

# 营养盐对中肋骨条藻和新月菱形藻 生长及氮磷组成的影响\*

李 铁 胡立阁 史致丽

(青岛海洋大学化学化工学院 青岛 266003)

**摘要** 于1995年5月1996年3月通过一次培养实验,研究了培养介质中营养盐含量变化对中肋骨条藻和新月菱形藻生长速率和藻体氮、磷含量的影响。根据 Monod 方程,磷酸盐影响中肋骨条藻和新月菱形藻生长速率的半饱和和常数分别为  $0.54\mu\text{mol/L}$  和  $0.50\mu\text{mol/L}$ ;硝酸盐影响两种藻生长速率的半饱和和常数分别为  $4.0\mu\text{mol/L}$  和  $14.6\mu\text{mol/L}$ ,相比之下新月菱形藻更容易受到氮不足的限制。将 Monod 方程扩展得到营养限制复合模式,限制程度可用限制作用系数  $\varphi_i$  量化表示,  $\varphi_i = \frac{C_i}{K_{\mu i} + C_i}$ ,  $i$  代表氮或磷。培养介质中营养盐浓度是限制浮游植物生长的决定因素,其 N/P 比值则反映  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$  何者起主要限制作用。藻体氮、磷含量随  $\varphi_N$  和  $\varphi_P$  有明显变化。当  $\varphi_N < 0.80$  时较低,磷含量因贮存而明显升高;当  $\varphi_P < 0.80$  时藻体磷含量下降,氮含量略有增加。藻体氮含量  $\varphi_N$  或  $\varphi_P > 0.80$  时基本上为非限制状态。

**关键词** 营养盐 浮游植物 生长速率 半饱和和常数 氮 磷

**学科分类号** Q948.11

营养盐是海洋浮游植物所必需的成分,海水中某种营养盐含量过低往往对浮游植物生长形成限制。大洋水中无机氮和磷原子比约为 16:1 (Redfield 比值),一般认为海水 N/P 比值过高或过低都可能限制浮游植物生长。近岸水域 N/P 比值较 Redfield 比值会有不同程度的偏离,有些区域浮游植物的生长受氮限制 (Myers *et al.*, 1981; Ryther *et al.*, 1971), 有些区域为磷限制 (沈允钢, 1980; Brian, 1986; 胡明辉等, 1989; Fourqurean *et al.*, 1993)。海水营养盐含量过高则易形成富营养化,可进一步引发赤潮。浮游植物生长与海水营养盐含量有直接关系,本文通过一次培养实验,观测了中肋骨条藻和新月菱形藻在不同营养水平下的生长速率以及藻体氮磷组成,以了解海水营养盐含量对其影响情况。

## 1 材料与方法

### 1.1 浮游植物培养

**1.1.1 藻种** 中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 和新月菱形藻 (*Nitzschia clostetium*) 由本校应用微藻研究所提供。藻种保存于  $f/2$  培养液中。取处于指数生长期的藻种液离心分离,倾去上清液,用灭菌海水洗涤、离心数次,再加入适量灭菌海水,在与培养实验相同的

\* 国家自然科学基金资助项目,49476286号。李 铁,男,出生于1967年10月,讲师, E-mail: sude@public.qd.sd.cn

收稿日期: 1999-03-12, 收修改稿日期: 1999-05-25

环境条件下放置 1 昼夜使其稳定。取上层藻液接种。计数观察表明, 中肋骨条藻在接种的第二天即进入指数生长期, 新月菱形藻则有近 3 至 4 天的延缓期后才进入指数生长期。

**1.1.2 培养方法** 陈化海水过滤煮沸冷却后通入  $\text{CO}_2$  调节至  $\text{pH} = 7.9\text{--}8.1$ , 加入硼酸-硼砂溶液以缓冲  $\text{pH}$  值的变化。添加  $\text{NaNO}_3$  和  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  使之具有特定的氮、磷初始浓度分别进行硝酸盐和磷酸盐影响实验, 见表 1。接入藻种 ( $10\text{--}20 \times 10^4 \text{cell/ml}$ ) 进行纯种一次培养, 至指数生长期第 4 天测定细胞数量和藻体氮、磷含量。温度为  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 光照强度为  $(2\ 000 \pm 100)\text{lx}$ , 光暗周期比为 14h:10h。

表 1 培养实验营养盐初始浓度 ( $\mu\text{mol/L}$ )

