

オオサンショウモによる水質浄化に関する研究 (1) オオサンショウモによる N, P 吸収の基礎的実験*

嶋田典司・矢島 聡**・渡邊幸雄

園芸植物栄養学研究室

Improvement of Water Quality Using *Salvinia molesta* (1) Absorption of Nitrogen and Phosphorus by *Salvinia molesta*.

Noritsugu SHIMADA, Satoru YAJIMA, and Yukio WATANABE
(Laboratory of Horticultural Plant Nutrition)

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the nutrient removal by aquatic fern (*Salvinia molesta*) from treated municipal wastewater or eutrophied lake water. The results obtained are as follows:

1. In the laboratory experiment with artificial media, *S. molesta* can be grown with broad range of pH from 4 to 8. Fresh weight of *S. molesta* became twice after 4.5 days in this experimental condition. *S. molesta* preferred $\text{NH}_4\text{-N}$ to $\text{NO}_3\text{-N}$ in the nutrient solution. The amounts of absorbed nutrients were 3.5-5 mg N and 1-1.5 mg P per one gram of fresh weight.

2. In the experiment using the treated wastewater, concentration of $\text{NO}_2\text{-N}$ increased up to 18 ppm after ten days, but the disorder was not appeared in the plant. *S. molesta* can be grown in the low concentration of phosphorus (0.1 ppm) in the treated wastewater. However, the higher concentration of phosphorus (1 ppm) enhanced plant growth and increased nitrogen absorption by plant. The phosphorus added at this level was absorbed almost completely by *S. molesta*.

3. The fresh weight of *S. molesta* cultured with the water from Tega lake became about four times of initial weight during ten days. Nitrogen and phosphorus concentrations decreased remarkably in the culture media.

According to these results, it is suggested that *S. molesta* has high potential as aquatic plant for wastewater treatment because of the rapid growth rate and high ability of nutrient removal from wastewater or entrophied lake water.

近年、手賀沼において、水質の富栄養化が進み、アオコの大量発生による悪臭の発生、漁獲量の減少や灌漑水として用いた水稻の倒伏などの被害が深刻な問題となっている。その主な原因は、湖沼流域での急激な人口増加による一般生活廃水または下水処理施設からの二次処理水中に含まれる窒素(N)、リン(P)などの栄養塩類の流入の増加によるものである。手賀沼においては、1日あたり約4tのN、約0.6tのPが流域から排出され、その約70%が生活系の廃水によるものであるとされている。そのため、湖沼の水質の改善には、BOD、CODで代表さ

れる水中の有機物の除去だけでなく、流入するN、Pの負荷を低減することが重要である。N、Pなどの栄養塩類を高次処理によって除去する方法があるが、リンの場合、化学薬品によって沈澱除去させる方法は処理コストの増大、処理後の化学薬品の処理の問題を引き起こした。そのため、単に、浄化処理をするだけでなく、処理後の生成物の積極的な再利用が研究されるようになってきた。

下水の処理、再利用をするにあたり、水生植物を用いて、無機栄養塩類を吸収させる研究がいくつか報告されている。それらの報告では、水生植物によってかなりの

* 本報告の概要は昭和61年4月の日本土壌肥料学会大会で報告した。

** 現在フジタ工業(株)技術本部技術研究所

量の栄養塩類の除去が可能であり^{2,5,15)}、また、処理後の植物体は収穫し、再利用可能であることが示されてきている^{6,8,18)}。しかし、植物種によっては収穫が困難であったり再利用がしにくいことなどから、処理コストの低減がしにくいという問題が新たに示された。

そこで、栄養塩を吸収させ、また収穫後に利用することを考慮にいと、処理に用いる植物の条件としては栄養塩の吸収効率が良いだけでなく、収穫が容易であること、再利用の可能性が高いことが必要である。

本研究では、このような条件をふまえ、実験の対象となる水生植物として水生のシダであるオオサンショウモ (*Salvinia molesta*) に着目した。オオサンショウモは浮葉性の水生植物であり、ホテアオイ、ガマなどの大型水生植物に比べて収穫などの取扱が容易であると考えられた。本研究では、オオサンショウモの生育特性、栄養塩類の吸収特性について検討したのでその結果を報告する。

