

温度对几种大型海藻硝氮吸收及其生长的影响

李 恒^{1,2} 李美真^{1*} 曹 婧³ 徐智广¹

(¹山东省海水养殖研究所藻类中心实验室, 青岛 266002)

(²中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266100)

(³国家海洋局北海环境监测中心, 青岛 266000)

摘 要 以大型红藻真江蓠 *Gracilaria asiatica*、脆江蓠 *Gracilaria chouae*、蜈蚣藻 *Grateloupia filicina* 大型褐藻鼠尾藻 *Sargassum thunbergii*、海黍子 *Sargassum pallidum* 为实验材料, 研究了在 10~25℃ 不同温度下这几种海藻对硝氮(NO₃-N)的吸收和生长情况。结果表明, 几种大型海藻对水体中 NO₃-N 的吸收效果明显, 其中真江蓠和脆江蓠的吸收速率 15℃ 时最高, 为 0.507±0.136 和 0.448±0.095 μmol/g·h, 蜈蚣藻和鼠尾藻在 20℃ 时最高, 为 0.614±0.033 和 0.289±0.019 μmol/g·h, 海黍子在 25℃ 时吸收速率最高, 为 0.748±0.015 μmol/g·h。结合去除效率常数来看, 海黍子对 NO₃-N 有更好的去除效果。温度变化对大型海藻的生长具有显著的影响, 在 20℃ 下大部分海藻相对生长速率达到最高, 其中以脆江蓠最高, 达到 4.79%±0.45%/d。

关键词 真江蓠 脆江蓠 蜈蚣藻 鼠尾藻 海黍子 吸收动力学 相对生长率

中图分类号 S968.43

文献标识码 A

文章编号 1000-7075(2013)01-0159-07

Effects of temperature on nitrogen uptake and growth in several species of macroalgae

LI Heng^{1,2} LI Mei-zhen^{1*} CAO Jing³ XU Zhi-guang¹

(¹ Algae Research Centre, Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002)

(² College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100)

(³ North China Sea Environment Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266000)

ABSTRACT A series of experiments were conducted to investigate the effects of nutrient supplement on nitrogen uptake and growth of macroalgae, including *Gracilaria asiatica*, *G. chouae*, *Grateloupia filicina*, *Sargassum thunbergii*, and *S. pallidum*. It was found that nitrate absorption of these macroalgae was obvious within certain temperature range. With the rise of temperature, the nitrite uptake rate demonstrated an increasing trend. At 15℃, *G. asiatica* and *G. chouae* exhibited a maximal uptake rate of 0.507±0.136 μmol/g·h and 0.448±0.095 μmol/g·h, respectively. At 20℃, *G. filicina* and *S. thunbergii* exhibited a maximal uptake rate of 0.614±0.033 μmol/g·h and 0.289±0.019 μmol/g·h. At 25℃, *S. pallidum* exhibited a maximal uptake rate of 0.748±0.015 μmol/g·h. These findings indicated that

国家海洋公益性行业科研专项经费项目(200905019-2;200905020-2;201105008-2)和国家 863 项目(2012AA10A413;2012AA10A406-2)共同资助

* 通讯作者。E-mail:li-meizhen@163.com, Tel:13668895515

收稿日期:2012-10-11;接受日期:2012-12-06

作者简介:李 恒(1980-),男,实验师,主要从事海洋生态学研究。E-mail:Liheng@ouc.edu.cn

S. pallidum is more efficient than the other species in removing nitrogen. Temperature had a significant impact on macroalgae growth, and at 20°C, the highest growth rate in wet weight occurred in most macroalgae, especially *G. chouae*, reaching $4.79 \pm 0.45\%/d$.

