

文章编号: 1674-5566(2014)05-0697-09

浒苔规模化人工育苗技术研究

崔建军¹, 朱文荣², 施建华³, 华 梁¹, 陈丽平¹, 徐文婷¹, 邵 飞¹,
韩红宾¹, 何培民¹

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 象山旭文海藻开发有限公司, 浙江 宁波 315000; 3. 奉化益珍海藻科技有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘 要: 研究了浒苔 (*Ulva prolifera*) 人工育苗技术全过程。首先研究了室内育苗浒苔藻体孢子放散的最适温度及藻体密度, 孢子附着及萌发的最适温度与光照强度, 浒苔苗网下海养殖小苗最适长度。结果显示: 浒苔在温度 25 ℃、藻体密度为 0.8 g/L 时藻体放散孢子量最大, 温度为 20 ℃、晴天 [光照强度 > 300 μmol/(m²·s)] 时浒苔孢子附着及萌发效果最好, 浒苔幼苗海区养殖的适宜藻体长度为 1~3 cm。根据以上育苗技术参数, 2013 年 12 月 10 日至 2014 年 1 月 26 日, 在浙江象山港河伯所村奉化益珍海藻科技有限公司进行了浒苔规模化人工育苗试验, 并初步建立了浒苔规模化人工育苗技术。本次规模化育苗共用 6.6 kg 新鲜藻体, 共放散了 17.82 × 10¹⁰ 个孢子, 平均每克藻体放散孢子量高达 2.7 × 10⁷ 个; 共采苗 2 000 张苗帘 (规格 16 m × 1 m), 平均每张网帘附有 8.64 × 10⁷ 个孢子; 网苗经 20 ℃ 室内培育, 7 d 萌发达到最高峰, 平均 20 棵苗/cm, 小苗长度最长可达 3 cm, 达到出海养殖要求。育苗全过程共为 45 d。该研究为浒苔规模化人工育苗技术建立奠定了坚实基础。

研究亮点: 浒苔规模化人工育苗技术目前国内研究比较少, 本文首次系统化研究了该项技术; 育苗设备节约环保, 便于操作和自动化管理; 该技术育苗周期短, 萌发率高, 出苗整齐, 有利于促进浒苔人工育苗的系统化、规模化产业链的形成, 应用前景广。

关键词: 浒苔; 人工育苗; 生态因子; 藻体密度

中图分类号: S 968.4

文献标志码: A

浒苔 (*Ulva prolifera*) 原属于绿藻门 (Chlorophyta)、绿藻纲 (Chlorophyceae)、石莼目 (Ulvales)、石莼科 (Ulvaceae)、浒苔属 (*Enteromorpha*)^[1-2], 现国际上已倾向将其归属于石莼属 (*Ulva*)^[3-7]。浒苔是一种常见的大型海洋经济藻类^[2,8], 其生活史是单倍体的配子体与二倍体的孢子体相互交替的同形世代交替^[2], 可以进行有性、无性、单性生殖和营养繁殖^[8-11]。浒苔营养价值很高, 自古以来即作为食用和药用藻类^[12-13]。浒苔藻体采集时间不同, 其粗蛋白含量变化较大, 为 31.04% ~ 12.22%, 氨基酸含量较高, 其中必需氨基酸占总氨基酸的含量可达 37.45%^[13]; 脂肪含量为 1.04%, 不饱和脂肪酸

中亚麻酸的含量最高, 占总脂肪酸含量的 15.98%^[14]; 据我国《食物营养成分表》上记载: 浒苔含铁量为我国食物中之最^[15]。在药用方面, 《本草纲目》中早有记载: 浒苔可“烧末吹鼻止衄血; 汤浸捣敷手背肿痛”^[2], 现代研究结果表明浒苔多糖具有降血脂及提高 SOD 活力和 LPO 含量的作用^[16]。因此, 浒苔是一种很有开发前途的保健食品, 且也被广泛用于化工、饲料、纺织和国防工业等^[17-19]。

浒苔营养丰富味道十分鲜美, 具有很浓的特殊清香味; 食品中添加浒苔, 既可改善食品的口感、口味, 也可提高食品营养价值, 深受沿海居民的喜爱^[18]。日本用浒苔作为食品配料或营养性

收稿日期: 2014-03-10 修回日期: 2014-04-29

基金项目: 国家海洋局公益性行业科研专项(201205010); 国家海洋局公益性行业科研专项(201105023); 国家科技支撑计划项目(2012BAC07B07)

作者简介: 崔建军(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态学。E-mail: cuijianjun29@163.com

通信作者: 何培民, E-mail: pmhe@shou.edu.cn

添加剂,广泛应用于膨化食品、海苔饼干、海苔花生、海苔干脆面等产品的开发;而我国在传统食用浒苔的基础上,开发了如浒苔挂面、浒苔酱、浒苔汤料、浒苔果冻、浒苔绿藻精饮料和浒苔功能食品等^[20-21]。

