱藻幼苗的生长,萱藻幼苗生长的适宜光强范围为 $36.0 \sim 54.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且萱藻幼苗早期生长的最适宜光强条件为 $45.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.3 光照强度对附生藻类物种组成及优势种的影响

附生藻类的物种组成特征 通过对各光强条件下附生藻类的分析,共鉴定出附生藻类2门13属29种,其中硅藻门11属27种,占总种数的93.1%;蓝藻门2属2种,占总种数的6.9%。硅藻门以菱形藻属(*Nitzschia*)种类最多,共14种,其次是卵形藻属(*Cocconeis*),为3种。本研究中出现附生藻类除了膨胀色球藻(*Chroococcus turgidus*)、艳绿颤藻(*Oscillatoria laetevirens*)为蓝

藻外,其余种类皆为海洋底栖硅藻(表2)。

光照强度对附生藻类优势种生长的影响 各光照强度条件下附生藻类的优势种($Y \geq 0.01$)主要为碎片菱形藻(*N. frustulum*)、小伪菱形藻(*Pseudo-Nitzschia sicula*)、艳绿颤藻、膨胀色球藻、新月菱形藻(*N. closterium*)、耳形藻(*Auricula* sp.)。不同光强条件下,主要的优势种并不相同, $7.2 \sim 18.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下碎片菱形藻和小伪菱形藻为主要优势种, $27.0 \sim 36.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下耳形藻与小伪菱形藻为主要优势种, $45.0 \sim 126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下耳形藻与新月菱形藻为主要优势种。结果显示,附生藻类的优势种随光照强度的变化而改变。

较低光强 $7.2 \sim 18.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,碎片菱形藻的密度呈指数增长,孢子放散后第34天其密度分别为 $(188.8 \pm 13.4) \times 10^3$ 和 $(169.1 \pm 6.6) \times 10^3$ 个/ cm^2 ,分别占附生藻类的 $(46.6\% \pm 2.6\%)$ 和 $(38.4\% \pm 1.9\%)$ (图3)。小伪菱形藻从孢子放散后第21天起,密度增长趋于平缓,且其他优势种的密度也远低于碎片菱形藻,说明碎片菱形藻即使在较低光强 $7.2 \sim 18.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下也能够有效利用环境中的光能,快速繁殖,成为该条件下的优势种。

在 27.0 和 $36.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,耳形藻的繁殖速率远远大于其他优势种,孢子放散后第34天其密度分别为 $(187.1 \pm 17.7) \times 10^3$ 和 $(176.5 \pm 7.3) \times 10^3$ 个/ cm^2 。在 $45.0 \sim 72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,耳形藻与新月菱形藻的繁殖速率较为接近,且随光照强度的增强,两种藻的密度逐渐升高。在高光强 $126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,孢子放散后第31天前的附生藻类的密度低于 $72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的附生藻类的密度,而孢子放散后第31天的附生藻类的密度却远远高于 $72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下的附生藻类的密度,这是由于在该光强条件下耳形藻与新月菱形藻迅速繁殖所致,这两种藻在孢子放散后第31天的密度分别为 $(260.7 \pm 15.0) \times 10^3$ 和 $(192.3 \pm 24.1) \times 10^3$ 个/ cm^2 ,分别占附生藻类密度的 $(41.3\% \pm 2.4\%)$ 和 $(30.5\% \pm 3.8\%)$ 。该结果说明,耳形藻与新月菱形藻不仅能够在此范围内生长良好,而且还能够快速繁殖。