KEY WORDS *Gracilaria asiatica* *Gracilaria chouae* *Grateloupia filicina*
Sargassum thunbergii *Sargassum Pallidum* Uptake kinetics
Relative growth rate

近年来,随着我国沿海地区工农业和海水养殖业的高速发展,其向海洋输入的营养盐含量急剧增加,从而使得近海海水富营养化日趋严重(杨宇峰等 2003)。为缓解这一问题,目前国内外学者普遍研究利用大型藻类对富营养化环境进行生物修复,取得较好的效果(Marinho-Soriano *et al.* 2009; Kang *et al.* 2008)。大型海藻具有生命周期长、生物量大且生产力高的特点,在生长过程中能大量吸收水体中营养物质,同时增加水体溶解氧,并为提取藻胶、制取沼气或肥料提供宝贵的生物来源(林贞贤等 2006; 岳维中等 2004)。

本研究所选取的5种大型海藻均来自于温带海区的潮间带地区,昼夜环境温度变化范围很大。温度是大型海藻吸收营养的主要影响因子之一,对藻类的呼吸作用及光合作用暗反应中的酶活性都有显著的影响,同时还是造成海藻体内生理状态、生化组分(色素、蛋白质及碳水化合物)出现巨大变化的主要因素(姜宏波等 2009)。近年来,变温条件下对大型海藻影响的研究已有一些报道(金玉林等 2012; 赵建刚等 2011)。作者主要研究了温度对5种大型海藻的生长以及对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸收的影响,以期对目标海区人工藻场的投放藻种进行初步筛选,并为大型海藻对水产养殖体系的修复及海藻资源的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料与预培养

真江菮和蜈蚣藻取自山东青岛小麦岛海域,脆江菮取自福建宁德罗源湾海域人工栽培区,马尾藻和鼠尾藻取自山东荣成俚岛海域,取样时间为2009年10~11月。选择健康藻体,用过滤海水清洗并仔细去除表面附着物,提前7 d转入光照培养箱内进行预培养。培养液使用过滤灭菌海水(取自山东青岛小麦岛海域),培养温度为20°C,光强 $70 \mu\text{mol photons}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$,光照周期为12L:12D。每2d更换1次培养液。

1.2 实验设计

选择健康一致的叶状体作为实验材料,取 $1 \pm 0.005\text{g}$ (湿重)的藻体置于1L的锥形瓶中,初始培养液体积为700 ml。培养液采用高温灭菌的过滤海水(其中硝酸盐浓度 $10.118 \pm 0.201 \mu\text{mol}/\text{L}$ 、磷酸盐浓度 $0.209 \pm 0.003 \mu\text{mol}/\text{L}$),添加氮(硝酸盐)的初始浓度为 $20 \mu\text{mol}/\text{L}$,除氮外均采用f/2配方加富。实验设置4个温度水平(10、15、20、25°C),每个条件设置3个平行样,共培养8d。每次取样时称量藻体湿重,并取10 ml培养液用 $0.45 \mu\text{m}$ 的醋酸纤维滤膜过滤,滤液于-20°C冷冻保存,30 d内测定硝酸盐含量。

1.3 样品分析及数据处理

硝酸盐浓度用营养盐自动分析仪(QUAARO, Bran-Luebbe, 德国)进行测定,其检测限为 $0.030 \mu\text{mol}/\text{L}$,变异系数0.3%。海藻对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸收速率的计算公式如下(刘建国等 2008):

$$U = (C_0 - C_t) \times V / (t \times G)$$

式中, U 为营养盐的吸收速率, C_0 为实验结束时对照组培养液中营养盐浓度, C_t 为实验结束时实验组培养液中的营养盐浓度, V 为所用培养液体积, t 为实验时间, G 为添加海藻的湿重。

藻体湿重是在拭干藻体表面附着的水分后用精确度为0.1mg的电子天平进行称量。藻体相对生长率(Relative growth rate, RGR, %/d)的计算公式如下(Mansilla *et al.* 2008):

