

坛紫菜优良品系“申福2号”的特性分析与海区中试

王长青¹, 严兴洪^{1*}, 黄林彬¹, 刘长军²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 浙江省象山县水产养殖技术推广站, 浙江 象山 315700)

摘要:以人工选育的坛紫菜优良品种“申福1号”(SF-1)、优良品系“申福2号”(SF-2)和野生型品系(WT)为材料,通过室内培养与海区中试,对SF-2的优良特性和生产适用性进行评估。结果发现,与WT相比,SF-2的叶状体在生长速率、藻胆蛋白含量、藻体厚度及产量上均存在十分显著的优势。在相同的室内培养条件下,SF-2叶状体的绝对生长速率显著高于WT,培养至90 d时,其平均长度为(391.6±47.37) cm,是WT的10倍。3个品系(种)的叶状体活体吸收光谱在350~750 nm范围内均存在5个明显的吸收峰,SF-1与SF-2之间的各峰值差别较小,但均明显高于WT。SF-2叶状体的藻胆蛋白(PE+PC)含量为(90.81±3.98) mg/g,是WT的1.95倍左右,比SF-1的含量稍高。SF-2叶状体的平均厚度为(31.95±4.16) μm,分别比WT与SF-1薄38.7%和14.0%。SF-2的壳孢子放散量约为28.6万个/壳,比SF-1提高了43.0%,可以满足生产采苗需求。海区栽培的前四水鲜菜重量,SF-2为24 000 kg/hm²,比WT和SF-1分别增加30.1%和6.7%。上述结果证实,SF-2的海区壳孢子放散量可以达到生产要求,叶状体的生长速率、生长期、产量和品质比WT均明显提高,生长优势十分明显。所以,该品系有望在生产上进行大规模栽培。

关键词:坛紫菜;优良品系;生长速率;藻胆蛋白;中试

中图分类号: Q 948.8; S 917.3

文献标志码: A

坛紫菜(*Porphyra haitanensis* Chang et Zheng)属于暖温性红藻,是我国的特有种,在福建、浙江和广东沿海被广泛养殖。坛紫菜在我国已有50多年的栽培历史,其产量约占我国紫菜总产量的75%^[1-2]。坛紫菜人工栽培所用种菜主要来自福建省平潭岛自然礁石上的野生种,但随着紫菜养殖面积的扩大,种菜供不应求,各地养殖者只能采用养殖筏架上的坛紫菜做种菜。在几十年的栽培过程中,由于近亲繁殖、重复留种等原因,造成坛紫菜种质退化,抗逆性下降^[3-4]。近年来,由于紫菜养殖面积不断增加,养殖台筏设置密、条帘布局密等问题日益严重,加上养殖海区规划无序,导致潮流交换不顺、营养匮乏,致使坛紫菜养殖过程中病害频发^[4-5]。另外,由于全球变

暖导致的海水温度逐年升高和广大养殖者盲目提早壳孢子采苗时间等原因^[3,6-7],导致秋季坛紫菜采苗后烂苗及脱苗等问题突出,严重影响了该产业的可持续发展。

为解决上述问题,国内外学者相继通过杂交育种和诱变育种等多种途径对坛紫菜进行人工选育^[8-12],以期获得产量高、品质好及抗逆性强的优良品系,为坛紫菜产业的健康发展打下基础。坛紫菜“申福1号”(SF-1)是本实验室选育的优良品种,具有生长快、藻胆蛋白含量高、生长期长和抗高温等优良特性^[6,13]。但在推广期间也发现:由于SF-1采用自由丝状体移植育苗,秋季的壳孢子放散量不足,只能通过增加贝壳丝状体的贝壳数量来满足采苗所要求的壳孢子数量,相对

收稿日期:2011-05-03 修回日期:2011-06-15

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA10A413);国家自然科学基金项目(31072208);农业部公益性专项(200903030);上海市科委重点科技攻关项目(10391901100);国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201105008, 201105023);上海市教委重点学科建设项目(J50701)

通讯作者:严兴洪,E-mail:xhyan@shou.edu.cn

就增加了苗种成本。因此,选育出既具有与 *SF-1* 类似的优良特性,同时壳孢子放散量大的坛紫菜新品种,具有重要的应用价值。

本文以实验室选育的坛紫菜 *SF-1*、“申福2号”(*SF-2*)和野生型品系(*WT*)为材料,通过室内培养及海区中试,对3个品系(种)的壳孢子放散量、生长速率、藻胆蛋白含量和产量等方面进行比较,以评估 *SF-2* 的优良性状和适用性,为其推广应用提供理论支持。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

坛紫菜优良品系 *SF-1* 和优良品系 *SF-2* 由本实验室通过⁶⁰Co- γ 射线人工诱变获得^[14],并以自由丝状体的形式保存于实验室内,野生型品系(*WT*,PT-001)的来源、分离与保存同文献[15]。

