

细基江蓠的光合作用及生产力 与温、盐度的关系*

王永川 黄良民

(中国科学院南海海洋研究所)

提 要

本文报道了温度、盐度与细基江蓠的光合作用、呼吸作用和生产力的关系。实验结果表明,在最适温度(25 °C)、盐度(26‰)时,净光合作用峰值为13.83 微升 O₂/毫克(干重)·小时,最大生产力是5.07 克碳/米²·日。随着温度、盐度的改变,其光合作用、呼吸作用和生产力都发生变化。

测定藻体不同部位的光合作用速度表明,顶端部份为基部的2倍,为中段的1.4倍。呼吸作用也有明显差异。可以认为这是由藻体不同部位新陈代谢的不均衡性所造成。

海藻的光合作用和生长是受温度、盐度、光强度等环境因子的影响。有关这方面的研究已有不少报道^[1,2,3~16],表明了海藻所处的条件不同,其光合作用强度和生长速度有明显的差异。随着海藻资源的开发利用和海洋农牧化的发展,对重要经济海藻的实验生态学、生理学,包括光合作用及其生长发育规律进行研究,很有必要。细基江蓠(*Gracilaria tenuistipitata* Chang et Xia)是一种经济红藻,可以作为提取琼胶的原料。由于目前对它只有一些形态分类和自然生态观察的报道^[5,6],对其生长发育的了解不够。为此,我们开展了细基江蓠光合作用和生产力的研究。本文主要报道温度、盐度对细基江蓠的光合作用、呼吸作用和生产力的影响,以及对该种在自然海区生长进行测量的结果,并就有关问题进行讨论。

材 料 和 方 法

实验用的材料是细基江蓠,一般是在早晨退潮时,在汕头内湾(23°20'N, 116°40'E)的中潮带采集的。从海区运回实验室约经30分钟至1小时,立即把材料洗净,选择健壮藻体,再用消毒过的海水充分洗刷干净,然后剪成4—5厘米长的藻段放入培养缸内培养。培养海水的盐度为25‰左右,温度在17—22°C之间,光照强度为1200勒克司(光周期是12小时),在藻段培养24小时之后开始测定。

* 本文承李冠国教授和邹仁林副研究员审阅并提供宝贵意见,江蓠种的鉴定承张峻甫先生帮助,参加实验工作的还有李少芬同志,在此一并致谢。

自1981年12月至1982年4月,应用检压技术测定了细基江菼的光合作用和呼吸作用,测定方法与我们以前报道的基本相同^[2,4]。但所用海水都经过耐酸漏斗过滤,加热至70—80°C消毒。测定光合作用时,每瓶放置三段藻体(分别有顶端、中段和基部),光强度为9000勒克司(用ZDJ-D型照度计测量);测定呼吸作用时,每瓶放置六段藻体在黑暗中进行。盐度范围是0—45%(根据测出的比重换算),温度范围是20—35°C(±0.5°C)。重复试样最少三次,一般为5至6次以上。测定结果取平均值。实验数据进行显著性检验^[3]。光合作用和呼吸作用的单位是微升O₂/毫克(干重)·小时。

藻体倍增时间是根据Kanwisher^[12]方法计算。测定自然生长速度的方法是每次定点测量25株藻体的长度(厘米),取平均值除以间隔时间所得数据。

生物量的测定是在垂直于沿岸的断面上,随机选点,将0.25平方米方框内的细基江菼采集起来,分别洗净阴干去掉表面水份后再烘干称重,取平均值。生产力是由光合作用和呼吸作用的测定值,根据气体定律(PV = nRT)进行单位换算之后,由以下公式⁽¹⁾计算:

$$NPP = \frac{NP \times t \times m \times 0.375}{PQ \times 1000}$$

NPP代表净生产力(克碳/米²·日);NP指净光合作用(毫克O₂/克(干重)·小时);t是日光合作用时间(12小时);m指生物量(克/米²);PQ是光合系数(采用Hoffman和Davies^[12]测定的近缘种的值1.2)。