$$\text{RGR} = \ln(W_t / W_0) / t \times 100$$

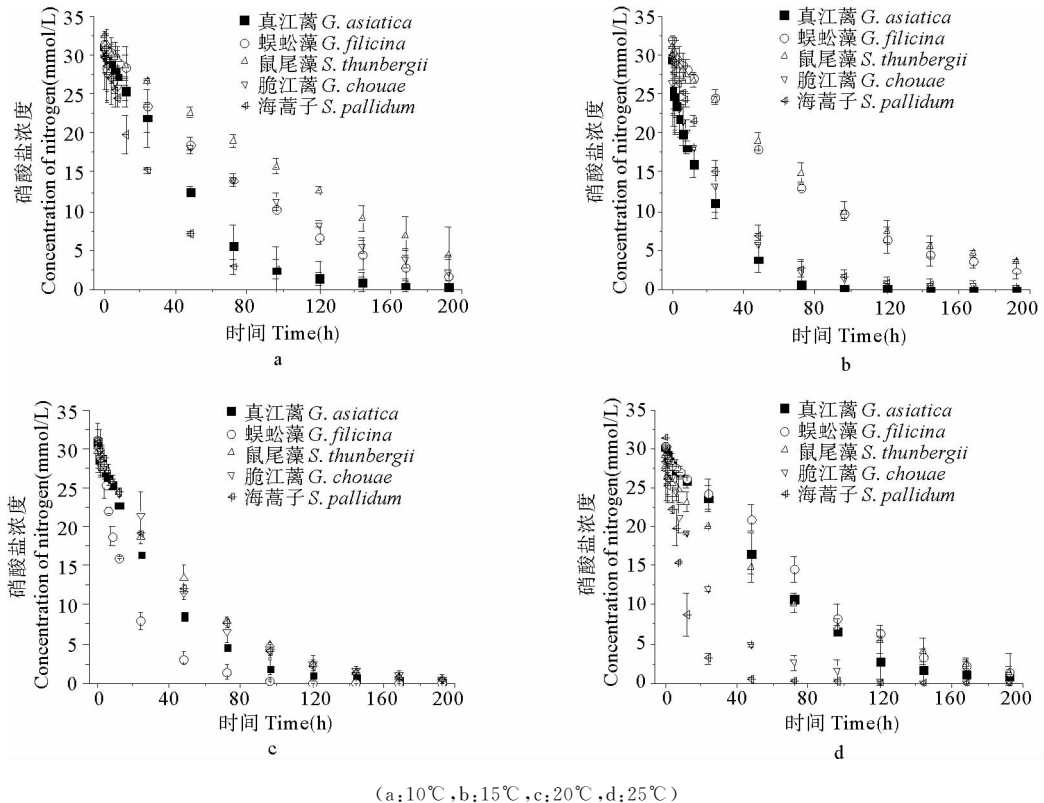
式中, W_0 为初始湿重, W_t 为 t 时刻的湿重。

文中数据在 Origin 8.0 软件下进行拟合, 用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 检验组间差异, 以 $P < 0.05$ 作为差异的显著性水平。

2 结果与分析

2.1 不同温度下几种大型海藻对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸收情况

从图 1 可以看出, 整个实验过程中各组培养液中的 N 含量明显下降, 且随培养温度的增高, 培养液中的 N 愈快被吸收完。在 10°C 下, 仅至实验结束时, 海黍子和真江菘对 N 的吸收才接近 0 点, 分别为 99.5% 和 98.9%, 而其他 3 组培养液中 N 均有剩余, 其中鼠尾藻去除率最低, 仅为 85.5%。在 15°C 下, 真江菘在 96h 的去除率即达到 99.1%, 而至实验结束时, 真江菘、脆江菘和海黍子的 N 均完全吸收, 鼠尾藻去除率最低, 为 88.6%。在 20°C 下, 蜈蚣藻在 96h 的去除率达到 99.0%, 至实验结束时, 所有组对 N 的吸收均达到或接近 0 点, 其中去除率最低的脆江菘也达到 98.2%。在 25°C 下, 海黍子在 48h 去除率即达到 98.4%, 实验结束时蜈蚣藻去除率最低, 为 96.5%。



(a: 10°C , b: 15°C , c: 20°C , d: 25°C)

图 1 不同温度下介质中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度随时间的变化过程

Fig. 1 Variation of nitrogen concentrations in the medium at different temperature during the experiment

