

サツマイモのトンネルマルチ利用による 極早掘り栽培に関する研究

泉 澤 直 ・ 石 原 正 敏

Studies on Extremely Early Harvest Culture with Polyethylen Tunnel
and Film Mulching in Sweet Potato

Tadashi IZUMISAWA and Masatoshi ISHIHARA

サツマイモのトンネルマルチ栽培により、地温はマルチのみに比べ低温時で3～4℃の昇温効果があり、気温についても外気温に比べ低温時で3～4℃の昇温効果が認められ、挿苗を早植慣行より2週間程度早い4月中旬に行うことが可能であった。

品種では、高系14号が早期肥大性に優れ、挿苗後105～110日の7月下旬～8月上旬で200kg/a水準の塊根収量をあげることができる。ベニアズマは早期肥大性がやや劣り、また、挿苗後110日では品種本来の食味が得られず、極早出し栽培としては高系14号に比べ劣る。

栽植密度は、密度を高めると2S～S級の小さいものが増加するので、a当り300～400株の栽植密度がよい。

I 緒 論

茨城県のサツマイモ作付け面積は、1988年は8,860haで鹿児島県に次いで多く、そのうち青果用サツマイモは6,760haで全国一の面積を有している。

標準的な栽培期間は、5月上旬から定植が始まり、早いもので8月上旬頃から収穫する。しかし収穫盛期は9月以降から10月下旬であり、本県のサツマイモの出荷時期は単価の高い8月以前のは極めて少ない。

最近、サツマイモの栄養的価値が見直され健康食品としての評価が高まったこともあり、消費はやや増加傾向にある⁶⁾。しかし、一方諸外国からの澱粉自由化の圧力は極めて強く、澱粉原料用サツマイモの青果用サツマイモへの転換も予想される。

以上のような情勢の中で、産地間競争はますます激しくなっていくものと考えられ、競争力強化のために掘取り時期の早期化を含めた出荷期間拡大は極めて重要な課

題である。

本試験は、従来から四国地方を中心に行われているサツマイモのトンネルマルチ栽培について検討し、これまでの茨城県での慣行的な挿苗期を早め、単価の高い7月下旬～8月上旬出荷を可能とする技術の確立を目的として行った。

II 試験方法

試験は1985年から、'87年までの3年間、茨城県農業試験場（表層腐植質黒ボク土）で、極早掘り適性の高い品種の選定及び極早掘り栽培のための適栽植密度並びにトンネル被覆、寄畦マルチ間湛水効果を検討した。

試験区の構成は第1表に示したが、供試品種・系統は'85年、'86年は高系14号とベニアズマ、'87年は高系14号と関東99号を用いた。

栽植密度は300～500株/aとし、年次により適宜組

第1表 試験区の構成

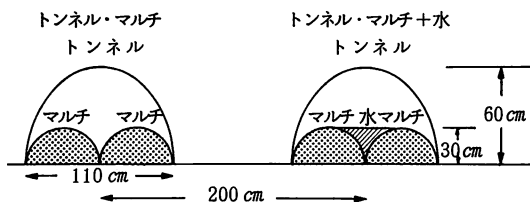
年度	供試 品種・系統	栽培様式	栽植密度 (株/a)	挿苗期 (月・日)	掘取時期 (月・日)
1985	高系14号	トンネルマルチ	400	4.27	7.30 (94, 105)
		〃	500		8.19 (114, 125)
	ベニアズマ	トンネルマルチ+水	400	4.16	8.29 (124, 135)
		〃	500		
1986	高系14号	トンネルマルチ	400	4.24	7.21 (88)
		トンネルマルチ+水	300		8.7 (105)
	ベニアズマ	〃	400		8.21 (118)
		〃	500		
1987	高系14号	トンネルマルチ	300	4.14	7.14 (91)
		〃	400		
	〃	〃	500		
		トンネルマルチ+水	400		7.27 (104)
関東99号	トンネルマルチ	400		8.5 (113)	
	トンネルマルチ+水	〃			

注 掘取時期の()は生育日数で1985年は後者はトンネルマルチ+水区

合わせた。また挿苗期は4月14日～27日と年次により異なった。掘取り時期は挿苗後100日を中心とし、概ねその前後10日の計3回行った。

施肥量はa当り窒素0.3kg, りん酸1.0kg, 加里1.0kgとした。

マルチ及びトンネル仕様については第1図のように、ポリエチレンフィルムマルチの上にトンネルを被覆したもの(以下トンネルマルチと略す)と、トンネルに加えマルチ寄畦間に水を湛水した処理(以下トンネルマルチ+水と略す)を行った。



第1図 マルチおよびトンネル仕様(栽培様式)

トンネルは、日中の気温に応じ適宜換気した。また、トンネル被覆はいずれの年も、5月下旬まで行った。

1区面積は16㎡で2区制で実施した。収量調査は1区10株を供試した。

III 結果及び考察

年次別の収量調査結果を第2～4表に示した。

1 トンネル仕様と収量

第2図はトンネルマルチとトンネルマルチ+水処理のトンネル内における晴天日の気温の変化について示したものである。

晴天日はトンネル内の温度の上昇は著しく、40℃にもなるので、換気を行うことが必要である。

夜間の温度上昇効果は、4月17日の0時30分位より外気温は-1.4℃まで低下したが、トンネルマルチ+水処理内は約7℃、トンネルマルチ処理内は4℃の気温を確保した。

第3図は地温の変化について示したものである。気温と同様にトンネルマルチ処理は、マルチのみに比べ日中

第2表 収量調査結果(1985年)

品 種 系 統	栽 培 様 式	挿苗期 月・日	栽植 密度 (株/a)	掘取 時期 月・日	茎葉重 (kg/a)	総塊根重 (kg/a)	上いも重 (kg/a)	上いも 重歩合 (%)	塊根の重量区分(重量%)					
									3S	2S	S	M	L	2L以上
高系14号	トンネルマルチ	4.27	400	7.30	250	98.3	88.5	90	10.0	56.8	11.1	22.2	0	0
			500	(94)	294	76.5	53.3	70	30.5	51.6	18.0	0	0	0
			400	8.19	293	203.9	193.7	95	5.0	12.9	48.8	33.3	0	0
			500	(114)	249	168.5	166.0	99	1.5	21.3	41.0	36.2	0	0
			400	8.29	314	239.4	209.3	87	3.0	9.6	32.3	18.9	36.2	0
			500	(124)	283	228.7	220.1	96	3.7	14.7	41.1	11.2	29.2	0
	トンネルマルチ + 水	4.16	400	7.30	-	171.0	156.2	91	8.7	31.1	24.4	13.6	22.2	0
			500	(105)	-	115.8	95.4	82	17.6	55.6	26.8	0	0	0
			400	8.19	-	188.7	181.5	96	3.8	18.4	24.2	53.5	0	0
			500	(125)	-	271.4	262.0	97	3.5	13.0	28.5	37.5	17.6	0
			400	8.29	-	256.0	248.8	97	-	-	-	-	-	-
			500	(135)	-	255.4	245.2	96	-	-	-	-	-	-
トンネルマルチ	4.27	400	7.30	-	53.8	37.8	70	29.7	50.2	20.1	0	0	0	
		500	(94)	-	125.5	110.3	88	12.2	21.9	66.0	0	0	0	
		400	8.19	-	225.1	218.3	97	3.1	14.0	6.0	16.7	37.9	22.4	
		500	(114)	-	109.0	95.1	87	12.7	7.4	53.2	26.6	0	0	
		400	8.29	-	191.7	184.5	96	-	-	-	-	-	-	
		500	(124)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ベニアズマ	トンネルマルチ + 水	4.16	400	7.30	-	112.0	101.0	90	9.8	12.7	28.6	48.9	0	0
			500	(105)	-	163.8	144.0	88	12.1	0	72.5	15.4	0	0
			400	8.19	-	249.1	237.6	95	4.6	3.5	14.4	27.3	25.1	25.1
			500	(125)	-	176.6	175.2	99	0.8	19.0	32.0	0	19.7	28.3
			400	8.29	-	214.3	202.4	94	-	-	-	-	-	-
			500	(135)	-	273.8	258.9	95	-	-	-	-	-	-

注) ()内は生育日数

塊根の重量区分については、3S : 49g以下, 2S : 50~69g, S : 70~149g, M : 150~249g, L : 250~349g, 2L以上 : 350g以上。上いもは50g以上のもの。

以下の図表も同じ。

茨城県農業試験場研究報告 第29号 (1989)

第3表 収量調査結果 (1986年)

品 種 系 統	栽 培 様 式	栽植 密度 (株/a)	掘 取 時 期 (月・日)	茎葉重 (kg/a)	総塊根重 (kg/a)	上いも重 (kg/a)	上いも 重歩合 (%)	塊根の重量区分 (重量%)							
								3S	2S	S	M	L	2L以上		
高系14号	トンネル マルチ		7.21(88)	325	161.3	135.2	84	16.2	16.5	31.6	35.7	0	0		
		400	8.7(105)	308	206.4	191.2	93	7.3	8.3	33.5	34.8	16.8	0		
			8.21(118)	533	225.0	213.6	91	5.2	2.3	26.5	29.0	9.4	27.7		
		300			253	279.7	232.0	83	17.1	12.2	28.0	28.9	13.8	0	
		400	7.21(88)		203	211.1	190.8	90	9.6	5.4	38.8	41.3	4.8	0	
		500			310	154.0	131.4	85	14.8	22.7	38.8	23.9	0	0	
		トンネル マルチ	300			323	213.6	199.6	93	6.6	5.1	27.9	19.2	17.0	24.2
		+	400	8.7(105)		363	210.5	202.0	96	4.0	5.6	42.3	48.0	0	0
		水	500			323	244.6	227.6	93	7.0	2.2	48.0	29.0	6.7	7.2
			300			421	247.8	230.8	93	6.8	3.6	12.6	22.0	38.5	16.5
			400	8.21(118)		378	283.3	269.3	95	4.9	4.4	14.3	43.9	8.4	24.0
			500			398	293.9	271.7	92	7.8	11.9	15.6	23.0	16.2	25.5
ベニアズマ	トンネル マルチ		7.21(88)	335	161.5	148.5	92	8.0	4.2	59.1	13.6	15.1	0		
		400	8.7(105)	403	196.9	168.9	86	14.2	5.8	31.5	23.0	25.4	0		
			8.21(118)	645	201.2	185.7	92	7.7	2.5	26.9	42.8	5.7	14.3		
		300			470	140.5	125.0	89	11.0	7.3	36.3	30.6	14.8	0	
		400	7.21(88)		448	162.8	127.7	78	21.6	7.3	34.5	21.2	15.5	0	
		500			485	137.6	109.3	79	20.6	10.6	49.3	19.5	0	0	
		トンネル マルチ	300			573	159.0	147.4	93	7.3	3.3	24.1	55.0	10.3	0
		+	400	8.7(105)		488	203.6	166.9	82	18.0	9.2	31.4	23.0	11.3	7.0
		水	500			513	177.5	166.6	94	6.1	8.7	32.1	25.7	27.3	0
			300			610	181.9	173.4	95	4.7	2.0	17.4	26.1	14.7	35.1
			400	8.21(118)		625	180.8	172.1	95	4.8	3.8	25.3	32.1	24.2	9.8
			500			585	256.9	242.1	94	5.8	6.8	17.2	31.4	23.4	15.4

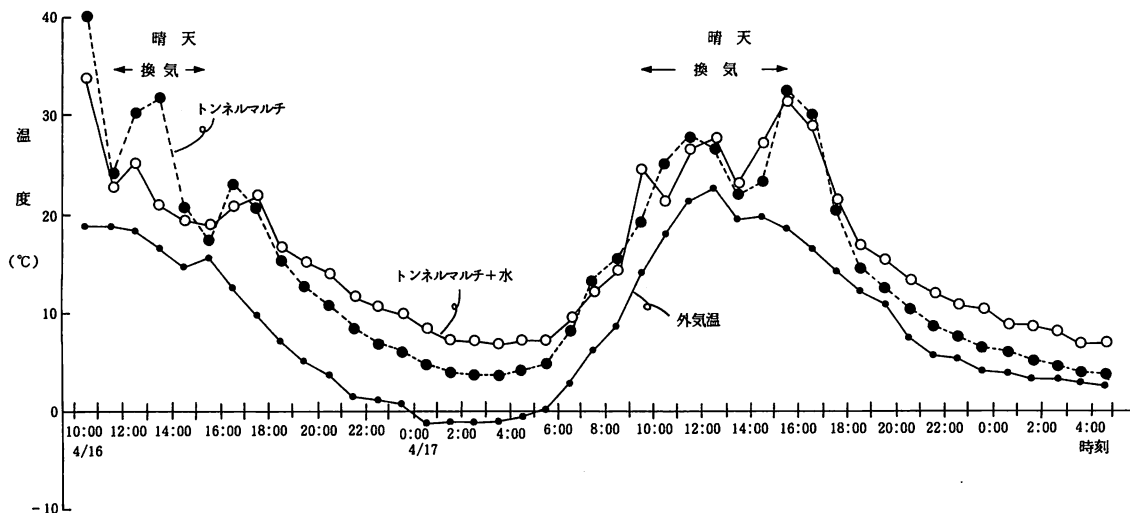
注) 挿苗期は4月24日

サツマイモのトンネルマルチ利用による極早掘り栽培に関する研究

第4表 収量調査結果(1987年)

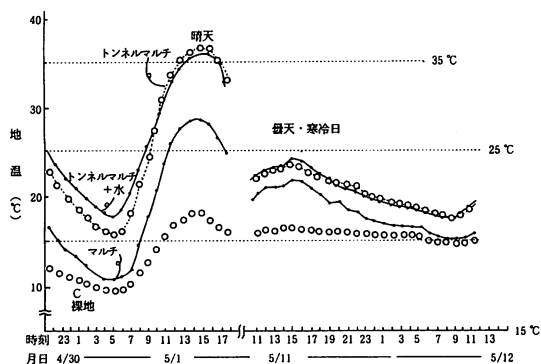
品 種 系 統	栽 培 様 式	栽植 密度 (株/a)	掘 取 時 期 (月・日)	茎葉重 (kg/a)	総塊根重 (kg/a)	上いも重 (kg/a)	上いも 重歩合 (%)	塊根の重量区分(重量%)					
								3S	2S	S	M	L	2L以内
高系14号		300		376	82.2	66.5	80	6.6	3.2	27.9	40.2	17.1	0
		400	7.14(91)	303	122.2	102.3	81	15.1	14.8	39.6	30.4	0	0
		500		374	111.4	92.6	76	15.7	14.3	35.3	34.7	0	0
		300		512	126.3	118.9	94	5.9	3.8	24.1	35.1	15.7	15.3
	トンネルマルチ	400	7.27(104)	438	172.0	154.7	90	10.0	3.4	29.8	38.0	13.5	5.4
		500		473	153.8	133.4	86	13.2	8.5	26.9	34.9	9.7	6.7
		300		550	154.3	149.8	97	3.0	2.9	17.7	31.9	28.4	16.3
		400	8.5(113)	517	203.5	187.4	92	7.9	7.2	34.8	31.9	14.5	3.7
		500		530	203.2	190.9	94	6.0	5.2	24.9	49.2	10.4	4.3
	トンネルマルチ		7.14(91)	246	123.3	103.0	84	15.8	7.2	44.2	32.3	16.3	0
	+	400	7.27(104)	390	163.3	151.2	92	7.7	6.0	39.7	31.9	7.6	7.3
	水		8.5(113)	525	221.8	204.9	92	7.6	5.6	29.2	29.5	17.2	10.9
関東99号			7.14(91)	296	124.7	109.0	87	12.6	8.1	35.6	38.9	5.1	0
	トンネルマルチ	400	7.27(104)	403	136.1	115.5	86	15.8	7.8	39.2	26.5	11.3	3.7
			8.5(113)	645	180.8	159.5	92	11.8	5.7	17.7	34.4	22.0	8.4
	トンネルマルチ		7.14(91)	269	121.4	111.6	92	7.8	9.7	33.0	43.3	6.1	0
	+	400	7.27(104)	449	157.6	143.0	91	9.3	5.7	21.5	30.6	28.0	5.0
	水		8.5(113)	523	196.6	185.3	94	6.3	2.8	29.6	32.2	15.0	14.1

注) 挿苗期は4月14日



第2図 処理と温度(気温)の変化(1987年4月16日~4月18日)

の地温で約10°Cの上昇が見られた。夜間は5月1日の午前5時頃、マルチだけの地温は10°Cであったが、トンネルマルチは約16°C、トンネルマルチ+水は約18°Cの地温であった。



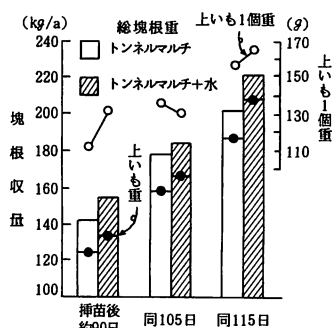
第3図 処理と地温の変化(1986年4月30日~5月1日, 5月11日~5月12日)

以上のように、トンネルマルチ処理は気温、地温ともに極めて高い昇温、保温効果がある。さらに、トンネルマルチ+水処理は、トンネルマルチ処理に比べ高温時の昇温、低温時の降温抑制が、各々2~3°C認められ生育を安定させる事がわかった。

第4図は栽植様式と塊根収量及び上いも1個重を示し

たものである。1985年はトンネルマルチ処理とトンネルマルチ+水処理の挿苗期が異なるため、両処理とも挿苗期が同じ86, 87年のデータを用いて比較した。

年次、品種により変動があるものの、全体で見るといずれの掘取り時期でもトンネルマルチ+水処理がトンネ



第4図 栽植様式と塊根収量及び上いも1個重
注) 供試品種は高系14号, ベニアズマ, 関東99号, 1986, '87年の栽植密度400株/aのデータの平均値。

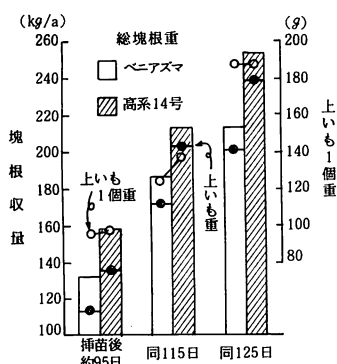
ルマルチ処理より塊根収量は約6kg/aから18kg増加した。上いも重についても同様の傾向が見られた。また上いも1個重については、挿苗後105日の掘取りでトンネルマルチ処理がわずかに大きいものの、他の時期はト

ンネルマルチ+水処理が大きく、生育が促進されていることがうかがわれた。

前述したように、トンネルマルチ+水処理はトンネルマルチ処理に比べ温度変化が緩やかで、生育の安定化がはかれると考えられたが、挿苗時の観察結果トンネルマルチ+水処理はトンネルマルチより苗の活着が比較的容易であり、初期生育もやや旺盛であった。このことが、塊根収量、上いも重、上いも1個重の増加として表れたものと考えられ、早期肥大のためには、初期生育を促進するトンネルマルチ+水処理は有利な方法と言える。

2 品種と収量

第5-1図はベニアズマと高系14号の収量と上いも1個重について比較したものである。

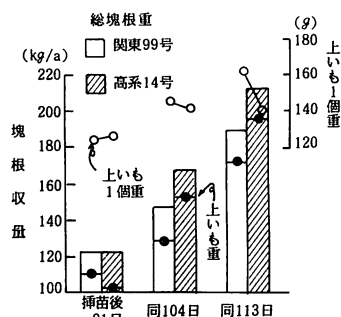


第5-1図 品種と塊根収量及び上いも1個重

注) 供試品種は高系14号、ベニアズマ、1985、'86年のトンネルマルチ処理、トンネルマルチ+水処理のすべての区の平均値。

いずれの掘取り時期についても、高系14号がベニアズマより塊根収量、上いも重とも高く、挿苗後約95日、115日では約26kg/aの差があり、同125日では39kgの差が見られた。上いも1個重は挿苗後約115日では高系14号が大きくなったが、他の掘取り時期では両品種とも大きな差がなかった。

第5-2図は新配布系統で早掘り適性が高いと見られた関東99号と高系14号の塊根収量、上いも1個重を比較したものである。



第5-2図 品種と塊根収量及び上いも1個重
注) 供試品種は高系14号、関東99号、1987年のトンネルマルチ、トンネルマルチ+水処理の400株/aの平均値。

挿苗後91日の塊根収量は関東99号が123.1kg/a、高系14号が122.8kgと大差なかった。上いも重は関東99号が110.3kgに対し、高系14号は102.7kgと関東99号がやや高かった。しかし、その後は高系14号が塊根収量、上いも重とも多く、20kg以上の差が見られた。上いも1個重は挿苗後113日は関東99号が161.0gに対し高系14号が140gと差があったが、他の掘取り時期は大きな差はなかった。

以上のように、トンネル栽培においては高系14号がベニアズマ、関東99号より多収を示した。また、食味については挿苗後100日前後は高系14号が最もすぐれ、ベニアズマは品種本来の食味が得られなかった。また、関東99号も食味は高系14号に劣ると判断された。

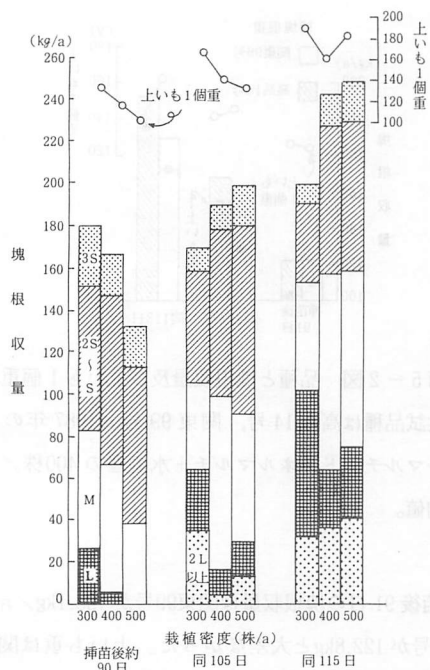
極早掘り栽培では、出荷時期を可能な限り早める事が重要であり、供試品種、系統の中では食味を含め早期肥大性に優れた高系14号が最も適すると判断された。

3 栽植密度と収量

栽植密度は塊根の大きさ等に影響を及ぼし、品質を左右する重要な要素の一つである。

第6図に栽植密度と塊根収量及び上いも1個重、さらに塊根の重量区分について示した。

塊根収量は、挿苗後約90日の掘取りでは栽植密度300株/aが最も高く、次いで400株、500株の順であった。



第6図 栽植密度と塊根収量及び上いも1個重

注) 供試品種, 高系14号, 1986年のトンネルマルチ+水と'87年のトンネルマルチ処理の栽植密度別平均値

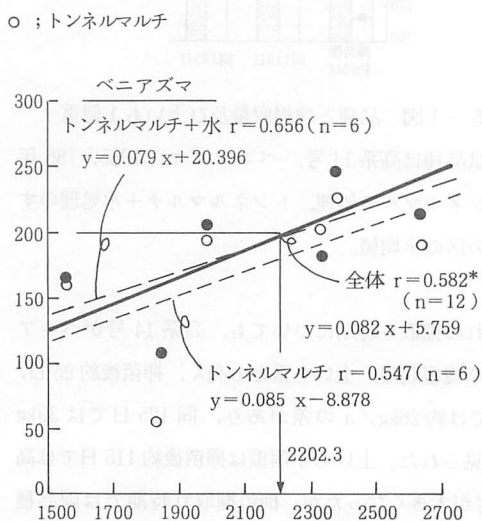
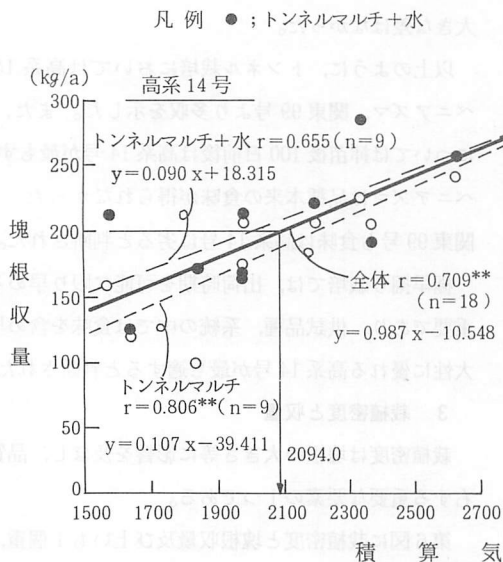
しかし, 挿苗後105日, 同115日では密植になるほど収量が高く, 300株は最も収量が低かった。上いも1個重は300株が最も大で, 密植になるほど小さくなる傾向が見られたが, 挿苗後115日掘取りではこの傾向がやや乱れた。このことは, 重量区分についても同様に見られ, 2L以上からMまでの塊根は挿苗後115日には各密度とも差が明らかでないものの, それ以前の掘取りでは300株が最も多く, 疎植ほど大きな塊根が多かった。

上記傾向は86年のベニアズマのトンネルマルチ+水処理でもほぼ同様の結果が得られた(第3表)。

塊根の大きさは, 一般にL~Mクラス(200~450g程度)のものが中心に取引されていると言われている⁸⁾。極早掘り栽培は初期生育時期の温度が低く, さらに栽培期間が短いために塊根の肥大には不利であり, 1個当りの塊根肥大を促進するためには, 栽植密度はa当り300株程度の疎植にすることが有利である。

4 生育日数と収量

トンネル栽培の場合, できるだけ早く出荷するほうが有利であるが, 収量との兼合いをとることが重要である。



第7図 積算気温と塊根収量の関係

注) 高系14号は1985, '86, '87年のデータを, ベニアズマは'85, '86年のデータを用いた。密度はすべて400株/a, 積算気温は日平均気温を用いた。相関係数は, * 5%で有意, ** 1%で有意。

第7図は高系14号とベニアズマの積算気温と塊根収量の関係を見たものである。積算気温は茨城県農業試験場の日平均気温を積算したものである。

トンネルマルチとトンネルマルチ+水の両処理をこみにして塊根収量と積算気温の関係をみると、高系14号で0.709、ベニアズマで0.582の有意な相関関係が認められた。回帰式から塊根収量を200kg/aを確保するための積算気温について推定すると、高系14号は2,094℃、ベニアズマは2,202℃となり、ベニアズマの方が高い積算温度を必要とし、高系14号の早期肥大性に優れる事が実証された。

同様にトンネルマルチ+水処理とトンネルマルチ処理を比較してみると、高系14号、ベニアズマともトンネルマルチ+水処理のほうがトンネルマルチ処理より同一収量を得るためには必要積算気温が少ないことがわかる。これは、先に述べたようにトンネルマルチ+水処理のほうが低温時の保温効果(トンネル内気温及びマルチ内地温)が優れ、初期生育確保が容易で生育促進効果があったためと考えられる。

4月中旬をトンネル栽培の挿苗期とし、目標収量を総塊根重で200kg/aとすると、高系14号で積算気温が2,100℃程度となるが、これは年次により変動はあるものの試験を行った3年間で見ると挿苗後105日から110日(7月下旬から8月上旬)程度にあたり、収穫時期の一つの目安と考えられる。

IV 総合考察

サツマイモの原産地はメキシコを含む中南米の熱帯アメリカと言われており⁵⁾、生育適温は比較的高い作物に属する。

茨城県は、我が国のサツマイモの主要産地の中では最も高緯度に位置し、通常マルチ栽培では5月上旬が挿苗の早限であり、収穫、出荷は8月中旬以降となる。それ以前に挿苗するためには、トンネルで被覆する等の保温のための処理が必須となる。しかし、第2図に示したように1987年の4月17日の0時30分には、外気温は-1.4℃まで低下している。この時期は挿苗後3日であり、トンネルマルチ処理内の気温は約4℃、トンネルマルチ

+水処理内は約7℃であったが、苗の活着適温(地温)は30℃付近にあると言われ²⁾、限界に近い低温条件であったと考えられる。

苗の活着を良くすることは塊根形成を早め、収穫時期を早くするだけでなく、品質の点でも大きさの揃ったものを多くするなど、極めて重要である。

トンネルマルチ+水処理は、トンネルマルチのみに比べ温度変化を和らげる効果があり、初期生育が旺盛で生育が促進されることが観察され、その結果塊根収量が高く、上いも1個重も大きかった。これらのことから、トンネルマルチ+水処理はトンネルマルチのみに比べ生産の安定性、早期収穫にとって有利な方法である。しかし、畦間1mに必要な水の量は約20ℓ(10a約50m³)となり水の便が良く、平坦な畑以外は適用困難である。

また、トンネルを被覆すると晴天日の日中は、トンネル内の気温は容易に40℃以上に上昇する(第2図)。サツマイモの生育温度は15℃以上35℃までは高温ほど生育が良好となり、38℃になるとやや落ちると言われており¹⁾、40℃以上の高温条件に長時間さらされると生育抑制が起こると考えられる。そのため、晴天日の日中はトンネルを開けて、換気に十分注意する必要がある。