表 2 附生藻类物种组成
Tab. 2 Species compositions of epiphytic algae

种名 species	光照强度/ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ light intensity							
	7.2	18.0	27.0	36.0	45.0	54.0	72.0	126.0
蓝藻门 <i>Cyanophyta</i>								
膨胀色球藻 <i>Chroococcus turgidus</i>	√	√	√	√	√	√	√	√
艳绿颤藻 <i>Oscillatoria laetevirens</i>	√	√	√	√	√	√	√	√
硅藻门 <i>Bacillariophyta</i>								
东方曲壳藻 <i>Achnanthes orientalis</i>					√			
耳形藻 <i>Auricula</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
粉乱卵形藻 <i>Cocconeis molesta</i>			√			√		
盾卵形藻 <i>Cocconeis scutellum</i>	√							
盾卵形藻易变变种 <i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>varaiana</i>	√	√		√			√	
细弱圆筛藻 <i>Coscinodiscus subtilis</i>	√							
奇异楔形藻 <i>Licmophora paradoxa</i>	√							
短楔形藻 <i>Licmophora abbreviata</i>					√			√
盾形卡维藻 <i>Gavinula scutiformis</i>		√						
菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp.	√	√	√	√	√	√	√	√
双头菱形藻 <i>Nitzschia amphibia</i>	√	√			√	√	√	√
新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	√	√	√	√	√	√	√	√
缢缩菱形藻 <i>Nitzschia constricta</i>			√					
碎片菱形藻 <i>Nitzschia frustulum</i>	√	√	√	√	√	√	√	√
流水菱形藻 <i>Nitzschia fluminensis</i>			√	√				
杂菱形藻 <i>Nitzschia hybrida</i>		√	√	√	√	√	√	√
长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>			√		√		√	
长菱形藻弯端变种 <i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>		√		√	√		√	√
披针菱形藻 <i>Nitzschia lanceolata</i>		√		√	√	√	√	√
长菱形藻 <i>Nitzschia lanceola</i>		√	√	√		√	√	√
舟形菱形藻 <i>Nitzschia navicularis</i>			√					
铲状菱形藻 <i>Nitzschia paleacea</i>	√					√	√	√
透明菱形藻 <i>Nitzschia vitrea</i>		√	√	√	√	√	√	√
北方羽纹藻 <i>Pinnularia borealis</i>							√	
鼓形伪短缝藻 <i>Pseudo-Eunotia doliolus</i>	√			√	√	√	√	
小伪菱形藻 <i>Pseudo-Nitzschia sicula</i>	√	√	√	√	√	√	√	√
三角褐指藻 <i>Phaeodactylum tricorutum</i>		√	√	√	√	√	√	