1.2 叶状体的生长率、活体吸收光谱和主要光合色素含量的测定

叶状体生长率的测定 取各品系(种)成熟贝壳丝状体于250 mL烧杯内(含50 mL灭菌海水),放入若干棉线作为壳孢子的附着基质,充气刺激壳孢子放散,并将附着壳孢子的棉线转移到250 mL充气瓶内培养[光照强度35 $\mu\text{mol photons}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光周期10L:14D,温度(23 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$]。壳孢子苗长至肉眼可见后,随机挑选20棵进行培养,每5天测量长度。海区养殖的壳孢子苗长至肉眼可见后,每7天于同一海区同一养殖阀架上随机取样30棵,测量长度。各测量结果取平均值作生长曲线并分别计算其绝对生长率 K_1 与特定生长率 K_2 ,计算公式分别为

$$K_1 = (L - L_0)/t \quad (1)$$

$$K_2 = (\ln N - \ln N_0)/t \quad (2)$$

式中, L 、 N 均代表本次测量的叶状体的平均长度, L_0 、 N_0 代表上一次测量的叶状体的平均长度, t 为时间,单位以天(d)计。

活体吸收光谱、叶绿素及藻胆蛋白的测定

叶状体在室内培养至50 d时,分别测定基部、中部及梢部的活体吸收光谱、叶绿素 a (Chl. a) 及藻胆蛋白(PE和PC)的含量。活体吸收光谱及Chl. a 含量的测定方法同文献[15]。PE和PC的测定方法参照高洪峰^[16],略加修改:取新鲜样品于80 $^{\circ}\text{C}$ 烘干、称重,加入适量蒸馏水浸泡后置-20 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱

内反复冻融3~5次,研磨后加蒸馏水溶解蛋白质,研磨液离心(12 000 r/min,20 min)2次后取上清,用紫外分光光度计(UV-2102 PCS,上海尤尼柯公司)分别测定 OD_{562} 、 OD_{615} 、 OD_{650} 、 OD_{652} 和 OD_{750} ,根据相关公式计算PE和PC含量(mg/g)。

1.3 叶状体厚度测定

取室内培养的50 d日龄的叶状体(对应海区第一水的叶状体),用冰冻切片机(Frigocut 2700, Reichert Jung, LEICA 公司)对基部、中部和梢部做横切片,在OLYMPUS-BH光学显微镜下,用Image-Pro Express软件分别测量各部位的厚度。每个部位测量30次,取平均值作为该部位叶状体的厚度。

1.4 壳孢子放散实验

SF-1 及 *SF-2* 采用自由丝状体移植采苗技术育苗^[2,13],*WT* 采用传统的果孢子采苗技术育苗^[2]。采壳孢子前夕,取3个品系(种)成熟的贝壳丝状体各6壳(贝壳高约4 cm),在自然海区刺激过夜(12 h左右),次日6点取回,分别倒扣在100 mL海水中,每半小时搅动10 s左右,至11点取出贝壳得到壳孢子水,摇匀后每品系(种)各取1滴壳孢子水镜检(物镜10 \times),记录每个视野中可见的壳孢子数。每品系(种)计数10个视野,取平均值,用滴水法^[2]计算1个贝壳的壳孢子放散量。

1.5 海区养殖叶状体的长度及亩产测定

坛紫菜中试海区选福建省福鼎市秦屿镇小元当海区(120 $^{\circ}$ 29'16"10W,纬度:27 $^{\circ}$ 97'34"N),其南面为东海,海域开阔,潮流交换良好,比较适合紫菜的生长。在同一中试海区,每水坛紫菜采收时,从3个品系(种)中分别随机选取30棵测量其长度并取平均值。本文以福建省福鼎市秦屿地区标准为准,以20张网帘(规格为3.8 m \times 3.6 m)上所采收的紫菜重量作为667 m^2 的产量。

2 结果

2.1 各品系(种)叶状体的特性分析

叶状体的形态及生长 *SF-1* 和 *SF-2* 的叶状体呈暗红褐色,小苗期颜色偏红,边缘刺较少,藻体细长型,*SF-2* 基部较 *SF-1* 宽。*WT* 藻体呈褐绿色,小苗基部偏暗绿色,梢部偏暗红色,叶状体呈披针形(图版I)。

从室内条件下的生长情况分析,3个品系

(种)在 35 d 之前的叶状体长度差异不太明显。*SF-1* 与 *SF-2* 各阶段的生长趋势相似,在 35 d 之后进入快速生长期,叶状体长度均迅速增长。61 d 后,由于 *SF-2* 绝对生长率开始高于 *SF-1*,其叶状体平均长度开始比 *SF-1* 长。至 90 d 时,*SF-2* 叶状体平均长度为 (391.6 ± 47.37) cm,*SF-1* 平均长度为 (317.8 ± 33.50) cm,而 *WT* 的生长明显慢于两个新品系(种),*WT* 叶状体平均长度仅为 (39.0 ± 6.07) cm(图 1,表 1)。

3 个品系(种)的特定生长率均呈现为前期高,并随时间延长而逐渐降低的趋势。*WT* 整个生长期生长都很缓慢,绝对生长率最大值出现在 40 ~ 50 d,仅为 0.99 cm/d,而 *SF-1* 与 *SF-2* 在 40 d 之前叶状体生长稍快于 *WT*,但是 40 d 之后叶状体长度迅速增长,且持续时间相当长,两个优良品系(种)的绝对生长率最大值均出现在 61 ~ 70 d 日龄段,分别为 10.17 与 13.64 cm/d,至日龄 90 d 时,仍保持较高的绝对生长率(表 1)。从

