

10.3969/j.issn.2095-0780.2014.03.014

·研究简报·

## 环境因子对海萝藻体生长及成活的影响

陈素文, 陈利雄, 朱长波, 栗丽

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300)

**摘要:** 研究了温度、光照强度、盐度和营养盐对海萝(*Gloiopeletis furcata*)藻体生长的影响以及pH、干露、淡水浸泡对藻体成活的影响。海萝藻体分别培养在不同温度(10、14、18、22和26)、不同光照强度(2 500 lx、4 500 lx、6 500 lx、8 500 lx和10 500 lx)、不同盐度(15.5、18.0、20.5、23.0、25.5、28.0、30.5、33.0、35.5和38.0)和添加不同质量浓度的营养盐[硝酸钠( $\text{NaNO}_3$ ) $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和相对应的磷酸氢二钾( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) $1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ]21 d。结果表明, 海萝藻体生长的最合适温度为10~14, 光照强度为6 500~10 500 lx, 盐度为18~38; 不同营养盐质量浓度对藻体生长的影响不明显。海萝藻体在不同pH(5.5~10.0)条件下培养10 d, 结果显示藻体正常成活的pH范围为6.5~9.0。海萝藻体分别经不同时间的阴干、泡淡水、晒干, 结果显示阴干24~48 h或泡淡水24~48 h以下藻体仍然能够正常成活; 阴干3 h后泡淡水3 h, 藻体也能正常成活; 在阳光下晒干超过2 h, 藻体不能正常成活。

**关键词:** 海萝; 生长; 成活; 生态因子

中图分类号: S 968.43<sup>+3</sup>

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2014)03-0092-05

## Effects of environmental factors on growth and survival of *Gloiopeletis furcata* thalli

CHEN Suwen, CHEN Lixiong, ZHU Changbo, SU Li

(Key Lab. of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** The experiment investigated the effects of temperature, light intensity, salinity and nutritional salt on growth of *Gloiopeletis furcata* thalli as well as influences of pH, exposure to air and freshwater immersion on the survival of *G. furcata* thalli. *G. furcata* thalli were incubated at different temperatures (10, 14, 18, 22, 26) with different light intensities (photons) (2 500 lx, 4 500 lx, 6 500 lx, 8 500 lx and 10 500 lx) in different salinities (15.5, 18.0, 20.5, 23.0, 25.5, 28.0, 30.5, 33.0, 35.5, 38.0) and by different concentrations of nutritional salt (adding  $\text{NaNO}_3$  of  $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and corresponding  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  of  $1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) for 21 d. The results show that the optimum environment factors for growth of *G. furcata* thalli were temperature 10~14, light intensity 6 500~10 500 lx and salinity 18~38; nutritional salt of different concentrations had no significant effect on its growth. *G. furcata* thalli which were incubated in sea water with different pH (5.5~10.0) for 10 d could survive under pH 6.5~9.0. *G. furcata* thalli, which were dried in shade, immersed in freshwater and dried in the sun for different time, could normally survive after being dried in shade for 24~48 h or immersed in freshwater for 24~48 h, and those were immersed in freshwater for 3 h after being dried in shade for 3 h could also survive. *G. furcata* thalli could not survive normally after being dried in the sun for more than 2 h.

**Key words:** *Gloiopeletis furcata*; growth; survival; ecological factors

收稿日期: 2013-09-23; 修回日期: 2014-01-16

资助项目: 广东省海洋渔业科技推广专项(A201001H04); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2012TS17, 2013YD05); 国家科技支撑计划项目(2011BAD13B02)

作者简介: 陈素文(1968-), 女, 研究员, 从事海藻育苗及养殖研究。E-mail: chensuwen407@163.com

海萝 (*Gloiopektis furcata*) 分布于俄罗斯、日本、朝鲜、越南、美国以及中国南北沿海<sup>[1]</sup>, 是经济价值很高的红藻(目前其干品售价在 1 000 元·kg<sup>-1</sup>以上), 可食用、药用(具有治肠炎、痔疾、干咳痰结和抗癌作用)和作为工业原料, 市场需求量很大<sup>[1~7]</sup>, 然而, 其资源量已很少, 无法满足国内外市场需求, 因此亟需开展其增养殖的研究。

