

文章编号:1000-0615(2009)01-0171-06

· 研究简报 ·

红毛菜的移栽与部分生理生化特性分析

夏建荣¹, 田其然², 高坤山²

(1. 广州大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510006;

2. 汕头大学海洋生物研究所, 广东 汕头 515063)

关键词: 红毛菜; 引种; 二十碳五烯酸

中图分类号: Q 579.1; S 917

文献标识码: A

红毛菜 (*Bangia fusco-purpurea*) 属红藻门 (Rodophycophyta), 原红藻纲 (Protofloridae), 红毛菜目 (Bangiales), 红毛菜科 (Bangiaceae), 红毛菜属 (*Bangia*), 其主要分布在北太平洋西部和北大西洋的温带和亚热带地区, 在我国主要分布在福建和江苏沿海, 由于受自然气候、海况变化的影响, 再加上人为滥采和鱼、贝侵食, 自然资源正日益减少。近期的研究表明红毛菜含有大量的不饱和脂肪酸, 尤其是二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid (EPA) 含量很高^[1-2], 具有较高的经济价值。国内外学者对红毛菜基础生物学、育苗技术、开发利用和遗传学方面进行了初步的研究。孙爱淑等^[3]通过对福建和江苏产的红毛菜繁殖方式和染色体进行了研究, 发现福建产红毛菜和江苏产红毛菜具有不同的染色体数目, 分别属于不同的种; 纪焕红等^[4]研究了壳孢子的超微结构; 在育苗技术方面, 黄春恺^[5-6]报道了大面积立体采果孢子苗技术和气泡加冲水采壳孢子苗技术; 在开发利用方面主要集中在红毛菜的营养成分^[1-2]、藻红蛋白的分离纯化和稳定性^[7-8]、多糖提取^[9]。但对红毛菜光合特性研究较少。

近几年来, 我国开始尝试红毛菜的人工栽培, 其主要产地分布于福建、江苏等地, 广东沿海一直没有栽培的先例, 粤东沿海具有较好的大型藻类栽培基础和技术条件。本文从福建莆田引种入粤东海区进行试验性栽培, 并对其主要光合特性和

主要脂肪酸含量进行了测定, 为红毛菜在广东海区的栽培提供基础资料, 以期促进红毛菜在粤东海区栽培的开展。

1 材料与方法

1.1 引种栽培

2005年10月中旬从福建省莆田县平海镇石井村海域引入红毛菜苗种(壳孢子附着在栽培网帘上, 称为“种帘”)至广东省汕头市南澳岛深澳镇汕头大学海洋生物研究所临海实验站外海域。选定挂养位点, 采用潮间带插杆式网帘吊养的方式进行栽培。退潮时打竹桩(10 m × 6 条), 围成面积约 48 m² (12 m × 4 m) 的栽培架。用竹竿将苗种网帘固定撑起来, 通过绳子挂在栽培架上, 这样就可以在干出期进行人工挂起。

1.2 P-I 曲线测定

取新鲜、健康的成熟红毛菜藻体适量, 甩去可见水分, 用三层滤纸吸干残余水分, 准确称量鲜重后, 放入盛有新鲜海水的反应槽内。光合放氧速率用液相氧电极 (Chlorolab3, Hansatech, U. K.) 测定, 控制温度为 (15 ± 0.5) °C。通过在光源与反应槽之间加不同的中性滤光片来获得所需的光强梯度。用液相氧电极专用软件 OxyLab (V 1.15) 监测反应槽内氧浓度的实时变化情况。

测得的 P-I 曲线采用下列两个非线性拟合方程进行分析:

$$\textcircled{1} P = P_{\max} \cdot \tanh(\alpha \cdot I / P_{\max}) + R_d^{[10]}$$

收稿日期: 2007-12-18

修回日期: 2008-08-25

资助项目: 国家自然科学基金项目 (40676079); 广东省科技计划项目 (2007B020708014)

通讯作者: 夏建荣, E-mail: jrxia@gzhu.edu.cn

$$I_k = (P_{\max} - R_d) / \alpha$$

$$\textcircled{2} P = P_{\max} * (I - I_c) / (I + I_{0.5}) \quad [11]$$

其中, P_{\max} 代表最大光合放氧速率; α 为 $P-I$ 曲线的初始斜率; I 为光强; R_d 是暗呼吸速率; I_k 为光饱和参数; I_c 是光补偿点; $I_{0.5}$ 是半饱和光强。

