

# 辽东半岛裙带菜室内常温全人工育苗： 双高光控制、温度变化和配子体发育

逢少军<sup>1</sup> 单体锋<sup>1</sup> 刘明泰<sup>2</sup> 张 艳<sup>2</sup> 许淑芬<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(<sup>2</sup>大连太平洋海珍品有限公司, 116045)

**摘 要** 2010 年, 作者在辽东半岛成功进行了裙带菜室内常温全人工育苗大规模生产试验, 并全程进行了光照强度、温度和配子体发育相关性的研究。研究表明, 采用双高光期( $\geq 50 \mu\text{mol photons}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )调控配子体的生长和发育可达到理想效果。从采苗至度夏前, 采用高光照使配子体充分完成营养生长; 从度夏结束至幼苗出库前, 同样采用高光照, 使配子体快速发育形成孢子体并迅速生长。现场观察表明, 只要光照强度逾越了诱导发育的阈值, 裙带菜配子体在 24 °C 仍然能够正常发育并形成孢子体; 幼孢子体能够耐受 24~26 °C 的高温, 但是最适生长温度为 20~22 °C; 孢子体越小, 耐受高温能力越强。在 24~26 °C 的高温条件下, 幼孢子体生长缓慢, 较大个体会出现尖端溃烂缺失的现象。在整个育苗过程中, 根据温度变化和配子体的显微观察结果因地制宜地对光线进行实时调整。出库前培育的苗帘在幼苗密度、大小和健康方面均达到商业化栽培的要求。

**关键词** 裙带菜 全人工育苗 光控技术 配子体

**中图分类号** S968.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)05-0074-10

## Cultivation of *Undaria pinnatifida* in Liaodong peninsula: irradiance control, ambient temperature changes vs. gametogenesis in seedling production process

PANG Shao-jun<sup>1</sup> SHAN Ti-feng<sup>1</sup> LIU Ming-tai<sup>2</sup>  
ZHANG Yan<sup>2</sup> XU Shu-fen<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>2</sup>Dalian Pacific Seafood Co. Ltd., 116045)

**ABSTRACT** *Undaria pinnatifida* is a commercially important seaweed in China with a more than 30 years of farming history. However, artificial seedling production of this seaweed has not yet been stable. How to control the light intensity according to seasonal changes of temperature is the key to the success of artificial seedling production in practice. In this investigation, we report our large-scale indoor artificial production of seedlings by use of spores at room temperature in Liaodong peninsula, the major farming area of *U. pinnatifida* in China, mainly on

how to control irradiance levels during the 3-month period. According to the requirements of the gametogenesis resulted from our previous studies, we adopted two high irradiance phases ( $\geq 50 \mu\text{mol photons} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) at the beginning and the ending stage. The first high light phase started from seeding of zoospores and ended at the beginning of over-summering phase. This period allowed a full growth of male and female gametophytes. The second high light phase, starting from the end of the over-summering period to the end of the seedling production, allowed a rapid gametogenesis and formation of sporophytes. Under suitable irradiance the gametophytes were able to complete gametogenesis and produce normal young sporophytes even at temperature as high as  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ . The optimal temperature for the growth of young sporophytes was  $20 \sim 22 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $2 \sim 5 \text{ mm}$  sporophytes could temporarily tolerate  $24 \sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$ , however, the smaller they were, the higher the capacity they demonstrated in tolerating higher temperature. Real-time manipulation of irradiance according to the temperature changes and the development of gametophytes over a period of 3 months generated very good results of seedlings on strings in 2010. This investigation will shed light on improvement of techniques in terms of seedling production in this region.

**KEY WORDS** *Undaria pinnatifida* Artificial seedling production  
Irradiance control technique Gametophyte

裙带菜 *Undaria pinnatifida* 是我国辽东、山东半岛沿海重要的栽培海藻,栽培历史有 30 余年(卢书长 1994;胡晓燕 1998;张泽宇等 1999),产品早年主要出口日本(杨弘诣等 2007),近年内销迅速上升,尤其是中肋部分(俗称“梗”)成为深受人们喜爱的海洋植物食品。国内对裙带菜配子体和孢子体的繁殖和发育生物学研究比较透彻,这为裙带菜栽培产业的发展提供了基础的理论支持(逢少军 1996;逢少军等 2000;Zhang *et al.* 2007; Pang *et al.* 2004、2008)。我国北方地区裙带菜栽培所需要的种苗主要来源于两个技术途径,其一是半人工采苗方法,其二是室内全人工常温度夏育苗方法(徐加元等 1994;逢少军等 1994、1998;崔 或等 1998;李建军等 2000;王广军 2003;李凤晨 2003)。后者诞生于 20 世纪 60 年代,其技术要点是通过控制光照强度,调控裙带菜配子体的发育进程,度过不适合孢子体生长的夏季高水温,待秋天水温下降时,开始提高光照强度,促进和完成配子体发育过程。辽东半岛是我国裙带菜的主产区,生产了我国 95% 以上的裙带菜出口和内销产品,目前栽培面积大约  $1 \sim 1.3 \text{ 万 hm}^2$ ,年产量在  $20 \sim 30 \text{ 万 t}$  之间浮动,年产值大约 10 亿元。由于城市建设的发展,辽东半岛原来的主产区由大连市区近海开始转移到南部黄、渤海交界处的旅顺地区。这个地区水深流大,营养盐丰富,产出的裙带菜具有优良的品质,深受消费者喜爱。裙带菜室内常温度夏育苗方法虽然诞生已久,但是在过去 30 年的使用过程中,经常会发生一些问题,影响了后续的大规模栽培过程,造成了产品供给的不稳定性。这些不稳定的因素,有的是育苗技术问题,有的是环境条件发生变化的原因,比如持续的高温、赤潮生物泛滥等。为了能够彻底地剖析裙带菜室内常温低光度夏育苗技术方法的各个环节,2010 年 6~10 月,作者利用 2008~2010 年期间中国科学院海洋研究所海藻种质库和大连太平洋海珍品有限公司联合选育的裙带菜单倍体单克隆杂交优良亲本,在大连旅顺柏岚子海区进行了为期 90 d 的大规模育苗试验,完成了全程光照、温度与配子体发育、育苗效果相关性的现场检测。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验海区和海水状况

