水質汚濁が水稲の生育収量に及ぼす影響に関する研究

第1報　パルプ工場排水の影響

南　松雄†　谷口健雄††

STUDIES ON THE INFLUENCE OF WATER POLLUTION TO THE GROWTH AND YIELD OF THE RICE PLANTS

1. The Influence of Waste Water from the Pulp Mill Factory

Matsuo MINAMI & Takeo TANIGUCHI

水稲に対するパルプ工場排水に起因する水質汚濁の影響について，ポット試験で，灌漑水のＢＯＤおよび有機質浮遊物（みずわた）含量と水稲の生育，収量ならびに土壌の理化学性の関係の面から解析を試みた。高ＢＯＤの灌漑水は，土壌塩基の溶脱量を増加し，土壌の酸性化，老朽化を促進した。その灌漑により，水稲の生育は秋落ち的傾向を示し，連用によって生育不良となり，著しく減収した。パルプ工場排水流入地点に発生する「みずわた」は有機物，窒素に富み，その分解にともなう窒素の付加的影響は著しかった。一方分解にともなって土壌 Eh の低下度合は激しく，水稲の初期生育を抑制し，生育遅延，登熟不良を招来した。その傾向は低温年に一層著しかった。

I　緒　　言

工場排水，都市下水等の流入による河川の水質汚濁は，近年その汚濁源の内容の複雑化とともに激しくなっている。したがって，多量の用水を必要とする水稲栽培においては，その灌漑水質の悪化は重要な問題となっており，農業用水の水質保全上，環境基準の規制強化が望まれている。

北海道の中央部主要稲作地帯を流れる石狩川，およびその支流をなす河川はいずれも工場排水，都市下水の流入および炭鉱排水のため汚染されており，このうち上流地帯（空知中部，北部地方）の水稲は，主にパルプ工場排水の影響が，また中流地帯（空知南部地方）の水稲は炭鉱排水による水質汚濁の影響が大きいといわれ，早くより，その被害の実態調査研究がなされてきた。とくに，パルプ工場排水による水質汚濁の影響については，昭和17年北海道農事試験場が現地試験を行なって以来，北海道立農業試験場，北海道農業試験場により調査研究が行なわれてきた[5) 13) 15)]。その結果，パルプ工場排水を栄養源として発生した水棲菌による有機質浮遊物が水稲の生育に与える影響は大であり，被害は水口付近に激しく，その被害様相として生育遅延，ならびに登熟歩合の低下による収量減であることが報告されている。さらに，北海道立衛生研究所[6)]では「みずわた」の発生要因ならびに過程を明らかにした。

しかしながら，汚濁要因の内容と水稲生育との関係については，まだ十分な体系的研究がなされておらず，かつ農業用水の環境基準設定の関係から，筆者らは，昭和42年から44年の３か年にわたって再びこの問題をとりあげ，パルプ工場排水に

† 元中央農業試験場（現上川農業試験場）
†† 中央農業試験場

よる水質汚濁の内容を構成する因子として，有機質浮遊物（みずわた）およびＢＯＤ（生物化学的酸素消費量）をとりあげ，その濃度と水稲の生育，収量との関係をポット試験によって調査検討を加えた。

なお本試験は，農林省農地局による水質汚濁対策基礎調査の一環として行なった。

供試材料の採取ならびにＣＯＤ，ＢＯＤの分析に協力いただいた，北海道立衛生研究所，井上，千葉両技師に謝意を表する。また，国策パルプ旭川工場にはSpパルプ蒸解廃液，および浮遊物の採取に協力いただいた。ここに記して感謝する。

II 試験方法

1. 研究項目および処理

本研究は次の項目について実施した。

1) 灌漑水の水質と作物の生育収量の関係

2) 灌漑水の水質による土壌理化学性の変化

灌漑水の水質要因として，Ⓐ ＢＯＤ（生物化学的酸素消費量）Ⓑ有機質浮遊物（「みずわた」；以下「みずわた」と称す）の２つをとりあげ，処理として，Ａ系列では非汚染の井戸水にSpパルプ蒸解廃液を添加してＢＯＤ値として①０ppm（無添加）②５ppm ③20ppm ④50ppm ⑤100ppm ⑥200ppmの６処理区を設け，Ｂ系列では，井戸水に「みずわた」を１ℓあたり，①０ｇ② ２ｇ③ ５ｇ④ ８ｇ⑤12ｇ添加した５処理区を設けた。

2. 供試土壌

本試験の水稲栽培は中央農業試験場ガラス室において行なった。これに供試した土壌は，パルプ工場排水によって汚染されていない沖積水田作土（深川市納内）を用い，その理化学性は第１表に示した。

3. 耕種梗概

供試土壌は，a/2,000 ワグネルポットに底部より玉石，砂利を３cm，砂を１cmの厚さにしきつめた上に風乾土として10kgを充填した。施肥は N，P_2O_5，K_2O をポットあたり１ｇそれぞれ硫安，過石，硫加で施し，作土５kgに混合した。

水稲「ほうりゅう」を供試し，１株１本植えでポットあたり５株とした。

ポットに対する灌漑水量は現地水田の用水量（a当り144 ton）にほぼ相当する液量（ポット当り50～75ℓ）を給水し，かつ１日当り減水深が20mm程度になるように排水を調節した。

4. 供試材料

Ａ系列に使用した井戸水およびSpパルプ蒸解廃液の水質を第２表に示した。

Spパルプ廃液は，木材片を重亜硫酸塩と亜硫

第１表 供試土壌の理化学性

粒径組成（%）				土性	pH		腐植	全窒素	C/N
粗砂	細砂	シルト	粘土		H_2O	KCl			
40.9	29.7	12.6	16.8	SL	5.01	3.80	3.66%	0.3.%	7.1

吸収係数		置換容量	全置換性塩基	塩基飽和度	NH_4-N (mg)		乾土効果	アンモニア化成率	Bray P_1 液可溶 P_2O_5
N	P_2O_5				湿潤土	風乾土			
373	1,180	14.1me	7.45me	52.6%	2.32	10.22	7.90	3.4%	7.2mg

第２表 供試Spパルプ蒸解廃液および井戸水の水質

種類	pH	BOD ppm	COD ppm	T-N ppm	K ppm	Fe ppm	Ca ppm	Mg ppm
井戸水	7.02	1.0	1.7	2.0	1.0	0.48	15.0	40.0
Spパルプ蒸解廃液	1.70	32,800	115,000	134.6	246	15.5	1,360	297

