

B-18 直接浄化によく用いられる各水生植物の栄養塩除去性能

群馬高専・専攻科環境工学専攻 ○田中祐介、安田大介、青井 透
長岡技術科学大学大学院修士課程 環境システム工学専攻 住谷敏太

1.はじめに

カビ臭の主たる発生原因は、富栄養化を引き起こす濃度の窒素・リンで大量発生する藍藻とされているが、窒素・リンの除去に、植物浄化が有効なことは広く認識されている。しかし利用対象植物に“ホテイアオイ”が、現在でも必ずと云って良いほど取り上げられることは、利用対象植物に対する知見が不足していることの証左と思われる。本研究室では、10余年にわたりホテイアオイ以外の植物を利用した栄養塩除去について、校内浄化槽処理水やため池水、または高崎市城南下水処理場に設置させていただいている生物処理膜分離パイロットプラント処理水を用いて、種々の実験を実施してきた¹⁻³⁾。最新事例として高崎市城南下水処理場の既設曝気槽混合液の熱交換を行った、冬期露地での植物浄化能力を報告する。



写真1 熱交換型植物栽培池概観

2.実験装置および測定項目

2.1 膜分離活性汚泥実験プラントと実験方法 本実験装置の膜分離活性汚泥法は、循環式硝化脱窒法と膜分離を組み合わせた処理法で、滞留時間9時間で日量42m³の下水を処理している。植物浄化に用いた植物は、在来種のセリを主とし部分的に温帯性植物のミントやクレソンも用いた。水耕栽培の槽容量は合計570l、表面積は4m²であり、植物重量を計測し、栽培密度を計算した。

2.2 熱交換栽培池 下水処理場の既設曝気槽混合液は、冬季においても水温が常時10℃以上を維持しているので、この曝気槽混合液の温度を利用し、熱交換を実現するために、縦7m巾1mの仮設保温水槽を製作し、既設植物栽培池を移設して曝気槽混合液で保温出来る仕組みとした。熱交換型植物水耕栽培池の概観を写真1に示した。保温水槽は、厚さ4cmの角材で囲いを作り、囲いの内側にブルーシートを張り製作した。熱交換栽培池のフローシートを図1に、また熱交換植物栽培池の断面図を図2に示した。既設曝気槽から、曝気槽混合液を無閉塞型水中ポンプ(40l/min, 150w, 100v)によって保温水槽内へ揚水し、保温水槽内に掛け流した混合液は再び曝気槽へ返送される。熱交換栽培池の概要を表1に示した。

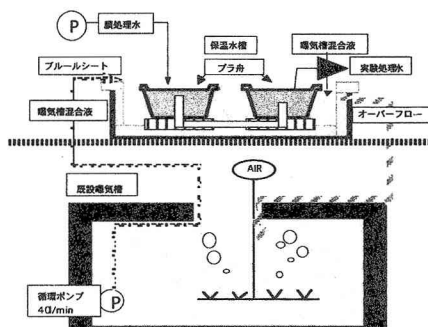


図1 熱交換型植物栽培池の全体フローシート

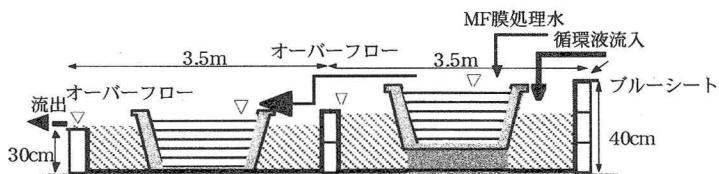


図2 熱交換型植物栽培池の断面図

表1 熱交換型植物水耕栽培池概要

植物栽培地	Box1~Box6		Box7~Box12	
	Box1	Box6	Box7	Box12
縦 (m)	3.5	3.5	3.5	3.5
巾 (m)	1	1	1	1
高さ (m)	0.4	0.3	0.3	0.3
容量 (m ³)	1.4	1.05	1.05	1.05
滞留時間 (min)	61			