整个生长期分析,*SF-2* 的生长率,尤其是后期绝对生长率略高于 *SF-1*,且远远高于 *WT*,并保持很长的快速生长期,因此,*SF-2* 在生长方面的优势十分明显(图 1)。

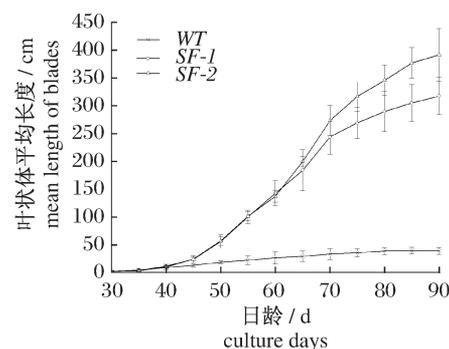


图 1 室内培养的坛紫菜不同品系(种) (*WT*,*SF-1* 与 *SF-2*)的叶状体生长曲线

Fig. 1 Growth curves of the gametophytic blades of the *WT*,*SF-1* and *SF-2* strains in *P. haitanensis* cultured in the lab

表 1 室内培养的坛紫菜不同品系(种) (*WT*,*SF-1* 和 *SF-2*)叶状体生长率比较

Tab. 1 Growth rates of the gametophytic blades of *WT*,*SF-1* and *SF-2* strains of *P. haitanensis* cultured in the lab

日龄/d culture days	绝对生长率/(cm/d) absolute growth rate			特定生长率 specific growth rate		
	<i>WT</i>	<i>SF-1</i>	<i>SF-2</i>	<i>WT</i>	<i>SF-1</i>	<i>SF-2</i>
31 ~ 40	0.64	0.95	0.81(1.27)	0.13	0.18	0.16(1.23)
41 ~ 50	0.99	4.46	4.68(4.73)	0.08	0.16	0.17(2.13)
51 ~ 60	0.78	8.64	8.02(10.28)	0.03	0.09	0.09(3.00)
61 ~ 70	0.70	10.17	13.64(19.49)	0.02	0.05	0.07(3.50)
71 ~ 80	0.52	4.56	7.23(13.90)	0.01	0.02	0.02(2.00)
81 ~ 90	0.02	2.8	4.56	0.00	0.01	0.01

注:括号内数值为 *SF-2* 生长率与 *WT* 生长率之比值。

Notes: Values in parentheses are expressed as the ratios of the growth rates of the *SF-2* compared with *WT*.

叶状体的活体吸收光谱和主要光合色素含量从图 2 可以看出,3 个品系(种)叶状体的吸收光

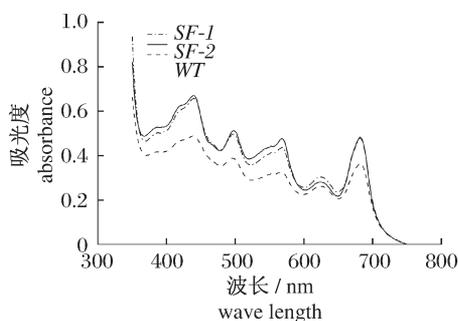


图 2 室内培养的坛紫菜不同品系(种) (*WT*,*SF-1* 和 *SF-2*)叶状体(50 d)的活体吸收光谱

Fig. 2 *In vivo* absorbance spectra of the 50-day-old gametophytic blades of *WT*,*SF-1* and *SF-2* strains in *P. haitanensis* cultured in the lab

谱曲线在波长 350 ~ 750 nm 范围内均存在 5 个明显的吸收高峰。从吸收峰值比较,*SF-1* 与 *SF-2* 的 5 个吸收峰值均高于 *WT*,*SF-2* 藻红蛋白(P_3 峰)含量高于 *SF-1*,藻蓝蛋白(P_4 峰)含量低于 *SF-1*,*SF-1* 与 *SF-2* 的叶绿素(P_5 峰)含量差别不明显(图 2)。

从图 3 可以看出,*SF-1* 与 *SF-2* 的 Chl. *a* 含量较高[二者 Chl. *a* 的平均含量分别为 (8.81 ± 0.41) 和 (8.98 ± 0.13) mg/g,而 *WT* 的 Chl. *a* 平均含量仅为 (6.74 ± 0.14) mg/g],与 *WT* 相比存在显著差异($P < 0.05$, *t*-test)。*SF-2* 叶状体的 PE 含量为 (58.91 ± 2.12) mg/g,*SF-1* 的含量为 (47.93 ± 2.04) mg/g,*WT* 的含量仅为 (22.55 ± 0.81) mg/g,*SF-2* 的 PE 含量分别为 *WT* 与 *SF-1* 的 2.6 倍与 1.2 倍。从藻蓝蛋白(PC)含量比较:

SF-1 含量最高,为 (36.41 ± 0.55) mg/g; *SF-2* 次之,为 (31.90 ± 2.65) mg/g; *WT* 含量最低,为 (24.01 ± 0.87) mg/g。 *SF-2*、*SF-1* 和 *WT* 的藻胆蛋白(PE + PC)总含量分别为 (90.81 ± 3.98) 、 (84.34 ± 2.35) 和 (46.55 ± 1.67) mg/g, *SF-2* 比

SF-1 与 *WT* 分别高 7.70% 和 95.05%。差异显著性分析结果表明: *SF-2* 和 *SF-1* 的藻胆蛋白总含量与 *WT* 相比差异均极显著 ($P < 0.01$, *t*-test), 且 *SF-2* 含量比 *SF-1* 略高。

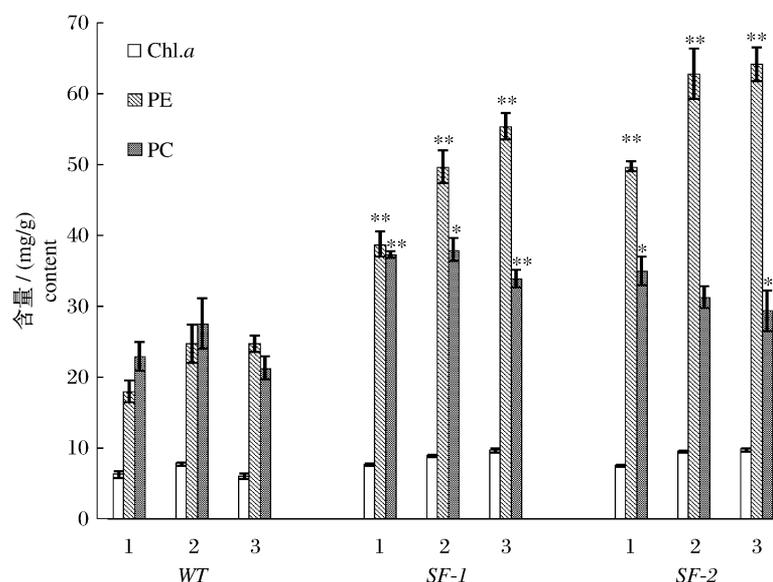


图3 室内培养的坛紫菜不同品系(种)(*WT*、*SF-1* 和 *SF-2*)的叶状体(50 d)各部位 Chl. a、PE 与 PC 含量

1. 基部,2. 中部,3. 梢部。* 表示与 *WT* 差异显著 ($P < 0.05$, *t*-test); ** 表示与 *WT* 差异极显著 ($P < 0.01$, *t*-test)。

Fig.3 Contents of chlorophyll a (Chl. a), phycoerythrin (PE) and phycocyanin (PC) in the 50-day-old gametophytic blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains in *P. haitanensis* cultured in the lab

1. Basal, 2. Middle, 3. Apical. * significant difference with *WT* ($P < 0.05$, *t*-test), ** highly significant difference with *WT* ($P < 0.01$, *t*-test).

叶状体厚度 从表 2 可知, *SF-2*、*SF-1* 与 *WT* 叶状体的厚度从基部向梢部逐渐变薄。 *SF-2* 叶状体平均厚度最薄, 为 $31.95 \mu\text{m}$; *SF-1* 次之,

为 $36.41 \mu\text{m}$; *WT* 最厚, 为 $44.30 \mu\text{m}$ 。 *SF-2* 叶状体的平均厚度比 *SF-1* 薄 14.0% 左右, 比 *WT* 薄 38.7% 左右。

表 2 室内培养的坛紫菜不同品系(种)(*WT*、*SF-1* 和 *SF-2*)的叶状体(50 d)各部位厚度

Tab.2 Thickness of different parts of the gametophytic blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains in *P. haitanensis* after cultured for 50 days in the lab

品系(种) strains(breed)	藻体各部位的平均厚度/ μm thickness of different parts of the gametophytic blades			总平均厚度/ μm mean thickness
	基部 basal	中部 middle	梢部 apical	
<i>WT</i>	53.94 ± 2.57^i	41.02 ± 1.61	37.95 ± 1.44	44.30^a
<i>SF-1</i>	42.15 ± 2.31	34.67 ± 1.96	32.41 ± 2.01	36.41^a
<i>SF-2</i>	36.43 ± 1.59	31.21 ± 1.64	28.21 ± 0.91	31.95^b

注: i 表示平均值 \pm 标准差; a 和 b 表示三者之间的显著性差异 ($P < 0.05$, *t*-test)。

Notes: i indicates that values are means \pm SD. a and b expressed as significant differences ($P < 0.05$, *t*-test).

2.2 各品系(种)海区中试的结果

壳孢子放散量 经滴水法测定, *SF-2* 壳孢子放散量约为 28.6 万个/壳, 低于 *WT* 品系约 41.6%, 但高于 *SF-1* 约 43.0% (表 3)。福鼎地区

目前采 667 m^2 网帘的贝壳丝状体用量约为 1 200 个, 按 667 m^2 网帘需孢子 4 ~ 5 亿个的标准^[17], *SF-2* 基本能满足生产要求。

表3 坛紫菜不同品系(种)(*WT*、*SF-1*和*SF-2*)的贝壳丝状体在海区的壳孢子放散量

Tab.3 Numbers of the released conchospores of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *P. haitanensis* in mariculture farm

品系(种) strains(breed)	壳孢子放散量(万个/壳) numbers of released conchospores
<i>WT</i>	40.5 ± 4.86 ^a
<i>SF-1</i>	20.0 ± 4.03 ^b
<i>SF-2</i>	28.6 ± 3.03 ^c

注:a、b和c表示3个品系(种)差异极显著($P < 0.01$, *t*-test)。
Notes: a, b and c are expressed as highly significant differences ($P < 0.01$, *t*-test).

