

文章编号:1000-0615(2005)02-0166-07

坛紫菜人工色素突变体的诱变与分离

严兴洪¹, 梁志强¹, 宋武林², 黄健², 马平², 有贺佑胜³

(1. 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;
2. 福建省水产技术推广总站,福建福州 350003; 3. 东京农业大学,东京,156-8520日本)

摘要:坛紫菜叶状体经一定剂量的⁶⁰Co- γ 射线辐射再培养一段时间后,出现了少量色素体颜色发生变异的细胞,它们呈点状不规则地镶嵌在野生型细胞中。培养3周后,色素变异细胞分裂并形成了不同颜色的细胞块,其颜色呈桔红、桔黄、浅黄褐、浅红、紫红、紫褐、黄绿、绿色等。在辐射剂量0~1100 Gy范围内,叶状体上色素变异细胞块的出现频率随着辐射剂量的增加而增加;但辐射剂量增至1400 Gy时,色素变异细胞块出现的频率反而下降,说明1100 Gy是合适的辐射剂量。在同一个叶状体的不同部位上色素变异细胞块出现的频率是不同的,从基部到梢部,随着部位的上移而逐渐增加。用酶解法把含色素变异细胞的叶状体细胞单个分离出来并进行离体培养,在它们的再生体中,出现了多种单色的色素突变叶状体,从中分离到 *tan*(红褐色)、*bor*(深桔红色)、*ceb*(紫红色)、*hon*(桔草色)、*cac*(深黄绿色)等不同颜色的纯色突变体。从各单色突变体中分离出来的丝状体,其颜色与各自的叶状体相同。各突变体的丝状体成熟后,放散的壳孢子长成单色的F₁叶状体,其颜色与各自最初的母体叶状体相同,说明所得到的上述突变体是稳定的色素突变体。

关键词:坛紫菜;叶状体;单离细胞;⁶⁰Co- γ 射线;变异;色素突变体

中图分类号:S917

文献标识码:A

Induction and isolation of artificial pigmentation mutants in *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng (Bangiales, Rhodophyta)

YAN Xing-hong¹, LIANG Zhi-qiang¹, SONG Wu-lin², HUANG Jian², MA Ping², ARUGA Yusho³

(1. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecosystem Certified by Ministry of Agriculture, E-Institute of Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;
2. Fujian Fisheries Technical Extension Center, Fuzhou 350003, China;
3. Tokyo University of Agriculture, Tokyo, 156-8502, Japan)

Abstract: The young gametophytic blades of *Porphyra haitanensis* Chang et Zheng, developed from the conchospores of the wild type, were treated with ⁶⁰Co- γ ray to induce mutations. Color-mutated cells showing purplish red, pink, red orange, orange, yellow green, green and other mutated colors appeared in the treated blades after culture for 1 week. After culture of 3 weeks, the color-mutated cells grew to be cell-clusters with different colors. When the irradiation dose increased from 0 Gy to 1100 Gy, the frequency of the color-mutated cell-clusters was higher with increase of the dose. However, further increase of the dose up to 1400 Gy, decreased the frequency of the color-mutated cell-clusters. These results indicated that 1100 Gy is the suitable dose for inducing mutations of *P. haitanensis* blades. The frequency of the color-mutated cell-clusters was different in the different parts of a blade, increasing from the base to the tip of the blade. Single cells were isolated enzymatically from the color-mutated blades, and regenerated into blades among where appeared some single-colored mutant blades and a few spottedly variegated blades consisting color-mutated cells and the wild-type cells. Five pigmentation mutant strains (conchocelis) with colors of red brown, dark orange, pink, golden brown and dull yellow green were established from the single-colored mutant blades by parthenogenesis. They were named as *tan*, *bor*, *ceb*, *hon* and *cac*, respectively. Their colors were relatively stable in both gametophytic blade and conchocelis phases. The F₁ gametophytic

收稿日期:2004-08-16

资助项目:国家高科技研究发展计划(863计划)资助项目(2002AA603023);国家自然科学基金资助项目(30170734);上海市教育委员会E-研究院建设项目(E03009);上海水产大学校长基金项目(200101)

作者简介:严兴洪(1958-),男,浙江义乌人,教授,博士生导师,主要从事藻类生物技术和遗传育种研究。E-mail: xhyan@shfu.edu.cn

blades of each mutant strains, showed the same color with its mother blades, respectively.