酸の混液で高圧蒸煮しパルプ化する工程から排出される廃液で，その化学的組成としてリグニン，糖類，亜硫酸塩，有機酸を含んでいる[16]。

B系列に使用した「みずわた」は，パルプ工場排水流入地点の河床より採取し，遠心分離（2,000回転，15分間）脱水して実験材料とした。比較として，パルプ工場より，18km 下流の神竜頭首工付近の通水路に発生している「みずわた」を用いた。これらの「みずわた」の成分を第3表に示した。

第 3 表　「みずわた」の分析値

採取場所	年次	採取月日	水分 (%)	乾物百分中 (%) 全窒素	無機物	有機物
パルプ工場排水流入地点	42年	5月20日	77.8	2.84	51.3	48.7
		7月1日	66.8	1.92	59.1	40.9
		8月1日	63.4	1.28	65.5	34.5
	43年	4月26日	73.8	2.22	50.7	49.3
		5月30日	69.9	1.70	56.7	43.3
		7月28日	74.6	1.27	68.3	31.7
	44年	4月30日	77.6	2.61	49.6	50.4
		7月12日	67.7	0.89	52.4	47.6
神竜頭首工	42年	5月20日	84.1	2.48	64.2	35.8
		7月1日	70.6	1.40	69.3	30.7
		8月1日	65.6	1.10	79.0	21.0

パルプ工場排水流入地点の「みずわた」の無機物，有機物含量はいずれも50%前後であり，夏季には無機物含量が増加した。また，全窒素含量は，春2.2～2.8%前後であるが，夏季には1%前後となった。下流の神竜頭首工通水路の「みずわた」は，パルプ工場付近のものに比して，無機物含量が多く，有機物含量，窒素含量は低い値を示した。

なお，第4表により「みずわた」のアンモニア化成率をみると，培養温度 30°C 以上で全窒素の20%以上が無機化した。

第 4 表　「みずわたの」無機化

採取場所＼培養温度	アンモニア化成率 (%) 15°C	20°C	25°C	30°C
パルプ工場排水口	12.2	14.6	18.7	22.2
現地神竜頭首工通水路	8.7	12.6	16.7	20.6

各培養温度で2週間培養

5. 分析方法

pH；ガラス電極

全窒素；セミミクロ・ケルダール法

COD，BOD；JIS K0102工場排水試験方法[10]に準拠した。

無機成分については，滲透水を 300ml ビーカーで濃縮，硝酸，過塩素酸で分解後定量した。

Ca，Mg；EDTA法

K；炎光法

Fe；0—フェナントロリンによる比色法[9]

土壌 pH，Eh は携帯用 pH，Eh メーターを使用し，表層3～5cm 付近で測定した。

跡地土壌の分析は常法によった。

III 試験成績

1. 供試灌漑水の水質

供試した灌漑水の水質を第5表a，bに示した。

A系列においては，BOD値の増加に伴い，pH は7.0から5.9と酸性に傾き，窒素濃度は2.0～6.9ppm と漸増した。その他の無機成分も同様に漸増した。またCOD値はBOD値の4倍弱であった。一方B系列においては，pH は添加「みずわた」量の増加に伴って若干低下する傾向を示したが，全般的に6.7前後であった。COD値はその添加量の増加につれて顕著に増加しており，「みずわた」1g/ℓの添加はCODとして33ppm前後の汚濁物質の添加に相当した。灌漑水の窒素濃度も供試「みずわた」の窒素含量に影響され，変異が大であるが，「みずわた」量の増加につれて著しく増大した。

灌漑水によってポットに付加された窒素量は，A系列では0.2～0.4g 前後であるが，B系列では最高4gに達した。

第5表 供試灌漑水の水質

a. A 系列

種類	pH	COD ppm	T-N ppm	K ppm	Fe ppm	Ca ppm	Mg ppm	付加された窒素量 mg/pot
BOD 0 ppm	7.02	1.7	2.0	1.0	0.48	15.0	40.0	159
〃 5 〃	6.90	20.3	2.7	1.0	0.48	15.2	40.0	163
〃 20 〃	6.79	79.7	3.6	1.1	0.49	15.8	40.2	217
〃 50 〃	6.61	195.9	4.6	1.3	0.51	17.1	40.4	273
〃 100 〃	6.39	386.6	6.0	1.6	0.52	19.1	40.8	355
〃 200 〃	5.89	773.1	6.9	2.2	0.57	23.2	41.6	382

b. B 系列

種類	pH	COD ppm	T-N ppm			付加された窒素量 mg/ pot		
			1年目	2年目	3年目	1年目	2年目	3年目
みずわた 0g/ℓ	7.02	1.7	2.6	2.8	1.1	175	239	64
〃 2 〃	6.80	73.6	14.9	11.2	7.2	1,038	723	457
〃 5 〃	6.77	160.2	21.3	21.0	14.7	1,640	1,384	1,035
〃 8 〃	6.70	260.8	34.8	32.3	23.3	3,090	2,284	1,602
〃 12 〃	6.68	396.8	49.1	49.1	36.7	4,222	3,684	2,542

2. 灌漑水の水質と水稲の生育，収量

本試験を実施した3か年のうち，昭和42年（1年目），昭和43年（2年目）はきわめて良好な天候で経過し，水稲の生育も順調であったが，昭和44年（3年目）は，低温のため水稲の生育は遅延気味であった。よって以下に述べる成績は，1年目および3年目の結果を重点に記載した。