1.3 脂肪酸组分分析

将红毛菜和另外两种南澳岛常见栽培红藻坛紫菜 (*Porphyra haitanensis*) 和龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 用 Savant Modulyod Freeze Dryer (Thermo electron corporation, USA) 于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下真空冷冻干燥并磨成藻粉。参考 Lepage [12] 的方法并略加修改, 用 $1\text{ mol/L KOH-CH}_3\text{OH}$ 和 $2\text{ mol/L HCl-CH}_3\text{OH}$ 分别在 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴中处理藻粉以提取粗脂肪并甲酯化, 然后用正己烷溶解并用气相色谱仪 (Agilent Technologies 6890N Network GC System, USA) 分析。使用归一化法计算脂肪酸的百分含量。

1.4 数据分析

所列每个数据至少 3 个重复。采用 t -检验或方差分析 (ANOVA) 对结果进行统计学分析, 以 $P < 0.05$ 为差异的显著水平。

2 结果

2.1 红毛菜栽培结果

本实验从十月中旬“种帘”下水开始栽培, 到

次年二月中旬红毛菜成体生长季节结束, 共历时约 4 个月。红毛菜是一种潮间带的大型海藻, 在栽培过程中需要一定时间的干出期 (与海水失去接触而暴露于空气中)。种帘挂养在栽培架上后的前 10 天内, 晴天的 10:00 ~ 14:00 这段时间内都要挂起进行干出, 尤其是在红毛菜幼体还没有长出或者幼体很小的时候。5 ~ 6 d, 种帘上肉眼可见壳孢子萌发长成的红毛菜幼体, 呈暗红色。红毛菜藻体附满条帘后, 要减少干出时间以延长藻体在水中生长时间; 到生长的中后期, 则需要增加干出时间。幼体的生长速度非常快, 经过大约一个多月的时间, 就可以长成红毛菜成体 (图 1), 藻丝长度为 3 ~ 10 cm, 呈暗红色。

在红毛菜的栽培过程中, 网帘上常常会生长很多杂藻, 常见的有紫菜、浒苔等, 需要经常进行清理。可以利用其他杂藻比红毛菜耐干旱能力差的特点, 通过暴晒的方法除去杂藻。对于紫菜等耐干旱能力强的杂藻, 可以进行手动清除; 当藻的生长密度太大时, 藻体间相互会产生遮光效应, 还会竞争周围有限的营养源而导致营养缺乏等状况, 因此需要进行分苗、间苗, 多次收获, 以保证红毛菜的正常生长。另外要特别注意, 阴雨天气不要挂起进行干出, 因为红毛菜经过雨水浸泡后, 容易腐烂死亡。

