

条浒苔海区试栽培及外界因子对藻体生长的影响

张寒野^{1,2}, 吴望星³, 宋丽珍³, 彭小明³, 王兰刚¹, 徐燭楠¹, 何培民¹

(1. 上海水产大学 生命科学与技术学院, 上海 200090; 2. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090; 3. 浙江奉化海洋渔业局, 浙江 奉化 315500)

摘要:以2004年1月采自江苏如东海区紫菜栽培架上的条浒苔(*Enteromorpha clathrata*)为研究材料, 经分离纯化培养, 用条浒苔藻体放散的孢子进行育苗及其海区栽培。结果表明, 条浒苔在江苏和浙江海区均能够栽培, 且藻体生长速度很快。在实验室条件下, 将条浒苔藻体置于不同温度组(5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃)、盐度组(0、4、8、12、16)和光照强度组(15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 共120个温度-盐度-光照组合中培养, 以研究这3个生态因子对条浒苔生长的影响。结果发现, 温度、盐度和光照对条浒苔的生长影响显著($P < 0.05$)。条浒苔生长适宜温度为15~25℃; 适宜盐度为8~12; 适宜光照强度在60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。温度、盐度和光照强度三者对条浒苔生长存在显著的交互效应($P < 0.05$), 这三者的最佳组合为温度25℃、盐度12和光照60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。[中国水产科学, 2006, 13(5): 781-786]

关键词:条浒苔; 生长率; 生态因子

中图分类号: S968.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2006)05-0781-06

目前, 中国经济海藻栽培种类主要为红藻(Rhodophyta)和褐藻(Phaeophyta), 还未发展绿藻(Chlorophyta)商业化栽培, 大型绿藻浒苔(*Enteromorpha*)也是重要经济海藻。日本、韩国在20世纪70年代就已进行人工栽培绿藻, 并且市场价格很高^[1]。自古以来中国渔民就把浒苔作为食用和药用藻类, 且在《本草纲目》和《食物营养成分表》中就有药用记载。

此外, 浒苔栽培还具有海洋生态修复重要作用。近年来海洋生态环境污染越来越严重, 水体富营养化问题已经成为世界性的环境问题^[2]。经研究已应用大型海藻通过大规模栽培吸收水体中的氮和磷, 是减轻海区富营养化程度最佳措施^[3-6]。而浒苔具有生长快、吸收营养物质多、抑制其他微藻生长等特点^[7], 因而是较为理想的海洋生态修复海藻种类。

中国沿海有多种浒苔, 其中条浒苔(*Enteromorpha clathrata*)具有生长快特点^[8], 主要分布中国东南沿海。条浒苔属于绿藻门、石莼目(Ulvales)、石莼科(Ulvaceae)、浒苔属植物, 藻体绿色, 管状, 膜质^[9], 高约40 cm。有关报道浒苔栽培和生长生态因子的文献较少, 仅有吴洪喜等^[10]对浒苔的实验生

态进行初步研究; 邹定辉^[11]等研究了高浓度CO₂对条浒苔生长、光合作用及有关生理生化特征的影响。目前上海水产大学与浙江省奉化海洋与渔业局联合正在象山港进行条浒苔人工栽培试验, 并首次获得成功。本实验则主要研究温度、盐度和光照等生态因子对条浒苔苗期生长的影响, 为今后浒苔栽培业发展和海洋生态修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与株系建立

条浒苔于2004年1月采自江苏如东海区紫菜栽培架上, 经过清洗去除杂藻后, 暂养于室内。从条浒苔藻体中各挑选30株进行单株分离和纯化培养。叶片洗净后, 经过一定特殊培养使其放散孢子并形成小苗, 然后在显微镜下分离单个小苗进行单独培养, 并作为株系进行保存, 编号为YSJ01-30。

1.2 藻体培养

将株系YSJ01(A和B)和YSJ02(A和B)进行大量培养, 培养容器为1~3 L三角瓶, 培养液为VSE, 盐度为15, 培养条件为: 温度(15±2)℃, 光强

