

VII-41 水生植物（マコモ）の根圏における硝化作用の制御について

東北工業大学大学院 学生員 ○浦川めぐみ
東北工業大学工学部 正会員 江成敬次郎

1. 研究の背景と目的

水生植物による水質浄化は、水生植物が水中の栄養塩を吸収して生長することを利用したもので、その水生植物群落が豊富な生物の生息を可能にするなど、自然環境に適した水処理ができるものとして期待されている。このような水生植物を用いた水質浄化のうち窒素除去のメカニズムには、（1）植物による吸収、（2）根圏の硝化菌による硝化作用と脱窒菌による脱窒作用、（3）土粒子による吸着がある。

ここでは、硝化作用に注目し、水耕栽培したマコモの根圏における硝化を制御することと、それによってマコモの吸収量と硝化量とを個別に求め、それを比較することを目的とした。

2. 実験方法

図-1に実験装置を、表-1に栽培液中の成分を、表-2に実験条件を示す。日射を遮るために透明ポリ袋と黒ポリ袋を重ね、袋の中に栽培液（5L）とマコモ苗1本を入れた。袋をバケツに入れ、水分の蒸発を防ぐためとマコモを支えるために袋の口元をひもで結び、バケツにピンでとめた。水耕栽培開始後7日間、毎日栽培液を50ml採水し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度、pH、アルカリ度、装置重量を測定し、気温、水温を1時間おきに測定した。実験は、9/16~9/23（実験1）と10/19~10/26（実験2）の2回行った。

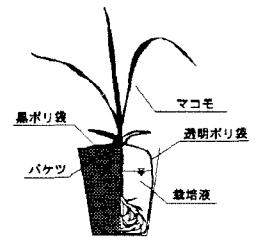


図-1 実験装置

栽培液は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が 14mg/l となるように調整し、その他、実験条件によって、硝化抑制剤 ATU 溶液（ 2g/l ）： 5ml 、pH 調整剤 Na_2CO_3 溶液（ 80g/l ）： 5ml 、硝化菌を含む活性汚泥混合液（硝化菌と表示）： 400ml を添加した。MLSS は、実験1が 620mg/l 、実験2が 247mg/l とし、装置の数は条件A~Dが各5個、条件E~Gが各3個である。

表-1 栽培液中の成分 (mg/l)

K_2SO_4	52.3
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	44.1
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	122.0
$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{NaFe} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	18.9
H_3BO_3	3.01
$\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	2.17
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.075
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.201
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.024
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	66.0
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	31.2

3. 結果と考察

3-1. 硝化作用の制御について

実験結果のうち、代表的なものを各条件から1つずつ選び、窒素濃度変化を図-2に示す。なお、実験条件 A、B、E、F の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高いのは、添加した活性汚泥混合液中に $\text{NO}_3\text{-N}$ が含まれていたためである。

E（硝化菌+ATU）とF（硝化菌）を比較する。Eは各濃度の変化量が少ない。Fは $\text{NH}_4\text{-N}$ が減少し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ がピークをもち、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が増加するという典型的な硝化反応の濃度変化パターンを示している。予備実験の段階で、硝化を抑制するのに最適な ATU 濃度（ 2mg/l ）を調べてあったが、この結果からも、条件Eでは硝化が抑制されていることがわかる。また、培養していた活性汚泥混合液に硝化菌が含まれていることも証明できる。

表-2 実験条件

	A	B	C	D	E	F	G
マコモ	○	○	○	○	×	×	×
硝化菌	○	○	×	×	○	○	×
ATU	○	×	○	×	○	×	○

C（マコモ+ATU）とD（マコモ）のマコモ単位乾重量あたりの $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度変化量を比較してみる。C-5は 1.77mg/l/g 、D-2は 1.36mg/l/g となり、C-5はD-2よりも 0.41mg/l/g 大きい。どのマコモでも、Cの濃度変化量の方が大きいというわけではないが、マコモによる $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度吸収において、ATUが悪影響を及ぼしていることはないと考えられる。

3-2. マコモの吸収と硝化による NH₄-N 濃度減少の比較

A (マコモ+硝化菌+ATU)、C (マコモ+ATU)、D (マコモ) を比較する。前項で述べたように、ATU がマコモに影響を与えずに硝化を抑制するならば、AとCはマコモのみの吸収量となる。また、D もマコモのみの吸収量なので、これらの3つは同じようなグラフになることが予想される。A、C、Dのマコモ単位乾重量あたり NH₄-N 濃度変化量は、1.27mg/l/g、1.77mg/l/g、1.36mg/l/g となり、多少の差はあるが、ほぼ同じ値になっている。

