

国立公衆衛生院 正会員 国印章一
摂南大学 正会員 金子光美

1. はじめに

植物プランクトン増殖の動力学的解析に関してはこれまで多くの研究があるが、窒素・リンと増殖との一般的な関係について解析した例は極めて少ない。そこで本研究ではこの点について検討するために、植物プランクトンの増殖速度(μ)と窒素・リン吸収速度(ν_N , ν_P)に関するモデル式を新たに考案し、実験結果にあてはめてパラメータ値の推定と感度解析を行なった。モデル式の状態変数には、細胞中の窒素・リン含有率(C_N , C_P)、および水中の利用可能な窒素・リン濃度(S_N , S_P)の4つを用いた。

2. モデル式の設定

図-1は植物プランクトンの細胞の構成要素を概念的に示したもので、 $C_{N,max}$ は C_N の最大値、 δ_{min} は C_P/C_N の最小値である。ここでは植物プランクトンの細胞を、一定量の窒素とリンを含むタンパク質を中心とする部分(基本構成物質)と、窒素・リンを含まない炭水化物を中心とする部分(貯留物質)とに区分し、これらの構成割合によって C_N が決まると考えた。また、これらのうち細胞の増殖と窒素・リンの吸収と実際に担うのは、基本構成物質だけであると仮定した。基本構成物質に含まれないリンは貯留リンとみなし、この量が以下のように増殖速度などに影響を及ぼすものと考えた。

これらの仮定に基づいて図-2のようなモデルを考え、モデル式を以下のように設定した。まず、 ν_N は貯留リン量に関係すると考え、 S_N に対してMonod型の次式で表わした。

$$\nu_N = \nu_{N,max} \left\{ f(C_P/C_N) \right\}^b \left(\frac{S_N}{K_N + S_N} \right) \left(\frac{C_N}{C_{N,max}} \right) \quad (1)$$

ただし、 $\nu_{N,max}$ は ν_N の最大値、 K_N と b は定数であり、右辺の最後の項は、基本構成物質が細胞中に占める割合を表わすものである。また、 $f(C_P/C_N)$ は、 C_P/C_N の最大値を δ_{max} として、次式で表わされるものとする。

$$f(C_P/C_N) = \frac{C_P/C_N - \delta_{min}}{\delta_{max} - \delta_{min}} \quad (2)$$

次に、 μ については次式で表わした。

$$\mu = \left\{ \mu_c - \left(\frac{1}{\gamma_c} \right) \mu_f - k_d \right\} \left(\frac{C_N}{C_{N,max}} \right) \quad (3)$$

ただし、 μ_c , μ_f , および k_d は、それぞれ基本構成物質単位重量当りの光合成速度、基本構成物質合成速度、および貯留物質消費速度で、 γ_c は転換係数であり、これらのうち k_d と γ_c は一定と仮定した。 μ_f は ν_N と一定の関係($\nu_N = C_N \cdot \mu_f$)にあるので、 μ_c と μ_f をそれぞれ貯留リン量の関数として以下のように表わした。

$$\mu_c = \mu_{c,max} \left\{ f(C_P/C_N) \right\}^a \quad (4)$$

$$\mu_f = \mu_{f,max} \left\{ f(C_P/C_N) \right\}^b \left(\frac{S_N}{K_N + S_N} \right) \quad (5)$$

ただし、 $\mu_{c,max}$ と $\mu_{f,max}$ はそれぞれ μ_c と μ_f の最大値、 a は定数である。従って、(3)式に(4)式と(5)式を代入すれば

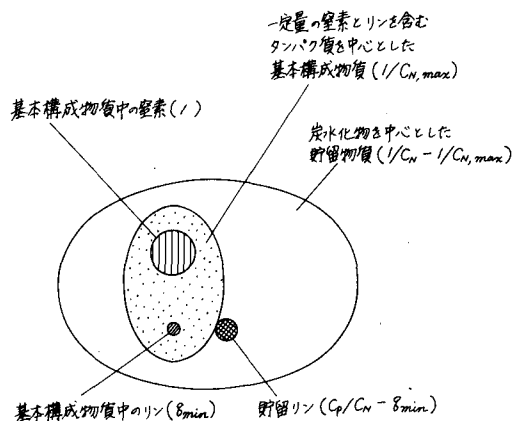


図-1 植物プランクトンの細胞構成物質と細胞中の窒素・リンに関する概念図

() 内は細胞中の窒素量を1としたときの重量比

(6)式がえられる。

$$\mu = \left[\mu_{c, \max} \left\{ f(C_p/C_N) \right\}^a - \left(\frac{1}{Y_c} \right) \mu_{f, \max} \left\{ f(C_p/C_N) \right\}^b \left(\frac{S_N}{K_N + S_N} \right) - k_d \right] \left(\frac{C_N}{C_{N, \max}} \right) \quad (6)$$