收稿日期: 2005-08-24; 修订日期: 2005-12-09。

基金项目: 上海市浦江人才计划项目资助(05PJ14086)。

作者简介: 张寒野(1974-), 男, 助理研究员, 从事水域资源和环境研究。E-mail: hy@eastfishery.ac.cn

通讯作者: 何培民。E-mail: penhe@shfu.edu.cn

$20\sim 30\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光照周期 12L:12D,充气培养。在实验前培养1周,供实验用。

1.3 浒苔育苗与栽培方式

将大量培养的 YSJ01(A和B)和 YSJ02(A和B)藻体转入一定条件下进行培养,并促使其叶片大量放散孢子,并将其孢子喷洒于育苗池(3 m×6 m×0.4 m)中,其中池内放有 25 条维尼网帘(2.5 m×3.0 m),水位高 15 cm。育苗培养条件为 16~18℃,光强 $10\sim 50\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光照周期 12 L:12 D。培养 15 天后,经显微镜观察已形成 2~3 个细胞小苗,于 2004 年 10 月底放入江苏如东海区进行栽培。其中 25 张网帘于 2004 年 12 月移栽浙江象山奉化养殖海区。

1.4 室内生态因子实验设计

将旺盛生长藻体切成长度约为 5 cm,放入盛有 100 mL VSE 培养液的 150 mL 三角烧瓶中。温度设置 5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃ 等 6 个梯度,盐度设置 0、4、8、12、16 等 5 个梯度,光照强度设置 $15\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $30\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $45\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $60\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 等 4 个梯度,共 120 个温度-盐度-光强组合,每组设置 3 个平行。充气培养 4 天。

1.5 藻体生长指标的测定

藻体离水后用吸水纸吸干称其湿重,藻体湿重用 10^{-4}g 电子天平称量。条浒苔的相对生长率按下式计算:

$$\text{RGR} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100\%$$

式中:RGR 表示相对生长率, W_t 和 W_0 分别为培养后和培养前藻体湿重。

1.6 数据分析

试验数据用 SPSS 11.0 统计分析软件进行方差分析,再采用 LSD 多重比较分析试验结果均值的差异显著性($P<0.05$)。

2 结果

2.1 条浒苔在海区生长情况

条浒苔网帘在江苏如东海区栽培 2 个月后,藻体长到 15~30 cm(图 1-A、B)。将网帘移栽到浙江象山港奉化段海区,其藻体生长速度更快(图 1-C、D)。10 天后,藻体长达 1~1.2 m。其日相对生长速度达到 30% 左右。