实验海区位于辽东半岛大连市旅顺口区柏岚子( $38^\circ 45' \text{N}$ ),濒临黄海,接近黄、渤海交界线。该海区近海表

层水温在夏季最高,可以短暂达到 25 °C,但是大部分时间在 22 °C 以下,冬季最低水温可达 2 °C,但是不结冰。近海礁石海岸,水质清澈,水深 7~30 m,底、表层流大,营养盐丰富,特别适合裙带菜生长。本项全人工育苗使用的海水取自该海区表层 2~3 m 水下,经过短暂沉淀、砂滤之后,直接泵送到育苗池中使用。海区水温、泵房水温和刚刚纳入到育苗池的海水温度变化不大。

## 1.2 裙带菜亲本和采苗

育苗所使用的裙带菜亲本种菜是作者在 2008~2010 年经过多组合单倍体单克隆杂交,根据经济性状从近百个杂交组合后代选育出来的两个杂交品系。这些亲本以辽东半岛传统的表层水筏式栽培方式(王广军 2003;李凤晨 2003)养殖在大连太平洋海珍品有限公司养殖一场外海距离岸边大约 200 m 的养殖区中,养殖水层 0.5~1 m(取决于海流的大小,一日中会有变化)。这部分亲本夹苗在 2009 年 10 月完成,经过一个生长季节到 2010 年 6 月,平均孢子体长度在 2.5~3 m。孢子叶发育完好,深褐色,长度 40~50 cm。孢子叶成熟度、孢子释放量经过现场测试良好以后,将孢子叶在海上切割、清洗,运输到育苗场附近干净的地面,孢子叶阴干 30 min 后,将其集中放置在注满砂滤海水的水泥池中。释放过程持续 20 min,释放水温 18 °C。经过定量游孢子水,投放苗帘,附着 20~30 min 后,开始育苗的过程(张泽宇等 1999;Pang *et al.* 2008b),共接种了 4 920 个苗帘。采苗在 2010 年 6 月 25~26 日完成,整个育苗过程持续 90 d,一直到 9 月 25 日下海暂养为止。育苗过程中全程记录水温变化、配子体发育、幼孢子体形成,光照强度使用球形光度计(QSPL-2100,美国 Biospherical 公司,加利福尼亚)测量。换水周期为隔天全量,添加  $\text{NaNO}_3$  和  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ (终浓度分别为 1 和 0.1 mg/L)补充营养盐。每个水泥池中微充气,以保证水温均匀和营养补给平衡。

## 1.3 育苗池和苗帘

育苗池为长、宽、高各为 4.8、4、1.1 m 的水泥池。矩形的苗帘框架由直径 2.5 cm 的 PVC 管子穿插而成,长、宽各为 0.85、0.62 m,直径 1.2 mm 的维尼纶绳缠绕到框架上。一个苗帘上的苗绳长度是 100 m 左右。育苗池屋顶用玻璃钢制成,可以消减大约 70% 的太阳光照射。屋顶下方,室内育苗池上方水平悬挂可拉伸的黑色和白色遮阳帘各 1 层,用来进一步调节自然光照射强度。

## 1.4 光照测量

整个育苗过程光照强度使用球形光度计(QSPL-2100,美国 Biospherical 公司,加利福尼亚)在育苗池水表面测量,并用更加方便的便携式光量子测定仪换算测量不同位点的有效光照强度。没有特别说明,文中所指的光照强度指育苗池水表面的光照强度。应该指出的是这个强度和附着在苗绳上裙带菜配子体实际接收到的光照强度有比较大的差距。在已经发表的文献中,由于设备的限制,没有一篇论及水中苗绳处实际接受的光照强度的变化,这使得育苗实践过程中与实验室中获得的配子体光照发育参数存在较大差异。

## 1.5 自然水温出苗实验

为了检测在自然水温条件下裙带菜配子体的发育规律,我们定期将附有裙带菜配子体的苗绳转移到自然水温的流水中培育,提供足够配子体发育的光照强度( $60\sim 100 \mu\text{mol photons/m}^2 \cdot \text{s}$ ),定期观察配子体发育和幼孢子体形成、生长和存活的情况,并详细记录。

## 1.6 幼孢子体生长实验

附有雌、雄配子体的苗绳,在低光、高温度夏过程中一直保持着营养状态。这样的配子体在提高光照强度后的 10 d 之内完成配子体发育过程,并受精形成孢子体。用这样的孢子体进行温度测试,以了解形成的 2~5 mm 的幼孢子体能在多大程度上抵御高水温的影响。温度测试实验在可以自动控制温度、光照强度的光照培养箱中完成,温度控制精度为 0.5 °C,3 个重复,测量 10 棵幼孢子体的长度变化。配子体发育和出苗时间在 2010 年 7 月 17 日~8 月 15 日,温度测试在 8 月 15~23 日完成,包括 16、20、22、24、26 °C,培育的光照强度是

100  $\mu\text{mol photons}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ,每天光照时间 12 h,使用 PES 培养基(Starr *et al.* 1987)。