水の利用や換気など、環境自体をコントロールすることも重要であるが、同時に不良環境下での活着の向上を図るため、苗の取り置きは低温や乾燥などの条件下で活着向上が認められており⁴⁾、本栽培においても有効な手段と考えられる。

高系14号はベニアズマや関東99号に比べ早掘りの収量が高く、塊根肥大が良好であり、早掘り適性に優れていると考えられた。ベニアズマは高系14号に比べ、早掘りにおいては低収になる場合が比較的多く⁷⁾、挿苗後110日程度での収穫には適さないと判断された。なお、最近の研究によれば、高系14号の発根適温は主要品種の中では高いほうに属し、低温下での発根は他に比べ劣ることが明らかにされた³⁾。発根適温が高いことは極早掘り栽培上不安な要素であり、今後は低温下でも活着が容易で、より極早掘り栽培に適した品種の育成・選定が強く望まれる。

謝辞 本研究を進めるにあたり場長新妻芳弘氏には種々

御助言を頂いた。さらに成績のとりまとめについて副場長 長 存氏には御鞭撻を頂いた。また、試験に際しては農業試験場管理部の諸氏に御尽力頂いた。これらの方々に、心から感謝の意を表します。

V 摘 要

サツマイモのトンネルマルチ栽培により、定植時期を早植え慣行より2週間程度早い4月中旬に行った。

処理はマルチの上にトンネルを被覆した処理(トンネルマルチ)とトンネルに加えマルチ寄畦間に水を湛水した処理(トンネルマルチ+水)を行った。

- 1) トンネルマルチ+水処理はトンネルマルチ処理に比べ高温時の昇温、低温時の降温抑制効果が、各々2~3℃認められ、生育を安定促進させた。
- 2) 塊根収量はトンネルマルチ+水処理がトンネルマルチ処理に比べ高く、a当たり6kgから18kg程度増加した。これは、トンネルマルチ+水処理はトンネルマルチ処理に比べ苗の活着が比較的良好で、初期生育が促進されたためと考えられる。
- 3) 供試した品種、系統の中では高系14号がベニアズマ、関東99号に比べ多収である。また、食味も良く、極早掘り栽培には適している。
- 4) 栽植密度については、疎植になる程収量は低下する傾向があるが、上いも1個重は大きくなり、商品性の高いM~Lクラスを多く確保するためには300株/a程度の疎植が良かった。
- 5) 高系14号の塊根収量が200kg/aに達する積算気温は約2,100℃で、ベニアズマの2,200℃より低く、早期肥大に優れる。この時期は、4月中旬挿苗では7月下旬から8月上旬にあたり収穫時期の一つの目安と

考えられる。

- 6) トンネルマルチにより晴天日の日中はトンネル内の気温が40℃以上にもなるので、換気に十分注意する必要がある。

VI 引用文献

- 1) Harter, L.L. & Whitney, W.A. 26; J. Agr. Res., 32, 1153-1160 (渡辺和之作物の生態生理 文永堂 (1984) より引用)
- 2) 中谷 誠・小柳敦史・渡辺 泰 1986. サツマイモ苗の発根に及ぼす地温の影響. 第1報 苗の発根の最適温並びに高地温が発根と根の生理的・形態的特性に及ぼす影響. 日作紀 55: 208-216.
- 3) ————・—————・————— 1989. 第2報 苗の発根最適地温並びに低地温での発根能力の品種間差異. 日作紀 58: 35-41.
- 4) ————・—————・————— 1988. サツマイモ苗の取り置きに関する研究. 第4報 低地温並びに低土壌水分下での苗の発根に及ぼす取り置きの影響. 日作紀 57: 464-469.
- 5) 坂井健吉 1975. 農業技術体系作物編5. 農山漁業文化協会 東京. 基15.
- 6) 志賀敏雄 1983. 最近の甘しょの需給と栽培の問題点 (1) 農及園 58: 157-160.
- 7) ————・坂本 敏・安藤隆夫・石川博美・加藤眞次郎・竹股知久・梅原正道 1985. かんしょ新品種「ベニアズマ」について. 農研センター研報3: 73-85.
- 8) 樽本 勲 1987. 農業技術体系作物編5. 農山漁業文化協会 東京. 技73-76

野菜類と普通作物による低湿地帯の 田畑輪換栽培に関する研究^{*}

第3報 有機物施用による作土層の気相率の増加

幸 田 浩 俊

Studies on Rotation of Vegetables, Common Crops and Rice in Meadow Paddy Field (Gley Soils)
Part III Increase of Soil Air Capacity by Application of Organic Matters

Hirotooshi KOHDA

要 約

輪換畑において、湿害の軽減をはかるために新鮮有機物施用の効果を検討した。

- 1) 少量施用でも作土層の気相率・孔隙率を増加させる効果を示したのは稲わら・麦稈で、その持続性は麦稈の方が高かった。
- 2) 藁稈類施用により、基肥窒素施用量の少ない野菜では窒素飢餓のために減収し、多い野菜では増収した。藁稈類施用時に添加する窒素量を求めたところ、有機物のC/N率が約 になる量を添加すればよいことが判明した。
- 3) これらの結果をもとに、高畦栽培より有機物施用による土壌物理性の改善を行った平畦栽培の方が有利なこと、連年施用する場合はある時期から窒素添加量を減じる必要があることなどを考察した。

目 次

I 緒 論	84	4 麦稈施用時の窒素添加による窒素飢餓軽減	85
II 材料および方法	84	III 結 果	86
1 各種有機物の施用が作土の孔隙率・気相率に 及ぼす影響	84	1 各種有機物の施用が作土の気相率・孔隙率 に及ぼす影響	86
2 有機物施用による作土の孔隙率・気相率増加 効果の持続性	85	2 有機物施用による作土の孔隙率・気相率増加 効果の持続性	86
3 稲わら施用効果の野菜の種類間差異	85	3 稲わら施用効果の野菜の種類間差異	88
		4 麦稈施用時の窒素添加による窒素飢餓軽減	89

この研究は1973年から1975年までは県単費課題「地下水位の高低と作物の生育・収量」、1976年から1979年までは農林水産省総合助成課題「田畑輪換圃場の透水性改善と地力増強による水稻・野菜の増収に関する試験」、1980年からは「田畑輪換による麦類・大豆の連作害軽減対策技術の確立」として竜ヶ崎試験地において行った試験の結果をまとめたものである。

- 1) ダイズ 2) スイカ 3) カボチャ
4) メロン 5) ハクサイ

IV 考 察 93
1 高畦栽培に対する有機物施用による気相率増
加栽培の有利性 93
2 麦稈施用による窒素飢餓とその対策 94
V 摘 要 95

I 緒 論

作物はその種類や栽培環境によって根の張りかたが異なり^{9,25,26,36)}、それに伴って必要とする作土層の厚さにちがいがあがるが、正常な生育をするには15~20cmの厚さが必要とされている^{33,34)}。また畑作物では作土層の気相率が小さいと生育障害をひきおこすため、20~30%の気相率を保つように、作土層が管理される場合が多い³²⁾。

竜ヶ崎試験地の中粗粒グライ土において、作土15~20cm層の気相率は、地下水位30cmのときで約10%、50cmに低下してもなお約17%で、望ましい状態に比べ小さい。

作土層の気相率は地下水位と密接な関係を持ち¹⁴⁾、地下水位が上昇すると気相率は急激に小さくなるため、春から秋にかけての夏作期間においては、作土層の一時的過湿によって作物収量が低下する事例も少なくない。

湿害回避には、圃場の排水性向上と透水性良化などの農業土木的対策の他に、作土層の孔隙率・気相率の増大化など目的にした栽培法の改善も必要になる。湯村³⁵⁾は、鉈質土壤に有機物を施用した場合の影響を調査し、団粒形成に及ぼす有機物の影響は腐植が少ない土壤で大きく、養分的効果を別にすれば腐植度が低い粗大有機物の方が大きく影響し、その効果は毎作100~200kg/a以上施用したときに認められ、これによって土壤の固相率は減少し孔隙率は増加し透水係数も上昇し、排水性がよくなることをみた。また、堆肥の多施用によって作物の耐湿性が高まることを報じたもの^{6,15)}もある。

従来の湿地や鉈質畑の実験結果^{2, 11, 18, 19, 20, 27, 32)}から考察すると、有機物施用による土壤物理性改善効果

を期待するにはかなり多量の施用(1年2作として400kg/a以上の堆肥)が必要と思われるが、水田農家が実用的に施用しうる有機物の量には限界がある。

そこで有機物の施用量を100kg/a以下とし、農家が入手しやすく、かつC/N率が中程度の有機物を施用したときの作土層の孔隙率・気相率の増加と作物生産を調査し、鉈質土壤輪換畑での有機物施用による作土の管理法を検討することにした。

本試験は以下の4つに細分して実施した。

実験1 C/N率が約240と高いオガクズなどは土壤に連用したときの窒素の有機化が問題になり、C/N率が20以下の青刈り作物などの有機物は分解が速やかであるために土壤物理性改善効果を期待できない^{1, 5, 28)}ので、中程度(C/N率45~130位)の稲わら、麦稈、籾がら、トウモロコシの茎葉を用いて、その施用量が作土の気相率・孔隙率とキャベツの収量に及ぼす影響をみた。

実験2 実験1で有望とみられた有機物について、作土層の気相率・孔隙率増加の持続効果を検討した。

実験3 有望とみられた有機物の一つ稲わらを用い、作土の孔隙率・気相率増加の収量への影響を各種野菜で検定した。

実験4 作土の気相率増加資材として稲わらや麦稈を利用するとき起こる窒素飢餓を軽減する対策を検討した。

その結果、いくつかの知見を得ることができたので、ここに報告する。

II 材料および方法

1 各種有機物の施用が作土の孔隙率・気相率に及ぼす影響(1974年)

1) 圃場前歴、有機物の種類と施用量

松ソダ被覆土管暗渠施工2年目(畑輪換2年目)の中粗粒グライ土圃場(竜ヶ崎試験地2号圃)で行った。稲わら・麦稈(六条オオムギ稈)・トウモロコシの茎葉および籾がらを用い、前三者の施用量はそれぞれ0, 30, 60, 90kg/a(風乾重)、籾がらは0, 20, 40, 60kg

／aの4段階とし、1区6m×4mの2ブロック制とした。

2) 供試作物と耕種概要

これらの有機物と消石灰 15kg/a を1974年7月30日に施用した。キャベツは“輝”を用い、7月17日に播種、8月15日に定植し10月27日に収穫した。施肥量は基肥がN:P₂O₅:K₂O=1.2:2.0:1.2kg/aで、定植後2週間目と4週間目にそれぞれ0.6:0:0.6kg/aを追肥した。

3) 孔隙率・気相率の測定

孔隙率・気相率は地下水位が約30cmのとき、作土5-10cm、15-20cmの2層にわけて4地点から100mlの採土円筒に採取し、常法に従って測定した。

2 有機物施用による作土の孔隙率・気相率増加効果の持続性(1975年)

1) 圃場前歴、有機物の種類と施用量

輪換畑3年目(松ソダ被覆土管暗渠施工後3年目)の、暗渠排水によってグライ土が灰色土に変化した中粗粒灰色土圃場(竜ヶ崎試験地2号圃)を用い、1975年3月25日に稲わらまたは麦稈(六条オオムギ稈)を0, 30, 60, 90kg/a施用しロータリでうない込んだのち、稲わら区にメロンを、麦稈区にスイカを定植した。またこの跡地にそれぞれキャベツを栽培した。

2) 供試作物と耕種概要など

スイカは縞王を3月20日播種、ユウガオ台に割り接したのち、5月1日に定植(トンネル栽培)した。施肥量はN:P₂O₅:K₂O=0.5:1.5:0.5kg/aを基肥とし、着果後果実がテニスボール大になったとき0.5:0:0.5kg/aずつ2回追肥した。畦幅300cm×株間100cmに定植し、3本整枝1株3個着果を目標に人工授粉した。収穫期は7月15日-28日であった。

メロンはプリンスメロンを3月25日に播種、白菊座に呼び接ぎした苗を5月1日、畝幅300cm×株間100cmに定植(トンネル被覆)した。施肥量はN:P₂O₅:K₂O=1.0:1.8:1.0kg/aを基肥とし、5月下旬と6月上旬の2回、各0.5:0:0.5kg/aを追肥した。主枝を1株当たり4本に整枝し株8個着果を目標に人工授粉

した。収穫期は6月30日-7月30日であった。

キャベツは輝を用い、7月17日播種、8月15日に4葉苗を畝幅60cm×株間40cmに定植した。基肥量および追肥量は実験1と同じとした。収穫期は10月27日-30日であった。気相率・孔隙率の測定は常法に従った。

試験区の配置はブロックを2つ設け、稲わら施用区と麦稈施用区で第1次分割し、それらを施用量で第2次分割した分割区法(1区面積3m×6m)を用いた。

3 稲わら施用効果の野菜の種類間差異(1974~75年)

1) 供試作物

1974年-75年の2年間、松ソダ被覆土管暗渠施工後2-3年目の圃場(竜ヶ崎試験地1・2号圃)において、スイートコーン・ハクサイ(春播と秋播中晩生)・レタス(春まきと秋播トンネル)・キャベツ(極早生)・ピーマン・ナス・トマト・キュウリ・メロン・スイカ・カボチャ・ラッキョウを栽培した。堆肥施用量や施肥量は茨城県耕種基準⁷⁾に従った。

2) 試験区の構成

試験区の構成はつぎのようである。明渠の水位を変えることにより地下水位を地表下25cmに保持することを目標にした圃場(1号圃)と50cmに保持することを目標にした圃場(2号圃)に分け、各野菜ごとに基準量の堆肥を施用したのち稲わらを施用した区と施用しない区を設けた。一部の野菜には、堆肥無施用稲わら施用区と堆肥倍量施用区を設けた。1区面積は6m×6m、又は3m×6mとした。

4 麦稈施用時の窒素添加による窒素飢餓軽減(1978~79年)

1) 1978年

1978年には、畑2年間・水田1年間の後、再び輪換畑にして3年目の前歴を持つ中粗粒灰色土圃場(竜ヶ崎試験地3号圃)を用いた。これは、粉がら壁暗渠に弾丸暗渠(深さ30cm)を2m間隔で直交させた組み合わせ暗渠を施工し、3年目にあたる圃場である。各作物を定植する7日前に、納屋に保管したコムギ稈(C/N率約127)を約15cm長に切断し、風乾重で100kg/a(乾物

重で約78kg/a)を全面散布し、窒素をコムギ稈1kg当たり0, 2, 4, 6, 8, 12gの割合で硫酸を散布したのちロータリでうない込んだ。なお、そのほかに有機物無施用区と堆肥施用(200kg/a)区を設けた。供試作物には基肥窒素施用量が0.5kg/aと少ないスイカ(ユウガオ台接木)・カボチャ, 0.7kg/aとやや多いメロン(自根), 1.5kg/aと多いハクサイを用いた。1区面積はスイカとカボチャは3m×4m, メロンは2.1m×6mとし、ハクサイはスイカ・カボチャの跡作で1区6m×4mとし、反復は設けなかった。

2) 1979年

1979年には、畑3年間・水田3年間後の輪換畑初年

目圃場(2号圃)を用いた。土壌はグライの影響がのこる中粗粒灰色土で、暗渠は粉がら壁暗渠(施工後4年目)に粉がら充填トレンチ暗渠を4mで直交させた(施工1年目)組み合わせ暗渠である。ここにC/N率約60のカシマムギの稈を約15cm長に切断し、6月13日に風乾重で100kg/a施用した。硫酸を用い、窒素としてカシマムギの稈1kg当たり0, 3, 6, 9, 12, 15gを添加したのちロータリですき込み、ダイズを播種した。1区面積は3×4mとし反復は設けなかった。

供試作物の耕種概要は第1表の通りである。

実験の結果は第1報¹⁾で述べた折れ線モデル²⁾をあてはめて解析した。

第1表 実験4の供試作物と耕種概要

作物名	品 種 名	播 種 日 定 植 日	栽植様式	整枝法	定植苗の特徴	基肥量(kg/a)	追肥量(kg/a)
スイカ	縞 王	1978.4.28	300×100	3本	ユウガオ台5葉止	0.5:1.5:0.5	1.0:0:1.0
カボチャ	近 成 芳 香	4.28	300×50	3本	自 根4葉止	0.5:1.5:0.5	1.0:0:1.0
メロン	プリンスメロンFR	4.28	210×90	3本	自 根5葉止	0.7:1.5:0.7	1.0:0:1.0
ハクサイ	王 将	9.10	75×45	-	練床育苗4葉	1.5:2.0:1.5	1.0:0:1.0
ダイズ	ア イ サ	1976.6.20	50×101粒播	-	-	0.3:0.5:0.5	-

III 結 果

1 各種有機物の施用が作土の気相率・孔隙率に及ぼす影響

各種の有機物施用と作土が気相率・孔隙率の増加結果は第2表のとおりである。

いずれの有機物も作土の孔隙率の増加をもたらしたが、稲わらと麦稈(六条オオムギ稈)は施用量が30kg/a程度でも孔隙率は無施用の40%増、気相率は無施用の20-30%増になるのに比べ、トウモロコシの茎葉では施用量が少ないこと孔隙率・気相率の増加は小さく、60-90kg/aの施用で大きく増加した。これに対し、粉がらは施用量が増すにつれて孔隙率は増加したが、気相率は逆に低下した。

キャベツの収量はこのような傾向を反映して、稲わら・麦稈・トウモロコシの茎葉を施用すると、収穫可能株率

が高くなり個体生育もよく増収した。しかし、粉がらを40kg/a以上施用した区では収穫期前7日の30mm/日の降雨によって湿害を受け3日目から日中は外葉が張りや失うようになり、結球緊度は弱まり、減収した。

2 有機物施用による作土の孔隙率・気相率増加効果の持続性

実験の結果は第3, 4表のとおりである。

麦稈の施用量が多くなると、スイカのつるの伸びが悪く節数も少なくなった。90kg/aを施用したところでは、スイカの葉は黄化し小さくなり、土壌中の硝酸態窒素はTr程度で無施用区より明らかに少なくなった。麦稈を施用した各区ではいずれも果実がテニスボール大になってからの落果が増加したため、麦稈30kg/aの施用量でも減収した。麦稈施用3ヶ月後の7月初旬に気相率・孔隙率を調査したが、それによると深さ20cmまでの作

野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

第2表 有機物施用と作土の気相率・孔隙率 (1974)

有機物の種類 と施用量(kg/a)	気相率 %	孔隙率 %	無施用に対する比率		キャベツの収量		キャベツの収穫可能株率		
			気相	孔隙	kg/a	比率	%	比率	
稲わら	0	21.3	61.5	100	100	201	100	33.5	100
	30	27.5	63.0	129	102	300	149	47.8	143
	60	28.2	64.0	132	104	306	152	48.1	144
	90	30.6	64.5	144	105	307	153	50.3	150
麦稈 (六条オオムギ)	0	22.8	62.4	100	100	251	100	40.2	100
	30	27.4	63.7	120	102	353	141	55.7	139
	60	29.3	64.3	129	103	354	141	57.6	143
	90	31.4	65.1	138	104	355	141	56.3	140
トウモロコシ 茎葉	0	20.5	61.8	100	100	243	100	37.2	100
	30	22.3	62.7	109	101	333	137	53.6	144
	60	23.5	64.1	115	104	351	144	57.9	156
	90	27.6	65.3	135	106	342	141	56.3	151
芻がら	0	20.9	62.4	100	100	211	100	35.1	100
	20	18.8	64.1	90	103	260	123	42.7	122
	40	17.5	65.2	84	104	160	76	31.4	89
	60	15.5	69.1	74	111	125	59	20.8	59

注) 施用量は風乾重, 気相率・孔隙率は地下水位 30cmのときの作土 5-10cm 層のデータ, 収穫可能株とは, 市場性を有する株を示す。

第3表 麦稈を施用したときのスイカの生育と跡作キャベツの生育 (1974~75)

麦稈の 施用量(kg/a)	第1作スイカの収量		作土5-10cm層・7月初旬*		第2作キャベツの収量		作土5-10cm層・10月初旬**	
	a 当上物収量	平均果重(kg)	気相率(%)	孔隙率(%)	第1ブロック	第2ブロック	気相率(%)	孔隙率(%)
0	351	4.58	28.0	60.0	275	460	24.7	59.3
30	264	5.28	30.0	61.3	295	475	28.6	60.5
60	255	4.03	32.5	62.7	415	486	29.8	61.1
90	238	4.21	34.2	64.2	420	500	30.4	62.3

注) * 地下水位 30cmのとき測定

** 地下水位 28cmのとき測定

土層では気相率・孔隙率ともに増加し, 90kg/a を施用すると作土 15-20cm 層でも孔隙率は 60% に近く, 気相率も 19% になった。

麦稈施用 6 ヶ月後のキャベツ栽培期間中にも孔隙率・気相率を調査したが, 60kg/a 以上を施用したところでは気相率が無施用の 2 割以上増加し, 作土 15-20cm 層の孔隙率は第 1 作目と大差なく気相率も約 18% を確保

していた。

表面水が排除しきれず残る傾向があった第 1 ブロックでは収量が低かったが, このような場所でも麦稈を 60cm 以上施用した跡地では, 無施用の 50% 増の 400kg/a を超える安定した収量をあげた。湿害を受けなかった第 2 ブロックは麦稈無施用跡でも高い収量をあげたが, 麦稈を施用した跡地ではさらに高い収量になった。

第4表 稲わらを施用したときのメロンの生育と跡作キャベツの生育 (1974~75)

稲わらの 施用量(kg/a)	第1作メロンの収量		作土5-10cm層・7月初旬		第2作キャベツの収量		作土5-10cm層・10月初旬	
	a 当上物収量	平均果重(kg)	気相率(%)	孔隙率(%)	a 当上物収量	収穫可能株率	気相率(%)	孔隙率(%)
無施用	157	502	28.2	60.4	402	74.5	22.1	59.1
30	149	498	29.7	60.9	497	81.3	23.9	60.7
60	115	509	30.9	62.1	489	82.7	24.9	60.1
90	91	479	33.6	63.7	516	84.6	25.6	61.8

注) * 地下水位 30cm のとき測定
 ** 地下水位 25cm のとき測定

稲わら施用量が 60kg/a 以下の場合、5月中旬(定植2週間後)までのメロンの生育には差が認められなかったが、90kg/a を施用した区ではメロンの生育は遅れはじめ葉が黄化するなど窒素飢餓症状を示した。さらに、果実肥大期に入ると 60kg/a 施用区でもつるの伸びが停止し萎凋する幼果が増加した。このため稲わら施用量が 60kg/a 以上の区で収量低下が顕著であった。稲わら施用による作土層の孔隙率・気相率の増加程度は、施用後1作目では麦稈施用の場合とほとんど同じであった。施用6か月後の第2作目への残効をみると、孔隙率・

気相率は無施用区より稲わら施用区がやや高かったが、麦稈施用跡よりも区間差は小さかった。

以上のことがらから、稲わらよりも麦稈施用のほうが作土の孔隙率・気相率増加の効果が大きく、施用量を 60kg/a 以上にすれば第2作目に対しても効果があり、年1回の施用でも湿害回避効果をもたらすことが判明した。しかし、稲わらや麦稈の施用量によっては、窒素飢餓が起こることも明らかになった。

3 稲わら施用効果の野菜の種類間差異
 結果は第5表のとおりである。

第5表 稲わら・堆肥などの有機物施用と野菜の収量(要因効果) (1974~75)

作物名	スイートコーン	ハクサイ	ハクサイ	レタス	レタス	キャベツ	ピーマン	ナス	トマト	キュウリ	メロン	スイカ	カボチャ	
作型等	普通	中晩生	春播	秋播トンネル	春播	極早生	普通	早熟	露地抑制	露地ネット	トンネル	トンネル	トンネル	
堆肥施用量(kg/a)	100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
基肥窒素量(kg/a)	2.0	1.3	1.5	2.0	1.0	1.3	1.5	1.5	1.2	1.3	1.0	0.5	0.5	
A 地下水位	25cm	80	640	411	394	209	343	408	352	958	455	124	456	273
	50cm	123	705	548	441	346	412	455	376	1,360	380	163	486	392
有意水準 A (α =)	0.01	0.10	0.25	0.10	0.05	0.10	N. S	N. S	0.05	0.10	0.05	0.25	0.05	
B 有機物施用														
1 堆肥	85a	567	486	378a	247	330	455	365	1,026	417	128	367b	323b	
2 堆肥 + 稲わら 30kg/a	126b	779	474	438b	308	425	408	364	1,216	418	148	453b	255a	
3 稲わら 30kg/a	119b	-	-	-	-	426	-	366	1,032	409	124	246b	210a	
4 堆肥倍量	-	-	-	437b	-	-	-	-	1,235	420	153	593c	420c	
有意水準 B (α =)	0.01	0.01	N. S	0.05	N. S	0.05	N. S	N. S	0.10	N. S	0.10	0.05	0.05	
交互作用 (A × B / α =)	N. S	N. S	0.10	N. S	0.05	N. S	0.10	N. S	N. S	N. S	N. S	N. S	N. S	

注) ピーマンは疫病のために低収、ナスは8月中旬までの収量、単位はいずれも kg/a

スイートコーン、中晩生ハクサイ、秋播トンネルレタス、極早生キャベツは、稲わら施用によって増収した。

春播レタス・春播ハクサイ・ピーマンでは地下水位によって稲わら施用による収量の動きが異なり、地下水位25cm区では稲わら施用によってやや減収したが、50cm区では逆に増収した。

ナスでは地下水位や稲わら施用による収量変化が少なかった。トマト・メロンは地下水位50cm区で、キュウリは地下水位25cm区で高収を示し、稲わら30kg/aの施用は堆肥200kg/aを施用したときとほぼ同程度の効果を示した。しかし、スイカとカボチャは堆肥を施用せずに稲わらだけを施用すると30kg/aというわずかな量でも著しく減収し、カボチャは堆肥200kg/aと同時に施用しても堆肥標準量施用区より減収した。このときのカボチャ葉中の全窒素と土壌中の硝酸態窒素を分析した結果によると、堆肥標準量施用区の葉2.00%・土壌1.2-2.3mg/100g、堆肥+稲わら区の葉1.60%・土壌0.7-2.0mg/100g、稲わら単用区の葉1.20%・土壌0.5-1.2mg/100g、堆肥倍量施用区の葉2.60%・土壌2.3-3.8mg/100gであり、稲わらを施用した作土5-10cm層の硝酸態窒素の著しい減少と葉中全窒素の減少が目立った。以上のように、稲わらを堆肥とともに施用したときは、カボチャを除く他の作物では堆肥標準量施用区より増収した。また、稲わら単用のときは基肥窒素施用量が多い野菜では増収したが、基肥窒素施用量が1.0-1.5kg/aの野菜は堆肥施用区とほぼ同水準の収量で、0.5kg/aと少ない野菜は著しく減収することが判明し、これらに対する窒素増肥等の検討が必要と考えられた。

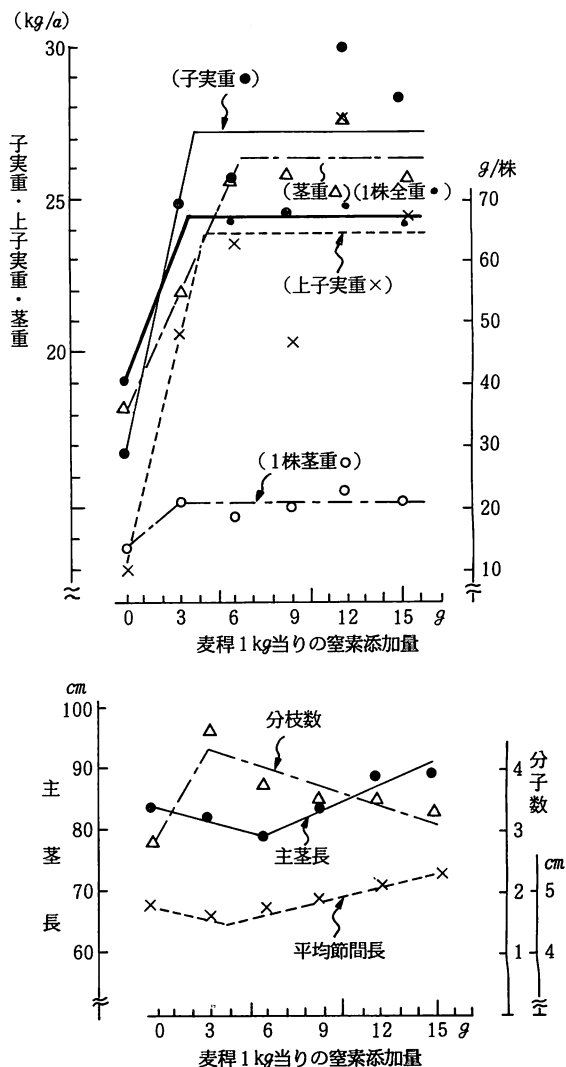
4 麦稈施用時の窒素添加による窒素飢餓軽減

1) ダイズ

出芽はおおむね順調であったが、施用麦稈が集積しているところでは、発芽不良になったため、初生葉展開期に補植を行った。4葉期の生育は麦稈1kg当たり窒素添加量6g以下ではやや草丈が短く、葉色が淡く、12g以上ではその逆になった。立枯病の発生はみられず、欠株率も5~7%で窒素添加量による差は認められなかった。開花始めは各区ともそろっており、9月下旬からの記録