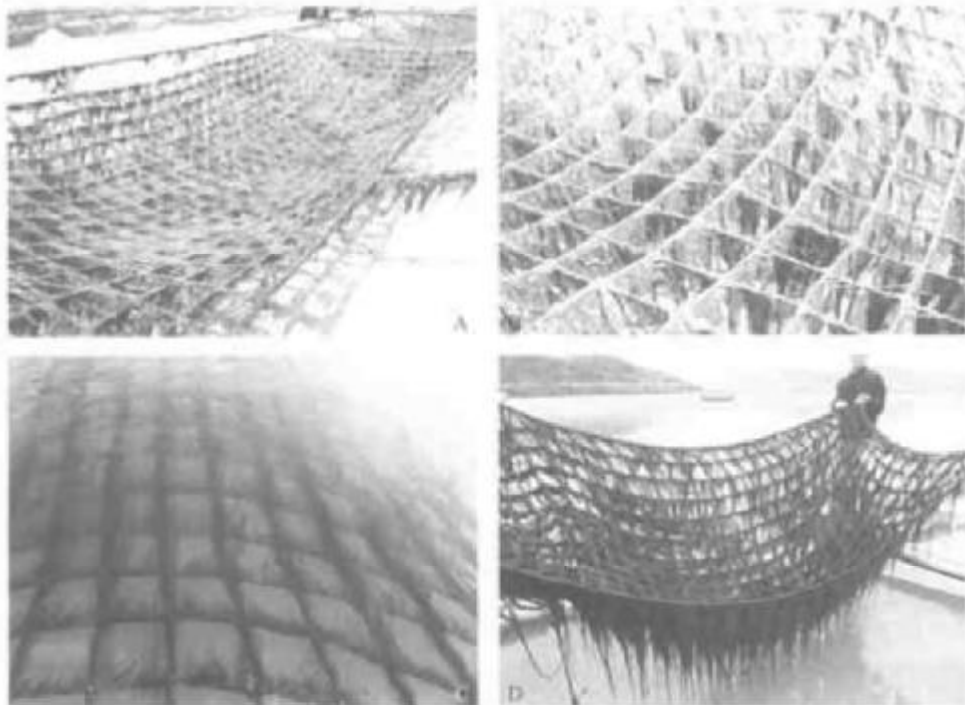


图1 条浒苔栽培生长情况

A-B:条浒苔在江苏如东海区半浮动式栽培及其生长情况;C-D:条浒苔在浙江海区全浮动式栽培及其生长情况。

Fig.1 Cultivation and growth of *Enteromorpha clathrata*

A-B: Cultivation and growth of *Enteromorpha clathrata* with half-floating method at coast of Rudong, Jiangsu Province; C-D: Cultivation and growth of *Enteromorpha clathrata* with whole-floating method at coast of Xiangshan Harbor, Zhejiang Province.

2.2 条浒苔生长多生态因子方差分析结果

表1为温度、盐度和光照强度多生态因子对条浒苔生长影响的方差分析表。根据多因素方差分析表明,温度、盐度和光照强度对条浒苔的生长都有极显著影响($P<0.01$)。从均方值来看,不同温度造成的组间差异最大,这说明条浒苔生长对温度的变化最敏感;其次是盐度,对条浒苔的生长影响也较明

显;相对而言,光照强度对其生长的影响没有前两者强烈。3种生态因子中,任意两因子之间都具有显著交互效应($P<0.05$),特别是温度和盐度的交互效应极显著($P<0.01$)。并且3个生态因子之间的交互效应也极显著($P<0.01$),说明这3个生态因子对条浒苔生长的影响不是相互独立的。

表1 温度、盐度和光强3个因子对条浒苔生长影响的方差分析

Tab.1 Analysis of effects of temperature, salinity and light intensity on the growth of *Enteromorpha clathrata*

变异来源 Source of variation	离差平方和 Sum of Squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean Square	F值 F value	P
温度 Temperature	51.896	5	10.379	32.26	0.001**
盐度 Salinity	35.490	4	8.873	27.58	0.001**
光照强度 Light	4.484	3	1.495	4.65	0.004**
温度×盐度 Temperature×Salinity	22.978	20	1.149	3.57	0.001**
盐度×光强 Salinity×Light	7.598	12	0.633	1.97	0.029*
温度×光强 Temperature×Light	8.685	15	0.579	1.80	0.037*
温度×盐度×光强 Temperature×Salinity×Light	31.579	52	0.607	1.89	0.001**
误差 Error	59.842	186	0.322		
总计 Total	224.628	297			

注: * 差异显著; ** 差异极显著。

Note: * Significant difference; ** Highly significant difference.

2.3 条浒苔生长单因子分析

2.3.1 温度对条浒苔生长的影响 温度对条浒苔藻体生长的影响非常明显,实验结果见表2。在5℃低温时,条浒苔藻体生长最慢,显著低于其他温度组。在5℃和15℃也存在显著差异,生长速度随温

度升高而提高。温度在15~25℃时,生长无显著差异,生长率较高同时相对比较平稳;但随着温度的继续上升,温度为30℃时,条浒苔生长率却出现了下降趋势。由此看出,条浒苔在温度为15~25℃内生长最好。

表2 不同温度对条浒苔生长的影响

Tab.2 Changes of relative growth rates of *E. clathrata* at different temperatures

温度/℃ Temperature	5	10	15	20	25	30
相对生长率/% RGR	19.73 ^c	74.33 ^b	130.78 ^a	132.36 ^a	140.59 ^a	85.31 ^b

注:同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$).

2.3.2 盐度对条浒苔生长的影响 盐度对条浒苔生长影响较大,表3列出了条浒苔在各盐度组的生长情况。条浒苔藻体在低盐度0和较高盐度16的培养液中时,其生长率均低,与其他盐度组存在显著

差异;盐度为4~12时,条浒苔生长率明显提高,均超过100%,并随盐度升高而提高;在盐度12时,条浒苔生长率达到最高。可见条浒苔藻体生长适宜盐度范围在8~12。

表3 不同盐度对条浒苔生长的影响

Tab.3 Changes of relative growth rates of *E. clathrata* at different salinities

盐度 Salinity	0	4	8	12	16
相对生长率/% RGR	34.05 ^d	102.30 ^b	111.06 ^{ab}	126.61 ^a	65.34 ^c

注:同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$).