材料及び実験方法

供試植物

本研究に使用した水生植物は、水生シダであるオオサンショウモ (*Salvinia molesta* Mitchell) である。オオサンショウモは、熱帯アメリカ産の水生シダであり、観賞用として輸入された浮葉性の一年生草であり、普通、孢子で越冬する。日本にも在来種としてサンショウモがあるが、オオサンショウモは在来種に比べて大形であり、茎の長さは5から15 cm、浮葉の形は若い時には楕円形、成長すると軍配型となり、長さ2から3 cm、幅2から3 cmとなる。

栽培方法

1) 人工培養液を用いた実験

栽培実験に用いた培養液は、吉村氏液⁷⁾をもとにしてNとPは実験において変化させるために培養液から除いた。培養液の組成を表1に示す。この培養液に微量要素として、A5液を添加して、基本培養液とした。また基本培養液は、予め、特級試薬を用いて500倍の原液を作っておき所定の濃度に希釈して用いた。

NとPは、上記の基本培養液に、Nは硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)と、アンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)の形態の違うN源を設定した。硝酸態窒素源としては、硝酸ナトリウム(NaNO_3)、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 源として、塩化アンモニウム(NH_4Cl)を用い、Pは、リン酸水素一ナトリウム($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)を用いて栽培実験の条件に応じて各々の栄養塩を所定の濃度になるように添加後、pH 6に調整し合成培養液を作り、栽培実験を行った。

栽培用の容器は1 lのビーカー(直径10 cm、深さ12

第1表 培養液組成

元 素	濃 度	使用塩
K	19.5 ppm	KCl
Ca	6.8	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Mg	4.9	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Fe	1.0	Fe-EDTA
N		$\text{NO}_3\text{-N}$ の場合は NaNO_3 $\text{NH}_4\text{-N}$ の場合は NH_4Cl
P		$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
A ₅ 溶液	1 ml/l	

A₅ 溶液

塩 類	濃度 (g/l)
H_3BO_3	2.86
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.222
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.0298
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.079

cm、液量1 l)を用いた。実験開始時のオオサンショウモの植物体量は、湿重で0.5 gで、1区について3連制で栽培実験を行い、栽培期間は10日とし、途中培養液の交換は行わなかった。室内に設置した人工照明(受光面で700 lux)つきのラック内で明期14時間、暗期10時間、水温25°Cで栽培を行った。

2) 下水二次処理水、手賀沼の水を用いた実験

二次処理施設からの処理水は塩素で殺菌する前の沈澱槽の上澄を採取した。なおこの処理施設は主に家庭廃水を処理する施設であった。

手賀沼の水は手賀沼公園の岸から採取して用いた。

栽培には処理水をそのまま用い、pHは調整せずに10日から15日間栽培した。栽培条件は前にのべた方法と同様であった。

分析試料の調製及び分析方法

収穫は実験開始後10日目に行った。植物体を脱塩水で洗浄し、濾紙で水分を吸収した後、秤量し、収穫後の湿量を生育量とした。湿重の測定後、直ちに電気通風乾燥機にて乾燥後、カートリッジミルにて粉碎し分析用試料としN、Pの分析に供した。

N、Pの吸収速度を求めるために、オオサンショウモがビーカーの全面を被いつくした9日目から10日目にかけての培養液のN、P濃度を測定し、その減少量から単位面積当たりの吸収速度を算出した。

植物体の全Nの分析はケルダール・ガンニング変法¹⁶⁾によって行った。全Pは常法によって湿式灰化後、モリ

ブデン酸アンモニウム法¹⁷⁾によって定量した。

培養液の N および P は次のようにして分析した。すなわち、全 N は試料をアルカリ性ペルオキソ二硫酸カリウム分解法¹²⁾により分解した後 $\text{NO}_3\text{-N}$ として定量した。亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) はスルファミン吸光光度法¹⁰⁾により、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は硫酸ヒドラジン還元法¹¹⁾により、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノール青法¹²⁾によって定量した。

全 P は試料をペルオキソ二硫酸カリウム分解法¹³⁾によって分解した後オルトリン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) として定量した。 $\text{PO}_4\text{-P}$ はモリブデン青・アスコルビン酸還元法¹⁴⁾によって定量した。

