

文章编号:1000-0615(2007)01-0112-08

坛紫菜抗高温品系的筛选

严兴洪, 马少玉

(上海水产大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室,上海高校水产养殖学E-研究院,上海 200090)

摘要:从已获得的4种坛紫菜优质高产品系中,筛选出抗高温的优良品系YZ-3。在28℃和29℃下培养15d后,YZ-3品系的壳孢子成活率分别达73.2%和52.6%,分裂率分别为100%和82.8%;而对照组野生型(WT)品系的壳孢子成活率分别只有10.3%和4.6%,分裂率分别为89.7%和65.9%;YZ-3品系的壳孢子成活率和分裂率均远高于WT品系。把在常温(24℃)下培养35d的壳孢子苗,再分别培养在24、28和29℃作抗高温试验,培养25d后发现,YZ-3品系的幼苗平均体长分别增加了33.6、23和15倍,而WT品系的苗平均体长分别只增加了7.7、1.4和0.9倍;YZ-3品系的苗平均体长分别是WT品系的3.8、8.8和7.4倍。在28℃和29℃组,WT品系幼苗培养15d就大面积腐烂;而YZ-3品系幼苗培养25d也不腐烂。上述结果表明YZ-3品系是抗高温的。

关键词:坛紫菜;叶状体;品系;高温;壳孢子;生长

中图分类号:Q 949.29⁺²

文献标识码:A

Selection of a high-temperature resistant strain of *Porphyra haitanensis* (Rhodophyta)

YAN Xing-hong, MA Shao-yu

(Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecosystem Certificated by the Ministry of Agriculture, Aquaculture Division, E-Institute of Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: In this paper, it was verified that the improved strain (YZ-3) of *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng obtained previously in the lab is a high-temperature resistant strain. When the conchospores of the YZ-3 strains and the wild-type strain (WT) were cultured at 28℃ and 29℃, the survival rate of conchospores was 73.2% and 52.6% for YZ-3 strain, but 10.3 and 4.6% for WT strain, respectively. The division rate of conchospores at 28℃ and 29℃ was 100 and 82.8% for YZ-3 strain, and 89.7% and 65.9% for WT strain, respectively. Both survival and division rates of conchospores of YZ-3 strain were significantly higher than those of WT strain either in culture at 28℃ and 29℃. When the conchospore germlings of YZ-3 and WT strains which have been cultured at 24℃ for 35 days were cultured at 24℃, 28℃ and 29℃ for 25 days, the mean length of blades increased 33.6, 23 and 15 times for YZ-3 strain, and

收稿日期:2006-04-04

资助项目:国家高科技研究发展计划(“八六三”计划)资助项目(2002AA603023,2006AA10A413);国家自然科学基金资助项目(30170734,30571443);上海市自然科学基金资助项目(05RZ14110);上海市重点学科建设项目(Y1101);上海市E-研究院水产养殖学科特聘研究员项目(E030090)

作者简介:严兴洪(1958-),男,浙江义乌人,博士,教授,博士生导师,主要从事海洋生物生理生态,海藻生物技术和遗传育种研究。
E-mail: xhyan@shfu.edu.cn

only 7.7, 1.4 and 0.9 times for *WT* strain compared with the original mean length, respectively. When the blades cultured at 24 °C, 28 °C and 29 °C, the mean length of the blades of *YZ-3* strain was 3.8, 8.8 and 7.4 times as *WT* strain, respectively. When the blades were cultured at 28 °C and 29 °C, the blades of *WT* strain began to decay after cultured for 15 days, however, the blades of *YZ-3* strain did not decay even being cultured for 25 days. These results indicated that *YZ-3* strain is strongly resistant to high temperature (28 °C and 29 °C).

Key words: *Porphyra haitanensis*; gametophytic blade; strain; high-temperature; conchospore; growth

紫菜是我国重要的海水养殖对象之一,其栽培种主要有坛紫菜 (*Porphyra haitanensis*) 和条斑紫菜 (*Porphyra yezoensis*)。坛紫菜在福建、浙江和广东沿海被广泛栽培,但由于人工栽培规模不断扩大,栽培密度的增大,群体内近交等原因,栽培 40 多年的坛紫菜野生种出现了严重退化,产量和品质不断下降。近十多年来,秋季采苗季节的水温相对上升和采苗 1 个月后水温的回升已影响到坛紫菜的生长和产量。同时,长时间的高温又使紫菜叶状体的抗病力下降,易受病害感染,最终叶状体腐烂并从网绳上脱落,降低产量^[1]。因此,培育抗高温的坛紫菜优良品种对促进紫菜生产有重要的意义。

紫菜色素突变体是藻类生理学、遗传与育种研究等十分有用的材料,得到了广泛应用,并取得了一系列研究成果^[3-4]。近十多年来,国内外对紫菜人工色素突变体进行了研究^[5-9]。我们利用人工诱变获得了许多坛紫菜色素突变体^[10],并从中筛选出数个优质高产的坛紫菜品系^[11],本文对已获得的坛紫菜优良品系进行抗高温筛选,旨在选育出既优质高产又抗高温的品系,并逐步将其培育成良种应用于生产。