### 1.7 苗帘配子体附着密度、幼孢子体密度和出库苗规格统计

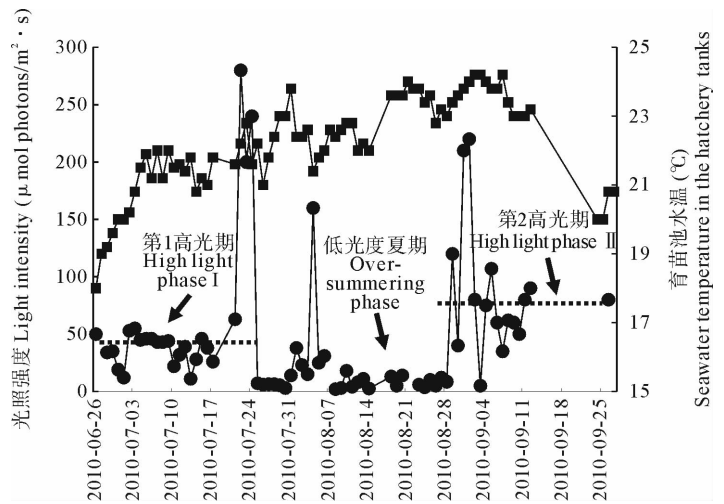
2010年7月8日,附着到苗帘上的游孢子形成在显微镜下易于辨认的配子体后,随机选择3个育苗池,分别随机剪取苗绳一段,在160放大倍数下随机选取有配子体的5个视野,统计配子体数,计算平均数,用来估计配子体的附着密度。2010年7月24日,即度夏前1d,随机选择一段苗绳,统计3个视野内配子体所包含的细胞数。2010年9月24日,即苗帘出库前1d,随机选择6段2cm苗绳,统计表面附着的孢子体数量和大小。

## 2 结果和分析

### 2.1 双高光期光控特征以及日变化特点

图1是从2010年6月25日采苗到幼苗出库下海暂养过程中育苗池海水温度和光照强度的变化过程。由于采苗时,海水自然水温在 $18^\circ\text{C}$ 左右,适合裙带菜配子体发育,在萌发形成配子体后,需要控制光照强度使其处于营养生长阶段。这个过程需要关注的问题是如果裙带菜配子体得不到健康、充分的生长,将会影响后期的出苗时间和密度。根据裙带菜配子体的发育规律,在本研究之中,作者采取了双高光期控制,即:前期和后期分别采用适合裙带菜配子体发育的光照强度。“第1高光期”包括采苗结束后的15~20d以内,通过现场显微观察来确定裙带菜配子体是否已经完成生长过程。高光期结束后就进入低光度夏期,这时的光照强度调整到不能使配子体发育(卵囊和精子囊的形成),而又能够满足配子体的生存需求的范围内。低光度夏期结束后进入“第2高光期”,这个时期的光照强度应该迅速达到能够满足配子体快速发育、进而形成孢子体的水平。“第1高光期”管理过程中应该关注的问题:(1)高光期光照强度的实际把握。根据实际情况来看,控制在 $50 \mu\text{mol photons}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 左右(约2500 Lx),可以保证配子体充分生长(细胞大小作为尺度);(2)杂藻的萌生。各种各样的底栖硅藻和绿藻是裙带菜常温育苗的大害,会影响到出苗密度,严重时会导致整个育苗失败。所以“第1高光期”既要保证配子体在较短时间内完成配子体的形成和生长,同时又需要将杂藻数量限制在尽可能低的水平;(3)苗帘的倒置处理。矩形育苗框架垂直悬挂的问题是上、下光照强度差别大,达到30%的递减效果,所以为了保持上、下配子体的同步发育,需要尽可能频繁地进行上、下面的倒替。

辽东半岛流行的育苗室是玻璃钢瓦覆盖的大棚培育室,玻璃钢瓦屋顶对太阳光的消减程度因瓦的寿命不同而异。2010年作者在旅顺生产测试的育苗室屋顶光照消减量大约是70%。图2是在双高光期、低光度夏期育苗过程4个典型天气中,育苗池表面光照强度白天变化规律。可以看出,在同是晴天条件下,第2高光期对光照强度的释放程度要远远高于第1高光期,其主要道理是在第1高光期,在满足配子体生长条件下,要最大



第1高光期是指自2010年6月25日采苗至7月25日;第2高光期指自8月31日至育苗结束。低光度夏期间光照强度的剧烈上升和局部的操作有关  
High light phase I was from June 25 to July 25, 2010, and phase II was from August 31 to the end of seedling production

(■)和池水面光照强度的变化(●,中午12:00)  
(●, at noon 12:00) above the water surface

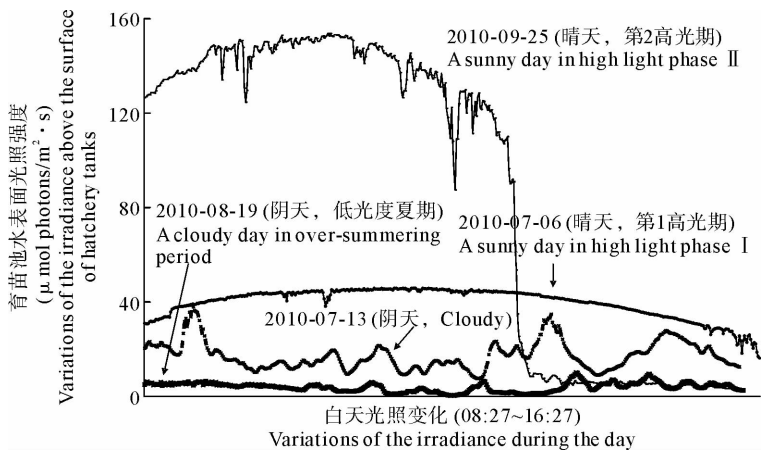
图1 裙带菜室内常温全人工育苗过程中育苗池海水温度  
Fig. 1 Daily seawater temperatures (■) in the hatchery tanks and irradiance levels