Key words: *Porphyra haitanensis*; gametophytic blade; single cell; ^{60}Co - γ ray; mutation; pigmentation mutant

目前,在我国被大规模养殖的紫菜有坛紫菜和条斑紫菜。坛紫菜主要在福建,浙江等三个南方省份被广泛养殖,条斑紫菜则主要被养殖在江苏和山东二省。坛紫菜养殖产量占全国紫菜产量的70%左右。

紫菜含3种主要的光合色素,即叶绿素a,藻红蛋白和藻蓝蛋白。其叶状体的色彩主要由这三种色素的含量和它们之间的比例来决定。商品紫菜饼的质量好坏也主要取决于这3种色素的含量高低^[1-3]。所以,研究紫菜色素突变体不仅对它的遗传学,生理学,生物技术等基础研究很重要,而且对诱变育种和改良养殖品种都具重大意义。目前,国内外研究紫菜突变体的工作主要集中在条斑紫菜。日本在上世纪70年代获得了条斑紫菜的不同自然色素突变体^[4]。他们利用色素突变体,开展了一系列的条斑紫菜遗传学和生理学研究,其中最大的研究成果之一是阐明了条斑紫菜减数分裂的确切发生位置是在壳孢子萌发的第一次和第二次分裂时期^[5]。这一有重要学术价值的发现极大地推动了条斑紫菜遗传学和育种学的发展。根据这一发现,他们把得到的条斑紫菜不同自然色素突变体进行相互杂交获得了新的良种品系^[6]。随后,各国研究者相继利用诱变剂试图获得紫菜人工色素突变体,但未能有效地分离出突变株^[7,8]。使用最强烈的诱变剂进行处理也只获得了极少量的紫菜突变体^[9]。90年代开始,经过近十年的研究,条斑紫菜的大量有用人工色素突变体和其它变异体被分离出来^[10-18]。

上世纪70年代,对坛紫菜的基本生物学,生活史,全人工采苗,自由丝状体采苗和养殖技术进行了大量的研究^[19,20];但对坛紫菜的遗传规律认识极少,坛紫菜的品种选育工作几乎没有开展过。近几年,我们在获得条斑紫菜人工色素突变体和育种研究成功的基础上,开展了坛紫菜的人工色素突变体和育种研究,现将部分研究结果报告如下。

1 材料和方法

1.1 坛紫菜叶状体培养

本试验所用材料为野生型坛紫菜(*Porphyra haitanensis* Chang et Zheng),采自福建平潭岛自然

岩礁上,1991年建立纯系,株名为PT-001,以自由丝状体形式被保存在实验室内。

取一定量的自由丝状体,用小型粉碎机将其切碎后,撒入事先已洗净的贝壳表面上,使之移植到贝壳内。培养温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$,光照密度 $5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,明暗周期12L:12D。培养10 d后,第1次清洗贝壳,除去附在贝壳表面上的多余自由丝状体,换进新鲜培养液,把光照密度提高到 $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其它培养条件不变。培养数周后,当整个贝壳表面内层长满紫红色丝状体时,把培养温度提高到 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,2周后,再把温度提高到 $29 \pm 0.5^\circ\text{C}$,同时,把光照密度降到 $10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,明暗周期为10L:14D。数周后,当贝壳表面长出一层膨大藻丝时,把1~2个贝壳放入500 mL的烧杯中冲气培养,另外,放入长度为3~4 cm的尼龙单丝4~6根供壳孢子附着,培养温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,光照密度 $40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。把已附着一定数量壳孢子的尼龙单丝移到另一个冲气培养瓶内培养,培养温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,光照密度 $80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当叶状体体长达3~5 cm时,把它们从尼龙单丝上摘下,继续冲气培养,培养温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,光照密度 $80 \sim 100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