静态培养下营养盐的变化可采用一级动力学方程进行描述(李秀辰等 1998), 很多学者也进行过相关研究(秦传新等 2010; 何 洁等 2010)。通过拟合得到去除效率常数 k , 对其进行比较(表 1)可以看出, 真江菘和脆江菘 k 值的变化趋势较为接近, 除 25°C 外, 真江菘 k 值均大于脆江菘, 在 15°C 下二者 k 值最高, 分别为 0.058 ± 0.002 和 0.041 ± 0.001 , 且大于其他 3 种海藻; 在 10°C 下二者 k 值最低, 分别为 0.019 ± 0.001 和 0.011 ± 0.000 。蜈蚣藻在 20°C 下 k 值为各组中最高, 为 0.051 ± 0.000 , 而在其他各温度下几乎相同, 在 $0.011 \pm 0.000 \sim 0.012 \pm 0.000$ 之间。海黍子在 25°C 下 k 值远高于其他各组, 达到 0.090 ± 0.001 , 其他温度下 k 值

在各组中也较高,波动范围是 $0.020 \pm 0.000 \sim 0.030 \pm 0.000$ 。鼠尾藻各温度下 k 值变化不大,最大值在 20°C 下,为 0.019 ± 0.000 ,最小值在 10°C 下,为 0.008 ± 0.000 。

表1 不同温度下各海藻对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸收的一级动力学拟合结果

Table 1 Kinetics of nitrogen uptake by macroalgae at different temperature fitted to the first-order kinetic equation

藻种 Macroalgae species	温度 Temperature ($^\circ\text{C}$)	初始营养盐浓度 Initial nutrient concentrations ($\mu\text{mol/L}$)	去除效率常数 Removal rate constant (/h)	R^2
真江蓠 <i>G. asiatica</i>	10	31.030 ± 0.000	0.019 ± 0.001	0.966 5
	15	29.409 ± 0.002	0.058 ± 0.002	0.910 0
	20	30.923 ± 0.002	0.026 ± 0.000	0.994 4
	25	30.160 ± 0.000	0.015 ± 0.000	0.962 4
蜈蚣藻 <i>G. filicina</i>	10	30.882 ± 0.002	0.011 ± 0.000	0.965 5
	15	31.951 ± 0.001	0.012 ± 0.000	0.984 3
	20	29.755 ± 0.154	0.051 ± 0.000	0.986 3
	25	30.304 ± 0.004	0.012 ± 0.000	0.923 3
鼠尾藻 <i>S. thunbergii</i>	10	32.573 ± 0.003	0.008 ± 0.000	0.950 9
	15	31.016 ± 0.016	0.011 ± 0.000	0.980 9
	20	30.182 ± 0.002	0.019 ± 0.000	0.993 8
	25	29.201 ± 0.001	0.016 ± 0.000	0.902 7
脆江蓠 <i>G. chouae</i>	10	30.408 ± 0.002	0.011 ± 0.000	0.918 4
	15	29.659 ± 0.001	0.041 ± 0.001	0.903 7
	20	31.103 ± 0.002	0.021 ± 0.000	0.985 8
	25	30.272 ± 0.002	0.038 ± 0.000	0.994 9
海黍子 <i>S. pallidum</i>	10	30.858 ± 0.002	0.030 ± 0.000	0.992 4
	15	30.092 ± 0.002	0.030 ± 0.000	0.996 7
	20	31.002 ± 0.002	0.020 ± 0.000	0.993 5
	25	31.434 ± 0.004	0.090 ± 0.001	0.981 5

选取试验阶段前 24 h 所有藻对 N 的吸收速率进行比较,从图 2 可以看出,真江蓠和脆江蓠对 N 的吸收速率变化较为相似,吸收速率的最大值均出现在 15°C 下,分别为 0.507 ± 0.136 和 $0.448 \pm 0.095 \mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$;蜈蚣藻则在 20°C 下出现吸收速率的最大值 $0.614 \pm 0.033 \mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$,其他温度下波动不大。海黍子在各温度下的吸收速率要高于鼠尾藻,且二者呈现相反的趋势,鼠尾藻在 20°C 下出现吸收速率的最大值 $0.289 \pm 0.019 \mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$,而海黍子在该温度下吸收速率最低;海黍子吸收速率最高值在 25°C 下出现,达到 $0.748 \pm 0.015 \mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$,也是所有实验组中吸收速率最高的。

