

11. 都市部からの栄養塩移動による沿岸海域環境への影響検討業務

(独) 土木研究所水循環研究グループ水質チーム 上席研究員 鈴木 穰
主任研究員 津森 ジュン

1. はじめに

ダム開発，森林荒廃や都市化の進展など流域の変化，また水利用の高度化等に伴い，流域から河川を經由し海域へ供給される栄養塩の物質収支が変化し，沿岸海域生物に影響を与えているとの指摘がある。本研究では，都市域から海域に供給される下水処理水中に含まれる栄養塩が，ノリの生長に与える影響について調査した。下水処理水中の残留塩素によるノリの生長阻害に関する調査は数多くあるものの，処理水中の栄養塩の効用に関する研究事例は見あたらない。このため，2つの異なる処理場からの処理水を用いてノリの室内培養実験を行い，下水処理水に含まれる栄養塩がその生長にどのように影響するか調査した結果を報告する。

2. 調査方法

2.1 実験材料

1) 対象下水処理場と処理水

A処理場（日最大流入量 97,800 m³/日，標準活性汚泥法）及びB処理場（日最大流入量 52,000 m³/日，標準活性汚泥法）の2処理場を対象とした。このうちA処理場では塩素消毒前の二次処理水を，B処理場では消毒処理前の二次処理水とオゾン消毒後処理水について，平成 17 年 1 月 20 日から 21 日にかけて 2 時間間隔で 24 時間に計 13 回採水した。

2) 現地海水，人工海水

現地海水は，処理水の影響が直接ないと考えられる近傍の海岸（A処理場放流口から約 3km，B処理場放流口から約 4kmそれぞれ離れた海岸）において表層水を採水した。人工海水はASP₁₂培地を用いた。ASP₁₂培地の組成を表 1 に示す。

3) 供試ノリ

ノリは一般に養殖に用いられるスサビノリ品種を用い，A処理場は収穫された生ノリを，B処理場は冷凍網に着生していた葉体を用いた。

2.2 培養実験

1) 試験区設定と培養液の作成

A処理場の試料は，24 時間分の処理水を流量比により混合して用いた。B処理場については，管路圧送を一部区間で採用していることを勘案して等量混合して用いた。

表 1-(1) ASP₁₂培地の組成

蒸留水	100 ml
NaCl	2.8 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.7 g
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.4 g
KCl	0.07 g
Ca (as Cl ⁻)	40 mg
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	15 mg
ビタミンB ₁₂	0.02 μg
ビオチン	0.1 μg
チアミン	10 μg
P II 金属混液	1 ml
S2金属混液	1 ml
TRIS	0.1 g

表 1-(2) P II 金属混液の組成

蒸留水	100 ml
Na ₂ -EDTA	100 mg
Fe (as Cl ⁻)	1 mg
B (H ₃ BO ₃)	20 mg
Mn (as Cl ⁻)	4 mg
Zn (as Cl ⁻)	500 μg
Co (as Cl ⁻)	100 μg

表 1-(3) S2 金属混液の組成

蒸留水	100 ml
Mo (Na ₂ MoO ₄)	5 mg
Br (as K ⁺)	100 mg
Sr (as Cl ⁻)	20 mg
Rb (as Cl ⁻)	2 mg
Li (as Cl ⁻)	2 mg
I (as Cl ⁻)	100 μg
Va (as Cl ⁻)	10 μg

表-2 実験の条件設定

		no.	二次処理水	海水
A処理場	実験区	A-1	塩素添加処理水	人工海水
		A-2	塩素添加処理水	現地海水
	対照区	A-cont1	—	人工海水
		A-cont2	—	現地海水
B処理場	実験区	B-1	塩素添加処理水	人工海水
		B-2	塩素添加処理水	現地海水
		B-3	オゾン消毒後処理水	人工海水
	対照区	B-cont1	—	人工海水
		B-cont2	—	現地海水

表 2 に実験条件の設定を示す。人工海水および現地海水に処理水を 3%添加する実験区を設定し，対照区として人工海水のみ及び現地海水のみで培養する実験区も設定した。なお，どちらの処理場とも処理水には無機態りんがほとんど含

まれず、また、現地海水中の無機態りん濃度も非常に低かった。このため、A及びB処理場近傍海域のノリ漁期(1992～2002年の10月～2月)における最高濃度0.09mg/Lとなるよう人工海水、現地海水ともに K_2HPO_4 を添加し培養液として用いた。また、処理水には実験室内で次亜塩素酸ナトリウム(有効塩素濃度3.14mgCl/L)を添加後15分間攪拌した後、培養液に添加した。

