

藻類と細菌の共存下における窒素の動態に関する基礎的研究

日本大学 大学院 学員 ○牧瀬 統 森藤 文浩

日本大学 工学部 正員 中村 玄正 松本 順一郎

1 研究目的

自然水系の自浄作用の機構を解明するには、流量及び汚濁物質の収支を把握することが困難な場合が多い。更に自然水系には様々な微生物が、種々複雑な関係で生存している。従って本研究では、藻類と細菌（特に硝化細菌）に着目して、流量及び汚濁物質の収支を把握が比較的容易な室内実験によって、現象を解明するものである。

これまでに水域の自浄作用の機構解明のため、藻類の光合成作用が行われる明条件下での、藻類・細菌共存水系における窒素の動態を滞留時間の影響について追求してきた。本研究は、同じ明条件下で、硝化作用及び藻類による同化作用の関係、更にそれらの量的関係を基質濃度の影響について明かにしようとするものである。

2 実験方法

2.1 実験装置と条件

図-1に連続実験装置の概略を、表-1に装置条件、表-2に基質を示す。

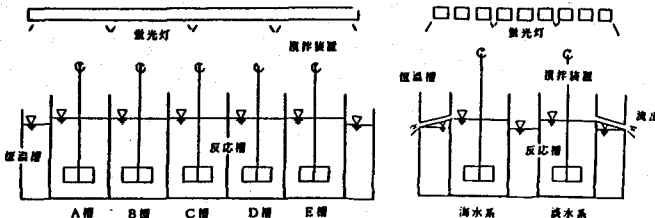


図-1 連続実験装置

表-1 装置条件

反応槽の有効容量	5.0 l
有効付着面積	1341 cm ²
設定水温	25℃
水面照度（水面にて）	10000 lux
攪拌装置の回転数	80 rpm
水理学的滞留時間	16 hours

実験装置は単槽連続攪拌装置を用いた。

流入水のpHは1規定水酸化ナトリウム及び1規定硫酸で、8.0に調節した。

表-2 基質

反 応 槽	A	B	C	D	E
NH ₄ Cl (mg-N/l)	100.0	50.0	10.0	5.0	1.0
KH ₂ PO ₄ (mg-P/l)	6.0	3.0	0.6	0.6	0.6
Na ₂ HPO ₄ (mg-P/l)	15.0	7.5	1.5	1.5	1.5
流入水のpH	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

2.2 植種用藻類及び細菌

植種用藻類及び細菌は、淡水系・海水系両系共に滞留時間(16時間)で2年間実験培養したものを、それぞれ40g・50gづつ植種した。

2.3 物質収支

投入された窒素は、そのままNH₄⁺-Nのまま流出するか、硝化菌によるNO₂⁻-N・NO₃⁻-Nへの硝化作用・藻類による同化作用の3通りに分けられ、①式となる。

総投入窒素量(mg-N/day) = 流出NH₄⁺-N量 + (NO₂⁻-N + NO₃⁻-N) + 同化量 ①
従って、この式より同化量(mg-N/day)を導くことができる。

完全混合槽における物質収支は、②式のようになる。

$$V \left(- \frac{ds}{dt} \right) = FS_b - FS - V \left(- \frac{ds}{dt} \right) c \quad (2)$$

(変動) (流入) (流出) (消費)

Fは流量(ℓ/day)・ S_0 は流入濃度(mg/ℓ)・Sは槽内流出濃度(mg/ℓ)・Vは槽容積(ℓ)・cは消費である。ここでは、定常期について考える為、変動の項は0となる。更に、面積当りの消費速度を考えると、③式が得られる。

$$\left(-\frac{ds}{dt}\right) = \frac{F}{A} (S_0 - S) \quad (3)$$

この③式は定常期における平均値を用いて、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 消費速度・ $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 生成速度・ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 生成速度・窒素同化速度を求めることができ、次のようになる。

$$(-R_{\text{C0}}) = \frac{F}{A} (S_{\text{BNH}_4} - S_{\text{NH}_4}) \quad (4)$$

$$(R_{\text{N02}}) = \frac{F}{A} (S_{(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)} - S_{\text{B}(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)}) \quad (5)$$

$$(R_{\text{N03}}) = \frac{F}{A} (S_{\text{N03}} - S_{\text{BN03}}) \quad (6)$$

$$(R_{\text{AS}}) = (-R_{\text{C0}}) - (R_{\text{N02}}) \quad (7)$$

ここで、Aは付着面積(m^2)・ $(-R_{\text{C0}})$ は $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 消費速度・ (R_{N02}) は $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 生成速度・ (R_{N03}) ・ (R_{AS}) は同化速度(mg-N/ m^2 /day)である。