結 果

1. 人工培養液を用いた実験

水生植物を廃水処理に用いる場合、処理の対象となる処理水の栄養塩濃度、pH などの生育条件の変動に対する耐性をもっていることが必要となる。そこで、まずオオサンショウモの生育及び N、P の吸収に及ぼす pH の影響を検討した。

基本培養液に $\text{NH}_4\text{-N}$ 15 ppm、P 5 ppm になるように N、P を添加した培養液 (1 l) を用い pH を 4、6、8、10 の 4 段階に設定し、10 日間培養を行った。培養後の N、P の除去量、生育量を調査した。

表 2 に示したように、生育は pH 6 が最も良好であり、以下 pH 8、pH 4 の順であり、pH 8 区でもかなりの生育を示した。なお、pH 10 区は枯死してしまった。培養液からの N の除去については pH 8 区が最も多く 1 ポット当たりで 10.1 mg であった。ついで pH 6、pH 4 の順となった。P では pH 6 と 8 は大差なく、pH 4 区が最も劣った。

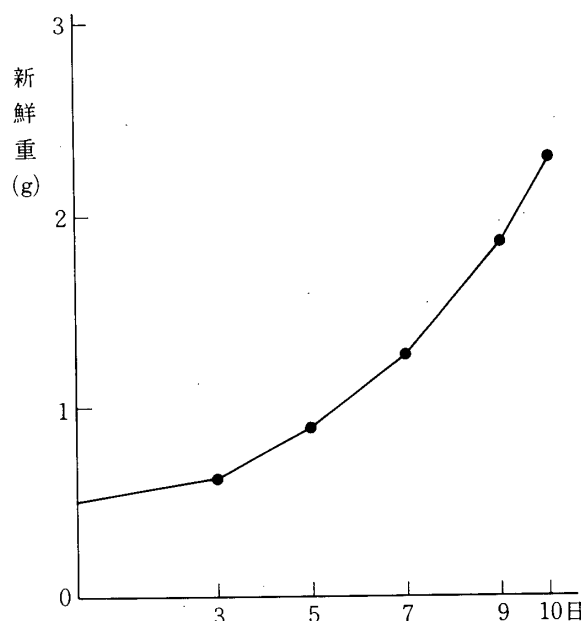
第 2 表 オオサンショウモの生育と N、P 吸収に及ぼす pH の影響

試験区	生育量 g	除去量	
		Nmg	Pmg
pH 4	1.7	6.3	2.0
pH 6	3.1	8.0	2.8
pH 8	2.7	10.1	2.7
pH 10	—	—	—

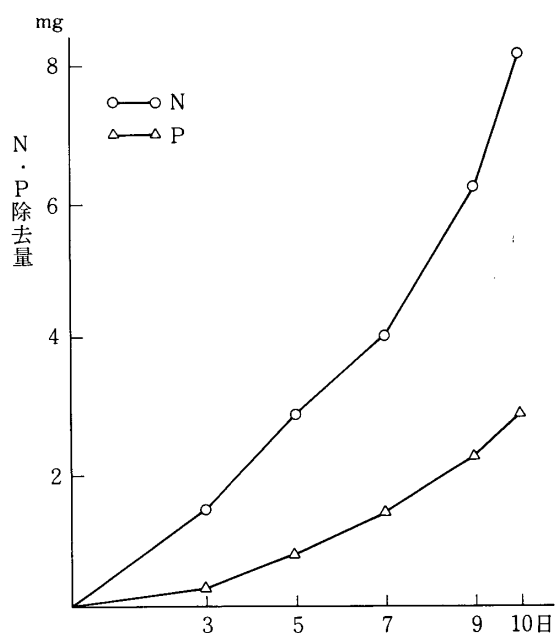
注. 生育量、除去量は 1 ポット (液量 1 l) 当たりの量を示す。

つぎにオオサンショウモの生育と N、P の吸収がどのような関係にあるかを検討した。すなわち、培養液中の N は $\text{NH}_4\text{-N}$ で 15 ppm、P は 5 ppm、pH は 6 とし 10 日間培養し、その間経時的に生育量、吸収量を調べた。