Tab.1 The initial concentrations of the nutrients of the culture experiments ( $\mu\text{mol/L}$ )

硝酸盐影响实验	中肋骨条藻 ( $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0 = 1.82$ )								新月菱形藻 ( $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0 = 1.99$ )							
$C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0$	4.9	8.8	16.0	29.7	60.4	122	256	6.1	10.4	18.7	35.3	67.1	127	228		
磷酸盐影响实验	中肋骨条藻 ( $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0 = 40.5$ )								新月菱形藻 ( $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0 = 35.2$ )							
$C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0$	0.09	0.39	0.59	1.16	2.05	3.99	7.99	0.37	0.55	0.73	1.17	1.99	3.57	7.79		

## 1.2 测定方法

**1.2.1 单胞藻计数** 血球计数板显微镜目视计数。

**1.2.2 介质浓度** 培养介质硝酸盐 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 浓度用  $\text{Cd-Cu}$  还原、重氮-偶氮分光光度法测定; 磷酸盐 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) 浓度用磷钼蓝分光光度法测定 (国家海洋局, 1991)。

**1.2.3 藻体中的氮和磷** 将过滤前后的藻液分别测定氮、磷总量, 差减得出藻体中的氮和磷。总氮测定为碱性过硫酸钾压热消化、 $\text{Cd-Cu}$  还原、重氮偶氮比色法; 总磷测定为酸性过硫酸钾压热消化-钼蓝比色法 (格拉斯霍夫, 1982)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 营养盐对浮游植物生长速率的影响

**2.1.1 中肋骨条藻和新月菱形藻的生长速率** 通过中肋骨条藻和新月菱形藻指数生长期细胞

数量增长求得生长速率  $\mu$ , 计算式为  $\mu = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t \ln 2}$ , 式中  $N_t$  为第  $t$  天的细胞数量,  $N_0$  为初始细胞数量 ( $t = 0$ )。图 1 中的数据点为两种藻生长速率  $\mu$  随  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$  初始浓度的变化关系。

图 1a 中, 在较低浓度范围内 (中肋骨条藻  $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0 < 29 \mu\text{mol/L}$ , 新月菱形藻  $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0 < 67.1 \mu\text{mol/L}$ ), 两种藻生长速率  $\mu$  随  $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0$  增加而急剧增加,  $\mu$  的大小受  $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0$  的限制。

当  $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0$  继续增加超过上述浓度时,  $\mu$  趋向于较恒定的值。

图 1b 中, 两种藻的生长速率  $\mu$  随  $\text{PO}_4\text{-P}$  的变化形式基本上与  $\text{NO}_3\text{-N}$  相似, 当  $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0$  较低 ( $< 2 \mu\text{mol/L}$ ) 时,  $\mu$  随  $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0$  增加而增加, 当  $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0$  达较高浓度时,  $\mu$  趋近于恒定值。但  $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0$  较高 (约  $> 4 \mu\text{mol/L}$ ) 时  $\mu$  略有下降, 可能是  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度过高对两种藻的生长会有一定抑制作用。

**2.1.2 生长速率与培养介质营养盐含量的关系** 稳态条件下培养介质营养盐含量对浮

游植物生长速率的影响, 可用 Monod 方程 (Fogg *et al.*, 1987) 来描述, 即  $\mu = \mu_m \frac{C}{K_\mu + C}$ ,

式中,  $\mu_m$  为生长速率的最大值,  $C$  为限制营养盐浓度,  $K_\mu$  为半饱和常数, 即  $\mu = \frac{1}{2} \mu_m$  时培养