从1981年10月至1982年6月还进行了汕头内湾的表层海水温、盐度定点连续观测,取月平均值和每月份所出现的最高或最低值(气温取月平均值)。

结果和分析

表1指出汕头内湾表层海水温、盐度的月变化。平均温度最低是在2—3月份为15°C,最高在6月份为27°C。由于受韩江、榕江等河流和降雨的影响,表层海水的盐度变化比较大,最高盐度可达25%左右(1月份),最低出现过2.2%(5月份)。在1—4月份平均盐度为15—18%之间,平均温度在15—22°C范围内。

根据现场观察和自然生长速度的测量,汕头内湾的细基江菼在11月至翌年4月生长最旺盛。自然生长速度为0.27厘米/日;生物量为75克/米²。在5月下旬最高水温有时达到27—30°C左右,但藻体色素仍正常,直至6月上旬还能生长。以后,随着水温的继续升高和明照强度的增大,藻体从顶端开始,逐渐死亡,而最后整个藻体消失。待到秋季,又开始出现新的江菼苗,进行下一代的繁殖和生长。

从细基江菼不同部位的光合作用和呼吸作用的测定结果(表2)可以看出,顶端的光合作用明显地比基部要高。通过统计学检查,比较不同部位之间光合作用的差异性,表明它们之间的差异是显著的(见表2)。顶端的光合作用为基部的2倍,中段的1.4倍;呼吸强度也相应地较大。

(1) 根据海洋调查规范的生产力换算公式修改得来。

表 1 汕头内湾表层海水温、盐度的变化情况

年	月	温 度(°C)				盐 度(‰)		
		最 高	最 低	平 均	气 温	最 高	最 低	平 均
1981	10	32	20	26	25			
	11	25	19	22	21	20.9	14.0	17.1
	12	23	12	17	15	19.5	13.4	16.6
1982	1	20	10	16	16	24.9	13.4	17.2
	2	18	12	15	15	18.2	16.9	17.6
	3	27	10	15	15	22.9	6.1	16.0
	4	25	19	22	24	22.4	7.9	14.7
	5	30	22	26	27	14.4	2.2	10.8
	6	32	23	27	26	19.7	5.3	12.2

表 2 不同部位的光合作用和呼吸作用比较

温 度	部 位	光合作用±标准差 (GP±SD)	呼吸作用±标准差 (R±SD)	显 著 性		
				比 较	光合作用	呼吸作用
25°C	基部(B)	9.81±0.53	0.38±0.01	B与M	$P<0.001$	$P<0.001$
	中段(M)	14.18±1.21	0.50±0.07	M与T	$P<0.01$	
	顶端(T)	19.58±1.92	0.49±0.06	T与B	$P<0.001$	$P<0.02$
30°C	基部(B)	10.21±0.98	0.43±0.12	B与M	$P<0.01$	
	中段(M)	14.24±1.06	0.64±0.12	M与T	$P<0.02$	
	顶端(T)	19.91±3.40	0.61±0.02	T与B	$P<0.01$	$P<0.05$

图 1 表明细基江蒿的总光合作用和呼吸作用与盐度的关系。在盐度为 26‰时光合作用强度最大,分别为 11.32(20°C)和 12.65(30°C);盐度低于 26‰时,光合作用随着盐度的增加而升高;当盐度高于 26‰时,则随着盐度的增大而下降。二种温度(20°C和 30°C)下所测得的光合作用—盐度曲线都有这种现象。统计学检验表明盐度对细基江蒿光合作用的影响是高度显著的($P<0.001$)。