叶状体生长 在同一栽培海区,3个品系(种)在50 d日龄之前的特定生长率,均表现为由低到高,再逐渐降低的趋势。在38~43 d日龄段,3品系(种)特定生长率出现最大值(表4),表

表4 海区养殖的坛紫菜不同品系(种)(*WT*、*SF-1*和*SF-2*)叶状体的绝对生长率与特定生长率

Tab.4 Absolute and specific growth rates of gametophytic blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *P. haitanensis* cultivated in mariculture farm

日龄/d culture days	绝对生长率/(cm/d) absolute growth rate			特定生长率 specific growth rate		
	<i>WT</i>	<i>SF-1</i>	<i>SF-2</i>	<i>WT</i>	<i>SF-1</i>	<i>SF-2</i>
30~37	0.19	0.25	0.28(1.50)	0.12	0.14	0.15(1.32)
38~43	2.25	2.72	3.35(1.49)	0.25	0.29	0.31(1.25)
44~50	4.55	6.83	6.83(1.51)	0.17	0.19	0.18(1.02)

注:括号内数值为*SF-2*生长率与*WT*生长率之比值。

Notes: Values in parentheses are expressed as the ratios of the growth rates of *SF-2* compared with *WT*.

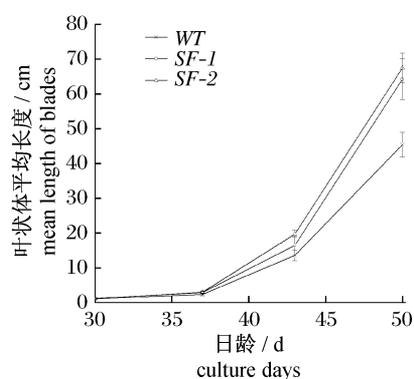


图4 坛紫菜不同品系(种)(*WT*、*SF-1*与*SF-2*)叶状体在海区的生长曲线

Fig.4 Growth curves of the gametophytic blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *P. haitanensis* cultivated in mariculture farm

每水叶状体长度及产量 从图5可知,*SF-2*与*SF-1*前四水叶状体长度的差别不大,但*SF-2*略有优势,其平均长度达(63.3 ± 4.49) cm,*SF-1*为(61.8 ± 5.39) cm;而*WT*前四水的平均长度仅

明在此日龄段内叶状体在海区的生长最旺盛。在30~50 d日龄段,3个品系(种)的绝对生长率均呈逐渐增大的趋势;至50 d时,*WT*、*SF-1*和*SF-2*的最大绝对生长率分别为4.55、6.83和6.83 cm/d(表4)。30~50 d日龄段,*SF-2*绝对生长率保持为*WT*的1.5倍左右;其中在38~43 d日龄段,*SF-2*比*SF-1*的绝对生长率高50%左右。从图4可见,*SF-2*与*SF-1*的叶状体平均长度增长趋势相似,37~50 d迅速增长,最大长度分别为(67.5 ± 4.19) cm与(64.3 ± 5.82) cm。*WT*由于绝对生长率较*SF-2*低,37 d之后虽有迅速增长,但50 d日龄时其最大长度只有(45.4 ± 3.56) cm,比*SF-2*短22 cm左右。*SF-2*在生长方面和*SF-1*的差异不明显,但明显优于*WT*。

为(40.0 ± 5.64) cm,较优良品系(种)短20 cm左右(图版II)。

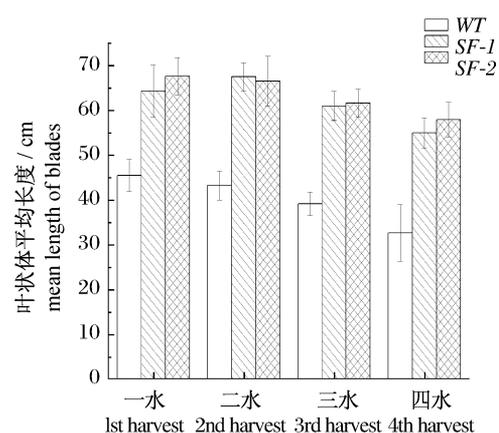


图5 坛紫菜不同品系(种)(*WT*、*SF-1*和*SF-2*)在海区的每水叶状体平均长度

Fig.5 Mean lengths of every harvest blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *P. haitanensis* cultivated in mariculture farm