注:√表示出现

Notes:“√” indicates the algae were observed

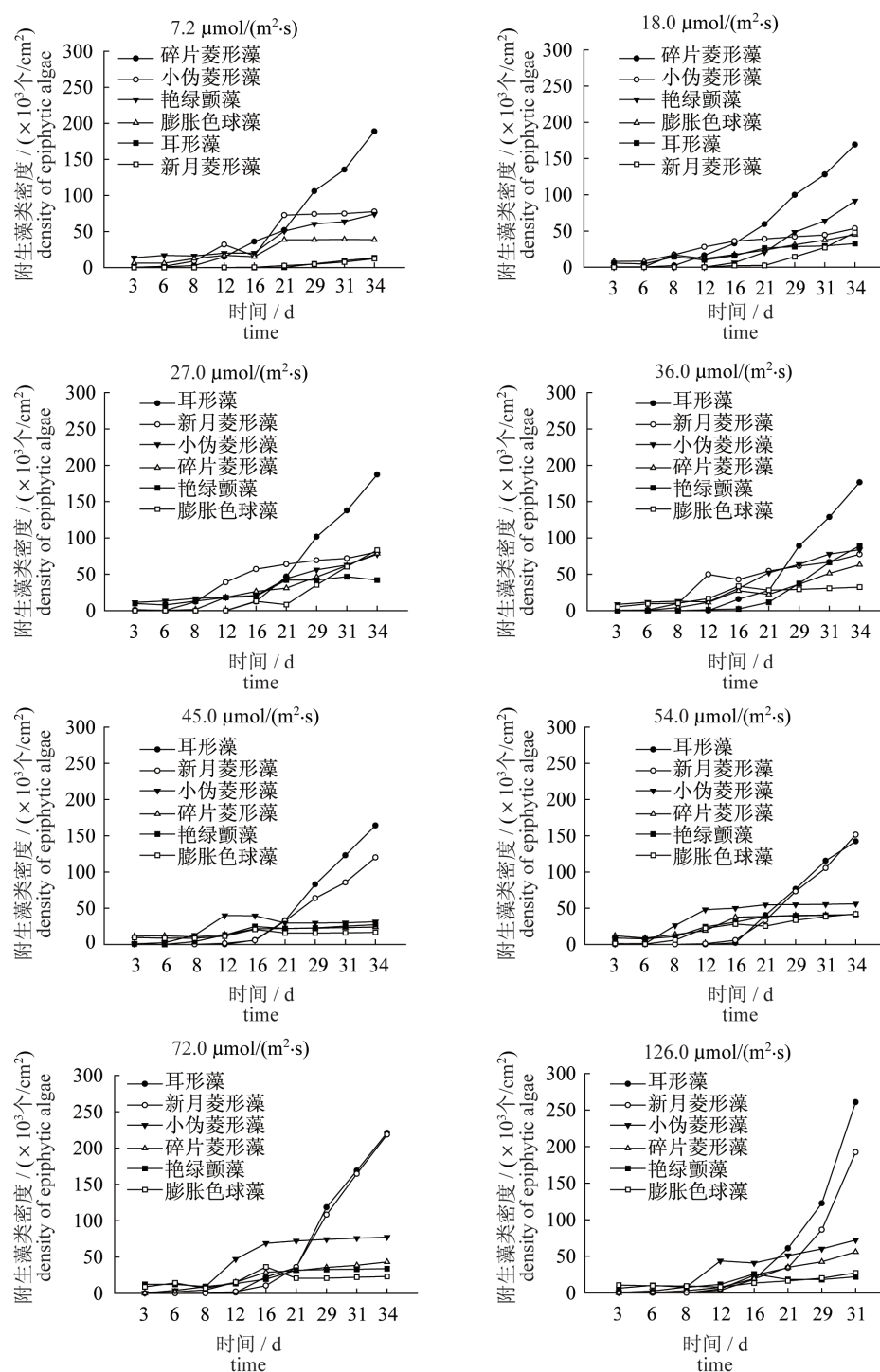


图3 不同光照强度对附生藻类优势种密度的影响

Fig. 3 Effects of different light intensity on the density of dominant species of epiphytic algae

3 讨论

光照是影响海藻生长的重要环境因子之一,适宜的光照可以促进海藻生长,过强或过弱的光照均不利于海藻的生长。有研究报道,海带孢子的萌发受光强的影响不明显,不论是在强光、弱光

还是黑暗条件下,孢子均可萌发,且萌发速度大致相同^[30],Klaus Lüning^[31]对欧洲北海的3种海带孢子萌发的研究也有类似的结果。本实验室曾研究发现光照是萱藻孢子萌发的必要条件^[32],本研究表明,虽然萱藻孢子在所设置的各光强7.2~126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下均能萌发,但

在各光强条件下的孢子萌发率并不相同。萱藻孢子萌发的适宜光强范围为 $27.0 \sim 72.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 在 $45.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下萌发率最高, 而在 $7.2 \sim 18.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 萱藻孢子的萌发率低, 且部分萌发后的细胞死亡并脱离附着基。

海藻对高光强和低光强的忍耐力是有一定限度的, 且不同种类的忍耐力也有所不同。海带幼龄期前期, 孢子体只有几十个细胞时, 在 $72 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下生长良好, 但当幼孢子体达到 $800 \mu\text{m}$ 时, 光照过强反而造成色素变淡和藻体死亡^[30]。而紫菜能够适应较高的光强, 其光饱和点为 $396.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右, 而在低温下其光补偿点又低至 $3.2 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[30]。作者在本实验过程中观察到, 在 $7.2 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 部分萱藻孢子萌发后的细胞变绿死亡并脱离附着基, 而在强光 $126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 部分萱藻孢子萌发后的细胞变白死亡并脱离附着基, 这说明萱藻孢子萌发后的初期生长对所设置的弱光和强光的适应力较差。但由于在所设置的弱光和强光条件下, 仍有孢子萌发后的萱藻细胞存活并形成幼苗, 不能确定 $7.2 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为萱藻幼苗的光补偿点以及 $126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为萱藻幼苗的光饱和点, 因此对于萱藻幼苗的光补偿点和光饱和点的确定还有待进一步研究。