浒苔产于近海,为野生藻类,生长周期短,易受自然条件和环境污染的影响,且其品种无法控制和改进,纯度、质量、产量难以提高,为了克服这些缺陷,日本与韩国已实现人工养殖浒苔^[18];日本早在 20 世纪 80 年代已建立了浒苔的人工育苗、海上栽培和食品加工等技术,且已实现了育苗-栽培-加工产业链,规模已达到年产 200 吨干品左右(每吨产值 500 万~700 万日元,约合人民币 20~28 万元)^[22-23]。而我国浒苔产业规模相对较小,主要产区为浙江象山港和福建沿海,前者主要靠滩涂野生浒苔,后者主要靠筏网自然纳苗^[20,24];且我国浒苔是野生采集,品种混杂,纯度不高,加工技术低,大部分浒苔只能以粉状产品内销,价格普遍较低^[2,12];因此要生产高质量产品,首先要提供高质量、高纯度的藻种,建立成熟的育苗-栽培-加工产业链;要大力发展我国浒苔养殖业,首先需要建立室内人工育苗技术,虽然以前有较多尝试,但均未实现规模化和产业化。

本文主要研究了浒苔室内人工大规模育苗技术,系统研究了种藻孢子放散、采苗与培育、海上养殖出苗等关键环节,试图建立一套我国浒苔室内人工大规模育苗技术,以填补国内空白。

1 材料与方 法

1.1 种菜培养与育苗网帘

实验藻种为当地种浒苔(图版 I-1),2013 年 11 月采集于浙江象山港奉化段附近海域滩涂。采集的藻体经低温运输带回实验室,用过滤消毒海水去除藻体表面杂物和杂藻,并通过形态和分子鉴定,确定为浒苔纯种。选取一定量藻体细长、分支较少、每个细胞含有 1~2 个淀粉粒核、孢子囊多且明显成熟的浒苔藻体,培养于采苗室的暂养箱内,培养条件为温度(20±1)℃、光照强度 100 μmol/(m²·s)、盐度 15,每 2 天更换 1 次过滤的新鲜自然海水,并充气培养。

育苗由聚乙烯和棉麻细绳织成,网帘规格为 15 m×2 m。网帘使用前在太阳光下暴晒 3~4 d,且经过淡水反复清洗,以除去网帘上硅藻及杂

质。

1.2 分子鉴定

浒苔 DNA 提取参照陈丽萍等^[25]方法进行。将 PCR 扩增产物送上海生物工程技术有限公司测序。在 NCBI 上对测序结果分别进行 BLAST 同源性比较,使用程序为 blastn。通过 Clustal W 进行序列多重比对分析^[26],并辅以手工校正。进化关系通过使用 Mega 4.0 的邻接法(NJ)进行分析^[27]。以类石莼(*Ulvaria fusca*)、*Umbraulva amamiensis*、盘苔(*Blidingia minima*)做为外类群。

1.3 育苗设施

浒苔人工育苗设施主要由放散室(图 1)和育苗室(图 2)2 个部分组成。放散室主要用于浒苔孢子放散,育苗室主要用于孢子附网、孢子萌发及幼苗生长等。

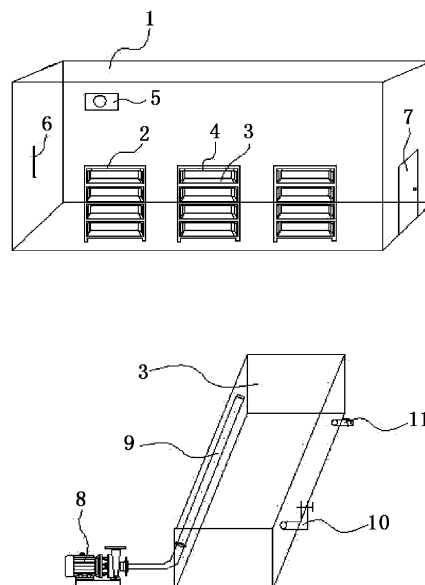


图 1 放散室

Fig. 1 Spores releasing room

1. 玻璃房; 2. 培养架; 3. 放散盆; 4. LED 灯; 5. 空调装置;
6. 温湿度计; 7. 侧门; 8. 充气泵; 9. 带孔圆管; 10. 进水口;
11. 排水口。

1.3.1 放散室与放散箱

放散室为 50 m² 左右的玻璃房,内设空调可调节室内温度。室内共有 10 个多层培养架,且每层均安装了 3 只日光灯管(60 W),可放置 30 只透明玻璃(亚克力)放散盆,每只放散盆规格为 1 m×0.5 m×0.3 m。放散盆放置在多层培养架上在光照条件下进行藻体孢子放散。每个培养

架均有充气细管,可充气培养。

1.3.2 育苗室与育苗池

育苗室为 600 m² 的玻璃房,顶棚可安装不同透光率的塑料板,其中塑料板 A 为全透光,塑料板 B 和 C 分别只有塑料板 A 透光率的 1/2 和 1/3。内设空调可调节室内温度。室内共有 8 个由木板制作而成的育苗池(12 m×4 m×0.5 m)。每个育苗池均有进、出水口,进水口直接与沉淀池相连。且 4 个育苗池共用 1 个管道泵,可以使池内水体循环流动。育苗池内安装了加热器,可调控水温。