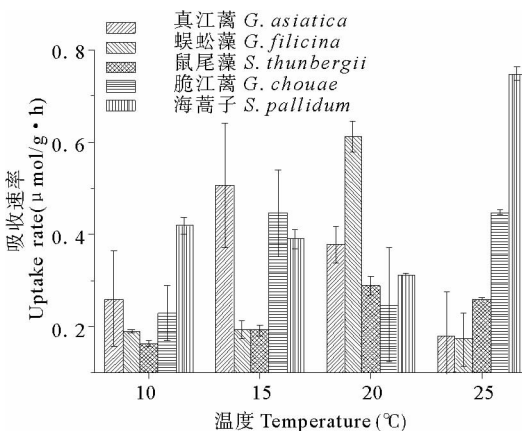


图2 不同温度下各海藻的吸收速率
Fig. 2 Nitrogen uptake rates by macroalgae at different temperature

2.2 不同温度下藻体的生长

One-Way ANOVA 分析表明,温度对这 5 种大型海藻的生长均影响显著($P < 0.05$)。从图 3 可以看出,在温度较低的两组中,各海藻的生长趋势较为接近,均在第 1 天呈现快速生长,然后进入缓慢生长阶段。部分海藻在研究末期出现藻体湿重下降的现象,蜈蚣藻的长势略优于其他藻种。而在 20℃ 下,所有的海藻都呈现出持续上升的生长趋势,两种江蓠的增重明显大于两种褐藻,而蜈蚣藻则处于一个中间水平。当温度达到 25℃,各海藻的生长趋势又趋于平缓,脆江蓠的增重高于其他藻种。

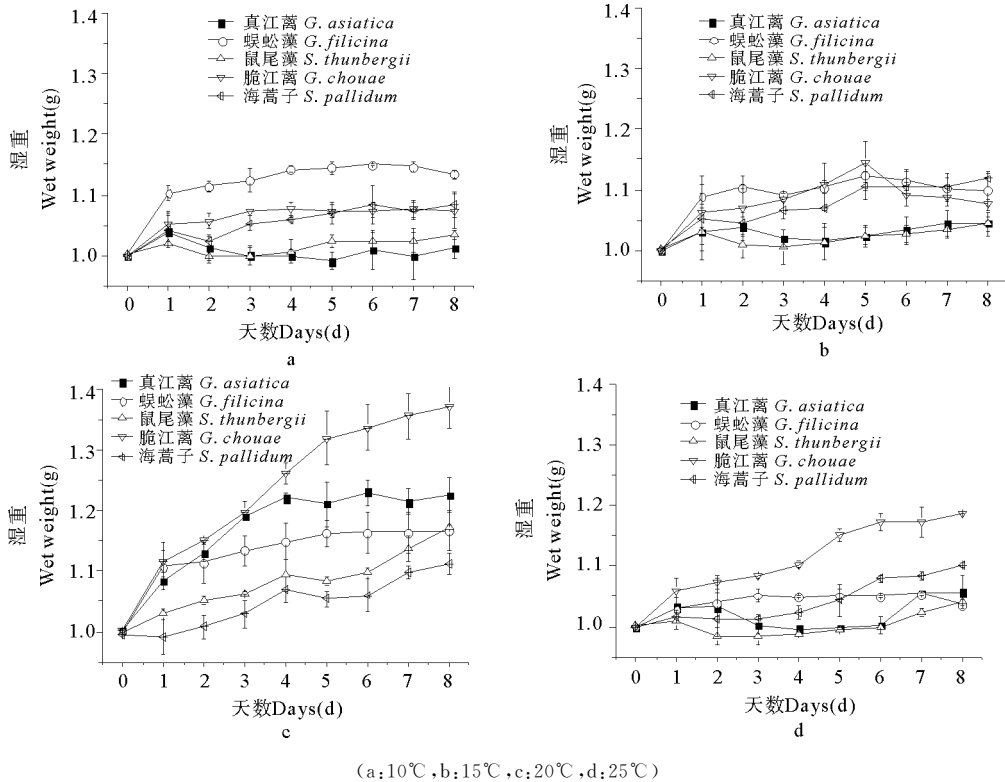


图 3 各海藻湿重随时间的变化过程

Fig. 3 Growth of wet weight of macroalgae at different temperature during the experiment