1 材料与方 法

1.1 坛紫菜品系与室内叶状体的培养

本试验所用的坛紫菜野生型品系 (*WT*),其叶状体采自福建平潭岛的岩礁上,以自由丝状体的形式被保存在实验室内。用于筛选抗高温品系的坛紫菜品系为 *YZ-1*, *YZ-2*, *YZ-3* 和 *YZB-1*,它们分别是通过人工诱变获得的^[11]。坛紫菜叶状体的室内培养方法见文献^[11]。

1.2 坛紫菜抗高温品系的筛选

取日龄为 40 d 的野生品系 (*WT*) 和 4 种优良品系 (*YZ-1*, *YZ-2*, *YZ-3* 和 *YZB-1*) 的叶状体,用打孔器各取 20 个圆盘体 ($d=0.25$ cm),每 10 个一

组分别置于培养瓶 (500 mL) 内进行冲气培养,培养温度分别为 24 °C 和 28 °C,光照密度 $93 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光周期 10 L: 14 D,海水盐度为 26,培养液由自然海水加 MES 培养基配成^[12],每隔 2 天换一次培养液,每隔 5 天测量一次圆盘体的大小。

1.3 *WT* 和 *YZ-3* 品系的壳孢子抗高温性比较

将两品系刚释放的壳孢子分别倒入培养皿 ($d=9$ cm),静止 24 h 后,计数每个培养皿内的壳孢子数 (20 个视野,10 ×),获得单个视野的壳孢子平均数,然后将盛有壳孢子的培养皿分别置于 24、28 和 29 °C 下培养,其它培养条件同上。每隔 5 天换一次培养液,每隔 3 天观察一次壳孢子的成活及分裂情况。

1.4 *WT* 和 *YZ-3* 品系的幼苗抗高温性比较

分别随机挑出健康完整的在 24 °C 下培养 35 d 的壳孢子苗 (体长 2 ~ 3 cm) 各 30 棵,每 10 棵一组,置于培养瓶 (1 L) 冲气培养,培养温度分别为 24、28 和 29 °C,其它培养条件同上。每隔 2 天换一次培养液,每隔 5 天测量一次叶状体长度。

1.5 高温下培养 *YZ-3* 品系叶状体特性分析

在 24 °C 下培养 35 d 的 *YZ-3* 品系壳孢子苗,再在 24、28 和 29 °C 下培养 25 d 后,测定叶状体的活体吸收光谱及 3 种主要的光合色素和色素蛋白的含量。叶状体活体吸收光谱和叶绿素 a (Chl. a) 的测定方法同文献^[5],藻红蛋白 (PE) 和藻蓝蛋白 (PC) 的测量方法同文献^[13]。

2 结果

2.1 不同品系的叶状体抗高温比较

在 28 °C 组中,*WT* 品系的叶片生长缓慢,培养到第 8 天出现腐烂,到第 22 天几乎全部腐烂;*YZ-1* 品系的叶片生长缓慢,到第 5 天出现烂洞,第 14 天几乎完全腐烂;*YZ-2* 品系生长较快,但培养到第 7 天,叶片出现腐烂,随后烂孔逐渐扩大;

YZ-3 和 YZB-1 品系生长较快,到第 25 天叶片未出现腐烂(图版 I-1)。不同品系的圆盘体生长情况如表 1 所示。比较 24 °C 和 28 °C 组中的各品系的圆盘体生长情况发现,同一品系内的各温度组间生长差异均极显著($P < 0.01$);另外,在 24 °C 和 28 °C 下培养的各品系的生长均快于野生品系,其差异极显著($P < 0.01$)。

2.2 WT 和 YZ-3 品系的壳孢子抗高温性差异

根据叶状体的圆盘体抗高温试验结果,初步判定 YZ-3 品系是较抗高温的品系,于是我们对该品系作了进一步的抗高温性试验。如表 2 和表 3 所示,在 28 °C 和 29 °C 下培养 3 d 后,WT 品系的壳孢子存活率较低,分别为 15.6% 和 8.6%,且存活的壳孢子分裂率较低,分别为 75.9% 和 42.2%。但 YZ-3 品系的壳孢子在 28 °C 和 29 °C 下培养 3 d 后,其存活率分别为 88.3% 和 85%,分