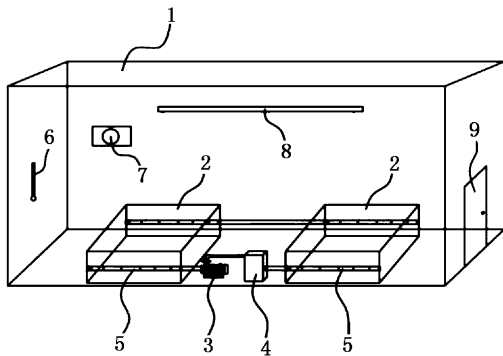


图 2 育苗室

Fig.2 Breeding room

1. 玻璃房; 2. 育苗池; 3. 管道泵; 4. 加热器; 5. 带孔圆管;
6. 温湿度计; 7. 空调装置; 8. LED 照明光源; 9. 侧门。

沉淀池地势高于育苗室,可利用地势差自动供水。沉淀池顶部用黑塑料遮盖,保持池内黑暗以净化水质。沉淀池贮水量为育苗池容量的 3 倍以上,且分隔成多个小池,可轮流周转使用。使用前洗刷干净并用低浓度高锰酸钾溶液消毒,再用泵从海区抽取自然海水输入沉淀池中,遮光静置 2 周以上备用。

1.4 孢子放散

从暂养箱内取出一定量浒苔健康藻体,用刀将藻体切成大小为 1 mm² 碎片,加入盛有经高温消毒的自然海水的放散池内,进行温度和藻体密度单因子对孢子放散影响实验。温度实验设为 10、15、20、25、30 ℃ 5 个梯度组,藻体密度为 0.8 g/L。藻体密度实验设为 0.2、0.4、0.8、1.2 g/L 4 个密度,温度为 20 ℃。光照强度均为 100 μmol/(m²·s),且充气培养。3 d 后取水样,在显微镜下检查孢子放散数量,以确定最佳温度和藻体密度。

1.5 孢子附着、萌发与生长

每个育苗池内盛有经过过滤的海水 2 × 10⁴

L,加入一定量的放散孢子,并立即重叠摆放 100 张干净的网帘。通过调节温度及安装不同顶棚塑料板进行温度和光照强度单因子对孢子附着、萌发与生长影响实验。温度实验在全为塑料板 A [晴天光照强度 > 300 μmol/(m²·s)] 为顶棚的育苗池下进行,设定 10、15、20、25、30 ℃ 5 个温度梯度组。光照强度实验在温度为 10 ℃ 下进行,设定塑料板 A、B、C 3 个梯度组。实验期间使用水泵保持育苗池内持续循环流动,并利用加热器保持恒温。育苗时,采苗的网帘每天早晚各翻一次,并每天镜检网帘上浒苔孢子附着、萌发和生长情况。

1.6 育苗日常管理

育苗日常管理主要有施肥、换水、添加孢子液和处理硅藻污染等。氮肥为硝酸钠,磷肥为磷酸二氢钠,在孢子附着期每 10 天喷洒一次,萌发和生长期每 7 天喷洒一次,每次氮、磷喷洒量分别为 168 g 和 22 g。浒苔孢子附着期每 7 ~ 10 天换 1 次过滤海水,萌发和生长期每 5 ~ 7 天换 1 次,每次交换量为三分之一。每次换水后添加孢子液,使育苗池内孢子密度维持在 10 个/mL 左右。并对网帘定期太阳暴晒和淡水冲洗,以抑制硅藻生长。

1.7 海上养殖出苗实验

养殖海区选择远离污染源,潮流流速大小适宜,海水水质符合 GB3097—1997 规定的海区。栽培海区底质为泥沙质,沙面平坦,比降小,大潮干露时间 3 ~ 4 h。养殖方式采用半浮动筏式(图版 II - 3)。为了确定浒苔幼苗海区养殖的适宜长度,设定 0.5 ~ 1、1 ~ 3、4 ~ 6 cm 3 种苗长的网帘进行下海养殖出苗试验,每个苗长实验平行组为 3 张网帘,1 周后镜检观察网帘浒苔幼苗生长情况。

1.8 数据处理

应用 SPSS 13.0 软件对记录的数据进行统计分析。

2 结果

2.1 浒苔种质分子鉴定

通过象山港海滩采集的浒苔样品 ITS 和 5S 序列测序及对比分析,发现与浒苔 (*U. prolifera*) ITS 序列 (NCBI accession: HM031181) 和浒苔 (*U. prolifera*) 5S 序列 (NCBI accession:

HM584786) 相似度分别为 100%, 证实象山港海滩采集的浒苔样品确实为浒苔种类 (*U. prolifera*), 并且是我国沿海浒苔种类分布的常见类型, 而与 2008 年黄海暴发浒苔漂浮类型 (I 亚型) 不一样。