1.2 诱变处理和突变体分离

培养30~40 d后,选择健康的叶状体(体长约5 cm)用于人工诱变处理。诱变处理采用 ^{60}Co - γ 射线照射,辐射剂量分别为200,500,800,1100,1400 Gy。经辐照过的坛紫菜叶状体,在黑暗条件下培养24 h后,进入正常光照培养。培养2~3周后,每组随机取3棵叶状体进行色素变异细胞块统计,从叶状体的梢部到基部每隔2 cm检查30个视野($\times 20$)内的色素变异细胞块数。辐射处理后,再培养15 d左右,挑出含色素发生变异的叶状体,用于酶解分离单个变异细胞,进行再生培养^[21]。培养3周后,从细胞再生体中挑选出单色变异体进行单株培养。当变异体达到1 cm左右时,再把它们移到500 mL的培养瓶内进行冲气培养。培养温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,光照密度 $80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当叶状体长到一定大小时,利用单性生殖,获得纯种丝状体。培养温度 $23 \pm 1^\circ\text{C}$,光照密度 $40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,明暗周期12L:12D。培养3个月后,光照密度降至 $10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,以

长期保存突变体的丝状体。本试验使用的培养液均为 MES 培养基^[22]。

2 结果

2.1 诱变和色素变异

经不同剂量的 γ 射线照射后,均导致了坛紫菜叶状体细胞的部分死亡。照射后培养 1 周,细胞颜色变淡,但随着培养时间的延长,一部分颜色变淡的细胞又慢慢地恢复正常颜色,开始细胞分裂;但一部分细胞一直保持很淡的色彩,不分裂也不死亡;还有一部分细胞则完全失去颜色而死亡。辐射后再培养 1 周左右,坛紫菜叶状体上出现了少数色素发生明显变异的细胞,随着培养时间的延长,变异细胞逐渐分裂并形成不同颜色的色素变异细胞块。如图版 1 所示,色素变异细胞块与野生型细胞有较清晰的界限,借助显微镜很容易

把它们区分开来。如表 1 所示,变异细胞块的主要颜色有桔红、桔黄、紫红、红紫、黄绿、浅绿、紫褐和灰褐色等。桔红色变异细胞块出现频率最高,其次是桔黄色细胞块,绿色细胞块较低,灰色细胞块最低(表 1)。对照组叶状体上未出现色素变异细胞块,而辐射组的叶状体上均出现了色素变异细胞块,这说明色素变异细胞块是由于⁶⁰Co- γ 射线辐射诱导引起的。如图 1 所示,在 0~1 100 Gy 范围内,色素变异细胞块出现的频率,随着诱变剂量的增加而增加,而诱变剂量超过了 1 100 Gy 后,则出现了相反的情况,随着诱变剂量的增加,变异细胞块数量反而减少,这说明 1 100 Gy 是诱导坛紫菜叶状体产生色素体变异的合适剂量。如图 2 所示,在同一棵叶状体上,不同部位的细胞诱变效果不同,从基部到梢部,随着藻体部位的上移,色素变异细胞块出现的频率越来越高。

表 1 坛紫菜叶状体经 γ -射线辐射再培养 28d 后出现的色素变异细胞块的种类和数目
Tab.1 Color-mutated cell-clusters appeared in the blades of *Porphyra haitanensis* after being irradiated by γ -ray in different doses and being cultured for 28 days

剂量组 dose (Gy)	色素突变细胞块的种类和数目 types and number of the color-mutated cell-clusters/ 360 fields ($\times 20$)											合计(块) total number
	桔红 red orange	浅红 light red	桔黄 yellow orange	浅黄 light yellow	红紫 red purple	紫红 purple red	紫褐 purple brown	绿色 grass green	黄绿 yellow green	灰褐 gray brown	浅灰 light gray	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	2	2	1	9	0	1	2	0	0	5	7	29
500	12	7	10	10	0	2	2	1	1	10	12	67
800	16	9	17	10	2	13	1	1	4	10	8	91
1100	15	25	21	10	2	8	7	2	3	7	20	120
1400	27	6	14	15	1	11	2	0	4	11	12	103
合计(块) total number	72	49	63	54	5	35	14	4	12	43	59	410