2.3.3 光照强度对条浒苔生长的影响 表4为光照强度对浒苔生长影响实验的结果,光照强度在15~40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,浒苔生长没有差异显

著。而当光强达到60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,生长率明显提高,显著大于低光强的情况。因此,适宜条浒苔生长的光照强度应该在60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。

表4 不同光照强度对条浒苔的影响

Tab.4 Changes of relative growth rates of *E. clathrata* at different light intensities

光照强度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Light intensity	15	30	45	60
相对生长率/% RGR	78.88 ^b	85.45 ^b	84.41 ^b	113.09 ^a

注:同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$).

2.4 条浒苔生长多因子交互效应分析

2.4.1 温度和盐度的交互效应 图2为温度和盐度相互作用对浒苔生长影响。从图中可以看出,在5~30 $^{\circ}\text{C}$,盐度为0时,浒苔生长率均为最低,而盐度为12时,浒苔生长率均为最高,盐度为8和16时,浒苔生长率均次于12盐度。生长最好的组合是温度为25 $^{\circ}\text{C}$ 、盐度为12。

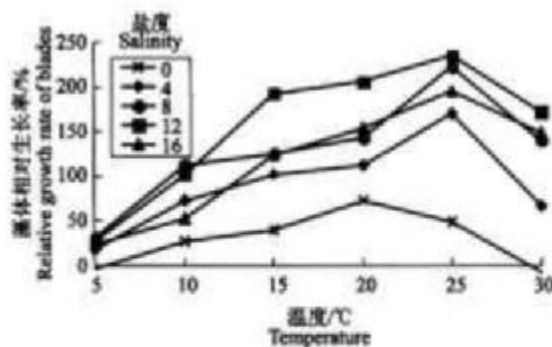


图2 不同温度条件下条浒苔各盐度的生长情况

Fig.2 Growth of *E. clathrata* under different salinities and different temperatures

2.4.2 温度和光强的交互效应 光照强度和温度相互作用对浒苔生长影响见图3。从图3中可看出,在光照强度15~60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 内,浒苔生长率均随温度上升而逐步提高,随光照强度提高而提高。光强和温度的最佳组合为光强60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和温度25 $^{\circ}\text{C}$ 。

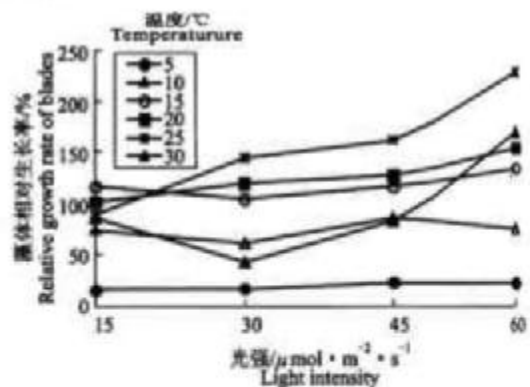


图3 不同光强和不同温度条件下条浒苔生长情况

Fig.3 Growth of *E. clathrata* under different temperatures and light intensities

2.4.3 盐度和光强的交互效应 盐度和光照强度相互作用对浒苔生长的影响见图4。从图4中可看出,在盐度0~16内,浒苔生长率均随光照强度提高而逐步提高,光照强度为 $60 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,浒苔生长率为最高。最佳盐度和光强组合出现在盐度12和光强 $60 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

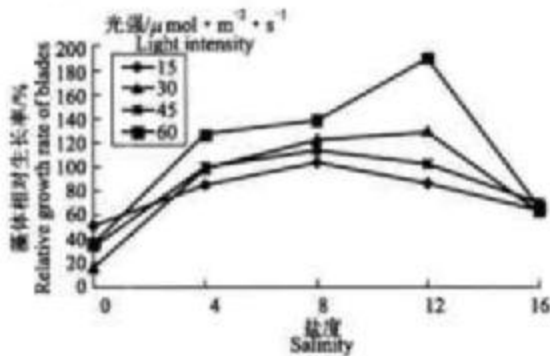


图4 不同盐度条件下条浒苔各光强的生长情况

Fig.4 Growth of *E. clathrata* under different light intensities and different salinities