程度地限制附着硅藻、绿藻的生长,而第2高光期,要充分利用设施变通能力,提供配子体能够承受的光照强度,促进孢子体的形成和快速生长,使裙带菜在配子体发育、孢子体生长的竞争中胜出附着的底栖硅藻和绿藻,从而实现早下海暂养的目的。

## 2.2 第2高光期光照控制和出苗过程

第2高光期所需要达到的目的是实现配子体快速发育,形成孢子体,从而在海区水温下降到可以容许孢子体快速生长时,苗帘上孢子体已达到一定大小。要避免出现海区水温已经下降到适宜孢子体存活和生长水平,但下海苗帘上仍然以营养状态配子体为主的不利局面。进入第2高光期以后,在水温22~24℃以内,已经完成营养生长的裙带菜配子体(图3-a、图3-b、图3-c),在其他条件适宜时,通常在8~10d左右形成单细胞

孢子体(图4-a、图4-b)。一旦形成孢子体,幼苗的生长速度就可以和附着的底栖硅藻进行竞争,从而摆脱杂藻的影响。因此,第2高光期第1阶段就是限制附着杂藻的生长,促进配子体发育。这个时期,配子体大小和附着的底栖硅藻相当。它们对温度和营养盐需求有相近特点,即:配子体生长需要的所有外部有利因子同样都能促进底栖杂藻生长。能够保证配子体有效附着,同时又可以有效消除附着底栖硅藻数量的实用方法就是采取适宜强度的水流冲洗,冲洗力度控制在可以保证配子体附着,同时可以有效地消减附着硅藻数量,实际力度掌握需要通过现场观察结果来控制,这样就可以让裙带菜幼孢子体迅速生长从而彻底摆脱杂藻的影响。裙带菜孢子体一旦直立,在空间和营养盐的竞争中就占据了绝对的优势(图4-c)。



第1高光期晴天、阴天,低光度夏期阴天,以及第2高光期晴天  
These 4 days included one sunny day and one cloudy day  
in the first high light phase, one day in over-summering  
phase and one day in the second high light phase

图2 2010年裙带菜育苗期间4个典型天气  
中育苗池表面光照强度白天变化情况

Fig. 2 Variations of the irradiance above the surface of hatchery tanks from 8:27 to 16:27 in 4 typical days during the period of seedling production of *U. pinnatifida* in 2010



a. 显示雌雄配子体附着的密度;b. 杂藻的数量(很少);c. 正常配子体的颜色

a. Attachment density;b. Healthy color of the gametophytes;c. Restricted quantities of epiphytic algae

图3 附着在直径1.2 mm的白色维尼纶绳上的裙带菜夏配子体

Fig. 3 Gametophytes of *U. pinnatifida* on the vinylon strings during over-summering phases

现在流行使用的裙带菜常温室全人工育苗设施通常兼用水产动物育苗的水泥池。光照条件不如低温海带夏苗技术中大棚的效果。从实际育苗效率考虑,目前的裙带菜常温育苗流程中尚不能做到所有苗帘水平放置,导致后期需要较高光强时,实际操作无法实现。在辽东半岛,由于自然海水温度在早秋可以迅速下降到适宜孢子体快速生长的阶段。所以,如果条件把握得好,实际上并不需要后期室内通过提高光强来实现孢子体快

速生长达到分苗标准的操作。后期的生长过程(即下海暂养)可以在海区暂养过程中实现。第2高光期的第2阶段,苗帘下海暂养时间必须由海上温度下降幅度以及苗帘上幼苗长度来决定。避免出现幼苗下海过早,海区水温出现反复,附着生物量(赤潮生物、绿藻孢子等)过大,幼苗在没有“露头”之前就被杂藻覆盖,导致海上暂养失败的情况发生。根据上述技术方法并结合对裙带菜配子体发育过程的深刻理解,2010年在旅顺取得了非常理想的实际效果(图5)。

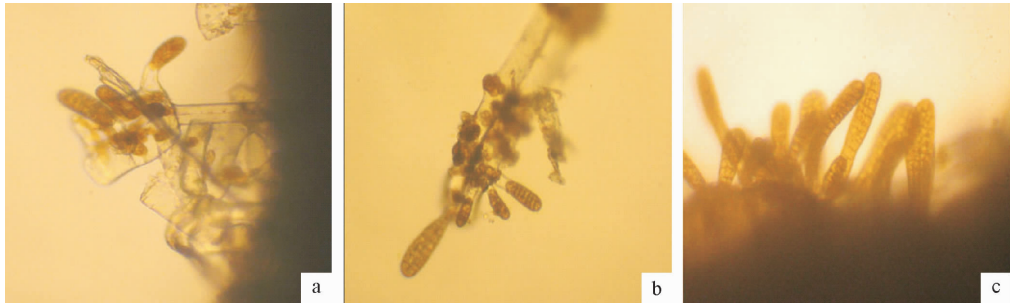


图4 在第2高光期,通过提高光照强度促进已经完成营养生长的裙带菜配子体发育形成孢子体,并通过改变条件促进孢子体快速生长达到摆脱杂藻影响的目的,实现早下海暂养

Fig. 4 In the second high light phase, relative higher irradiance was adjusted to facilitate gametogenesis and the formation of young sporophytes. Optimal conditions were provided for the sporophytes to outgrow epiphytic organisms on the strings with the purpose to transplant them to open sea as early as possible