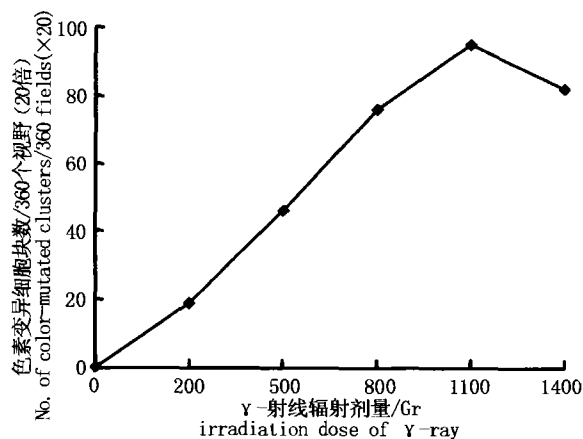


图 1 经不同剂量的 γ -射线辐射后,坛紫菜叶状体上出现的色素变异细胞块数量(培养 28d)

Fig.1 Numbers of color-mutated cell-clusters of *Porphyra haitanensis* blades after being irradiated by γ -ray in different doses in culture of 28 days

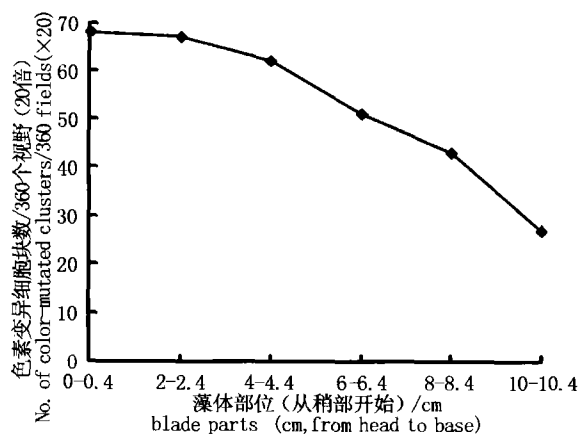


图 2 经 γ -射线辐射再培养 28 d 后,坛紫菜叶状体上不同部位出现的色素变异细胞块的数量

Fig.2 Numbers of color-mutated cells of different parts of *Porphyra haitanensis* blades after being irradiated by γ -ray in culture of 28 days

2.2 色素突变体分离

把含色素变异细胞的上述各组叶状体利用酶解法获得大量的单个细胞,后者经过2~3个月的体外培养,单个的变异细胞再生成多种颜色的色素变异体,其种类有桔红、桔黄、红紫、黄绿、浅绿、紫褐等,变异体的颜色种类基本上与母体叶状体上观察到的色素变异细胞种类一致。所获得的色素变异体绝大部分是单色,少部分为多种颜色镶嵌的嵌合体。单色色素变异体其颜色相当稳定,当把它们再次酶解,分离出单个体细胞进行再生培养,其再生体的颜色仍然是单色并与母体的颜色相同,可见其颜色是稳定的。图版II所示为获得的5种主要色素突变体的体细胞再生体。参照色名字典^[23],它们分别被命名为 *tan* (红褐色)、*bor* (深桔红色)、*ceb* (紫红色)、*hon* (枯草色)、*cac* (深黄绿色),如表2所示。

表2 坛紫菜野生型和5种色素突变体的颜色和命名
Tab.2 Colors and names of five pigmentation mutants and the wild type in *Porphyra haitanensis*

株名	strains	names	colors
野生型	<i>wt</i>	wild type	light brown
红褐色突变体	<i>tan</i>	tan	reddish brown
深桔红色突变体	<i>bor</i>	burnt orange	dark orange
紫红色突变体	<i>ceb</i>	cherry bloom	pink
枯草色突变体	<i>hon</i>	honey	pale yellowish brown
深黄绿色突变体	<i>cac</i>	cactus	dull yellow green

2.3 色素突变体 F₁ 叶状体培养观察

利用坛紫菜的单性生殖,从各单色突变体分离到的纯种丝状体,其颜色与各自的叶状体相同。单色突变体的丝状体分别被移植到贝壳内,长成贝壳丝状体。经过4个月左右的培养,各色素突变体的贝壳丝状体逐渐成熟,放出壳孢子,后者经过2个月的冲气培养,长成F₁大叶状体。每种单色突变体的F₁叶状体均为一种颜色的纯色叶状体,其颜色与各自的母体叶状体相同,说明所得到的单色突变体是稳定的色素突变体。