3 実験結果と考察

表-3に定常期の平均水質を示す。

表-3 定常期の平均水質

	FW-A	FW-B	FW-C	FW-D	FW-E	SW-A	SW-B	SW-C	SW-D	SW-E
pH(-)	7.21	7.52	7.04	7.13	7.32	6.52	6.34	9.27	9.32	9.35
$\text{NH}_4 - \text{N}(\text{mg/l})$	84.27	35.14	7.72	3.77	1.07	53.93	24.16	0.76	0.35	0.32
$\text{NO}_2 - \text{N}(\text{mg/l})$	0.56	0.07	0.12	0.02	0.01	10.62	10.71	2.94	0.03	0.00
$\text{NO}_3 - \text{N}(\text{mg/l})$	0.70	0.76	0.42	0.25	0.12	1.14	0.79	0.38	0.12	0.04
COD浮遊(mg/l)	7.39	5.79	4.40	4.40	2.30	1.79	1.79	3.80	36.90	3.20
浮遊乾量(g)	0.58	0.26	0.15	0.22	0.65	1.60	2.14	6.54	16.54	20.10
付着乾量(g)	2.18	2.60	0.89	1.17	1.06	0.75	6.43	8.92	23.42	84.72
浮遊 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}(\text{mg/l})$	0.86	0.31	4.69	0.58	1.45	3.86	8.26	7.20	8.29	12.49
付着 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}(\text{g/m}^2)$	0.17	0.18	0.07	0.28	0.54	0.10	0.83	0.40	0.92	0.13
$\text{NH}_4 - \text{N}$ 消費速度(mg/ m^2 /day)	848.43	374.16	99.55	218.12	13.42	1069.35	776.29	357.38	158.28	12.86
$\text{NO}_2 - \text{N}$ 生成速度(mg/ m^2 /day)	53.13	30.20	10.07	1.12	0.56	635.91	621.92	164.99	1.68	0.00
$\text{NO}_3 - \text{N}$ 生成速度(mg/ m^2 /day)	21.81	26.29	3.36	0.00	0.00	41.95	22.93	0.56	0.00	0.00
同化速度(mg/ m^2 /day)	795.30	343.86	89.49	217.00	12.86	433.45	154.36	192.39	156.60	12.86

表-3に定常期における淡水系・海水系のpHを示す。流入水は、8.0に調節している。淡水系について、全槽共に流入水のpH(8.0)より低く、これは藻類による NH_3 の摂取により、pHは低下したと考えられる。海水系について、A・B槽では投入窒素量が高く、更に NH_3 の摂取量も高い為、pHは低くなると考えられる。また、C・D・E槽については流入水より高い。これは緩衝作用によりpHの低下はなく、 CO_2 の消費によりpHは上昇したと考えられる。

図-2・図-3に定常期の淡水系・海水系藻類の反応槽の乾燥重量(g)を示す。淡水系の付着性藻類に関しては、A槽(2.18g)・E槽(1.06g)であり、基質濃度の高い槽程藻類の量が多い。海水系については、若干ではあるが全体的に付着性藻類が優占している。浮遊性・付着性藻類共にE槽(20.10g

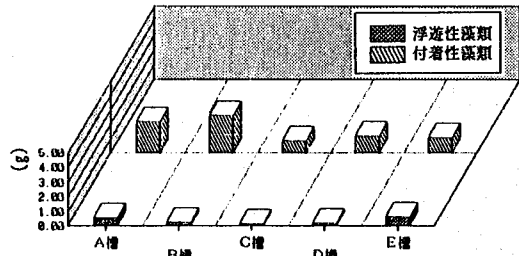


図-2 各槽における淡水系藻類の乾燥重量

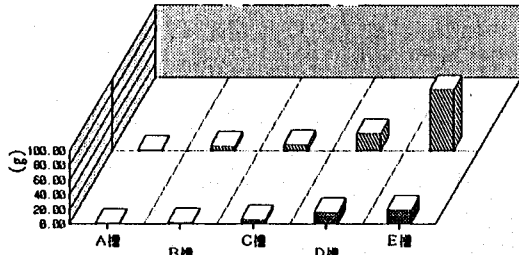


図-3 各槽における海水系藻類の乾燥重量

・84.72g)・A槽(1.60g・0.75g)であり、淡水系とは逆に低濃度の槽程、乾燥重量は多くなっている。従って、淡水系の付着性藻類は、基質濃度の高い槽程、藻類の量は多い。海水系は、浮遊性・付着性藻類共に低濃度の槽程、藻類の量は多い。