図 1 に生育調査結果を示した。青山¹⁾は水生植物の成



第 1 図 オオサンショウモの生育量の変化



第 2 図 オオサンショウモによる N、P の累計除去量

長を一般的に表現するために次式を示し、これがホテイアオイの全成長過程を表わすことが出来ることを示した。

$$W_t = W_0 e^{\lambda t}$$

W_t = t 時間における現存量

W_0 = 初期の現存量

λ = 生長速度係数 (1/単位時間)

t = 経過時間

この式から図1におけるオオサンショウモの成長速度係数を求めると、 $\lambda=0.153$ となった。これは約4.5日で植物体量が2倍になることを示している。

図2にはN, Pの吸収について示してある。Nは10日間で約8 mgが吸収され、Pは2.9 mgが吸収された。9日から10日にかけての吸収速度はNは $254.8 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{日}$ 、Pは $76.4 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{日}$ と計算された。

実験開始後10日目に収穫したオオサンショウモのN, Pを分析したところ、新鮮重1 g当たりN 3.9 mg, P 1.5 mg吸収することがわかった。つぎに培養液のpHをすべて6に調整し、N源を $\text{NH}_4\text{-N}$ とした場合にP濃度の変化がオオサンショウモの生育及びN, Pの吸収に及ぼす影響について検討した。

N源を $\text{NH}_4\text{-N}$ として10 ppm加え、Pを1から15 ppmまで変化させた培養液にて栽培を行った。

表3に栽培開始後10日目すなわちオオサンショウモがビーカーの全面を被う程度に増殖した時点で収穫した植物体のN, P吸収量を示した。植物体の重量は2.2 gから2.6 gの範囲にあり、区間に顕著な差はみられなかった。P 1 ppm区でも良好な生育を示した。P吸収量は $\text{PO}_4\text{-P}$ 1 ppm区ではポット当たり0.7 mgであり、吸収量としては低い値であった。しかし5 ppm区以上では顕著な差はなかった。

また、Nの吸収量は添加したPの濃度に関係なく5 mg程度で同様な吸収の様子を示した。Nの吸収には、Pとして1 ppm以上の濃度があれば良好な吸収が期待で

きられる。

つぎにN源を $\text{NO}_3\text{-N}$ として10 ppm加えたほかは前述の実験と同じ培養液において栽培実験を行った。なお、実験区はP濃度を1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppmの4段階設定した。

結果を表4に示した。オオサンショウモの生育量は $\text{PO}_4\text{-P}$ が1 ppm区がやや劣った他は大差がみられなかった。Pは1 ppmでもかなりの生育を示すことがわかった。

Nの吸収量は6 mg台でP 1 ppm区が10%ほど低い値であった。P吸収量は培養液のP濃度によって大きく異なり、1 ppm区では最も少ない0.5 mgであった。

つぎにN源を $\text{NH}_4\text{-N}$ とした場合について検討した。N源として、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を5から40 ppmまで変化させ、Pを一定(10 ppm)にして栽培を行った。実験区はNを5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppmの4段階に設定した。

結果を表5に示した。オオサンショウモの生育量は $\text{NH}_4\text{-N}$ 40 ppm区が最大で、他は大差なかった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は5 ppm程度でもオオサンショウモの生育は良好であることがわかった。

オオサンショウモに吸収されたN量は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の上昇とともに増加し40 ppm区が最大であった。また、Pについても同様の傾向であり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 40区は $\text{NH}_4\text{-N}$ 5区の約2倍となった。

つぎに $\text{NO}_3\text{-N}$ を5から30 ppmまで濃度を変えて添加し、Pを10 ppmで一定にして実験を行った。なお、実験区は、N 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 30 ppmの4段階設定した。

第3表 オオサンショウモの生育とN, Pの吸収量(1)

試験区	生育量(g)	吸収量(mg)	
		N	P
$\text{NH}_4\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 1	2.3	5.1	0.7
$\text{NH}_4\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 5	2.2	5.0	1.4
$\text{NH}_4\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.6	5.4	1.9
$\text{NH}_4\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 15	2.2	4.9	1.5

注：第3表～第7表で試験区の数字はppmを示す。また、生育量、吸収量は1ポット当たりの量を示す。

第4表 オオサンショウモの生育とN, Pの吸収(2)