本实验通过对附生藻类的分类和统计得出, 附生藻类密度与光强呈正相关关系, 并且不同光强条件下的优势种不相同。 $7.2 \sim 18.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 碎片菱形藻为主要优势种, 而在 $27.0 \sim 126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 耳形藻与新月菱形藻繁殖速度快, 成为主要优势种, 说明光照强度对附生藻类的繁殖有明显的影晌作用^[33], 但不同种类的附生藻类对光照强度的需求并不相同^[34]。因此, 为了达到通过调整室内环境条件来控制附生藻类生长的目的, 需要对室内育苗时频繁出现且快速繁殖的附生藻类(如耳形藻、新月菱形藻等)的生长条件进行更深入的研究。

不同藻类共培养时, 藻与藻之间表现出对营养盐和空间等的竞争, 而在不同环境(如光照、温度等)条件下, 不同藻类的竞争能力也不同^[35-36]。本实验结果表明, $7.2 \sim 27.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 萱藻幼苗由于光强过低而不能正常生长, 同时又受到环境中附生藻类的影响, 最

终死亡。 $72.0 \sim 126.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 萱藻幼苗能够正常生长, 但附生藻类繁殖速度更快, 竞争环境中光和营养盐的能力更强, 并最终导致萱藻幼苗缺乏光照和营养盐而死亡。在 $36.0 \sim 54.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 萱藻幼苗对环境光照的竞争强于附生藻类, 表现为萱藻幼苗能够快速生长, 附生藻类密度较其他光强条件下低, 且在 $45.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下萱藻幼苗生长状态最佳, 附生藻类密度最低。因此, 在进行萱藻室内人工育苗过程中, 从萱藻孢子萌发到幼苗早期发育期间, 应调整并维持育苗车间光强在 $36.0 \sim 54.0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

温度也是影响海藻生长的重要环境因子之一。不同分布区域的海藻或者同一区域不同水层的海藻所适宜的生长温度不同, 不同种类海藻或同种海藻不同生长阶段适宜的生长温度也有差异。有研究报道海带孢子体的最适宜温度范围为 $5 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[37], 条斑紫菜的幼叶状体生长的适温为 $18 \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$, 而成熟叶状体在 $4 \sim 8 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下生长最快^[30]。同时也有研究报道, 随光强和温度的升高, 附生藻类的生物量也会随之增加^[38-39]。本实验室研究发现, 在灭菌海水条件下, 萱藻孢子萌发的适宜温度为 $6 \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[32], 幼苗早期发育的适宜温度为 $6 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[32]。然而, 在实际生产过程中, 萱藻孢子萌发、幼苗早期发育不可避免地会受到附生藻类的影响, 因此, 在适宜的光强条件下, 何种温度条件能够既促进萱藻孢子萌发、幼苗早期发育, 同时又可以有效控制附生藻类的生长还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2014[R]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014: 25 - 27.
- [2] Nelson S G, Glenn E P, Conn J, et al. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system[J]. Aquaculture, 2001, 193 (3-4): 239 - 248.
- [3] Troell M, Halling C, Nilsson A, et al. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output [J]. Aquaculture, 1997, 156 (1-2): 45 - 61.