表2 冬期間における曝気槽混合液と植物処理水の水温

	最低 (℃)	最高 (℃)	平均 (℃)
曝気槽混合液	7	17	12.6
植物処理水 (流入)	3	15	10.2
植物処理水 (流出)	4	16	11.1
外気温 (1月)	-1	8.6	3.1
外気温 (2月)	-1	8.9	3.4

曝気槽混合液、植物処理水と、今年特に寒かった1月と2月の外気温(前橋地方気象台データ)の温度比較を表2、また外気温と植物処理水、曝気槽混合液の平均水温経日変化を図3に示した。外気温は最低で-1℃まで下がる事もあったが、曝気槽混合液は、外気温の影響を殆ど受ける事なく冬期を通して平均12.6℃と高い温度を示してお

り、揚水して熱交換後、再び曝気槽に返送される間、平均10℃前後を常に維持していた。植物栽培池のプランターはプラスチックであり、熱交換には適さない素材であったが、曝気槽混合液との熱交換は概ね良好であり、実用化した場合の実際の処理水での生育温度条件を実現できたと考えられる。

3. 結果及び考察

3.1 膜分離活性汚泥法の処理水質 水耕栽培の原水となる膜処理水の各月平均水質を表3に示した。冬季間の無機態窒素(NH₄-N+NO_x-N)は

5~8mg/lで推移しており、春~秋の平均と比べるとやや高い値であった。

3.2 セリを用いた水耕栽培処理水質 昨年3月から今年8月までの植物栽培池の各月平均処理水質を表4に、流入原水及び放流先河川水を含めた無機態窒素濃度経日変化を図4に示した。セリは高専内で栽培したものを移植して用いた。滞留時間は昨年と同じ条件で2日とし、3月の中旬から4月の初旬まで4日に延ばし、4月中旬からは連続運転に切り換えた。セリの植物量・密度の変化を図5に示す。混合液の熱交換により、処理水中の水温を10℃程度に維持することが可能となったため、セリも昨年のように枯れてしまうことは無く¹⁾、総湿重量は平均60kg、十分に植物が成長した状態の水耕密度は1.3~1.5kgD/m²に達したため、セリの育成条件には適した環境を作り出せた。冬季間の生育はごく穏やかであったが、4月から外気温の上昇とともに、著しい成長を始め、水耕密度が3月から4月下旬までに1.8kg/m²まで上昇した。厳冬の浄化能力は殆ど発揮されなかったが、植物量を維持できたために4月に暖気が戻った時点からは、急激で良好な栄養塩除去を開始した。その結果、通年にわたる栄養塩の除去を目指した植物浄化は、厳冬期を除いた実質10ヶ月間において良好な除去効果を発揮出来た。

3.3 放流先烏川水質との栄養塩濃度比較 放流先である烏川の合流前水質を表5に示した。烏川と植物処理水の水質は図4より比較できる。特に上昇を抑えたい窒素については、烏川の無機態窒素濃度が冬季間4~5mg/lで推移しているのに対して、植物処理水は、厳冬期に烏川水質を若干上回った他は、ほぼ烏川水質と同等であり、3月後半からは大幅に放流先河川水質より低下した。一方リンについては昨年とは異なり、膜パイロットプラントの同時凝集運転を休止しているため、河川水質より水

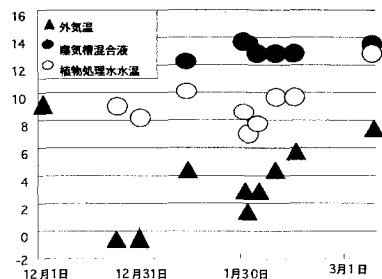


図3 各採水点と気温の日平均温度経日変化

表3 城南パイロットMF膜処理水質(2004年3月~2005年8月・月平均値)