在海区栽培产量方面, *SF-2* 产量最高, 667 m² 紫菜前四水鲜菜产量约为 24 000 kg/hm²; *SF-1* 次之, 667 m² 紫菜前四水鲜菜产量约为 22 500 kg/hm²; *WT* 最低, 前四水鲜菜产量仅为 15 450 kg/hm²。 *SF-2* 比 *SF-1* 增产 6.7% 左右, 较 *WT* 增

产约 30.1%。从 667 m² 紫菜每次采收的产量来分析, *WT* 与 *SF-1*、*SF-2* 相比, 第一水产量差别较小, 从第二水开始差距逐渐增大。 *SF-1* 与 *SF-2* 第二水之后产量比较稳定, 维持在 6 000 kg/hm² 左右, 而 *WT* 则呈现逐渐下降的趋势(表 5)。

表 5 坛紫菜不同品系(种) (*WT*、*SF-1* 和 *SF-2*) 在海区中试的产量

Tab. 5 The yields of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *P. haitanensis* cultivated in the mariculture farm

品系(种) strains (breed)	单位面积紫菜每水的产量/(鲜重 kg/hm ²) yields per unit area of every harvest				单位面积紫菜前四水总 产量/(鲜重 kg/hm ²) total fresh weights of the first four harvests of every unit area
	第一水 first harvest	第二水 second harvest	第三水 third harvest	第四水 fourth harvest	
<i>WT</i>	4 875	5 250	4 050	4 275	15 450 ^a
<i>SF-1</i>	5 250	6 000	5 625	5 625	22 500 ^b
<i>SF-2</i>	5 400	6 750	5 850	6 000	24 000 ^b

注: a 和 b 表示差异显著 ($P < 0.05$, *t*-test)。

Notes: a and b are expressed as significant difference ($P < 0.05$, *t*-test).

3 讨论

近几年, 国内外学者分别对紫菜叶状体细胞直接育苗^[18]和自由丝状体无贝壳育苗技术^[19-20]进行了研究, 但由于技术本身要求较高或尚不成熟, 难以推广应用。因此, 目前紫菜育苗主要采用传统的果孢子(种菜)育苗技术和自由丝状体移植育苗技术, 前者育成的贝壳丝状体是杂合的丝状体^[21], 不能保证优良性状稳定遗传, 故 *SF-1* 与 *SF-2* 采用自由丝状体移植育苗技术进行苗种培育。坛紫菜 *SF-1* 已通过国家良种认定, 养殖的产量增加显著^[6]。但由于 *SF-1* 的自由丝状体移植苗种与野生种的果孢子发育苗种(贝壳丝状体)在生长和成熟方面存在差异, 同时, 部分育苗户对新品种自由丝状体移植育苗新技术的理解和掌握程度不到位等原因, 导致 *SF-1* 的壳孢子放散量偏少, 只能通过增加贝壳丝状体的数量来满足生产采苗的要求。而本实验室经过诱变育种选育出的优良品系 *SF-2*, 在相同条件下, 其海区壳孢子放散量较 *SF-1* 提高了 43.0%, 基本上在不增加贝壳数量的情况下能满足大规模生产采苗的要求。

根据本研究结果, *SF-2* 优良品系室内生长速率明显高于 *WT*, 且快速生长期较长, 具有明显的生长优势; 由于海区中试养殖的野生品系经过养殖者多次选种, 加之海区与室内养殖环境的不同, 使得海区养殖结果与室内存在一定差异, 但 *SF-2* 在生长上与 *WT* 相比仍具有很大优势。在产量方

面, *SF-2* 的前四水产量比 *SF-1* 增产了 6.7%, 比 *WT* 增加了 30.1%。室内与海区两方面的实验结果均证实 *SF-2* 具有很大的生长及产量优势。

坛紫菜产量占我国紫菜总产量的 75%^[2], 由于其叶状体比条斑紫菜 (*P. yezoensis*) 厚, 加工成的海苔薄片厚薄不均匀, 孔洞较多, 制约了坛紫菜产品的机械化加工及出口^[22]。 *SF-2* 的叶状体平均厚度仅为 31.95 μm, 较 *SF-1* 薄 14.0%, 较 *WT* 薄 38.7%, 与野生条斑紫菜的厚度相当^[23], 因此, *SF-2* 可以在一定程度上改善机械化加工产品的空孔偏多的问题。

藻胆蛋白含量的高低是衡量紫菜品质的重要指标^[24], 其含量也与光合作用的强弱成正比。 *SF-2* 的藻胆蛋白含量比 *WT* 高 95.05%, 比 *SF-1* 高 7.70%, 说明 *SF-2* 在叶状体品质上优于 *WT* 和 *SF-1*。另外, 由于 *SF-2* 藻胆蛋白含量高, 故其光合作用能力强, 生长快, 这在一定程度上解释了 *SF-2* 叶状体生长速率较 *WT* 高的现象。

综合上述研究结果, *SF-2* 具有壳孢子放散量较大、生长快、产量高、菜质好等优点, 具有很大的栽培应用价值。另外, 在海区采壳孢子过程中, 养殖者采用传统方法采壳孢子, 仅凭经验当天染网后立即下海养殖, 次日的壳孢子采用向苗网泼洒的方式采苗, 导致壳孢子大量浪费、附苗不均匀或者苗量不够。因此, 坛紫菜传统的采壳孢子方式亟待改进, 建议采用显微镜镜检网绳上壳孢子的附着量, 同时借鉴条斑紫菜的室内采苗技术^[2], 将刺激好的成熟贝壳丝状体在室内采苗, 镜检壳