在进行海萝增养殖研究之前有必要先摸清海萝生长的合适生态条件。高山活夫<sup>[8]</sup>和新崎盛敏<sup>[9]</sup>调查了日本伊势三河湾海萝的生态; 吴进锋等<sup>[10]</sup>调查了广东沿海海萝属藻类的种类、分布、生长与繁殖特征; 陈素文等<sup>[11~13]</sup>报道了不同生态条件对海萝和鹿角海萝 (*G. tanax*) 孢子体培养成熟及孢子放散的影响, 温度和光照强度对海萝孢子附着、萌发和成活的影响, 以及三十烷醇对海萝孢子萌发、幼苗及藻体生长的影响; 陈利雄等<sup>[14]</sup>研究了盐度对海萝孢子附着、萌发和成活的影响。关于海萝藻体培养条件的研究在国内外尚未见报道。文章研究了温度、光照强度、盐度和营养盐添加量对海萝藻体生长的影响以及 pH、干露、淡水浸泡等对藻体成活的影响, 为进一步开展海萝增养殖研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验所用海萝采自深圳杨梅坑, 藻体平均高度 1.55 cm。试验所用天然海水经黑暗沉淀 10 d 以上, 盐度为 30.5。

### 1.2 方法

试验在广州中国水产科学研究院南海水产研究所的实验室进行, 采用杭州钱江仪器设备有限公司生产的气候培养箱(ZRX-400D)来控制温度和光照强度; 试验中 pH 测量采用便携式水质分析仪 YSI-556 型。

**1.2.1 生态试验** 海萝藻体清洗干净后用纸巾吸掉水分, 每 500 mL 锥形瓶中放入 0.5 g 藻体, 然后进行以下的试验(每个试验组各设 3 个平行组)。

1) 温度对海萝生长的影响试验。进行 5 个温度梯度(10 、 14 、 18 、 22 和 26 )的试验, 每个锥形瓶中分别加入不同温度海水 400 mL, 并各放置在相应温度的培养箱里面, 控制每一温度组的光照强度都为 7 000 lx, 光照周期为光(L) 暗(D)=12 h 12 h。

2) 光照强度对海萝生长的影响试验。每个锥形瓶中分别加入温度 16 海水 400 mL, 各放置在 5 个光照强度(2 500 lx、4 500 lx、6 500 lx、8 500 lx 和 10 500 lx 条件下, 控制培养期间各光照强度组的光照周期为 L D=12 h 12 h, 水温为 16 )。

3) 盐度对海萝生长的影响试验。采用天然海水与卤水配成高盐度海水, 天然过滤海水与经曝气 24 h 自来水配成低盐度海水来进行 10 个盐度梯度(15.5、18.0、20.5、23.0、

25.5、28.0、30.5、33.0、35.5 和 38.0) 试验。每个锥形瓶中分别加入不同盐度海水 400 mL, 控制培养期间各盐度组的水温为 16 , 光照为 4 500 lx, 光照周期为 L D=12 h 12 h。每次换水, 各组换相应盐度的海水。

4) 营养盐对海萝生长的影响试验。进行 4 个营养盐质量浓度梯度的试验, 每个锥形瓶中分别加入温度 16 海水 400 mL, 并加入 4 个质量浓度的硝酸钠(NaNO<sub>3</sub>) (10 mg·L<sup>-1</sup>、20 mg·L<sup>-1</sup>、40 mg·L<sup>-1</sup>、80 mg·L<sup>-1</sup>) 和磷酸氢二钾(K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) (1 mg·L<sup>-1</sup>、2 mg·L<sup>-1</sup>、4 mg·L<sup>-1</sup>、8 mg·L<sup>-1</sup>), 各组所加入 NaNO<sub>3</sub> 和 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 的比例都为 10 1, 也即加入 NaNO<sub>3</sub> 10 mg·L<sup>-1</sup> 的组, 加入 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 的量则为 1 mg·L<sup>-1</sup>(简单表示为 10, 1), 其他组以此类推。每次换水时各组添加相应浓度的营养盐。空白对照组(简单表示为 0, 0) 不添加任何营养盐。控制培养期间各组的水温为 16 , 光照强度为 4 500 lx, 光照周期为 L D=12 h 12 h。