3 讨论

至今,在紫菜人工色素突变体的研究中,作为诱变剂被使用过的主要有化学诱变剂,如秋水仙素、EMS、MNNG等^[7-9,11,12,16],以及物理诱变剂,如紫外线和 γ -射线^[10,18]。在条斑紫菜人工色素突变体的诱导和分离中,被证明最有效的诱变剂

是化学诱变剂——MNNG,利用它大量有用的色素突变体被分离出来^[12,13,15-17]。本试验使用⁶⁰Co- γ 射线辐射诱导野生型坛紫菜紫菜叶状体产生突变,获得了较好的效果,获得的色素变异细胞,在种类和数量上,与MNNG对坛紫菜叶状体的诱变相比,效果差不多^[24]。在诱变剂量0~1100 Gy范围内,虽然色素变异细胞出现的频率随着诱变剂量的增加而增加,但死亡细胞的增加并不明显,绝大部份的细胞是活的,只有极少量的细胞颜色变淡,细胞分裂很慢,并且细胞体积明显比正常分裂的细胞大。这说明,低于1100 Gy的辐射剂量,无法大量地杀死坛紫菜叶状体细胞,但也可产生较多的色素变异细胞。当辐射剂量达到1400 Gy时,出现了较多的死亡细胞,死亡率还没有达到一半,而色素变异细胞出现的频率却比1100 Gy组低。这一结果明显不同于使用MNNG诱导条斑紫菜和坛紫菜紫菜叶状体产生色素变异时,死亡率达到50%左右,才能获得最大的变异率^[11,24]。经⁶⁰Co- γ 射线辐射处理后的坛紫菜叶状体,再培养1周左右,叶状体上出现了单个的色素体颜色发生明显变异的细胞。随着培养时间的延长,色素变异细胞逐渐分裂并形成不同颜色的细胞块。单个细胞块内的细胞其颜色,大小和结构相同,因此,可以认为每一个色素变异细胞块基本上都是由一个最初的色素变异细胞分裂而来的,色素变异细胞块的频率基本代表辐射处理后产生的色素变异细胞的频率。此外,还出现了另一类色素变异细胞,它们不形成色素变异细胞块,而是色素变异细胞与野生型细胞或其它变异细胞呈点状嵌合排列,但这类变异细胞在种类和数量上明显比可以形成色素变异细胞块的变异细胞少得多。它们多数由一种色素变异细胞和野生型细胞组成,有时也有二种色素变异细胞和野生型细胞组成。由MNNG处理获得的条斑紫菜人工色素变异体中,也有色素变异细胞呈点状嵌合排列的色素变异体,它们被认为是不稳定变异体^[12]。本文得到不同颜色的色素变异细胞无规则排列的坛紫菜嵌合色素变异体是否属于不稳定的变异体有待进一步证明。