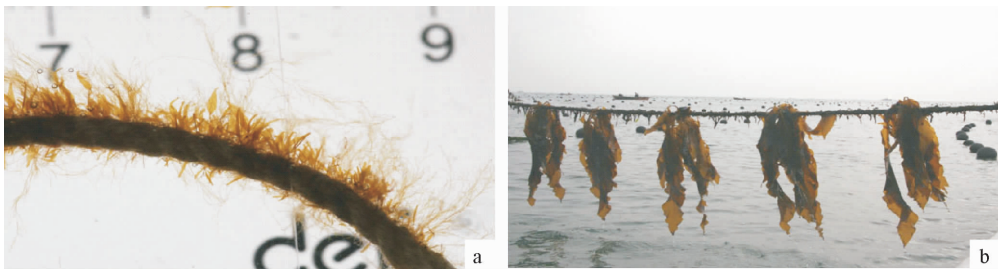


图5 下海暂养后出苗(a)以及夹苗栽培后生长在养殖绳上的裙带菜孢子体(b)

Fig. 5 Young sporophytes of *U. pinnatifida* on vinylon strings after temporary cultivation in open sea (a) and one month after insertion of seedlings in the main cultivation rope (b)

### 2.3 大连旅顺地区海水温度变化特点、采苗、配子体生长和发育进程

在大连旅顺地区,自然海水温度具有春季上升缓慢、秋季随着冷空气的到来快速下降的特点(图6)。在裙带菜种菜孢子叶成熟的6月中下旬,当自然海水表层温度上升到 $16\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,由于温室效应的结果,裙带菜育苗池的水温比自然海水温度平均高 $2\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,达到 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。由于裙带菜孢子游动的时间随着温度的上升而缩短,为了有充足的时间进行苗帘操作,采苗的过程需要在比较低的温度条件下完成。当自然海水温度达到 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,孢子叶已经完全成熟,因此从裙带菜性成熟、海水自然温度两个方面综合考虑,6月25~30日是大连旅顺地区最适宜的采苗时间。6月25日~7月23日,裙带菜育苗池水温一直保持在 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,适合配子体的快速生长并达到能够在低温条件下快速发育的尺寸,从而完全符合进入低光度夏的标准。随后的30d,裙带菜育苗池水温上升到了 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,短暂时间升到了 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这个时期,在育苗的实际操作过程中,作者针对性地采取了低光控制发育进度的方式,将光线控制在使配子体处于营养生长状态。2010年夏、秋交汇的8月底~9月上旬,育苗室内水温最高,达到了 $24\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,前后持续时间大约30d(图6)。这段时间,育苗池水温比海上



水温高 1~2 °C;裙带菜配子体在 24 °C 以内,当光照条件适宜时,都能在 10 d 左右完成配子体发育形成孢子体(图 7, A~D)。因此,9 月初结束低光度夏后,通过加强流水,降低育苗池水温,并同时提高光照强度促进配子体发育取得了非常好的实际效果,到 9 月 25 日为止,苗绳上幼孢子体出苗均匀,这时海上水温也下降到适宜孢子体快速生长的水平(图 7E)。

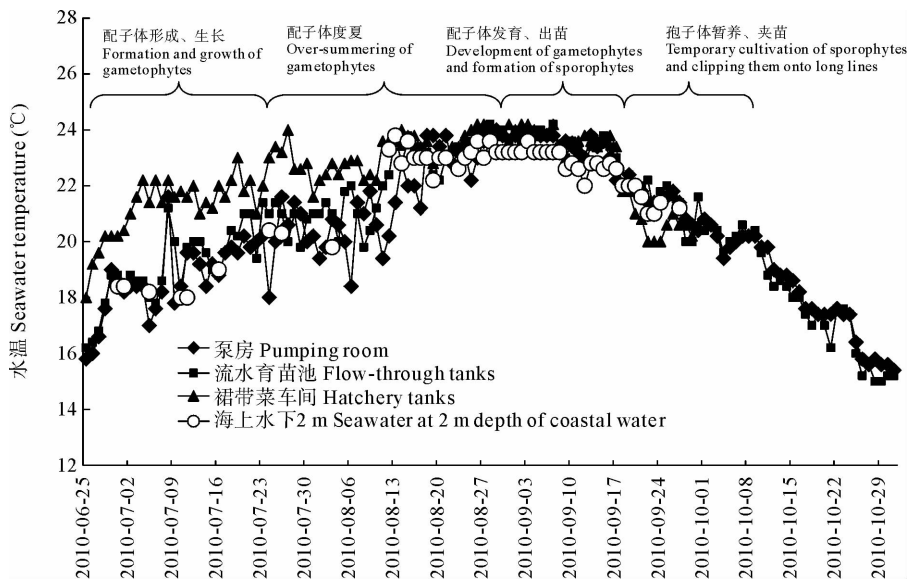
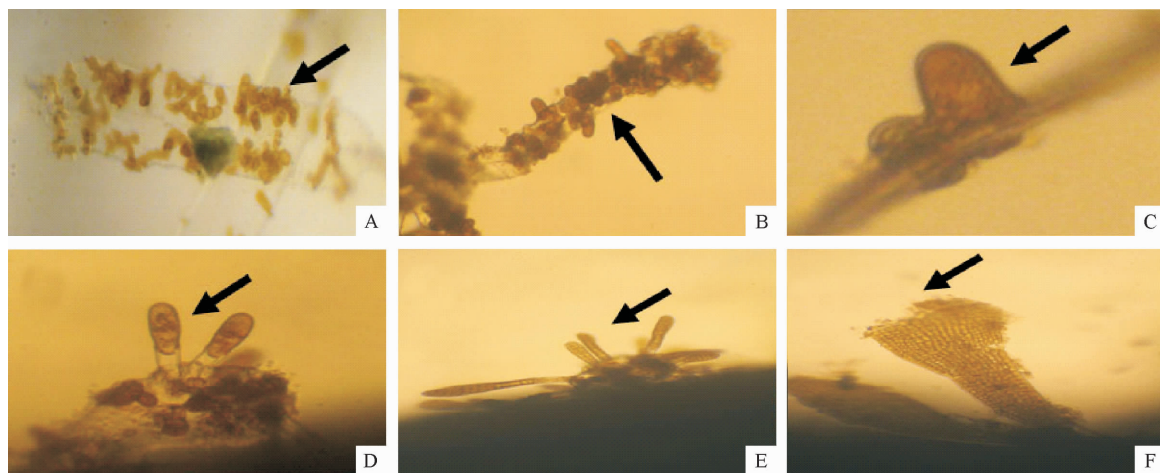