2.2 温度和藻体密度对藻体放散孢子的影响

图 3、4 为不同温度和藻体密度对浒苔藻体放散孢子(图版 I - 2, 3) 的影响。从图 3 可以看出, 当温度为 25 °C 时, 浒苔藻体孢子放散量最大, 其次为 20 °C, 其放散量为 25 °C 的 63%。藻体密度为 0.8 g/L 时, 孢子放散量可以达到 13 500 个/mL, 其次为 0.4 g/L, 其放散量为 0.8 g/L 的 79%。温度过高或过低、藻体密度过大或过小都会使孢子放散量显著减少。

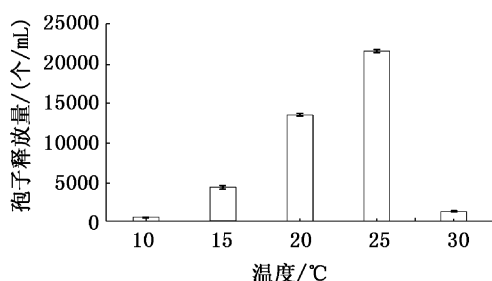


图 3 温度对浒苔藻体孢子放散的影响

Fig. 3 Effect of temperature on the releasing of spores from blades of *U. prolifera*

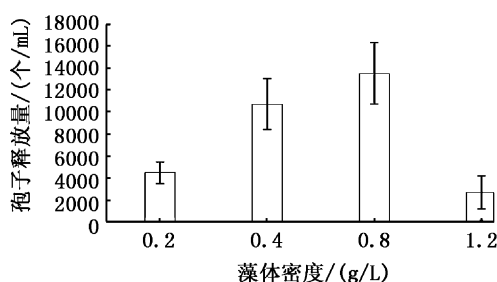


图 4 藻体密度对浒苔藻体孢子放散的影响

Fig. 4 Effect of thallus density on the releasing of spores from blades of *U. prolifera*

2.3 温度、光照强度对浒苔孢子附着的影响

图 5、6 为不同温度、光照强度对浒苔孢子在网帘上附着(图版 I - 4, 5) 的影响。结果显示, 随着温度的升高、光照强度的增强, 网帘上浒苔孢子附着密度逐渐提高, 且在 30 °C, 塑料板 A (晴天全透光) 条件下, 网帘上浒苔孢子附着密度最高, 为 640 个/cm, 极显著高于其他温度组网帘

上孢子附着密度, 其中 10 °C 组附着密度为 30 °C 组的 33%。

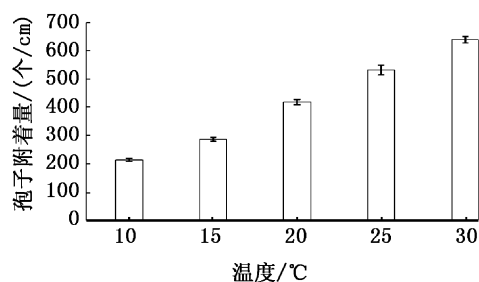


图 5 温度对浒苔孢子附着的影响

Fig. 5 Effect of temperature on the attaching of spores to nets from *U. prolifera*

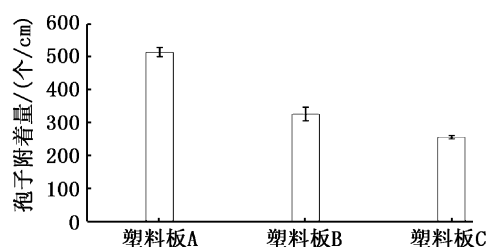


图 6 光照对浒苔孢子附着量的影响

Fig. 6 Effect of light intensity on the attaching of spores to nets from *U. prolifera*

2.4 温度、光照强度对浒苔孢子萌发的影响

图 7、8 为不同温度、光照强度对网帘上浒苔孢子萌发(图版 I - 6) 的影响。结果显示: 随着温度的升高, 网帘上浒苔孢子萌发量呈先增多后降低的趋势, 其中 20 °C 时萌发量达到最高, 为 20 棵/cm, 其次为 15 °C、25 °C、10 °C, 30 °C 最低(孢子不萌发)。光照强度实验显示随着光照强度的提高, 网帘上浒苔孢子萌发量逐渐增多, 其中高光组条件下达到最大萌发量, 为 11 棵/cm, 为中光组和低光组的 1.83 倍和 2.75 倍。

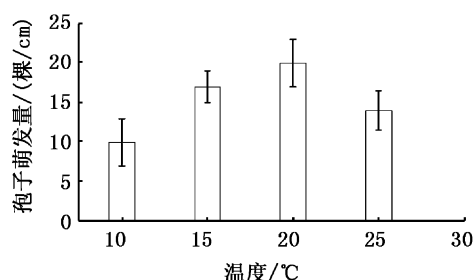


图 7 温度对浒苔孢子萌发量的影响

Fig. 7 Effect of temperature on the germination of spores from blades of *U. prolifera*