A、C、DとF (硝化菌) の NH₄-N 濃度変化量から、マコモによる吸収と硝化による濃度減少を比較することができる。なお、ここでは生物体の乾重量を基準として比較する。A、C、Dはそれぞれ前述のとおりであるのに対して、Fは 4.22 mg/l/g となる。つまり、菌体と植物体の乾重量 1g あたりで比較すると NH₄-N 濃度の減少は硝化による寄与が大きく、マコモの吸収による減少分 (平均 1.47) の約3倍になる。

3-3. 硝化に対するマコモの影響

A、C、DとB (マコモ+硝化菌) を比較する。Bの NH₄-N 濃度変化量は、マコモ乾重量あたり 5.76mg/l/g、1g 菌体あたり 4.16mg/l/g となる。この値はFの値とほぼ同じで、A、C、Dに対しては4倍になり、Bの NH₄-N 濃度変化量のほとんどが硝化菌によるものであることが推測される。

また、硝化菌による硝化作用に植物の有無が影響するのかどうかを考察するため、NH₄-N 濃度変化量の実測値と計算値を比較してみる。

計算値 = マコモの吸収分 (α × Bのマコモ重量)
+ 硝化菌による硝化分 (β × Bの硝化菌量)

α = A、C、Dの単位重量あたり NH₄-N 濃度変化量

β = Fの単位重量あたりの NH₄-N 濃度変化量

計算の結果、計算値は実験1が 15.9mg/l、実験2が 20.7mg/l となり、実測値は実験1が 12.9mg/l、実験2が 13.4mg/l となった。それぞれ計算値の方が実測値よりも大きくなった。

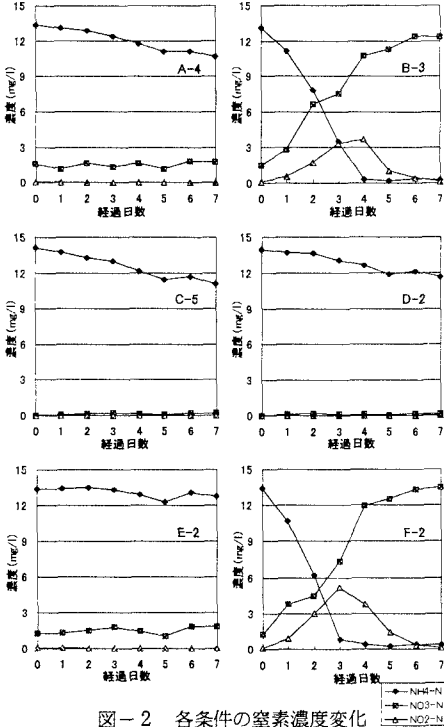


図-2 各条件の窒素濃度変化

表-3 単位重量あたりの k₁、k₂

	実験 1			実験 2		
	k ₁	k ₂	k ₂ /k ₁	k ₁	k ₂	k ₂ /k ₁
A、C、D	0.0147	—	—	0.0214	—	—
B	0.280	0.119	0.424	0.555	0.385	0.693
F	0.319	0.0900	0.282	0.530	0.484	0.913

次に、 $\text{NH}_4 \xrightarrow{k_1} \text{NO}_2 \xrightarrow{k_2} \text{NO}_3$ の反応を考え、反応速度定数 k₁、k₂ を求め、BとFを比較してみる。

NH₄-N=x、a=初期 NH₄-N 濃度とする。

$$-\frac{dx}{dt} = k_1 x \quad \dots\dots (1) \quad , \quad k_2 = \frac{1}{t_{\max}} \ln \frac{a}{C_{\max}} \quad \dots\dots (2)$$

上式から、k₁ と k₂ を求めるが、さらにマコモ重量と MLSS 濃度を考慮して計算し、それらの値を表-3に示す。k₁ と k₂ の比は実験1ではBの方が大きく、実験2では、Fの方が大きくなった。

4. 結論

- ・ 短期間 (1週間) で見た場合、ATU はマコモに悪影響を与えずに、硝化作用を抑制することができる。
- ・ マコモによる NH₄-N 吸収と硝化菌による硝化による NH₄-N 濃度の変化量を、生物体の乾重量あたりで比べると、硝化による NH₄-N 濃度変化量の方が3倍ほど大きい。
- ・ 今回の実験では、マコモの有無で、必ずしも、硝化菌による硝化が促進されるという結論は得られなかった。今後、硝化反応の生じにくい条件で、検討する必要がある。