图 6 大连旅顺柏岚子海区自 2010 年 6 月 25 日~10 月 30 日期间近海水下 2 m,裙带菜育苗场泵房、流水培育池、裙带菜育苗池的水温自然变化情况及相对应的附着在苗帘上的裙带菜配子体生长发育过程

Fig. 6 Temperature of the seawater at 2 m depth of coastal water, in the pumping room, flow-through tanks, and the hatchery tanks of *Undaria pinnatifida* in Bailanzi, Lushun, Dalian from June 25 to October 30, 2010. Corresponding growth and development phases of gametophytes of *U. pinnatifida* are indicated on top of the figures



营养生长的配子体(A),发育(B,C),形成孢子体(D,E)以及由于高温带来的较大的孢子体烂尖现象(F)  
A: Vegetative growth; B and C: Gametogenesis development; D and E: Formation of juvenile sporophytes;  
F: Rotten tip of larger sporophytes resulted from high seawater temperature

图 7 2010 年大连旅顺裙带菜全人工室温育苗过程中附着在苗绳上的裙带菜配子体生长

Fig. 7 Sequential phases of the gametophytes on the strings in the process of indoor artificial seedling production conducted in Lushun, Dalian in 2010, as indicated by arrows

## 2.4 配子体发育以及幼孢子体生长的适温问题

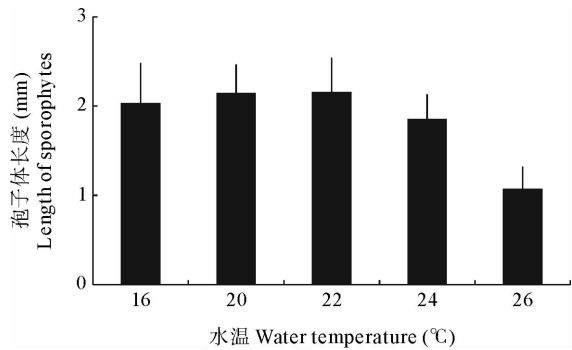
从2010年的育苗测试研究实践来看,所选择的亲本子一代配子体在水温24℃以内,当光照强度适宜时,都能逐渐完成发育过程,并受精形成孢子体。在裙带菜常温度夏全人工育苗过程中需要特别关注的一个问题是要避免配子体过早完成发育。如果出现这个现象,度夏期间会损失相当数量的配子体,而形成的孢子体在高水温的8月下旬会出现烂苗现象,并不能被最终利用。从幼孢子体温度耐受能力来看(图8),1~3mm的幼孢子体能够短暂抵御26℃的高水温,但是孢子体的长度、宽度和颜色都远不如在低温16~22℃时健康,而且苗绳上的幼苗数量在测试期间明显下降。幼孢子体的最佳生长温度是20~22℃,这也符合作者在育苗中的观察。从这些结果来看,裙带菜幼孢子体越小,耐受相对高温(24~26℃)的能力越强。

## 2.5 自然水温流水育苗过程

采苗完成后的7月9日~8月30日,共进行了3次育苗测试,测试期间自然水温和流水池的水温从17℃逐渐上升到了23℃(图9),从配子体到出现单细胞孢子体的时间分别是20、9、10d。第2、3次测试的出苗时间和后期大规模提光后的出苗时间一致。第1次测试过程中出现的幼孢子体能够一直在随后到来的24℃高水温中存活下来,但是出现尖端溃烂的现象(图7F);这3次测试过程中所形成的幼孢子体在随后到来的高水温过程中,保持着存活状态,但是生长速度极为缓慢。由于测试需要大幅度地提高光照强度,所以在这些测试实验的苗绳上附着了大量的底栖硅藻和绿藻。这些杂藻也在很大程度上影响了幼孢子体的生长过程。

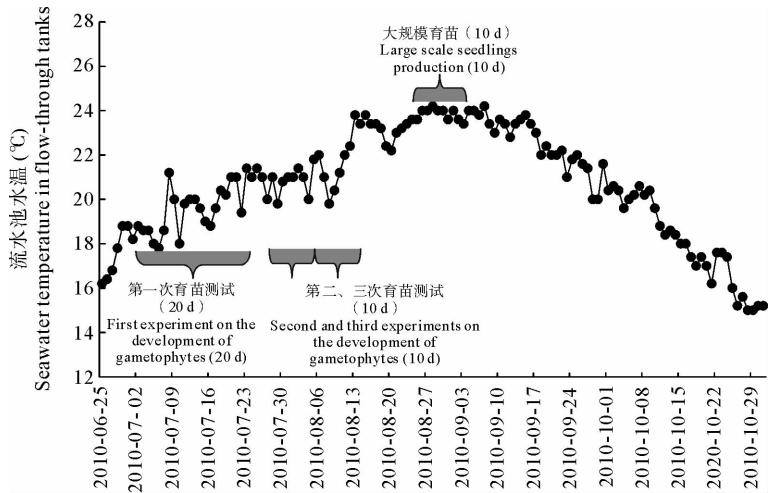
## 2.6 苗帘配子体附着密度、幼孢子体密度和出库苗规格

2010年7月8日,160放大倍数下每个视野平均有32个配子体。2010年7月24日,最大的配子体具有6



培养时间:8 d,光照强度:100 μmol photons/m<sup>2</sup> · s, PES培养基,每天光照时间12 h, n=10  
Cultured for 8 days in PES medium at 16~26 °C and 100 μmol photons/m<sup>2</sup> · s irradiance level under a 12 h light : 12 h dark photoperiod (n=10)