细基江蒿的呼吸强度是随盐度的增加而下降,在盐度为 0‰时呼吸强度最大(图 1)。统计学检验表明盐度对呼吸作用的影响是显著的($P<0.01$)。

从图 2 看来,当盐度为 13‰时,细基江蒿的呼吸强度随温度的升高而上升,其温度系数 Q_{10} (20—30°C)为 1.61;总光合作用是随温度的升高而增加(20—33°C),在 35°C时光合作用下降,统计学检验表明差异显著($P<0.01$),光合作用的温度系数 Q_{10} (20—30°C)为 1.20。而在盐度为 26‰时,从测得的温度曲线来看,呼吸强度是随温度的升高而增大,差异显著($P<0.01$),呼吸作用的温度系数 Q_{10} (20—30°C)为 1.51;而其光合作用的温度曲线虽有变化,但应用统计学检验测定结果,表明差异不显著($P>0.05$),总光合作用的温度系数 Q_{10} (20—30°C)为 1.12。分析测定结果可见,在 25°C时(盐度 26‰),净光合作用最大,显示出细基江蒿光合作用的最适温度是在 25°C左右(见表 3)。但是温度达到 30°C时光合作用强度仍较高,这说明细基江蒿的光合作用是能忍受较高温度的。

图 3 指出细基江蒿的生长倍增时间与盐度之间的关系。最快生长速度是在 26—32‰

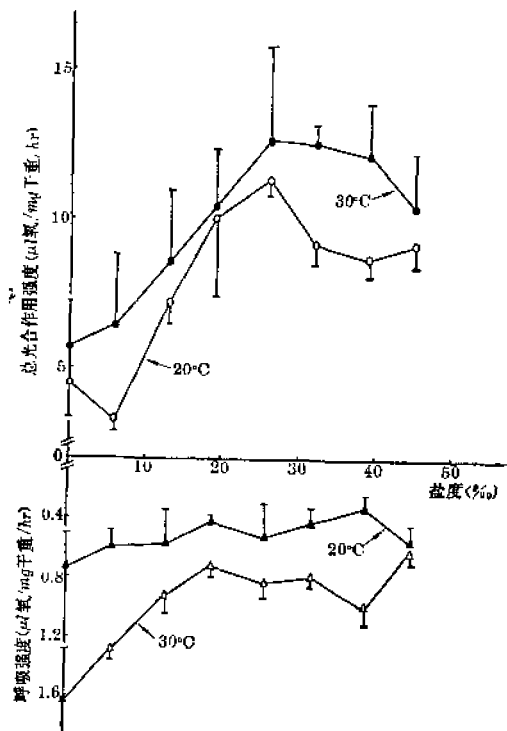


图1 细基江离的光合作用和呼吸作用与盐度的关系。
垂直短棒表示 1/2 标准差。

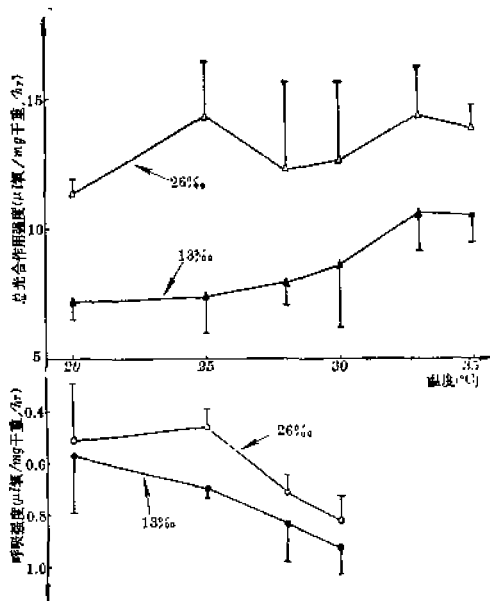


图2 细基江离的光合作用和呼吸作用与温度的关系。
垂直短棒表示 1/2 标准差。

表3 温度与净光合作用、生产力和倍增时间的关系(盐度 26‰)

温度(°C)	净光合作用 NP	GP:R 比值	净生产力 (克碳/米²·日)	倍增时间(天)
20	10.81	22.2	4.03	6.2
25	13.83	31.1	5.07	4.8
28	11.57	17.3	4.20	5.8
30	11.83	15.4	4.27	5.6