上述各试验组每隔 5 d 换 1 次水, 试验共进行 21 d, 试验结束时, 各组海萝藻体用纸巾吸掉水分后测量质量。日特定生长率的计算公式为:

$$\text{SGR} = [ (W_t / W_0)^{1/t} - 1] \times 100\%$$

W<sub>0</sub> 为试验开始时海萝的质量, W<sub>t</sub> 为试验结束时海萝的质量, t 为试验持续的天数。

不同组别之间数据的差异性用统计软件 SPSS 12.0 中的方差分析进行 LSD 多重比较, 试验结果的所有数据均为平均值 ± 标准差( $\bar{X} \pm \text{SD}$ ), 显著性水平设置为 P<0.05。

**1.2.2 耐受性试验** 1) pH 对海萝藻体成活的影响试验。进行 6 个梯度 pH 的试验, 每 500 mL 锥形瓶中放入 0.5 g 藻体并分别加入 16 海水 400 mL, 用盐酸(HCl)和氢氧化钠(NaOH)调各瓶的 pH 分别为 5.5、6.5、7.5、8.5、9.0 和 10.0。每个试验组各设 2 个平行组。每天测各瓶的 pH, 有变化的调为原来设定的值。控制培养期间各组的水温为 16 , 光照强度为 4 500 lx, 光照周期为 L D=12 h 12 h。试验进行 10 d, 每天观察藻体的状况。2) 干露和淡水浸泡对海萝成活的影响。取海萝藻体各 0.5 g 分别进行不同时间的阴干(24 h 和 48 h)、泡不同时间的淡水(24 h 和 48 h)、干晒不同时间(3 h、6 h 和 8 h)、阴干 3 h 后泡淡水 3 h、干晒 2 h 后泡淡水 2 h、淡水泡 2 h 后干晒 2 h, 各组处理后分别放入 400 mL 16 海水中进行培养, 每个试验组各设 3 个平行组。阴干时的气温为 22 ~25 , 干晒时的气温为 25 ~28 , 淡水浸泡的水温为 22 。控制培养期间各组的水温为 20 , 光照强度为 4 500 lx, 光照周期为 L D=12 h 12 h。试验进行 7 d, 每天观察藻体的状况。