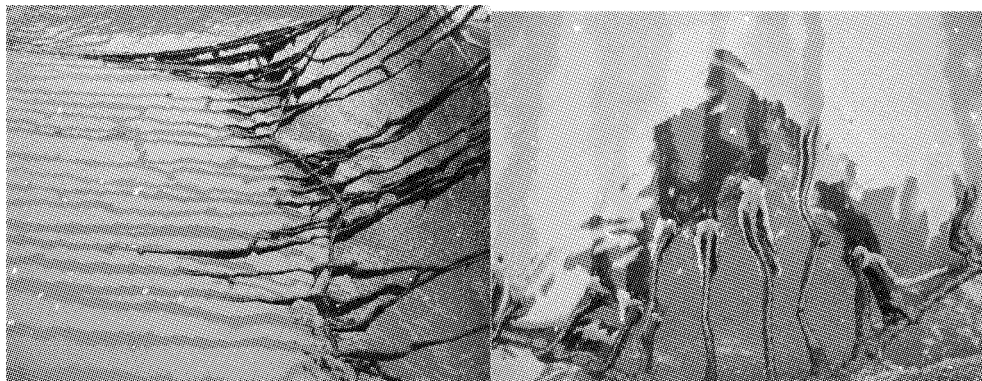


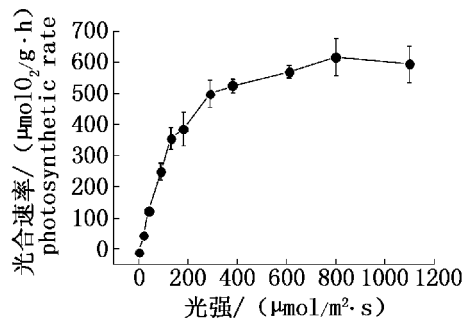
图 1 红毛菜成体

Fig. 1 Adults of *Bangia fusco-purpurea*

2.2 $P-I$ 曲线及其参数

红毛菜 $P-I$ 曲线如图 2 所示, 结果显示红毛菜的最大光合作用速率约为 $582\text{ }\mu\text{mol O}_2 / (\text{g} \cdot \text{h})$, 饱和光强约为 $210\text{ }\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在 $1\text{ }000$

$\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光强下, 仍未发现明显的光合作用光抑制现象。红毛菜的光补偿点比较低, 约为 $6\text{ }\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 而且其暗呼吸速率低, 仅为最大光合作用速率的 2% (表 1)。

图2 红毛菜的 $P-I$ 曲线Fig. 2 $P-I$ curve of *Bangia fusco-purpurea*表1 由 $P-I$ 曲线得到的参数Tab. 1 Parameters derived from $P-I$ curve

参数 parameters	数值 value
P_{max}	582.49 ± 19.29
α	2.78 ± 0.23
R_d	1.05 ± 0.16
I_k	209.19 ± 16.27
$I_{0.5}$	131.15 ± 23.12

2.3 三种红藻主要脂肪酸组成与含量

通过气相色谱分离获得了3种红藻脂肪酸图谱(图3),从图3中可以看出,不同脂肪酸得到了较好的分离,通过归一化法计算主要脂肪酸的百分含量(表2)。3种经济红藻脂肪酸的组成主要以饱和脂肪酸 C16:0 和不饱和脂肪酸 C20:5 为主,其中红毛菜、坛紫菜和龙须菜中 C16:0 分别占脂肪酸总量的 30.54%、40.65% 和 66.95%,饱和脂肪酸中 C18:0 含量所占比例相差不大。不饱和脂肪酸中 C20:5 的含量分别为红毛菜41.2%,

坛紫菜 30.38% 和龙须菜的 7.5%,红毛菜中 EPA 的含量分别比坛紫菜和龙须菜高 17.9% 和 338.4%。每 100 g 干重的红毛菜中的 EPA 含量高达 499.82 mg。

3 讨论

红毛菜的栽培海区一般选择在小潮满潮线以下的中潮带海区;底质通常是沙质、沙泥质及砂砾质;海水比重变化范围 1.018 ~ 1.024, pH 在 8.0 ~ 8.21;风浪大,潮流畅通;水质肥沃,无污染的海域^[13]。在红毛菜藻丝生长期,要求水温在 11 ~ 19 °C,强光照以满足藻丝生长需要^[13]。广东省汕头市南澳岛海域(E116°55';N23°20')基本具备红毛菜生长的海区环境条件,另外,南澳岛有成功栽培潮间带经济红藻(紫菜、龙须菜)的丰富经验,可为红毛菜栽培所借鉴使用。本研究在南澳岛深澳镇汕头大学海洋生物研究所临海实验站外海域采用潮间带插杆式网帘吊养栽培法对红毛菜进行了引种后栽培,红毛菜生长良好,EPA 含量甚至略高于其他产地的红毛菜,可见在南澳岛海域逐步推广红毛菜的栽培是可行的。

Orlando^[14]对 33 种大型藻类的 $P-I$ 曲线研究表明,饱和光强在 115 ~ 190 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;光补偿点 I_c 在 13.3 ~ 32.5 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在某些大型绿藻种类中,饱和光强可高达 2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[15-16]。本研究有关红毛菜 $P-I$ 曲线的结果表明,红毛菜的饱和光强约为 210 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,在 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光强下,仍未发现明显的光合