从图 4 可以看到,在各温度组中,海蒿子在各温度下相对生长速率变化不大,波动范围在 $1.01\% \pm 0.26\%$ ~ $1.55\% \pm 0.21\%/d$ 之间。真江蓠、脆江蓠和鼠尾藻变化趋势较为相似,均在 20℃ 下出现相对生长速率的最大值,其中脆江蓠波动范围为 $0.88\% \pm 0.33\%$ ~ $4.79\% \pm 0.45\%/d$,在各温度下均高于真江蓠和鼠尾藻的生长速率。蜈蚣藻虽然也是在 20℃ 下出现最大生长速率,但是随温度升高生长速率开始下降,其波动范围为 $0.44\% \pm 0.33\%$ ~ $1.92\% \pm 0.45\%/d$ 。

3 讨论

3.1 不同温度对几种大型藻 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸收的影响

在自然海水中,氮主要以无机态、有机态和颗粒态存在, $\text{NO}_3\text{-N}$ 则是溶解无机氮最主要的组成成分,有氧环境中其存在的量比氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)及亚硝氮($\text{NO}_2\text{-N}$)都高。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及 $\text{NO}_3\text{-N}$ 一般被认为是大型海藻生长最重要的氮源,而且 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 更快且更易被吸收(Hanisak *et al.*, 1993)。但环境中往往存在高的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度和低的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度,从而使得藻类调整为吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。大型海藻对 N 的吸收为主动吸收,在恒化培养条件下,其对营养盐的吸收速率和外界营养盐浓度之间一般遵循米氏动力学方程。但本研究结果中却呈现出阶段吸收的现象,这是由于大型海藻对 N 的主动吸收往往还与介质中营养盐形态以及藻体的生

理状态有关(Rolf *et al.* 2004)。有研究表明,大型海藻对营养盐吸收可分为包括起始的短期快速吸收,内部营养盐控制的稳定吸收和外界营养盐控制吸收在内的3个阶段,也初步证实了这一现象(刘静雯等 2004;温珊珊等 2008)。

在光照一定的情况下,藻类的营养吸收在适宜温度范围内一般随温度的升高而增加,这也与本研究结果一致。而不同藻种的临界温度是不一样的,对于大多数海藻来说,大于30℃及低于6℃时,N的吸收都会降低(Okhyun *et al.* 1998)。通过拟合结果可以说明,本研究中几种大型海藻对水体中的NO₃-N均有较好的去除效果,但是各海藻的吸收速率常数随温度变化并不一致,这体现了温度对离子吸收的影响具有种类特异性,不同藻种具有不同的最适营养吸收温度范围。钱鲁闵等(2006)研究了龙须菜和菊花心江蓠对N的吸收,其最适宜温度范围分别为16~23℃和23~33℃。

本研究中,结合前24h的吸收速率进行分析可以看出,在10~20℃间,真江蓠的吸收效果均优于脆江蓠,而在25℃下脆江蓠吸收速率远大于真江蓠,这可能是由于脆江蓠取自南方海区,更能适应较高的温度环境。蜈蚣藻仅在20℃下有较高的吸收速率,其他温度下吸收效果较差,并且在实验结束时观察到藻体颜色有变浅的现象。海黍子和鼠尾藻吸收速率的变化趋势较为相似,随温度升高吸收速率有大致增加的趋势,在各温度下海黍子的吸收效果都要优于鼠尾藻,这可能是由于相比鼠尾藻来说,海黍子的叶片具有更大的表面积,更有利于吸收环境中的营养盐(Bokn *et al.* 2003)。