試験区	生育量(g)	吸収量(mg)	
		N	P
$\text{NO}_3\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 1	2.2	6.0	0.5
$\text{NO}_3\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 5	2.5	6.6	0.8
$\text{NO}_3\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.8	6.6	1.2
$\text{NO}_3\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 15	2.5	6.7	1.1

第5表 オオサンショウモの生育とN, Pの吸収(3)

試験区	生育量(g)	吸収量(mg)	
		N	P
$\text{NH}_4\text{-N}$ 5, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.3	4.3	1.3
$\text{NH}_4\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.1	5.6	1.4
$\text{NH}_4\text{-N}$ 20, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.5	6.4	1.8
$\text{NH}_4\text{-N}$ 40, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	3.1	6.9	2.4

第6表 オオサンショウモの生育とN, Pの吸収(4)

試験区	生育量(g)	吸収量(mg)	
		N	P
$\text{NO}_3\text{-N}$ 5, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	1.8	3.7	1.3
$\text{NO}_3\text{-N}$ 10, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.6	4.6	1.7
$\text{NO}_3\text{-N}$ 20, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.7	5.6	2.0
$\text{NO}_3\text{-N}$ 30, $\text{PO}_4\text{-P}$ 10	2.6	6.0	2.0

第7表 オオサンショウモの生育とN, Pの吸収(5)

試験区	生育量(g)	吸収量(mg)	
		N	P
NO ₃ -N 20, NH ₄ -N 0	2.0	4.5	1.3
NO ₃ -N 10, NH ₄ -N 10	2.5	7.1	3.0
NO ₃ -N 0, NH ₄ -N 20	2.5	8.2	3.5

 注：PO₄-P 10 ppm添加

結果を表6に示した。N源がNO₃-Nの場合は、N 5 ppmの場合のみ生体重が2g以下と小さい値であった。他区はほとんど差がなかった。NH₄-Nの場合と異なりNO₃-NではN 5 ppmでは不十分であった。

オオサンショウモによるN吸収量は、培養液のNO₃-N濃度の上昇によって増加し、NO₃-N 30区はNO₃-N 5区の1.6倍になった。また、PについてもNO₃-N濃度の高い区の方が吸収量が増加した。

つぎにNの形態の違いがオオサンショウモの生育とN, Pの吸収に及ぼす影響について検討した。

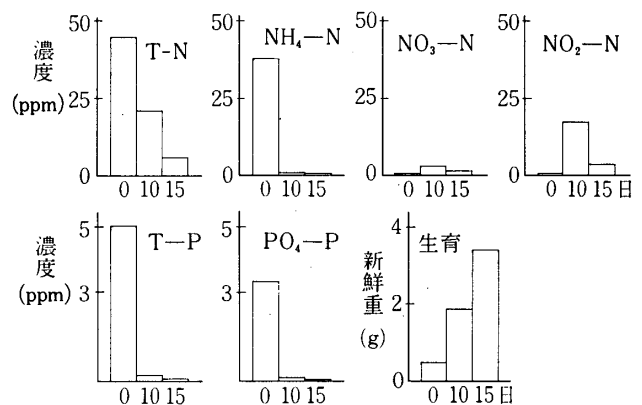
Nの濃度を20 ppmとし、そのうち、NO₃-Nのみで20 ppmとした区、NO₃-NとNH₄-Nを各10 ppmとした区、NH₄-Nのみ20 ppmとした3区を設定し、P濃度は10 ppmで一定にし、Nの形態以外は同じ条件となるようにして実験を行った。