1) 灌漑水の BOD と水稲の生育，収量の関係

(1) 生育；A系列における草丈および茎数の推移を第1図a，bに示した。aは1年目，bは3年目の結果である。

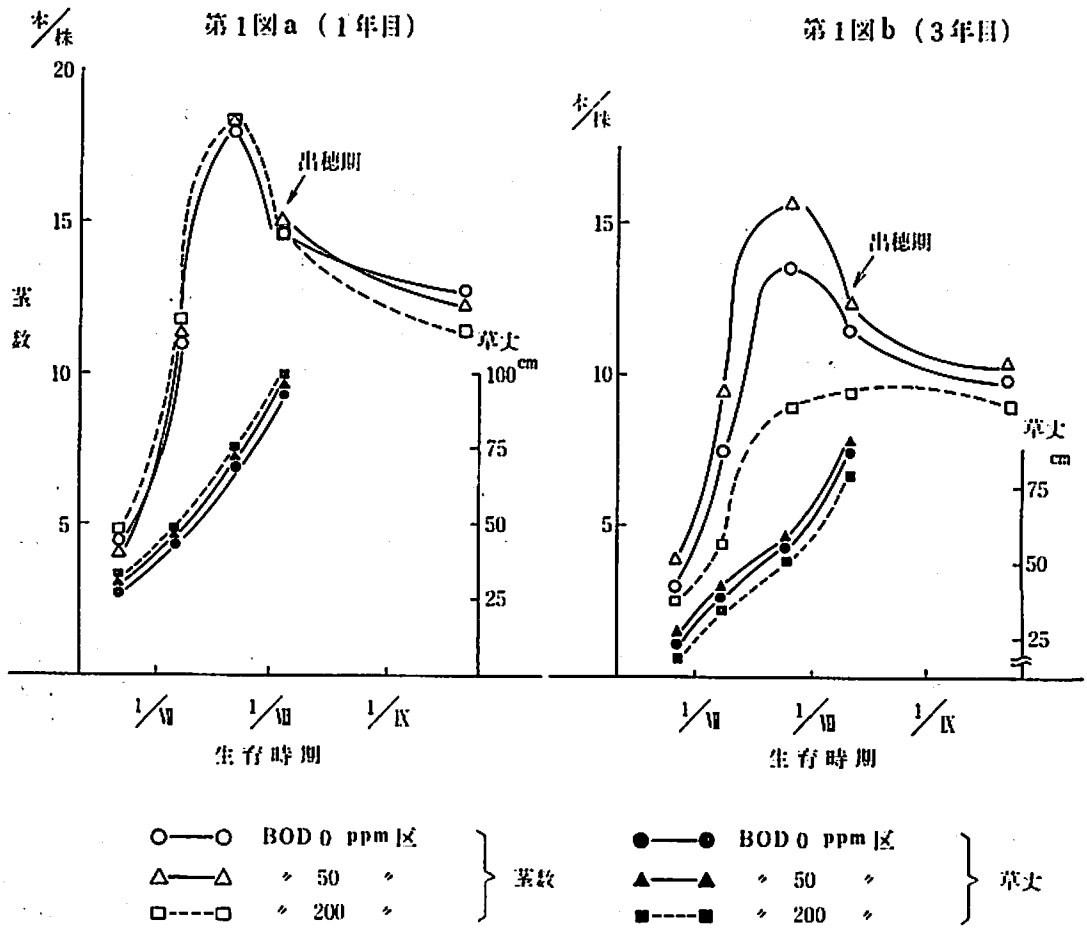
1年目においては，生育初期より7月中旬まで生育に差がなく，灌漑水のBOD増加に伴い，草丈がやや高くなる傾向がみられたにすぎないが，7月下旬以降はその影響が顕著に現われ，BOD 100ppm 区（COD400ppm）以上では下葉の枯れ上り，葉色の褪色が著しく，秋落ち的傾向を示し，最終穂数は灌漑水のBOD値が高いものほど少ない傾向を示した。3年目では，BOD 50ppm（COD200ppm）程度まではBOD値に比例して生育が良好で穂数は多かった。しかしBOD 100ppm区（COD400ppm）以上では初期より生育が劣り，初年目と同様に穂数は減少している。とくにBOD200ppm区（COD800ppm）では極端に生育が悪かった。

(2) 収量；収量についてみると，第6表に示すように各年次ともBOD50ppm区（COD200ppm）までは，もみ重，わら重とも増加したが，BOD100ppm区（COD400ppm）以上では次第に減少する傾向を示した。とくにBOD 200ppm区（COD800ppm）の減収率がもっとも大きく，連用によって，もみ，わら重の絶対値は低下するが，それらの傾向はほとんど同様であった。