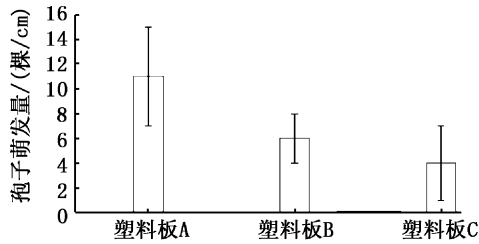


图8 光照对浒苔孢子萌发量的影响

Fig. 8 Effect of light intensity on the germination of spores from blades of *U. prolifera*

2.5 温度、光照强度对网帘浒苔小苗生长的影响

图9、10为不同温度、光照对网帘上浒苔小苗生长(图版I-7~9)的影响。结果显示随着温度的升高网帘上浒苔小苗生长呈先增加后减少的趋势,温度为20℃时,小苗生长最快,每天增长0.8 mm,其次为25℃、15℃、10℃,30℃最低(小苗不能生长)。光照强度实验显示光照强度越大,小苗生长越快,其中高光强组条件下小苗达最大生长速度,为0.2 mm/d,为中光组和低光组的2倍和3.3倍。

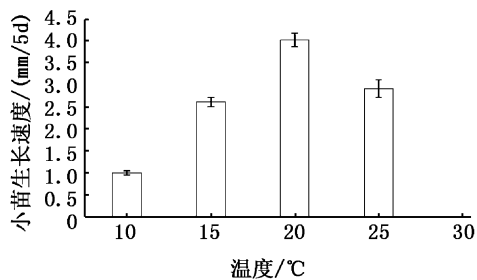


图9 温度对网帘浒苔小苗生长速度的影响

Fig. 9 Effect of temperature on the growth of *U. prolifera* seedlings attaching to nets

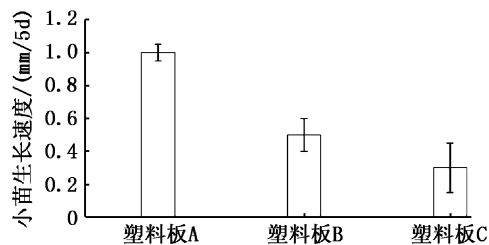


图10 不同遮阳板对网帘浒苔小苗生长速度的影响

Fig. 10 Effect of different sun-shades on the growth of *U. prolifera* seedling attaching to nets

2.6 浒苔大规模育苗及下海出苗试验

2.6.1 孢子放散

在放散室内进行种藻放散。每个放散箱内

放入120 g藻体,将温度调节为25℃,藻体密度为0.8 g/L,光照强度为太阳光,大约半天后,藻体开始放散孢子,第2天达到高峰,为21 600个/mL。本次育苗实验共用6.6 kg藻体和55个放散箱,总共放散了 17.82×10^{10} 个孢子。平均每克藻体可以放散 2.7×10^7 个孢子。

2.6.2 采苗

每个育苗池放入100张网帘,加入密度为21 600个/mL的孢子液400 L。采苗温度为25℃,光照为太阳光。大约5 h后,孢子开始附着,第48小时到达高峰,为533个/cm。共育网帘2 000张,使用孢子液8 000 L,平均每张网帘附着 8.64×10^7 个孢子。育苗池水温调节为20℃,全自然光下培养。第4天网帘上孢子开始萌发,第7天达到高峰期,为20株/cm。

本次育苗共进行了45 d,共育苗了2 000张网帘。网帘上绳段浒苔小苗密度达到20株/cm,经过7 d培育,小苗长度最长可达3 cm。根据实际需要,可以继续培养或转移到海区进行养殖。

2.6.3 海区养殖出苗试验

表1为采苗网帘上不同长度的浒苔幼苗在海区养殖1周的成活率。结果显示浒苔幼苗越长,海区养殖时成活率越高,其中4~6 cm长的幼苗在海区养殖1周后成活率可以达到92%,且1~3 cm长的幼苗成活率也能达到81%。根据大规模育苗实际情况,当浒苔幼苗在室内生长至1~3 cm时,就可放入海区进行养殖。

3 讨论

3.1 温度和光照强度对浒苔孢子放散、附着、萌发、生长的影响

低温(10℃)和高温(30℃)均不利于浒苔人工育苗。低温条件下,浒苔藻体放散孢子、孢子的附着、萌发的量均显著减少,幼苗生长显著减慢,温度过低(5℃左右),浒苔幼苗不能生长,变白死亡(图版II-1);但恢复至室温(20℃)时,各个状态都有所好转,可能是由于低温抑制了浒苔藻体细胞内某些酶的活性。高温条件下,浒苔藻体孢子的放散量显著减少、孢子附着加快,但一个月内未见孢子萌发,即使恢复至室温,各个状态都没有显著改变,可能是由于高温导致了浒苔藻体细胞内某些酶失活。

表 1 浒苔幼苗长度对其在海区养殖成活率的影响

Tab. 1 Effect of seedlings length on surviving rate in *U. prolifera* seedlings cultured in sea field

实验序号	幼苗长度/cm	下海前幼苗密度/(棵/cm)	下海后幼苗密度/(棵/cm)	成活率/%
1	0.5~1	25±2.5	9±2.5	36
2	1~3	21.5±2.5	17.5±2.5	81
3	4~6	19±2.5	17.5±2.5	92