3.2 不同温度对几种大型藻生长的影响

N是影响海藻生长的主要营养元素,一般情况下海藻生长率的变化与N供应的变化相一致。温度对海藻的生长率和营养吸收率的限制程度不同,生长率对温度的变化更敏感(Duke *et al.* 1988)。在适宜的温度范围内,当温度增加,光合作用速率加快,促进植物生长;而超出适宜范围(即遭受热胁迫)时,温度增加则抑制植物的生长(郭赣林等 2007)。从本研究结果可以看出,温度的变动显著影响各海藻的生长,并且不同的海藻对温度的耐受能力在生长上的反应也有所不同。研究中的大型海藻除海黍子外,最适宜生长的温度均为20℃,该温度下的生长率明显高于其他温度组,这也与实验海藻在自然环境中的生长节律基本一致。刘静雯等(2001)研究表明,细基江蓠繁枝变型在20~30℃,蜈蚣藻20~25℃生长较快;姜宏波等(2009)研究表明,鼠尾藻在15~20℃生长最快,与本研究结果大致接近。但是上述报道中的生长率均高于本实验结果,可能与本研究培养基中营养盐浓度较低有关。另外本研究为采用室内小体积静态培养,若采用在流动水体中进行筛选工作,所得结果可能会更加符合自然环境下海藻的营养吸收和生长状况。海黍子在各温度下生长率波动范围不大且低于其他藻种的最大生长率,而其对NO₃-N的吸收却优于大多数藻种。这可能由于海藻的生长率不仅与外界营养盐的浓度有关,还与细胞内部营养库有关。Hanisak等(1990)分析海藻体内营养盐浓度发现,存在一个临界营养盐浓度,该浓度恰好使藻类生长达到饱和,过高或过低则意味着营养盐积累或不足。对大型海藻而言,这一临界值受环境因子的变化影响,进而改变海藻生化组成(如色素、蛋白质等),从而影响最大光合作用和生长所需的N水平。