的な長雨にもかかわらず、立枯れ性病害の発生株率は12~15%と例年並みであった。収穫時の健全株率は各区とも77~81%と、ほぼ一定であった。なお、有機物を施用したときに多発しダイズを加害するタネバエ防除のためにダイアジノン散布後播種した。

生育・収量調査の結果は第1図、第6表のとおりである。



第1図 窒素の添加量とダイズの生育・収量 (1979)

第6表 基肥窒素施用量と各形質間の関係に折れ線モデルをあてはめた場合の主要な情報 (1978~79)

作物名	特性値	勾配			折曲点の座標 X (基肥N量), Y	寄与率	N添加量の95 %信頼限界
		(1)	(2)	(3)			
ダイズ (アイサ)	発芽率	基肥N量にかかわらず			ほぼ一定		
	健全株率	同			上		
	子実重	2.67	-	-	(3.87 kg/10a, 27.2 K/a)	0.817	1.11~12.6
	上子実重	2.50	-	-	(4.37, 23.9)	0.768	-
	茎重	1.25*	-	-	(6.5, 26.4)	0.958	5.8~13.2
	100粒重	基肥N量にかかわらず			ほぼ一定		
	1株全重	7.77**	-	-	(3.36, 67.03 g)	0.986	1.9~10.8
	主茎長	-0.64	1.2491	-	(6.00, 79.9 cm)	0.939	-
	分枝数	0.51	-0.097	-	(3.00, 4.32)	0.882	-
	平均節間長	-0.83	0.0720	-	(3.71, 4.46cm)	0.925	0.8~12.6
	m ² 当節数	43.13	-	-	(3.00, 795.4)	0.775	-
	m ² 当完全さや数	140.3	-	-	(3.00, 1459)	0.911	-
	1株茎重	2.50	-	-	(3.00, 20.7 g)	0.843	2.7~9.3
	1株上子実数	基肥N量にかかわらず			ほぼ一定		
	1株全子実数	14.13*	-	-	(3.06, 138.9)	0.951	4.3~7.9
1株上子実重	3.23	-	-	(3.00, 27.1)	0.712	-	
1株全子実重	4.27	-	-	(3.61, 35.5)	0.921	3.5~9.7	
主茎節数	基肥N量にかかわらず			ほぼ一定			
スイカ	5/31主枝長	45.78**	-	-	(5.4 g, 451.4cm)	0.988	4.24~6.51
	5/31節数	2.75**	-	-	(6.5, 65.8)	0.976	5.00~8.02
	1番果収量	65.28**	-	-	(8.2, 785 kg/a)	0.965	5.92~10.40
	8/15最終主枝長	1.169*	0.8733	-	(4.0, 14.8m)	0.985	-
カボチャ	上物収量	33.78**	-	-	(8.3, 429.8 kg/a)	0.996	7.50~9.00
	メロン	16.47**	-	-	(8.0, 279.6)	0.962	-
	上物収量	14.00	-	-	(3.6, 770.4)	0.476	0~13.6

1株全重・茎重, a当たり子実重・上子実重などと、収量に直接結びつくm²当たり節数・全莢数・完全莢数・全子実数などは、窒素添加量が増すにつれて大きくなり、ある量以上ではほぼ一定になった。このときの窒素量は、各特性値間で若干の相違があり、茎重は麦稈1kg当たり6.5gと大きな値を示した。子実重は3.9g, 上子実重は4.4g, その他の特性値は3.0~3.6gの間であった。

ところが主茎長, 分枝数は上記諸特性値の反応とは異なり、主茎長では茎重とほぼ等しい6.0gの添加で最も短くなるV字型を示すのに対し、分枝数は3.0gで最も

多くなる逆V字型を示した。主茎節数は窒素の添加量に関係なくほぼ一定であったため、平均節間長もV字型になった。

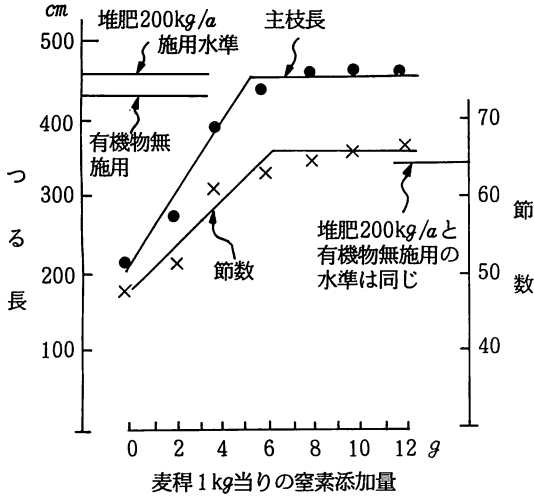
以上のように、空中窒素を固定するダイズでも窒素無添加では収量が低く、この収量低下を防ぐには麦稈1kgについて最低3gの添加が必要であった。しかし6gを添加しても茎重が重くなるだけで、収量構成要素の増加か認められなかった。したがって麦跡ダイズ栽培で麦稈をうない込むときには、麦稈1kgに対して3~4gの窒素を添加すればよいといえる。

2) スイカ

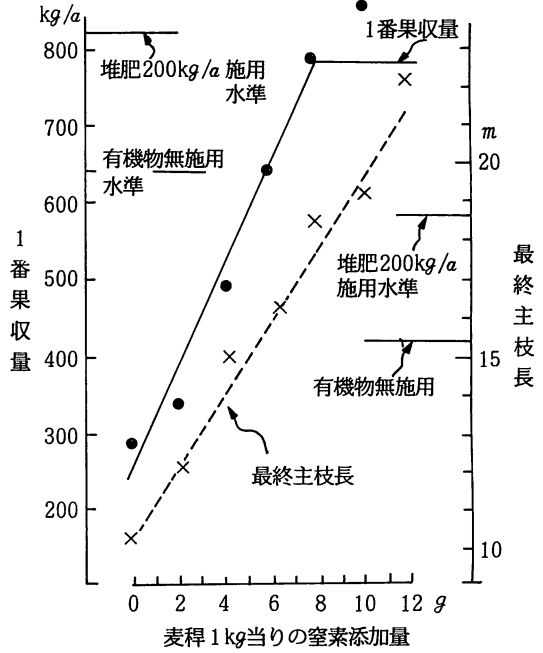
定植 14 日後には、窒素無添加区と 2 g 添加区でつるの伸びがやや悪くなり、40 日後には葉形が小さく主枝(子づる)の伸びは他の区に比べて明らかに劣り、孫づ

るの発生も少なくなった。

定植 40 日後の生育調査の結果は第 2 図のとおりである。



第 2 図 窒素添加量とスイカの生育 (1978)
(定植 40 日後調査)



第 3 図 窒素添加量とスイカの収量 (1978)

主枝長・節数は窒素の添加量がふえるに従って増加し、麦稈 1 kg 当たり 5 ~ 6 g 以上の添加でほぼ一定となった。主枝長は有機物無施用区と堆肥 200 kg/a 施用区との間には、僅かな差が認められた。麦稈施用時の窒素添加量が 4 g 以下では、主枝長は有機物無施用水準より劣ったが、5 g 以上添加すると堆肥 200 kg/a 施用水準とほぼ等しくなった。節数は有機物無施用区と堆肥 200 kg/a 施用区との間に差がなく 64 節前後であり、麦稈施用条件下でも窒素を麦稈 1 kg 当たり 6.5 g 以上添加すれば、この水準とほぼ同等の生育になった。折れ点における窒素添加量は主枝長で 5.4 g、節数で 6.5 g であった。

着果は各区とも順調で 1 株当たり平均 2.5 個の 1 番果がついたが、窒素添加量 2 g 以下ではテニスボール大の時期に萎凋するものが多く、最終着果数は 1 株当たり 1.2 ~ 1.4 個になった。麦稈 1 kg 当たり 4 g の窒素を添加

した区では萎凋落果はやや少なく着果数は 1.7 ~ 2.1 個 / 株であった。6 g 添加すると着果数は 2.4 個に増え、8 g では 2.7 個になった。10 g 以上の添加では着果数の変動幅がやや大きく 2.4 ~ 3.3 個 (平均 2.9 個) になった。

収量調査の結果と 8 月 15 日に測定した最終主枝長は、第 3 図のとおりである。

1 番果の収量がほぼ一定とみなせる折れ点の窒素添加量は、麦稈 1 kg について 8.2 g である。増収原因は、2 ~ 6 g の間は着果数の増加によるもので、6 ~ 8 g の間は平均果重の増加によるものであった。麦稈 1 kg 当たり 10 g を添加すると平均果重が 9 kg を越え、12 g を添加すると変形果が増加した。有機物無施用区と堆肥 200 kg/a 施用区の間には収量差が認められた。窒素 6 g 添加区の収量は有機物無施用水準とほぼ等しく、8 g 添加区は堆肥を 200 kg/a 施用した区の収量に近かった。

最終つる長は窒素添加量が増すと直線的に増加し、有機物無施用区は麦稈1kg当たり窒素5gを添加したとき、堆肥200kg/a施用区は9g添加したときにほぼ等しくなった。

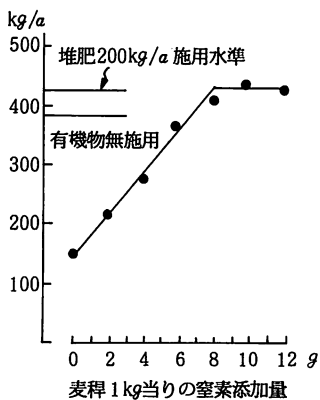
10g以上添加すると果実の肥大が不揃いになり、平均果重が過大となり、変形果がふえること、またつるが伸びすぎることから考え、スイカでの窒素飢餓を軽減する適正な窒素添加量は、麦稈1kg当たり8~9gと判断された。

3) カボチャ

定植14日後に、麦稈1kg当たりの窒素添加量4g以下の区では葉形が小さく、色も淡く、窒素飢餓症状を示した。ことに窒素無添加では生育がほとんど停止し、すでに展開終了した葉が枯れ落ちるほどの強い飢餓症状を示した。定植40日後の調査では6g添加区ではほぼ有機物無施用水準に等しい生育を示し、8g添加区では堆肥200kg/a施用区と同様の生育となった。

窒素添加量が2g以下の区では生育が極端に劣ったので、窒素追肥を他区より早く行い、1番花には授粉せずに2番花以降のものを着果させた。

カボチャの可販物収量は、第4図のとおりである。



第4図 窒素添加量とカボチャの可販物収量 (1978)

麦稈1kg当たりの窒素添加量を増すにつれて収量は高くなり、8.3g以上を添加するとほぼ一定になった。有機物無施用の収量水準は麦稈1kgに対し窒素を6g添加した区とほぼ等しく、堆肥200kg/a施用区は8g添加

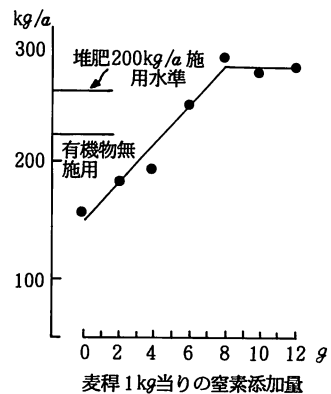
区とほぼ等しかった。添加窒素量12g区はつる伸びが旺盛すぎて、樹勢を弱めるために一般農家が行っているように雌花の先のつるを指で押しつぶしてから授粉しても落果を起こし、1番果の着果率は低下した。窒素添加量2g以下の区では前述の理由により初期収量は極めて低く、4~6g添加区では初期収穫果の平均果重が小さいため収量が低く、8~10g添加するとはじめて初期収量が高くなった。12gではつるが強勢すぎて初期収量は低く、6g添加した場合のそれとほぼ同水準であったが、2番果以後高収になったために最終可販物収量は8~10g添加区とほぼ同水準になった。

以上のことから、窒素飢餓軽減のための適正窒素添加量は、カボチャでは麦稈1kg当たり約8gであると判断された。

4) メロン

定植14日後の調査では、窒素無添加で明らかな窒素飢餓が認められた。麦稈1kg当たりの窒素添加量4g以下では、主枝3~4節の雌花が開花するころから、主枝先端近くの節間が短くなり、葉形も小さくなった。果実肥大大期に入るとつるの伸長はほとんど停止し、萎凋果・落果が増加した。6gを添加すると、こうした現象は認められず、順調に生育した。

メロンの上物収量は第5図のとおりである。



第5図 窒素添加量とメロンの上物収量 (1978)

有機物無施用と堆肥200kg/a施用との間には収量に差が認められた。窒素を6g添加した区の上物収量は、

堆肥 200kg/a 施用した区のそれとほぼ同じ水準であった。10 g 以上添加した区では1 番果の着果がやや不良になり、成熟果では果色の色ぬけが悪く、緑色が他の区に比べ濃く、6~8 g 添加区より品質が劣った。

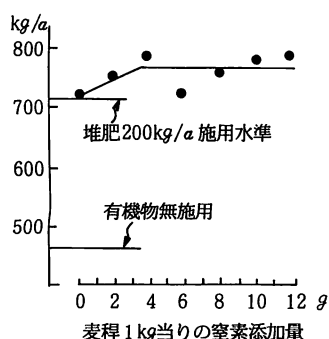
上物収量がほぼ一定になる窒素添加量は、麦稈 1 kg 当たり 8.0 g であったが、収量水準および品質維持からみて窒素飢餓軽減のための適正な窒素添加量は、メロンでは 6~8 g と判断された。

なおこの試験では最も基肥窒素量が少ないプリンスメロンFRを用いた。普通種のプリンスメロンのように 1.0kg/a の基肥窒素を施用するものでは、窒素添加量をこれより減らすべきであろう。

5) ハクサイ

基肥窒素施用量が多いハクサイでは、麦稈 100kg/a を施用した場合窒素無添加でも何らの障害を起さず、堆肥 200kg/a 施用区とほぼ等しい生育を示した。定植 1 か月後の葉の開張や葉数は、有機物無施用ではやや劣ったが、麦稈施用した場合の窒素添加量による差は認められなかった。収穫可能株率は有機物無施用区の 74% に対し、麦稈を施用すると 93~97% の高率になり、結球重 3 kg 以上の株の占める割合は有機物無施用では 51%、麦稈を施用した各区では 76~81% と高まった。上物平均結球重も有機物無施用の 3.08kg に対し、麦稈施用の各区では 3.32kg と大きくなった。

収量調査の結果は第 6 図のとおりである。



第 6 図 窒素添加量とハクサイの収量 (1978)

麦稈 1 kg 当たりの窒素添加量 3.6 g 以上で、ハクサイの上物収量はほぼ一定になったが、基肥窒素施用量が多いハクサイで麦稈施用量が 100kg/a 程度であれば、窒素飢餓軽減のための窒素添加は、特別考慮しなくてさしつかえないと判断された。

IV 考 察

1 高畦栽培に対する、有機物施用による気相率増加栽培の有利性

栽培法による湿害回避の代表的手段に、高畦栽培^{3,8,23,25,37)}がある。この方法は、①みかけ上の地下水位を低下させ、高畦内部の気相率を高め透水性を良好にして湿害を回避する②乾土効果や溝跡土壌の酸化促進などにより跡作水稻が増収するなどの効果があるため、湿地地帯では広く行われていた。

著者らの調査によれば、高畦内部の孔隙率や気相率の増加により、畑作物はみかけ上の地下水位が低下する以上に増収するが、その増収程度は作物によって異なっていた^{10,13)}。すなわち、キュウリ (89 本/a) ・スイカ (33-37 本/a) ・カボチャ (67 本/a) などのように栽植密度が疎い野菜は、畦溝部があっても単位面積当たり栽植本数を確保できるので、高畦による個体生育の良化が面積当たり収量の増加につながるが、ハクサイ・ブロッコリ・ハナヤサイ (共に 296 本/a) ・キャベツ (417 本/a) ・タマネギ (2,780 本/a) のような野菜は、畦溝部に作付けることができないために栽植本数が減少し、必ずしも増収につながるとはいえない。

本試験が示したように、稲わらや麦稈を 60kg/a 程度施用すると、作土 5~10cm 層の孔隙率・気相率は、無施用よりそれぞれ 2~3%、6~7% 増加したが (第 2 表)、これは、中粗粒土壌では地下水位をほぼ 10~15cm 低下させたのに相当する¹⁴⁾。

原土面より 10~15cm 盛り上がった高畦を作る労苦を考えると、葉根類をすき込むだけで高畦と同等の孔隙率・気相率を持つ作土を栽植本数の減少を伴わずに造成できる利点は、大きいものがあるといえよう。

孔隙率・気相率といった土壌の物理性は母材・地形・

気候・植生など自然的要素の歴史的累積結果である。たとえそれが有機物含有量と密接な関係にあるとしても、単に有機物を施用しさえすれば物理性を改善できるということにはならないことは論を持たない。土壤に施用された有機物が分解されて跡地に集積する程度は、粘土鉱物や土性などによって異なり、1:1型粘土鉱物は2:1型より集積率は著しく低いとされている。したがって、多量の有機物を一時に投入しても改善された物理性を長期間にわたって維持することはできない。連用し続けることが大切になる。

2 麦稈施用による窒素飢餓と、その対策

土壤に施用した有機物は、土壤微生物の働きにより分解されるが、このとき微生物は有機物中の炭素（主に炭水化物）を利用する。微生物の体を構成している物質の比率はほぼ一定で、約50%が炭素、窒素は細菌で約10%、糸状菌・放線菌で約5%とされている^{4,5)}。施用した有機物中に十分な窒素が含まれていれば、微生物はこの窒素を菌体構成に利用して増殖するが、窒素含有量が相対的に少ないと、土壤中の窒素を菌体形成に利用するため、作物が利用できる窒素は一時的に急激に減少することになる。このため作物は窒素欠乏によって生育が不良になり、いわゆる窒素飢餓を起こしてしまう。有機物のC/N率が33以上、または窒素濃度が1.2%以下であると土壤窒素の有機化がおこるとされている¹⁾。

本試験で明らかにしたように、こうした窒素飢餓は基肥窒素施用量が少ない野菜類で起こりやすく、これを防ぐための窒素適正添加量も、野菜の種類によって異なっていた。

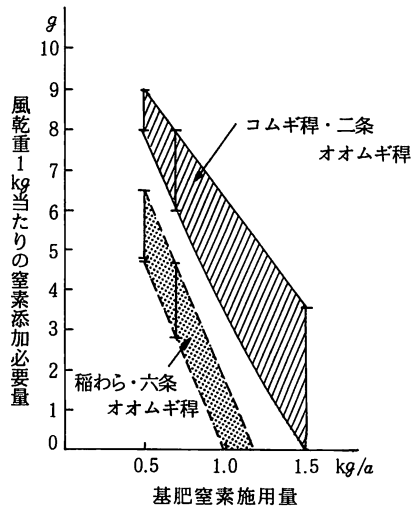
麦稈 100kg/a 施用時（麦稈の全窒素は0.33%、C/N率は127、乾物重は78kg/aに相当する）の適正窒素添加量は、スイカ・カボチャで0.8-0.9kg/a、メロンで0.6kg/a、ハクサイで0kg/aであり、これに各作物の基肥窒素施用量を加えると施用窒素量はスイカ・カボチャで1.3-1.4kg/a、メロンでは1.3kg/a、ハクサイでは1.5kg/aになる。風乾した麦稈100kgの中には窒素0.26kgが含まれており、これらを加えて麦稈の全炭素約42%（全炭素量32.8kg）からC/N率を求めると、

スイカ・カボチャで19.8-21.0、ハクサイでは18.7になり、ほぼ約20とみなせる。つまり基肥窒素を加えて施用した有機物のC/N率が20になるように窒素を添加すれば窒素飢餓は回避できるといえる。

川村らは、四国の鉱質畑土壌におけるチガヤ（C/N率80）を利用した透水性促進と土壤水分保蓄などの土壤保全の効果を検討した¹²⁾。そのなかで氏は、チガヤを土壤施用し基肥窒素を増肥することによりコムギの収量が多収安定化することを明らかにしたが、その場合も基肥窒素を含めたチガヤのC/N率は19.7であった。

微生物による有機物の分解は地温や降水量によって著しく異なるが^{17,21,28)}、露地野菜定植期の地温は各地域で大差はないので、この場合、地温はあまり問題にしなくてもよいと思われる。したがって鉱質土壌であれば、施用した藁稈類のC/N率が約20になるように基肥窒素を含めて窒素を添加するという一応の基準は、冷涼な地域でもあてはまりうと思う。

本試験結果をもとに、基肥窒素施用量と窒素添加必要量の関係を図示したものが第7図である。



第7図 基肥窒素施用量と麦稈・稲わら施用時の窒素添加必要量

(コムギ、二条オオムギ稈のC/N率は約123 Nは0.33%、六条オオムギ稈のC/N率は約74 Nは0.54%、稲わらのC/N率は約60 Nは0.66%として計算した。)

稲わら・二条オオムギ・六条オオムギのC/N率から計算して得た関係曲線をあわせて記入した。この図をもとに、新鮮な藁稈類を施用して各種の畑作物を鉾質土壤輪換畑で栽培するときの添加すべき窒素量を、基肥窒素施用量から大ざっぱに求めることができよう。

もちろんこうした曲係曲線があてはまらない作物もある。根粒菌によって固定される窒素を利用し、施肥窒素は0.3kg/aと少ないサイズでは、適正な窒素添加量は風乾麦稈1kg当たり3~4gであったし、ラッキョウは通常基肥として窒素施用は行わないが、稲わらを30kg/aほど施用しても減収はしない。したがってこの関係曲線を外挿することは避けなければならない。

またC/N率が低い新鮮有機物を施用すると、土壤細菌を含む微生物が急激に増殖するが、激しい増殖は、2週間後にはおさまり、1か月後には安定状態に達することが知られている¹⁶⁾。この急激な増殖期にピシウムがふえると作物根の懐死をひき起こす³¹⁾。C/N率が比較的高い藁稈類ではこうした作用は軽く¹⁶⁾、むしろピシウムに拮抗的に働く糸状菌や放線菌が増加するが^{4,11,28)}、施用直後は有機物の分解過程で生育阻害物質が放出される³⁰⁾ので、有機物施用後2週間以上経たあとで作物を播種・定植することが望ましい。

土壤に施用した有機物中の窒素の後作物による利用率は、有機物の種類や後作物の種類によって異なる^{22,28)}。一般にコムギ稈は加里肥効に比べ窒素肥効は少なく、土壤施用の効果は施肥窒素や土壤窒素の有機化・無機化への影響を通して、その効果があらわれるとされている²⁸⁾。しかし、堆肥を連用すると、その分解率は施用量が多い程高くなり³⁸⁾、また著者がコムギ稈100kg(風乾重)に窒素0.8kgを添加し毎年施用してスイカを栽培したところ3年目にはやや草勢が強くなりすぎる傾向を観察しているので、コムギ稈といえども窒素を添加して連用する場合は、無機窒素の生成を考慮する必要があると思われる。

謝 辞

茨城県農業試験場土壤肥料部長 酒井一氏には、本試

験の遂行に貴重な助言をいただき、竜ヶ崎試験地の作業員と臨時職員の方々には作物栽培の手助けをしていただいた。農業研究センター総合研究官 高橋均博士、農業試験場作物部長 石原正敏氏には御校閲の労を賜った。記して深甚の謝意を表するしだいである。

V 摘 要

輪換畑では暗渠施工と強制排水を組み合わせることで地下水位を低下させても、集中的豪雨のあとは急激に地下水位が上昇し、一時的な麦稈の過湿状態によって作物の収量が低下するケースが多い。そこで、作土層の孔隙率・気相率を増加させることは地下水位を下げることと同じ効果を持つと考え、湿害の軽減をはかるために新鮮有機物施用の効果を検討した。

1) 稲わら・麦稈(六条オオムギ稈)・トウモロコシ茎葉・粉がらを施用し、気相率・孔隙率の増加をみた結果、少量施用でも効果があるのは稲わらと麦稈であった。

2) この2種類の藁稈類は、60kg/a以上施用すると次の作まで気相率・孔隙率の増加効果が持続した。持続性は麦稈の方が高かった。

3) こうした藁稈類の施用による増収効果は、野菜の種類によって異なった。葉菜類(キャベツ・ハクサイ・レタス)は増収し、果菜類のうち基肥窒素施用量が1.2kg/a以上のピーマン・ナス・キュウリ・トマトは増収又は堆肥200kg/a施用と変わらない程度の収量であったが、基肥窒素施用量が1.0kg/a以下のメロン・スイカ・カボチャは減収し、その程度は基肥窒素施用量が少ない作物ほど著しかった。また初春に定植する作物(春播ハクサイ・春播レタス・ピーマン)は地下水位が高いと稲わら施用によって減収し、地下水位が低いと逆に稲わら施用により増収した。

4) 基肥窒素施用量が少ない作物で起きる窒素飢餓を軽減するため、スイカ・カボチャ・メロン・ハクサイ・ダイズを供試して麦稈施用時の窒素添加適量を検討したところ、根粒菌によって固定される窒素を利用するサイズを除いて、基肥窒素を加えて施用した有機物のC/N率が約20になる量を添加すればよいことが判明した。

5) これらの結果をもとに、高畦栽培より有機物施用による物理性改善を行う平畦栽培の方が有利なことや、麦稈・稲わらを施用したときの基肥窒素量と窒素添加必要量の関係は鉾質土壌であれば冷涼な地域でもあてはまりうること、基肥窒素施用量が $0.5\text{kg}/\text{a}$ — $1.5\text{kg}/\text{a}$ の作物に対して適用すべきで外挿してはならないこと、連年施用するときにはある時点からは添加窒素量をへらしてゆく必要があることを考察した。

引用文献

- 1) BLACK, C.B (原田登五郎訳). 1960. 作物と土壌. 朝倉書店: 195—207
- 2) 千葉 明・石川格司・新毛晴夫・千葉行雄・宮下慶一郎・佐藤久仁子. 1978. 畑土壌改良基準策定のための基礎研究 第2報畑土壌肥沃度に及ぼす有機物の効果. 岩手農試研報. 21: 37—70
- 3) 福井重郎・小中伸夫・大野 元. 1959. 緑肥・飼料作物の水田裏作導入に関する研究 第IV報各作物を水田で栽培した場合の生育・収量の比較. 関東東山農試研報. 9: 97—105
- 4) 広瀬晴朗・熊田恭一. 1964. 水田土壌における有機態窒素の無機化について(その2)水田土壌の窒素経済に関する研究(第2報). 土肥誌. 35(9): 333—335
- 5) ————. 1973. 稲わらおよび稲わら堆肥の分解とアンモニア態窒素の有機化過程. 土肥誌. 44(6): 211—216
- 6) 堀田 良. 1967. 生態生理的に見た畑作物湿害の機作および診断ならびに対策に関する研究. 新潟農試研報 17号別冊
- 7) 茨城県農林水産部. 1979. やさい耕種基準
- 8) 池田利良・川竹基弘・杉本勝男. 1955. 湿田地帯における畦立様式に関する調査. 東近農試研報栽培部第2号. 1—10
- 9) 位田藤久太郎. 1961. 蔬菜の施肥と土壌. 朝倉書店: 10—21
- 10) 石川昌男他. 1971. 水田および水田転換畑の地下水位と湿害対策—2. 転換畑の湿害対策とくに畦の高さ—. 農業技術. 26: 342—345
- 11) 川村秋男・福谷 博・山崎清功・氏家 勉. 1960. 新鮮有機物の土壌保全の効果の研究 第1報耐水性集合体の生成におよぼす新鮮有機物の影響について. 四国農試報. 5: 191—208
- 12) ————. 氏家 勉. 1962. ————. 第3報高炭素有機物の施用と植生の関係について. 同誌. 6: 261—276
- 13) 幸田浩俊・梶田貞義・秋山 実. 1974. 水田転換畑における野菜栽培に関する研究 第1報地下水位と畦の高さがキュウリ・キャベツ・ハナヤサイの生育と収量におよぼす影響. 茨城農試研報. 15: 65—76
- 14) 幸田浩俊. 1983. 野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究 第1報地下水位が作物の生育・収量, 作土層の水分吸引圧・気相率および土壌養分の動態に及ぼす影響. 茨城農試研報. 22: 25—63
- 15) 小島睦男. 1979. 水田転換畑における耕起・堆肥の有無がグレイソルガムならびに大麦の生育・収量に及ぼす影響. 中国農試報. A26: 7—14
- 16) 松田 明・尾崎克巳・下長根鴻. 1976. 有機物及び消石灰施用土壌の静菌作用の変動とキュウリつる割れ病からみた有機物の施用法について. 茨城農試研報. 17: 83—96
- 17) 松浦勝美. 1977. 水田への生わら・肥料同時施用と施肥の省力化. 農及園. 52(11): 1365—1368
- 18) 三木和夫・出井嘉光. 1968. 鉾質畑の地力に対する有機物の役割とその補給様式に関する研究 第1報有機物補給期間中の作物の生育・収量とN吸収量. 東近農試研報. 15: 100—111
- 19) ————. 1968. ————. 第2報有機物施用跡地の土壌の理化学性の変化について. 同誌. 15: 112—124
- 20) ————. 1970. ————. 第3報残効試験期間中の作物の生育・収量と養分吸収量. 同誌. 17: 48—58

