

II-85

藻類・細菌共存水系における窒素代謝の動力学について

日本大学大学院 学員 ○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

昨今、下水道処理施設の充実により顕著な水質汚濁は、次第にかけを潜めつつあるものの、都市域周辺水域では、水質汚濁限界付近濃度に収束する傾向が見られるようになって来ている。水質の浄化を更に向上させるためには、今までの人工系（処理施設）と、自然系（自浄作用）を有効・適切に組み合わせることが肝要である。そこで、自浄作用の機構解明のため水域をモデル化した室内模型実験による解明が必要となって来た。しかし、室内模型実験では、解析を容易にするために光合成作用を排除した暗条件下での実験が多く行われて来た。従って、本研究は、藻類の光合成作用が行われる明条件下で実験を行い、藻類と細菌の共存する場合における窒素の硝化・脱窒・吸収などの動態を追求め、窒素の消長に及ぼす希釈率の影響を、淡水系及び海水系について明らかにしようとするものである。

2. 実験方法

図-1に実験装置の概略を、表-1に反応槽条件を示す。本研究には流れの混合特性が明確な単槽完全混合連続反応槽を用いた。淡水系には痕跡元素、海水系には人工海水を用いた。希釈率の影響をみるため、表-2に示すように反応槽の希釈率を9段階に設定した。表-3に基質組成を示す。定常期における反応槽のpHは、表-2に示す通りである。実験に用いた微生物群は、淡水系は郡山市阿武隈川、海水系は仙台市蒲生干潟より採取したものを、藻類と細菌の共存する混合培養系である。

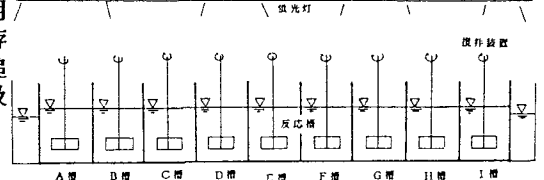


図-1 実験装置の概略

表-1 反応槽条件		表-3 基質	
容量	2.5	NH ₄ Cl	10.0mg-N/l
水深	13cm	KH ₂ PO ₄	0.6mg-P/l
付着面積	797cm ²	Na ₂ HPO ₄	1.5mg-P/l
水温	25±1℃	Tap water	
回転数	120rpm		
水面照度	10,000lux		

表-2 希釈率および pH

RUN No.	希釈率 day ⁻¹	淡水 I 期	淡水 II 期	海水系
A	6.00	6.50	6.87	7.56
B	3.00	6.27	6.80	7.82
C	1.50	5.84	9.21	7.67
D	1.00	4.14	9.24	7.94
E	0.50	3.72	8.21	8.14
F	0.25	3.44	8.44	8.64
G	0.10	3.27	8.61	9.41
H	0.05	3.25	8.47	9.17
I	0.02	3.25	8.48	8.55

3. 解析

(1) NH₄⁺-N消費、NO₂⁻-N生成、NO₃⁻-N生成、窒素同化速度

定常期の平均値を用い、単位付着面積当りのNH₄⁺-N消費速度、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N生成速度、窒素同化速度を次式のように求める。

$$-R_{CO} = \frac{F}{A} (S_{BNH4} - S_{NH4}), \quad R_{NO3} = \frac{F}{A} (S_{NO3} - S_{BNO3})$$

$$R_{NO2} = \frac{F}{A} (S_{(NO2+NO3)} - S_{B(NO2+NO3)}), \quad R_{AS} = (-R_{CO}) - (R_{NO2})$$

但し、 $-R_{CO}$ は基質消費速度、 R_{NO2} はNO₂⁻-N生成速度、 R_{NO3} はNO₃⁻-N生成速度、 R_{AS} は窒素同化速度(mg-N m⁻² day⁻¹)、Fは流量(l/day)、Aは付着面積(m²)、 S_{BNH4} は流入NH₄⁺-N濃度(mg-N/l)、 S_{NH4} は流出NH₄⁺-N濃度(mg-N/l)である。

(2) 比同化速度(ν_N)