結果を表7に示した。オオサンショウモの生育はNO₃-N単独区が最も劣り、NH₄-Nが10 ppm以上存在した区では同様に良好な生育を示した。

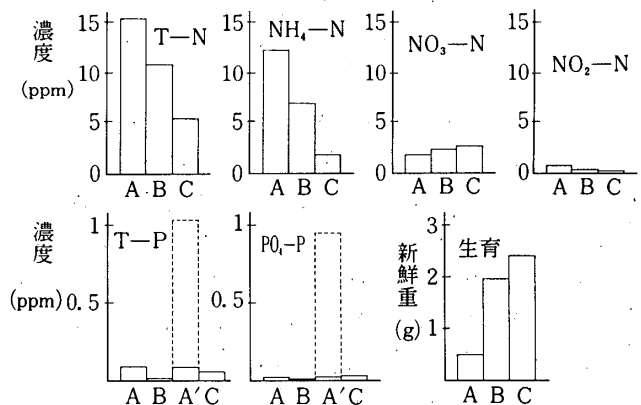
Nの吸収量はNH₄-N 20区が最大で、NO₃-N 20区の約1.8倍であった。またPについても同様にNH₄-N 20区ではNO₃-N 20区の2.6倍の吸収量となった。なお、別のシリーズの実験(表5, 6)のNH₄-N区とNO₃-N区の絶対値ではNO₃-N区も良好な生育を示したが、同一時期に同時に行った比較実験では表7に示したごとくNH₄-N区の方がオオサンショウモにとってかなり有利であることがわかった。

2. 下水二次処理水、手賀沼の水を用いた実験

合成培養液での実験の他に、現実の下水二次処理後の廃水について三次処理を意識した場合、いろいろな栄養塩類の条件の二次処理廃水が排出されることが考えられる。そこで、実際に稼働中の廃水処理場から二次処理水を採取し、それを培養液として用い、オオサンショウモの二次処理水での生育及びN, Pの吸収を検討した。また、富栄養化した湖沼からのN, P資源の回収という立場から、手賀沼の水を採取し、培養液として同じく栽培を行い、オオサンショウモの生育、N, Pの吸収について検討を行った(第5図)。



第3図 オオサンショウモの生育と培養液中のN, P濃度の変化(二次処理水, T)



第4図 オオサンショウモの生育と培養液中のN, P濃度の変化(二次処理水, K)

A: 栽培開始前

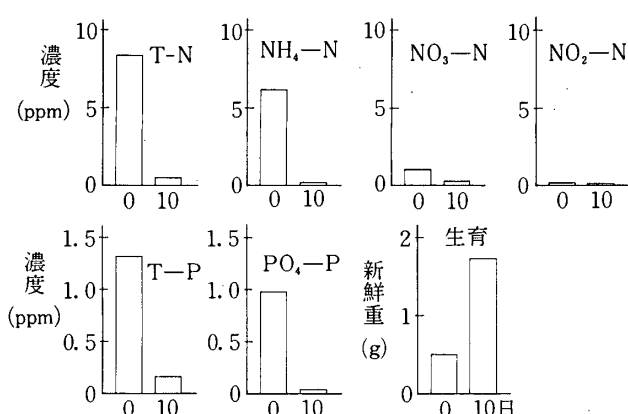
A': Aに(PO₄-P)を添加

B: 栽培開始10日後

C: A'の栽培開始10日後

千葉県松戸市内の下水処理場(T)から採取した下水二次処理水の場合は、はじめ全Nで45 ppmであり、イオン態Nの内のほとんどがNH₄-Nであった。Pは全Pとして5 ppm, PO₄-Pとして3.2 ppmであった。この処理水での実験の結果を図3に示す。図3ではN, Pの濃度変化で示した。

当初、37.7 ppmであったNH₄-Nは、10日目には0.05 ppmまで低下したが、それに対しNO₂-Nが18 ppmまで増加した。この値は、10日目の全Nの内、85%を占めるものであり、またNO₃-N, NO₂-Nの増加はNH₃の酸化によるものであると思われるが、これは合成培養液ではみられない現象であった。栽培15日目には全Nは6 ppmまで低下し、NO₂-Nも3.6 ppmまで低下した。Pに



第5図 オオサンショウモの生育と培養液中のN、P濃度の変化(手賀沼水)

ついては、初め全Pとして5 ppm あったものが栽培10日目に既に1.5 ppm、15日後には0.3 ppmまで低下した。

オオサンショウモは栽培開始後10日目で約4倍、15日目に約7倍に増殖した。栽培10日後にNO₂-Nが18 ppmまで増加したが、オオサンショウモはNO₂-Nに対してはかなり耐性があるものと考えられた。

千葉県柏市内の下水処理場(K)から採取した処理水の場合は、採取した水は全Nとして、15.2 ppm、全Pとして0.09 ppmであり(第4図のA)、そのため、そのまま栽培しても正常な生育が期待できなかったため、PO₄-Pを1 ppm添加(図のA')した区も設定し、栽培を行った。その結果を図4に示した。