## 2 结果

### 2.1 生态试验结果

不同温度组的海萝日特定生长率具有明显的差异性,

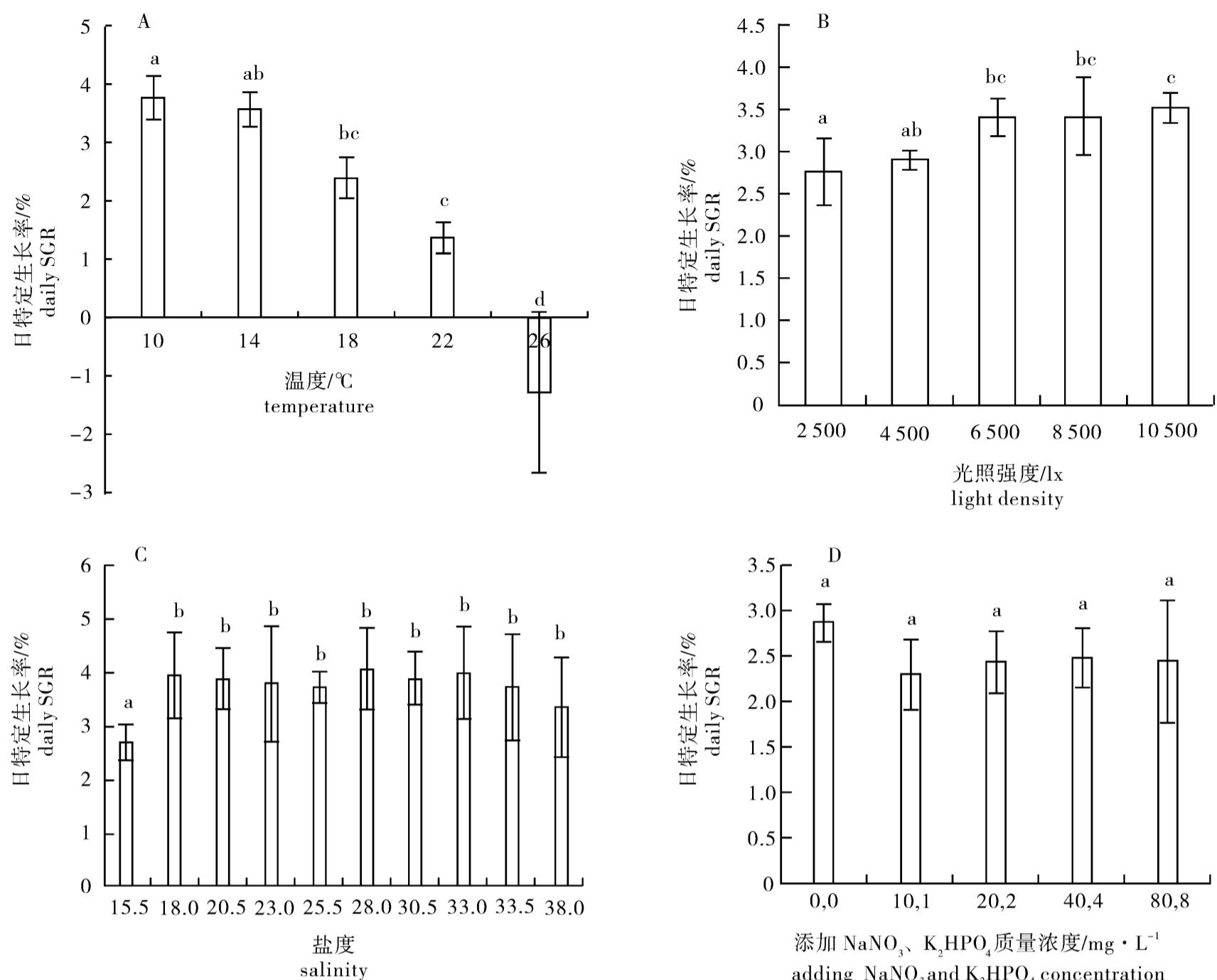


图1 不同条件下海萝藻体日特定生长率

不同字母者表示差异显著( $P < 0.05$ )

Fig 1 Daily specific growth rate of *G. furcata* thalli under different conditions

Values with different letters are significantly different from one another ( $P < 0.05$ )

温度越高, 日特定生长率越低。温度为 26 组有部分海萝藻体腐烂掉, 日特定生长率为负数, 温度为 10 ~ 14 海萝日特定生长率最高(3.58% ~ 3.78%) (图 1 - A)。在试验所设光照强度范围内, 光照强度越高, 海萝日特定生长率越高。光照强度为 2 500 lx 的海萝日特定生长率明显比光照强度为 6 500 ~ 10 500 lx 的低; 光照强度为 4 500 lx 的海萝日特定生长率与光照强度为 2 500 lx 和 6 500 ~ 8 500 lx 无显著性差异, 但比光照强度为 10 500 lx 的明显低(图 1 - B)。海水盐度在 18 ~ 38 的各组海萝日特定生长率没有显著性差异, 海水盐度为 15.5 组的海萝日特定生长率明显比其他组的低(图 1 - C)。添加不同质量浓度的  $\text{NaNO}_3$  和  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  与不添加营养盐的对照组之间海萝的日特定生长率没有显著性差异(图 1 - D)。