裂率分别为 81.6% 和 72%,成活率分别是同种温度下培养的 WT 品系的 5.7 倍和 9.9 倍($P < 0.01$),分裂率分别为 1.1 倍和 1.7 倍($P < 0.01$)。培养至第 15 天,在 28 °C 和 29 °C 下培养的 WT 壳孢子萌发体,其成活率进一步降低,分别是 10.3% 和 4.8%,分裂率也较低,分别为 89.7% 和 65.9%;而在 28 °C 和 29 °C 下培养的 YZ-3 品系,其壳孢子萌发体的成活率分别在 73.2% 和 52.6% 以上,分裂率则很高,分别为 100% 和 82.8%,与 WT 品系相比,两者的差异极显著($P < 0.01$)。比较常温(24 °C)和高温(28 °C 和 29 °C)下培养的壳孢子萌发体形态发现,在常温下生长的壳孢子萌发体,形状规则、颜色艳丽;而在高温下生长的壳孢子萌发体,有的形态不规则呈畸形,且颜色变红偏黄(图版 I-2~6)。

表 1 不同温度下培养的坛紫菜野生品系和改良品系圆盘体的平均直径增加情况

Tab.1 Growth of blade discs of the wide type strain (WT) and the improved strains (YZ-1, YZ-2, YZ-3 and YZB-1) in *Porphyra haitanensis* cultured at different temperature

培养天数 (d) culture days	WT		YZ-1		YZ-2		YZ-3		YZB-1		mm
	24 °C	28 °C	24 °C	28 °C	24 °C	28 °C	24 °C	28 °C	24 °C	28 °C	
	0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
5	4.5 ± 0.9	3.8 ± 0.6	7.3 ± 0.3*	4.8 ± 0.3*	7.5 ± 0.4*	4.7 ± 0.9*	7.3 ± 0.3*	6.8 ± 0.4*	6.3 ± 0.7*	5.1 ± 0.8*	
10	6.4 ± 0.9	4.8 ± 0.7	18.1 ± 0.9*		25.7 ± 0.9*	14.8 ± 0.9*	17.4 ± 0.9*	14.1 ± 0.9*	18.9 ± 0.9*	11.4 ± 0.8*	
15	12.8 ± 0.8	5.4 ± 0.9	40.3 ± 0.8*		53.0 ± 0.9*	21.6 ± 0.7*	39.1 ± 0.8*	24.1 ± 0.9*	54.1 ± 0.9*	19.4 ± 0.5*	
20	12.9 ± 0.9	6.9 ± 0.9	56.0 ± 0.9*		76.9 ± 0.8*	31.7 ± 0.8*	60.1 ± 0.8*	32.9 ± 0.8*	82.7 ± 0.7*	28.9 ± 0.8*	
25	13.9 ± 1.0		79.5 ± 0.9*		91.5 ± 0.9*	38.1 ± 1*	78.8 ± 0.9*	39.2 ± 0.9*	112.8 ± 1*	29.5 ± 0.5*	

注:表中的空白处表明此温度下培养的圆盘体已完全腐烂,未测得数据。* 表示 t 检验差异极显著($P < 0.01$)

Notes: The blanks in the table indicates the blades was decayed. * high significantly different ($P < 0.01$)

表 2 在 24 °C、28 °C 和 29 °C 下培养的坛紫菜 WT 和 YZ-3 品系的壳孢子成活率

Tab.2 The survival rates of the conchospores of WT and YZ-3 strains of *Porphyra haitanensis* cultured at 24 °C, 28 °C and 29 °C

培养天数 (d) culture days	WT			YZ-3			%
	24 °C	28 °C	29 °C	24 °C	28 °C	29 °C	
	3	93.2	15.6	8.6	95.5	88.3**	
6	90.0	12.3	7.5	93.9*	80.8**	69.5**	
9	87.6	11.5	6.4	92.4*	79.5**	62.9**	
12	85.0	10.9	5.6	91.4*	77.0**	55.8**	
15	84.6	10.3	4.8	90.9*	73.2**	52.6**	

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

Notes: * significantly different ($P < 0.05$), ** high significantly different ($P < 0.01$)

2.3 WT 和 YZ-3 品系的叶状体抗高温性差异

在常温 24 °C 下培养 35 d 的 WT 幼苗,被分别

置于 28 °C 和 29 °C 下培养,生长速度缓慢,15 d 左右就出现烂洞,烂洞处的细胞变白死亡。幼苗在

28 ℃和29 ℃组的生长远差于24 ℃组的生长,但28 ℃和29 ℃两组间的生长差异不大(图1)。培养25 d后,叶状体上腐烂加重,叶片变厚,出现严重卷曲(图版II-2~3)。而在28 ℃和29 ℃下培养的YZ-3 幼苗其生长明显比WT 幼苗快,但叶片的颜色变淡,光泽变差。随着培养时间的延长,高温下培养的叶状体变硬变厚,但没有出现腐烂现象。28 ℃组的YZ-3 品系的幼苗生长比29 ℃组快,但比常温组慢(图2)。高温组(28 ℃和29