基質に対する比同化速度は、

$$\nu_N = \frac{F (S_{BNH4} - S_{(NH4+NO2+NO3)})}{X}$$

但し、 ν_N は比同化速度(day⁻¹)、Fは流量(l/day)、 S_{BNH4} は流入NH₄⁺-N濃度(mg-N/l)、 $S_{(NH4+NO2+NO3)}$ はNH₄⁺-NとNO₂⁻-NおよびNO₃⁻-Nの流出濃度の合計、Xはクロロフィル a 量(mg)である。

4. 実験結果と考察

(1) NO₂⁻-N、NO₃⁻-N生成および窒素同化速度

図-2に各定常期のNO₂⁻-N、NO₃⁻-N生成および窒素同化速度を示す。淡水 I 期の窒素同化速度は希釈率（以下、Dと略す）の増加と共に若干増加する傾向にある。また、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N生成速度はDが高い槽で若干の生成がみられる。

一方、pHを調節した淡水 II 期においては、pHが藻類と細菌の代謝至適範囲になると、Dが高い槽では窒素同化速度はpH調整前と比べて大きくなっている。しかしDが低い槽では、全く変化していない。また、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N生成速度は、pH調整前と比べてかなり大きくなり、Dの増加と共に急激に増加し

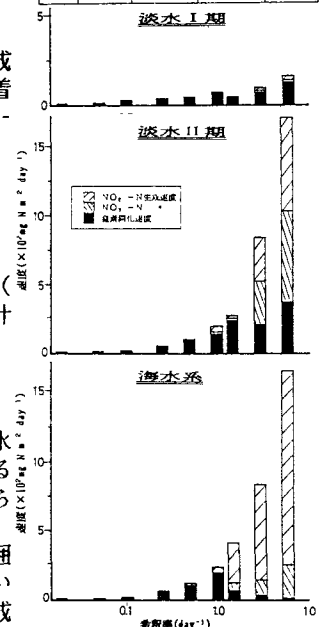


図-2 各定常期のNO₂⁻-N、NO₃⁻-N生成速度と窒素同化速度

ている。これより、藻類より硝化菌の方が希釈率にかなり敏感であることが分かる。更に、 NO_2^- -Nと NO_3^- -Nの割合がほぼ1:1となっていることから、硝化作用は NO_3^- -Nまで酸化されていることも分かる。

海水系の窒素同化速度は、 $D=1.0\text{day}^{-1}$ 以下の槽では、淡水Ⅱ期とほぼ同じ傾向を示している。しかし、 $D=1.5\text{day}^{-1}$ 以上の槽では、逆にDの増加と共に低下する傾向にある。これより、Dが高い槽では硝化が優勢し藻類による窒素の同化がかなり抑制されることが分かる。 NO_2^- -N、 NO_3^- -N生成速度は、淡水Ⅱ期同様Dの増加と共に急激に増加する傾向にある。更に、 NO_2^- -Nの約1/6しか NO_3^- -Nに酸化されていないことも分かる。これは、川崎らの行った実験結果(表-4)と同じ傾向を示している。これより、亜硝酸菌より硝酸菌の方が海水に対して敏感であることが分かる。

表-4に本実験と川崎らの行った実験結果の比較を示す。表に示した本実験と川崎らの実験の相違は、光条件と培養微生物である。この表より若干pHに差があるものの、本実験では藻類が存在しているにも拘らず、それ程差はなく若干本実験の方が高くなっている。これは、川崎らの実験において O_2 の律速を考慮した場合、本実験では藻類の光合成により O_2 は過不足状態とはならず、硝化菌にとっては利用できる O_2 が十分存在していたためと考えられる。よって、高希釈率の槽の硝化菌にとっては硝化の進行に藻類の存在が有利に働いていると推測できる。

従って、高希釈率の環境下では、硝化菌による硝化作用がかなり優勢される。また、低希釈率の環境下では、pHおよび硝化菌の存在に関係なく藻類による窒素の同化がかなり優勢される。