盐度下,当用时间表示时,理论上 6 天可以加倍,一般是在 7 天以上。在温度为 30°C,盐度低于 6‰时,生长最缓慢,需要 25 天才能倍增藻体的重量。

从生产力方面来看,在二种温度(20°C和 30°C)条件下,细基江离的生产力与盐度之间都存在着相关关系,盐度为 26—32‰时其生产力最大,高于或低于此盐度范围时生产力降低(见图 4)。为了进一步揭示细基江离的生产力与盐度之间的相关性,作者采用最小二乘法^[8]配置盐度—生产力的曲线关系,得到它们的回归方程。当温度为 20°C时,回归方程为:

$$NPP = 0.8928 + 0.1707 S - 0.002722 S^2 (0 \leq S\% \leq 45, 20^\circ C)$$

其相关系数 $r = 0.889 (P < 0.01)$, 回归标准误差 $s = 0.58$ 。当温度为 30°C时,进行分段拟合,得到回归方程为:

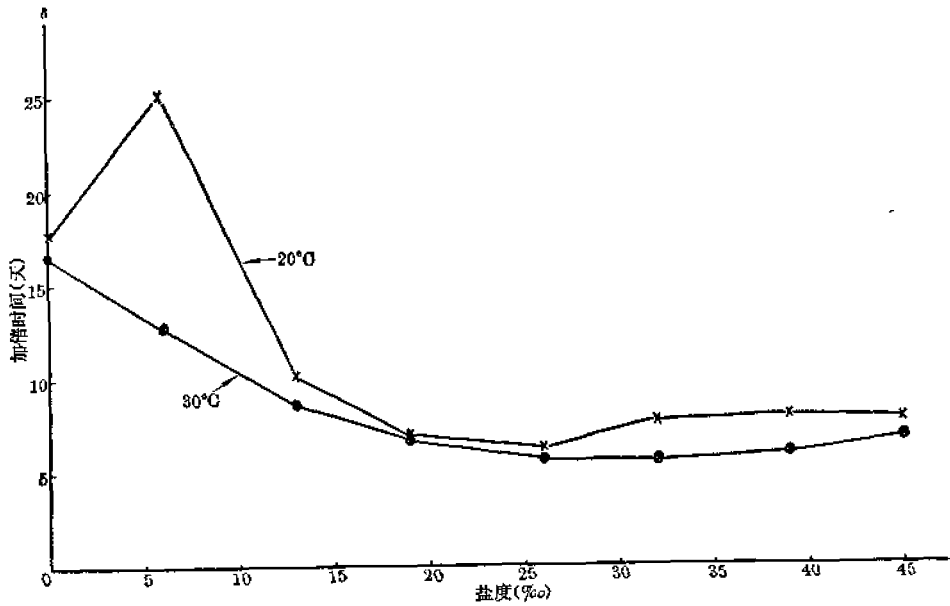


图3 生长倍增时间与盐度的关系

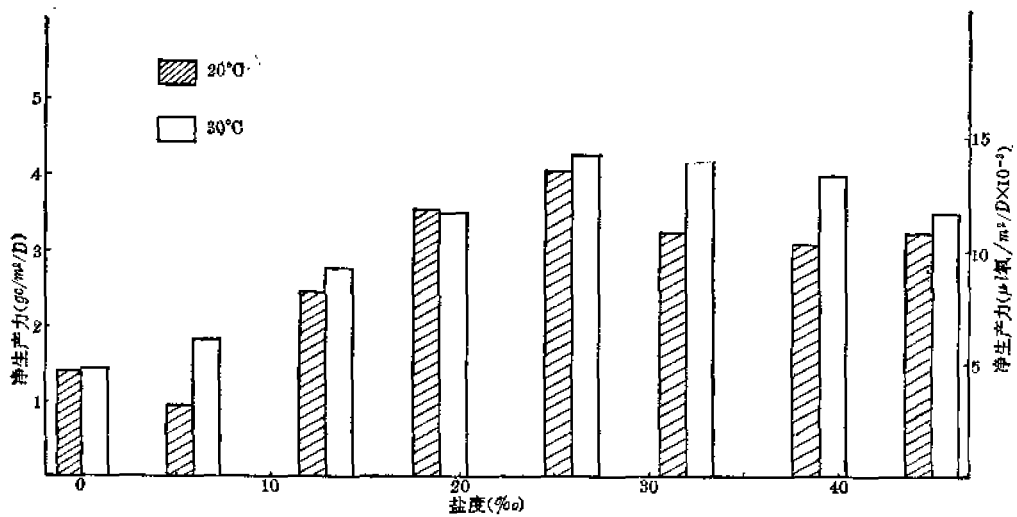


图4 盐度对生产力的影响。

$$(1) \text{NPP} = 1.3570 + 0.1107 S, (0 \leq S \leq 26, 30^\circ\text{C})$$

$$r = 0.996 (P < 0.01), s = 0.12$$

$$(2) \text{NPP} = 1.9161 + 0.1632 S - 0.002821 S^2, (26 < S \leq 45, 30^\circ\text{C})$$

$$r = 0.998 (P < 0.01), s = 0.03$$

