芝地の窒素除去特性

広島大学工学部　正員　○今岡　務
広島市役所　三宅修司
広島大学工学部　正員　寺西靖治

1．はじめに　土壌還元により下水の高度処理を行う際の大きな問題として、硝酸性窒素の流出があげられる。本研究では、下水散布地として芝地を想定した上で、芝草による吸収を主とした芝地の窒素除去特性について検討を加えることを目的とした。

2．実験材料および方法　実験は、透明の波板の屋根の下に、高密度ポリエチレン製の土壌ポット(285φ×386 mm) および散布水供給タンクなどの実験装置を設置して実施した。土壌ポットは、底部に砕石を敷き、集水管と流出口を設けた後、深さが25cmとなるようにマサ土を詰めたものである。芝草としては、暖地型のバミューダグラスを採用し、1986年7月21日に播種した。播種量は、28.9 g dry wt/m^{2}とした。散布水としては、福祉センター汚水処理場の2次処理水を主として用い、1日5時間(10～15時)の散布により所定の水量負荷となるように6本前後の注射針から滴下した。散布水量は、ガラス微量定量ポンプにより調節した。

表－1　実験条件

実験期間		土壌ポット				
		A	B	C	D	E
1986 7/25～9/18	散布水	2次処理水				
	散布水量	20	20	20	20	20
1986 9/25～12/11	散布水	2次処理水			水道水	混合水
	散布水量	20	50	100	50	50
1987 7/23～8/09	散布水	2次処理水				
	散布水量	50	50	50	50	50
1987 8/10～11/30	散布水	2次処理水＋N・P				
	散布水量	100	50	50	20	20

(注) 混合水＝処理水＋水道水 (1＋1)，散布水量：mm/day

実験期間と各土壌ポットに与えた実験条件を、表－1に示す。実験期間中、散布水(週1回)と流出水(週2回)の水量・水質および気温・土温・日射量などの測定を行った。また、1986年では月1回、1987年では8月下旬にそれぞれ茎葉部の刈り取りを行い、収穫量およびN・P含有量の測定を行った。各年の実験終了時には、土壌の一部を採取し、芝草の根部重量およびN・P含有量を測定した。散布水の平均N・P濃度を表－2に示すが、T－Nに対するNO_3－Nの占める割合が高く、BOD濃度が 2 mg/l前後と低いことが本研究で用いた2次処理水の特徴であった。なお、1987年後半の実験では $NaNO_3$およびK_2HPO_4の添加により、N・P濃度を20mgN/l・4 mgP/lに調整した散布水を用いた。

表－2　散布水窒素・リン濃度

	1986 7/25～9/18	1986 9/25～12/11			1987	
		A～C	D	E	7/23～8/09	8/10～11/30
NO_3－N	3.51±2.88	4.49±0.59	0.38±0.09	2.47±0.42	2.35±0.19	20.98±1.57
T－N	5.21±3.30	5.17±0.62	0.45±0.15	2.85±0.36	3.05±0.25	21.05±1.59
PO_4－P	0.30±0.10	0.36±0.13	<0.01	0.17±0.07	0.37±0.02	3.83±0.50
T－P	0.35±0.08	0.41±0.19	<0.01	0.18±0.06	0.38±0.01	4.08±0.24

(単位) NO_3－N・T－N：mgN/l，PO_4－P・T－P：mgP/l

3．実験結果および考察　各年において、それぞれの土壌ポットで塩素イオンの収支が取れていることを確認した上で、N・Pの総散布量および総流出量から除去率を求め、表－3にまとめた。Pについては、土壌への吸着により1986年のポットDおよび1987年のポットAを除いていずれも95%以上の高い除去率が得られた。散布水量を100 mm/dayとした1987年のポットAの場合は、明らかにPの流出が認められ、このよ

表－3　芝地による窒素・リン除去率

		土壌ポット				
		A	B	C	D	E
窒素除去率 (%)	1986	58.0	27.7	19.5	77.9	68.6
	1987	8.2	13.0	5.5	8.8	24.7
リン除去率 (%)	1986	98.2	98.8	98.5	79.0	98.8
	1987	73.9	99.1	96.8	99.9	99.6

(注) 除去率＝100×[(総散布量－総流出量)/総散布量]

うな高い水量負荷を与えた際には、水みちの形成などに伴うPの除去能の低下が生じる可能性のあることを示唆した。水道水を散布したポットDでやや低いP除去率が得られたのは、散布負荷が極めて小さかったためである。