- [4] Yang Y F, Fei X G. Prospects for bioremediation of cultivation of large-sized seaweed in eutrophic mariculture areas [J]. Journal of Ocean University of Qingdao: Natural Science, 2003, 33 (1) : 53 - 57. [杨宇峰, 费修纛. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33 (1) : 53 - 57.]
- [5] Xu P, Zhang X C, Wang S J, *et al.* Reproduction and development of major economic marine algae in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 10 - 12. [许璞, 张学成, 王素娟, 等. 中国主要经济海藻的繁殖与发育. 北京: 中国农业出版社, 2013: 10 - 12.]
- [6] Noda H, Amano H, Arashima K, *et al.* Antitumor activity of marine algae [J]. Hydrobiologia, 1990, 204/205 (1) : 577 - 584.
- [7] Kim S C, Park S Y, Hyoun J H, *et al.* The cytotoxicity of *Scytosiphon lomentaria* against HL-60 promyelocytic leukemia cells [J]. Cancer Biotherapy & Radiopharmaceuticals, 2004, 19 (5) : 641 - 648.
- [8] Xu N J, Fan X, Han L J, *et al.* Screening marine algae from Shandong coast for antitumor activity [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32 (4) : 408 - 413. [徐年军, 范晓, 韩丽君, 等. 山东沿海海藻抗肿瘤活性的筛选. 海洋与湖沼, 2001, 32 (4) : 408 - 413.]
- [9] Hudson J B, Kim J H, Lee M K, *et al.* Antiviral compounds in extracts of Korean seaweeds: evidence for multiple activities [J]. Journal of Applied Phycology, 1998, 10 (5) : 427 - 434.
- [10] Kuda T, Tsunekawa M, Goto H, *et al.* Antioxidant properties of four edible algae harvested in the Noto Peninsula, Japan [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18 (7) : 625 - 633.
- [11] Zhang Y, Fu X T, Lin H, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional quality of *Scytosiphon lomentarius* [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2011, 33 (6) : 619 - 623. [张宇, 付晓婷, 林洪, 等. 萱藻营养品质的分析和评价. 营养学报, 2011, 33 (6) : 619 - 623.]
- [12] Irlandi E A, Orlando B A, Biber P D. Drift algae-epiphyte-sea grass interactions in a subtropical *Thalassia testudinum* meadow [J]. Marine Ecology Progress Series, 2004, 279 (9) : 81 - 91.
- [13] Drake L A, Dobbs F C. Effects of epiphyte load on optical properties and photosynthetic potential of the seagrasses *Thalassia testudinum* Banks ex König and *Zostera marina* L. [J]. Limnology and Oceanography, 2003, 48 (1 - 2) : 456 - 463.
- [14] Hauxwell J, Cebrián J, Valiela I. Eelgrass *Zostera marina* loss in temperate estuaries relationship to land-derived nitrogen loads and effect of light limitation imposed by algae [J]. Marine Ecology Progress Series, 2003, 247 (2) : 59 - 73.
- [15] Zhang J P, Huang X P. Effect factors on the abundance of epiphytic algae on seagrasses [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (10) : 5611 - 5617. [张景平, 黄小平. 海草附生藻类生物量的主要影响因素. 生态学报, 2009, 29 (10) : 5611 - 5617.]
- [16] Lee K S, Park S R, Kim Y K. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2007, 350 (1 - 2) : 144 - 175.
- [17] Johnson M P, Edwards M, Bunker F, *et al.* Algal epiphytes of *Zostera marina*: variation in assemblage structure from individual leaves to regional scale [J]. Aquatic Botany, 2005, 82 (1) : 12 - 26.
- [18] Trautman D A, Borowitzka M A. Distribution of the epiphytic organisms on *Posidonia australis* and *P. sinuosa*, two seagrasses with differing leaf morphology [J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 179 (4) : 215 - 229.
- [19] Carruthers T J B, Walker D I. Light climate and energy flow in the seagrass canopy of *Amphibolis griffithii* (J. M. Black) den Hartog [J]. Oecologia, 1997, 109 (3) : 335 - 341.
- [20] Xing Y Z, Gong X Z, Gao W, *et al.* Effect of ecological factors on growth and development of sporophytes of *Scytosiphon lomentaria* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42 (1) : 101 - 106. [邢永泽, 宫相忠, 高伟, 等. 生态因子对萱藻 (*Scytosiphon lomentaria*) 孢子体生长发育的影响. 海洋与湖沼, 2011, 42 (1) : 101 - 106.]
- [21] Xing Y Z. Effects of ecological factors on sporophytes and gametophytes of *Scytosiphon lomentaria* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010: 33 - 38. [邢永泽. 生态因子对萱藻 (*Scytosiphon lomentaria*) 孢子体、配子体生长发育影响的研究. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 33 - 38.]
- [22] Jin D X, Cheng Z D, Lin J M, *et al.* Benthic marine diatom species of China (volume 1) [M]. Beijing: China Ocean Press, 1982. [金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类 (上卷). 北京: 海洋出版社, 1982.]
- [23] Jin D X, Cheng Z D, Lin J M, *et al.* Benthic marine