℃)的生长与常温组的生长相比虽存在较大差异,但其差异没有WT 品系那么大,培养25 d的叶状体也不出现腐烂(图版II-5~6)。培养25 d后发现,YZ-3 品系的幼苗平均体长在24 ℃,28 ℃和29 ℃组分别增加了33.6,23 和15 倍,而WT 品系的苗平均体长分别只增加了7.7,1.4 和0.9 倍。YZ-3 品系的苗平均体长,在24 ℃组中是WT 品系的3.8 倍,但在28 ℃和29 ℃组中分别是WT 品系的8.8 倍和7.4 倍。

表3 在24 ℃、28 ℃和29 ℃下培养的坛紫菜WT 和YZ-3 品系的壳孢子分裂率

Tab.3 The division rates of the conchospores of WT and YZ-3 strains of *Porphyra haitanensis* cultured at 24 ℃, 28 ℃ and 29 ℃

培养天数 (d) culture days	WT			YZ-3		
	24 ℃	28 ℃	29 ℃	24 ℃	28 ℃	29 ℃
3	90.5	75.9	42.2	92.1	81.6 **	72 **
6	95.4	80.6	52.0	93.6	89.6 **	78.3 **
9	100	87.4	60.5	100	91.5 **	80.8 **
12	100	89.2	64.5	100	96.7 **	82.6 **
15	100	89.7	65.9	100	100 **	82.8 **

注: ** $P < 0.01$

Notes: ** high significantly different ($P < 0.01$)

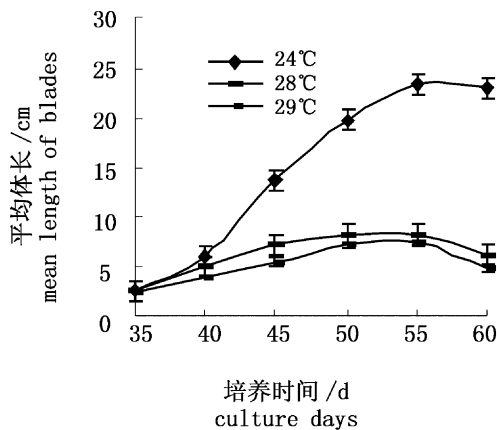


图1 坛紫菜WT 品系的幼苗在24 ℃、28 ℃和29 ℃下的生长情况

Fig.1 Blade growth of WT strain of *Porphyra haitanensis* cultured at 24 ℃, 28 ℃ and 29 ℃

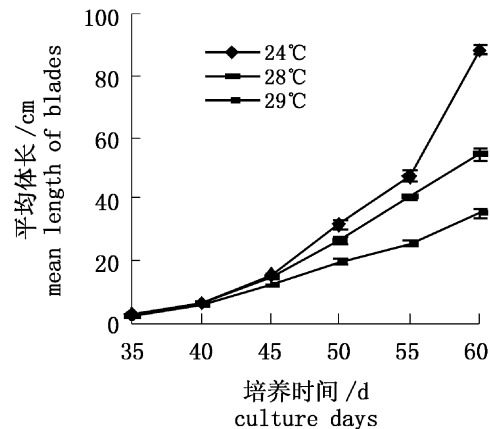


图2 坛紫菜YZ-3 品系的幼苗在24 ℃、28 ℃和29 ℃下生长情况

Fig.2 Blade growth of YZ-3 strain of *Porphyra haitanensis* cultured at 24 ℃, 28 ℃ and 29 ℃

2.4 高温下培养的YZ-3 品系叶状体的活体吸收光谱和主要光合色素含量变化

与条斑紫菜一样,坛紫菜叶状体活体的吸收光谱在波长350~750 nm 之间也存在5 个明显的吸收高峰,而且各峰顶所处的波长与条斑紫菜基本相同。YZ-3 品系的幼苗在28 ℃和29 ℃培养25 d 后,叶状体的活体光谱与常温下培养的叶状

体相比,有较大的差异,5 个吸收峰的峰顶值比常温下培养的叶状体低,而且随着培养温度的升高,各吸收峰值均有下降(图3)。

图4 表示在3 组温度下培养的叶状体的3 种主要光合色素和色素蛋白(Chl. a、PE 和PC)的含量。在28 ℃和29 ℃下培养的叶状体,其Chl. a、PE 和PC 三者的含量均明显低于在24 ℃下培养

的叶状体, t 检验的差异极显著 ($P < 0.01$), 随着温度的升高, 这三者的含量均逐渐下降。与 24 °C 下培养的叶状体相比, 在 28 °C 和 29 °C 下培养的叶状体, 其 Chl. *a*、PE 和 PC 含量分别降低 11.7%、5.5% 和 17.6%, 以及 36.2%、53.6% 和 35.9%。三者含量下降的幅度均是 28 °C 组小于 29 °C 组。