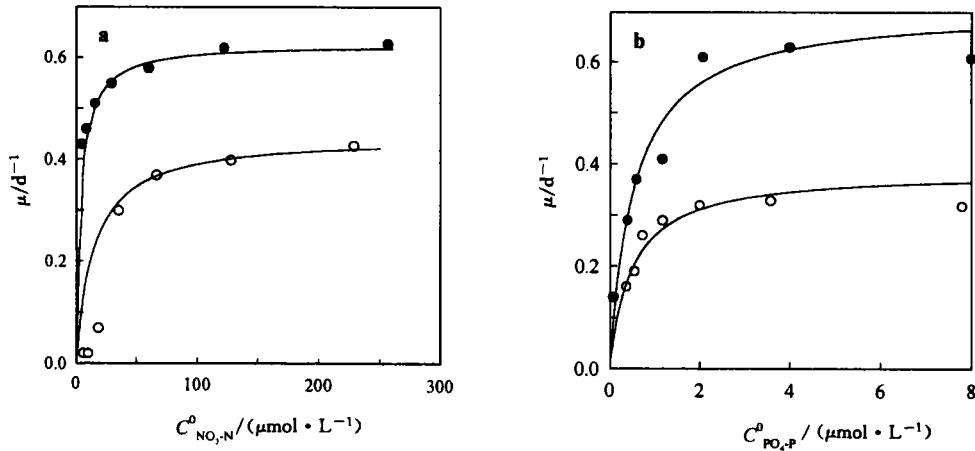


图1  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 初始浓度对浮游植物生长速率的影响

Fig.1 The effects of the initial concentration of nitrate and phosphate on the specific growth rates of phytoplankton

● 中肋骨条藻; ○ 新月菱形藻

介质中限制营养盐的浓度。Monod方程反映了营养盐含量从低到高变化过程中 $\mu$ 的上升-饱和关系。由图1可见,一次培养实验中 $\mu$ 与 $C$ 之间亦为上升-饱和关系,许多作者用Monod方程对一次培养实验的结果进行了处理,求算了 $K_\mu$ 和 $\mu_m$ (Holm *et al.*, 1981; 陈慈美等, 1990)。本实验中两种藻生长速率与营养盐浓度的关系亦按照Monod方程用双倒数作图法处理,求得 $K_\mu$ 和 $\mu_m$ 见表2。按照 $K_\mu$ 和 $\mu_m$ 计算 $\mu-C$ 关系见图1中实线,效果较好。

从表2中数据来看, $\text{PO}_4\text{-P}$ 对中肋骨条藻和新月菱形藻生长速率的影响情况大致一样, $K_{\mu(\text{P})}$ 值相近,跟文献中其它浮游植物 $K_{\mu(\text{P})}$ 相比略高(Holm *et al.*, 1981),与吸收磷酸盐的半饱和和常数较为接近(李铁等, 1999)。因此在一般情况下,这两种藻的生长速率可能较其它种类易受到磷限制。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 对两种藻影响的差异较大。中肋骨条藻 $K_{\mu(\text{N})}$ 值为 $4.0\mu\text{mol/L}$ ,与近岸海水中溶解无机氮化物浓度相当。而新月菱形藻 $K_{\mu(\text{N})}$ 值较大,为 $14.6\mu\text{mol/L}$ ,其生长有可能在很大的浓度范围内受氮限制。由于 $K_{\mu(\text{N})}$ 和 $K_{\mu(\text{P})}$ 求自于培养介质的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 初始浓度,可以推断其值高于连续培养的结果。

表2 中肋骨条藻和新月菱形藻最大生长速率和半饱和和常数

Tab.2 The maximum growth rates and the half-saturation constants of *S. costatum* and *N. clostetium*

藻种	$\text{NO}_3\text{-N}$		$\text{PO}_4\text{-P}$	
	$K_{\mu(\text{N})}$ ( $\mu\text{mol/L}$ )	$\mu_m(\text{N})$ ( $\text{d}^{-1}$ )	$K_{\mu(\text{P})}$ ( $\mu\text{mol/L}$ )	$\mu_m(\text{P})$ ( $\text{d}^{-1}$ )
中肋骨条藻	4.0	0.62	0.54	0.71
新月菱形藻	14.6	0.45	0.50	0.39

Monod模式是以一种因素作为浮游植物生长的限制条件,但许多情况下浮游植物生长可能同时受到多种因素的限制。本实验中光照强度和温度条件固定,在实验中某些营养水平下,藻生长会同时与介质中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量有关,但限制程度可能有差别。将Monod方程扩展(崔启武等, 1991),本实验中藻生长的复合限制作用考虑为

$$\mu = \mu_m \cdot \varphi_N \cdot \varphi_P = \mu_m \cdot \frac{C_N}{K_{\mu(N)} + C_N} \cdot \frac{C_P}{K_{\mu(P)} + C_P}$$