它们的相关曲线见图5。

从上述实验结果和通过回归分析初步得到如下结论: (1) 盐度对细基江蓠的光合作用、呼吸作用 and 生产力都有显著影响, 它们之间存在着相关关系。(2) 细基江蓠在测定的

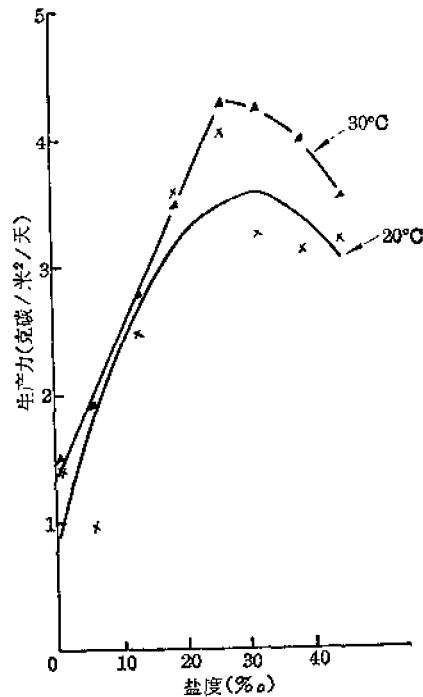


图5 盐度与生产力的回归相关图

盐度和温度范围内都能生长,但最适盐度是在 26—32‰之间,最佳温度为 25°C左右。(3) 根据自然生长的观察和室内的实验结果,都表明该种能适应较高温度。(4) 藻体不同部位的新陈代谢存在着显著的差异。

讨 论

温度对海藻生长的影响是取决于海藻的种类和它的习性。因而,不同种类或是相同种类但生长在不同地区的海藻对温度的适应性也都有所差异。细基江蓼是广东沿岸的特有种,它对温度也有一定的适应范围。从室内所测定的光合作用强度和野外观察的结果表明,细基江蓼的生长最适温度为 25°C。但它能忍受较高的温度范围。当温度达 30°C 时,光合作用强度仍较大。生长在汕头自然海区的细基江蓼,在 5 月下旬时,最高水温有时可达 30°C,但藻体还能生存。樊恭炬等^[7]研究过该种的果孢子萌发体在不同温度条件下的生长情况,指出 25°C 的水温条件是果孢子萌发体生长的最适温度。但在 35°C 水温条件下,尚有部分孢子能萌发成盘状体。由此可见,细基江蓼是一种较能耐高温的种类。这对于具有热带、亚热带特点的广东沿海,将是一种较好的人工养殖种类。同时,我们也观察到,随着温度的继续升高,藻体的热损伤也就开始,并逐渐死亡。直到 6 月底,藻体在汕头内湾已全部消失,这与李伟新的观察结果^[5]相近。Cairns 等(1972)认为藻体在高水温条件下,细胞原生质的凝结物和酶的活性是与较低水温时不一样,因而引起藻体死亡。