浒苔人工育苗需要强光照,强光照可促进浒苔孢子的释放、附着、萌发和生长。本研究浒苔人工育苗充分利用太阳强光,明显缩短浒苔人工育苗时间。且在浒苔孢子附着、萌发和生长过程中,育苗池内网帘的颜色有明显的变化(图版 I-10~12);孢子附着、少量萌发时,网帘颜色开始变成灰色,可能是由于细胞在附着、萌发过程中大量杂质、硅藻等杂藻也吸附在网帘上,而浒苔幼苗生物量较少,网帘显示杂藻的颜色;随着浒苔孢子大量萌发和幼苗的生长,浒苔幼苗生物量增多,网帘上逐渐显示出浒苔幼苗的颜色——绿色。因此,我们可以根据网帘的不同颜色来判断浒苔育苗所处的阶段。

3.2 浒苔幼苗海区养殖的要求

硅藻等杂藻严重影响着浒苔幼苗的生长,藻体长度 1 mm 以下浒苔幼苗,在海区成活率仅有 36%,镜检网线发现,海区大量的硅藻吸附在网线上和浒苔幼苗表面(图版 II-2),阻碍其进行光合作用,抑制其生长,致使较小的浒苔幼苗在竞争中处于劣势,逐渐消亡。因此网帘上的浒苔幼苗必须生长到一定长度后,才可放入海区进行养殖,本文实验结果显示,浒苔幼苗放置海区养殖的适宜藻体长度为 1~3 cm。

3.3 浒苔育苗技术特点

本研究浒苔人工育苗采用自己设计的采苗室和育苗室,这些装置可以充分利用太阳光产生的光和热,大大缩短浒苔人工育苗的时间,出苗均匀,节能环保,降低成本,且制作简易,操作简单,便于自动化管理,适宜大规模推广。

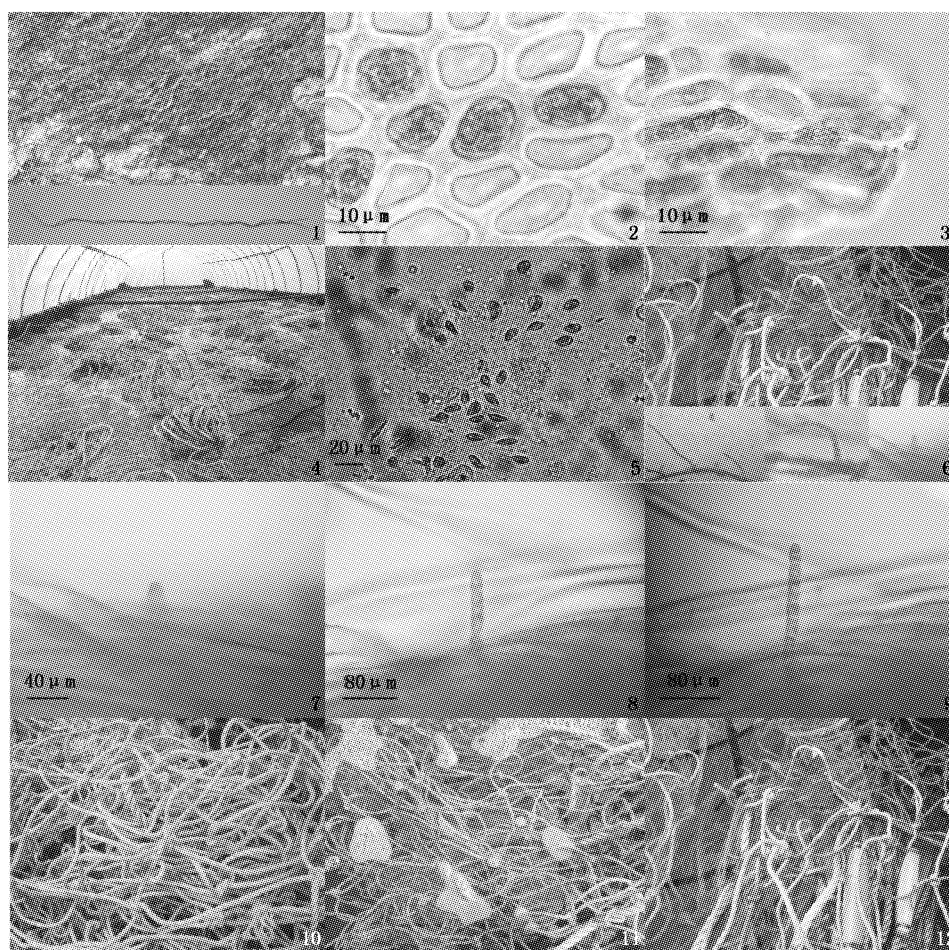
目前我国浒苔育苗还处于初步阶段,每年 10 月份左右开始人工育苗,次年 3、4 月份开始收获、加工,一年一次,且养殖时间长,而国外浒苔人工养殖、加工等技术已相当成熟。日本一年四季均可人工养殖浒苔,每 2 周甚至 1 周就可收获一次养殖的新鲜浒苔藻体,其浒苔品种优良,具有漂浮生长,生长速度快等特点。因此,我们要学习国外先进的技术,通过浒苔藻体生殖细胞杂