- 21) ———・———. 1970. 新鮮有機物の分解に及ぼす土壌水分, 空気の影響. 同誌. 17 : 59-66
- 22) ———・———. 1970. 畑土壌の窒素供給力に関する研究 第4報生わら施用に伴う肥料窒素の有機化ならびに有機化窒素の作物に対する有効性. 同誌. 17 : 67-73
- 23) 森 茂樹. 1974. 水田における各種野菜の畦の高さに対する反応について. 滋賀農試研報. 16 : 152
- 24) 中村元彦・今井栄一・和田山利明・茨木忠雄・その他6名. 1976. 稲作転換に伴う作物導入に関する研究. 福島農試研報. 15
- 25) 西沢良一・中田 均. 1975. 水田高度利用における湿害対策について. 同誌. 17 : 43-54
- 26) ———・勝木依正・中田 均・長谷川清善. 1978. ————— 第2報カンランに対するもみからマルチと土壌混入施用効果について. 同誌. 20 : 59-74
- 27) 野本亀雄・岸田達男. 1957. 畑地の土壌有機物に関する研究 I 鉍質酸性土壌に於ける数種有機物施用の効果. 東海近畿農業研究. 8 : 19-22
- 28) 農林水産技術会議事務局. 1972. コンバイン収穫に伴う藁稈類の処理方法とその後作および地力に及ぼす影響に関する研究. 研究成果シリーズ. 60
- 29) 大塚雍雄. 1978. 折れ線モデルのあてはめ. 農林研究計算センター報告. A14 : 1-31
- 30) PATRICK, Z.A., T.A.TOUSSON and W.C.SNYDER 1963. *Phytotoxic substances in arable soils associated with decomposition of plant residue s.* *Phytopathology* 53 : 152-161
- 31) 沢田泰男. 1969. 緑肥の分解に伴う畑作物の生育障害に関する研究. 北農試研報. 76 : 1-62
- 32) 高橋和司. 1970. 畑地における有機物施用の効果. 近代農業における土壌肥料の研究. 養賢堂 : 25-30
- 33) ———・河合伸二・上村亀記・今泉諒俊・松本猛. 1974. 鉍質土壌畑地における下層土の改良維持に関する研究. 愛知農総試研報. A 6 : 133-142
- 34) 龍野得三・向井三雄. 1955. 水田の深耕の効果に関する研究のとりまとめ. 関東東山農試研報. 5 : 1-9
- 35) 湯村義男. 1970. 土壌の物理性に及ぼす有機物施用の影響. 近代農業における土壌肥料の研究. 養賢堂 : 39-43
- 36) WESSLING, J. (1974) Crop growth and wet soils. Im Schilf gaarde, T. V. (ed.) . Drainage for agriculture, Agronomy 17. 17-37. Amer. Soc. Agron, Madison. Wis. USA.
- 37) 山崎 伝・桜井俊武・山岸正昭. 1954. 水田裏作における高畦栽培法の土壌肥料的解剖. 東近農試研報. 1 : 1-15
- 38) 吉田光二・国江信彰・大口和良・熊田恭一. 1981. 鉍質畑地における厩肥の施用効果一厩肥連用土壌の性質および施用厩肥の分解量一. 肥料科学. 4 : 77-94

水質汚濁による汚染田の改良に関する研究

第3報 中性洗剤が水稲の生育収量に及ぼす影響

平山 力・酒井 一

Improvement of the Paddy Field Polluted by Irrigation Polluted Water
Part III. Effects of Synthetic Detergents on the Rice Plant

Chikara HIRAYAMA, Kuni SAKAI

都市化の進展によって急増している農業用水水質の汚濁要因の一つに生活排水と共に流入する中性洗剤があげられている。そこで、中性洗剤のかんがい水中の濃度と水稲の生育収量との関係についてポット試験によって検討した。その結果、洗剤の濃度が10ppmから50ppmの範囲では水稲の生育は順調で収量においても対照区と同等かこれをうまわることが認められたが、これ以上の濃度においては生育は抑制され、減収することが認められた。

I 緒 言

毎日の市民生活に欠かすことのできない必需品となっている中性洗剤は、使用後生活雑排水と共に排水路・小河川・農業用排水路に排出され、水質汚濁の一因となっている。これらの対策として考えられるものとしては基本的には下水道の整備があげられる。しかし整備中とは云え未だ未整備のところが多くこれら排水の水田流入に伴う水稲被害が懸念される。

中性洗剤の混入したかんがい水と水稲の生育収量との関係については若干の報告がある^{8,3,9)}。すなわち、これまでは微生物によって分解しにくい生分解の困難なABS (Alkylbenzene Sulfonates) を主成分としたハード型の中性洗剤を対象とした試験研究が中心であった。しかし、昭和50年以降ABSに代わって市販されるようになった生分解のし易いLAS (Linear Alkylbenzene Sulfonates) を主成分としたソフト型についての試験研究はきわめて少ない等解明されていない部分が多い。

そこで、LASを主成分とした中性洗剤と水稲生育収量との関係について検討するため、供試洗剤として市販の代表的洗剤を用い、2か年間水稲の栽培試験を行ったので、その結果を報告する。

II 試験方法

試験規模はa/2,000ワグネルポットによるポット試験で2連制とした。供試土壌は厚層腐植質多湿黒ボク土(深井沢統)の水田土壌を場内に搬入し、土塊や稲株等を除去し10mmの篩で篩別した後、土壌をよく混和してポットあたり生土で12kg充填した。土壌の理化学性は第1表に示した通り、土性はCLの埴壤土、置換性塩基含有量は中庸であるが、全窒素、全炭素含量はやや高い。

試験区の内容は第2表に示したが、区の構成として、
1. 対照区 2. 中性洗剤10ppm区 3. " 30ppm区
4. " 50ppm区 5. " 100ppm区
6. " 300ppm区 7. " 500ppm区
8. " 800ppm区 9. " 1,000ppm区を

第1表 供試土壤の理化学性

(乾土 100 g あたり)

粒 径 組 成 (%)				土性	C・E・C (me)	pH		T-N (%)	T-C (%)	C/N	置 換 性 塩 基 (mg)			りん酸 吸 収 係 数	有 効 態 P ₂ O ₅ (トルオーグ) (mg)	遊 離 酸 化 鉄 (%)
粗砂	細砂	微砂	粘土			H ₂ O	KCl				CaO	MgO	K ₂ O			
32.4	20.5	24.5	23.0	CL	22.1	5.9	5.1	0.40	4.52	11.3	245	96	27	1.480	6.9	1.2

注) 採土場所 勝田市三反田, 中丸川流域健全田作土

第2表 試 験 区 の 内 容

(ポットあたり)

試験区名	項 目	かんがい水 総 量 (ℓ)	L A S 成 分 総 量 (mg)	施 肥 量 (g)				
				基 肥			追 肥	
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O
1	対 照 区	104	0	1	1	1	0.5	0
2	中性洗剤 10ppm区	104	1,040	1	1	1	0.5	0
3	" 30 区	104	3,120	1	1	1	0.5	0
4	" 50 区	124	6,200	1	1	1	0.5	0
5	" 100 区	110	11,000	1	1	1	0.5	0
6	" 300 区	104	31,200	1	1	1	0.5	0
7	" 500 区	104	52,000	1	1	1	0.5	0
8	" 800 区	98	78,400	1	1	1	0.5	0
9	" 1,000 区	98	98,000	1	1	1	0.5	0

注) 1) かんがい期間: 5月20日~9月16日(1, 2年目同じ)

2) 供試中性洗剤: 有効成分40%, アルコール不溶分1.5%以下, エーテル可溶分2%以下, 水分40%以下

3) かんがい水総量及びL. A. S成分総量: 2か年の平均値表示。

設けた。供試した中性洗剤はLAS (Linear Alkylbenzene.Sulfonates) 成分は40%, アルコール不溶分1.5%以下, エーテル可溶分2%以下, 水分40%以下のものを用いた。

対照かんがい水と洗剤の濃度調整に用いたかんがい水は, 農試の水道水とし, かんがいに用いた濃度別処理水の調整はその都度行って供試した。かんがい期間は1年目, 2年目共5月20日から9月16日, 供試した水稻品種は, 2か年共トドロキワセでポットあたり3株, 2本植えとした。施肥量はポットあたり基肥でN, P₂O₅, K₂Oそれぞれ1.0g, 追肥はN, K₂Oそれぞれ0.5gを化成肥料で施用した。なお, 2か年間の平均値のみ栽培期間中におけるポットあたりの供試かんがい水の総量は, 対照区で104ℓ, 最大値は中性洗剤50ppm区の124ℓ, 最小値は中性洗剤800ppm区, 同1,000ppm区

の98ℓであり, 添加洗剤成分総量をLAS成分総量で見ると, 中性洗剤10ppm区で1,040mg, 同100ppm区で11,000mg, 同1,000ppm区で98,000mgであった。ポットの水深は常に一定に保つように管理し, 試験場所は降雨の影響の少ない場内鋼室とした。

水質及び土壤の分析は常法^{1,6)}にしたがい, 作物体のT-Nはケルダール法, P₂O₅はバナドモリブデン酸法, CaO, MgOは原子吸光法, K₂Oは炎光法, SiO₂は重量法によって求めた。

III 試 験 結 果

1 かんがい水の水質

濃度別処理かんがい水の調整は, その都度行ったが, これら処理水の水質について, かんがい期間中, 初期, 中期, 後期3回に分けてpH, EC, COD, DO, T-

第3表 かんがい水の水質分析

(ppm)

試験区名		項目	pH	EC (ms/cm)	COD	DO	T-N
1	対 照 区		6.5	135	1.5	9.6	2.0
2	中性洗剤 10ppm区		6.5	213	3.3	9.3	2.0
3	” 30 区		6.8	219	6.8	7.4	1.9
4	” 50 区		6.9	220	9.7	6.1	2.1
5	” 100 区		6.9	224	18.4	4.6	2.0
6	” 300 区		6.9	251	26.8	4.3	2.1
7	” 500 区		7.0	275	33.5	3.7	2.2
8	” 800 区		7.1	288	46.2	2.9	2.0
9	” 1,000 区		7.3	310	51.0	2.1	1.8

注) 水質：5～9月間3回分析の平均値

Nについて分析し、その結果を第3表に平均値で示した。これによると、処理したかんがい水中のpH、EC、T-N等の値は、いずれの濃度段階においても対照かんがい水に比べて大差はみられなかったが、CODの値は洗剤の濃度が高まるに伴って増大し、DO値はこれと反対に減少する傾向が認められた。すなわち、対照区のpHは6.5、中性洗剤10ppm区で6.5、同100ppm区6.9、同800、1,000ppm区でそれぞれ7.1、7.3と洗剤濃度の高まるに伴ってその差は少なく、EC値においても対照区135ms/cmに対して中性洗剤10ppm区で213、同800、1,000ppm区で288、310ms/cm程度にとどまった。またT-Nの濃度についてみると、対照区、各洗剤濃度処理区を問わず、いずれも2.0ppm前後の値であった。

これに対して、CODの濃度をみると、対照区の値が1.5ppmを示しているのに対し、中性洗剤10ppm区で3.3ppm、同100ppm区18.4ppm、同500ppm区33.5ppm、同1,000ppm区で51.0ppmと洗剤濃度の高まりに伴って、値はあきらかに高まる傾向を示し、DO値は対照区9.6ppmに対して中性洗剤10ppm区で9.3ppm、同100ppm区4.6ppm、同500ppm区3.7ppm、同1,000ppm区2.1ppmとCODでみられた結果と反対の傾向が認められた。

台所や風呂場等から排出される生活排水の流入の影響

の大きいかんがい水の特徴としてCODの濃度が高い値を示すのに対しDO値が低くなる傾向のみられることはよく知られているが²⁾、前述した結果はこれに符合する。

2 水稻の生育収量

洗剤の濃度別各処理区における水稻の生育収量を2か年間まとめて第4表に示した。

水稻の生育状況を各処理区間で生育差の顕著になった7月4日の段階でみると、洗剤の濃度別各処理区の草丈は対照区に比べて濃度の低い10ppm区から100ppm区で値はうまわったが、300ppm区以上の高濃度区では対照区の値をあきらかに下まわった。すなわち、対照区の草丈84.7cmに対して、中性洗剤30ppm区で86.7cm、同50ppm区で86.6cm、同100ppm区で85.6cmの値がみられたのに対し、同300ppm区70.7cm、同800ppm区62.8cm、同1,000ppm区59.5cmの値であった。

また、7月4日段階の基数についてみると、まったく草丈と同様の傾向を示した。すなわち、対照区の値が15.4本であったのに対し、同30ppm区、50ppm区でそれぞれ18.6本、19.7本と対照区をうまわった。同100ppm区で対照区とはほぼ同等、それ以上の高濃度では値の低下があきらかとなり、同1,000ppm区では6.9本と各処理区の中でピークを示した50ppm区の約1/2の値が認められ、濃度の高まりに伴う分けつの抑制が判

第4表 水 稻 の 生 育 収 量

(g/ポット)

試験区名	項 目	7/4			9/25			精 もみ重	左比 玄米重 (%)	一 穂 粒 数 (粒)	登 熟 歩 合 (%)			
		草丈 (cm)	茎数 (本/株)	葉色	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)					わら重		
1 対 照 区	昭52	85.3	16.7	黄緑	83.5	17.3	22.1	86	83	78	2.1	81.5	20.3	75.0
	〃53	84.1	15.0	〃	84.2	17.5	22.5	85	87	80	1.7	82.6	20.5	76.8
	平均	84.7	15.4		83.9	17.4	22.3	86	85	79	100	1.9	82.1	20.4
2 中性洗剤 10区	昭52	85.0	17.8	〃	85.0	17.9	21.8	88	87	83	1.7	80.3	20.3	75.2
	〃53	86.3	16.0	〃	87.6	17.7	22.3	92	90	83	1.5	82.1	20.5	73.7
	平均	85.7	16.9		86.3	17.8	22.1	90	89	83	105	1.6	81.2	20.4
3 〃 30区	昭52	85.3	18.0	〃	87.2	17.9	23.6	92	88	83	2.2	78.2	20.3	74.5
	〃53	88.0	19.2	〃	89.5	17.8	24.0	96	90	84	1.9	77.0	20.4	74.3
	平均	86.7	18.6		88.4	17.9	23.8	94	89	84	106	2.1	77.6	20.4
4 〃 50区	昭52	85.8	19.3	〃	88.4	18.0	24.1	84	83	78	2.1	72.0	20.1	68.0
	〃53	87.4	20.1	〃	86.0	18.2	23.7	87	84	77	2.2	73.8	20.3	69.9
	平均	86.6	19.7		87.2	18.1	23.9	86	84	78	99	2.2	72.9	20.2
5 〃 100区	昭52	85.0	15.0	緑	82.0	17.7	22.1	83	79	73	2.4	64.0	20.2	69.5
	〃53	86.1	15.4	〃	82.4	17.5	22.0	87	81	75	2.5	66.0	20.3	71.2
	平均	85.6	15.2		82.2	17.6	22.1	85	80	74	94	2.5	65.0	20.3
6 〃 300区	昭52	71.3	8.3	〃	80.0	17.6	20.7	78	75	63	3.6	61.8	20.1	62.0
	〃53	70.0	9.0	〃	80.5	17.5	20.3	84	77	67	3.0	63.9	20.1	61.4
	平均	70.7	8.7		80.3	17.6	20.5	81	76	65	82	3.3	62.9	20.1
7 〃 500区	昭52	64.0	8.0	濃緑	77.1	17.5	17.3	78	66	55	3.7	55.0	19.3	61.4
	〃53	66.2	10.0	〃	78.3	17.2	17.5	84	65	29	4.9	57.4	19.5	61.2
	平均	65.1	9.0		77.7	17.3	17.4	81	66	57	72	4.3	56.2	19.4
8 〃 800区	昭52	62.5	7.8	〃	68.2	16.1	12.1	76	55	42	5.4	43.4	18.6	55.5
	〃53	63.0	8.3	〃	69.6	16.8	11.0	80	57	49	4.8	48.7	18.5	56.3
	平均	62.8	8.1		68.9	16.5	11.6	78	56	46	57	5.1	46.1	18.6
9 〃 1,000区	〃52	58.6	6.7	〃	55.0	15.7	9.0	67	30	22	6.1	33.5	18.3	37.5
	〃53	60.3	7.0	〃	57.5	16.3	9.2	71	31	26	7.4	36.0	18.0	38.1
	平均	59.5	6.9		56.3	16.0	9.1	69	31	24	30	6.8	34.8	18.2

注) 品種 トドロキワセ 2連平均値で示す。

然となった。

草丈、茎数の調査と同時に葉色等の変化についても観察した。その結果、初期生育では各処理区間に差はみられなかったが、7月4日段階に至って生育が良好となった中性洗剤10ppm区から50ppm区の範囲では葉色に大差はみられなかったが、100ppm区をうわまわる処理区で葉色の濃くなる傾向が認められた。しかし、本栽培試験でみた範囲では高濃度処理区であっても水稻の異常な生育障害とみられる徴候はまったくうかがわれなかった。

また、9月25日収穫期の生育状況を稈長、穂長、穂

数で見ると、その傾向はほとんど前述した調査結果と同様であった。

次に、収量をわら重、精もみ重、玄米重で見ると、あきらかに生育の様相が反映された。中性洗剤濃度各処理区の中で、洗剤10ppm区から50ppm区の範囲では、いずれも値は対照区の値と同等かこれをうわまわる傾向がみられたが、それ以上の高濃度処理区においては濃度の高まりに伴ってあきらかに減収し、減収率は300ppm区で18%、800ppm区43%、1,000ppm区で70%となった。

屑米重は洗剤濃度10ppm区から50ppm区の範囲で

第5表 作物体の分析

(%)

試験区名	項目	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		SiO ₂	N吸収量(g/ポット)		
		わら	もみ	わら	もみ	わら	もみ	わら	わら	もみ	計
1	対 照 区	0.66	1.46	0.21	0.42	2.55	0.20	10.9	0.54	1.27	1.81
2	中性洗剤 10ppm区	0.69	1.54	0.23	0.46	2.61	0.21	11.0	0.64	1.39	2.03
3	“ 30ppm区	0.62	1.47	0.23	0.43	2.42	0.20	10.3	0.60	1.32	1.92
4	“ 50ppm区	0.62	1.38	0.22	0.41	2.44	0.22	10.4	0.54	1.16	1.70
5	“ 100ppm区	0.60	1.46	0.19	0.40	2.12	0.20	9.7	0.52	1.18	1.70
6	“ 300ppm区	0.58	1.40	0.11	0.36	2.03	0.19	6.2	0.48	1.08	1.56
7	“ 500ppm区	0.45	1.31	0.08	0.24	2.10	0.20	5.3	0.38	0.85	1.23
8	“ 800ppm区	0.37	1.33	0.05	0.21	1.84	0.19	5.1	0.30	0.76	1.06
9	“ 1,000ppm区	0.32	0.70	0.05	0.21	1.65	0.19	4.8	0.26	0.22	0.48

注) 2 連平均値

は対照区と大差なかったが、洗剤濃度 100ppm 区に至って値はややうまわり、300ppm 区以上の濃度においてはその値はあきらかに増加した。さらに、一穂粒数、1,000 粒重、登熟歩合についてもおおむねこれまでの傾向と同様であった。

3 作物体分析

各濃度別処理区の水稲体について、これらのかんがい養分の吸収にどのように影響したかを知るため、主要な成分について分析を行い第5表に示した。

これによると、わら、もみ中のN、P₂O₅、K₂O、SiO₂いずれの成分も、中性洗剤 10ppm 区から 50ppm 区の範囲では対照区の値と大差は認められなかったが、100ppm 区の濃度ではやや成分含有量に差がうかがわれ、300ppm 区以上の高濃度かんがい区においては、各成分とも洗剤の濃度の高まるに伴ってもみ、わら中の濃度の低下はあきらかに認められ、これらの傾向はとくにP₂O₅、SiO₂において顕著であった。また、吸収量についてはNのみに絞って示したが、その傾向はほとんど前述した通りであった。

4 跡地土壌

土壌の化学性に及ぼす影響をみるため、跡地土壌を分析し、その結果を2か年間の平均値で第6表に示した。

まず、pHについてみると、対照区の5.9の値に対し、中性洗剤処理各区をみると、同10ppm 区で6.2、同100

ppm 区6.3と大差はみられなかったが、500ppm 区で6.9、100ppm 区7.3と値は濃度の高まるに伴ってやや高まる兆候が認められた。T-C含量は各処理区間にはほとんど差はみられなかったが有効態P₂O₅含量は中性洗剤の濃度が高まるに伴ってやや高まる傾向がみられ、T-N含量についても僅かではあるが同様の傾向がうかがわれた。置換性MgO、CaOについてもその傾向は有効態P₂O₅と同様であったが、置換性K₂O、CECはほとんど処理区による差異は認められなかった。

IV 考 察

現地にみられる水質汚濁に伴う水稲被害の発生は複雑であるが、その一因に生活雑排水の流入があげられ、汚濁物質として中性洗剤の混入はさけられず、これらの物質流入に伴う水稲の生育収量との係りが懸念される。

そこで、これらの対応をあきらかにする手がかりを得るため、中性洗剤の濃度を異にしたかんがい水のかんがいと水稲の生育収量との関係を検討した。もちろん、ここで供試した中性洗剤は、昭和50年以降、これまでの高濃度難溶解性の洗剤から低濃度易溶解性の洗剤として改良開発され一般に市販されている商品の中から、代表的なソフトタイプのものを用いた。

結果では、まずかんがい水中に中性洗剤の濃度が高まれば、COD値が高まり、これと反対にDO値の低下が

第6表 跡地土壤の分析

(乾土 100 gあたり)

試験区名	項目	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	有効態 P ₂ O ₅ (mg)	置換性塩基 (mg)			CEC (me)
							CaO	MgO	K ₂ O	
1	対照区	5.9	4.5	0.40	11.3	6.9	245	96	27	22.1
2	中性洗剤 10ppm区	6.2	4.5	0.40	11.3	7.4	245	95	25	22.0
3	“ 30ppm区	6.2	4.4	0.40	11.0	7.6	247	97	27	21.8
4	“ 50ppm区	6.3	4.6	0.43	10.7	7.8	250	106	28	21.0
5	“ 100ppm区	6.3	4.5	0.43	10.0	7.7	253	105	28	21.5
6	“ 300ppm区	6.5	4.5	0.48	9.4	8.3	256	113	29	22.0
7	“ 500ppm区	6.9	4.4	0.51	8.6	9.5	264	110	30	22.2
8	“ 800ppm区	7.2	4.4	0.51	8.6	10.6	270	115	29	21.7
9	“ 1,000ppm区	7.3	4.3	0.53	8.1	11.4	287	119	29	21.3

注) 2か年の平均値で示す。

みられるが、pH、T-N等の値にはここでは大差はみられなかった。また、中性洗剤濃度と水稻の生育収量との関係では、洗剤濃度 10ppm 区から 50ppm 区の範囲ではおおむね対照区と同等あるいはややうまわったが、それ以上の濃度処理区になると葉色はやや濃く草丈の抑制がみられ、減収の傾向が判然とした。

通常、家庭の洗たく機から排水される水のABS濃度は約 35ppm 程度とされているが、愛知県内河川及び農業用水中における洗剤濃度 (A. B. S. Alkylbenzene, Sulfonates) は最高 73ppm であった³⁾。多摩川の平均濃度をみると濁水期の調査結果ではあるが 4.4ppm と報告され⁷⁾、さらに多摩川水系の農業用水路では最高 12.2ppm¹⁰⁾であったという。通常河川水の流れの中で発泡性を示す中性洗剤の濃度はA. B. S成分で 0.5~1.0 ppm 程度の濃度であるとされており、さらに従来の生物学的に普通の状態では分解しにくいA. B. S成分のものから、昭和 50 年頃から広範な好気性菌群によって分解され無害となるL. A. S成分洗剤になってから発泡濃度はさらに低下し、0.22ppm 程度とされている。したがって、このような水質現状からさきの試験結果を推察すれば、極端な濃度のみられる以外は、水稻の生育収量への直接の被害は少ないように考えられる。

菅原らによれば^{8,5)}、土耕試験の結果からはハード型ABSの 40ppm では水稻の生育収量に及ぼす影響はあ

きらかでないが、100ppm では生育収量共に劣り、ソフト型では100ppm でも顕著な差は認められなかったとされ、前述の結果はおおむねこれに符合した。

また、中性洗剤濃度と水稻生育との係りの中で、中性洗剤ABS 20ppm 以上の濃度になると根の老化が早まり、秋落現象が認められ³⁾、さらに、ABS 40ppm 以上では水稻根の伸長が抑制されるという報告もある¹¹⁾。

養分の吸収面では今回の試験結果から中性洗剤濃度 10ppm 区から 100ppm 区の範囲ではおおむね、わら、もみ共に分析項目に差はあきらかでなかったが、300ppm 区をうまわまる高濃度でとくにP₂O₅、S₂O₃の低下が目立ち、Nの吸収量についても同傾向が認められた。さらに跡地土壤の分析結果では洗剤濃度 300ppm 区をうまわまる段階でとくに有効態P₂O₅、置換性MgOで含有量の増加がうかがわれたが、その他の成分についての差はあきらかでなかった。

以上、昭和 50 年以降、市販中性洗剤の主流となったソフト型のLAS成分を用いて、水稻の栽培試験を行った結果、水稻の生育収量への影響は、洗剤濃度 50ppm 程度ではみられなかったが 100ppm で阻害の徴候があきらかにうかがわれ、既往の成果と本研究の結果からみた水稻の生育阻害の濃度はLAS>ABSであり、その理由は微生物による分解性であることから、土壌における残留性がABS>LASになるためと推察される。

現在、農林水産省で昭和45年3月に策定した農業用水基準の中には中性洗剤の濃度規制はない。しかし、これまでの試験結果から、水稻栽培にあたっての框づけとして次のようなことがあげられている¹²⁾。すなわち、水稻収量に及ぼすABSの濃度は3ppm以上、約10ppmで根の老化、秋落現象、米質低下などがみられ、20ppm以上の濃度では枯死するという。また、中性洗剤による水稻被害の特徴としては、下葉から赤褐色状のクロロシスをおこすとされ、作物に対しては発根作用を阻害されるばかりでなく、根の老化等により土壌からの窒素の吸収利用をさまたげるとされている。

今回の試験結果とこれらの框づけとの比較でみると、水稻の生育収量に対する阻害範囲に若干の差異がみられる。この理由の中には、これら試験が行われた昭和40年代前半における供試中性洗剤の質や土壌等の差異が考えられる。いずれにしても中性洗剤と水稻の生育収量に対する影響に関する試験研究に不十分のところが多く、それだけに不明瞭な部分が多い。今後ますます進展する都市化、混住化の生産環境の中で農業用水中に占める洗剤排水の激増は、あきらかに予想され、これに併行して集落排水の処理施設や下水道の整備が進められることはもちろんであるが、一方ではこれらの対策を含めた対応がきわめて重要になると考える。

V 摘 要

かんがい水中の中性洗剤濃度と水稻の生育収量との関係についてポット試験で検討した結果を要約すると次のようである。

- 1 本試験では昭和50年以降市販製品の大部分を占める易溶性で分解し易いLAS成分のソフトタイプ洗剤を供試し、これと水稻の生育収量との関係を検討した。
- 2 かんがい水中のCODの値は、中性洗剤の濃度の増大に伴って値の高まる傾向がみられたが、DOの値はこれと逆の傾向が認められた。
- 3 中性洗剤の濃度と水稻の生育収量の関係では、洗剤濃度10ppmから50ppmの範囲では対照区と同等かこ

れをややうわまわることが認められたが、これ以上の高濃度においてはあきらかに生育は抑制され減収することが認められた。

4 中性洗剤300ppm以上の高濃度においては、水稻のもみ、わら中の P_2O_5 、 S_2O_3 濃度の低下が目立ち、さらにN吸収量も濃度増に伴って漸次低下する傾向がうかがわれた。