盐度也是影响海藻生长的一个重要因子。从实验的结果表明,细基江蓼最适宜的盐度是 26‰,在不超过它本身所适应的盐度范围内,高盐度对其光合作用是比较有利的,而

低盐度则相反。当盐度为 0% 时, 光合作用强度最低, 这与 Fralick 和 Mathieson^[10], Kjeldsen 和 Phinney^[18], Mathieson 和 Dawes^[14] 等采用其它海藻为实验材料所得的结果是相似的。但是, 从呼吸作用的测定结果来看, 细基江蕨是在盐度为 0% 时呼吸强度最大, 这与他们的看法恰好是相反。细基江蕨在低盐度条件下, 由于它的总光合作用偏低, 呼吸强度增大, 因而它的生长是缓慢的。这与 Dawes 等^[9] 测定的另一种江蕨 (*G. verrucosa*) 所得结果相似。王永川、潘国瑛等曾在南澳岛对江蕨 (*G. verrucosa*) 在不同生境下的生长, 进行周年的观察, 其结果表明, 在低盐度 (5% 以下) 的环境, 江蕨虽然能生存, 但生长很差。Gessner 和 Schramm (1971) 认为海藻在低盐度条件下, 光合作用强度减弱是由于藻体从海水中减少吸收光解作用和光化学反应所必需的氯离子。Ogata 和 Matsui (1965) 证实, 在低于 22% 盐度下, 光合作用强度的减弱是由于突然减少光合作用过程中二氧化碳的效应的结果。从以上的结果表明低盐度对细基江蕨的生长是不利的。

综上所述, 温度, 盐度等生态因子对细基江蕨的生长是有显著影响的。在最适温度 (25°C), 盐度 (26%) 的条件下, 生产力最大可达 5.07 克/米²·日。藻体倍增时间为 6—7 天。但生长在不适宜的条件下, 藻体倍增时间甚至延长到 25 天。因此, 掌握每种海藻对环境条件的生理要求, 选择最合适的海区和季节, 进行人工养殖, 对于提高海藻生产力, 促进人工养殖事业的发展是很有意义的。

从藻体不同部位的光合作用和呼吸作用强度的测定结果来看, 不管是顶端或是基部, 它们都能生长。今后, 如果我们能进一步解决江蕨藻体的度夏问题, 使藻体全年都能生长, 那么, 在人工养殖过程中, 可利用江蕨具有再生能力的特点, 采用切割的方法, 让藻体继续生长, 以避免由于藻体过长被风浪冲击而流失。同时, 根据测定的结果也表明, 细基江蕨顶端的光合作用明显地高于基部和中部, 而且呼吸强度也存在着差异, 这一结果与其他研究报告^[4, 12] 相近似, 反映了大型底栖海藻不同部位的新陈代谢水平存在着不平衡性。今后, 在鱼塢、虾池增殖江蕨时, 用藻体的顶端部分作为藻种进行繁殖, 将可望能达到增产的目的。

参 考 文 献

- [1] 王永川等, 1982. 广东紫菜和坛紫菜的温度适应性比较研究. 水产学报, 6(4): 307—312.
- [2] 王永川、黄良民等, 1983. 温度对几种海藻光合作用及其分布的影响. 热带海洋, 2(1): 55—60.
- [3] 中国科学院数学研究所统计组编, 1979. 常用数理统计方法. 科学出版社.
- [4] 李刚、黄良民等, 1983. 广东紫菜和坛紫菜呼吸强度的比较. 南海海洋科学集刊, 第四集, 81—87.
- [5] 李伟新, 1982. 湛江内湾细基江蕨生态研究. 海洋科学, 1: 32—34.
- [6] 张峻甫、夏邦美, 1976. 中国江蕨属海藻的分类研究. 海洋科学集刊, 第 11 集, 92—163.
- [7] 莫恭炬, 李伟新、王永川等, 1974. 琼胶海藻的研究 I. 龙须菜果孢子萌发体的生长适温. 植物学报, 16(1): 24—30.
- [8] Bird, N. L., L. G-M. Chen and J. McLachlan, 1979. Effects of temperature, light and salinity on growth in culture of *Chondrus crispus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales, Rhodophyta), and *Fucus serratus* (Fucales, Phaeophyta). *Bot. Mar.*, 22: 521—527.
- [9] Dawes, C. J., R. E. Moon and M. A. Davis, 1978. The photosynthetic and respiratory rates and tolerances of benthic algae from a mangrove and salt marsh estuary: a comparative study. *Estuarine and Coast Marine Science.*, 6: 175—185.
- [10] Fralick, R. A. & Mathieson, A. C., 1975. Physiological ecology of four *Polysiphonia*, species