孢子数量达标后下海养殖,以解决传统方法采壳孢子存在的弊端,保证稳产丰产。

参考文献:

- [1] 严兴洪,马少玉.坛紫菜抗高温品系的筛选[J].水产学报,2007,31(1):112-119.
- [2] 马家海,蔡守清.条斑紫菜的栽培与加工[M].北京:科学出版社,1996:1-13.
- [3] 游华.平潭县坛紫菜养殖现状与发展对策[J].水产科技情报,1999,26(6):272-273.
- [4] 宋武林.坛紫菜烂苗原因分析及预防对策[J].福建水产,2009,2(6):72-75.
- [5] 严兴洪,黄林彬,周晓,等.坛紫菜叶状体的细菌性红烂病研究[J].中国水产科学,2008,15(2):313-319.
- [6] 吕锋,严兴洪,刘长军,等.坛紫菜耐高温品系的选育与海区中试[J].上海海洋大学学报,2010,19(4):457-462.
- [7] 李西林.论坛紫菜壳孢子采苗时间[J].福建水产,1992,2:40-42.
- [8] YAN X H, LI L, ARUGA Y. Genetic analysis of the position of meiosis in *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng (Bangiales, Rhodophyta) [J]. Journal of Applied Phycology, 2005, 17(6):467-473.
- [9] 陈昌生,徐燕,纪德华,等.坛紫菜品系间杂交藻体选育及经济性状的初步研究[J].水产学报,2007,31(1):97-104.
- [10] 梁志强.坛紫菜遗传育种的初步研究[D].上海:上海水产大学,2004.
- [11] 王金峰,许璞,朱建一,等.紫菜属海藻色素突变体的研究[J].海洋水产研究,2007,28(2):28-35.
- [12] 严兴洪,李琳,有贺佑胜.坛紫菜减数分裂位置的杂交试验分析[J].水产学报,2006,30(1):1-8.
- [13] 宋武林.坛紫菜优良品系“申福1号”苗种培育技术研究[J].南方水产,2006,4(2):19-23.
- [14] 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.
- [15] 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(1):39-54.
- [16] 高洪峰.不同生长期坛紫菜中藻胆蛋白的含量变化[J].海洋与湖沼,1993,24(6):645-648.
- [17] 福建省水产局.坛紫菜人工养殖[M].福州:福建人民出版社,1979:59-76.
- [18] 方宗熙.紫菜营养细胞的酶法分离和在水产养殖中的应用[J].海洋科学,1986,10(3):46-47.
- [19] 王素娟,何培民.条斑紫菜体细胞直接附网育苗及下海养殖[J].上海水产大学学报,1992,1(3/4):154-159.
- [20] 陈国宜.关于坛紫菜自由丝状体的培养和直接采苗的研究[J].水产学报,1995,4(1):19-29.
- [21] 林增善.紫菜自由丝状体接种育苗[J].水产养殖,1996,2:20-21.
- [22] 梁艳,徐燕,陈昌生,等.坛紫菜优质新品系(Q-1)主要经济性状的初步研究[J].渔业科学进展,2009,30(4):108-116.
- [23] 张秉磊.条斑紫菜耐高温品系的筛选[D].上海:上海海洋大学,2009.
- [24] 董宏坡,左正宏,王重刚,等.福建省平潭海区坛紫菜质量性状的分析[J].厦门大学学报:自然科学版,2004,43(5):693-699.

Characterization of an improved strain (*SF-2*) of *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) and its pilot cultivation in mariculture farm

WANG Chang-qing¹, YAN Xing-hong^{1*}, HUANG Lin-bin¹, LIU Chang-jun²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Xiangshan Fisheries Technical Extension Center, Xiangshan 315700, China)

Abstract: The characteristics of the improved strain *SF-2* were evaluated and compared with the improved variety *SF-1* and the wild type of *Porphyra haitanensis* according to the results of the laboratory studies and pilot scale tests in mariculture farm. There were significant differences between *SF-2* and *WT* in growth rates, contents of phycobiliprotein, thicknesses of the blades and yields of pilot cultivation. The absolute growth rates of *SF-2* blades were significantly higher than those of *WT*. The length of 90-day-old *SF-2* blades was (391.6 ± 47.37) cm which was about 10 times longer than *WT*. There were five peaks in the *in vivo* absorption spectra of *SF-1*, *SF-2* and *WT* blades between wavelengths of 350 – 750 nm, and the peak values of *SF-1* and *SF-2* were almost the same, but both higher than those of *WT*. The phycobiliprotein content of *SF-2* blades was (90.81 ± 3.98) mg/g which was slightly higher than *SF-1* and was 1.95 times higher than that of *WT*. The mean thickness of *SF-2* blades was (31.95 ± 4.16) μm , which was 14.0% and 38.7% thinner than that of *SF-1* and *WT*, respectively. The number of the released conchospores per shell of *SF-2* conchocelis in mariculture farm was 286 000, which was 43.0% more than that of that of *SF-1* and was sufficient in cultivation. The fresh yield of *SF-2* of the first four harvests was 240 000 kg, which increased by 30.1% compared with *WT* and by 6.7% compared with *SF-1*, respectively. It came to a conclusion that the superiority of the improved strain *SF-2* possesses the value to be applied and disseminated.