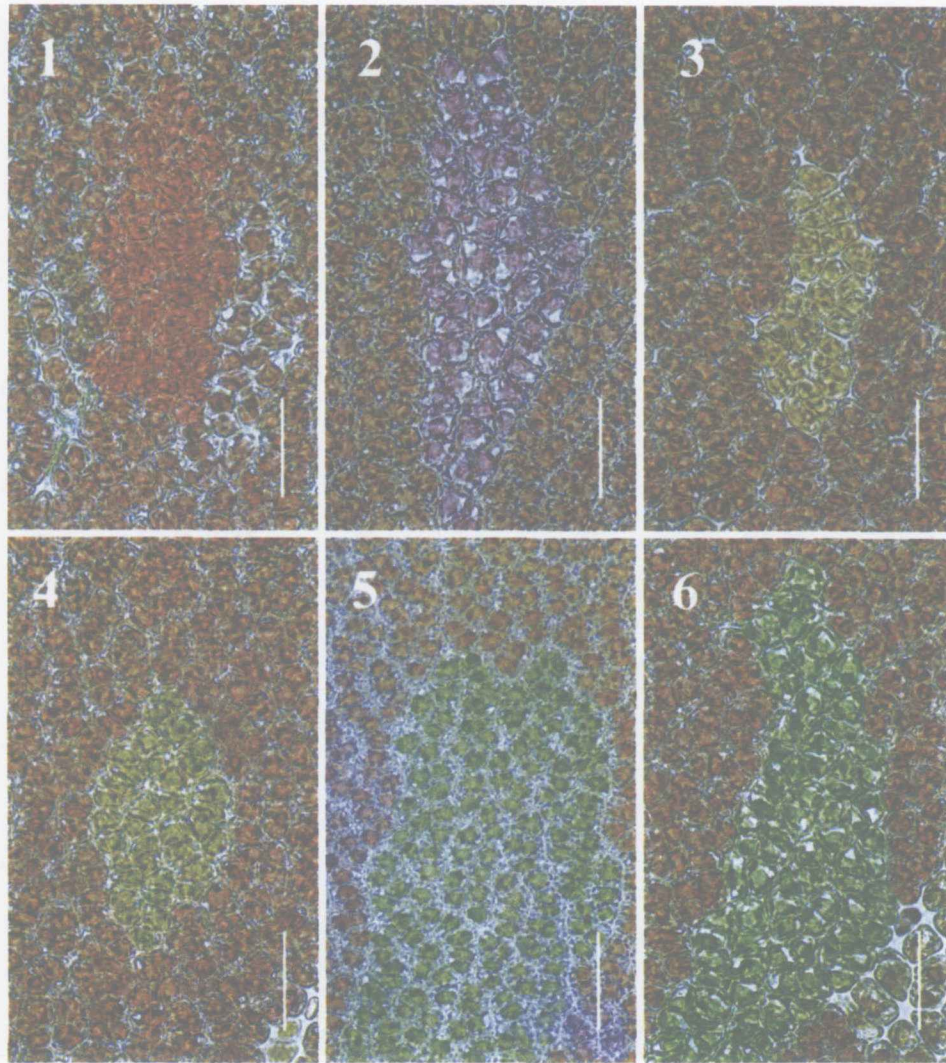
在叶状体的不同部位上,色素变异细胞块出现的频率不同,稍部出现的频率最大,中部次之,基部最小。推测其可能的原因:坛紫菜叶状体虽然是散生长,但叶状体各部位的颜色,细胞大小和

藻体厚度存在明显的差异。日龄小的坛紫菜紫菜叶状体一般是稍部的颜色明显比其它部位偏红而鲜艳,中部的颜色又比基部鲜艳;细胞大小:稍部<中部<基部;藻体厚度:稍部<中部<基部。由此可见,坛紫菜叶状体的稍部分生细胞最多,细胞分裂和生长最旺盛;其次是中部和基部的生长相对迟缓。所以,叶状体稍部处于分裂时期的嫩细胞较多,老化细胞较少;中部的嫩细胞又比基部多。处于分裂的嫩细胞比老化细胞更容易被诱变。这样就可以解释为什么同一个叶状体上各部位的色素变异细胞频率不同的现象。

把含色素变异细胞的坛紫菜紫菜叶状体酶解获得单离细胞,后者经过2~3个月的体外培养,再生成野生型叶状体和多种颜色的色素突变体。所获得的色素突变体绝大部分是单色,少部分为多种颜色镶嵌的嵌合体。此外还获得了细长型形态突变体,叶状体边缘无刺突变体等,其结果将在另文详细报导。

参考文献:

- [1] 齊藤宗勝, 荒木繁, 板井武磨, 大房剛. 乾海苔における光合成色素含有量および全窒素, 全游離アミノ酸, 全游離糖含有量の時期的変動と産地間の相連[J]. 日本水産学会誌, 1975, 41(3): 365-370
- [2] 有賀祐勝. スサビノリの色彩と色素[J]. 遺伝, 1980, 34(9): 8-13
- [3] Aruga Y, Miura A. *In vivo* absorption spectra and pigment contents of the two types of color mutants of *Porphyra*[J]. Jap J Phycol, 1984, 32: 243-250
- [4] 高原隆明, 浦昭雄, 有賀祐勝. スサビノリの緑色突然変異体の培養実験[J]. うみ, 1976, 14: 101-117
- [5] Ohme M, Kunifuji Y, Miura A. Cross experiments of the color mutants in *Porphyra yezoensis* Ueda[J]. Jap J Phycol, 1986, 34: 101-106
- [6] 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
- [7] 片山勝介. 養殖ノリの変異種に關する研究——I 化学変異剤の施使について[J]. 岡山水試事報, 1983, 57: 51-56
- [8] Yan X H, Liu Z S. Selection of variants from protoplast cultures in *Porphyra yezoensis* Ueda (Rhodophyta)[J]. Marine Science, 1992, 4: 262-271
- [9] Mitman G G, van der Meer J P. Meiosis, blade development and sex determination in *Porphyra purpurea* (Rhodophyta)[J]. J Phycol, 1994, 30: 147-159
- [10] Yan X H. Studies on color type variants from mutagenized protoplasts of *Porphyra hatuensis* Chang et Zheng & *P. yezoensis* Ueda (Rhodophyceae)[J]. Chin J Oceanol Limnol, 1993, 11: 235-244.
- [11] 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: 39-51.
- [12] Yan X H, Aruga Y. Unstable pigmentation mutants obtained by MNNG treatment in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta) J. Jap J Phycol, 1998, 16: 89
- [13] Yan X H, Aruga Y. Genetic analysis of artificial pigmentation mutants in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta) [J]. Phycological Research, 2000, 18: 177-187
- [14] Yan X H, Fujita Y, Aruga Y. Induction and characterization of pigmentation mutants in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta)[J]. J Applied Phycology, 2000, 12: 69-81
- [15] Yan X H, Fujita Y, Aruga Y. High monospore-releasing pigmentation mutants in *Porphyra yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta)[J]. Hydrobiologia, 2001, 512: 133-140
- [16] 严兴洪, 田中次郎, 有賀祐勝. 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): 221-223
- [17] 许璞. 紫菜色素突变体诱导与遗传特征[D]. 中国科学院海洋所博士学位论文, 1997, 14-31
- [18] Wang S J, Zheng Y Z, Ma L B, et al. Gamma-Rays induction of mutation in conchocells of *Porphyra yezoensis* J. Chin J Oceanol Limnol, 2000, 18(1): 47-53
- [19] 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
- [20] 陈国宜. 关于坛紫菜自由丝状体的培养和直接采苗研究[J]. 水产学报, 1980, 4(1): 19-29
- [21] Yan X H, Wang S J. Studies on the development and differentiation of the somatic cells from *Porphyra* spp. (Rhodophyta) [J]. Marine Sciences, 1990, 3(2): 195-208
- [22] 王素娟, 张小平, 徐志东, 等. 坛紫菜营养细胞和原生质体培养的研究 I[J]. 海洋与湖沼, 1986, 17(3): 217-221
- [23] Wada S. Dictionary of color names [M]. Tokyo Sogensha, Tokyo 1954
- [24] 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