2) 灌漑水中の「みずわた」含量と水稲の生育，収量の関係

(1) 生育　B系列における水稲の草丈，茎数の推移を第2図に示した。

1年目の生育様相をみると，添加「みずわた」量の増加に従い初期生育は抑制され，茎数少なく，

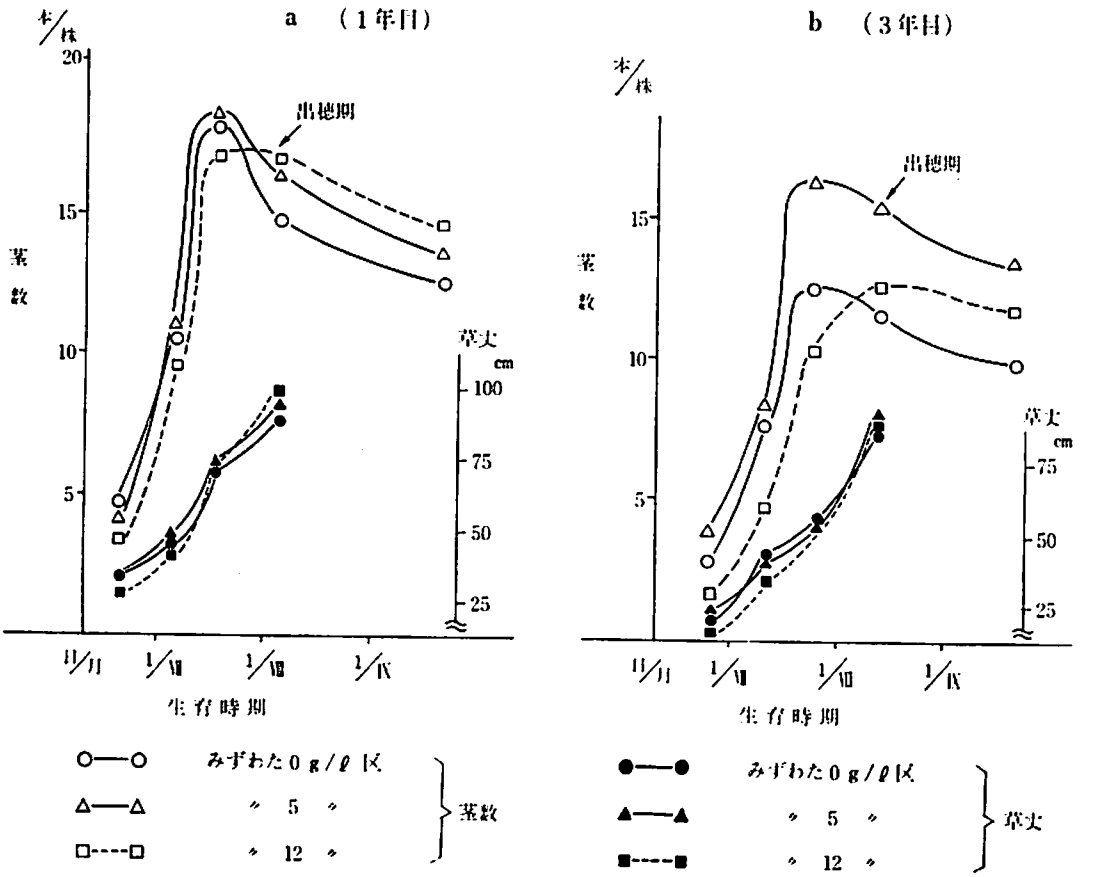


第 1 図　BODと水稲の生育の関係

第 6 表　BOD と水稲の収量の関係

試験区別	1年目		2年目		3年目		もみ重比			
	わら重	もみ重	わら重	もみ重	わら重	もみ重	1年目	2年目	3年目	3か年平均
BOD 0 ppm区	68.8	86.2	53.2	61.7	51.2	55.8	100	100	100	100
〃 5 〃	61.1	84.9	51.7	63.8	53.9	57.5	98	103	103	101
〃 20 〃	63.7	87.1	53.8	62.2	54.8	60.1	101	101	108	103
〃 50 〃	75.1	91.1	52.5	65.5	58.3	60.3	106	106	108	107
〃 100 〃	70.0	88.6	49.4	64.0	52.1	57.0	103	104	102	103
〃 200 〃	62.9	75.5	38.6	53.9	47.1	41.3	88	87	74	83

草丈は低いが，7 月下旬以降，生育は逆転し，「みずわた」添加量が多いものほど生育がおう盛となり，穂数も増加した。また草丈もやや高くなったが，むしろ徒長気味の生育様相を示した。3 年目では，低温の影響もあって，「みずわた」5 g/ℓ区までは，生育は良好であったが，8 g / ℓ区以上では初期の生育不良が後半まで続き，かつ，生育遅延の様相を示した。



第 2 図　「みずわた」含量と水稲の生育

(2) 収量；第7表に示すように，1年目，2年目の収量は，もみ重，わら重ともに「みずわた」8g/ℓ区まではその含量に比例して増加しているが，12g/ℓ区ではむしろ減少の傾向を示している。3年目には全般的に生育遅延の結果，「みずわた」含量の増加に伴い不稔歩合は高くなり，もみ重は5g/ℓ区が最高で，8g/ℓ区以上ではむしろ収量は低下した。

つぎに，「みずわた」の水稲収量におよぼす影響を「みずわた」中の窒素，すなわち灌漑水中の窒素の影響としてとらえて，その窒素濃度および灌漑水により供給付加された窒素量ともみ重の関係を，第3図，第4図に示した。

1，2年目は，灌漑水の窒素濃度として30ppm前後，付加窒素量としてポットあたり3g前後まで籾収量は増加したが，それ以上では逆に減収した。低温年の3年目では窒素濃度として15ppm前後，窒素として1gの付加でもみ収量は最高であった。

また，灌漑水中の窒素濃度を，塩化アンモニウムで調節したポット試験においても，高温年の水稲のもみ収量は30ppmまで窒素濃度に比例して増加した。

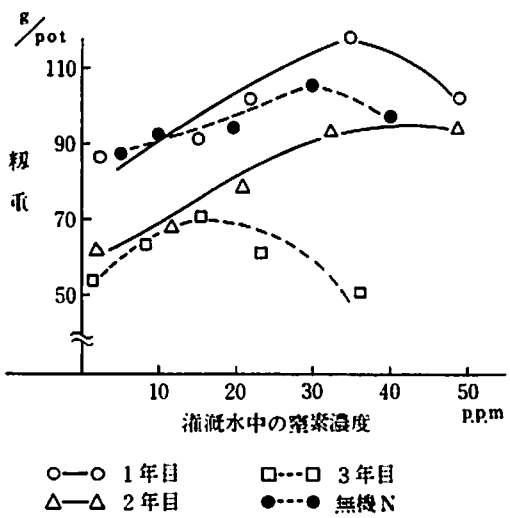
3. 灌漑水の水質による土壌理化学性の変化

1) 湛水期間中の土壌 pH および Eh

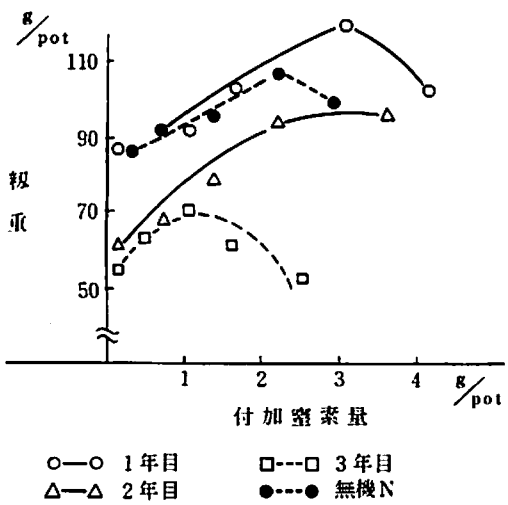
(1) A系列；第5図aに灌漑水のBOD値と土壌 pH，Eh の関係を示した。まず土壌 pH についてみると，満水初期は灌漑水のBOD値の

第 7 表　「みずわた」含量と水稲の収量の関係

試験区別		1年目 不稔歩合	1年目 わら重	1年目 もみ重	2年目 わら重	2年目 もみ重	3年目 不稔歩合	3年目 わら重	3年目 もみ重	もみ重比 1年目	もみ重比 2年目	もみ重比 3年目
みずわた	0g/ℓ区	10.6%	68.6	86.2	53.2	61.7	15%	51.2	55.8	100	100	100
〃	2 〃	7.0	75.5	91.0	55.3	69.5	17	58.6	64.5	106	113	116
〃	5 〃	6.4	78.8	102.8	65.4	79.2	21	67.9	70.5	119	128	126
〃	8 〃	8.5	95.8	119.1	68.7	93.8	33	74.4	61.4	138	152	110
〃	12 〃	12.9	83.0	102.2	74.8	94.4	47	84.8	52.7	118	153	94