$\varphi_N$ 和 $\varphi_P$ 分别为 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 对生长速率的限制作用系数, $\mu_m$ 为氮、磷都不限制时真正的最大生长速率。根据该模式,表2中 $\mu_{m(N)}$ 和 $\mu_{m(P)}$ 分别与固定 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度的限制条件有关。按上式由 $\mu_{m(N)}$ 、 $\mu_{m(P)}$ 进一步求得中肋骨条藻 $\mu_m$ 分别为 $0.80\text{d}^{-1}$ 和 $0.78\text{d}^{-1}$ ,新月菱形藻 $\mu_m$ 分别为 $0.55\text{d}^{-1}$ 和 $0.56\text{d}^{-1}$ ,结果基本一致,说明该复合模式是适用的。

**2.1.3 海水 N/P 比值与营养限制程度** 根据上述复合限制模式,当 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 其中之一浓度较高(未达到抑制程度)对藻生长不构成限制时,另一浓度较低的营养盐对

生长的限制程度反映在因子 $\varphi_i$ 上( $i$ 为氮或磷), $\varphi_i = \frac{C_i}{K_{\mu i} + C_i}$ 。 $C_i$ 越小, $\varphi_i$ 就越小, $\mu$ 也就越低; $C_i$ 大, $\varphi_i$ 就增大,至趋近于1。可见对生长构成限制的因素不是培养介质中氮和磷的比

值,而是其各自的浓度,当氮、磷对藻生长速率限制程度相同时, $\frac{C_N}{K_{\mu(N)} + C_N} = \frac{C_P}{K_{\mu(P)} + C_P}$ ,此

时 $C_N/C_P = K_{\mu(N)}/K_{\mu(P)}$ ,这一比值是氮和磷对藻生长起同等限制作用时的比值。当 $C_N/C_P > K_{\mu(N)}/K_{\mu(P)}$ 时, $\text{PO}_4\text{-P}$ 的限制作用显著,反之 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的限制作用显著。因此根据海水 N/P 比值可判断何者为主要限制因素。对于中肋骨条藻 $K_{\mu(N)}/K_{\mu(P)} = 7.4$ ,而新月菱形藻 $K_{\mu(N)}/K_{\mu(P)} = 29.2$ 。当培养介质 $C_N = 16\mu\text{mol/L}$ 、 $C_P = 1\mu\text{mol/L}$ 时,氮对中肋骨条藻基本不构成限制( $\varphi_N = 0.80$ , $\varphi_P = 0.65$ ),而对新月菱形藻氮为主要限制因素( $\varphi_N = 0.52$ , $\varphi_P = 0.67$ ),磷对二者的限制程度相近。可见,二者生长的适宜 N/P 比值有一定差异,新月菱形藻适宜在 N/P 比略高的条件下生长。

此外,浮游植物生长的适宜 N/P 比范围与介质的营养水平有关,营养水平越高,适宜 N/P 比范围越宽。

## 2.2 营养盐对藻体氮、磷含量的影响

新月菱形藻和中肋骨条藻氮、磷含量及其比值与培养介质 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 限制作用系数 $j$ 的关系分别见图2、图3。藻体氮、磷含量以单位细胞含量表示。由图中可以看出,以 $\varphi_N$ 、 $\varphi_P$ 等于0.80为界,藻体氮、磷含量具有不同特征。

**2.2.1 藻体氮、磷含量与 $\varphi_N$ 的关系** 在介质 $\text{NO}_3\text{-N}$ 影响实验中,新月菱形藻藻体氮含量在 $7.3 \times 10^{-8}$ — $11.2 \times 10^{-8}\mu\text{mol/cell}$ 之间,磷含量变化幅度较大,在 $9.7 \times 10^{-9}$ — $2.7 \times 10^{-9}\mu\text{mol/cell}$ 之间。图2a中,当 $\varphi_N < 0.82$ 时,藻体氮含量随 $\varphi_N$ 增加而上升,而磷含量明显下降。当 $\varphi_N > 0.82$ 时,即在 $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0$ 在 $67.1$ — $228\mu\text{mol/L}$ 的实验范围内,藻体氮、磷含量变化不大,基本上趋于稳定,这藻对氮的吸收趋于饱和,而介质中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 相对不足使藻体中贮存的磷都用于生长而趋近于低含量(图2a)。