## 2.2 耐受性试验结果

试验中观察到海萝藻体培养 24 h, 各培养液中的 pH 都会提高, 为使各组 pH 保持所设定的值, 每天都要用 HCl 调

节各组的 pH。试验结果表明, 海萝藻体能够正常成活的 pH 范围为 6.5 ~ 9.0 (表 1)。

试验结果表明, 单纯的阴干或泡淡水达到 48 h, 海萝藻体仍然能够正常成活; 阴干 3 h 后再泡淡水 3 h, 海萝藻体也基本正常成活(除了藻体顶端略变白之外, 其他部位正常); 而干晒时间 3 h, 一半以上的藻体变白死亡; 干晒 2 h 后再泡淡水 2 h 或淡水泡 2 h 后干晒 2 h, 约 70% 以上的藻体变白死亡(表 2)。

## 3 讨论

高山活夫<sup>[8]</sup>对日本伊势湾内海萝属藻类产量与温度关系的调查表明, 水温低于 6 不利于海萝的生长; 吴进锋等<sup>[10]</sup>的调查表明, 海萝属藻类生长季节的表层水温一般为 23 以下, 生长期中期水温低于 18 时生长快。笔者在温度梯度设计上没有根据海萝在自然海区生长特性进行温度设置, 是为了探索在多高和多低的温度范围内海萝仍然能够

表1 海萝在不同pH海水中的成活情况

Tab. 1 Survival of *G. furcata* incubated in water with different pH

pH	试验结果 experimental result
5.5	第5天藻体顶端开始变粉红色, 第9天50%藻体变粉红色并软化
6.5 ~9.0	第10天藻体颜色正常, 没腐烂
10.0	第2天藻体顶端开始变淡绿色, 第3天50%藻体变绿, 以后逐步扩大, 变白、软化腐烂

表2 海萝经干露和淡水浸泡后的成活情况

Tab. 2 Survival situation of *G. furcata* after being exposed to air and immersed in freshwater

处理方式 dealing method	处理时间/h dealing time	结果 result
阴干 dry in shade	24	藻体颜色正常
阴干 dry in shade	48	藻体颜色正常
泡淡水 freshwater immersion	24	藻体颜色正常
泡淡水 freshwater immersion	48	藻体颜色正常
干晒 dry in the sun	3	约50%藻体颜色变白
干晒 dry in the sun	6	约70%藻体颜色变白
干晒 dry in the sun	8	约95%藻体颜色变白
阴干 + 淡水 dry in shade + fresh water	3+3	藻体颜色正常
干晒 + 淡水 dry in the sun + fresh water	2+2	约70%藻体变白死亡
淡水 + 干晒 fresh water + dry in the sun	2+2	约70%藻体变白死亡

注: 阴干 + 淡水表示先阴干, 后泡淡水, 以此类推。

Note: "dry in shade + fresh water" means that *G. furcata* was immersed in freshwater after being dried in shade; the rest can be dealt in the same manner.

生长。海萝的增养殖不单单是在海区进行, 还有在陆地进行工厂化养殖(笔者已在此试验基础上开展海萝藻体的工厂化养殖)。抽到陆地上的海水温度与海区的水温有差别, 前者深受气温的影响, 温度范围较海区的大很多。此试验结果表明, 海萝藻体生长的最适温度为10~14℃, 这与在试验条件下海萝孢子萌发成为盘状体最适温度范围(8~12

)<sup>[12]</sup>较接近, 与盘状体萌发出直立体的最适温度范围(20℃)相比略高<sup>[12]</sup>。海萝藻体生长最适宜温度与盘状体萌发的最适宜温度相差大的原因与其在自然界的生态习性相一致。广东海区海萝藻体生长季节是海区水温较低的时期(冬季), 海区水温较高时(春季)藻体会腐烂死亡, 而海萝盘状能在夏天高温下成活, 到了秋天海区水温降到23℃后就开始萌发出直立体<sup>[10]</sup>。