第 3 図　灌漑水中の窒素濃度ともみ重の関係



第 4 図　灌漑水により付加された窒素ともみ重の関係

高いものほど土壌 pH が低い傾向を示したが，6 月下旬以降は逆に，BOD 値が高いものほど pH が高まり，次第に処理間の差異は小さくなり，7.0前後になった。一方，土壌 Eh は全般的に 7 月下旬以降，急激に低下したが，灌漑水の BOD 値が高いものほど Eh の低下度合は大きく，BOD 200ppm（COD800ppm）の添加区では，無添加区にくらべ 150mv ほど低下した。この傾向は 3 か年とも同様であった。

(2)　B系列；第5図bには，「みずわた」含量と土壌 pH，Eh の関係を示した。全般的に pH は，「みずわた」含量の多いほど高い傾向が認められた。土壌 Eh は pH に対応し，明らかに含量が多いものほど低く，7 月下旬以降は急激に低下した。

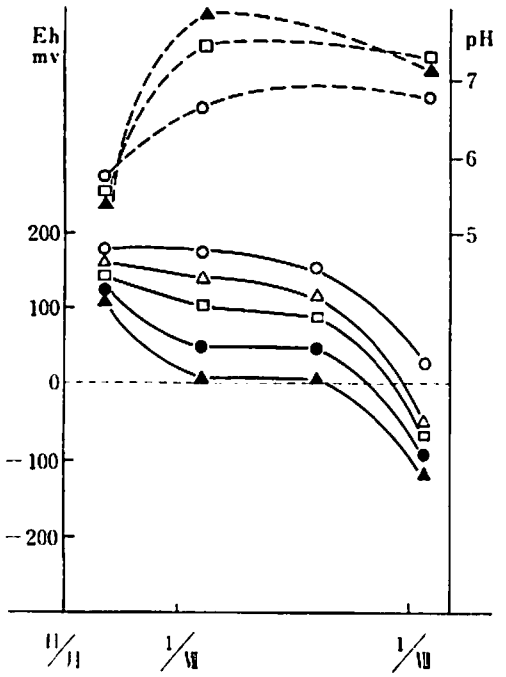
2)　渗透水に及ぼす影響

渗透水を分析した結果，B系列においては処理による判然とした傾向は認められなかったので，ここではA系列の結果について述べる。

(1)　灌漑水の BOD 値と渗透水の水質の関係；灌漑水の BOD が渗透水の pH，COD，BOD におよぼす影響について第8表に示した。

まず pH についてみると，1年目においては判然としないが，2年目以降は，明らかに灌漑水の BOD 値が高まるにつれて渗透水の pH の低下が著しくなった。渗透水の BOD 値は，BOD 200 ppm 区（COD800ppm）でやや高いほかほとんど差異は認められないが，その値は，灌漑水の BOD 値に比べて著しく低かった。つぎに COD につ

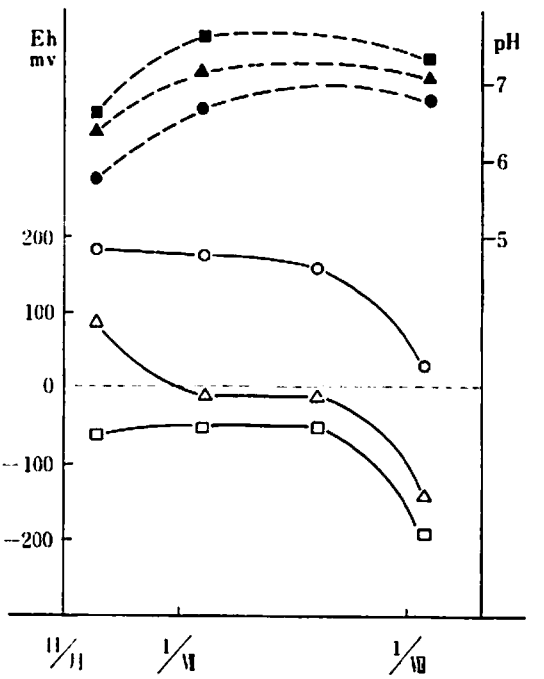
a　A 系 列



Eh；○—○ BOD 0 ppm 区
△—△ 〃 20 〃
□—□ 〃 50 〃
●—● 〃 100 〃
▲—▲ 〃 200 〃

pH；○---○ BOD 0 ppm 区
□---□ 〃 50 〃
▲---▲ 〃 200 〃

b　B 系 列



Eh；○—○ みずわた 0 g/ℓ 区
△—△ 〃 5 〃
□—□ 〃 12 〃

pH；●---● みずわた 0 g/ℓ 区
▲---▲ 〃 5 〃
■---■ 〃 12 〃

第 5 図　湛水期間中の土壌 pH. Eh の推移

第 8 表　灌漑水ＢＯＤのが滲透水におよぼす影響

試　験　区　別	pH			BOD ppm		COD ppm		
	1 年目	2 年目	3 年目	1 年目	2 年目	1 年目	2 年目	3 年目
ＢＯＤ 0 ppm区（ＣＯＤ1.7ppm）	5.72	5.91	5.68	5.1	0.2	59	21	28
〃 5 〃 （ 〃 20 〃 ）	5.65	5.18	5.35	5.6	0.1	57	17	26
〃 20 〃 （ 〃 80 〃 ）	5.85	5.05	5.30	5.8	0.1	59	31	29
〃 50 〃 （ 〃 200 〃 ）	5.87	4.62	5.00	6.1	1.0	52	89	49
〃 100 〃 （ 〃 400 〃 ）	6.10	4.53	4.53	6.7	4.4	55	287	176
〃 200 〃 （ 〃 800 〃 ）	5.99	4.61	4.61	14.4	13.3	77	1,414	588

いても同様に1年目では処理による影響は少なく，連用により2年目以降その影響は顕著にあらわれ，灌漑水のBOD値が高いものほど滲透水のCOD値は高く，とくにBOD 100ppm（COD 400ppm）以上での増加度合が著しかった。