また、 v_p は貯留リンの不足量に関係すると考え、 S_p に対してMonod型の次式で表わした。

$$v_p = v_{p, \max} \left\{ 1 - f(C_p/C_N) \right\}^c \left(\frac{S_p}{K_p + S_p} \right) \left(\frac{C_N}{C_{N, \max}} \right) \quad (7)$$

ただし、 $v_{p, \max}$ は v_p の最大値、 K_p と C は定数である。

3. パラメータ値の推定と感度解析

μ 、 v_p 、および v_p に関する上記のモデル式を、*Scenedesmus dimorphus*の連続培養実験結果¹⁾にあてはめて、パラメータ値を推定した。この実験は水温25℃、pH7.0、照度約1500ルクス（植物有効用蛍光灯）の条件で行なったものである。モデル式で用いているパラメータのうち経験的に値が推定できるものは実験結果などに基づいて推定し、残りについては回帰によって推定した。実験データが20組と限られているので、後者の場合手計算で概略の推定値を求めるにとどめた。

このようにして求めた各パラメータの推定値を表-1に示す。(1)式、(6)式、および(7)式のそれぞれに(2)式を代入してえられる各式に、これらのパラメータ値を代入して感度解析を行なった。この結果、比較的大きな感度をもつパラメータは、 μ に関しては $\mu_{c, \max}$ 、 $C_{N, \max}$ 、 Y_c 、および a など、 v_p に関しては $v_{p, \max}$ 、 $C_{N, \max}$ 、 K_p 、 C 、および $\delta_{\max}$ などであった。

4. まとめ

植物プランクトンの増殖速度および窒素・リン吸収速度に関する一般的なモデル式を考案し、各モデル式のパラメータ値の推定等を行なった。これらのモデル式では細胞中の貯留リン量に関する項を共通して用いているが、貯留リンの関与についてはさらに詳しく検討する必要があると考えられた。

なお、本研究は昭和57年度文部省科学研究費の補助を受けて行なったものである。

参考文献

- 1) S. Kunikane, M. Kaneko and R. Maehara (1981) Verh. Internat. Verein. Limnol., Vol. 21, p. 1454-1457

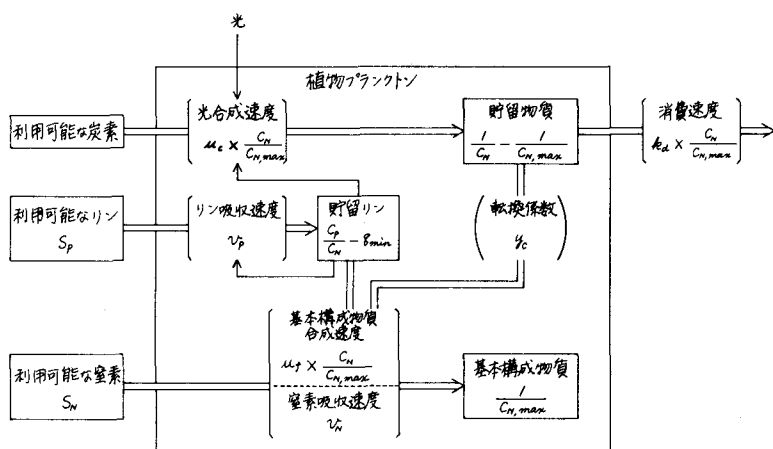


図-2 植物プランクトンの増殖と窒素・リン吸収に関するモデルの構造
⇒ は物質の動きを示し、→ は物質の動きに対して影響を及ぼすことを示す

表-1 モデル式に用いたパラメータの推定値

パラメータ	単位	推定値	推定方法
$\mu_{c, \max}$	1/日	7.0	2)
$\mu_{f, \max}$	1/日	5.0	2)
$v_{p, \max}$	mg N/mg 乾燥重量・日	0.60	3)
$v_{p, \max}$	mg P/mg 乾燥重量・日	0.18	1)
k_d	1/日	0.5	1)
K_N	μg N/L	18	2)
K_p	μg P/L	20	1)
$C_{N, \max}$	%	12	1)
$\delta_{\max}$	mg P/mg N	0.50	1)
$\delta_{\min}$	mg P/mg N	0.01	1)
Y_c	mg/mg	0.8	1)
a	—	0.18	2)
b	—	0.35	2)
c	—	0.3	4)

- 注、1) 実験結果または文献値に基づいて経験的に求めた。
2) 実験結果などを考慮してあらかじめ設定した値をもとにし、誤差が十分小さくなるように手計算で修正して求めた。
3) $v_{p, \max} = C_{N, \max} \times \mu_{f, \max}$ として求めた。
4) 単に仮定した。