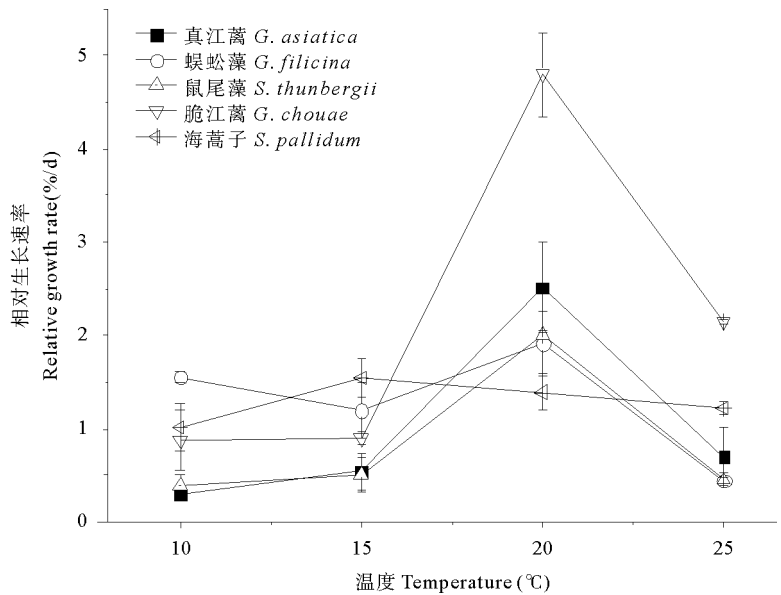


图4 不同温度下各海藻的相对生长速率的变化

Fig. 4 Variation of RGR of macroalgae at different temperature

参 考 文 献

- 刘建国, 路克国, 林 伟, 庞 通, 王 莉. 2008. 温度、氮浓度和氮磷比对长心卡帕藻(*Kappaphycus alvarezii*)吸收氮速率的影响. 海洋与湖沼, 39(5): 529-535
- 刘静雯, 董双林. 2004. 氮饥饿细基江篱繁枝变型和孔石莼氨氮的吸收动力学特征. 海洋学报, 26(2): 95-102
- 刘静雯, 董双林, 马 牲. 2001. 温度和盐度对几种大型海藻生长率和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸收的影响. 海洋学报, 23(2): 109-116
- 李秀辰, 张国琛, 崔引安, 雷衍之. 1998. 孔石莼对养鲍污水的静态净化研究. 农业工程学报, 14(1): 173-176
- 杨宇峰, 费修便. 2003. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 33(1): 53-57
- 何 洁, 刘 瑀, 张立勇, 刘长发. 2010. 3种大型海藻吸收营养盐的动力学研究. 渔业现代化, 30(1): 1-5
- 林贞贤, 汝少国, 杨宇峰. 2006. 大型海藻对富营养化海湾生物修复的研究进展. 海洋湖沼通报, 4: 128-134
- 岳维忠, 黄小平, 黄良民, 谭烨辉, 殷健强. 2004. 大型藻类净化养殖水体的初步研究. 海洋环境科学, 23(1): 13-15
- 金玉林, 吴文婷, 陈伟洲. 2012. 不同温度和盐度条件对脆江篱生长及其生化组分的影响. 南方水产科学, 8(2): 51-57
- 郑彩璐, 赵 卓, 王丽娜. 2009. 大型海藻对主要营养盐的吸收研究进展. 现代生物医学进展, 9(21): 4140-4141
- 赵建刚, 叶长鹏. 2011. 温度和营养盐胁迫对龙须菜氨氮吸收速率及生长速率的影响. 水生态学杂志, 32(6): 57-60
- 姜宏波, 田相利, 董双林, 包 杰. 2009. 温度和光照强度对鼠尾藻生长和生化组成的影响. 应用生态学报, 20(1): 185-189
- 秦传新, 刘长发, 张立勇. 2010. 孔石莼和角叉菜对硝酸氮、磷的吸收及其生化组成变化. 水生态学杂志, 3(6): 41-46
- 钱鲁闽, 徐永健, 焦念志. 2006. 环境因子对龙须菜和菊花心江篱氮磷吸收速率的影响. 中国水产科学, 13(2): 257-262
- 郭赣林, 董双林, 董云伟. 2007. 温度及其波动对潮间带海藻生长及光合作用的影响. 海洋开发与管理, 5: 115-120
- 温珊珊, 张寒野, 何文辉, 张饮江, 徐姗楠, 何培民. 2008. 真江篱对氨氮去除效率与吸收动力学研究. 水产学报, 32(5): 794-803
- Bokn TL, Duarte CM, Pedersen MF and 7 others. 2003. The response of experimental rocky shore communities to nutrient additions. Ecosystems, 6(6): 577-594
- Kang YH, Shin JA, Kim MS, Chung IK. 2008. A preliminary study of the bioremediation potential of *Codium fragile* applied to seaweed integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) during the summer. Journal of Applied Phycology 20(2): 183-190
- Duke CS, Litkaer W, Ramus J. 1988. Effect of temperature on nitrogen-limited growth rate and chemical composition of *Ulva curvata* (Ulvales: Chlorophyta). Marine Biology 100(2): 143-150
- Hanisak MD. 1990. The use of *Gracilaria tikvahiae* (Gracilariales, Rhodophyta) as a model system to understand the nitrogen nutrition of cultured seaweeds. Hydrobiologia 204-205(1): 79-87
- Hanisak MD. 1993. Nitrogen release from decomposing seaweeds: species and temperature effects. Journal of Applied Phycology 5(2): 175-181
- Mansilla A, Palacios M, Navarro NP, Avila M. 2008. Growth and survival performance of the gametophyte of *Gigartina skottsbergii* (Rhodophyta, Gigartinales) under defined nutrient conditions in laboratory culture. Journal of Applied Phycology 20(5): 889-896
- Marinho-Soriano E, Nunes SO, Carneiro MAA, Pereira DC. 2009. Nutrients' removal from aquaculture wastewater using the macroalgae *Gracilaria birdiae*. Biomass and Bioenergy 33(2): 327-331
- Okhyun A, Royann JP, Paul JH. 1998. Ammonium and nitrate uptake by *Laminaria saccharina* and *Nereocystis luetkeana* originating from a salmon sea cage farm. Journal of Applied Phycology 10(4): 333-340
- Karez R, Engelbert S, Kraufvelin P and 2 others. 2004. Biomass response and changes in composition of ephemeral macroalgal assemblages along an experimental gradient of nutrient enrichment. Aquatic Botany 78(2): 103-117