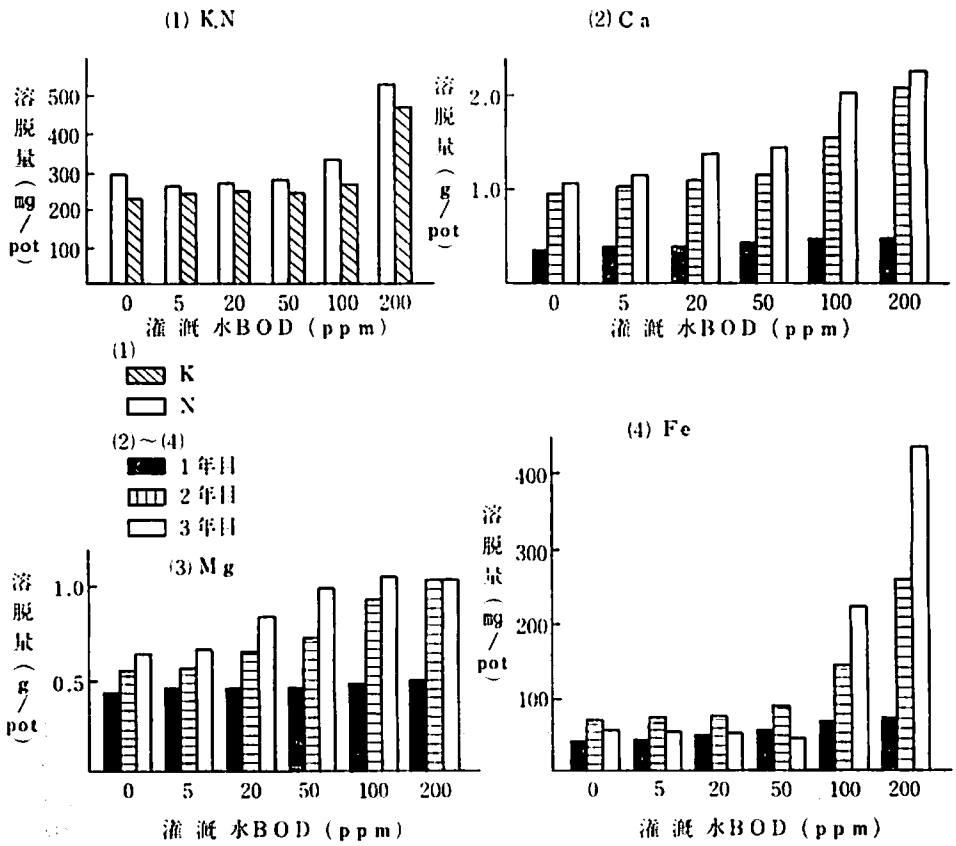
(2) 無機成分の溶脱におよぼす影響；灌漑水によってポットへ供給された無機成分量は，Mg，Feについては処理間に差はなかったが，Ca，K，NはBOD値の増加にともない漸増し，BOD 200ppm区（COD800ppm）は0ppm区に比べ，Caで3割，K，Nでは倍以上多かった。第6図にこれらの成分の溶脱量を示した。

N，K両成分ともBOD 100ppm（COD 400 ppm）以上の灌漑水により溶脱量が顕著に増加する傾向がみられた。Ca，Mgは1年目より灌漑水のBOD値が高いものほど溶脱量が増加する傾向が認められ，連用によってその傾向がますます顕著となった。Feについても同様な傾向が認められたが，BOD 100ppm（COD400ppm）以上では連用による溶脱量の増加が著しかった。

3) 跡地土壌におよぼす影響

跡地土壌についてみれば，第9表に示したとおり，A系列では，灌漑水のBOD値の増加に伴い明らかにpHは低下していた。窒素的地力についてみれば，BOD 50ppm（COD200ppm）前後で，全窒素含量，アンモニア化成量，乾土効果が最も高く，BOD 200ppm区（COD800ppm）では，アンモニア化成量，乾土効果が極端に低く，窒素的地力の減退，易分解性有機物の減少がうかがわれた。

B系列では，灌漑水の「みずわた」含量に比例して，pH，全窒素含量，腐植含量は次第に増加し，アンモニア化成量も多く，「みずわた」の蓄積による土壌窒素の富化が明らかに示された。



第 6 図　灌漑水のBODと無機成分の溶脱の関係

第9表　跡　地　土　壌

試験区別			pH (H_2O)	全窒素 (%)	腐植 (%)	NH_4-N (30°C) 湿潤土 mg	NH_4-N (30°C) 乾土 mg	乾土効果
A系列	BOD 0 ppm区		5.75	0.151	3.72	2.52	3.51	0.99
	〃 5 〃		5.60	0.156	4.05	3.20	3.23	0.03
	〃 20 〃		5.45	0.161	4.12	2.53	4.78	2.25
	〃 50 〃		5.25	0.167	4.35	2.53	4.22	1.69
	〃 100 〃		5.15	0.164	4.28	1.82	3.65	1.83
	〃 200 〃		5.10	0.161	4.36	0.98	1.40	0.42
B系列	みずわた 0 g/ℓ区		5.75	0.151	3.72	2.52	3.51	0.99
	〃 2 〃		5.90	0.197	4.86	2.53	5.90	3.37
	〃 5 〃		5.82	0.215	5.12	2.67	5.34	2.67
	〃 8 〃		6.23	0.218	6.68	4.30	6.47	2.17
	〃 12 〃		6.20	0.233	6.78	7.32	11.25	3.92

IV　考　察

パルプ工場排水による農業用水の水質汚濁が，水稲の生育収量に及ぼす影響を，汚濁内容を構成する因子としてBOD，および「みずわた」について考察してみる。

1．灌漑水の BOD の影響

灌漑水のBODが水稲の生育，収量におよぼす影響についてみれば，1年目では，生育後半になって高BOD灌漑水による影響があらわれ，水稲は秋落ち的様相をみせたが，2年目以降は，BOD値の高い灌漑水使用により，水稲は初期から生育不良となり影響が強く示されているが，3か年の範囲では土壌化学性の悪変による影響はBOD 200ppm（COD800ppm）以外は明らかでなく，むしろその含有する窒素の効果が大きいように思われた。なお本試験の範囲内においては，Sp パルプ廃液成分の水稲に対する直接的影響については判断できないが，宇野ら[15]は，幼植物根伸長阻害実験より，廃液の塩基性部分ならびに揮発性中性部分に根の伸長阻害が認められ，その含有する Ca の影響が大きいと報告している。