图3a中的中肋骨条藻藻体氮含量变化与新月菱形藻有差异。 $\varphi_N < 0.88$ 时藻体氮含量稳定在 $1.9\mu\text{mol/cell}$ 左右。 $\varphi_N > 0.88$ 后藻体氮含量有升高趋势,变化幅度不大,在 $1.9 \times 10^{-7}$ — $3.1 \times 10^{-7}\mu\text{mol/cell}$ 之间。这是由于对氮的吸收能力强于新月菱形藻所致。藻体磷含量在 $\varphi_N < 0.80$ 的范围内变化明显,自 $9.0 \times 10^{-9}$ 降至 $4.8 \times 10^{-9}\mu\text{mol/cell}$ 。在 $\varphi_N > 0.80$ 时,磷含量稳定在 $4.4 \times 10^{-9}$ — $3.9 \times 10^{-9}\mu\text{mol/cell}$ 之间。

**2.2.2 藻体氮、磷含量与 $\varphi_P$ 的关系** 在介质 $\text{PO}_4\text{-P}$ 影响实验中,新月菱形藻藻体氮含量

随 $\varphi_p$ 增加略呈下降趋势,但变化幅度较窄,在 $8.8 \times 10^{-8} - 7.2 \times 10^{-8} \mu\text{mol}/\text{cell}$ 之间,比

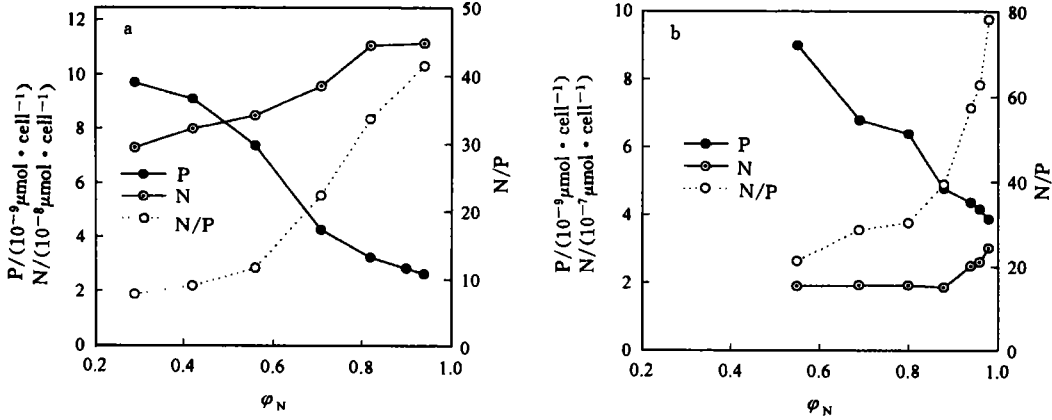


图2 藻体氮、磷含量随 $\varphi_N$ 的变化

Fig.2 The variation of the contents of nitrogen and phosphorus in the alga cell with  $\varphi_N$

a. 新月菱形藻; b. 中肋骨条藻

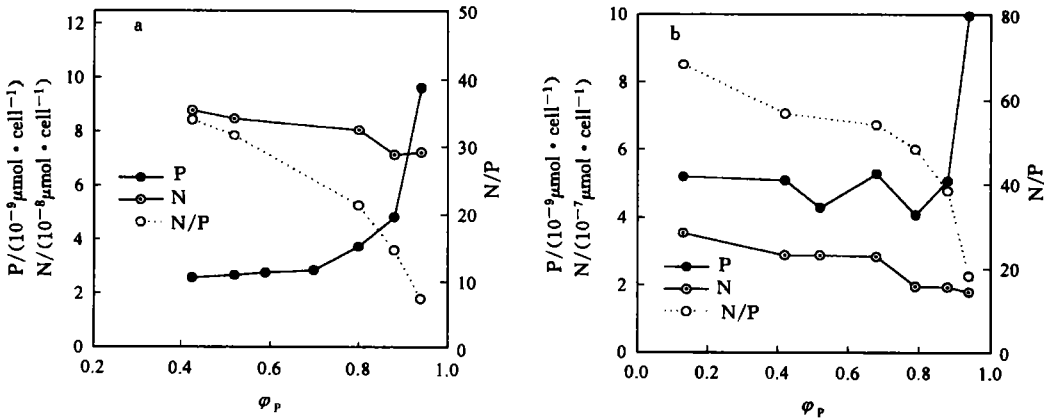


图3 藻体氮、磷含量随 $\varphi_P$ 的变化

Fig.3 The variation of the contents of nitrogen and phosphorus in the alga cell with  $\varphi_P$