细基江蓠(*Gracilaria tenuistipitata*)生长最适水温为20~30℃, 蜈蚣藻(*Grateloupia filicina*)生长最适水温为20~25℃, 与这2种藻类相比, 海萝藻体生长最适水温要低得多。南方气温高, 一年中气温低于14℃的时间很短, 适合海萝生长的时期显然要比细基江蓠和蜈蚣藻的短, 所以进行海萝藻体工厂化养殖应择时抓紧进行。

试验结果表明, 海萝藻体生长的最适光照强度为

6 500~10 500 lx, 这与海萝盘状体生长和萌发出直立体的最适光照强度范围一样。龙须菜(*Gracilaria lemaeoneiformis*)的生态试验结果表明, 龙须菜生长最适光照强度范围为2 000~3 000 lx。显然, 海萝比龙须菜适合更强的光照强度, 这可能与海萝在海区垂直分布于较高潮位的习性有关。

盐度对多种大型海藻的生长普遍存在影响, 不同种类适宜的盐度范围不同。如脆江蓠(*G. chouae*)生长的适宜盐度为20~35<sup>[17]</sup>; 细基江蓠繁枝变型(*G. tenuistipitata* var. *liui*)生长的最适盐度范围为14~27<sup>[18]</sup>; 台湾锯齿藻(*Prionitis fomosana*)适宜生长盐度为22<sup>[19]</sup>。笔者试验结果表明, 海萝藻体生长的合适盐度范围为18~38。与前面几种海藻相比, 海萝藻体适盐范围更广。海萝一般都是分布于盐度较高的海区, 所以对其进行增养殖时只考虑海区的增养殖。此试验得出海萝藻体适盐范围在18以上, 表明海萝的增养殖还可以考虑在盐度不低于18的池塘进行。

不同种类海藻对环境中营养盐的需求不同, 如氮(N)、磷(P)同时加富可以促进龙须菜和石莼的生长, 而N加富对羊栖菜的生长则起到负作用<sup>[20~21]</sup>; 添加20 μmol·L<sup>-1</sup>硝

酸氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ )，细基江蓠繁枝变型可获得最快生长速率，过低的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度(0、 $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )或过高的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度( $60 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $80 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )，江蓠均表现为生长速率明显减慢<sup>[22]</sup>；N、P含量变动也会显著影响真江蓠、脆江蓠和蜈蚣藻的生长<sup>[23]</sup>，而此试验则表明，添加不同质量浓度的 $\text{Na}_2\text{NO}_3$ 和 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ 与不添加营养盐的对照组之间，海萝日特定生长率没有显著性差异。摸清了海萝藻体生长对营养盐的需求不明显，在进行海萝养殖时就没必要施肥，可避免杂藻的繁殖。

海萝无水运输和增养殖操作过程中有可能碰到下雨和太阳的暴晒，所以摸清阴干、日晒和淡水浸泡对海萝的单独或交互作用可掌握好海萝的干运时间、是否要避开淋雨或阳光暴晒等。另外，在培养海萝的过程中藻体易被石莼、浒苔、水云和硅藻等杂藻所覆盖，进行海萝藻体耐受性试验的目的是为了寻求去除杂藻的合适方式。条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)采用pH为2.00~2.50的酸类处理10~15 min，或者pH为10.00~10.40的碳酸钠处理10~15 min，以及连续每天干燥4 h，或在20℃低温条件下保存6 d以上等方法来去除杂藻<sup>[24]</sup>。笔者试验表明海萝藻体正常成活的pH范围为6.5~9.0，如果是短暂的pH改变，这个成活范围会更宽的，也许可以像条斑紫菜一样采用酸碱来去除硅藻，这有待于进一步的研究。海萝藻体耐干露能力较强，单纯阴干达到48 h仍然能够成活，泡淡水48 h也能成活，进一步的试验将采取这2种方法研究去除杂藻的效果。