つぎに，灌漑水のBODが土壌の理化学性におよぼす影響について考察すると，BOD値の高い灌漑水の使用によって，土壌還元の進行が促進され，対応して土壌 pH が上昇し，塩基類の溶脱が激しくなり，滲透水のCOD値に示されるように還元性物質の溶脱が増加する傾向を示している。BODが微生物による酸化還元反応に消費された酸素量であり[4]，有機物の存在を示すものであることを考えれば，灌漑水のBOD値が高ければ，当然，灌漑水中の O_2 が不足し，同時に土壌へ微生物が酸化しうる有機物が添加され，土壌の還元が一層促進されるものと考えられる。さらに滲透水のCOD値をみても，BOD 50ppm（COD200 ppm）以上では，連用により土壌の汚濁物質分解能力がおとろえ，還元の進行が促進されることがうかがわれる。

Ca，Mg などの溶脱量の増加についてみると，滲透水の分析結果から高BOD水の灌漑により，下層土壌の pH は低下していると思われ，Sp パルプ廃液の有機酸，あるいは2次的に生成された有機酸[12]等の影響を受けて，土壌が酸性化し，Ca，Mg の溶脱が促進されたと考えられる。

Fe の溶脱量の増加については，Fe は水田土壌の酸化還元系において重要な役割をもっているが，土壌 Eh の低下とともに溶解度の高い第1鉄塩となり溶脱したものと考えられる。この点から，パルプ工場排水に由来する高BODの灌漑水

の使用により Fe が溶脱して土壌が老朽化する[8]ものと考えられる。

さらにBOD 200ppm（COD800ppm）では，窒素の溶脱量が多く，また滲透水のCODが著しく大であったことは，易分解性有機物の溶脱も多かったと考えられ，その跡地土壌は，アンモニア化成量少なく，窒素的地力が減退したものと推定される。

一応，BOD値について農業用水としての限界を考えれば，パルプ工場排水を長期間にわたって灌漑水として使用すれば，Ca，Mg，Fe の溶脱増加がみられ，土壌の酸性化，老朽化を招来する可能性があり，その点を考慮すれば，BOD 20 ppm（COD 80ppm）前後が農業用水として限界と推定される。

2．灌漑水中の「みずわた」の影響

一般に，「みずわた」は，多量の有機物を含んだ産業排水，都市下水などが流入した河床に糸状菌，酵母，細菌などが異常繁殖を起こして，数種類の微生物によって構成された微生物群落を作り，土砂などを含めたほかの浮遊物質を包み込んで形成されたものである。

本試験に供試した「みずわた」は，パルプ工場排水流入地点に特異的にみられる綿状のスライムである。井上ら[6]は，「みずわた」の発生要因として温度条件，栄養分，酸素の供給等が好適であることをあげ，このスライムの優占菌種 Geotricum candidum が優占種となった要因として，1）パルプ工場排水の pH が 4.5 ～ 5.8 前後で Geotricum を含む糸状菌や酵母類の繁殖に適し他の大部分の細菌には都合悪い。2）遊離の糖（還元糖 150ppm）を多く含んでいた。3）パルプ工場排水の BOD 300～700ppm，COD 800～1,500 ppm で河川の水量が排水量の 2 ～ 3 倍しかない結果，河川の汚染度が高くて，Sphaerotilus natans が生育するには有機物の濃度が濃過ぎた，と報告している。

一方，下流では，石狩川に合流し，パルプ工場排水は大量の水に稀釈され pH は上昇して中性となり，有機物濃度がうすまり，Sphaerotilus natans の発生が多い[6)15)]。この 2 種類の「みずわた」の含有窒素量，有機物含量の差異が，生育条件の差異，あるいは菌の形状，流水中の土砂量等によるものかはわからないが，その水稲に与える影響は大差ないと思われる。

Geotricum candidum の作物に対する病原性は，BULTER[2]により，トマトの貯蔵中に水腐れを起こす，と報告されているが，現在のところ，水稲におよぼす病原性は認められなかった。

「みずわた」自体が水稲におよぼす影響は，その含有する窒素の影響によることが大きいことは，過去の成績で明らかにされ[5)13)15)]，その無機化した窒素は水稲の生育相を乱し，生育遅延，登熟不良をもたらしていることは，本試験においても観察されている。なお，現地水田における被害実態としてみられる「みずわた」の物理的障害，移植時における菌の流失，埋没ならびに水地温の低下等の被害は，ポット試験では若干「みずわた」添加による地温低下が認められたが，再現できなかった。

一方，「みずわた」の添加により初期生育が抑制される点について，土壌 Eh の低いことが関与していると思われるが，浅見[1]は，水田土壌の Eh，pH と水田土壌中の第 1 鉄生成に関して，第 1 鉄は易分解性有機物が多いほど急速に生成されることを認めている。また高井[11]は，土壌還元により生成された第 1 鉄が還元剤として作用し，水稲の地上部から送られる電子受容体が根系の呼吸以外の Fe^{II} 酸化に消費され，Fe^{II} が根の活性低下の原因となり，また，湛水により生成した有機酸は根系に障害を与えるという，両因子による水稲根の活力低下を推定している。したがって「みずわた」含有水の使用による「みずわた」の蓄積のため，土壌 Eh の低下が促進され，第 1 鉄塩の生成が増加[3]して，根の活性が低下し，その活着，初期生育を遅らせたものと推定できる。また，第 1 鉄塩生成と平行的にアンモニア化成が促進されて，土壌の窒素栄養条件は良好となり，その後，水稲はおう盛な栄養生長を示したものと思われる。

「みずわた」の影響をその含有灌漑水の窒素面からみると，水稲の被害がではじめる灌漑水の窒

素濃度は，東京近郊の汚水田で，1～3 ppm である[8)14)]という。一方，本試験の結果からもみ収量面に注目し，気象条件に対する不安定性の増加を考慮して，その限界を考えれば，灌漑水の窒素濃度として15ppm と推定できる。しかしポット試験条件下では，水稲の通気，受光条件が良好となり，過繁茂，倒伏等による被害は見出しにくく，その限界濃度は一般のほ場に比べれば非常に高いと思われるので，実際のほ場における限界濃度についてはさらに検討する必要がある。