交,选育符合需求的浒苔优良新品种;通过抽取深层海水进行浒苔育苗,减少硅藻等杂藻的污染;还要学习和借鉴国外浒苔人工育苗设备的使用、管理和产品加工等方面的经验等。

参考文献:

- [1] 钱树本,刘东艳,孙军. 海藻学[M]. 青岛:中国海洋大学出版社,2005:495.
- [2] 王晓坤,马家海,叶道才,等. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生活史的初步研究[J]. 海洋通报,2007,26(5):112-116
- [3] DAN A, HIRAOKA M, OHNO M, et al. Observations on the effect of salinity and photon fluence rate on the induction of sporulation and rhizoid formation in the green alga *Enteromorpha prolifera* (Müller) J. Agardh (Chlorophyta, Ulvales) [J]. Fisheries Science, 2002, 68: 1182-1188.
- [4] HAYDEN H S, BLOMSTER J, MAGGS A C, et al. Linnaeus was right all along: *Ulva* and *Enteromorpha* are not distinct genera [J]. Phycology, 2003, 38: 277-294.
- [5] 何培民. 海藻生物技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2007:86-98.
- [6] SHIMADA S, YOKOYAMA N, ARAI S, et al. Phylogeography of the genus *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) with special reference to the Japanese freshwater and brackish taxa [J]. Journal of Applied Phycology, 2008, 20: 529-539.
- [7] 沈颂东,张劲. 大型海洋绿藻 5.8S rRNA 基因序列及系统发育分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(4): 427-432.
- [8] LIN A P, SHEN S D, WANG J W, et al. Reproduction diversity of *Enteromorpha prolifera* [J]. Integrative Plant Biology, 2008, 50(5): 622-629.
- [9] DAN A, OHNO M, MATUOKA M. Cultivation of the green alga *Enteromorpha prolifera* using chopped tissue for artificial seeding [J]. Suisan Zoshoku, 1997, 45: 5-8.
- [10] 叶乃好,张晓雯,毛玉泽,等. 黄海绿潮浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生活史的初步研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 853-859.
- [11] 张必新,王建柱,王乙富,等. 大型绿藻浒苔(*Ulva prolifera*)藻段及组织块的生长和发育特征[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 421-430.
- [12] 王文娟,赵宏,米锴,等. 大型绿藻浒苔属植物研究进展[J]. 湖南农业科学, 2009(8): 1-4.
- [13] 吴闯,马家海,高嵩,等. 2010 年绿潮藻营养成分分析及其食用安全性评价[J]. 水产学报, 2013, 37(1): 141-150.

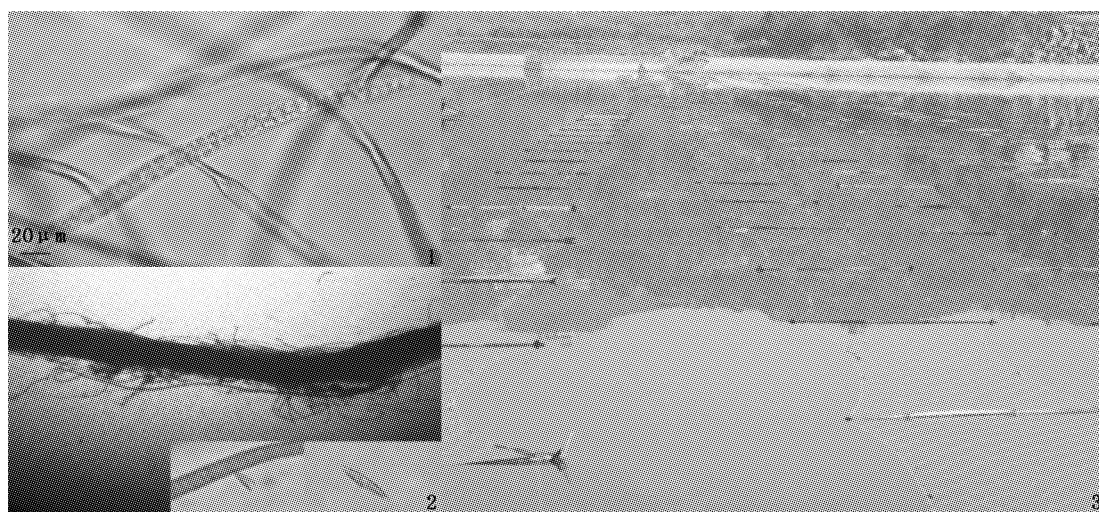
- [14] 徐大伦,黄晓春,杨文鸽,等. 浒苔营养成分分析[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版, 2003,22(4): 318-320.
- [15] 中国预防医学科学院营养食品卫生研究所. 食物成分表[M]. 北京:人民卫生出版,1998;20.
- [16] 周慧萍,蒋巡天,王淑如,等. 浒苔多糖的降血脂及其对SOD活力和LPO含量的影响[J]. 生物化学杂志,1995, 11(2):161-165.
- [17] HIQASHI-OKAJ K, OTANI S, OKAI Y. Potent suppressive effect of a Japanese edible seaweed, *Enteromorpha prolifera* (Sujiaonori) on initiation and promotion phases of chemically induced mouse skin tumorigenesis[J]. Cancer Letters, 1999, 140:21-25.
- [18] 林文庭. 浅论浒苔的开发与利用[J]. 中国食物与营养, 2007(9):23-25.
- [19] 王建伟,阎斌伦,林阿朋,等. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生长及孢子释放的生态因子研究[J]. 海洋通报,2007,26(2):60-65.
- [20] 陈灿坤. 浒苔加工技术研究项目技术总结报告(鉴定材料)[R]. 2006;6.
- [21] 杨志娟. 新型绿藻汤料的开发[J]. 食品工业,2003(3): 42-43.
- [22] 马贵武. 开发大型绿藻的意义与途径[J]. 湛江水产学院学报,1990,10(2):85-88.
- [23] 德田广,大野正夫,小河久朗. 海藻资源养殖学[M]. 东京:サソコー印刷株式会社,1987:47-50.
- [24] 邬坤富. 象山港浒苔初步调查[J]. 浙江农业科学,1961(12):23-241.
- [25] 陈丽萍. 黄海绿潮藻分子鉴定与类群演替研究[D]. 上海:上海海洋大学,2012:49-78.
- [26] THOMPSON J D, HIGGINS D G, GIBSON T J. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position specific gap penalties and weight matrix choice [J]. Nucleic Acids Research, 1994, 22: 4673-4680.
- [27] SAITOU N, NEI M. The neighbor joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees[J]. Molecular Biology and Evolution, 1978, 4: 406-425.