(2) 比同化速度

図-3に希釈率と比同化速度の関係を示す。一般的に、純粋培養または同じ特性を持つ微生物群の単槽連続培養では、比同化速度(以下、 ν_N と略す)および比増殖速度(μ)は希釈率(D)に各々等しいか、比例すると言われている。しかし、淡水系については ν_N はDの増加と共にDに等しく増加しているものの、 $D=3.0\text{day}^{-1}$ 以上になると ν_N は低下する傾向となる。また、海水系についてもDの増加と共にDの1/2の割合で比例して増加するが $D=1.5\text{day}^{-1}$ 以上になると ν_N は低下する傾向にある。

藻類と細菌が共存する混合培養系である本実験においてDが低い槽では上記のことが $\nu_N=1.12D$ (淡水系)、 $\nu_N=0.45D^{0.95}$ と成立するが、高い槽では成立しないことが分かる。これより、藻類の増殖にとって高希釈率の槽では硝化作用が阻害的に働いていると推測できる。またこの図から、 μ に関しては ν_N の傾向とほぼ同じ傾向を示すであろうと推測できる。

表-5に本実験と国包の行った実験結果の比較を示す。この表より本実験の ν_N がかなり大きいことが分かる。しかし、一般的に藻類は NO_3^- -Nよりも NH_4^+ -Nを最もよく同化し、 NO_2^- -N、 NO_3^- -Nは NH_4^+ -Nが低濃度になった時点ではじめて利用されると言われている。また、国包の実験において照度が1,500luxと異常に低いこと、更に*S.dimorphus*一種の培養である。これらのことより、国包の*S.dimorphus*培養系における ν_N 等の動力学定数に対し、本実験の混合培養系の ν_N 等を評価することができた。

5. 結論

藻類と硝化菌の共存する系内において、窒素の動態を追ってみた。その結果、次のような結論を得ている。

- 1) 高希釈率の環境下では、硝化菌による硝化作用がかなり優勢される。硝化菌にとっては硝化の進行に藻類の存在が有利に働いていると推測できる。しかし藻類の増殖にとっては、硝化作用が阻害的に働くため ν_N は低下する。以上のことから、硝化菌と藻類は一種の片利共生の関係であると考えられる。
- 2) 低希釈率の環境下では、pHおよび硝化菌の存在に関係なく藻類による窒素の同化が優勢される。淡水系で $\nu_N=1.12D$ 、海水系で $\nu_N=0.45D^{0.95}$ がほぼ成立する。
- 3) 藻類より硝化菌の方が希釈率に対してかなり敏感である。
- 4) 亜硝酸菌より硝酸菌の方が海水に対して敏感であるため、 NO_3^- -Nまで酸化されない。これは、川崎らの実験結果と同じ傾向を示している。

表-1 本実験と川崎らの実験結果の比較

	本実験		川崎ら	
	淡水	海水	淡水	海水
NO_2^- -N生成速度	6.86	1.13	1.14	10.32
NO_3^- -N生成速度	6.57	2.29	6.0	1.2
希釈率	6.0day ⁻¹		6.0day ⁻¹	
培養微生物	藻類+細菌群		藻類+細菌群	
培養条件	表-3		本実験と同じ	
培養容器	透明		暗	
培養液	活性汚泥		活性汚泥	

NO_2^- -N、 NO_3^- -N生成速度;mg-N m⁻² day⁻¹

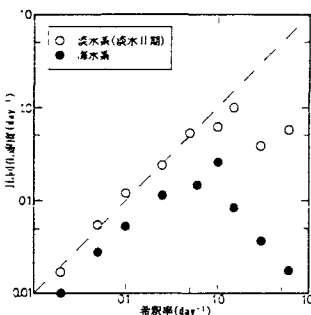


図-3 希釈率と比同化速度の関係

表-5 本実験と国包の実験結果の比較

	本実験		国包
	淡水	海水	
ν_N			
D=1	0.60	0.26	0.0002
D=3	0.39	0.04	0.0023
N/P	20.0	24.5	
基質濃度	10.0(mg-NH ₄ /l)	3.5(mg-NO ₃ /l)	
照度(lux)	10.000	1,500	
培養微生物	藻類+細菌群		<i>S.dimorphus</i>

ν_N ;mg-N/mg-200l/ha/day 負荷量;mg-N/day