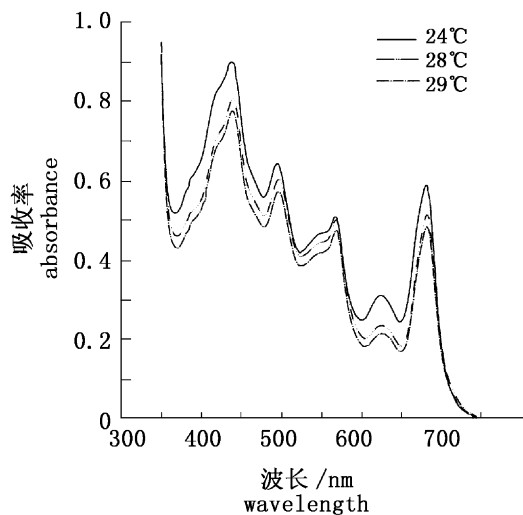


图3 在 24 °C 下培养 35 d 坛紫菜 YZ-3 品系幼苗再在不同温度下培养 25 d 后的叶状体活体吸收光谱变化

Fig. 3 *In vivo* absorption spectra of the 35 day-aged gametophytic blades of YZ-3 strain in *Porphyra haitanensis* after being cultured at 24 °C, 28 °C and 29 °C for other 25 days

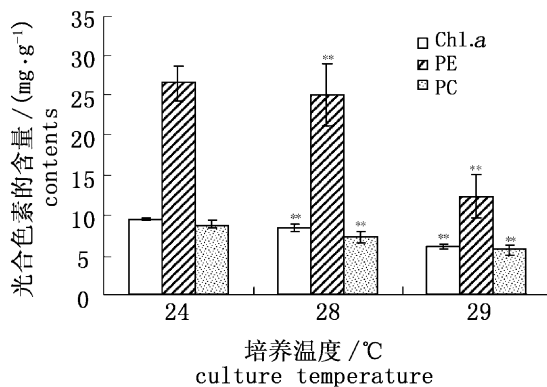


图4 在 24 °C 下培养 35 d 坛紫菜 YZ-3 品系幼苗再在不同温度下培养 25 d 后的 Chl. *a*、PE 和 PC 含量变化

Fig. 4 Contents of Chl. *a*, PE and PC in the gametophytic blades (aged for 35 days, at 24 °C) of YZ-3 strain of *Porphyra haitanensis* after being cultured at 24 °C, 28 °C and 29 °C for other 25 days

3 讨论

坛紫菜壳孢子放散的水温较高, 当水温降至 27 °C 时, 就会出现大量放散, 采苗的合适温度在 25 ~ 27 °C, 过高或过低均不适宜壳孢子的萌发生长^[14]。随着水温的下降, 壳孢子萌发体也逐渐生长, 发育成较大的叶状体之后, 如果水温发生回升, 生长速度随着温度的升高而减慢, 如果水温出现较长时间的回升, 叶状体就会脱网或病烂^[1]。本研究中使用不同品系的叶状体进行高温试验也发现, 在 24 °C 下培养 35 d 的坛紫菜 WT 品系的壳孢子萌发体转入 28 °C 下培养 8 d 就出现腐烂, 到第 22 天几乎完全腐烂。而 4 个坛紫菜优良品系中, YZ-1 品系的抗高温性比野生型还差; YZ-2 在 28 °C 下虽可以较快地生长, 但培养 1 周后, 叶片也出现了烂洞, 说明不抗高温; 只有 YZ-3 和 YZB-1 品系在 28 °C 下不仅生长快, 而且再培养 25 d 也不会出现腐烂。YZ-3 品系的叶状体圆盘体在 28 °C 下培养 25 d, 其平均长度是常温 (24 °C) 下培养的 50% 左右, 但 YZB-1 品系叶状体圆盘体在 28 °C 下培养 25 d 后, 平均长度只有常温组 26% 左右。

在 28 °C 和 29 °C 下培养 6 d 后, WT 品系的壳孢子的成活率分别是常温 (24 °C) 组的 13.6% 和 8.3%, 而抗高温品系 YZ-3 的壳孢子存活率分别是常温组的 86% 和 74%, 这说明 WT 品系壳孢子无法耐 28 °C 以上的温度, 而 YZ-3 品系的壳孢子可耐此高温。在 28 °C 和 29 °C 下, WT 和 YZ-3 品系的壳孢子成活率都随着培养时间的延长而逐渐下降, 在前 3 天下降最明显, 第 6 天后 28 °C 组下降很少, 但 29 °C 组下降较明显, 这说明 29 °C 对壳孢子的存活是不适合的。如果继续在 29 °C 下培养 2 周, 95% 的 WT 品系壳孢子死亡了, 但 YZ-3 品系仍有约 53% 的壳孢子活着, 说明它们是耐高温的。

比较 WT 和 YZ-3 两品系的幼苗在 24 °C、28 °C 和 29 °C 下的生长情况可以发现, 当日龄增至 55 d 时, WT 品系已经成熟, 生长减缓。而品系 YZ-3 不论在常温还是在高温下仍然处于生长曲线的指数期, 没有出现成熟迹象。在 24 °C 下培养 35 d 的 WT 品系幼苗被培养在 28 °C 和 29 °C 下, 不到第 15 天就出现了腐烂; 而 YZ-3 品系幼苗在相同温度下培养, 没有出现腐烂。在 28 °C 和 29