## 参考文献：

- [1] 夏邦美. 中国海藻志：第2卷，红藻门，第3册 [M]. 北京：科学出版社，2004：50~53.
- [2] TSENG C K. Common seaweeds of China [M]. Beijing: Science Press, 1983: 92.
- [3] KURIHARA H, GOTO Y, AIDA H, et al. Antibacterial activity against cariogenic bacteria and inhibition of insoluble glucan production by free fatty acids obtained from dried *Gloiopeletis furcata* [J]. Fish Sci, 1999, 65 (1): 129~132.
- [4] 余杰, 颜璐璐, 陈美珍. 海萝的研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2004, 25(4): 97~100.
- [5] 余杰, 许肇成, 颜璐璐, 等. 海萝多糖抗突变与抗肿瘤作用的研究 [J]. 汕头大学学报: 自然科学版, 2007, 22(2): 59~63.
- [6] 須藤俊造. フノリの養殖(A) [M] 水産學集成. 東京: 東京大學出版會, 1957: 819~828.
- [7] 九万田一巳, 小松光男, 新村巖, 等. 鹿児島県水産技術のあゆみ [M]. 第3編. 増養殖部門 - 1. 鹿児島: 鹿児島県水産技術者OBなぎさ会, 2000.
- [8] 高山活夫. 伊勢z内フノリの豊凶と海況 に氣象要素との関係 [J]. 水產研究誌, 1936, 32(12): 635~640.
- [9] 新崎盛敏. 伊勢. 三河z産フクロフノリの生態學的研究 [J]. 日本水產学会誌, 1947, 13(4): 164~166.
- [10] 吴进锋, 陈素文, 陈利雄, 等. 广东沿海海萝属藻类生态与分布调查 [J]. 南方水产, 2007, 3(5): 7~13.
- [11] 陈素文, 吴进锋, 陈利雄, 等. 2种海萝室内培养成熟及孢子放散附着的初步研究 [J]. 南方水产, 2008, 4(2): 1~5.
- [12] CHEN Suwen, WU Jinfeng, CHEN Lixiong, et al. Effects of light and temperature on the attachment and development of *Gloiopeletis tenax* and *Gloiopeletis furcata* tetraspores [J]. J Appl Phycol, 2011, 23(6): 1045~1051.
- [13] 陈素文, 吴进锋, 陈利雄, 等. 三十烷醇对海萝孢子萌发、幼苗及藻体生长的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(1): 78~82.
- [14] 陈利雄, 吴进锋, 陈素文, 等. 盐度对海萝孢子附着、萌发和存活的影响 [J]. 南方水产科学, 2013, 9(1): 53~57.
- [15] 刘静雯, 董双林, 马甡. 温度和盐度对几种大型海藻生长率和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸收的影响 [J]. 海洋学报, 2001, 23(2): 109~116.
- [16] 雷光英. 大型海藻龙须菜试验生态学的初步研究 [D]. 广州: 暨南大学, 2007.
- [17] 金玉林, 吴文婷, 陈伟洲. 不同温度和盐度条件对脆江蓠生长及其生化组分的影响 [J]. 南方水产科学, 2012, 8(2): 51~57.
- [18] 吴超元, 李幼芷, 林光恒, 等. 细基江蓠繁枝变型生长适宜环境条件的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(1): 60~66.
- [19] 何文辉, 王兰刚, 赵素芬, 等. 温度和盐度对二种观赏海藻微繁与生长的影响 [J]. 渔业现代化, 2008, 35(2): 36~40.
- [20] 程丽巍. 三种大型海藻对海水中营养盐供应变化的生理响应研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [21] 李枫, 邹定辉, 刘兆普, 等. 氮磷水平对龙须菜生长和光合特性的影响 [J]. 植物生态学报, 2009, 33(6): 1140~1147.
- [22] 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.
- [23] 李恒一, 李美真, 徐智广, 等. 不同营养盐浓度对3种大型红藻氮、磷吸收及其生长的影响 [J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 462~470.
- [24] 马家海. 条斑紫菜硅藻附着症防治研究 [J]. 上海水产大学学报, 1996, 5(3): 163~169.