2) 実験方法

各条件とも培養液は500mL栓付き三角フラスコに400mLずつ入れたものを3連用意し、エアレーション攪拌を施した状態で、全長5cm程度以下のノリ葉体を8日間培養した。その期間中には2日に1回の頻度で培養液を交換するとともに、ノリ葉体表面の余分な水分を除去した湿重量を測定した。培養条件は、水温 $14\pm 1^\circ C$ 、塩分 $30\pm 3psu$ 、照度 $3,000\pm 300\text{ lx}$ (蛍光灯による人工照明)、光周期10時間明期14時間暗期(午前7時点灯、午後5時消灯)に設定した。

全試験区の実験開始時と培養液交換時、実験終了時及び下水処理水原液、現場海水を対象として有機物量(COD, TOC, DOC)、各態窒素、各態りん、SS、VSSを分析した。なお試験水は、ミリポア社メンブレンフィルター($\phi=0.45\mu\text{m}$)でろ過した後、溶存態のみ分析した。また、ノリの窒素、炭素含有量を、開始時及び終了時の個体について、CHNコーダを用いて測定した。

3. 調査結果と考察

3.1 培養実験

実験終了時の生長比を図1に示す。湿重量の増加率(開始時重量に対する比)を生長比として算出したところ、全ての試験区でノリの生長がみられ、8日間培養後の湿重量は開始時の3.0倍～5.3倍となった。各ケース間を比較してもほとんどで生長に差がみられなかった。 t 検定の結果、統計的に有意な差がみられたのは、次の条件の比較においてであった。

- ① A処理場の処理水に塩素を添加し、人工海水で希釈した実験区では、現地海水で希釈した実験区よりも生長が大きくなった。
- ② B処理場の処理水に塩素を添加し、人工海水で希釈した実験区では、現地海水で希釈した実験区よりも生長が大きくなった。
- ③ B処理場の処理水について、塩素添加処理水とオゾン消毒を比較すると、塩素消毒の方がノリの生長が大きかった。
- ④ B処理場の処理水に塩素を添加し、人工海水で希釈した実験区では、人工海水だけの実験区よりも生長が大きくなった。
- ⑤ B処理場の処理水に塩素を添加し、人工海水で希釈した実験区では、現地海水で培養した実験区よりも生長が大きくなった。

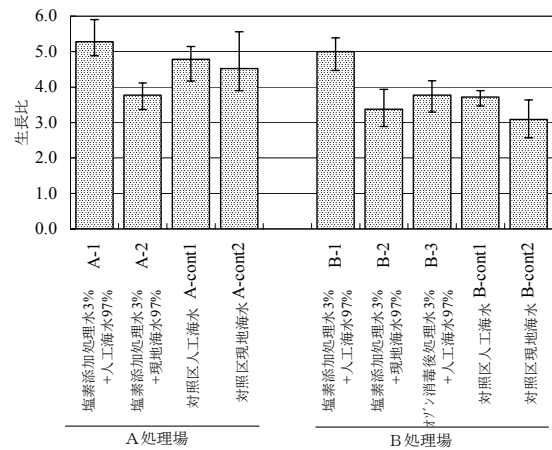


図-1 実験開始時と終了時の生長比
(実験8日目の生長比の比較)

表-3 培養液の水質 (mg/L)

	D-IN	NH4-N	PO4-P	D-SiO2	D-Fe
A-1	0.79	0.75	0.085	2.4	0.008
A-2	1.13	0.86	0.092	4.5	0.013
A-cont1	0.26	0.00	0.088	1.2	0.003
A-cont2	0.22	0.04	0.035	3.5	0.021
B-1	0.30	0.00	0.084	2.2	0.005
B-2	0.49	0.17	0.093	4.5	0.009
B-3	0.55	0.52	0.087	2.3	0.008
B-cont1	0.26	0.00	0.088	1.2	0.003
B-cont2	0.04	0.01	0.012	3.2	0.019

これらから、処理水に含まれる栄養塩がノリの生長に寄与していることが示唆されたが、処理水を添加したケース間に生長比に差がみられ、栄養塩濃度だけで生長が左右されるものではないと考えられた。

3.2 水質分析結果

分析の結果によると、培養液中の窒素、りん濃度は実験中に濃度が著しく低下し、生長したノリに吸収されたと考えられた。培養液の水質を表3に、実験開始時から終了時までのノリによる栄養塩吸収量を図2に示す。