Key words: *Porphyra haitanensis*; improved strain; growth rate; phycobiliprotein; pilot cultivation

Corresponding author: YAN Xing-hong. E-mail: xhyan@shou.edu.cn

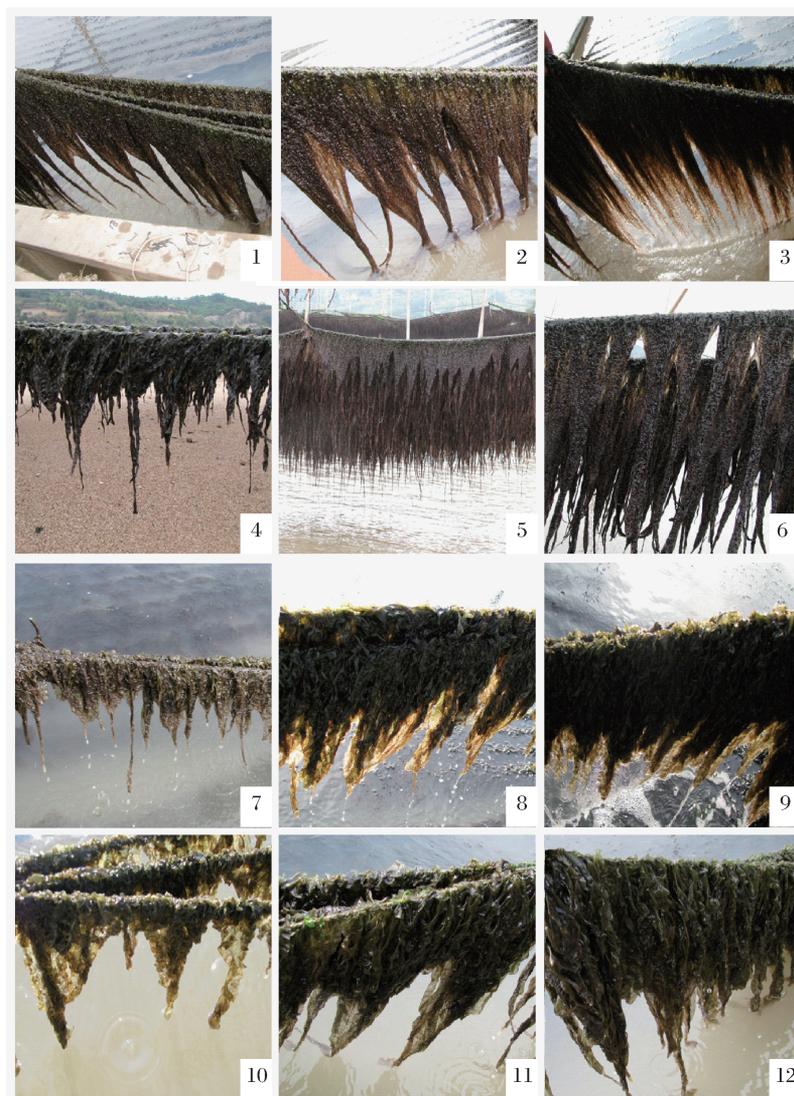


图版 I 室内培养的坛紫菜不同品系(种) (*WT*、*SF-1* 和 *SF-2*) 的叶状体

1~4. *WT* 叶状体, 日龄依次为 30、50、70 和 90 d; 5~8. 优良品种 *SF-1* 叶状体, 日龄依次为 30、50、70 和 90 d; 9~12. 优良品系 *SF-2* 叶状体, 日龄依次为 30、50、70 和 90 d, 图中标尺代表 5 cm。

Plate I The gametophytic blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *Porphyra haitanensis* cultured in the lab

1-4. *WT* blades cultured for 30, 50, 70 and 90 d; 5-8. *SF-1* blades cultured for 30, 50, 70 and 90 d; 9-12. *SF-2* blades cultured for 30, 50, 70 and 90 d, Scale bars = 5 cm.



图版 II 坛紫菜不同品系(种)(*WT*、*SF-1* 和 *SF-2*) 在海区栽培的叶状体

1~3. 依次为 *WT*、*SF-1* 和 *SF-2* 第一水的叶状体; 4~6. 依次为 *WT*、*SF-1* 和 *SF-2* 第二水的叶状体; 7~9. 依次为 *WT*、*SF-1* 和 *SF-2* 第三水的叶状体; 10~12. 依次为 *WT*、*SF-1* 和 *SF-2* 第四水的叶状体。

Plate II The gametophytic blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *Porphyra haitanensis* cultivated in the mariculture farm

1-3, 4-6, 7-9, 10-12. The first, second, third and fourth harvest of the blades of *WT*, *SF-1* and *SF-2* strains of *P. haitanensis* cultivated in mariculture farm, respectively.