5 跡地土壌の分析結果から中性洗剤濃度の高まりに伴って有効態 P_2O_5 含有量が増加することが目立った。

6 本試験の結果からみた水稻の生育阻害濃度はLAS>ABSであり、その理由は微生物による分解に影響されることから、土壌中における残留性がABS>LASになるためと推察された。

謝辞：本試験を行うにあたり、ご指導ご協力をいただいた環境部、管理部の関係者の方々に心から感謝の意を表します。また、ご多忙のところ、ご校閲いただいた現場長新妻芳弘氏、副場長坪 存氏、乱雑な原稿の整理等ご苦勞をわずらわした現企画調整室長間谷敏邦氏に心からお礼を申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 土壌養分測定法委員会編：土壌養分分析法（1970）
- 2) 平山力，吉原貢：水質汚濁による汚染田の改良に関する研究，第1報，中丸川流域とその他2，3の窒素汚濁水かんがい水田の実態調査，茨城農試研報，21.（1981）
- 3) 愛知総農試：水質汚濁対策調査成績書（1969）
- 4) ————：木曾川下流水域水質汚濁調査成績書（1967）
- 5) ————：水質汚濁—きれいな水を守るために—（1972）
- 6) 日本規格協会：工場排水試験法，J I S K0102，日本工業標準調査会審議（1971）
- 7) 小島貞男：用水と廃水 13.1（1971）
- 8) 菅原眞治，井沢敏彦，伊藤敏彦，稲垣育雄，神田俊二：水質汚濁による農作物の被害に関する研究（第2報）．愛知総農試研報，A（作物）．3.（1971）

- 9) 東京都農試：都市近郊における水稲汚水害に関する研究抄録集，都市汚水に含まれる中性洗剤の影響試験（1968）
- 10) 東京都公害研水質部：都内河川の水質（1969）
- 11) 東京都農試：昭44，低位生産地調査事業成績書（1970）
- 12) 坂井弘監修：農業公害ハンドブック，地人書館（1974）

集落排水の流入が農業用水水質に及ぼす影響と処理場による浄化効果

平山 力・桜井 鎮雄・林 幹夫

Influence of the Domestic Waste Water on the Quality of Agricultural Water
and Effect of the Water Purification by the Treatment Plant

Chikara HIRAYAMA, Shizuo SAKURAI, Mikio HAYASHI

生活雑排水を含む集落排水水質の特徴とこれらの流入が農業用水水質に及ぼす影響、さらに処理場における水質浄化効果について検討した結果、集落排水は農業用水に比べて全窒素（T-N）、全リン（T-P）、化学的酸素要求量（COD）、塩素（Cl）等で値がうまわり、これらの流入が農業用水水質に影響することが認められた。また集落排水水質の変化は生活パターンに関連していることがわかった。処理場による水質の浄化効果の確認は、土壌式循環接触曝気法によって整備された施設で行ったが、流入水、排出水の水質調査結果からみた濃度の低減率はT-N 46.6%、T-P 99.4%を示し、T-Pについてはほぼ完全に除去できる見通しが得られた。

I 緒 言

最近、農村地域においても、生活様式の変化や宅地化の進展に呼応して、多量の生活排水が排出され、これらが農業用水路、小河川に流入し、水質悪化の原因の一つにあげられ^{2,4)}、その対応が懸念されている。これら汚濁による農業被害の発生は、主として水稲栽培において、とくに窒素過多による生育過剰、倒伏による減収、品質低下等の現象でみられており、^{3,11,9,12)} 当該地区に対する緊急な改善が望まれているだけに、その水質実態の解明が重要となっている。

農業用水水質の実態解明は、これまで主として農村整備モデル事業、水質障害対策事業等の一環として調査地区を選定し、その中での農業用水路、集落排水の排出口等それぞれを調査地点として行ったが、地区によっては、すでに排水処理施設の整備されたところも対象とし、浄化効果の確認を行った。

本報告は、これらの調査の中から、昭和55年度から60年度にわたって対象とした地区の一部をとりまとめたものであり、その結果について報告する。

II 集落排水水質調査

まず、農村集落排水水質の特徴をあきらかにするため、1) 農業用水と集落排水の水質について比較検討し、さらに2) 水質の時間及び季節変動について調査を行った。

1 農業用水と集落排水水質

1) 調査方法

5か年間にわたって調査した県内の沓掛、江戸、鎌庭、小場江、高道祖、内原、千波湖、岩瀬、八千代、五霞等10地区の各調査地点の中から、農業用水を対象として調査した地点、集落排水として調査した地点を節分けし、各分析項目ごとにとりまとめた。地区ごとの水質調査は5～8月のかんがい期、10～12月の非かんがい期の月1回の排水で行い、水質の分析はJIS KO102⁷⁾ 工場排水試験法によった。

* 現下館地区農業改良普及所

2) 調査結果

結果は第1表に示した。これより pH についてみると、農業用水の平均値 6.9、集落排水平均値 7.2 と両者はほとんど中性で大差なく変異係数も小さかった。しかし、その他の成分をみると、いずれの成分も農業用水に比べて集落排水の値が上まわり、この傾向はとくに全窒素 (T-N-N-以下記号記載)、全リン (T-P)、化学

的酸素要求量 (COD) の値が目立った。すなわち、農業用水の T-N 濃度は最大値 4.67 mg/l、最小値 1.71 mg/l、平均値 3.13 mg/l を示したのに対し、集落排水では最大値 11.67 mg/l、最小値 3.72 mg/l、平均値 7.03 mg/l と最大値で農業用水の 2.5 倍、平均値で 2 倍以上となり、T-N 濃度の内容によっても農業用水中のケルダール窒素 (Kj-N) 平均値 0.89 mg/l、硝

第1表 農業用水及び集落排水水質

(mg/l)

用・排水	項目	pH	EC (ms/cm)	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	T-P	COD	CL
農 業 用 水	1 沓掛地区	7.3	0.19	2.55	0.55	2.00	0.03	7.5	20
	2 江戸地区	6.8	0.15	3.10	0.47	1.49	0.02	5.1	12
	3 鎌庭地区	6.8	0.14	1.96	0.47	1.49	0.02	5.1	12
	4 小場江地区	7.1	0.19	2.64	0.64	2.00	0.03	4.5	16
	5 高道祖地区	6.9	0.24	4.67	0.92	3.76	0.13	3.9	21
	6 内原地区	6.8	0.21	3.62	1.46	1.48	0.07	8.4	34
	7 千波湖地区	6.8	0.20	4.10	1.48	2.63	0.04	4.6	27
	8 岩瀬地区	6.8	0.23	1.71	0.81	0.90	0.03	4.3	20
	9 八千代地区	7.3	0.32	4.50	1.36	3.14	0.02	4.9	17
	10 五霞地区	6.5	0.25	2.40	0.46	1.94	0.03	4.1	22
水	最大値	7.3	0.32	4.67	1.46	3.76	0.13	8.4	40
	最小値	6.5	0.13	1.71	0.46	0.90	0.01	4.1	12
	平均値	6.9	0.21	3.13	0.89	2.17	0.04	5.4	23
	標準偏差	0.24	0.05	0.99	0.39	0.80	0.04	1.29	7.98
	変異係数(%)	0.04	0.24	0.32	0.43	0.37	1.00	0.24	0.35
集 落 排 水	1 沓掛地区	7.4	0.49	9.06	0.84	7.50	0.12	4.5	96
	2 江戸地区	7.1	0.18	3.92	2.47	1.45	0.23	17.7	32
	3 鎌庭地区	7.2	0.21	4.52	1.96	2.56	0.17	10.4	49
	4 小場江地区	7.5	0.20	6.07	0.77	5.30	0.11	9.5	38
	5 高道祖地区	7.0	0.58	7.91	5.63	2.28	0.28	14.0	52
	6 内原地区	7.2	0.36	4.82	3.51	1.31	0.40	24.0	51
	7 千波湖地区	6.9	0.31	9.70	4.97	4.73	0.34	9.1	63
	8 岩瀬地区	7.1	0.47	11.67	9.06	2.62	0.29	8.2	47
	9 八千代地区	7.3	1.00	9.43	8.38	1.05	0.36	42.4	67
	10 五霞地区	7.1	0.27	3.22	0.82	2.41	0.26	8.9	33
水	最大値	7.5	1.00	11.67	9.06	7.50	0.40	42.0	96
	最小値	6.9	0.18	3.22	0.77	1.05	0.11	4.5	32
	平均値	7.2	0.41	7.03	3.84	3.12	0.26	14.9	53
	標準偏差	0.17	0.23	2.92	2.92	1.97	0.09	10.58	18.08
	変異係数(%)	2.0	58.0	42.0	76.0	63.0	35.0	71.0	34.0

集落排水の流入が農業用水水質に及ぼす影響と処理場による浄化効果

酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 平均値 2.17 mg/l であったのに対し、集落排水の Kj-N 平均値 3.84 mg/l , $\text{NO}_3\text{-N}$ 平均値 3.12 mg/l にみられるとおり、 Kj-N , $\text{NO}_3\text{-N}$ とも値は農業用水に比べて集落排水で上まわり、この傾向はとくに Kj-N 濃度の高いことが目立った。また、全般的に集落排水の Kj-N , $\text{NO}_3\text{-N}$ の変異係数は農業用水に比べて大きい傾向がみられた。

T-P 濃度をみると、農業用水中の最大値 0.13 mg/l , 最小値 0.01 mg/l , 平均値 0.04 mg/l であったのに対し、集落排水中では最大値 0.40 mg/l , 最小値 0.11 mg/l , 平均値 0.26 mg/l を示し、平均値で比較しても集落排水中の T-P 濃度は農業用水に比べて約 7 倍高かった。なお変異係数をみると、集落排水に比べて農業用水の値で大きい傾向がうかがわれた。

COD 濃度は、農業用水中最大で 8.4 mg/l , 最小 4.1 mg/l , 平均値 5.4 mg/l であったのに対し、集落排水では最大 42.0 mg/l , 最小 4.5 mg/l , 平均値 14.9 mg/l を示し、集落排水中の濃度は農業用水に比べて最小値で約 5 倍、平均値で約 3 倍高い値がみられた。また、集落排水の変異係数は農業用水に比べてあきらかに大きい

値を示し、バラツキの大きかったことがうかがわれた。

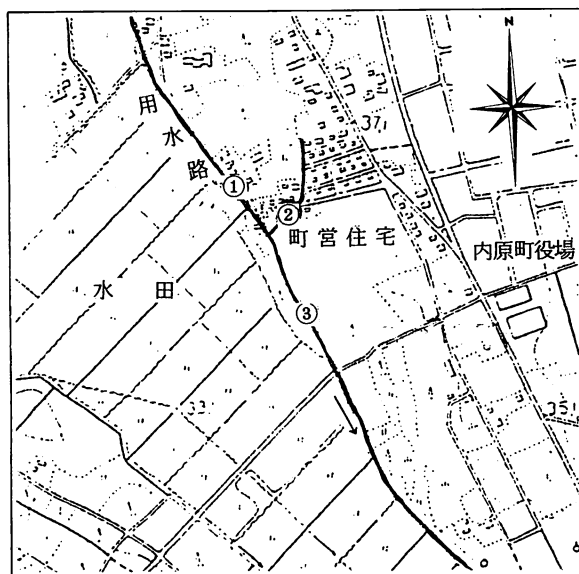
CL 濃度では農業用水中最大値 40 mg/l , 最小値 12 mg/l , 平均値 23 mg/l であったのに対し、集落排水では最大値 96 mg/l , 最小値 32 mg/l , 平均値 53 mg/l と平均値でみても後者は前者の約 2 倍の値がみられ、電気伝導度 (EC) についても農業用水平均値で 0.21 ms/cm に対し、集落排水平均値 0.41 ms/cm と CL 同様、平均値の比較でも約 2 倍高い値が認められた。

2 水質の時間及び季節変動

1) 調査方法

調査場所は昭和 59 年度農村整備モデル事業の一環として実施した東茨城郡内原町内原地区である。水質調査の対象とした調査地点は第 1 図に示したとおりである。

内原町役場から両方約 $400\sim 500 \text{ m}$ に広がる幅約 500 m 程度の厚層腐植質多湿黒ボク土からなる起伏のきわめて少ない台地内谷津田で南北に細長く続いている。基盤整備はすでに完了した水田には東側水田に沿って幅約 90 cm , 深さ約 60 cm 程度の用水路があり個々の水田はこれよりかんがいされている。地区用水の水源は上流ため池等から放流される天水利用が主体であるが、地区内には



第 1 図 調査地点位置図 (内原)

深井戸もあり、不足分はこれら地下水によって補給されている。

水質変動をみるための採水地点は3地点とした。地点①は生活雑排水が用水路に流入する地点から上流約100m程度のところ、地点②は背後に約50戸程度の民間住宅団地を含む農村集落があり、これら民家から排出される生活雑排水が道路沿いの排水路をとおして排水路に排出される排出地点である。地点③は、地点②の用水路流入地点より下流約150mの位置であり、この地点は用水への集落排水流入による影響の把握できる位置である。

それぞれの地点には流量測定のための三角ゼキをセットし、採水時ごとに流量を観測した。採水は、時間変動の場合は5月28～29日のかんがい最盛期24時間内2時間間隔、季節変動の場合は、5月～翌年1月までかんがい期、非かんがい期をとおして行った。分析は、1,000ml広口ポリビンで持ち帰った試料について、主要な調査項目T-N、Kj-N、NO₃-N、T-P、COD、CLをとりあげ、前述分析法⁷⁾になら行行った。なお、

同時に水質の濃度×流量により負荷量も算出し記載した。

2) 調査結果

(1) 時間変動

水質の調査結果は第2～4表に示したとおりであり、さらに主要項目について地点別に図示したのが第2～4図である。

T-N濃度の時期的変動を各地点別にみると、まず、生活雑排水流入の影響の少ないとみられるNO.1地点では、24時間の範囲で最大値3.90mg/l、最小値2.30mg/l、平均値2.91mg/lの値がみられ、変異係数は小さく水質の濃度の変化はきわめて少なかった。次にNO.2地点をみると、この地点は前述したように民家から排出された生活雑排水そのものが流出していることもあって、その値は最大で8.30mg/l、最小値2.21mg/l、平均値4.82mg/lとNO.1地点の値に比べて全般的に高い値で推移した。また変異係数もNO.1地点に比べて上まわった。NO.3地点は、汚濁水流入の影響が直接反映される位置にあることから、T-N濃度の推移

第2表 水質の日変動(内原地区NO.1)

時刻	濃 度 (mg/l)						流 量 (m ³)	負 荷 量 (g/2h)			
	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	T-P	COD	CL		T-N	T-P	COD	
昭.59	13 : 00	2.60	0.46	2.14	0.08	8.1	30	22.32	58.0	1.79	180.8
5/28	15 : 00	2.50	0.45	2.05	0.10	7.5	38	26.64	66.6	2.66	199.8
	17 : 00	3.12	0.50	2.62	0.09	8.3	40	25.20	83.1	2.27	209.2
	19 : 00	3.23	0.51	2.72	0.06	9.0	43	27.36	88.4	1.64	246.2
	21 : 00	3.90	0.33	3.57	0.07	9.4	37	25.92	101.1	1.81	243.7
	23 : 00	3.60	0.40	3.20	0.07	9.0	24	20.16	72.6	1.41	181.4
5/29	1 : 00	3.10	0.45	2.65	0.08	8.2	27	16.56	51.3	1.32	135.8
	3 : 00	2.64	0.47	2.17	0.05	8.0	27	20.88	55.1	1.04	167.0
	5 : 00	2.30	0.47	1.83	0.02	7.2	25	21.60	49.7	0.72	155.5
	7 : 00	2.65	0.50	2.15	0.07	7.6	34	20.16	53.4	1.41	153.2
	9 : 00	2.73	0.53	2.20	0.08	9.3	37	18.72	51.1	1.49	174.1
	11 : 00	2.50	0.54	1.96	0.07	9.5	40	19.44	48.6	1.36	184.7
	最大値	3.90	0.54	3.87	0.10	9.5	40	27.36	101.1	2.66	246.2
最小値	2.30	0.40	1.83	0.02	7.2	24	16.56	48.6	0.72	135.8	
平均値	2.91	0.48	2.46	0.07	8.4	34	22.32	64.9	1.58	186.0	
変異係数 (%)	24.0	9.0	23.0	12.0	16.0	20.0	16.0	35.0	31.0	18.0	

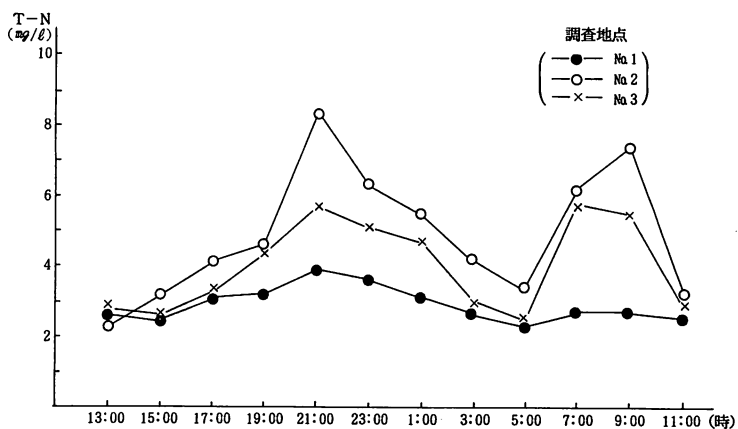
集落排水の流入が農業用水水質に及ぼす影響と処理場による浄化効果

第3表 水質の日変動(内原地区NO.2)

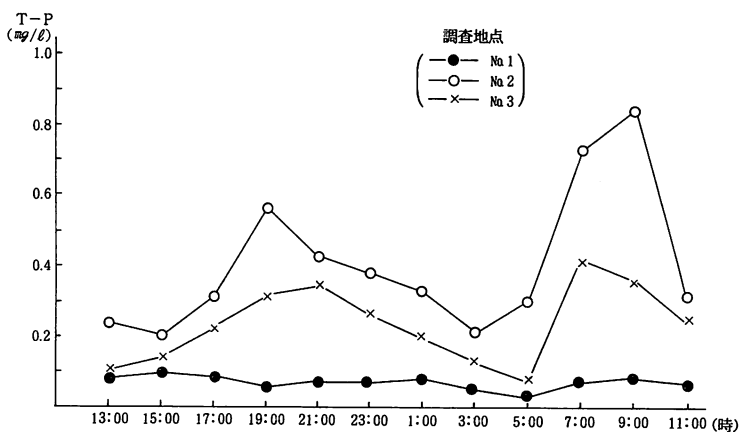
時刻	濃 度 (mg/l)						流 量 (m ³)	負 荷 量(g/2h)			
	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	T-P	COD	CL		T-N	T-P	COD	
昭.59	13 : 00	2.21	1.59	0.62	0.23	13.3	36	2.88	6.4	0.66	38.3
5/28	15 : 00	3.10	2.26	0.84	0.20	13.6	40	3.60	11.2	0.72	49.0
	17 : 00	4.05	2.71	1.34	0.31	9.6	47	2.16	8.8	0.67	20.7
	19 : 00	4.53	3.57	0.96	0.56	36.5	75	7.20	32.6	4.03	262.8
	21 : 00	8.30	6.57	1.73	0.42	41.7	81	5.76	47.8	2.42	240.2
	23 : 00	6.28	4.68	1.60	0.38	31.5	63	6.48	13.9	2.46	204.1
5/29	1 : 00	5.53	3.73	1.80	0.33	21.4	46	0.72	4.0	0.24	15.4
	3 : 00	4.07	2.32	1.75	0.20	12.0	33	0.72	2.9	0.14	8.6
	5 : 00	3.35	1.55	1.80	0.30	10.2	30	0.72	2.4	0.22	7.3
	7 : 00	6.13	5.03	1.10	0.73	28.5	57	3.60	22.1	2.63	102.6
	9 : 00	7.27	5.81	1.46	0.84	46.3	62	6.48	47.1	5.44	300.0
	11 : 00	3.05	2.33	0.72	0.31	23.4	47	2.88	8.8	0.89	67.4
	最大値	8.30	6.57	1.80	0.84	46.3	81	7.20	47.8	5.44	300.0
	最小値	2.21	1.55	0.60	0.20	9.6	30	0.72	2.4	0.14	7.3
	平均値	4.82	3.51	1.31	0.40	24.0	51	3.60	17.3	1.71	109.7
	変異係数 (%)	37.0	46.0	33.0	59.0	47.0	51.0	69.0	104.0	135.0	10.0

第4表 水質の日変動(内原地区NO.3)

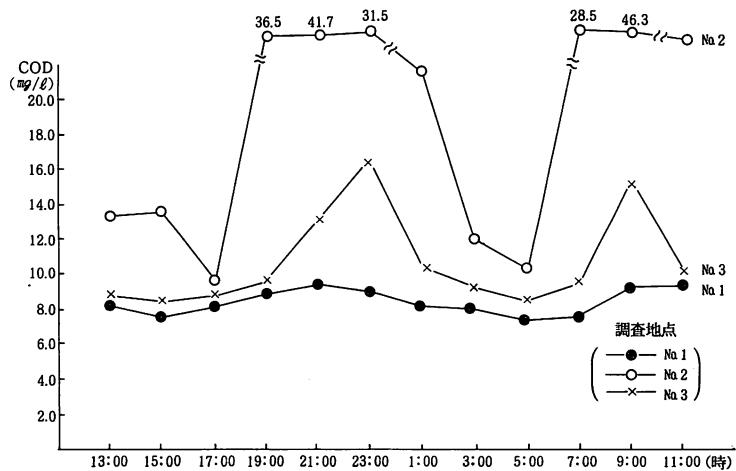
時刻	濃 度 (mg/l)						流 量 (m ³)	負 荷 量(g/2h)			
	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	T-P	COD	CL		T-N	T-P	COD	
昭.59	13 : 00	2.62	0.53	2.09	0.10	8.9	32	25.20	66.0	2.52	224.3
5/28	15 : 00	2.63	0.50	2.13	0.15	8.5	35	30.24	79.5	4.54	257.0
	17 : 00	3.22	0.85	2.37	0.23	8.8	40	27.36	88.1	6.29	240.8
	19 : 00	4.47	0.50	3.97	0.32	9.7	54	34.56	154.5	11.06	335.2
	21 : 00	5.65	0.52	5.13	0.35	13.1	58	30.24	170.9	10.58	396.1
	23 : 00	5.07	0.40	4.67	0.26	16.7	50	26.64	135.1	6.93	444.9
5/29	1 : 00	4.65	0.46	4.19	0.20	10.4	35	17.28	80.4	3.46	179.7
	3 : 00	3.00	0.52	2.48	0.13	9.3	25	21.60	64.8	2.81	200.9
	5 : 00	2.49	0.50	1.99	0.08	8.5	26	21.60	53.8	1.73	183.6
	7 : 00	5.81	0.70	5.11	0.42	9.5	36	23.76	138.1	9.98	225.7
	9 : 00	5.51	0.58	4.93	0.36	15.6	50	25.20	138.9	9.07	393.1
	11 : 00	2.94	0.60	2.34	0.24	10.1	45	22.32	65.6	5.36	225.4
	最大値	5.81	0.85	5.13	0.42	16.7	58	34.56	170.9	11.06	444.9
	最小値	2.49	0.40	1.99	0.08	8.5	25	17.28	53.8	1.73	179.7
	平均値	4.01	0.56	3.45	0.24	10.7	41	25.20	103.0	3.19	226.1
	変異係数 (%)	30.0	20.0	37.0	48.0	25.0	25.0	19.0	38.0	52.0	45.0



第2図 T-Nの日変動 (内原地区, 5月)



第3図 T-Pの日変動 (内原地区, 5月)



第4図 CODの日変動 (内原地区, 5月)

集落排水の流入が農業用水水質に及ぼす影響と処理場による浄化効果

をみると、最大値 $5.81\text{mg}/\ell$ 、最小値 $2.49\text{mg}/\ell$ 、平均値 $4.01\text{mg}/\ell$ を示し、その値はおおむね Na 1 地点と Na 2 地点の中間の範囲で変動していることがうかがわれ、雑排水流入による影響が示唆された。また、生活雑排水の水質調査が対象となった Na 2 地点でみた時間変化では、21～1 時と 7～9 時の 24 時間の範囲内で 2 回の濃度のピークが認められ、T-N 濃度の変化が、朝夕の生活パターンに密着している傾向がうかがわれた。なお、ケルダール窒素 (Kj-N と記す) と硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$ と記す) の濃度の推移を各地点別にみると、おおむね、前述した T-N と同様の傾向を示したが、Kj-N と $\text{NO}_3\text{-N}$ の関係では Na 1、Na 3 地点の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が Kj-N 濃度を常時凌駕したが、Na 2 地点では一般的に Kj-N が $\text{NO}_3\text{-N}$ を上まわった。

次に T-P 濃度についてみると、Na 1 地点では最大値 $0.1\text{mg}/\ell$ 、最小値 $0.02\text{mg}/\ell$ 、平均値 $0.07\text{mg}/\ell$ 、さらに変異係数 12.0% と小さかったのに対し、Na 2 地点では、最大値 $0.84\text{mg}/\ell$ 、最小値 $0.20\text{mg}/\ell$ 、平均値 $0.40\text{mg}/\ell$ と Na 1 地点に比べて濃度は極端に高まっていることが目立った。また変異係数も 59.0% と Na 1 に比べて前述と同様極端に高くバラツキがきわめて大きいことがうかがわれた。下流、Na 3 地点は最大値 $0.42\text{mg}/\ell$ 、最小値 $0.08\text{mg}/\ell$ 、平均値 $0.24\text{mg}/\ell$ にみられるごとく、上流 Na 1 地点の濃度に比べて値があきらかに上まわっており、T-N 同様、生活雑排水流入の影響が判然とうかがわれた。また、時間変化の中でみられたピークの発現も、まったくさきの T-N でみられた様相と同様であった。

COD 濃度は Na 1 地点で最大値 $9.5\text{mg}/\ell$ 、最小値 $7.2\text{mg}/\ell$ 、平均値 $8.4\text{mg}/\ell$ を示し、変異係数も小さかったのに対し、雑排水が主体である Na 2 地点では、これを反映して最大値 $46.3\text{mg}/\ell$ 、最小値 $9.6\text{mg}/\ell$ 、平均値 $24.0\text{mg}/\ell$ 、変異係数 47.0% と 24 時間の範囲内におけるバラツキの大きいことが目立った。一方、Na 3 地点についてみると、最大値 $16.7\text{mg}/\ell$ 、最小値 $8.5\text{mg}/\ell$ 、平均値 $10.7\text{mg}/\ell$ と Na 1

地点に比べて高い値がみられ、ピークの発現も T-N、T-P でみられた傾向と符合した。

CL 濃度は Na 1 地点平均値 $34\text{mg}/\ell$ 、最大値 $40\text{mg}/\ell$ に対して Na 2 地点では平均値 $51\text{mg}/\ell$ 、最大値 $81\text{mg}/\ell$ 、Na 3 地点平均値 $41\text{mg}/\ell$ 、最大値 $58\text{mg}/\ell$ にみられるように Na 2 地点で全般的に値は上まわっており、バラツキが目立った。

2 時間間隔でみた各地点の流量は、Na 1 地点最大値 $27.36\text{m}^3/2\text{h}$ 、平均値 $22.32\text{m}^3/2\text{h}$ 、Na 2 地点最大値 $7.20\text{m}^3/2\text{h}$ 、平均値 $3.60\text{m}^3/2\text{h}$ 、Na 3 地点最大値 $34.56\text{m}^3/2\text{h}$ 、平均値 $25.20\text{m}^3/2\text{h}$ であった。変異係数は Na 1 16.0%、Na 2 69.0%、Na 3 19.0% の値にみられるとおり、Na 2 地点のバラツキの大きいことがうかがわれた。

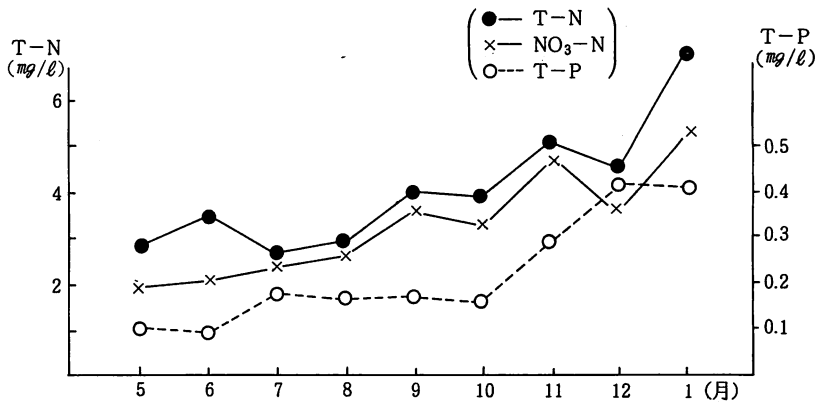
2 時間で求めた各地点の負荷量を平均値で概観すると、T-N は Na 1 地点で $64.9\text{g}/2\text{h}$ 、Na 2 地点 $17.3\text{g}/2\text{h}$ 、Na 3 地点 $103.0\text{g}/2\text{h}$ となり、T-P は Na 1 地点で $1.58\text{g}/2\text{h}$ 、Na 2 地点 $1.71\text{g}/2\text{h}$ 、Na 3 地点 $3.19\text{g}/2\text{h}$ であった。また、COD は Na 1 地点 $186.0\text{g}/2\text{h}$ 、Na 2 地点 $109.7\text{g}/2\text{h}$ 、Na 3 地点 $226.1\text{g}/2\text{h}$ であった。