	Tw	EC	pH	Cl	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO _x -N	InorgN	PO ₄ -P	T-N	T-P	DO
	℃	mS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2004年3月	10.7	33.4	7.1	50	1.8	1.1	5.5	7.3	0.6	8.2	0.8	7.3
4月	17.1	38.0	7.3	53	2.7	0.1	3.5	5.2	0.8	8.1	1.0	5.1
5月	30.5	34.0	7.4	45	3.5	0.1	3.2	6.7	0.1	8.6	0.2	2.2
6月	21.6	35.4	7.5	44	0.1	0.1	4.8	4.3	1.1	6.5	1.6	3.9
7月	29.6	32.9	7.9	30	0.1	0.0	3.9	4.1	1.0	6.2	1.5	4.0
8月	28.6	29.4	7.8	22	0.2	0.2	2.6	2.8	0.4	4.0	0.6	4.3
9月	25.0	30.4	8.2	31	0.2	0.4	4.8	5.0	0.2	5.3	0.3	6.0
10月	19.0	30.3	8.2	32	0.5	0.1	4.9	5.7	1.1	6.5	1.9	5.2
11月	19.0	34.9	7.9	33	0.5	0.1	2.9	3.4	0.4	4.0	0.6	4.3
12月	7.9	40.9	7.6	47	2.0	0.1	3.6	5.0	0.2	5.7	0.4	5.8
2005年1月	11.4	38	7.6	44	2.0	0.2	4.7	6.0	0.5	5.2	0.9	-
2月	12.6	41.3	7.7	39	0.9	0.2	6.9	7.8	0.8	9.8	1.0	-
3月	14.5	40.3	7.7	46	0.5	0.0	5.3	5.8	0.2	7.6	1.1	-
4月	22	39.1	7.4	52	0.2	0.0	4.1	4.3	2.0	5.8	2.3	-
5月	23.5	35.1	7.2	44.3	0.4	0.0	3.7	4.1	0.3	3.5	0.8	-
6月	26.7	31.4	7.2	34.5	0.1	0.0	4.1	4.2	0.6	6.23	1.04	-
7月	27.9	32	8.5	26	0.08	0.0	2.34	2.42	0.84	3.5	1.12	-
8月	27.9	32	8.5	26	0.08	0.0	2.34	2.42	0.84	3.5	1.12	-
平均値	19.9	35.9	7.7	39.6	0.9	0.2	4.1	5.0	0.7	6.2	1.0	4.9

注記：NO_x-N=NO₂-N+NO₃-N InorgN(無機態窒素)=NH₄-N+NO_x-N

表4 城南パイロット植物処理水質(2004年3月~2005年8月・月平均値)

	Tw	EC	pH	Cl	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO _x -N	InorgN	PO ₄ -P	T-N	T-P	DO
	℃	mS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2004年3月	7.1	39.5	7.9	55	1.3	0.1	2.2	3.5	0.4	5.8	0.8	9.5
4月	14.5	37.0	7.2	52	2.3	0.1	0.3	2.8	0.9	7.5	1.6	2.9
5月	23.4	28.0	7.5	39	0.7	0.1	0.3	1.0	0.2	4.2	0.4	2.6
6月	22.9	32.3	7.3	45	1.5	0.1	1.3	2.8	0.3	6.5	0.7	3.1
7月	20.5	33.6	8.0	33	0.2	0.0	0.3	0.5	1.0	3.4	1.4	4.7
8月	29.3	30.4	7.5	23	0.4	0.0	0.3	0.8	0.7	2.5	1.1	4.6
9月	24.2	28.7	7.5	27	0.5	0.1	0.9	1.3	0.4	2.4	0.8	6.0
10月	17.2	40.1	8.1	40	0.2	0.0	1.5	1.7	0.4	2.8	0.6	5.4
11月	15.9	37.4	8.0	43	0.2	0.0	1.3	1.5	0.2	2.4	0.5	5.8
12月	9.6	41.1	7.6	52	0.3	0.1	2.0	2.3	0.2	5.5	0.3	4.0
2005年1月	11.3	42.6	6.9	61	3.6	0.1	2.2	5.8	1.1	7.7	1.5	-
2月	11.9	41.4	7.7	40	1.0	0.1	4.8	5.8	0.5	8.9	0.6	-
3月	14.7	35.0	6.9	43	0.4	0.0	0.2	0.7	0.3	3.2	0.4	-
4月	21.1	42.4	7.9	71	0.9	0.0	0.5	1.3	0.1	3.1	0.6	-
5月	23.7	38.1	7.2	53	0.31	0.0	0.7	1.1	0.4	3.7	0.7	-
6月	26.5	27.2	8.1	28	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	2.7	0.4	-
7月	26.1	30.7	8.4	31	0	0.01	0.1	0.1	0.0	1.7	0.2	-
8月	26.1	30.7	8.4	31	0	0.01	0.1	0.1	0.0	1.7	0.2	-
平均値	19.5	35.7	7.6	44	0.8	0.1	1.1	1.9	0.4	4.4	0.7	4.9