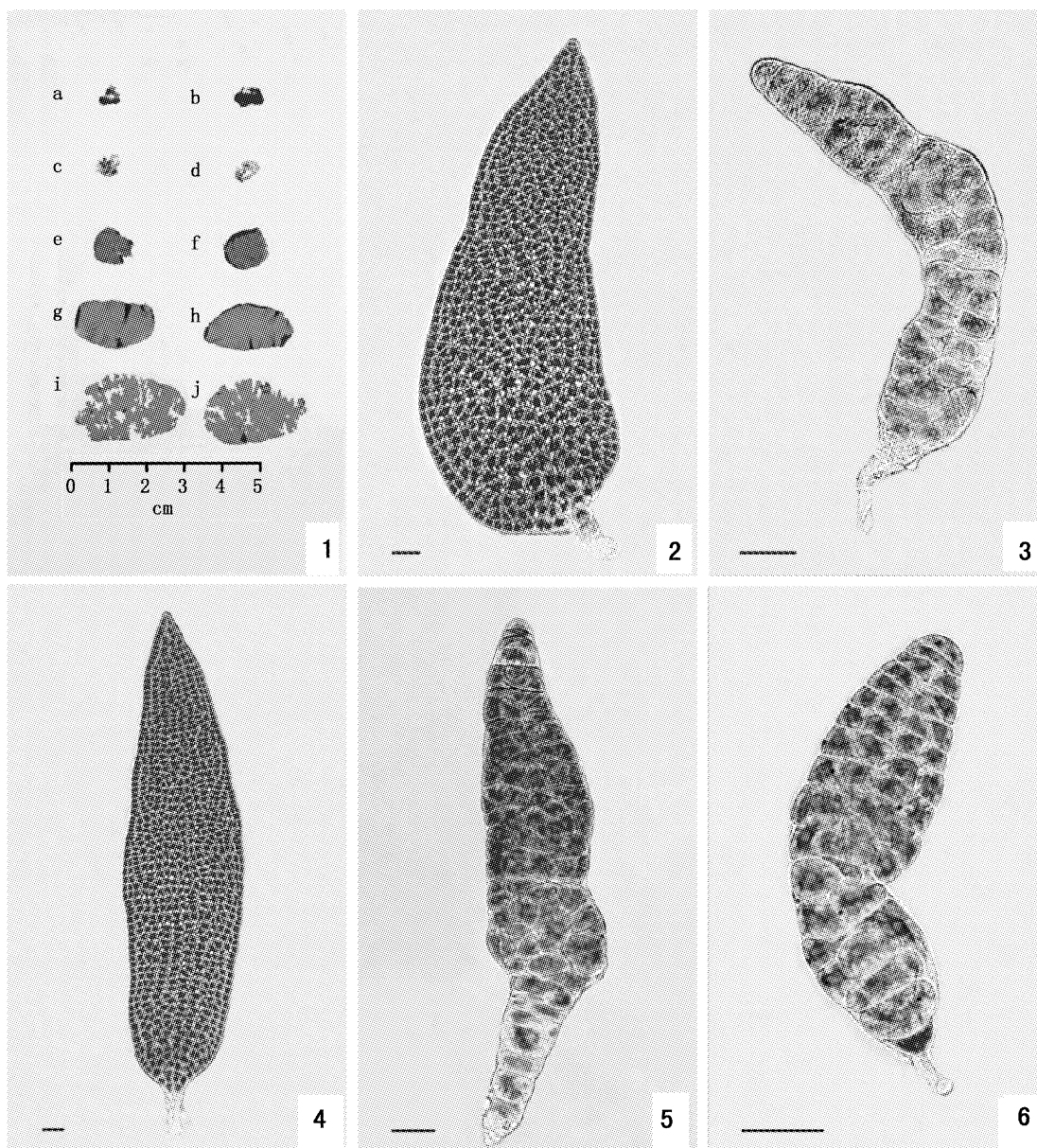
℃培养 20 d 后,WT 品系苗的平均体长分别只有 24 ℃组的 35.7% 和 31.7%,而 YZ-3 品系平均体长分别达到 24 ℃组的 85.3% 和 53.7%,这说明 YZ-3 品系是相当抗高温的,不仅它的壳孢子抗高温,而且它的幼苗对高温回升也有很强的忍耐力。比较在 24 ℃、28 ℃和 29 ℃下培养的 WT 和 YZ-3 品系的生长情况可以看出,当日龄达 60 d 时,在 24 ℃、28 ℃和 29 ℃组,YZ-3 品系叶状体平均体长分别是 WT 品系的 3.8 倍、8.8 倍和 7.4 倍,高温下生长差异更明显。