图版 I 浒苔人工育苗

Plate I Artificial breeding of *Ulva prolifera*

1. 采集海区滩涂生长的浒苔为种藻; 2-3. 浒苔藻体放散孢子; 4. 在育苗室进行采苗和培育; 5. 放散的孢子附着; 6. 附着网帘上的孢子萌发为小苗; 7. 附着网帘上的2细胞小苗; 8. 4细胞小苗; 9. 8细胞小苗; 10-12. 育苗过程网帘颜色变化。



图版 II 浒苔幼苗海区养殖

Plate II Cultivation of nets with seedlings of *Ulva prolifera* along Xiangshan coast

1. 低温下死亡的浒苔幼苗; 2. 育苗过程网帘附着大量硅藻; 3. 浒苔网苗海区养殖。

Studies on the technology of artificial breeding of *Ulva prolifera* on a large scale

CUI Jian-jun¹, ZHU Wen-rong², SHI Jian-hua³, HUA Liang¹, CHEN Li-ping¹, XU Wen-ting¹, SHAO Fei¹, HAN Hong-bin¹, HE Pei-min¹

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Xuwen Seaweed Development Co., Ltd., Xiangshan, Ningbo 315000, Zhejiang, China; 3. Yizhen Seaweed Technology Co., Ltd., Fenghua, Ningbo 315000, Zhejiang, China)

Abstract: In this paper, the artificial breeding technology of *Ulva prolifera* on a large scale was studied. Firstly, the effects of temperature and thallus density on the releasing of spores from blades of *U. prolifera*, and effects of temperature and light intensity on attaching and germination of spores from *U. prolifera* blades were studied. The results indicated that the quantity of spores releasing from blades of *U. prolifera* reached the highest when temperature was at 25 °C and thallus density was 0.8 g/L; the optimum temperature and light intensity for attaching and germinating of spores released from blades of *U. prolifera* were 20 °C and sunny days [light intensity > 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; and when seedling length reached up to 1–3 cm, it was good for seedlings on nets moving and cultivating at coast. From Dec 10, 2013 to Jan 26, 2014, the artificial breeding experiment in *U. prolifera* on a large scale was carried out in Yizhen Seaweed Technology Co., Ltd., Hebosuo Village, Xiangshan Harbor, Fenghua County, Zhejiang Province, China. Basing on the key parameters of artificial breeding, and the technology of artificial breeding in *U. prolifera* on a large scale was initially established. About 17.82×10^{10} spores were released from 6.6 kg fresh thallus, and the average spores releasing rate was about 2.7×10^7 spores/g. Total about 2 000 nets (16 m length \times 1.0 m width) were used for breeding, and average spores attaching rate was about 8.64×10^7 spores/net. After breeding for 7 days, the germinating rate of spores attaching on nets reached the peak, and the average seedlings density on rope was about 20 seedlings/cm, and the longest of seedlings was about 3 cm. Those parameters met the requests for seedlings cultivating at coast. Whole breeding took 45 days. It would lay a foundation for establishing the artificial breeding technology of *U. prolifera* on a large scale.

Key words: *U. prolifera*; artificial breeding; ecological factor; thallus density