a. 新月菱形藻; b. 中肋骨条藻

$\text{NO}_3\text{-N}$ 影响实验中的值总体要低一些。这是由于 $\text{PO}_4\text{-P}$ 影响实验中 $C_{\text{NO}_3\text{-N}}^0 = 35.2 \mu\text{mol}/\text{L}$ ,  $\varphi_N \approx 0.71$ ,仍处于氮限制状态。藻体磷含量变化明显,在 $\varphi_p < 0.80$ 范围内随着 $\varphi_p$ 的增加自 $2.6 \times 10^{-9}$ 增至 $3.8 \times 10^{-9} \mu\text{mol}/\text{cell}$ 。 $\varphi_p > 0.80$ 时( $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0 > 1.99 \mu\text{mol}/\text{L}$ ),磷含量增加显著,自 $3.8$ 剧增至 $9.7 \times 10^{-9} \mu\text{mol}/\text{cell}$ 。表明在高 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度时新月菱形藻对磷有明显的贮存现象(图2b)。

中肋骨条藻藻体中的氮、磷含量随 $\varphi_p$ 的变化与新月菱形藻相似,藻体氮含量变化幅度同样较小,随 $\varphi_p$ 增加自 $3.5 \times 10^{-9}$ 降至 $1.8 \times 10^{-9} \mu\text{mol}/\text{cell}$ , $\varphi_p > 0.80$ 后基本稳定。 $\varphi_p < 0.80$ 时,藻体磷含量在 $4.1 \times 10^{-9} - 5.2 \times 10^{-9} \mu\text{mol}/\text{cell}$ 之间波动, $\varphi_p > 0.80$ 时(即当 $C_{\text{PO}_4\text{-P}}^0$ 增至 $7.79 \mu\text{mol}/\text{L}$ ),藻体磷含量增至 $10.0 \times 10^{-9} \mu\text{mol}/\text{cell}$ (图3b)。

从两种藻培养实验结果来看,藻体氮含量变化幅度都较小,而磷含量变化幅度都较大,中肋骨条藻可相差 1 倍,新月菱形藻藻可相差 2 倍。当  $\varphi_N < 0.80$  或  $\varphi_P > 0.80$  时,即培养介质中  $\text{PO}_4\text{-P}$  相对过剩,藻细胞对其有贮存现象。新月菱形藻对磷有较强的吸收作用(李铁等,1999),从藻体含磷量来看对磷的贮存能力大于中肋骨条藻,因此磷限制对其影响会小一些。中肋骨条藻对氮的吸收能力强于新月菱形藻,氮限制对其影响会小一些。总的来看,一次培养实验中藻体氮磷含量变化表明,当  $\varphi_N$  或  $\varphi_P < 0.80$  时介质中  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  的限制作用已较为明显。

### 3 结语

3.1 一次培养实验中浮游植物生长速率与营养盐含量的关系符合 Monod 方程。磷酸盐影响中肋骨条藻和新月菱形藻生长速率的半饱和和常数分别为 0.54 和  $0.50\mu\text{mol/L}$ 。硝酸盐影响两种藻生长速率的半饱和和常数分别为 4.0 和  $14.6\mu\text{mol/L}$ 。根据半饱和和常数推断,新月菱形藻的生长比中肋骨条藻易受硝酸盐限制。

3.2 将 Monod 方程扩展得到营养限制复合模式对实验结果进行分析,介质营养盐的浓度应是限制浮游植物生长的决定因素,限制作用程度可以限制作用系数  $\varphi_i$  量化表示,  $\varphi_i =$

$\frac{C_i}{K_{\mu i} + C_i}$ 。培养介质的 N/P 比值可反映  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$  何者起主要限制作用。

3.3 结合藻体氮、磷含量变化可进一步反映营养盐限制状况。氮限制条件下,藻体氮含量较低,磷含量因贮存而明显升高;磷限制条件下,藻体磷含量下降,氮含量略有增加。一次培养实验中,当  $\varphi_N$  或  $\varphi_P < 0.80$  时,介质  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  对浮游植物的限制作用较为明显。