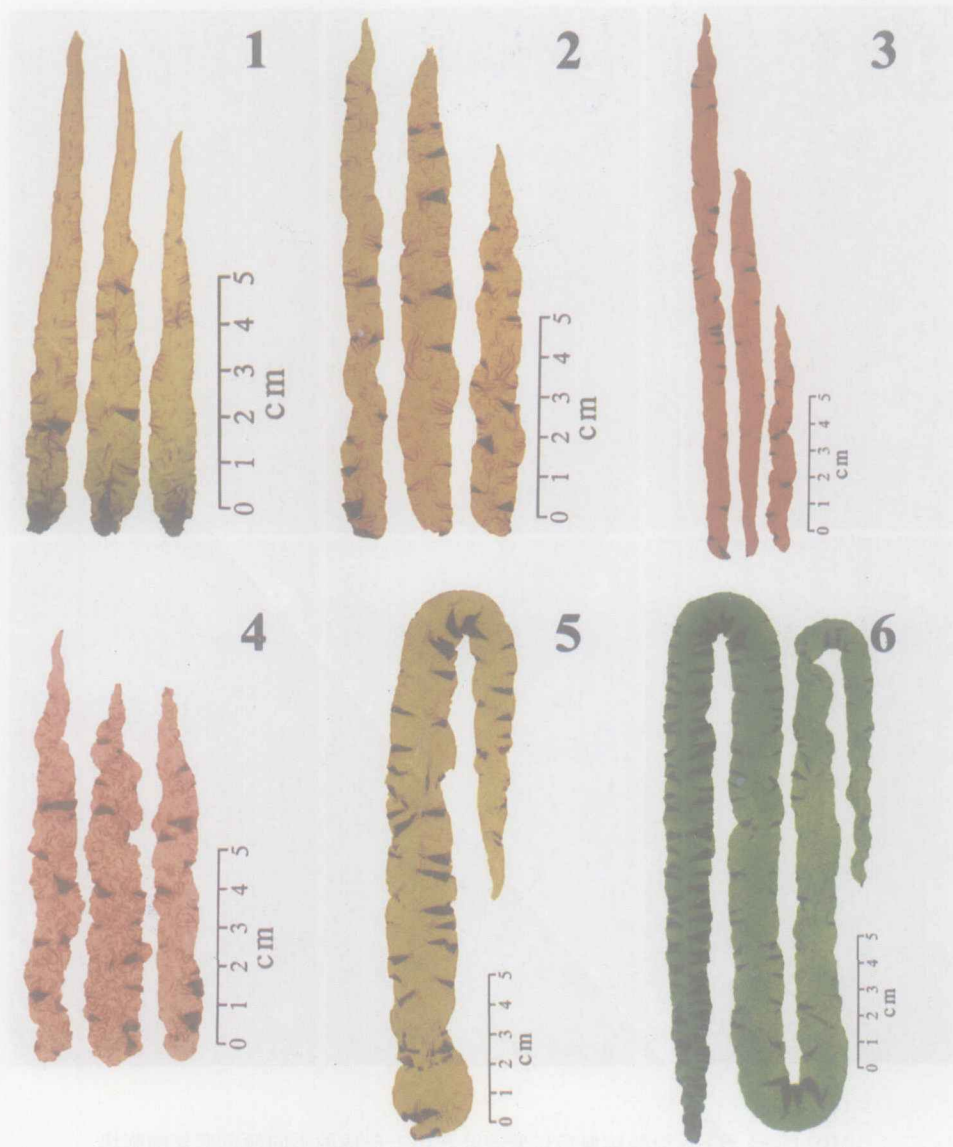


图版 I 经 ^{60}Co - γ 射线辐射后坛紫菜叶状体上形成的不同颜色变异细胞块

Plate I The color-mutated cell-clusters appeared in the gametophytic blades of *Porphyra haitanensis* after being irradiated with ^{60}Co - γ ray

1. 桔红色变异细胞块; 2. 紫红色变异细胞块; 3. 枯草色变异细胞块; 4. 褐色变异细胞块; 5. 橄榄色变异细胞块; 6. 绿色变异细胞块。1-6 均为经 ^{60}Co - γ 射线辐射(1100Gy)后再培养 3 周的细胞, 图中标尺均代表 50 μm 。

1. red orange cell-cluster; 2. red pink cell-cluster; 3. yellow brown cell-cluster; 4. brown cell-cluster; 5. olive cell-cluster; 6. green cell-cluster. Blades in 1-6 were cultured for 3 weeks after irradiation of ^{60}Co - γ ray in 1100Gy dose; scale bar: 50 μm in 1-6.



图版 II 经 ^{60}Co - γ 射线辐射后获得的坛紫菜色素突变体

Plate II Pigmentation mutants of *Porphyra haitanensis* obtained after treatment with irradiation of ^{60}Co - γ ray

1. 野生型叶状体; 2-6. 色素突变体, 分别为 *tan* (红褐色)、*bor* (深桔红色)、*ceb* (紫红色)、*hon* (枯草色)、*cac* (深黄绿色)。1 中的苗龄为 40d; 2-6 中的苗龄为 62d, 图中标尺均代表 50 μm

1. wild type (*wt*); 2. *tan*; 3. *bor*; 4. *ceb*; 5. *hon*; 6. *cac*. Blades were cultured for 40 days in 1 and 62 days in 2-6, scale bar: 50 μm in 1-6.