图8 裙带菜幼孢子体在水温16~26℃之间的长度增长情况  
Fig. 8 Length increase of young sporophytes of *U. pinnatifida*



第1、2、3次所需要的出苗时间分别是20、9、10 d,期间水温在19~22℃之间,光照强度在60~100 μmol photons/m<sup>2</sup> · s  
Sporophytes occurred within 20, 9 and 10 days in the first, second and third experiment, respectively

The seawater temperature was 19~22 °C, irradiance varying between 60 and 100 μmol photons/m<sup>2</sup> · s during experiments

图9 2010年大连旅顺自然流水水温配子体发育测试

Fig. 9 Three experiments on the development of gametophytes of *U. pinnatifida* in flow-through tanks in ambient temperature in Lushun, Dalian in 2010



个细胞,占0.8%。1~5细胞的配子体分别占10.2%,54.7%,24.5%,7.6%,2.2%。雌配子体多数为1~2个细胞,雄配子体大多具有两个以上的细胞。有极少数配子体表现出发育的迹象(卵囊或精囊的突起),因此说明在度夏前1 d,配子体已获得充分生长。幼孢子体出库前1 d,即2010年9月24日,苗绳上孢子体的密度为99个/cm,平均大小为116  $\mu\text{m}$ 。苗帘附苗均匀,所有苗帘均达到出库要求。

### 3 讨论

关于裙带菜室内人工育苗研究,张泽宇等(1999)曾有过系统的报道,将室内培育分为配子体生长、配子体度夏、配子体成熟和幼孢子体生长4个阶段。陈勇等(2008)对裙带菜孢子液浓度、附着基坡度和海水浊度对孢子附着密度的影响进行了详尽研究。最近Hwang等(2010)报道了裙带菜相近种*Undariopsis peterseniana*的人工育苗研究。本研究在前人的工作基础上,更加深入地对裙带菜全人工育苗过程中的光控制技术进行剖析,获得了非常理想的效果。

#### 3.1 双高光控制技术与裙带菜配子体生长发育的关系

在第1高光期大部分将光照强度控制在50  $\mu\text{mol photons}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 左右(阴雨天会有较大的下降),在这个阶段,通过显微观察来掌握配子体的生长情况。本年度测试中,在第1高光期末期,显微观察的结果显示配子体的大小和细胞数未达到预期值,因此采取了短暂提高光强,最高可达280  $\mu\text{mol photons}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (图1)。当水温上升到23  $^{\circ}\text{C}$ 以上,第1高光期结束,配子体进入度夏阶段。在整个第1高光期阶段,未发现配子体发育的现象,这说明在配子体的营养生长未充分完成时,即使光强一直维持在较高水平,配子体也不会进入发育阶段。在第1高光期,要根据配子的显微观察结果对光强进行调整,使配子体能够充分生长。

在第2高光期,要迅速将光强提高,使配子体快速发育进而形成孢子体。此阶段,如果水温有较大浮动或者一直维持在较高水平,可以调整光照强度从而控制孢子体的生长速度。双高光期之间是密切联系的,只有第1高光期阶段配子体充分生长,才能保证第2高光期配子体迅速发育和出苗,否则可能影响最终的出库时间,从而缩短海上生长周期。

#### 3.2 光照调控系统

本研究中所用的光线调控系统为可人工拉伸的黑帘和白帘,可以基本满足裙带菜育苗过程中光照调控的需要。这种光控系统与海带夏苗系统相比,显得较为落后。海带育苗过程中的光照调控已初步实现自动化,因此,裙带菜育苗可以参考海带育苗过程中的光控系统,可以更加节省人力,保障光照强度的实时调控。

#### 3.3 光照调控要因地制宜

裙带菜是一种我国自有的、温水性大型经济褐藻,在我国分布南到浙江舟山群岛。裙带菜配子体的发育可以在比较高的水温条件下完成,发育的适温跨度大,从5~24  $^{\circ}\text{C}$ 都能完成。整体而言,过低和过高的水温都会降低发育速度,而最适宜的配子体发育水温应当在18~22  $^{\circ}\text{C}$ 之间(张泽宇等 1999;Zhang *et al.* 2007)。根据这个特点,结合辽东半岛裙带菜主产区近海海域自然水温变化规律,在裙带菜全人工种苗培育过程中,需要因地制宜地采取灵活的光照强度控制方法,既能保证裙带菜配子体完成生长、发育的过程,又能够最大程度地限制附着“天敌”各种杂藻的生长,保证在海区水温下降到适宜于幼孢子体生长范围时,裙带菜幼苗已经达到了可以出海暂养的长度。2010年,作者在大连旅顺地区采取的双高光强光照控制技术方法,有效地保障了上述目的的实现,取得了非常好的实际育苗效果。因为辽东半岛裙带菜主产区位于黄、渤海交界处,在这个区域,不同近海,水温的变化幅度大不相同,所以,在实际育苗过程中,最重要的是要因地制宜,采取最适合裙带菜配子体发育的技术方法来执行技术操作,才能取得最佳的实际效果。