YZ-3 品系与 WT 品系相比,其壳孢子的成活和分裂以及幼苗对高温的回复均有很强的抗高温性。YZ-3 品系叶状体在 28 ℃下,生长较快,主要光合色素含量降低较少,表现出较好的生物学特点。当温度升至 29 ℃时,虽然没有发生腐烂,但生长较慢,叶片的活体吸收光谱曲线也低于常温培养的叶片,主要光合色素含量明显降低。

自然海区生长的坛紫菜,其壳孢子萌发与小苗期的生长适温在 26 ~ 27 ℃,肉眼可见苗至 5 cm 左右的幼苗生长适温约为 23 ~ 25 ℃,自 5 cm 生长到 20 ~ 40 cm,正处于 11 月份,水温 19 ℃左右^[15]。据近 5 年来的调查,每年的坛紫菜都在壳孢子采苗后 1 个半月左右时遭遇到水温较大幅度的回升,即所谓的小阳春,造成苗生长停止,严重时造成烂苗掉苗,给生产带来很大的损失。本实验筛选出来的 YZ-3 品系,不仅它的壳孢子可以在 29 ℃下较好的存活和萌发,而且在常温(24 ℃)下培养的幼苗对高温(28 ℃和 29 ℃)的回升也有很强的忍耐力,生长较好,不烂苗,这说明该品系抗高温,今后将在生产上有较大的应用前景。

参考文献:

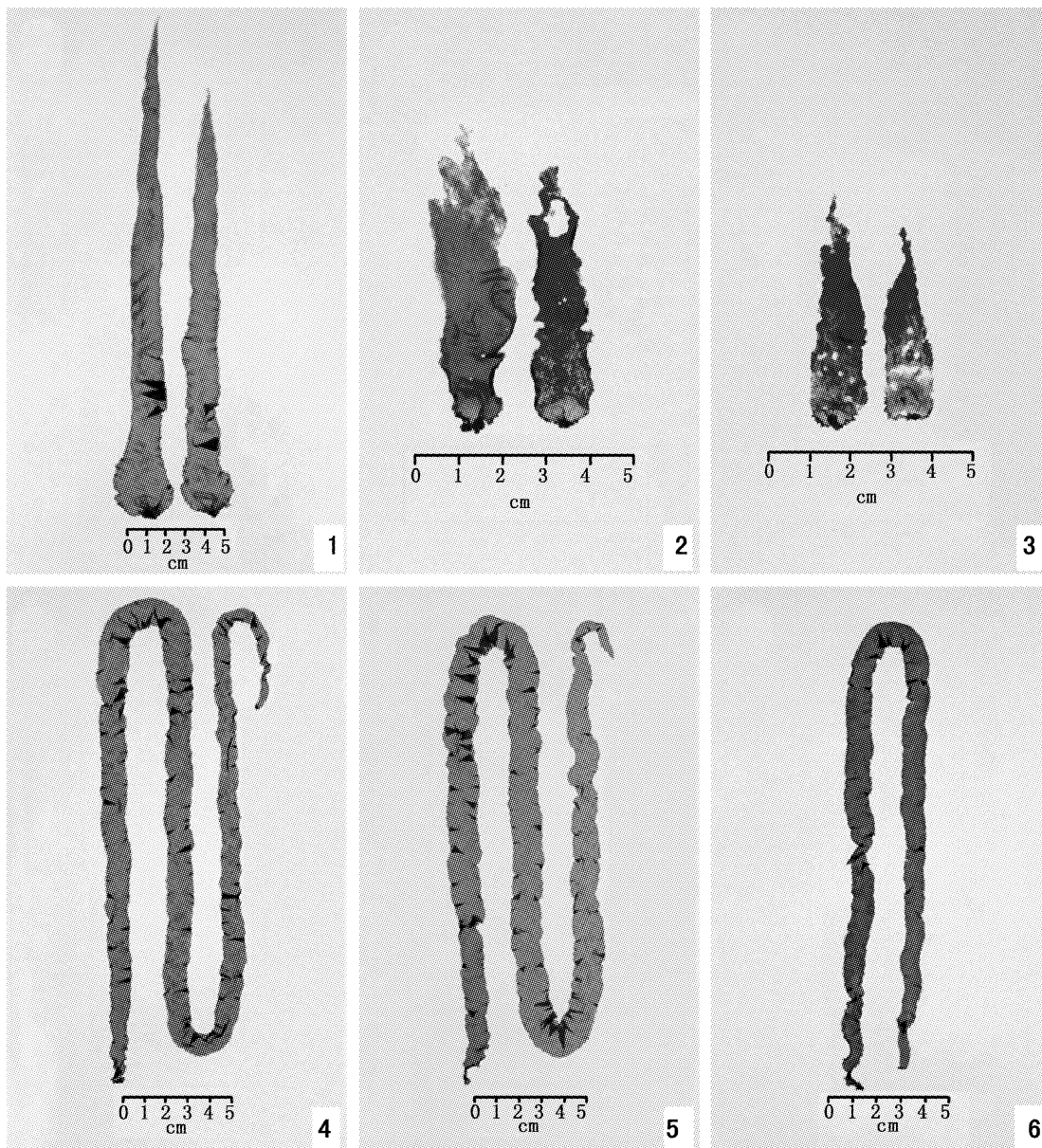
- [1] 李西林. 坛紫菜壳孢子采苗时间[J]. 福建水产, 1992, 2:40-42.
- [2] 高原隆明,三浦昭雄,有贺佑胜. スサビノリの緑色突然変異体の培養實驗[J]. うみ,1976, 14: 101-117.
- [3] Ohme M, Kunifuji Y, Miura A. Cross experiments of the color mutants in *Porphyra yezoensis* Ueda[J]. Jap J Phycol, 1986, 34:101-106.
- [4] Miura A, Shin J A. Cross breeding in cultivars of *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta). A preliminary report[J]. Korean J Phycol, 1989, 4: 207-211.
- [5] Yan X H, Aruga Y. Induction of pigmentation mutants by treatment of monospore germlings with MNNG in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta)[J]. Algae, 1997, 12:39-54.
- [6] Wang S J, Zheng Y Z, Ma L B, et al. Gamma-rays induction of mutation in conchocelis of *Porphyra yezoensis*[J]. Chin J Oceanol Limnol, 2000, 18(1): 47-53.
- [7] 严兴洪, 田中次郎, 有贺佑胜. 条斑紫菜色彩突变体的诱导, 分离和特性分析[J]. 水产学报, 2000, 24(3):221-228.
- [8] 许 璞. 紫菜色素突变体诱导与遗传特征[D]. 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 1997:14-81.
- [9] 严兴洪, 李 琳, 陈俊华, 等. 坛紫菜的遗传与育种[C]. 国家 863 计划资源环境技术领域第一届海洋生物高技术论坛论文集, 2003:107-113.
- [10] 严兴洪, 梁志强, 宋武林, 等. 坛紫菜人工色素突变体的诱变与分离[J]. 水产学报, 2005, 29(2):166-172.
- [11] 梁志强. 坛紫菜遗传育种的初步研究[D]. 上海水产大学硕士学位论文, 2004.
- [12] 王素娟, 张小平, 徐云龙, 等. 坛紫菜营养细胞和原生质体培养的研究[J]. 海洋学报, 1986, 17(3): 217-221.
- [13] Gao H F. The variation in the contents of phycobiliproteins from *Porphyra haitanensis* collected in different growing stages[J]. Ocean et Limnol Sinica, 1993, 24(6):645-648.
- [14] 福建省水产局. 坛紫菜人工养殖[M]. 福州: 福建人民出版社, 1979:1-101.
- [15] 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.