Nの濃度変化は、Pを加えないで栽培した区の10日後(図のB)では、余り減少しなかった。しかし、Pを1 ppm添加することによって、図のCに示される如く、Nの減少が大きくなった。

また添加したPも10日後には0.06 ppmまで低下した。Pを加えない場合にも栽培開始時の植物体量の約4倍程度まで生育したが、Pを添加することによって、生育が改善され、10日後には約5倍に生育した。

この実験から、オオサンショウモはP濃度がかなり低くても体内にあるPを利用してある程度生育が可能であることが示唆された。

また、植物をこの様な処理に用いる場合、栄養塩のバランスが悪いときは、必要最小限の栄養塩を添加することにより、処理能力の向上ができることが示唆された。オオサンショウモの生育量は10日後に約4倍になった。これは、合成培養液での結果に比べて若干劣るものの、十分生育が可能であることを示している。

手賀沼の水(第5図)のNは初め全Nとして、8.4 ppmであったものが、栽培10日後には0.47 ppmまで減少し

た。Nの形態別にみると、大部分はNH₄-Nであり、Nの形態の大きな変動はみられなかった。Pについては、初めPとして1.3 ppmであったものが栽培後には0.2 ppmまで低下した。

考 察

水生植物を用いて富栄養化された湖沼の水質を浄化したり、あるいは二次処理水を三次処理するために水生植物を利用しようという試みは数多くなされている。その代表的な例はホテイアオイにみられる^{1,3)}。本研究において利用を試みたオオサンショウモは生育速度も速く、またN、Pもかなり効率よく吸収することがわかった。

今回行ったオオサンショウモの生育に関する基礎的な研究の結果、オオサンショウモはpH 4から8までのかなり広いpH範囲で生育できることが明らかになった。pHについてもかなり過酷な条件が与えられる下水等の浄化に使う目的での水生植物の利用であるだけに、広範囲のpHで生育できるということは大変に重要なことである。

培養液のN源としてNH₄-NとNO₃-Nを用いてオオサンショウモの生育とN、Pの吸収を検討した。植物は培養液中のNの形態によってNの吸収が異なり、その結果生育にも差異を生ずることが一般に認められている。水生植物は通常NH₄-Nに対して嗜好性があるといわれているが、今回実験に用いたオオサンショウモもやはりNH₄-NをN源とした方がNO₃-Nの場合よりも生育も良好で、Nの吸収量も多かった。これは沼沢という比較的嫌気的条件下で適応した植物の通性であると思われるが、二次処理水に含まれるイオン態のNは大部分がNH₄-Nであることを考えると、これはオオサンショウモにとって大変有利である。

N濃度に関してはNH₄-Nの場合もNO₃-Nの場合もともに40 ppm程度まではオオサンショウモは充分良好な生育を示すことがわかり、富栄養化された湖沼や下水二次処理水程度のN濃度できわめて良好な生育をすることから浄化に利用できる可能性が大きいものと考えられた。

また、Pの吸収もきわめて良好であり、高濃度のPを比較的短時間で低濃度にした。培養液のP濃度は高い方がオオサンショウモの生育も良好であったが、一方、1 ppm以下の低濃度Pの場合でもかなり生育した。しかし、1 ppm程度のPを添加して栽培すると生育はさらに良好となり、Nの吸収量は急増し、添加した1 ppmのPもたちまち吸収してしまった。このことはオオサンショウモを実際に利用する際には充分留意すべきことと思われる。

下水二次処理水の浄化を念頭においた場合、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が微生物的に酸化される過程で生成する $\text{NO}_2\text{-N}$ の問題がある。植物は一般には $\text{NO}_2\text{-N}$ に対して耐性が弱いと考えられている。下水二次処理 (T) において $\text{NO}_2\text{-N}$ の生成がかなり認められ、最高 18 ppm にまで達した。しかし、オオサンショウモには障害らしきものの発生はみられず、かなり強い耐性をもっていることがわかった。