表2 红毛菜、坛紫菜和龙须菜的主要脂肪酸组成及含量

Tab. 2 Components and contents of the main fatty acids in *Bangia fusco-purpurea*, *Porphyra haitanensis* and *Gracilaria lemaneiformis*

脂肪酸组成 fat acids	红毛菜 <i>Bangia fuscopurpurea</i>		坛紫菜 <i>Porphyra haitanensis</i>		龙须菜 <i>Gracilaria lemaneiformis</i>	
	比例(%)	含量 (mg/100 g)	比例(%)	含量 (mg/100 g)	比例(%)	含量 (mg/100 g)
C16:0 Hexadecanoic acid	30.54	371.82	40.65	567.87	66.95	1013.10
C18:0 Stearic acid	4.62	56.10	4.86	67.85	4.34	65.80
C18:1 Octadecenoic acid	2.64	32.02	3.58	50.10	4.22	64.03
C18:2 Octadecadienoic acid	4.85	58.82	5.74	80.28	12.38	191.16
C18:3 Octadecadienoic acid	0.88	10.50	2.20	30.71	-	-
C20:4 Eicosatetraenoic acid	5.06	61.48	7.97	111.30	4.44	67.59
C20:5 Eicosapentaenoic acid	41.20	499.82	30.38	423.95	7.50	114.09
Σ PUFAs	51.99	631.31	46.28	650.61	24.32	375.77
total fatty acids	100.00	1 214.36	100.00	1 405.62	100.00	1 544.93