(2) 季節変動

水質の季節変動は Na 3 地点について追跡し、その結果を第 5 図に T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-P の濃度変化で示した。

これによると、まず T-N 濃度は 5～8 月のかんがい期間ではおおむね $3\text{mg}/\ell$ 前後で推移したが、9～翌年 1 月の非かんがい期では $4\sim 7\text{mg}/\ell$ の範囲で濃度は秋から冬にかけて高まる傾向がみられた。また、全期間をとおして T-N 濃度中の大部分が $\text{NO}_3\text{-N}$ であることがうかがわれたが、時期的にみると、5～6 月のかんがい期初期、非かんがい期の 12～1 月に T-N 濃度中の $\text{NO}_3\text{-N}$ のやや下まわる徴候がうかがわれた。

T-P 濃度もかんがい期はほぼ $0.1\sim 0.2\text{mg}/\ell$ の範囲にとどまったが、非かんがい期に入ってとくに 11 月以降になって $0.4\text{mg}/\ell$ と急激に高まりが目立った。



第5図 T-N, NO₃-N, T-Pの季節変動 (No.3地点)

Ⅲ 処理施設による水質浄化効果

生活雑排水等を含む集落排水を浄化し、処理水を農業用水に還元し再利用をはかろうとする処理場が、昭和56年度、第6図に示す猿島郡猿島町沓掛地区内に建設された¹⁰⁾。

施設の受益面積は18.2ha、処理対象人口1,000人、処理対象水量250m³であり、処理方式は第7～9図に示す土壌式循環接触曝気法である。

これは槽の上部に礫そして通気性の良好な土壌（火山灰ローム層）で被覆し、底部からエアレーションを行いながら汚水を循環させ、礫表面に発生する微生物膜に接触させて汚濁物質を除去する。そしてこれを通過した汚水は浸潤トレンチに流入し、陶管の接続面から漏れた水は樋浸透防止板に受けられ、木樋の中を流れながら土壌と水が接触して、それが間隙水として集水トレンチに移動する際土壌中の微生物によって浄化され、これらの水が集水管を経て、放流されるという仕組みになっている。

1) 調査方法

これら処理場による水質浄化効果をみるため、昭和56年度及び同57年度施設への流入水、排水水について水質の時間変動と季節変動を調査した。水質はT-N、(Kj-N, NO₃-N) T-P, COD等の項目を中心に分析調査を行った。水質の時間変動については、48時

間2時間間隔で降雨量など気象条件による影響の少ないと考えられる11月を選び調査した。分析法は前述のとおり、JISKO102「工場排水試験法⁷⁾」によった。なお、処理水が放流されこれをかんがい用水として利用している処理場下流部水田の代表ほ場について、水稻の生育収量の調査も行った。

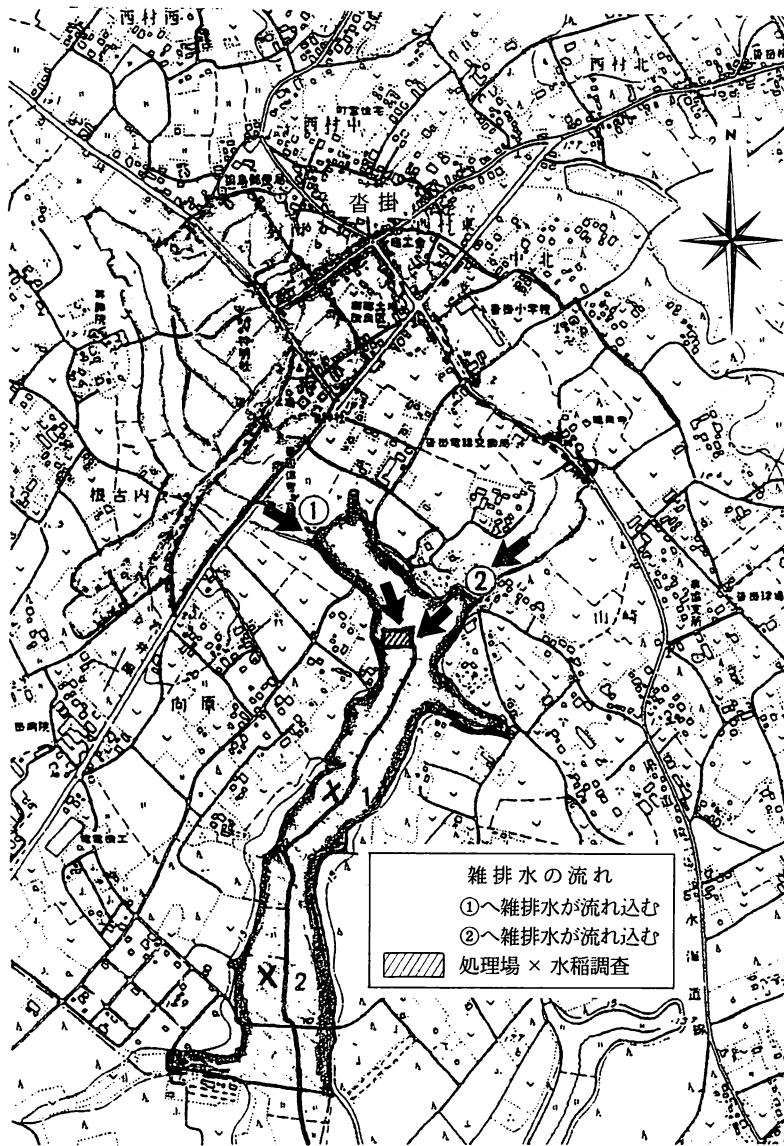
2) 調査結果

(1) 流入水・排水水の時間変動

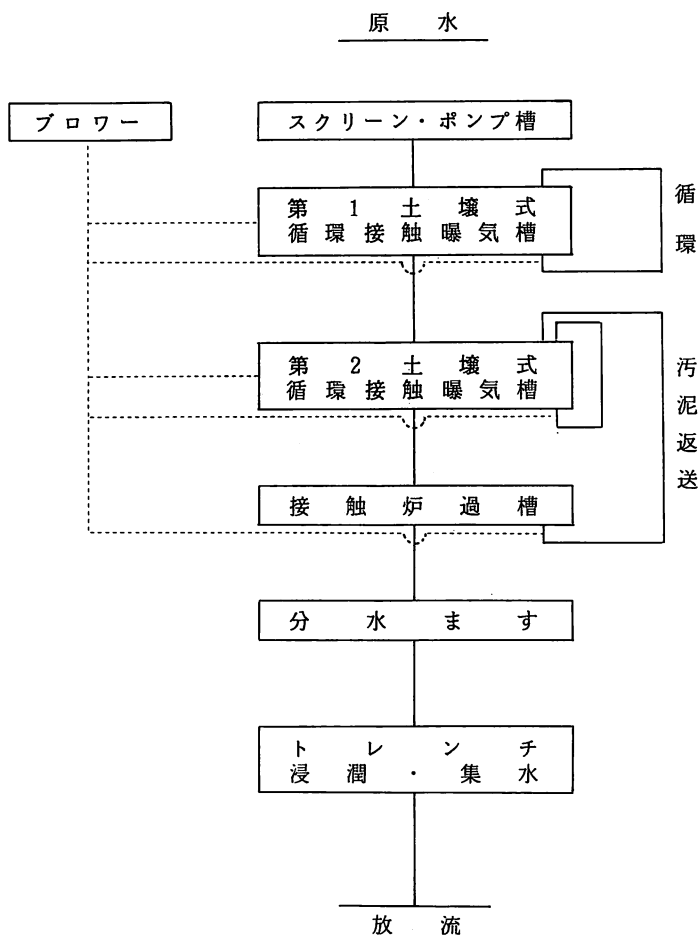
調査結果は第5表に示した。まず流入水のT-N濃度についてみると、48時間の範囲内で測定した最大値は24.77mg/l、最小値8.62mg/l、平均値14.55mg/lを示し、変異係数は33.0%であった。しかし、T-Nの内容をKj-NとNO₃-Nの変動でみるとKj-Nの最大値16.96mg/l、平均値10.17mg/lに対してNO₃-Nは最大値9.64mg/l、平均値4.09mg/lでKj-Nの濃度がNO₃-Nを常に上まわった。またいずれの変異係数も高かったがKj-Nでは165.0%と極端なバラツキが目立った。

一方、流入水のT-P濃度をみると、最大値1.24mg/l、平均値0.59mg/lにみられるように全般的に高い値が認められた。

これに対して排水水について、T-N濃度をみると、最大値8.95mg/lで流入水の約1/3、平均値7.03mg/l



第6図 処理場の位置及び調査地点（杏掛地区）



第7図 処理場フロチャート

で流入水の約1/2低下していることが認められた。また、Kj-NとNO₃-Nとの関連でみると、流入水の場合と反対にNO₃-Nの値が最大値7.16 mg/l、平均値5.42 mg/lにみられるようにKj-N最大値3.20 mg/l、平均値1.65 mg/lよりあきらかに上まわり、バラツキも比較的小さかった。T-P濃度は最大値0.008 mg/l、平均値0.003 mg/lにみられるように極端に低下していることが認められた。流入水と排水の水質の調査結果からT-N、T-P濃度の低減率をみると、T-Nの平均値で46.6%、T-Pの平均値で99.4%となり、当該処理場ではT-Nに比べてT-Pではほぼ完全に除去できる見通しがあきらかとなった。

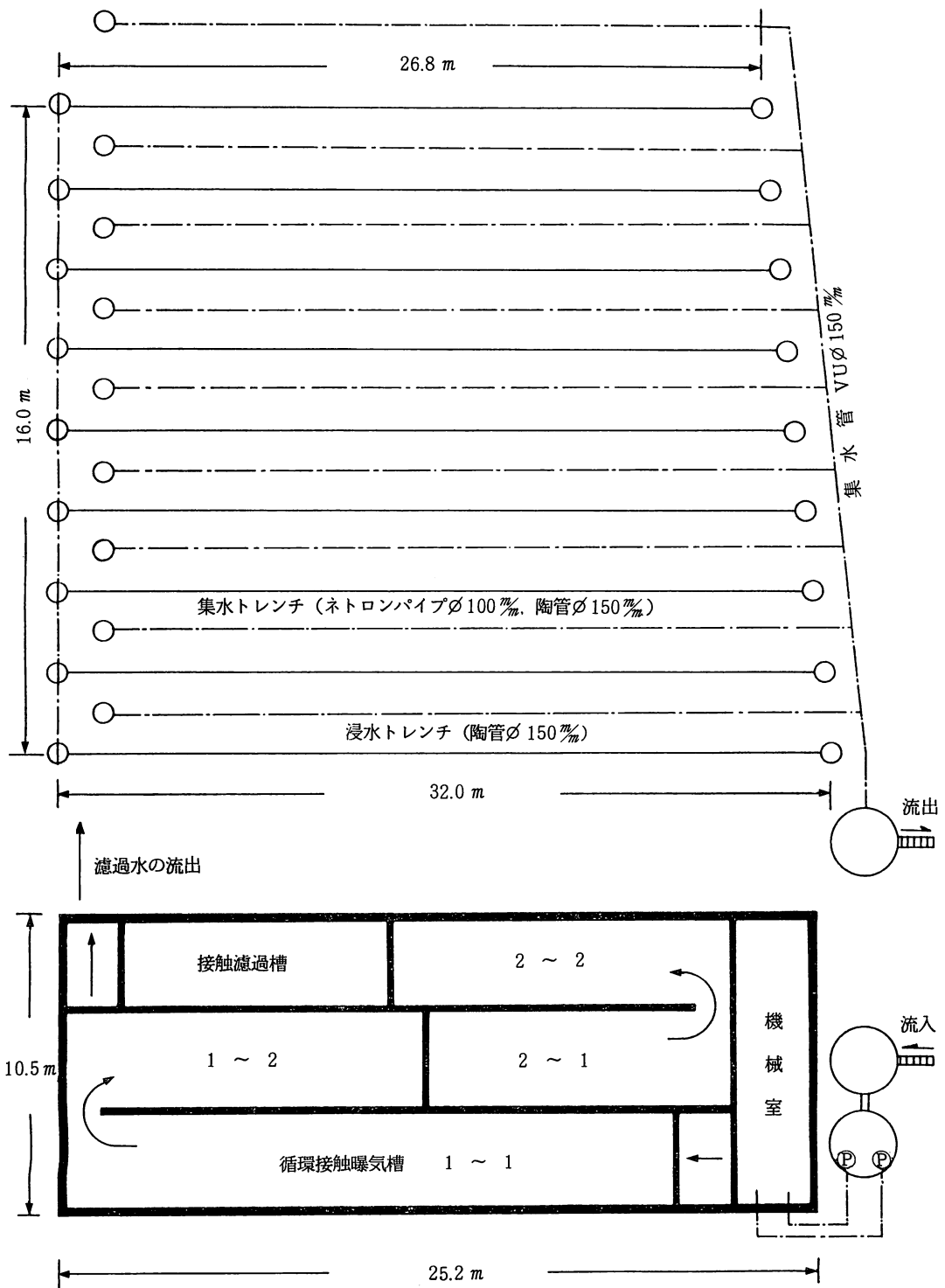
(2) 季節変動

水質調査はかんがい後期の7月から非かんがい期の翌年2月にかけて追跡し、その結果を第6表に示した。なお、本調査では主体は流入水、排水水中のT-N、Kj-N、NO₃-Nとしたが、他にpH、EC(電気伝導度)、CODも分析項目に加え、CODについてはT-N同様低減率も算出し記載した。

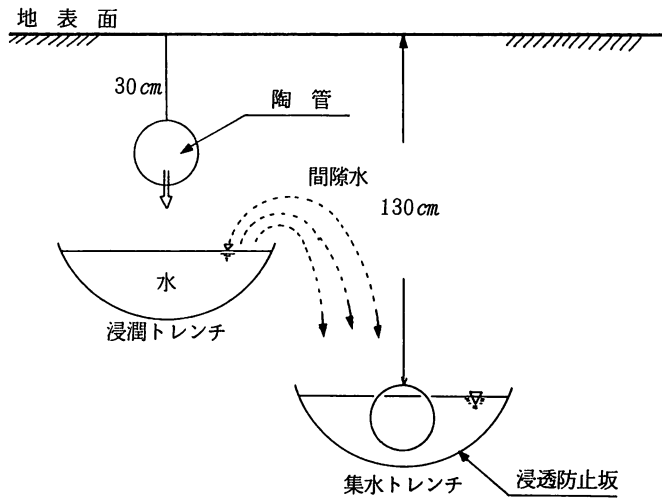
これより流入水、排水のpHの変化をみると両者とも季節的に大差なかった。EC値は両者共7月の値がやや上まわった以外変化は少なかったが、全般的に流入水の値に比べて排水で値は小さかった。

一方、T-Nについてみると流入水の中では7月の

集落排水の流入が農業用水水質に及ぼす影響と処理場による浄化効果



第8図 処理場平面図



第9図 トレンチ浸潤，集水部配置図

12.00 mg/l, 10月の11.85 mg/lのように全体の中で突出する値もみられたが，平均値で9.06 mg/lとなり，排出水では平均値で6.55 mg/lと流入水の濃度に比べてあきらかに低く，月別のバラツキも小さかった。さらにKj-N, NO₃-Nについてみると，流入水では平均値で8.03 mg/l, 1.24 mg/lであったのに対し，排出水平均値でそれぞれ0.66 mg/l, 5.89 mg/lの値にみられるように，流入水ではKj-N濃度がNO₃-Nに比べて極端に多かったのに比べて，排出水では反対にKj-Nが極端に少なくなり，大部分がNO₃-Nで占められていることがうかがわれた。また変異係数でみるとバラツキは流入水ではNO₃-N, 排出水ではKj-Nに大きい傾向がみられた。

次にCODについてみると，流入水では最高7月の21.58 mg/l, これに次いで2月の20.06 mg/lが目立ち，平均値で17.86 mg/lであったが，排出水についてみると，月別の濃度に大差は認められず，平均値で4.27 mg/lと平均値でみても排出水は流入水の1/4に低下していることがうかがわれ，バラツキも両者とも小さかった。なお，これらの調査結果から濃度の変化をもとにして除去率を求めると，T-Nでは最大値で45%，平均値25.4%であり，CODは最高79.1%，平均値で75.8

%であった。

(3) 水稻の生育収量

なお，処理場で処理された水は放流され，下流水田でこれをかんがい用水として再利用しているが，これらの流域水田から代表ほ場を選んで水稻の生育収量に係る影響を観察した。第7表はこれら調査ほ場の耕種概要であり，第8表は調査結果である。

調査ほ場は2か所選定した。2ほ場とも供試品種はコシヒカリで稚苗を用い，田植えは5月28日とやや遅れた場合と5月5日の通常の場合を選定した。基肥は，N, P₂O₅, K₂Oそれぞれ①ほ場ではaあたり0.41, 0.82, 0.62kg, ②ほ場では同様0.48, 0.96, 0.72kgとなっており，基肥N量では地区慣行aあたり0.6kgにくらべて20~30%減肥されている。また追肥はNでaあたり①ほ場で0.10kg, ②ほ場で0.18kgとなっており，刈取りは，それぞれ9月25日，9月20日である。

水稻の生育を収穫期の調査結果でみると，各ほ場とも水口部，中央部，水尻部等ほ場内における生育むらも少なく，穂数，稈長等で若干の差異がみられたものの順調な生育様相がうかがわれ，倒伏の被害はほとんど認められなかった。また，収量ではもみ/わら比でやや差異がみられたものの玄米収量では①ほ場でaあたり41.0kg,

集落排水の流入が農業用水水質に及ぼす影響と処理場による浄化効果

第5表 浄化処理場水質の時間変動

(mg/l)

採水 月日	項 目 時刻	流 入 水				排 出 水				低減率 (%)	
		T-N	Kj-N	NO ₃ -N	T-P	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	T-P	T-N	T-P
11/14	11:00	8.62	8.00	0.62	0.84	5.96	1.60	4.36	0.004	30.9	99.5
	13:00	10.98	9.60	1.38	0.36	6.74	1.92	4.82	0.001	38.6	99.7
	15:00	13.95	13.95	0.01	—	6.03	1.92	4.11	—	56.8	—
	17:00	13.24	10.24	3.00	0.45	6.73	1.41	5.32	0.008	49.2	98.2
	19:00	12.97	9.34	3.63	—	5.75	1.54	4.21	—	55.7	—
	21:00	6.72	3.88	2.84	0.73	6.09	2.37	3.72	0.001	9.4	99.9
	23:00	12.50	11.53	0.97	—	5.83	3.20	2.63	—	53.4	—
11/15	1:00	13.01	9.60	3.41	0.58	6.84	1.00	5.84	0.001	47.4	99.8
	3:00	13.20	7.17	6.03	—	6.84	1.15	5.69	—	48.2	—
	5:00	10.40	5.44	4.96	0.17	6.75	1.28	5.47	0.006	35.1	96.5
	7:00	9.89	4.16	5.73	—	6.94	2.56	4.38	—	29.8	—
	9:00	23.12	16.96	6.16	1.24	1.15	4.86	0.001	0.001	74.0	99.9
	11:00	20.09	12.48	7.61	—	6.45	1.60	4.85	—	67.9	—
	13:00	12.51	8.96	3.55	0.22	6.47	1.47	5.00	0.001	48.3	99.5
	15:00	14.98	12.48	2.50	—	6.30	1.47	4.83	—	57.8	—
	17:00	21.05	14.85	6.20	0.50	7.40	1.92	6.48	0.001	64.5	99.8
	19:00	13.07	9.34	3.73	—	8.49	1.28	7.21	—	35.0	—
	21:00	23.08	13.44	9.64	0.79	5.71	1.92	3.79	0.007	75.3	99.1
23:00	24.77	16.00	8.77	—	7.37	1.60	5.77	—	70.2	—	
11/16	1:00	12.36	8.96	3.40	0.47	8.39	1.28	7.11	0.001	32.1	99.8
	3:00	14.95	11.84	3.11	—	8.24	1.66	6.58	—	44.9	—
	5:00	10.76	7.36	3.40	0.24	8.06	1.28	6.78	0.001	25.1	99.6
	7:00	9.93	6.53	3.40	—	8.95	1.47	7.48	—	9.9	—
	9:00	15.61	12.80	2.81	1.08	8.89	1.28	7.61	0.001	43.0	99.9
	11:00	21.89	16.60	5.29	0.65	8.48	1.92	6.56	0.001	61.3	99.8
最 大 値		24.77	16.96	9.64	1.24	8.95	3.20	7.61	0.008	75.3	99.9
最 小 値		8.62	3.88	0.01	0.17	5.71	1.00	2.63	0.001	9.4	96.5
平 均 値		14.55	10.17	4.09	0.59	7.03	1.65	5.42	0.003	46.6	99.4
変異係数(%)		33.0	165.0	58.0	51.0	30.0	29.0	25.0	41.0	39.0	1.0

(昭.56)

第6表 処理場水質の季節変動

(mg/l)

採水月.日	流入水					排出水					低減率(%)			
	pH	EC (ms/cm)	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	COD	pH	EC (ms/cm)	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	COD	T-N	COD
7/22	7.60	0.715	12.00	10.10	1.90	21.58	7.90	0.600	8.34	0.84	7.50	4.52	30.5	79.1
8/20	6.82	0.445	6.78	6.28	0.50	16.03	6.85	0.370	5.91	0.91	5.00	3.51	12.8	78.1
10/12	6.93	0.415	11.85	11.00	0.85	14.15	7.76	0.315	6.52	0.51	6.00	4.15	45.0	70.7
11/14	7.49	0.365	8.62	8.00	0.62	16.30	6.60	0.340	5.96	1.60	4.36	4.10	30.9	74.8
2/24	7.50	0.490	7.48	5.16	2.32	19.01	7.13	0.320	6.10	0.007	6.03	4.36	18.4	77.1
2/25	7.82	0.465	7.61	7.61	0.00	20.06	7.05	0.390	6.49	0.04	6.45	5.00	14.7	75.1
最大値	7.82	0.715	12.00	11.00	2.32	21.58	7.90	0.600	8.34	1.60	7.50	5.00	45.0	79.1
最小値	6.82	0.365	6.78	5.16	0.50	14.15	6.60	0.315	5.91	0.04	4.36	3.51	12.8	70.7
平均値	7.36	0.487	9.06	8.03	1.24	17.86	7.22	0.399	6.55	0.66	5.89	4.27	25.4	75.8
変異係数(%)	5.0	22.9	23.0	25.0	59.0	14.0	7.0	24.7	13.0	81.0	17.0	11.0	44.0	4.0

(昭57)

第7表 調査ほ場の水稲耕種概要

調査ほ場	水田面積 (㎡)	品 種	苗 質	田植え (月.日)	収 穫 (月.日)	施 肥 量 (kg/a)					
						基 肥			追 肥		
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	1,947	コシヒカリ	稚 苗	5.28	9.25	0.41	0.82	0.62	0.10	0.18	0.15
2	3,348	〃	〃	5.5	9.20	0.48	0.96	0.72	0.18	0.18	0.13

(昭57)

第8表 水稲の生育収量と窒素含有率

調査ほ場	調査位置	生 育 (収穫期)				収 量 (kg/a)					窒素含有率(%)	
		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/㎡)	倒伏 程度	わら重	もみ重	もみ/わら	玄米重	屑米重	わら	もみ
1	水口	98	20.6	681	1	48.9	53.9	1.10	42.6	0.8	0.78	1.18
	中央	93	20.9	458	1	47.6	52.7	1.11	41.6	1.0	0.79	1.21
	水尻	91	20.0	576	1	48.7	49.7	1.02	38.9	1.2	0.74	1.23
	平均	94	20.5	572	1	48.4	52.1	1.08	41.0	1.0	0.77	1.21
2	水口	82	16.1	318	0	73.3	65.7	0.90	50.9	1.8	0.59	1.24
	中央	90	17.9	358	0	66.4	56.6	0.85	44.6	2.2	0.69	1.04
	水尻	96	17.5	513	0	58.9	47.4	0.80	37.7	0.5	0.67	1.09
	平均	89	17.2	396	0	66.2	56.6	0.85	44.4	1.5	0.65	1.12

(昭57)

②ほ場で44.4 kgとほぼ地区慣行と大差なく、わら、もみの窒素含有率でみた結果によってもとくに問題は認められず健全な養分状態であることがうかがわれた。

IV 考 察

1 集落排水水質の特徴

ここで対象とした県内10地区の水質調査結果では、農業用水と集落排水の比較ではpHには大差はみられなかったが、T-N、T-P、COD、CL濃度では農業用水に比べて集落排水で目立って高い。さらにT-Nの内容でみると、集落排水中のKj-N濃度が農業用水を上まわった。一方、水質の時間変動について特定の地区でみた結果では、集落排水とその流入地点下流の水質に7~9時、21~1時の1日2回の濃度のピークが認められ、その変化が1日の生活パターンに関連していることがうかがわれた。季節変動の追跡結果では集落排水及びその流入の影響を受けた水質はかんがい期に比べて非かんがい期で濃度の高まりが認められた。

伊達¹⁾は都市周辺の生活排水の調査結果から、家庭雑排水を主体とする水質中のT-N濃度は、通常は10 mg/l以下でそれほど高濃度のものは含まれていないが、反面CODが極度に高くなると指摘している。また、古賀²⁾らは筑後川下流の生活排水流入による水質汚濁の実態調査結果から、生活排水によって汚濁された用水中にはCOD、T-N、T-P、塩類などが高く、さらにT-N中にはNH₄-N、T-P中ではPO₄-Pの割合の高いことをあきらかにした。一方、保坂³⁾らは生活雑排水に関する調査結果から、汚濁物質の1日の排水量には1日2回のピークがあり、1回目は6~8時、2回目は18~20時であったという。また、これらのピーク時の排出率の試算では、前者でCOD 37.5%、T-N 19.5%、T-P 1.1%、水量37.2%となり、後者はCOD 32.0%、T-N 8.5%、T-P 50.4%、水量22.5%であり、前者はCOD、T-N、後者はT-Pの排出率が高かったと報告している。同様の傾向は、県内の八千代町新地集落排水処理施設の流入水の調査結果⁴⁾にも認められ、午前中のピークにみられるCOD、T-Nの増加

は、その発生源は主にし尿であり、午後のピークにみられるT-Pの増加は主に中性洗剤であろうと推察している。

増島⁶⁾らは埼玉県元荒川水系の調査結果から、水中のT-N濃度は季節の変動が大きく、冬季に高く、夏季に低いことを認め、とくに冬季は有機態N濃度が高くなったと報告している。

さきの調査結果はほぼこれら一連の結果と符合しており、あきらかに集落排水水質の特徴をうらづけている。また、前述した集落排水及びこれらの流入地点下流の水質変動の追跡から水質の変化が集落排水のパターンと類似していることから、あきらかにその影響の大きいことがうかがわれた。

2 処理場による浄化

調査対象とした猿島町沓掛地区処理場は、県内の他の地区に先立って、農村集落排水処理施設として、土壌式循環接触曝気法によって整備されたものである。昭和56~57年、これらの効果をみるため流入水と排水を対象にT-N、T-Pを中心に水質分析を行った結果、排水の値はいずれも流入水に比べて低下しており、あきらかに施設による浄化の効果がみられ、効果はT-Pにおいて顕著であった。また、流入水ではKj-N濃度がNO₃-Nに比べて極端に多かったのに対し、排水ではKj-Nが極端に少なくなり、大部分がNO₃-Nで占められていることも注目された。

集落排水の水処理はNの除去が問題であり、硝化、脱Nは集落排水処理の課題であった。そこで組入れられたのが接触曝気法であり、さらにP除去をねらって組入れたのがトレンチ方式による土壌浸透方式である。上述の結果によれば、効果は判然とみられたものの今後これらの効果の持続性が憂慮されよう。とくに土壌の浄化能を超えた量が流入された場合、汚濁成分はさらにその下層に浸潤し、地下水へ流入する可能性がありこれらのことについてはさらに今後の検討が待たれる。

流域では、処理場による水質の浄化効果を確認する一環として、下流の放流水かんがい田で水稻の生育収量を調査した。結果的には、水稻の過繁茂、倒伏等の被害も

認められず、健全な生育を示すとともに収量においても地区慣行のレベルを確保でき問題はみられなかった。しかし、基肥施肥量においては地区慣行施肥量に比べて20%程度減肥されておる現況もみのがせない。