#### 3.4 裙带菜配子体发育的温度上限

24  $^{\circ}\text{C}$ 被认为是裙带菜配子体发育的温度上限(Zhang *et al.* 2007)。在本次大规模育苗测试过程中,水

温在 24℃ 的阶段,任何时候只要提高光照强度到适合配子体发育的水平,都能在 2~3 d 以后观察到雌配子体发育形成卵囊的现象,这些观察结果印证了前人 24℃ 适合配子体发育的结果。2010 年度的育苗生产测试没有在现场遭遇持续 24℃ 以上的高温,所以没有得到相应的现场发育结果。从现场检测的海上表层 2 m 以下的水温来看,在育苗测试的海域海上的水温始终没有高过 24℃。由此可以推测,海区自然生长的配子体同时进行着营养生长和发育两个过程,这个发现应当对裙带菜半人工采苗具有重要的启发作用。很明显在旅顺沿海,当自然水温不高于 24℃ 时,裙带菜配子体就具备了整个季节能够发育的条件,何时提高光照强度,促进这个过程就变得十分关键,而控制着这个时间节点的关键因子就是海上温度的下降幅度以及幼孢子体在不同水温和光照强度的生长表现。前者决定孢子体的存活,后者决定孢子体的生长速度是否足够快而摆脱掉附着生物的不利影响。

### 3.5 结合温度变化在全人工育苗过程中提光促进配子体发育的时间掌握

本研究 3 次自然水温流水育苗测试对 2010 年大规模育苗生产的成功提供了非常重要的参数,其重要性表现在:(1)苗帘上附着的配子体的营养生长状态距离能够发育还有多长时间;(2)准确地提供了配子体密度的数据,因为只有通过出苗密度,才能够实际反映出附着的游孢子和配子体的密度是否满足商业化栽培的需要,而通常情况下,只有季节性育苗结束时才能得到结论;(3)为如何控制度夏期间的光照强度以及何时结束度夏阶段、全面提高光照强度提供了重要的参考。这些现场实时测试的结果使作者在很多关键环节都能做到未雨绸缪,提前制定应对策略,保证了大规模育苗生产的顺利进行。在本项研究中,1~3 mm 的幼孢子体生长速度在 24~26℃ 的相对高温条件下,明显不如 16~22℃;在育苗池中对苗帘长期的观察结果也表明,虽然 24℃ 配子体能够完成发育,但是幼孢子体的生长速度极为缓慢,并且尖端逐渐溃烂缺失。因此已经完成了主体配子体发育的苗帘究竟在何时开始下海暂养,应当完全取决于海区水温的下降程度和是否存在反复。另外一个值得考量的问题是海区附着生物量的季节性变化规律。

## 参 考 文 献

- 王广军. 2003. 裙带菜的栽培技术. 渔业致富指南, 24: 42~43
- 卢书长. 1994. 裙带菜水池常温育苗技术. 齐鲁渔业, 11(5): 16~17
- 李凤晨. 2003. 裙带菜的筏式养殖技术. 河北渔业, 5: 33~45
- 李建军, 广树起, 赵升志, 杜忆幽, 谢在峻. 2000. 裙带菜全人工苗缠筏身水平式养殖试验. 水产科学, 19(5): 20~23
- 杨弘诣, 谭学恩, 张国辉, 程刚, 孙大勇. 2007. 引进日本裙带菜苗种风险性分析. 中国国境卫生检疫杂志, 30(5): 305~308
- 张泽宇, 曹淑清, 由学策, 范春江, 苏延明. 1999. 裙带菜室内人工育苗的研究. 大连水产学院学报, 14(2): 7~12
- 陈勇, 邵丽萍, 郑晓贤, 刘国山. 2008. 裙带菜孢子液浓度、附着基坡度和海水浊度对孢子附着密度的影响. 大连水产学院学报, 23(3): 192~195
- 胡晓燕. 1998. 裙带菜的养殖加工与应用. 海洋科学, 22(3): 15~18
- 逢少军, 肖天. 2000. 裙带菜雄配子体营养生长过程中的营养吸收. 海洋与湖沼, 31(1): 35~38
- 逢少军, 吴超元. 1994. 我国裙带菜人工育苗技术的现状和展望. 海洋科学, 6: 25~27
- 逢少军, 胡晓燕, 栾珠先, 李兆生, 郭振勇. 1998. 山东地区裙带菜人工养殖业的有关问题. 海洋科学, 4: 38~41
- 逢少军. 1996. 日光照时数对裙带菜配子体发育的影响. 海洋与湖沼, 27(3): 302~307
- 徐加元, 王德秀. 1994. 山东南部沿海裙带菜工厂化育苗技术研究. 齐鲁渔业, 11(2): 23~24
- 崔或, 张士达, 毕从斌, 贺业强, 刘述锡. 1998. 关于裙带菜全人工苗种与半人工苗种相结合的几点建议. 水产科学, 17(4): 40~42
- Hwang, E. K., Gong, Y. G., and Park, C. S. 2011. Cultivation of a brown alga, *Undariopsis peterseniana* (Kjellman) Miyabe and Okamura, as a warm-temperature species by artificial seed production in Korea. J. Appl. Phycol. 23(3): 449~455
- Pang, S. J., and Lüning, K. 2004. Photoperiodic long-day control of sporophyll and hair formation in the brown alga *Undaria pinnatifida*. J. Appl. Phycol. 16(2): 83~92
- Pang, S. J., Shan, T. F., and Zhang, Z. H. 2008. Responses of vegetative gametophytes of *Undaria pinnatifida* to high irradiance in the process of gametogenesis. Phycol. Res. 56(4): 280~287
- Pang, S. J., and Shan, T. F. 2008. Zoospores of *Undaria pinnatifida*: their efficiency to attach under different water velocities and conjugation behavior during attachment. Acta Oceanol. Sin. 27(5): 1~8
- Starr, R., and Zeikus, J. A. 1987. UTEX-the culture collection of algae at the University of Texas at Austin. J. Phycol. 23 (Suppl.): 1~47
- Zhang, Z. H., and Pang, S. J. 2007. Circadian rhythms in the growth and reproduction of the brown alga *Undaria pinnatifida* and gametogenesis under different photoperiods. Acta Oceanol. Sin. 26(4): 104~111