表5 烏川城南大橋水質(2004年3月~2005年8月・月平均値)

	Tw	EC	pH	Cl	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO _x -N	InorgN	PO ₄ -P	T-N	T-P	DO
	℃	mS/cm		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2004年3月	8.9	34.8	7.7	45	0.6	0.1	2.9	3.4	0.1	4.7	0.3	12.6
4月	15.6	30.3	7.7	35	1.4	0.2	3.0	4.4	0.2	5.9	0.4	7.4
5月	19.6	23.1	7.6	22	0.6	0.1	2.8	3.3	0.2	5.0	0.3	7.2
6月	22.3	33.4	7.5	30	1.5	0.1	3.1	4.6	0.2	7.8	0.7	4.2
7月	29.2	36.4	8.0	28	0.3	0.1	2.4	2.7	0.1	4.5	0.4	8.1
8月	27.4	29.0	8.0	19	0.2	0.4	2.0	2.1	0.1	3.5	0.4	7.5
9月	23.0	25.9	7.9	22	0.1	0.1	2.2	2.3	0.1	3.0	0.2	7.4
10月	16.2	22.8	8.1	15	0.2	0.0	4.0	4.2	0.1	5.0	0.1	8.6
11月	15.9	25.0	7.9	19	0.3	0.1	4.0	4.3	0.1	4.7	0.2	7.4
12月	9.0	37.3	7.7	30	0.4	0.1	3.7	4.1	0.2	6.1	0.3	-
2005年1月	8.2	39.0	7.6	48	1.3	0.2	3.4	4.7	0.2	6.0	0.3	-
2月	8.1	38.8	8.0	33	1.4	0.9	4.4	5.8	0.1	8.3	0.3	-
3月	12.6	37.6	7.3	40	1.3	0.1	2.9	4.2	0.1	6.0	0.6	-
4月	23.6	34.2	7.8	39	0.5	0.1	3.3	3.8	0.1	5.7	0.3	-
5月	24.6	37.5	7.6	41	0.3	0.1	2.9	3.2	0.1	4.7	0.3	-
6月	25.6	29.7	7.9	24.5	0.2	0.1	2.1	2.3	0.1	4.6	0.3	-
7月	27	26.5	7.9	18	0.34	0.044	2.33	2.67	0.042	3.94	0.64	-
8月	27	26.5	7.9	18	0.34	0.044	2.33	2.67	0.042	3.94	0.64	-
平均値	18.5	31.8	7.9	29.9	0.6	0.1	3.0	3.7	0.1	5.3	0.3	7.8

耕栽培処理水の濃度が高くなる傾向がみられたが、同時凝集を行えば、河川水質と同等まで低減することは可能と思われる¹⁾。

4. ミントの栄養塩除去性能

植物浄化の利用対象植物については一般的に知見が不足しており、本研究で利用したセリやミントといった在来種による栄養塩除去特性も殆ど報告の例が無い。そのため、ミントを対象に栄養塩除去能力の検討を行った。

4.1 試験条件 湿重量平均4kg、水耕面積0.4m²のミントの浄化能力を回分試験で検討し、硝化細菌による硝化作用を防ぐためにチオ尿素を0.2mg/l²⁾添加した条件と、していない条件でそれぞれ3系列実験し、比較検討した。

4.2 試験結果 チオ尿素を添加したミントと、投入していないミントの、栄養塩濃度時間変化を平均したグラフを図6,7に示した。どちらもNO_x-N(NO₂-N+NO₃-N)除去速度とNH₄-N除去速度に大きな変化は無く、硝化作用を殆ど受ける事無くNO_x-NとNH₄-Nを同時に吸収しているといえる。このことから、ミントでも栄養塩除去能力は十分良好なものであり、同様に他の植物においても除去性能の検討を行う価値はあると思われる。