つぎにオオサンショウモの N, P の吸収速度について述べる。浄化対策としての利用が考えられているホテイアオイは 3 l 容バケツ培養法という条件下で $\text{N } 265\sim 280 \text{ mg/m}^2\cdot\text{日}$, $\text{P } 50\sim 72 \text{ mg/m}^2\cdot\text{日}$, ウキクサでは同じ条件下で $\text{N } 260\sim 278 \text{ mg/m}^2\cdot\text{日}$, $\text{P } 40\sim 65 \text{ mg/m}^2\cdot\text{日}$ 程度の吸収速度をもっていることが報告されている⁹⁾。本実験の場合のオオサンショウモでは $\text{N } 255 \text{ mg/m}^2\cdot\text{日}$, $\text{P } 76 \text{ mg/m}^2\cdot\text{日}$ 程度でホテイアオイと同程度の吸収速度をもっていることがわかった。このようなオオサンショウモの生育特性, N, P の吸収特性から水質浄化対策として水生植物であるオオサンショウモの利用を積極的に検討してみる必要があると思われる。

摘 要

水生シダであるオオサンショウモを用いて下水二次処理水及び富栄養化された湖沼の水から栄養塩を除去することを目的に基礎的な実験を行い、以下の結果を得た。

1) 合成培養液を用いた室内実験から、オオサンショウモは pH 4 から 8 の広い範囲で生育が可能であることがわかり、植物体が 2 倍になる時間は 4.5 日であった。N 源では $\text{NO}_3\text{-N}$ よりも $\text{NH}_4\text{-N}$ をよく吸収し、生育も良好であった。N, P の吸収量は新鮮重 1 g あたり N とし 23.5~5 mg, P とし 1~1.5 mg であった。

2) 下水二次処理水を用いた栽培実験では栽培期間中に $\text{NO}_2\text{-N}$ が 18 ppm になったが、オオサンショウモには障害は発生しなかった。処理水中の P が 0.1 ppm と低濃度の場合でもオオサンショウモの生育は可能であったが、P を 1 ppm 添加することにより、N の吸収が増し、添加した P もほぼ吸収しつくした。

3) 手賀沼の水を用いた実験ではオオサンショウモの生育は 10 日で約 4 倍になり、N, P の濃度低下も顕著であった。

以上の結果から、富栄養化された水からの栄養塩の除去にオオサンショウモの利用はきわめて有効であること

がわかった。

引用文献

- 1) 青山 勲(1982)：水生植物を利用した水質改善，用水と廃水，24，87-93
- 2) BOYT, F. L., S. E. BAYLEY, J. ZOLTEK, Jr. (1977)：Removal of nutrients from treated municipal waste water by wetland vegetation., J. Water Pollut. Control Fed., 49, 789-799
- 3) 千葉県水質保全研究所(1982)：手賀沼におけるホテイアオイ植栽実験，水保研資料，No. 32
- 4) CULLEY, D. D. Jr., and E. A. EPPS (1973)：Use of duckweed for waste treatment and animal feed, J. Water Pollut. Control Fed., 45, 337-347
- 5) HARVY, R. M., and J. L. FOX (1973)：Nutrient removal using *Lemna minor*, J. Water Pollut. Control Fed., 45, 1928-1938
- 6) 橋本 奨・古川憲治・松村尚人 (1986)：水耕栽培型水処理装置による汚水処理と食糧生産に関する研究，水処理技術，27，243-252
- 7) 生嶋 功(1962)：ウキクサ生長の研究(1)，生理生態，10，130-164
- 8) 松本 聰(1981)：ウキクサによる栄養塩吸収とその利用，化学と生物，19，594-600
- 9) 日本水質汚濁研究協会編 (1982)：湖沼環境調査指針，p. 134，公害対策技術同友会
- 10) 同上，p. 131
- 11) 同上，p. 132
- 12) 同上，p. 133
- 13) 同上，p. 130
- 14) 同上，p. 129
- 15) REDDY, K. R., K. L. CAMPBELL, D. A. GRAETZ, and K. M. PORTIER (1982)：Use of biological filters for treating agricultural drainage effluents, J. Environ. Qual., 11, 591-595
- 16) 作物分析法委員会編 (1975)：栽培植物分析測定法，p. 63，養賢堂
- 17) 同上，p. 69
- 18) 汐見信行・鬼頭俊而 (1986)：アカウキクサの多目的利用，水処理技術，27，123-130