図-4・図-5に定常期における淡水系・海水系の窒素収支率(%)を示す。淡水系は、硝化は起こらず投入された NH_4^+-N はのままの形で流出している。同化の割合は各槽共ほぼ(16.0%)位の割合である。海水系については、高濃度のA・B槽は殆ど NH_4^+-N のまま流出しており、若干硝化と同化が起こっている。C・D槽の流出 NH_4^+-N の割合は低い割合を示している。C槽は硝化と同化が同じ位の割合で(45.0%)またD・E槽は硝化の割合(1.0%・0.0%)よりも同化の割合(88.1%・41.8%)が優占している。従って淡水系は殆ど NH_4^+-N のまま流出している。海水系は基質濃度の高いA・B槽は硝化が起こっており、D・E槽は同化が優占している。

表-3に定常期における NH_4^+-N 消費速度、図-6・図-7に定常期における NO_2^--N 生成速度・ NO_3^--N 生成速度・同化速度を示す。淡水系について、全槽共に同化速度(A槽、795.3・B槽、344.0・C槽、89.5・D槽、217.0・E槽、12.9 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)が高い。 NO_2^--N 生成速度・ NO_3^--N 生成速度に関しては、基質濃度の高い槽(A槽、53.1・21.8 E槽、0.6・0.0($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)程、若干ではあるが高くなる傾向を示す。海水系について、 NO_2^--N 生成速度が高く、高濃度の槽程、 NO_2^--N 生成速度・ NO_3^--N 生成速度・同化速度(A槽、635.9・42.0・433.5 E槽、0.0・0.0・12.9 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)は高い。従って、両系共に NO_2^--N 生成速度・ NO_3^--N 生成速度・同化速度は、基質濃度の高い槽程高い。

4 結論

- (1) 淡水系の付着性藻類は、基質濃度の高い槽程、藻類の量は多い。
- (2) 海水系は、浮遊性・付着性藻類共に低濃度の槽程、藻類の量は多い。
- (3) 海水系は基質濃度の高い槽は硝化が優占し、低い槽は同化が優占する。
- (4) 両系共に NO_2^--N 生成速度・ NO_3^--N 生成速度・同化速度は、基質濃度の高い槽程高い。

【参考文献】

M. NAKAMURA, F. MORITOH and J. MATSUMOTO: EXPERIMENTAL STUDIES ON NITROGEN CHANGES UNDER COEXISTENCE OF ALGAE AND BACTERIA IN FRESH WATER AND SEAWATER, Proceedings of Second IAWPRC Asian Conference on Water Pollution Control, pp147-153, 1988

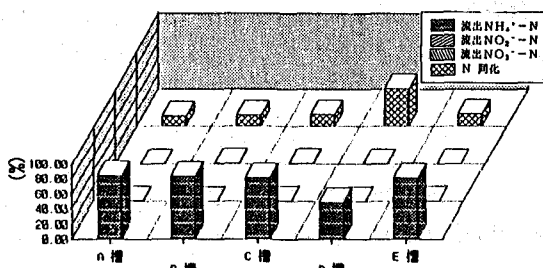


図-4 各槽における淡水系の窒素収支率

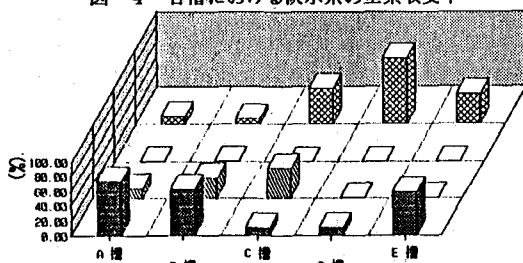


図-5 各槽における海水系の窒素収支率

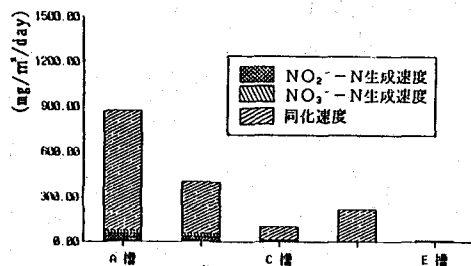


図-6 各槽における淡水系の NO_2^--N ・ NO_3^--N ・同化速度

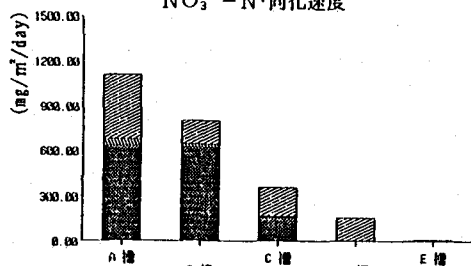


図-7 各槽における海水系の NO_2^--N ・ NO_3^--N ・同化速度