3 讨论

条浒苔生长速度较快,本实验测得条浒苔的日相对生长率为92.94%,这可能是目前藻类中生长最快的种类。由于条浒苔生长快,远远超过红藻,加上暖冬和海区富营养化等因素,条浒苔已成为江苏沿海紫菜栽培生产中最大敌害藻类,紫菜栽培户和紫菜加工场每年都要花费大量人力去除该藻。

条浒苔属于广温性种类^[12]。本次实验表明,条浒苔能够在5~30℃存活和生长,其中15~25℃为条浒苔生长的适宜温度,过高或过低的温度都不利于条浒苔的生长。Moll和Deikman认为浒苔耐受高温能力强,能够在40℃温度中存活,但当超过40℃,存活时间较短,在2h内将会死亡^[13]。为此,中国紫菜栽培有时通过干露以及晒网,消除浒苔或抑制其生长。而干露试验结果表明,浒苔(*Enteromorpha prolifera*)可以忍受晴天室外38℃的高温^[12],说明浒苔已具有一定的抗干露能力,因而紫菜栽培通过冷藏网可以更有效去除浒苔。

浒苔也属广盐性种类^[14]。本实验表明,条浒苔能够在低盐度为0~16时存活和生长,盐度为8~12时条浒苔适宜生长;其中,盐度为12时最适宜条浒苔生长,说明条浒苔耐低盐性较好。因此在河口附近海

区,由于海水盐度较低,条浒苔能够大量旺盛生长。在淡水中,条浒苔也能存活,但生长非常缓慢。Edwards等^[15-16]的实验也表明,浒苔能够在0的盐度下忍受3~5周,并且在低盐度情况下,生长随盐度升高而加快^[17]。

浒苔属于绿藻,一般生活在光线充足的潮间带,在水深2.5m处也能生长得很好^[18]。浒苔主要附着在岩石和石砾等各种基质上,不能主动通过垂直移动来适应光强的变化,因此光强也是决定浒苔分布区域的主要因素之一^[19-20]。光强对条浒苔生长的影响没有温度和盐度大。本实验表明,条浒苔在光强15~60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,随光强增加,生长增快的趋势。

总体来看,温度、盐度和光强是影响条浒苔生长的最重要的三个生态因子。从实验结果来看,三者的最适组合为温度25℃,盐度12和光强为60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的情况;条浒苔对温度、盐度和光强等生态因子的耐受范围比较广,具有较强的生存能力,因此条浒苔能广泛生长于沿海各海区。

参考文献:

- [1] Sahoo D. Farming the Ocean: Seaweeds Cultivation and Utilization [M]. New Delhi: Anand Books International LTD, 2000: 12-17.
- [2] Nason S W, Ammerman J W, Atkinson L P, et al. The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean[J]. Biogeochemistry, 1996, 35: 141-180.
- [3] Duke C S, Lapointe B E, Ramus J. Effects of light on growth, RuBPCase activity and chemical composition of *Ulva* species (Chlorophyta)[J]. J Phycol., 1986, 22: 362-370.
- [4] Gordon D M, Birch P B, McComb A J. Effects of inorganic phosphorus and nitrogen on the growth of an estuarine *Cladophora* in culture[J]. Bot Mar, 1981, 24: 93-106.
- [5] Lapointe B E, Tenore K R. Experimental outdoor studies with *Ulva fasciata* Delile. I. Interactions of light and nitrogen on nutrient uptake, growth, and biochemical composition[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1981, 53: 135-152.
- [6] Waite T, Mitchell R. The effect of nutrient fertilization on the benthic alga *Ulva lactuca* [J]. Bot Mar, 1972, 15: 151-156.
- [7] Fujita R M. The role of nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1985, 92: 283-301.
- [8] 何培民, 吴庆磊, 吴维宁, 等. 条浒苔蛋白核超微结构和RuBisco及其活化酶分子定位[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 255-260.
- [9] 浙江省水产厅, 上海自然博物馆. 浙江海藻原色图谱[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 1983.
- [10] 吴洪喜, 徐爱光. 浒苔实验生态的初步研究[J]. 浙江海洋学