致谢 在研究过程中得到了孙秉一教授的支持,祝陈坚、郝恩良、赵夕旦等老师在实验中给予了帮助,谨致谢忱。

### 参 考 文 献

- 陈慈美,包建军,吴瑜端,1990. 纳污海域营养物质形态及含量水平与浮游植物增殖竞争关系——I. 磷的效应. 海洋环境科学,9: 6—12
- 沈允钢,1980. 光合作用研究进展. 北京: 科学出版社, 66—77
- 李 铁,史致丽,仇亦斌等,1999. 中肋骨条藻和新月菱形藻对营养盐的吸收速率及环境因素影响的研究. 海洋与湖沼,30(6): 640—645
- 国家海洋局,1991. 海洋监测规范(HY003.4—1). 北京: 海洋出版社, 205—282
- 胡明辉,杨逸萍,徐春林等,1989. 长江口浮游植物生长的磷酸盐限制. 海洋学报,11: 439—443
- 格拉斯霍夫 K 主编,陆贤昆译,1982. 海水分析方法. 北京: 科学出版社, 91—93, 127—132
- 崔启武,刘家冈,1991. 生物种群增长营养动力学. 北京: 科学出版社, 101—106
- Brian E Lapointe, 1986. Phosphorus-limited photosynthesis and growth of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* in the Western North Atlantic. Deep-Sea Res, 33: 391—399
- Fogg G E, Thake B, 1987. Algal Cultures and Phytoplankton Ecology. Madison: The University of Wisconsin Press, Ltd, 57—80
- Holm H P, Armstrong D E, 1981. Role of nutrient limitation and competition in the population of *Asteriella formosa* and *Microcystis aeruginosa* in semicontinuous culture. Limnol Oceanogr, 26: 622—534
- Myers V B, Iverson R I, 1981. Phosphorus and Nitrogen Limited Phytoplankton-productivity in Northeastern Gulf of Mexico Coastal Estuaries in Estuaries and Nutrients. Neilson B J, Cromin L E ed. Humana Press, 569—

Ryther J H, Dunstan W M, 1971. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environments. *Science*, 171:1 008—1 013

## EFFECTS OF NUTRIENTS ON THE GROWTH AND THE COMPOSITION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS OF *SKELETONEMA COSTATUM* AND *NITZSCHIA CLOSTERIUM*

LI Tie, HU Li-ge, SHI Zhi-li

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

**Abstracts** The effects of nutrients on the growth rates and the cell composition of nitrogen and phosphorus of *Skeletonema costatum* and *Nitzschia closterium* were studied in June 1995 to Mar 1996 by batch culture.

The effects of nitrate and phosphate concentration of the culture medium on the algal growth rates of the two species in batch culture can be described using the Monod equation. The halfsaturation constants for the growth of *Skeletonema costatum* and *Nitzschia closterium* influenced by nitrate ( $K_{\mu(N)}$ ) are 0.54 and 0.50  $\mu\text{mol/L}$ , respectively. Those for the growth of the two species influenced by phosphate ( $K_{\mu(P)}$ ) are 4.0 and 14.6  $\mu\text{mol/L}$  respectively. *Nitzschia closterium* is easily limited by nitrogen shortcoming compared with *Skeletonema costatum*.

The multi-limitation model can be arrived by expanding the Monod equation. The degree of the nutrient limitation can be expressed using the limitation effecting coefficient  $\varphi_i$ ,  $\varphi_i = \frac{C_i}{K_{\mu i} + C_i}$  ( $i$  represents nitrogen or phosphorus). It can be found from the multi-limitation model that the nutrient concentrations of the culture medium is the dominating limit factor of the growth rate of phytoplankton. The growth rate of phytoplankton will be mainly limited by nitrogen when  $C_N/C_P > K_{\mu(N)}/K_{\mu(P)}$ , and it will be limited mainly by phosphorus when  $C_N/C_P < K_{\mu(N)}/K_{\mu(P)}$ .

The concentrations of nitrogen and phosphorus in the algal cell vary with  $\varphi_N$  and  $\varphi_P$ . When  $\varphi_N < 0.80$ , the concentrations of nitrogen in the algal cell is low, and the concentration of phosphorus increases highly because of storage. When  $\varphi_P < 0.80$ , the concentrations of phosphorus in the algal cell decrease, and the concentration of nitrogen increases slightly.  $\varphi_N = 0.80$  or  $\varphi_P = 0.80$  can be considered as the boundary of nitrogen or phosphorus limitation.

**Key words** Nutrients Phytoplankton Growth rate Half-saturation constant Nitrogen Phosphorus

**Subject classification number** Q948.11