5. まとめ

本研究室では、長年にわたり植物浄化の研究を進め、温帯性植物で在来種のセリやミントなどの植物でも、うまく工夫すると良好な除去性能を発揮することが確認でき、それぞれに回収後も有効な利用の可能性があることを様々な実験を通して検討してきた。関東地方では、熱帯性植物は冬に枯れてしまい、通年で水質浄化は難しいが、温帯性植物では暑さに強いミント、寒さに強いセリを併用すれば、通年で水質浄化が可能であるし、今回の熱交換栽培池試験により、熱回収が可能となったことで、除去能力が低下するものの、春まで植物量を維持出来るようになったので、植物による生活排水の栄養塩除去は、利用方法を工夫することにより、有効な技術になりうる可能性が高いと思われる。

謝辞

本研究での熱回収植物浄化実験等について、高崎市城南下水処理場に多大な御協力頂いた。また、膜分離活性汚泥プラント運転に関しては、前澤工業（株）手金殿に御指導頂いた。前橋市の外気温データについては、前橋市地方気象台から資料の提供を受けた。協力頂いた全ての方々へ厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 住谷敏太、田中祐介、安田大介、青井 透(2004)膜分離活性汚泥法及び植物栽培池システム処理水と放流先河川のN,P濃度通年比較、第41回下水道研究発表会講演集、pp585-587
- 2) 江成敏次郎、山廻典次夫、小浜暁子、中山正与(2003)水生植物(マコモ)の植物体中窒素・リン含有量の生育に伴う変動と窒素・リン収支に関する考察、第40回 環境工学研究論文集pp269-278
- 3) 田中祐介、安田大介、青井 透(2005)河川上流域都市下水の膜分離活性汚泥と植物栽培池の組み合わせによる親水用水の製造、第42回下水道研究発表会講演集、pp771-773

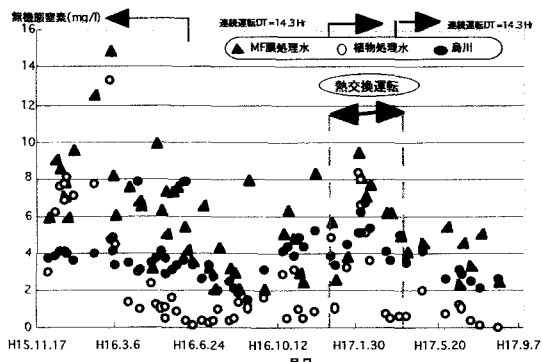


図4 2003~2005年MF膜処理水、植物処理水、烏川の無機態窒素年間変化

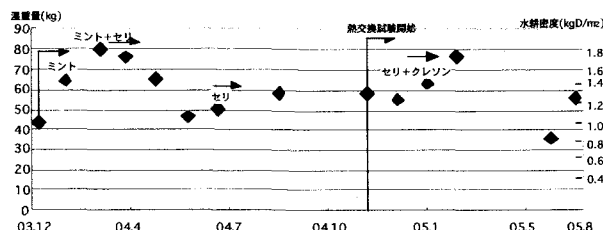


図5 2003~2005年度、セリ・ミント等植物重量・密度の年間変化

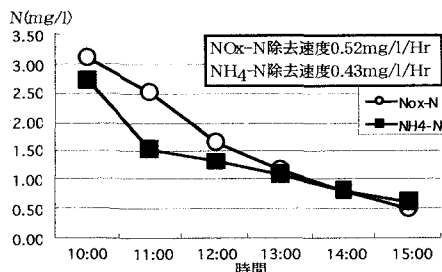


図6 栄養塩濃度時間変化(チオ尿素無し)

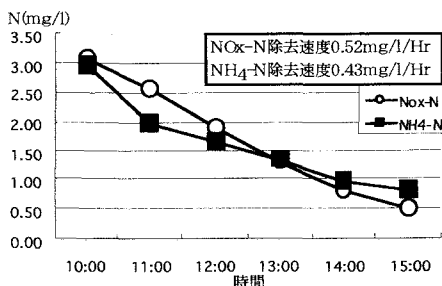


図7 栄養塩濃度時間変化(チオ尿素有り)