- 院学报, 2000, 19(3): 230-234.
- [11] 邹定辉, 陈雄文. 高浓度 CO_2 对绿藻生长和一些生理生化特征的影响[J]. 海洋通报, 2002, 21(5): 38-45.
- [12] Fong P, Zedler J B. Temperature and light effects on the seasonal succession of algal communities in shallow coastal lagoons[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1993, 171: 259-272.
- [13] Moll B, Diskiran J. *Enteromorpha clathrata*: a potential seawater-irrigated crop[J]. Bioresource Technology, 1995, 52: 255-260.
- [14] Reed R H, Russell G. Adaptation to salinity stress in populations of *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link [J]. Estuarine and Coastal Marine Science, 1979, 8: 251-258.
- [15] Edwards D M, Reed R H, Stewart W D P. Osmoacclimation in *Enteromorpha intestinalis*: long-term effects of osmotic stress on organic solute accumulation[J]. Mar Biol, 1988, 98: 467-476.
- [16] Ritchie R J, Larkum A W D. Potassium transport in *Enteromorpha intestinalis*: II. Effects of medium composition and metabolic inhibitors[J]. J Exp Bot, 1985, 36 (164): 394-412.
- [17] Krista K, Paggey F. A fluctuating salinity regime mitigates the negative effects of reduced salinity on the estuarine macroalgae, *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2000, 254(1): 53-69.
- [18] 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. 8-19.
- [19] Hanelt D, Meichnermann B, Wiencke C, et al. Effects of high light stress on photosynthesis of polar macroalgae in relation to depth distribution[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1997, 149: 255-266.
- [20] Bischof K, Hanelt D, Wiencke C. UV-radiation can affect depth zonation of Antarctic macroalgae[J]. Mar Biol, 1998, 131: 597-605.

Trial and field cultivation of *Enteromorpha clathrata* and effects of ecological factors on its growth

ZHANG Han-ye^{1,2}, WU Wang-xing³, SONG Li-zhen³, PENG Xiao-ming³, WANG Lan-gang¹, XU Shan-ran¹, HE Pei-min¹
(1. Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China; 2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 3. Marine and Fisheries Bureau of Fenghua City, Zhejiang 315500, China)

Abstract: *Enteromorpha* are important marine economic edible green seaweeds, and have been regarded as ideal candidate seaweeds for eutrophication bioremediation due to their characters of rapid growth, high absorption of nutrients and depression of microalgae growth. There are several species in *Enteromorpha* genus along China coastline, but until now there is no any species for artificial cultivation in China yet. *Enteromorpha clathrata* is characterized with rapid growth. The spores released from the blades of *Enteromorpha clathrata* were used for breeding and cultivating in the sea area, and effects of ecological factors, such as temperature, salinity and light intensity, on blade growth were studied for *Enteromorpha clathrata* artificial cultivation technology establishment as well as marine eutrophication bioremediation.

The blades of *Enteromorpha clathrata* were collected in January 2004 from *Porphyra* cultivation area at Rudong coast, Jiangsu Province. The pure lines were prepared with single young blades and cultivated in Lab for ecological factor experiment. The fresh blades were cut into 5cm in length, and 5 fragments were put in 150mL flasks with VES medium for temperature, salinity and light intensity experiment. The temperature gradient (5, 10, 15, 20, 25 and 30 °C), Salinity gradient (0, 4, 8, 12 and 16) and Light intensity (15, 30, 45 and 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) were set for each of the three replicates. The blade fragments were cultures with gentle aeration for 4days and then determined the growth rate.

The results showed that the sporelings of *Enteromorpha clathrata* grew very well at the Rudong coast, Jiangsu Province and Xiangshan Harbor, Zhejiang Province. And temperature, salinity and light intensity were important factors for blade growth of *Enteromorpha clathrata* ($P < 0.05$). The suitable range of temperature, salinity and light intensity were between 15 and 25 °C, between 8 and 12, and 50-60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. And there were interactions between the ecological factors. The optimal culture conditions for blade culture of *Enteromorpha clathrata* were 20 °C, salinity 12 and 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ light intensity. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(5): 781-786]

Key words: *Enteromorpha clathrata*; growth rate; ecological factors

Corresponding author: HE Pei-min. E-mail: pmhe@shfu.edu.cn