V 摘 要

農村集落排水水質の特徴とこれらの流入が農業用水水質に及ぼす影響さらにこれらを浄化処理して処理水を再度かんがい用水として利用するため建設された処理場の水質浄化効果についても、水質調査とともに水稻の栽培結果を観察してあきらかにした。結果を要約すれば次のようである。

1. 生活雑排水を含む集落排水の水質はとくにT-N, T-P, COD, CL, EC全てにおいて農業用水水質の値を上まわっていることが認められた。

2. とくに集落排水の水質では農業用水に比べてKj-N, T-P, CODで高い値が目立った。

3. 民間住宅団地を含む農村集落戸数約50戸程度から排出される生活雑排水を含む集落排水の農業用水路への流入は、事例調査の結果からあきらかに流入地点下流の水質に影響することが認められた。

4. 集落排水とその影響をうけた農業用水水質の時間変動をみるとあきらかに7~9時, 21~1時の1日2回濃度のピークがみられ、濃度の変化が生活パターンに関連していることが示唆された。

5. 集落排水流入の影響をうけた地点の水質の季節変動をみると、N・P濃度とも非かんがい期とくに秋から冬にかけて濃度の高まることがうかがわれた。

6. 土壌式循環接触曝気法の設置された集落排水処理場を対象として、その浄化効果をみるため水質調査を行った結果、あきらかに処理の効果がみられ、濃度の低下率はN 46.6%, T-P 99.4%を示し、T-Pはほぼ完全に除去できることがうかがわれた。

7. 放流水利用水田の水稻栽培結果では、基肥窒素を慣行より20%程度減肥するなど施肥管理に若干配慮することにより水稻の倒伏被害も軽減され、安定収量の確保できる見通しが得られた。

謝 辞：本調査を行うにあたり、適切なお助言と有益なお指導をいただいた元環境部長（現、土壌肥料部長）酒井一氏、同小林登氏（現、常陸太田地区農業改良普及所）はじめ、水質調査にご協力いただいた元環境部技師（現、管理部技師）新家忠也氏、環境部主研小山田勉氏その他環境部関係者、さらに地区選定、流量測定等ご協力いただいた農地計画課と関係土地改良事務所の関係者に心から感謝の意とお礼を申し上げます。

また、ご多忙の折本稿のご校閲をいただいた場長、新妻芳弘氏、副場長 坪 存氏、管理部長小坪和男氏さらに乱雑な原稿の整理に手をわずらわせた企画調整室長間谷敏邦氏に対し、心からお礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 伊達 昇：都市周辺における水質悪化の諸問題，近代農業における土壌肥料の研究，日土肥学会編 2. 33~40 (1971)
- 2) 保坂義男，大賀守也，林 幹夫：生活雑排水に関する調査結果について。茨公技七周年報（創立15周年記念特集号） 15. 90~92 (1982)
- 3) 平山 力，吉原 貢：水質汚濁による被害田の改良に関する研究（第1報），中丸川流域とその他2，3の窒素汚濁水かんがい水田の実態調査。茨城農試研報 21. 19~105 (1981)
- 4) 茨城県環境局：霞ヶ浦流域，生活雑排水処理技術指針 1~18 (1984)
- 5) 古賀 汎，白石勝恵：クリーク地帯における灌がい水の富栄養化，九州農試資料 56. 20~30 (1977)
- 6) 増島 博，竹内 誠：流水中での窒素化合物の形態変化，土肥講要集 17. 164 (1971)
- 7) 日本規格協会，工場排水試験法，JISK0102，日本工業標準調査会審議。
- 8) 農業土木学会計基準改定委員会：昭和58年度計画基準作成調査（農村環境整備）報告書，（1984）
- 9) 大西公一，中島嗣郎，山本 昇，柳田明德：汚水による水稻栽培の障害とその対策，農業技術 22. 2 (1967)

集落排水の流入が農業用水水質に及ぼす影響と処理場による浄化効果

- 10) 猿島町役場：県単用水障害対策事業沓掛南地区
(1980)
- 11) 徳永美治，本莊吉男，浅野次郎：窒素汚濁田における水稲栽培試験，東海近畿農試報告 24, 151～180
(1972)
- 12) 豊田一郎，伊藤敏彦，山田良三，沖村逸夫：都市近郊における農業用水汚濁機構の解析（第1報），流域からの汚濁物質の流出特性，愛知総農試研報 12, 393～399 (1980)

水田の水質浄化機能に関する研究

第2報 灌漑水によって流入した硝酸態窒素のグライ土壤における浄化

小山田 勉・小林 登*

The Effect of Paddy Fields on Water Quality

Part II : The Fate of the Nitrate Input by Irrigation in Paddy Fields(Gley Soil)

Tsutomu OYAMADA, Noboru KOBAYASHI

前報で黒ボク土壤における硝酸態窒素の浄化能について元肥の多少・稲ワラ施用の有無・用水の硝酸態窒素濃度の3要因を組み合わせて検討した結果を報告した。

本報では細粒強グライ土壤を供試して、稲ワラ施用の有無・用水の硝酸態窒素濃度の2要因を組み合わせて試験を実施した。その結果、稲作期間中の硝酸態窒素の浄化量は最大 20 g/a/日 であり、流入窒素の95%に相当した。

稲ワラ施用による浄化効果は、用水の硝酸態窒素濃度が低い場合にその効果があり、高い場合には認められなかった。

灌漑水の硝酸態窒素濃度と水稻の生育・収量との関係は認められず、 30 mg/l でも水稻の生育に支障がなかった。

I 緒 言

近年、閉鎖系水域をはじめ公共用水域の水質汚濁はやや改善される方向にあるものの依然として目立っている。その汚濁要因は工場・事業所排水、家庭雑排水はもとより、農耕地から流出する窒素・リンもそのひとつとされており各種の調査^{1, 5, 6, 7, 9, 11, 14, 15}からもうろづけられている。

しかし、水田では逆に水質を浄化する働きのあることも認められており、前報¹⁰において黒ボク土壤における硝酸態窒素の浄化能について報告した。

本報告はグライ土壤における硝酸態窒素の浄化能についてとりまとめたものである。

なお、本研究は「霞ヶ浦浄化対策確立に関する試験」

として、昭和58年・59年の2か年間にわたって行ったものである。

II 試験方法

1 試験場所及び水田の造成と土壤条件

試験場所は、農試本場(水戸市上国井町)10号水田で実施した。試験圃場の造成は那珂町門部(久慈川沖積地)地区内のグライ土壤を搬入し、現水田土壤を50cm排土・客土して造成した水田である。一区画面積は 43.2 m^2 ($8 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}$)であり、造成工事は昭和58年4月27日に完了した。

造成土壤の化学性は第1表に示すとおりである。

これによれば、炭素含量・窒素含量とも低く、リン酸吸収係数も低く沖積土壌の特徴を示している。また、土性は細粒強粘質のグライ土壌である。日減水深は極めて

* 現茨城県肥飼料検査所

第1表 造成土壌の化学的性質

(乾土 100 g 当り)

pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me)	置換性塩基(mg)			Av-P ₂ O ₅ * (mg)	リン酸 吸収係数	Av-SiO ₂ (mg)
				CaO	MgO	K ₂ O			
6.2	0.54	0.08	25.8	303.3	74.6	14.8	10.6	870	12.1

注) 昭58.4.27 採土 *トルオーグ

小さく 10 mm 程度である。

2 試験区の構成

試験区の構成は、稲ワラ施用の有無及び灌漑水の硝酸態窒素濃度 (0, 5, 10, 30 mg/l) の組み合わせによる 8 区一連制である。ただし、58 年は灌漑水の硝酸態窒素濃度は 0, 5, 10 mg/l の 3 処理である。

3 灌漑水の調整法

灌漑水の調整法については前報と同様の方法であり硝酸カルシューム (大塚液肥 2 号) を通常の灌漑水に溶解し NO₃-N 濃度で 1,000 mg/l になるように希釈しこれを原液とした。この原液を灌漑時に電動ポンプで灌漑水に注入し灌漑した。

4 水収支の測定法

水収支の測定は前報と同様の方法であり、測定期間は入水・代掻きから水稻の収穫期までの期間としそれぞれ以下の方法で測定した。

1) 流入水量

灌漑水量: 各水田の灌漑水口に取り付けた径 25 mm の積算水道メーターにより測定し、5 日毎に読み取った。

降雨量: 場内に設置している転倒樹型雨量計によった。

2) 流出水量

蒸発散量: 場内設置の径 1,200 mm の蒸発散計の値に水稻の生育段階ごとの蒸発散比²⁾を乗じてこれを水田からの蒸発散量とした。

落水: 径 25 mm の積算水道メーターを排出口に付けたエンジンポンプで田面水を汲み出しメーターの前後の数値から水量を算出した。

地下浸透水量: 計算値であり、{(灌漑水量+降雨量)-(蒸発散量+落水)}の算式から求めた。

5 地下浸透水の採取法

前報と同様に地下 30 cm に埋設した L 字管から採水した。

6 耕種概要及び水管理

耕種概要は第 2 表に示すとおりであり、水稻品種はコシヒカリを供試し、施肥量及び栽培法は県耕種基準³⁾によった。水管理は入水・代掻きから水稻の収穫期まで常時灌水状態としグライ土壌としての性質を維持することに努めた。

第2表 耕種概要

項 目	昭和 58 年	昭和 59 年
品 種 名	コシヒカリ	コシヒカリ
栽植密度(畦間×株間)	30×15	30×15
稲ワラ鋤込	4月28日	4月24日
元肥施肥	5月10日	5月11日
代掻1回目	5月10日	5月11日
代掻2回目	5月13日	5月15日
移植期(稚苗・手植)	5月17日	5月18日
第1回追肥	8月1日*	7月20日*
第2回追肥	-	8月14日**
出穂期	8月16日	8月8日
最終灌漑日	9月3日	9月4日
収穫期(刈取り)	9月26日	9月18日

元肥 (kg/a) N: 0.4, P₂O₅: 0.8, K₂O: 0.8

追肥 (kg/a) *N, K₂O各 0.2

**N 0.2

7 分析・測定法

水の硝酸態窒素の分析はイオン電極法 (オリオン製) によって行ない、作物体窒素の分析はケルダール法によった。

III 試験結果及び考察

1 稲作期間の水収支

1) 流入水

(1) 降雨量

試験期間中の降雨量は第 3 表のとおりである。

第3表 稲作期間の降雨量 (mm)

年度	昭 58						昭 59					
	5	6	7	8	9	計	5	6	7	8	9	計
雨量	60	185	157	84	79	565	31	162	78	3	31	305

すなわち、水田への入水・代掻きから水稻の収穫期までに、58年は565mm、59年は7・8月の降雨量が少なく305mmにとどまった。

(2) 灌漑水量

各試験区に対する灌漑は、58年は5月10日入水開始、9月3日をもって終了した。59年は5月11日に入水し9月4日に終了した。この期間の灌漑水量は第4表に示すとおりである。

これによれば、58年5月の代掻き・田植・活着期の灌漑水量は134~207mmで全6区の平均値は161mmである。

No.1とNo.5の灌漑水量が他の区に比べやや多いが、いずれも末端の圃場であり水田造成時の圧密等他の区とやや異なっていることが考えられた。

しかし、前報の黒ボク土壌での灌漑水量は同時期で最

大878mmであったことと比べて、格段に少ない。

6月・7月は梅雨期で灌漑水量は少なく各区とも100mm以下である。8月の灌漑水量はいずれの区も150mm程度となり、9月は最終灌漑日の3日までに24~45mmの灌漑水量である。

すなわち、水稻栽培期間中の灌漑水量は435~550mmとなり霞ヶ浦周辺に分布する水田¹⁾なみの灌漑水量で、黒ボク土壌の水田に比べ4~6分の1であった。

59年は、5月の代掻き・田植時期の灌漑水量が58年同期に比べて平均4倍の灌漑水量となっているが、これは田面が冬期に乾燥し、亀裂が発生しこれによって浸透水が増大したものと推定された。代掻き以後は減水深も前年と同程度に回復し、灌漑水量も少なくなった。7・8月は降雨量が少なかったため、灌漑水量は前年に比べて増大した。全期間の灌漑水量は786~1,380mmとなり早稲年であったこともあり前年を大幅に上まわり、全区の平均値で前年の約72%の増加となった。

灌漑水量と各処理要因(稲ワラ施用の有無・灌漑水の硝酸態窒素濃度)との関係については、両年とも有意差は認められなかった。

第4表 灌 漑 水 量 (mm)

処理 No.	処 理 要 因		昭 5 8						昭 5 9					
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/l	5月	6月	7月	8月	9月	計	5月	6月	7月	8月	9月	計
			1	0	0	207	81	67	150	45	550	595	20	134
2	0	5	147	67	40	144	37	435	486	10	54	212	24	786
3	0	10	134	88	31	157	42	452	546	8	72	224	36	886
4	0	30							701	33	129	400	25	1,288
5	600	0	192	75	41	148	36	492	725	37	161	297	30	1,250
6	600	5	145	72	46	148	24	435	572	19	78	291	63	1,023
7	600	10	143	86	40	158	42	469	557	10	103	166	35	871
8	600	30							776	33	135	412	24	1,380

2) 流出水

(1) 蒸発散

蒸発散量は作物体からの蒸散と水田面からの蒸散の合量であるが、本試験では58年は場内に設置してある大

型蒸発散計の値に水稻の各生育段階毎の蒸発散比²⁾を乗じて蒸発散量を推定した。59年は塩ビ製の有底の容器(60cm×30cm×30cm)を水田に埋め込み、これに水稻を4株植え付け常時湛水状態とし、これに水位計を連結し

水位の変動から蒸発散量を求めた。

その結果は第5表のとおりである。

第5表 稲作期間の蒸発散量 (mm)

年度	昭 58					昭 59						
月	5	6	7	8	9	計	5	6	7	8	9	計
蒸発散量	67	143	173	171	113	671	43	54	96	208	48	449

これによれば、5月から9月の収穫期までの蒸発散量は、58年は671mmとなり、59年は449mmである。

すなわち、蒸発散量は早魃年の59年より58年の方が222mm多くなっている。この違いについては年度・測定法の違いなどによる影響と考えられるが、この値をそれぞれの蒸発散量として検討を加えることにする。

(2) 落水量

本試験では水収支を明らかにするため、各試験区に排水口を設置していない。したがって、本圃場は減水深が小さいため大雨の場合には、水が溜まることになる。これをポンプで汲み出し排水量を測定し落水量とすると同時に採水・分析により流出負荷量を求めた。すなわち、この排水量は本来ならば表面流去水量となるべきものである。

この排水量を落水量として第6表に示した。これによれば、58年は5月から8月までほとんどの区でみられ、最大区で212mmの排水量があり稲作期間中の降雨量565mmの37.5%に相当した。59年は6月のみであったが、排水量は58年と同等である。58年に比べ59年の排水回数が少なかったのは、先にのべたように早魃年で7・

第6表 落水量 (mm)

処理No.	処 理 要 因		昭 58					昭 59	
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/l	5月	6月	7月	8月	計	6月	計
1	0	0	30		30		60	107	107
2	0	5	42	66	61	42	211	217	217
3	0	10	34	67	62	49	212	212	212
4	0	30						135	135
5	600	0	28				28	78	78
6	600	5	48	54	41	36	179	109	109
7	600	10	48	24		19	91	74	74
8	600	30							

8月の雨量が極端に少なかったためである。

(3) 地下浸透水量

地下浸透水量は流入水（灌漑水+降雨）から蒸発散量と落水量を差し引いた計算値であり、第7表に示した。

これによれば58年は118~384mmであり各区间差の大きいことが認められる。この差の大きい原因は、先にも触れたが造成田であるため試験区によって減水深に違いがあるためである。また、7月は地下浸透水量が負となり流出量が流入量を上まわったことになるが、これは水収支の集計を1か月毎にしたため計算上負の値になっ

たものと考えられる。

なお、流入水量（灌漑水と降雨）に対する地下浸透水量の割合は23%（全区平均）となり、前報の黒ボク土壌の75%と比べ3分の1以下と小さい。

59年は425~1,236mmであり全体に58年に比べ大幅に増加した。増加の内容についてみると5月・7月が顕著であり、とくに5月の浸透量が大きい。これは先にも述べたように非稲作期間の乾燥によって田面に亀裂が生じ、これによって浸透水が多くなったものと推察される。なお、5月の代掻き以降の地下浸透水は58年に比べや

水田の水質浄化機能に関する研究

第7表 地下浸透水量

(mm)

処理 No.	処理要因		昭 58						昭 59					
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/ℓ	5月	6月	7月	8月	9月	計	5月	6月	7月	8月	9月	計
1	0	0	170	119	21	63	11	384	583	21	116	63	6	789
2	0	5	98	39	-37	15	3	118	474	-99	36	7	7	425
3	0	10	93	59	-47	21	8	134	534	-96	54	19	19	530
4	0	30							689	6	111	195	8	1,009
5	600	0	157	113	25	61	2	358	713	67	143	92	13	1,028
6	600	5	90	56	-11	25	-10	150	560	18	60	86	46	770
7	600	10	88	100	24	52	8	272	545	44	85	-39	18	653
8	600	30							764	141	117	207	7	1,236

や多いものの58年とほぼ同等であることが認められる。

有意差は認められなかった。

流入水量(灌漑水と降雨)に対する地下浸透水量の割合は全区の平均値で59%となり58年をこの点でも上まわった。

さらに、稲ワラ・硝酸態窒素濃度の交互作用についても有意差は認められず前報の黒ボク土壌の場合と異なった。

3) 水収支

また、地下浸透水量と各処理要因との関係については

以上水の流入量・流出量について集計すると第8表-

第8表-1 水収支(昭58)

(mm)

IN (収入)			処理要因			OUT (支出)			計
計	灌漑水	降雨	No.	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/ℓ	蒸発散	落水	地下浸透	
1,115	550	565	1	0	0	671	60	384	1,115
1,000	435	565	2	0	5	671	211	118	1,000
1,017	452	565	3	0	10	671	212	134	1,017
			4	0	30				
1,057	492	565	5	600	0	671	28	358	1,057
1,000	435	565	6	600	5	671	179	150	1,000
1,034	469	565	7	600	10	671	91	272	1,034
			8	600	30				

第8表-2 水収支(昭59)

(mm)

IN (収入)			処理要因			OUT (支出)			計
計	灌漑水	降雨	No.	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/ℓ	蒸発散	落水	地下浸透	
1,345	1,040	305	1	0	0	449	107	789	1,345
1,091	786	305	2	0	5	449	217	425	1,091
1,191	886	305	3	0	10	449	212	530	1,191
1,593	1,288	305	4	0	30	449	135	1,009	1,593
1,555	1,250	305	5	600	0	449	78	1,028	1,555
1,328	1,023	305	6	600	5	449	109	770	1,328
1,176	871	305	7	600	10	449	74	653	1,176
1,685	1,380	305	8	600	30	449	0	1,236	1,685

1及び第8表-2のとおりである。

58年の流入水(灌漑水+降雨)の合計は1,000~1,115 mmとなり同年の黒ボク土壌の約1/3であり、また各試験区間の差も小さい。

灌漑水と降雨の割合は全区の平均値で灌漑水が45.4%であり降雨の割合を下まわった。

59年は灌漑水と降雨併せて1,091~1,685 mmとなり、降雨の少なかったこともあり灌漑水の割合が77%と高く前年と逆転した。

流出水については、蒸発散量は各区共通であり58年は671 mmであり、全流出量に占める割合は平均値で65%となり落水及び地下浸透水を大幅に上まわった。59年は449 mmであり全流出量に占める割合は平均で33.5

%にとどまった。これは、蒸発散量が58年に比べ少なかったこと、地下浸透水量が大幅に増加したことにより相対的にその割合が低下したものと考えられる。

落水量は58年は28~212 mm, 59年は0~217 mmであり流出水量に占める割合は平均9~13%となり、蒸発散及び地下浸透水に比べその割合は低い。

地下浸透水は58年は118~384 mmに対して、59年は425~1,236 mmであり、58年に比べ大幅に増加した。したがって、流出量に占める割合は58年の22%に対して、59年は57%となった。

2 処理要因と水稻の生育と収量

処理要因と水稻の生育・収量については第9表及び第10表のとおりである。

第9表 水稻の生育

(cm・本/株)

処理 No.	処理要因		昭 5 8						昭 5 9							
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/l	5月30日		7月1日		9月20日(収穫期)			6月5日		6月28日		9月12日(収穫期)		
			草丈	茎数	草丈	茎数	稈長	穂長	穂数	草丈	茎数	草丈	茎数	稈長	穂長	穂数
1	0	0	19.6	4.4	39.7	21.1	90.1	19.4	17.3	26.7	7.5	45.4	25.6	82.6	15.9	18.1
2	0	5	19.4	5.3	41.7	22.7	89.6	19.0	19.1	25.1	5.9	45.7	24.3	84.8	16.8	17.6
3	0	10	18.7	4.7	40.7	19.5	90.7	19.5	17.4	26.7	7.1	45.8	25.8	82.0	16.2	18.5
4	0	30								26.1	9.5	42.7	28.6	81.9	16.5	19.9
5	600	0	16.5	5.5	31.9	16.6	79.2	17.6	14.7	22.6	5.8	32.4	14.7	79.7	18.1	13.3
6	600	5	19.2	4.0	34.7	15.4	84.3	18.6	15.3	23.2	5.1	33.9	13.6	82.3	18.1	13.5
7	600	10	18.0	4.3	33.5	13.7	79.7	18.8	13.7	23.8	4.9	34.0	15.6	80.9	17.7	14.1
8	600	30								20.8	5.8	31.9	14.7	81.4	18.5	15.9

第10表 水稻の収量

(kg/a)

処理 No.	処理要因		昭 5 8					昭 5 9				
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/l	ワラ重	玄米重	クズ米重	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	ワラ重	玄米重	クズ米重	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)
1	0	0	60.0	47.4	3.0	20.3	79.2	48.2	42.1	0.6	22.0	92.8
2	0	5	51.8	51.8	3.1	20.4	84.8	69.4	46.2	1.5	22.2	78.6
3	0	10	63.8	49.7	3.7	20.0	61.7	71.3	47.6	0.9	22.1	79.3
4	0	30						77.3	46.9	0.9	22.2	83.5
5	600	0	52.5	47.7	2.4	20.1	72.5	44.2	41.8	1.1	21.5	84.7
6	600	5	50.3	45.9	2.3	20.5	74.0	54.6	44.3	2.0	21.6	77.0
7	600	10	43.5	41.9	2.2	20.1	71.6	53.2	44.6	2.6	22.0	67.6
8	600	30						63.1	47.5	3.2	21.8	69.1

水田の水質浄化機能に関する研究

これから、稲ワラ施用の有無と生育との関係についてみると、58・59年の2か年とも生育初期から収穫期にいたるまで草丈・茎数及び稈長・穂数とも無施用系列区のままの傾向が認められる。生ワラ施用田における水稻の生育パターンは初期生育の抑制されるのが一般であり本試験においてもその傾向であった。

灌漑水の硝酸態窒素濃度と草丈・茎数との関係は判然とせず、収穫期の稈長・穂数もその影響は認められず、倒伏もみられなかった。さらに、収量の玄米重についてもその影響は認められない。

したがって、減水深の小さいグライ土壌では硝酸態窒素濃度の高い灌漑水 ($\text{NO}_3\text{-N}$ 30 mg/ℓ 程度) が流入しても水稻の生育・収量に影響のないことがうかがわれる。

前報の黒ボク土壌では水稻の生育後期に灌漑水中の硝酸態窒素を利用していることが認められ、灌漑水中の硝酸態窒素濃度が 10 mg/ℓ 以上では倒伏などの障害があったことと比べ明らかに異なった。

3 流入・流出水の硝酸態窒素濃度と窒素収支

1) 流入水の硝酸態窒素濃度と流入量

(1) 灌漑水

本試験に使用した灌漑水は、前報と同様に那珂川から揚水した小場江用水である。これに先の 1,000 mg/ℓ の硝酸態窒素原液を混入し、規定の濃度に調整したものをそれぞれ灌漑水として用いた。

調整後の水質は第 11 表のとおりである。

これによれば、小場江用水の硝酸態窒素濃度は 1.2~1.7 mg/ℓ であり、濃度が低い。

調整後の硝酸態窒素濃度は目標の濃度とやや前後しているが、試験遂行上支障のないものとしてこれを用いた。

その他の水質項目ではケルダール態窒素は 0.9 mg/ℓ、T-P は 0.3 mg/ℓ、COD が 3 mg/ℓ 前後であり、水稻の栽培に支障のない濃度である。

第 11 表 灌漑水の水質 ($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg/ℓ)

処理区分	昭 5 8	昭 5 9
0 mg/ℓ 区	1. 2	1. 7
5 mg/ℓ 区	6. 1	5. 9
10 mg/ℓ 区	11. 2	10. 1
30 mg/ℓ 区	-	27. 1

0 mg/ℓ 区は通常の灌漑水 (小場江用水)
Kj-N 0.9, T-P 0.3, COD 3 mg/ℓ

以上の灌漑水によって流入した硝酸態窒素は第 12 表のとおりである。

58 年は 0 mg/ℓ 区で 58~66 g/a の硝酸態窒素が流入し、5 mg/ℓ 区は 265~266 g/a、10 mg/ℓ 区は 507~525 g/a の硝酸態窒素が流入した。59 年は灌漑水量が 58 年に比べ多くなったために硝酸態窒素の流入量も多く、0 mg/ℓ 区でも 58 年の 3 倍以上の窒素が流入している。また、新たに追加した 30 mg/ℓ 区では 3,491

第 12 表 灌漑水によって流入した硝酸態窒素 (g/a)

処理 No.	処理要因		昭 5 8						昭 5 9					
	稲ワラ kg/10a	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/ℓ	5月	6月	7月	8月	9月	計	5月	6月	7月	8月	9月	計
1	0	0	25	10	8	18	5	66	101	3	23	46	4	177
2	0	5	90	41	24	88	23	266	287	6	32	125	14	464
3	0	10	150	99	35	176	47	507	551	8	73	226	36	894
4	0	30							1,900	89	350	1,084	68	3,491
5	600	0	23	9	5	18	3	58	123	6	27	50	5	211
6	600	5	88	44	28	90	15	265	337	11	46	172	37	603
7	600	10	160	96	45	177	47	525	563	10	104	168	35	880
8	600	30							2,103	89	366	1,117	65	3,740

～3,740 g/a の硝酸態窒素が流入した。したがって、本試験の元肥窒素が 0.4 kg/a であることから、最大で元肥窒素の約 9 倍に相当する量が灌漑水から流入したことになる。

流入量の推移については当然のことながら灌漑水の多少と一致しており代掻き・田植期の 5 月と盛夏の 7・8 月の流入量が多い。

(2) 降雨

降雨からの硝酸態窒素の流入量は、灌漑水からの流入と同様に降雨量とその水質から積算される。すなわち、雨水の硝酸態窒素濃度を 0.28 mg/l^{a)} とすると、58 年は 0.02 kg/a、59 年は 0.01 kg/a となり灌漑水による

流入量に比べてきわめて少ない。

2) 流出水の窒素濃度と流出量

(1) 落水

落水中の硝酸態窒素濃度及びその量は第 13 表-1 及び第 13 表-2 に示すとおりである。

58 年の落水の回数は 5 月から 8 月までに 5 回あり、59 年は 6 月中のみで 5 回あった。

落水中の硝酸態窒素濃度については、58 年 5 月 17 日は 0.36～2.27 mg/l である。すなわち、灌漑水の硝酸態窒素濃度 0 mg/l 区の濃度が 2.27 mg/l で灌漑水の濃度を越えており、肥料の溶出又は土壌からの回帰のあったことが推定される。しかし、他の区は灌漑水濃度

第 13 表-1 落水の硝酸態窒素濃度と流出窒素 (昭 58)

(mg/l・g/a)

処理 No.	処理要因		5月17日		6月22日		6月25日		7月6日		8月18日		流出量計
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/l	濃度	量	濃度	量	濃度	量	濃度	量	濃度	量	
1	0	0	2.27	7					0.15	0			7
2	0	5	2.27	10	0.98	4	0.79	2	0.13	1	0.21	1	18
3	0	10	0.36	1	0.29	1	1.66	4	0.11	1	0.43	2	9
4	0	30											
5	600	0	1.00	3									3
6	600	5	0.92	4	0.40	1	0.38	1	0.14	1	0.30	1	8
7	600	10	0.95	5	0.30	0	0.79	1			0.23	0	6
8	600	30											

第 13 表-2 落水の硝酸態窒素濃度と流出窒素 (昭 59)

(mg/l・g/a)