- (Rhodophyta, Ceramiales). *Mar. Biol.*, **29**: 29—36.
- [11] Hoffman, W. E. and C. J. Dawes, 1980. Photosynthetic rates and primary production by two Florida benthic red algae species from a salt marsh and a mangrove community. *Bull. Mar. Sci.*, **30**: 358—364.
- [12] Kanwisher, J. W., 1966. Photosynthesis and respiration in some seaweeds, In: Some Contemporary Studies in Marine Science, Ed. H. Barnes, George Allen and Unwin Ltd., London, p. 402—420.
- [13] Kjeldsen, C. K. & Phinney, H. K., 1972. Effects of variation in salinity and temperature on some estuarine macroalgae. Proceedings of the Seventh Seaweed Symposium (1971). University of Tokyo Press. 301—308.
- [14] Mathieson, A. C. & Dawes, C. J., 1974. Ecological studies of Floridian *Eucheuma* (Rhodophyta, Gigartinales) II. Photosynthesis and respiration., *Bull. Mar. Sci.* **24**: 274—285.
- [15] Tseng C. K., B. C. Zhou and Z. Z. Pan (曾呈奎, 周百成, 潘忠正), 1981. Comparative photosynthetic studies on benthic seaweeds. III. Effects of light intensity on photosynthesis of intertidal benthic red algae. In: Xth International Seaweed Symposium. T. Lavring, ed., p. 515—520.
- [16] Zavodnik, N., 1975. Effects of temperature and salinity variations on photosynthesis of some littoral seaweeds of the North Adriatic sea. *Bot. Mar.*, **18**: 245—250.

EFFECTS OF TEMPERATURE AND SALINITY ON PHOTOSYNTHESIS AND PRODUCTIVITY OF *GRACILARIA* *TENUISTIPITATA* C. F. CHANG ET XIA (RHODOPHYTA)

Wang Yongchuan and Huang Liangmin

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

Effects of temperature and salinity on photosynthesis and productivity of *G. tenuistipitata* have been studied. All the experimental materials were controlled under light intensity of 9000 Lux and with different temperature (25—35°C) and salinity (0—45‰). The experimental data indicated that peak net photosynthesis was 13.83 μ l O₂/mg dry weight per hr and maximum productivity was 5.07g C/m² per day at 25°C, 26‰. According to Kanwisher's calculation method, *G. tenuistipitata* could ideally double their own mass in 5 days at 20°C or 30°C. The optimum salinity for photosynthesis ranged at 19—26‰ or 26—32‰, respectively. Photosynthesis saturation was generally about 20 times of respiration and varied with the ecological factors.

Different parts of thallus had different photosynthetic rate. The terminal part of thallus doubles to that of the base, and different part of the thallus also had evidently different respiratory rate. It is due to un-equilibrium of metabolic activity in different parts of the thallus. Therefore, growth rate of the terminal part was much faster than that of the basic and middle parts.

During the period from October 1981 through June 1982, the response of *G. tenu-*

istipitata to temperature and salinity has been measured inshore at the Shantou Harbour. From November to next April, temperature ranged 15—22°C and salinity 14—18‰. At that time, the plant grew most luxuriantly. Optimum growth rate of the *G. tenuistipitata* was 0.27cm/day and the production of biomass was 75g/m² (dry weight) at the Shantou Harbour. In May, sometime when water temperature reached 27—30°C, the plant could grow normally. It reveals that *G. tenuistipitata* could better adapt to high temperature.