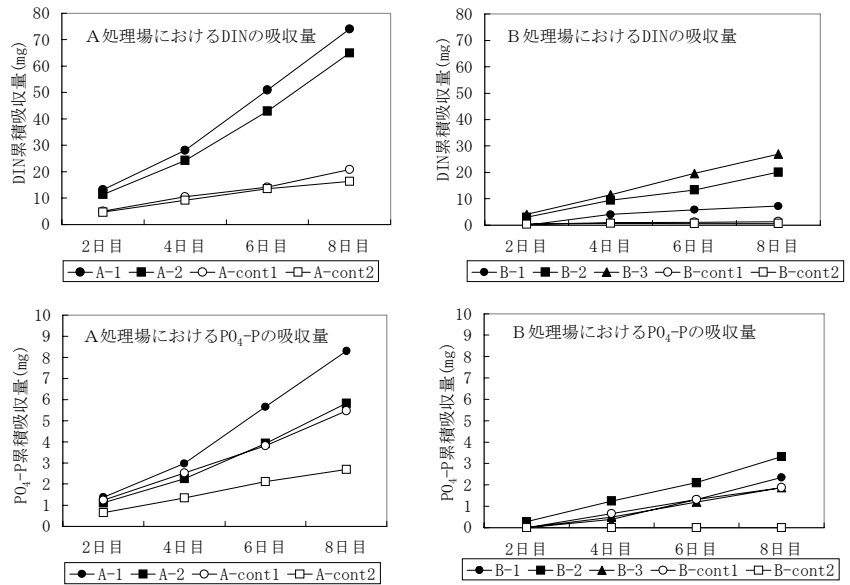


図-2 実験ケース別観察期日別栄養塩の累積吸収量
注) 栄養塩吸収量は、各観察期日における栄養塩減少量をノリ 1g 当りに換算し累積した。

3.3 考察

本調査は、下水処理水に含まれる栄養塩類がノリの生長にどのように利用されるかどうかを検証する目的で実施したものであるが、処理水中、現地海水中のりん濃度が低かったため、実際には栄養塩類としては窒素の利用についての検証となった。

このような前提条件・状況の下

であるが、処理水を海水に添加してもノリの生長が低下するというのではなく、順調な生長が観察され、人工海水の結果からは、処理水の添加により生長が大きくなることが示唆された。本調査においてノリの生長比と窒素、りん吸収速度の関係を検討した結果では、高い栄養塩類の吸収速度を示したのは実験開始時の2.5~3.0倍に生長した時点のものであり、これより大きく生長したケースでは栄養塩類の吸収速度が低下している状況がうかがえた。この原因については不明であるが、ある程度、生長が進んだ個体は栄養塩の吸収速度が低下する可能性や、生長が進みすぎ、実験容器の中で栄養塩の枯渇が生じたためにこのような現象になった可能性が考えられる。

なお、実験中の目視観察の結果、A及びB処理場ともに窒素の濃度が高いケースと低いケースではノリ葉体の色調に差がみられ、窒素濃度が高いケースでは、葉体がより紫がかった観察された。ノリの品質については、より濃い紫がかった色合いが高品質であるといわれ、これは窒素類の含有量に比例するという報告がある。今回の色調の違いの結果も栄養塩類の多寡によって発生したものと考えられた。

4. まとめと今後の課題

本調査の結果から、下水処理場から放流される処理水の栄養塩は有効にノリの生長に寄与すると考えられる。しかし、統計的な相違は無かったものの、塩素を添加したケースとオゾン消毒のケースで生長に差が観察されたことなどもあることから、残留塩素も含め他の微量化学物質などの処理水に含まれる栄養塩類以外の物質による影響を検討する必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 西澤一俊, 千原光雄編, 藻類研究法, 共立出版株式会社, 1979
- 2) 山本民次, 高尾允英, スサビノリ *Porphyra yezoensis* 葉体のアンモニア態及び硝酸態窒素の取り込みに及ぼす温度の影響, 藻類 Jpn. J. Phycol. 36 : 37-42, March 10, 1988
- 3) 徳田廣, 大野正夫, 小河久朗著, 海藻資源養殖学, 株式会社緑書房, 1987
- 4) 丸山俊朗, 三浦昭雄, 養殖ノリを指標とした下水処理水のモニタリング, 環境技術, Vol. 17, No. 10, 1988