- diatom species of China (volume 2) [M]. Beijing: China Ocean Press, 1982. [金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类(下卷). 北京:海洋出版社, 1982.]
- [24] Huang Z G, Lin M. An illustrated guide to species in China's seas (volume 1) [M]. Beijing: China Ocean Press, 2012. [黄宗国, 林茂. 中国海洋生物图集(第一册). 北京:海洋出版社, 2012.]
- [25] Guo H. Illustrations of planktons responsible for the blooms in Chinese coastal waters [M]. Beijing: China Ocean Press, 2004. [郭皓. 中国近海赤潮生物图谱. 北京:海洋出版社, 2004.]
- [26] Yang S M, Dong S G. Illustrations of common planktonic diatom in China's seas [M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2006. [杨世民, 董树刚. 中国海域常见浮游硅藻图谱. 青岛:中国海洋大学出版社, 2006.]
- [27] Sun J, Liu D Y. The preliminary notion on nomenclature of common phytoplankton in China seas waters [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(3): 271 - 286. [孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见. 海洋与湖沼, 2002, 33(3): 271 - 286.]
- [28] Sun X, Zhu X L, Zhang Y, et al. Effects of light intensity on spore germination and sex differentiation of *Ceratopteris thalictroides* (L.) Brongn [J]. Bulletin of Botanical Research, 2010, 30(2): 170 - 173. [孙鑫, 朱旋律, 张莹, 等. 光照强度对水蕨孢子萌发及配子体性别分化的影响. 植物研究, 2010, 30(2): 170 - 173.]
- [29] Zhong X, Gong X Z, Ma W, et al. The characteristics of phytoplankton community structure in the Northern Jiaozhou Bay [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013, 139(4): 111 - 119. [钟熙, 宫相忠, 马威, 等. 胶州湾北部网采浮游植物群落结构特征. 海洋湖沼通报, 2013, 139(4): 111 - 119.]
- [30] Zeng C K, Wang S J, Liu S J, et al. Marine algae cultivation [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1984: 14 - 157. [曾呈奎, 王素娟, 刘思俭, 等. 海藻栽培学. 上海:上海科学技术出版社, 1984: 14 - 157.]
- [31] Lüning K. Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of the three *Laminaria* species (Phaeophyceae) [J]. Journal of Phycology, 1980, 16(1): 1 - 15.
- [32] Zhang W J. Effect of environmental factors on spore attachment, germination and the growth of young gametophyte of *Scytosiphon lomentaria* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 36 - 48. [张文健. 环境因子对萱藻 (*Scytosiphon lomentaria*) 孢子附着、萌发及配子体早期发育的影响. 青岛:中国海洋大学, 2014: 36 - 48.]
- [33] Fang T, Li D J, Yu L H, et al. Effect of irradiance and phosphate on growth of nanophytoplankton and picophytoplankton [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2783 - 2790. [方涛, 李道季, 余立华, 等. 光照和营养盐磷对微型及微型浮游植物生长的影响. 生态学报, 2006, 26(9): 2783 - 2790.]
- [34] Qian Z M, Xing R L, Tang N, et al. Effects of light and salinity on growth and physiological biochemical compositions of eight benthic diatoms [J]. Journal of Yantai University: Natural Science and Engineering, 2008, 21(1): 46 - 52. [钱振明, 邢荣莲, 汤宁, 等. 光照和盐度对 8 种底栖硅藻生长及其生理生化成分的影响. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 2008, 21(1): 46 - 52.]
- [35] Shi J, Pan K H. Effects of different light intensities on growth and biochemical composition of *Nitzschia closterium* f. *minutuissima* and *Isochrysis galbana* Parke 8701 [J]. Fisheries Sciences, 2004, 11(2): 121 - 128. [石娟, 潘克厚. 不同光照条件对小新月菱形藻和等鞭金藻 8701 生长及生化成分的影响. 水产科学, 2004, 11(2): 121 - 128.]
- [36] Zhang S D, Song X X, Wang Y, et al. Competition on nutrients between *Gacilaria lemaneiformis* and *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(6): 556 - 561. [张善东, 宋秀贤, 王悠, 等. 大型海藻龙须菜与锥状斯氏藻间的营养竞争研究. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 556 - 561.]
- [37] Zeng C K, Wu Y C, Sun G Y. The effect of temperature on the growth and development of *Haitai* (*Laminaria japonica* Arsech.) [J]. Acta Botanica Sinica, 1957, 6(2): 103 - 130. [曾呈奎, 吴超元, 孙国玉. 温度对海带孢子体的生长和发育的影响. 植物学报, 1957, 6(2): 103 - 130.]
- [38] Lepoint G, Havelange S, Gobert S, et al. Fauna vs flora contribution to the leaf epiphytes biomass in a *Posidonia oceanica* seagrass bed (Revellata Bay, Corsica) [J]. Hydrobiologia, 1999, 394: 63 - 67.
- [39] Alcoverro T, Duarte C M, Romero J. The influence of herbivores on *Posidonia oceanica* epiphytes [J]. Aquatic Botany, 1997, 56(2): 93 - 104.