一方、N除去率には散布負荷量の増大に伴う明らかな低下が見られたが、収支から本実験でのNの除去が、吸着あるいは脱窒ではなく、芝草の吸収によるものであることも確認された。したがって、これらの除去率は、芝草を植栽することによる除去効果の上乗せ分を示唆する結果と言える。表－4は、芝草のN吸収量をまとめたものである。1986年の結果を見ると、散布水量を20 mm/dayとしたポットAでの8.21 gN/m^2に対して、100 mm/dayとしたポットCでは4.26 gN/m^2であり、水量負荷の増大が芝草のN吸収量にも良い影響を与えていないことが理解される。また、ほとんどの場合で冬季に向かうにつれ、茎葉部のN吸収量が低下している。これらから、本研究では、芝草のN吸収に影響を及ぼす要因として温度、N濃度および散布水量に着目した。さらに、単位面積当たりのN除去速度 M_N(mgN/m^2/day)には、当然バイオマス量 W_t(g/m^2)も関係していると考えられることから、次式により芝草の単位重量当たりの吸収速度 v_N(mgN/g/day)を算出し、検討を行った。

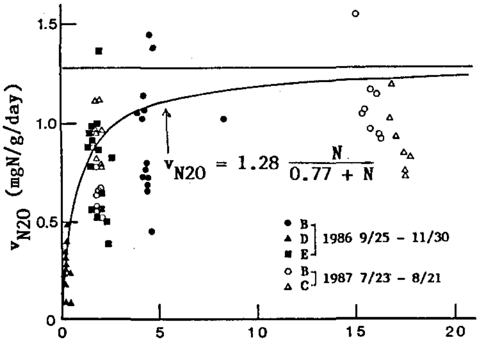
表－4 芝草による窒素吸収量

収穫日		土壌ポット A	B	C	D	E
茎葉部	86/09/18	0.87	0.58	1.25	0.45	0.53
	10/16	1.46	1.03	0.81	0.91	1.43
	11/13	0.51	0.50	0.23	0.11	1.07
	12/11	0.58	0.28	0.09	0.28	1.04
根部	86/12/11	4.79	2.70	1.88	2.48	5.22
	計	8.21	5.09	4.26	4.23	9.29
茎葉部	87/07/23	0.04	0.07	0.07	0.04	0.06
	08/21	2.09	3.57	1.92	2.76	2.05
	11/30	1.06	2.04	0.14	0.98	6.10
根部	87/11/30	0.44	0.22	0.43	0.69	3.07
	計	3.63	5.90	2.56	4.47	11.28

単位：gN/m^2

$$v_N = M_N / W_t \qquad (1)$$

ここで、M_Nは採水日間の散布量と流出量の差より求め、W_tについては収穫日間の変化を測定することがとくに根部重量に関して困難であるため、直線的に変化すると仮定して推定した。

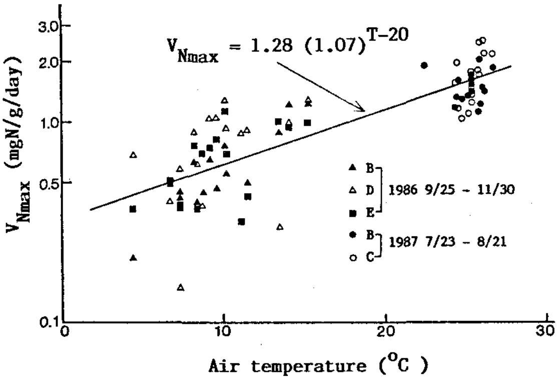


図－1 窒素比吸収速度(v_{N20})とポット内窒素濃度(N)との関係 ［散布水量 50 mm/day］

図－1は、後述する気温の影響を補正した20℃におけるv_N(v_{N20})とポット内N濃度(散布濃度と流出濃度の平均)の関係を、散布水量を 50 mm/dayとした場合について示したものである。図中に実線で示したように、N濃度の影響を Michaelis－Menten型で近似した結果、20℃における最大比吸収速度V_{Nm20}として 1.28 mgN/g/day、飽和定数K_Nとして 0.77mgN/lを得た。次に、このK_Nとv_NおよびN濃度から最大比吸収速度V_{Nmax}を算出し、日平均気温との関係を検討したが、図－2に示すように温度活性係数θ＝1.07により、概ね気温の影響を表示できることが明らかとなった。したがって、芝草によるN除去速度は次式によって表示できる。

$$M_N = 1.28 \cdot 1.07^{T-20} \cdot [N/(0.77+N)] \cdot W_t \qquad (2)$$

また、20 mm/dayの場合には、θおよびK_Nの値として上記の値に近いものが得られたが、V_{Nm20}については0.58 mgN/g/dayと推定され、散布水量の影響を示唆した。しかしながら、100 mm/dayの場合は明確な値が得られず、散布水量の影響の定式化は、生長速度のモデル化とともに今後の検討課題として残された。



図－2 最大窒素比吸収速度(V_{Nmax})と日平均気温(T)の関係 ［散布水量 50 mm/day］