V 摘　　要

パルプ工場排水に起因する水質汚濁が水稲の生育収量におよぼす影響について，灌漑水のＢＯＤおよび，「みずわた」含量との関係をポット試験により，調査，検討した結果を要約すると次のとおりである。

1．供試した Sp パルプ蒸解廃液は強酸性でＢＯＤ，ＣＯＤがきわめて大であり，窒素含量も多い。したがって，これを希釈した灌漑水はＢＯＤ値が高いほど pH は低く，窒素濃度は高い。灌漑水のＣＯＤ値はＢＯＤ値の４倍弱であった。

2．供試した Sp パルプ廃液の水稲に対する直接的影響は明らかにすることはできなかった。しかし，高濃度のＢＯＤ液の灌漑によって，水稲の生育前半はむしろ生育良好であったが，生育後半に逆に秋落ち的傾向をみせ，連用によりその傾向が顕著になった。収量はＢＯＤ 50ppm（ＣＯＤ200 ppm）までは増加の傾向を示し，それ以上では逆に低下する傾向を示した。

3．ＢＯＤが高い灌漑水の使用により，その有機物等の還元性物質の影響をうけ，土壌の還元が強度となり，滲透水中の還元性物質の量が増加した。また，Fe，Ca，Mg 等の無機成分の溶脱は著しく，土壌の酸性化，老朽化を促進するものと思われた。

4．パルプ工場排水を栄養源として発生した「みずわた」は窒素含量多く，有機物を50％近く含み，アンモニア化成量は多い。「みずわた」の添加により土壌は還元的になり，水稲の初期生育を抑制する。しかし土壌的に窒素栄養条件が良好となるため，水稲の栄養生長は添加量の多いほどおう盛となる反面，生育遅延，登熟不良を招来し，冷涼な気象条件下では不稔率の増加をもたらした。

5．「みずわた」含有灌漑水の影響を窒素の影響としてとらえ，そのもみ収量に対する関係からみると，灌漑水の窒素濃度として 15ppm 前後が限度と思われた。

引用文献

1）浅見卯男，1970；水田土壌中における遊離鉄の行動に関する研究（第１報）土肥誌，41，1－6．
2）Bulter, E, E, 1960；Pathogenicity and Taxonomy of Geotricum candidum, Phytopathology, 50, 666-672.
3）土壌微生物研究会，1966：土と微生物，54-56.
4）萩原耕一，平本和夫，1963：ＢＯＤについて，用水と廃水，５，71.
5）北海道立中央農業試験場，1966：石狩川Ａ地区水質調査成績書.
6）井上勝弘，千葉善昭，中村俊男，1964：河川に発生した〝みずわた〟に関する研究，道立衛研報告，14，122-126.
7）小西千賀三，高橋治助，1961：土壌肥料講座，３，13-15.
8）前野道雄，1970：農業用水汚濁の実態と被害軽減に関する調査研究，神奈川農総研土肥研成績，３，44-46.
9）日本分析化学会道支部，1966：水の分析，206-209.
10）日本工業調査標準審議会，1964：ＪＩＳ Ｋ0102工場排水試験方法，17.
11）高井康雄，1961：水田土壌の還元と微生物代謝(3)，農業技術，16，122-126.
12）――――，小熊　武，1966：亜硫酸パルプ廃液製品が土壌の性状におよぼす影響（第１報），土肥誌，37，483—488.
13）田北辰雄，ほか，1962：石狩川汚濁水の水稲生育におよぼす影響について，道農試集，９，88-107.
14）東京都農業試験場，1967：都市近郊における水稲汚水害に関する研究，東京農試研報，４，138.
15）藤堂　誠，ほか，1964：石狩川の汚濁水が農作物におよぼす影響に関する研究，農林水産技術会議研究成果，17，249-261.
16）宇野要次，湯村義男，福士定雄，1964：工場廃水の農作物におよぼす影響，同上，233-248.

Summary

The authors examined the influence of water pollution from the pulp mill factory to rice plants.

In this experiment, the density of Biological Oxygen Demand (BOD) in irrigation water and amounts of the slime were adjusted. The rice plants were cultivated in pots with these waters.

The results obtained from this experiment are summarized as follows :

1) The sulfite pulp waste liquor which is used in this experiment, was very acidic and had high BOD, moreover it was rich in nitrogen. Therefore, the pH in irrigation water adjusted by dilution of that liquor, showed low level related with BOD level. The nitrogen contents of water increased according to the density of BOD. The Chemical Oxygen Demand in the adjusted water was four times much than BOD.

2) In the case of this experiment, it was not showed that the sulfite pulp waste liquor affected the rice plants directly.

By the irrigation of high level BOD water, the rice plants grew good in the early stage. Instead, at the later growing stage., the rice plants showed a tendency to autumn decline. The continuous irrigation by this water every year caused poor growth of the rice plants from the early stage.

The yield of the rice plants increased according to the BOD level in irrigated water for 50 ppm (COD 200 ppm) and over this concentration, it decreased the yield of the rice plants.

3) The irrigation of high BOD water progressed the reduction of soil, which was caused by reducing matters such as organic ones. In the leaching water, the amounts of reducing matters were increased by its irrigation.

The inorganic elements such as iron, calcium, magnesium leached away extremely. Therefore, the acidity of soil increased, and so hastened the deterioration of the soil.

4) The slime developed in the river, which was polluted by the waste water from the pulp mill factory. The slime was rich in nitrogen and a half of the dry matter was organic. The amounts of ammonification of the slime were considerable.

The irrigation of water including the slime hastened the reduction of the soil and delayed the growth of the rice plants in the early stage. The other hand, as it also was addition of the nitrogen to the soil, the rice plants achieved an elongation to the height and the increase in number of tillers and prolonged the vegetative growth.

Under cool weather conditions the irrigation, including much slime, increased the rate of non-ripened grains.

5) It may be all right to consider the effect of the water which includes slime on the rice plants, to be like that of the water contaminated by nitrogen.

The critical concentration of nitrogen in the water was found to be 15 ppm in this experiment.