Effects of light intensity on spore germination, early development of the sporelings of *Scytosiphon lomentaria* and the dynamic change of epiphytic algae

LUO Wei¹, GONG Xiangzhong^{1*}, GAO Wei¹, XIA Yunjie¹, ZHANG Bida²

(1. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Changdao Aihua Seaweed Foodstuff Co., Ltd., Yantai 265800, China)

Abstract: In this research, by using experimental ecology to imitate the culture conditions of sporelings of *Scytosiphon lomentaria*, the filaments of *S. lomentaria* and the natural sand filtered seawater were used as the experimental material and the culture solution, respectively. Different light intensity which includes 7.2, 18.0, 27.0, 36.0, 45.0, 54.0, 72.0, 127.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ were set to study the effect of light intensity 7.2 – 126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ on spore germination, early development of sporelings of *S. lomentaria* and the dynamic change of epiphytic algae. The results indicated that: (1) 27.0 – 72.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ was the appropriate light intensity range for the spore germination of *S. lomentaria*, and the spore germination rate reached the maximum under the condition of 45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, the germination rate was 44.44% after 16 days of the spores releasing. (2) In the natural sand filtered seawater, 36.0 – 54.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ was the appropriate light intensity range for the early development of sporelings, and the optimal light intensity was 45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, under whose condition the epiphytic algae density was the lowest and the epiphytic algae density was $38.4 \times 10^4 \text{ ind}/\text{cm}^2$ after 34 days of the spores releasing. (3) In this study, a total of 29 taxa which belong to 13 genera of 2 phyla were identified, and the main dominant species were *Nitzschia frustulum*, *Pseudo-Nitzschia sicula*, *Oscillatoria laetevirens*, *Chroococcus turgidus*, *Auricula* sp. and *Nitzschia closterium*. *Nitzschia frustulum* showed exponential growth trend under the condition of 7.2 – 18 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, while *Auricula* sp. and *N. closterium* presented exponential growth trend under the condition of 27.0 – 126.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. In conclusion, 45.0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ was the optimal light intensity for spore germination and early development of sporelings of *S. lomentaria*. The epiphytic algae, which should be controlled in the process of sporelings production, were *Auricula* sp. and *N. closterium*.

Key words: *Scytosiphon lomentaria*; spore germination; sporelings; epiphytic algae; light intensity

Corresponding author: GONG Xiangzhong. E-mail: gxzhw@163.com