图版 I 坛紫菜野生品系 (WT) 和优良品系 (YZ-1, YZ-2, YZ-3 和 YZB-1) 的叶状体圆盘体的抗高温试验以及不同温度下培养两品系的壳孢子萌发体
Plate I Blade discs of the wide type (WT) and the improved strains (YZ-1, YZ-2, YZ-3 and YZB-1) cultured in high temperature and the conchospore germlings cultured at different temperature in *Porphyra haitanensis*

1. 28 °C 下培养 15 d 的圆盘体: a, b: WT; c, d: YZ-1; e, f: YZB-1; g, h: YZ-3; i, j: YZ-2; 2~3. 分别为 24 °C, 28 °C 下培养 18 d 的 WT 壳孢子萌发体; 4~6. 分别为 24, 28 和 29 °C 下培养 18 d 的 YZ-3 壳孢子萌发体. 图中标尺均代表 50 μm

1. Blade discs cultured at 28 °C for 15 days: a, b: WT; c, d: YZ-1; e, f: YZB-1; g, h: YZ-3; i, j: YZ-2; 2-3. Conchospore germlings of WT strain cultured at 24 °C, 28 °C for 18 days; 4-6. Conchospore germlings of YZ-3 strain cultured at 24 °C, 28 °C and 29 °C for 18 days. Scale bar = 50 μm in 2-6.



图版 II 在 24 °C 下培养 35 d 的坛紫菜 WT 与 YZ-3 品系幼苗再在不同温度下培养 25 d 后的叶状体

Plate II The 35 days-aged gametophytic blades of WT and YZ-3 strains after cultured at 24, 28 and 29 °C for 25 days

1~3. 在 24、28 和 29 °C 下培养的 WT 品系叶状体; 4~6. 在 24、28 和 29 °C 下培养的 YZ-3 品系叶状体

1-3. Gametophytic blades of WT strain cultured at 24 °C, 28 °C and 29 °C; 4-6. Gametophytic blades of YZ-3 strain cultured at 24 °C, 28 °C and 29 °C