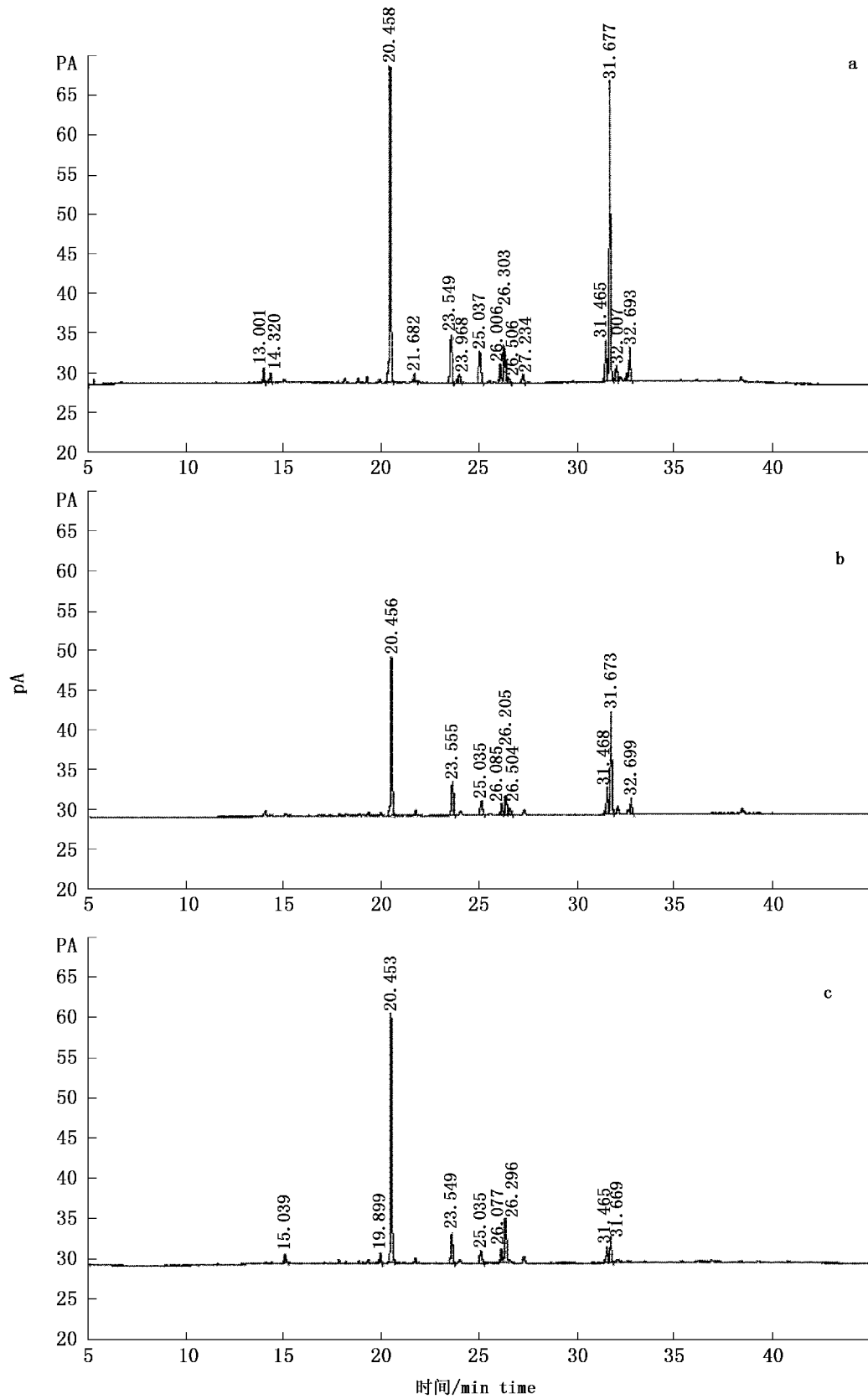


图3 红毛菜(a)、坛紫菜(b)和龙须菜(c)脂肪酸组分气相色谱图
 Fig. 3 Gas chromatogram of *Bangia fusco-purpurea* (a), *Porphyra haitanensis* (b) and *Gracilaria lemaneiformis* (c) fatty acids

作用速率抑制,这与它在自然海区退潮后能忍受烈日暴晒的情况相符。红毛菜的光补偿点比较低,只有 $6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,而且其暗呼吸速率很小,仅为最大光合作用速率的 2‰(表 1),表现出与 C4 植物相似的光合特征。

李宪瑾等^[17]对中国黄、渤海 36 种常见大型海藻(17 种红藻、12 种褐藻和 7 种绿藻)脂肪酸组成的研究表明,黄海和渤海的绝大多数红藻都富含 EPA, 仙菜目(Ceramiales)的松节藻(*Rhodamela confervoides* Huds Silva)、细枝软骨藻(*Chondria tenuissima* Good), 隐丝藻目(Cryptonemiales)的亮管藻(*Hyalosiphonia caespitosa* Okam)、海萝(*Gloiopeltis furcata* Post et Rupr)、海膜(*Halymenia sinensis* Tseng et Chang)、蜈蚣藻(*Grateloupia licina* Ag)中 EPA 占总脂肪酸含量均超过 40%,其中海萝达到 58%,而且每 100 g 鲜重的海萝中 EPA 含量高达 548 mg;而褐藻和绿藻中 EPA 含量普遍低于红藻。黄俊辉等^[18]对 4 种褐藻以及 3 种红藻的研究结果表明,褐藻门的昆布(*Ecklonia kurome*)EPA 含量最高,也仅为每 100 g 干重含 60.8 mg,其余藻类均维持在 11~37 mg 之间。本研究的结果显示,同一海区三种红藻(坛紫菜、龙须菜和红毛菜)EPA 含量相差较大,表明红藻中可能存在不同的 EPA 合成机制,尽管红毛菜 EPA 含量比海萝的略低,但海萝至今还没有成熟的栽培技术,无法进行人工栽培。目前生产 EPA 的原料主要来自深海鱼类的鱼油,但鱼类资源的缺乏导致人们试图从海洋藻类中寻找合适的原料以取代鱼油获取 EPA。蒋汉明等^[19]报道了微藻(*Phaeodactylum tricoratum*)中 EPA 含量高达 1.5 g/100 g 干重。微藻 EPA 含量虽然比较高,但是其培养、收获过程繁琐、工艺复杂,而大型海藻的栽培只需利用现有自然海区,而且产量高,因此利用大型海藻(红毛菜)作为原料生产 EPA 值得尝试。

参考文献:

- [1] 黄文凤,黄建明,董飞强. 红毛菜的营养成分特征和价值[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(2): 57 - 61.
- [2] 马家海,李水军,纪焕红,等. 红毛菜的氨基酸和脂肪酸分析[J]. 中国海洋药物, 2002, (5): 40 - 42.
- [3] 孙爱淑,曾呈奎. 中国红毛菜繁殖方式和染色体
- 的研究[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29 (3): 269 - 273.
- [4] 纪焕红,马家海. 红毛菜壳孢子的超微结构[J]. 水产科技情报, 2000, 27(5): 206 - 209.
- [5] 黄春恺. 红毛菜大面积立体采果孢子苗技术[J]. 齐鲁渔业, 2003, 20(4): 20 - 21.
- [6] 黄春恺. 气泡 + 冲水式采苗技术在红毛菜人工养殖中的应用研究[J]. 齐鲁渔业, 2003, 20(6): 18.
- [7] 郑江,高亚辉,王文星,等. 红毛藻藻红蛋白的粗提方法比较及不同光照条件下藻胆蛋白变性机制的初步探讨[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2003, 42 (1): 117 - 122.
- [8] 吕彩真,欧光南. 红毛藻藻红蛋白的提取及稳定性研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2002, 7(1): 15 - 19.
- [9] 陈恩成,彭超英,张兴如. 红毛菜多糖的分离、纯化及纯度鉴定[J]. 广州食品工业科技, 2004, 20 (2): 30 - 32.
- [10] Jassby A D, Platt T. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton [J]. Limnol Oceanogr, 1976, 21: 540 - 547.
- [11] Edwards G, Walker D. C3, C4: Mechanisms and cellular environmental regulation of photosynthesis [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983: 542.
- [12] Lepage G, Claude C R. Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction or purification [J]. J Lipid Res, 1984, 25: 1391 - 1396.
- [13] 黄春恺. 红毛菜栽培工艺流程和主要技术措施[J]. 福建水产, 1991, 4: 37 - 38.
- [14] Necchi O. Light-related photosynthetic characteristics of lotic macroalgae [J]. Hydrobiologia, 2004, 525: 139 - 155.
- [15] Graham J M, Lembi C A, Adrian H L, et al. Physiological responses to temperature and irradiance in *Spirogyra* (Zygnematales: Charophyceae) [J]. J Phycol, 1995, 31: 531 - 540.
- [16] Ensminger I, Hagen C, Braune W. Strategies providing success in a variable habitat: Dynamic control of photosynthesis in *Cladophora glomerata* [J]. Plant Cell Environ, 2001, 24: 769 - 779.
- [17] 李宪瑾,范晓,韩丽君,等. 中国黄、渤海常见大型海藻的脂肪酸组成[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(2): 215 - 223.

- [18] 黄俊辉, 曾庆孝, 余纲哲. 南海海域数种海藻总脂质及脂肪酸含量的比较[J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(2): 23 - 29.
- [19] 蒋汉明, 翟静, 张媛英, 等. 温度对海洋微藻生长及脂肪酸组成的影响[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 9 - 12.

Transplant and main physiological and biochemical characteristics of *Bangia fusco-purpurea* (Rhodophyta)

XIA Jian-rong¹, TIAN Qi-ran², GAO Kun-shan²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2. Marine Biology Institute, Shantou University, Shantou 515063, China)

Abstract: *Bangia fusco-purpurea*, an economic macroalgae, was often cultivated in Zhejiang and Fujian coastal areas. Its cultivation in Guangdong coast and photosynthetic characteristics had not been well documented. In this paper it was transplanted from Fujian Province to the sea area of Nan'ao Island in Guangdong Province, and the photosynthetic characteristics and fatty acids component were investigated by using photosynthetic gas exchange and gas chromatography. The results showed that *Bangia fusco-purpurea* grew well in situ with a higher photosynthetic light saturation point of 210 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. The lower light compensation point as well as dark respiration rate were also observed. The polyunsaturated fatty acids (PUFAs) accounted for more than half of the total fatty acids. The eicosapentaenoic acid (EPA) content was 41.20% in the total fatty acids, and reached as high as 499.82 mg per 100 g dry weight, which was significantly higher than that of *Porphyra haitanensis* or *Gracilaria lemaneiformis* grown in the same sea area. In conclusion, it was practicable that *Bangia fusco-purpurea* was cultivated in the sea area of Nan'ao Island. The algae could be exploited as a new source of EPA production because of its higher EPA content.

Key words: *Bangia fusco-purpurea*; transplanting; eicosapentaenoic acid