処理 No.	処理要因		6月1日		6月16日		6月26日		6月28日		6月29日		流出量計
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/l	濃度	量	濃度	量	濃度	量	濃度	量	濃度	量	
1	0	0	0.40	1			0.16	1			0.10	1	3
2	0	5	0.89	3	4.90	29	0.15	1	0.11	0	0.09	1	34
3	0	10	0.97	3	6.00	34	0.18	1	0.10	0	0.08	0	38
4	0	30			9.60	51	0.15	1	0.09	0	0.13	0	52
5	600	0	0.37	1							0.13	1	2
6	600	5	0.42	2							0.12	1	3
7	600	10	0.66	2							0.11	1	3
8	600	30											

より低い。この落水の濃度の低いのはとりもおさず田面に溜まった雨水を測定したことになり当然の結果といえるかも知れない。しかしながら、試験田は常時 20～30 mm の湛水状態にあり、ここに降雨があり結果として落水の必要があった訳である。したがって、この落水は灌漑された田面水と雨水の混合されたものを測定したことになる。

ところが、実際の硝酸態窒素濃度は雨水の硝酸態窒素濃度の平均値の 0.28 mg / ℓ⁹⁾ 以下の場合もみられた。したがって、灌漑水は田面でもかなり浄化されるものと推察される。

つぎに、59 年 6 月 16 日落水の濃度が 4.9～9.6 mg / ℓ と他の時期に比べて高いが、灌漑後に約 30 mm の降雨がありこれによって落水を余儀なくされたものである。

これらの落水によって流出した硝酸態窒素は、58 年は 3～18 g / a でありきわめてわずかで、かつ灌漑水の濃度の高低に関係がない。

59 年は 0～52 g / a の流出量であったが、その大部分は先に述べた 6 月 16 日の落水であった。これは灌漑直後の降雨による落水であったために田面での浄化が間に合わなかったことによるものと考えられた。

(2) 地下浸透水

地下浸透水の硝酸態窒素濃度の推移については第 14 表に示すとおりである。

58 年の各処理区の平均値でみると、稲ワラ無施用 0

mg / ℓ 区は 0.7 mg / ℓ であり、同様に 5 mg / ℓ 区は 1.15 mg / ℓ、10 mg / ℓ 区では 0.56 mg / ℓ である。また、稲ワラ施用系列の場合は用水濃度が 0 及び 5 mg / ℓ 区が 0.48 mg / ℓ と同一であり、10 mg / ℓ 区は 0.90 mg / ℓ である。

59 年も稲ワラ施用、30 mg / ℓ 区の No. 8 区を除いて 0.5 mg / ℓ 前後になっており 58 年度と同様に低濃度である。なお、No. 8 は入水代掻き時に灌漑水が土壤のキレットを通じて浸透管に流入したと思われ、5 月中の濃度が高くなりこれが平均値を高めることになった。

つぎに、硝酸態窒素濃度の時期別の推移についてみると、両年とも、5 月の入水代掻き時期の濃度が他の時期に比べ高い。この高い原因については先にも述べたが、浸透管の水位の上昇が他の時期に比べて早かったことからみて、灌漑水が土壤のキレットを通じて比較的簡単に浸透管に流入し土壤での浄化が進まなかったことによるものと推察される。

6 月以降については稲ワラの有無・灌漑水濃度に関係なく収穫期の 9 月までほとんどの区が 1 mg / ℓ 以下で経過している。

高村ら¹³⁾ は霞ヶ浦流域の実際の湿田で浸透水を測定し硝酸態窒素・亜硝酸態窒素はほとんど検出しなかったことを報告している。したがって、本試験で用いた土壌型の実際の水田では非稲作期間でもあまり乾燥せず入水・田植時期から浄化能が高く浸透水の硝酸態窒素はほとんどみられないものと考えられる。

第 14 表 地下浸透水の硝酸態窒素濃度

(mg / ℓ)

処理 No.	処理要因		昭 5 8						昭 5 9				
	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/ℓ	5月	6月	7月	8月	9月	平均	5月	6月	7月	8月	平均
1	0	0	1.61	0.69	0.61	0.45	0.24	0.70	0.80	0.35	0.37	0.46	0.46
2	0	5	4.64	1.06	0.45	0.40	0.20	1.15	0.76	0.30	0.44	0.39	0.43
3	0	10	1.90	0.74	0.43	0.42	0.26	0.56	0.59	0.45	0.33	0.48	0.45
4	0	30							1.24	0.41	0.49	0.81	0.68
5	600	0	0.35	0.54	0.53	0.49	0.42	0.48	0.78	0.33	0.37	0.54	0.47
6	600	5	0.40	0.56	0.42	0.52	0.42	0.48	0.59	0.34	0.37	0.48	0.42
7	600	10	0.37	1.76	1.38	0.42	0.56	0.90	0.42	0.35	0.38	0.51	0.42
8	600	30							8.30	1.32	0.57	0.88	2.09

前報の黒ボク土壌では地下浸透水の硝酸態窒素濃度が $1 \text{ mg} / \ell$ に低下したのは8月・9月の水稻の生育後期であったことと比べ、グライ土壌は初期から硝酸態窒素浄化能が高く、その程度も黒ボク土壌に比べ高い。

この地下浸透水によって流出した窒素については、第15表のとおりである。

58年は稲ワラ無施用系列で $20 \sim 46 \text{ g} / \text{a}$ に対して、施用系列は $7 \sim 26 \text{ g} / \text{a}$ であり、地下浸透窒素は稲ワラ施用によってやや軽減された。灌漑水濃度の違いと浸透窒素との関係については明らかでない。これは浸透水の水質が灌漑水濃度と関係がなかったことからもうなずける。すなわち、地下浸透窒素量の多少は浸透水の多少によってきまるといえる。

59年は58年に比べ全体に多くなった。これは、先に述べた浸透水の増大によるものである。ただし、No. 8区については、5月の代掻き時に濃度の高い灌漑水が土壌のキレットから浸透管に流入し、浸透水の濃度を高めた結果浸透窒素は多くなった。

この地下浸透窒素を前報の黒ボク土壌の場合と比較すると黒ボク土壌の10分の1から20分の1と少なく、グライ土壌が硝酸態窒素を効率よく浄化することがうかがわれる。

地下浸透量の推移をみると、2か年とも5月の浸透量が多いが、この時期は入水代掻き期であり浸透水量が大きいこと、水田の硝酸態窒素の浄化能が十分でないことなどによるものと考えられた。

第15表 地下浸透窒素

(g/a)

処理 No.	処理要因		昭 58						昭 59					
	稲ワラ kg/10a	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/ℓ	5月	6月	7月	8月	9月	平均	5月	6月	7月	8月	9月	平均
1	0	0	27	8	1	3	0	39	47	1	4	3	0	55
2	0	5	45	0	0	1	0	46	17	0	2	0	0	19
3	0	10	18	1	0	1	0	20	22	0	2	1	1	26
4	0	30	—	—	—	—	—	—	85	0	5	16	1	107
5	600	0	5	6	1	3	0	15	56	2	5	5	1	69
6	600	5	4	2	0	1	0	7	31	1	2	4	2	40
7	600	10	3	18	3	2	0	26	23	2	2	0	1	28
8	600	30	—	—	—	—	—	—	635	19	7	18	1	680

4 窒素収支と浄化量

1) 収入窒素

各試験区の窒素収支についてまとめると第16表-1及び第16表-2に示すとおりである。

収入は、灌漑水・施肥・稲ワラ・降雨に由来するものである。58年は最も収入窒素の小さかったNo. 1区で灌漑水から $0.07 \text{ kg} / \text{a}$ 、施肥 $0.6 \text{ kg} / \text{a}$ 、降雨 $0.02 \text{ kg} / \text{a}$ で合わせて $0.69 \text{ kg} / \text{a}$ である。この各収入窒素の割合は施肥が87%で大部分を占め、灌漑水の割合は10%程度となり降雨の割合はきわめて小さく3%以下である。

一方、収入窒素が大きくなったNo. 7区では灌漑水 0.53

kg / a (36%)、施肥 $0.6 \text{ kg} / \text{a}$ (40%)、稲ワラ $0.33 \text{ kg} / \text{a}$ (22%) となり、灌漑水からの流入量が増加し合わせて $1.48 \text{ kg} / \text{a}$ となった。

59年は施肥量を $0.1 \text{ kg} / \text{a}$ (追肥) 増施したこと、及び灌漑水量が58年より多かったため全体に収入窒素が増大した。

すなわち、収入窒素の最小となったNo. 1区では $0.89 \text{ kg} / \text{a}$ となり、灌漑水からの窒素も前年の $0.07 \text{ kg} / \text{a}$ から $0.18 \text{ kg} / \text{a}$ に増加した。

収入窒素が最大となったNo. 8区は $4.78 \text{ kg} / \text{a}$ となり、内灌漑水から $3.74 \text{ kg} / \text{a}$ 、施肥 $0.7 \text{ kg} / \text{a}$ 、稲ワラ

水田の水質浄化機能に関する研究

第16表-1 窒素収支及び浄化量(昭58)

(kg/a)

計	IN (収 入)				処 理 要 因			OUT (支 出)				浄 化 量 ⑤ (①+②)-(③+④)	浄 化 率 (%) ⑤/(①+②)
	灌漑水 ①	施肥	稲ワラ	降雨 ②	No.	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/ℓ	作物吸収	落水 ③	地下浸透 ④	未回収		
0.69	0.07	0.6	0	0.02	1	0	0	0.91	0.01	0.04	-0.27	0.04	44.4
0.89	0.27	0.6	0	0.02	2	0	5	1.20	0.02	0.05	-0.38	0.22	75.9
1.13	0.51	0.6	0	0.02	3	0	10	0.93	0.01	0.02	0.17	0.50	94.3
					4	0	30						
1.01	0.06	0.6	0.33	0.02	5	600	0	0.92	0.00	0.02	0.07	0.06	75.0
1.22	0.27	0.6	0.33	0.02	6	600	5	0.83	0.01	0.01	0.37	0.27	93.1
1.48	0.53	0.6	0.33	0.02	7	600	10	0.77	0.01	0.03	0.67	0.51	92.7
					8	600	30						

第16表-2 窒素収支及び浄化量(昭59)

(kg/a)

計	IN (収 入)				処 理 要 因			OUT (支 出)				浄 化 量 ⑤ (①+②)-(③+④)	浄 化 率 (%) ⑤/(①+②)
	灌漑水 ①	施肥	稲ワラ	降雨 ②	No.	稲ワラ kg/10a	NO ₃ -N mg/ℓ	作物吸収	落水 ③	地下浸透 ④	未回収		
0.89	0.18	0.7	0	0.01	1	0	0	0.57	0.00	0.06	0.26	0.13	68.4
1.17	0.46	0.7	0	0.01	2	0	5	0.79	0.03	0.02	0.33	0.42	89.4
1.60	0.89	0.7	0	0.01	3	0	10	0.75	0.04	0.03	0.78	0.83	92.2
4.20	3.49	0.7	0	0.01	4	0	30	0.86	0.05	0.11	3.18	3.34	95.4
1.25	0.21	0.7	0.33	0.01	5	600	0	0.63	0.00	0.07	0.55	0.15	68.2
1.64	0.60	0.7	0.33	0.01	6	600	5	0.81	0.00	0.04	0.79	0.57	93.4
1.92	0.88	0.7	0.33	0.01	7	600	10	0.72	0.00	0.03	1.17	0.86	96.6
4.78	3.74	0.7	0.33	0.01	8	600	30	0.82	0.00	0.68	3.28	3.07	81.9

0.33 kg/a, 降雨0.01 kg/aであり, 灌漑水から流入した窒素は施肥量の約5倍であった。

2) 支出窒素

支出窒素は, 作物体吸収, 落水, 地下浸透の他に全収入窒素から前3項目を差し引いたものが未回収分としてあげられる。未回収窒素は土壌又は微生物による固定などが考えられるが, その大部分は脱窒による空中への揮散と推定される。

第16表-1から58年の支出をみるといずれの区も作物体吸収量が支出項目中もっとも多く, その量は0.77~1.2 kg/aであり, 施肥量の0.6 kg/aを上まわっている。

水田からの排出負荷となる落水及び地下浸透水による排出量はきわめて少なく, 多いものでも地下浸透の0.05 kg/aである。また, 先にも述べたが窒素の地下浸透

量と稲ワラ施用との関係は認められない。

未回収分については-0.38~0.67 kg/aとなり, 支出窒素が収入窒素を上まわるケースもみられ地力窒素を利用していることが考えられる。

59年は58年と同様に支出項目中作物体吸収量が最大であったが, 地下浸透量もやや増加した。それでも, 最大0.1 kg/a (NO₃-N 30 mg/ℓ区)程度である。なお, No.8区の地下浸透量が大きいが前述したとおり, 水田の入水代掻き時に用水が浸透管に流入したことにより数値が大きくなったものであり本来の値とは異なるものと考えた。

落水による流出負荷は, 前述のとおり期間中6月のみであり, 多いもので0.05 kg/aであった。

未回収窒素は0.26~3.28 kg/aとなり, 流入窒素が58年より多くなったことから負の値にはならなかった。

また灌漑水によって流入した窒素が多いほど未回収窒素は多くなり、前報の黒ボク土壌と同様の傾向であった。

稲ワラ施用による未回収窒素への影響は、流入窒素に対して平均値で 85% となり、無施用は 90% となった。したがって、グライ土壌では未回収窒素の増減は稲ワラ施用の有無に関係ないことが認められる。

3) 浄化量

水田における窒素の浄化量について前報では、窒素収支の中の未回収分とし、その大部分は脱窒であるとした。しかし、灌漑水によって流入した硝酸態窒素は土壌及び微生物による固定あるいは脱窒による空気中への揮散・作物による吸収などの作用を受けた結果として地下浸透及び落水となって水田外に流出していく。したがって、このような水の流れのなかで、窒素の浄化量を評価する考え方もある。

以上の考え方で浄化量と浄化率を算出した。

これから 58 年の浄化量をみると、0.04~0.51 kg/a となり流入窒素が多いほど浄化量も多い。

流入窒素に対する割合すなわち、浄化率については、流入窒素の多少に関係なく、流出窒素が各処理区とも同等であることから相対的に流入窒素の増加に伴って浄化率は高まった。通常の灌漑水質の場合は流入窒素の 45~95% が浄化され、硝酸態窒素濃度が 10 mg/l の水質では 95% 程度浄化されることがうかがわれる。

稲ワラ施用の効果については、流入窒素が少ない場合にはやや認められるものの、流入窒素が多い場合にはその効果は認められない。したがって、グライ土壌は稲ワラの有無にかかわらず硝酸態窒素の浄化率は高いといえる。

59 年の浄化量も 58 年と同様の傾向で、流入量の増大に伴って浄化量は増加した。

この浄化量を前報の黒ボク土壌と比較すると、灌漑水の濃度が 10 mg/l では黒ボク土壌は約 2 kg/a の浄化に対して本グライ土壌は 0.5~0.8 kg/a であり、稲作期間の硝酸態窒素の浄化量は黒ボク土壌が大きい。しかし、水田からの負荷量と比較すると、黒ボク土壌では同濃度で 0.3~1.0 kg/a であるのに対してグライ土壌

では 0.03~0.07 kg/a できわめて少ない。

灌漑水が同一濃度の場合に、両土壌の浄化量に大きな隔たりがあったことは、灌漑水量が土壌の種類(減水深)によって大幅に異なるため、これによって浄化のもとになる硝酸態窒素の流入量が異なった。しかし、グライ土壌は流入した硝酸態窒素はきわめて効率よく浄化することがうかがわれる。また、灌漑水濃度が 30 mg/l でも水稻の生育に支障がなく、これを灌漑することによって稲作 1 作で約 3 kg/a の硝酸態窒素を浄化したことになり、黒ボク土壌の最大浄化量の 2 kg/a を上まわった。

すなわち、稲作期間を約 150 日とすればグライ土壌は水稻の生育に支障なく 1 日当たり 20 g/a を浄化したことになり、黒ボク土壌は 13 g/a となる。

また、硝酸態窒素の浄化率(浄化量/硝酸態窒素の流入量)については通常の灌漑水の場合でも 45~70% であり、黒ボク土壌の 10% をはるかに上まわっている。

浄化の内容については、種々考えられるが、灌漑水の硝酸態窒素濃度が 30 mg/l であっても水稻の生育・収量への影響がなかったことから、流入した硝酸態窒素の大部分は脱窒によるものと考えられ、滋賀農試¹⁰⁾でも重窒素を用いた試験によって、土壌有機化の割合は 10% 未満であり 80~90% は脱窒であったとしていることからもうなずける。

IV 摘 要

水田(細粒グライ土壌・造成土壌)の硝酸態窒素の浄化能を明らかにするため、稲ワラ施用の有無、灌漑水の硝酸態窒素濃度の 2 要因を組み合わせ、昭和 58 年及び 59 年の 2 か年間にわたって試験を実施した。その結果を要約すると以下のとおりである。

1) 本試験田への灌漑水量は昭和 58 年は 435~550 mm となり、降雨量 565 mm を合わせた流入水量に対する灌漑水の割合は 43~49% であった。昭和 59 年は早魃年と相俟って灌漑水量は多くなり 786~1,380 mm となりその割合は 72~81% であった。

2) 流出水量のうち蒸発散量は 58 年 671 mm となり全流

出量に対して約65%となり、59年は449mmで全流出水量の27~41%であった。落水は58年28~212mmとなり58年と同様に全流出量に占める割合は最大区で20%であった。

3) 灌漑水の硝酸態窒素濃度と水稻の生育・収量との関係はみられず、30mg/lでも生育に支障なく、減水深の小さいグライ土壌では流入した硝酸態窒素は水稻の生育に影響なく効率よく浄化されることがうかがわれた。

4) 地下浸透水の硝酸態窒素濃度は、入水・代掻き時期に高まるが、それ以後は灌漑水濃度に関係なく1mg/l以下であった。

5) 窒素収支のうち、収入では灌漑水から0.06~3.74kg/a流入し施肥、稲ワラ、降雨など全流入量に対して最大区で83%であった。灌漑水の硝酸態窒素濃度0の場合は約10%程度にとどまり、施肥の割合が高くなった。降雨からの流入量は0.01~0.02kg/aで全収入の3%以下であった。

6) 窒素の支出では、水稻による吸収量が多く0.57~1.20kg/aであった。地下浸透窒素は0.01~0.68kg/aであり、稲ワラ施用による効果は認められなかった。未回収窒素は硝酸態窒素の流入量の多い区程多く、灌漑水の硝酸態窒素濃度30mg/l区ではそれぞれ3.18、3.28kg/aであった。硝酸態窒素の流入量の少なかった0mg/l区では-0.27~0.55kg/aとなり、地力窒素の利用していることが認められた。

7) 硝酸態窒素の浄化量は流入した硝酸態窒素の量(又は用水濃度)によって異なり、流入量の多い区程浄化量も多かった。すなわち、灌漑水濃度0mg/l区では0.04~0.15kg/aに対して、5mg/l区で0.22~0.57kg/a、10mg/l区0.50~0.86kg/a、30mg/l区3.07~3.34kg/aであり、稲作期間を150日とした最大浄化量は20g/a/日となった。

流入した硝酸態窒素に対する浄化量の割合(浄化率)は用水濃度0mg/l区の低濃度の場合は45~75%であり、30mg/l区の場合には80~90%と高かった。

8) 稲ワラ施用による硝酸態窒素の浄化効果は、灌漑水濃度が低い場合にややみられる程度であり、高い場合に

は認められなかった。

謝辞：本試験を実施するにあたって元場長石川昌男博士、環境部長平山力氏には有益なご指導・ご助言を賜った。さらに、水管理・採水など大変お世話になった当場管理部宇佐美均技師他同部関係職員各位、分析等分担して戴いた環境部同僚各位に記して厚くお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) EX都市研究所(1979)：霞ヶ浦水質保全総合対策解析調査報告書
- 2) 石橋 豊・田辺邦美・内藤利貞・林 弘宣編(1976)：農業水利演習1 農業水文，コロナ社，P-93
- 3) 茨城県農林水産部(1986)：普通作物耕種基準
- 4) 茨城県農業試験場(1988)：昭和63年度依託事業報告書，1 広域水田群からの窒素・リン・CODの負荷量調査，2 単位水田からの窒素・リン・CODの負荷量調査 一元肥全層施肥田の事例一
- 5) 長野農総試(1977)：農業環境保全に関する試験成績書
- 6) ———(1978)：農業環境保全に関する試験成績書
- 7) ———(1981)：農業環境保全に関する試験成績書
- 8) 小川吉雄・石川 実・吉原 貢・石川昌男(1979)：畑地からの窒素の流出に関する研究，茨農試(特別)研報，第4号，P-17
- 9) 小川吉雄・酒井 一(1985)：水田における窒素浄化機能の解明，土肥誌，56，1，1~9
- 10) 小山田勉・小林 登(1988)：水田の水質浄化機能に関する研究，第1報 灌漑水によって流入した硝酸態窒素の黒ボク土壌における浄化，茨城農試研報，第28号
- 11) 滋賀県農業試験場・滋賀県蚕業指導所・滋賀県茶業指導所・大阪府農林技術センター(1985)：琵琶湖一淀川水系における農業排水の水質改善に関する研究
- 12) 滋賀県農業試験場・滋賀県蚕業指導所・滋賀県茶業

- 指導所・大阪府農林技術センター(1985)：琵琶湖-淀川水系における農業排水の水質改善に関する研究、P70-71
- 13) 高村義親・田淵俊雄・鈴木誠治・張替泰・上野忠男・久保田治夫(1976)：水田の物質収支に関する研究(第1報)、霞ヶ浦流域の水田における窒素およびリンの動向と収支について、土肥誌, 47, 9
- 14) 田淵俊雄・高村義親(1985)：集水域からの窒素・リンの流出, 東京大学出版会
- 15) 田淵俊雄編著(1986)：農業技術者のための水質入門, (株)農業土木学会

下水汚泥の農業利用に関する研究

第3報 下水汚泥の畑施用が土壌の化学性に及ぼす影響

松本英一・平山力

The Utilization of Sewage Sludge in the Agricultural Field

Part 3. Influence on Chemical Properties in Soil with Applications of Sewage Sludges

Eiichi MATSUMOTO and Chikara HIRAYAMA

下水汚泥の畑施用が土壌の化学性に及ぼす影響について検討した。

下水汚泥の施用によりおおむね土壌の化学成分の値は、いずれも高まる傾向を示したが、その内容は凝集剤の種類により異なった。

石灰処理汚泥では、作物の栽培跡地における土壌 pH は上昇し、硝酸態窒素及び置換性石灰の値が高まった反面、有効態リン酸含量は低下し、過剰な石灰蓄積にもとづき、塩基組成がアンバランスとなる傾向が認められた。

他方、高分子処理汚泥では、これらの施用によって土壌中の全窒素、硝酸態窒素及び有効態リン酸が高まった。また両凝集剤によって処理された汚泥はいずれも、これらの多量施用によって全炭素の値が高まった。

I 緒言

著者らは前報で⁹⁾下水汚泥を畑地に施用した場合、下水汚泥は明らかに化学肥料の代替として作物の生育収量に有効であり、そのうち高分子処理汚泥の肥料代替効果が優れたことを報じた。

下水汚泥の土壌施用が作物の収量や土壌の理化学性に及ぼす影響についてはこれまで多くの報告があるが^{1,2,7,12,13,15)}、本県でとりあげられた例は数少ない。

本報では昭和 59～63 年の 5 年間にわたり場内ほ場で実施した栽培試験の結果から、下水汚泥の畑施用が土壌の化学性に及ぼす影響について記した。

II 試験材料及び方法

1 試験ほ場

場内の供試ほ場の土壌は厚層腐植質黒ボク土(大津統)

に属し、その理化学性は第1表に示したように表層0～32cmまでL, 32cm以下CL, リン酸吸収係数が2,400前後ときわめて高く、火山灰土の性格が強い。

2 供試汚泥

供試汚泥はすでにコンポスト化されたもので肥料取締法に定める特殊肥料¹⁷⁾として登録済のものを主に用いた。汚泥コンポストは処理場での添加凝集剤の違いにより高分子処理汚泥と石灰処理汚泥の2つに大別されるが本研究では高分子処理汚泥は、高分子処理汚泥(高分子A)及びパーク入り高分子処理汚泥(高分子B)の2種類、石灰処理汚泥として石灰A(A処理場)及び石灰B(B処理場)の2種類を供試した。これらの化学性は第2表に示したとおりである。すなわち、高分子系は全炭素、加里含量が石灰系に比して比較的高い値を示したが、石灰含量が極端に低かった。これに対して石灰系は高分子

第1表 供試土壌の理化学性

(乾土あたり)

層位・層厚	項目 土性	pH		T-C	T-N	C/N	CEC	置換性塩基(mg/100g)			有効態	リン酸 吸収係数
		H ₂ O	KCl	(%)	(%)		(m·e)	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅ (mg/100g) (トルオーグ)	
I 0~17(cm)	L	6.5	6.1	5.5	0.45	12.2	23.4	340	45	7.2	10.4	2,360
II 17~32	L	6.3	6.0	5.1	0.43	11.9	21.0	280	40	6.6	8.4	2,410
III 32~	CL	6.1	6.0	5.3	0.43	12.3	25.2	260	32	4.9	4.3	2,680

第2表 供試汚泥コンポストの化学性

(市販現物)

種類	項目	水分	T-N	T-C	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
		(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)
高分子A	\bar{X}	24	3.8	20.5	5.4	4.8	0.21	1.5	0.50
	Max	30	4.4	27.5	7.0	5.8	0.25	2.1	0.61
	Min	17	3.1	14.4	3.9	3.7	0.13	1.2	0.40
高分子B	\bar{X}	35	2.3	27.1	9.4	2.4	0.20	1.3	0.31
	Max	41	4.1	41.3	12.9	3.4	0.32	2.3	0.45
	Min	27	2.2	17.4	7.7	1.2	0.12	0.9	0.21
石灰A	\bar{X}	24	2.8	17.7	6.4	2.9	0.08	14.9	0.92
	Max	50	3.9	20.4	8.2	3.6	0.11	17.0	1.43
	Min	11	2.4	13.6	4.9	2.1	0.06	11.9	0.24
石灰B	\bar{X}	35	0.8	5.5	6.9	0.7	0.07	32.1	0.38
	Max	35	0.8	7.6	9.5	0.7	0.07	40.0	0.49
	Min	34	0.8	3.4	4.3	0.6	0.07	24.2	0.27

注) 高分子A: 高分子処理汚泥, 特殊肥料。
 高分子B: パーク入り高分子処理汚泥, 特殊肥料。
 石灰A: A処理場, 石灰処理汚泥。
 石灰B: B処理場, 石灰処理汚泥, 特殊肥料。

系に比して石灰含量がきわめて高く、とくに石灰BはAの2倍以上の含有量を示した。これに反し、他の成分では石灰BはAに比して、全窒素、全炭素、リン酸含量はいずれも極端に低かった。

下水汚泥は微生物菌体を主体とした有機成分が大部分であるが⁵⁾、高分子Bの組成は高分子脱水ケーキ50%、パーク樹皮30%、種子汚泥20%となり、他汚泥に比して全炭素の高い傾向がみられた。

3 処理及び作物栽培

本研究は下水汚泥を窒素肥料の代替物として、その効果を検討することが目的であった。各作物の基肥N量の1/3、2/3及び3/3の量を汚泥により供給し、残りを

硫酸で施用し施肥N量を合わせた。基肥のリン酸及び加里は、過石及び硫加をそれぞれ施肥基準に則して施用した。汚泥の累計施用量を第3表に示した。

供試作物は第1、7及び9作はトウモロコシ、第3作はソルゴー、第5作はダイズとし、冬作の第2、4、6、8及び10作はオオムギとした。各作物の施肥量(N-P₂O₅-K₂O, kg/10a)は県の施肥基準に準じ、トウモロコシ20-15-20、オオムギ4-10-10、ソルゴー10-10-10、ダイズ2-6-6とし、県の耕種基準に準じて各作物を栽培した。

石灰汚泥の施用は第1~4作には石灰Aを、第5~7作には石灰Bを用いた。その後は作物栽培後の

下水汚泥の農業利用に関する研究

第3表 試験区の構成と汚泥施用量

		栽培作物の種類・汚泥施用量 (kg/10a)																							
処 理	作 物	1 作				2 作				3 作				1~3作計											
		A	B	a	b	作 物	A	B	a	b	作 物	A	B	a	b	A	B	a	b						
2	基肥N1/3代替 トウモロコシ	750	-	850	-	オオムギ	200	-	230	-	ソルゴー	320	320	360	-	1,270	1,400	1,440	-						
3	" 2/3 "	1,500	800	1,700	-	"	400	210	450	-	"	640	640	730	-	2,540	2,790	2,880	-						
4	" 3/3 "	2,250	1,200	2,550	-	"	600	450	680	-	"	960	960	1,090	-	3,810	4,190	4,320	-						
		4 作				5 作				6 作				7 作				4~7作計							
処 理	作 物	A	B	a	b	作 物	A	B	a	b	作 物	A	B	a	b	作 物	A	B	a	b	A	B	a	b	
		2	基肥N1/3代替 オオムギ	140	140	220	-	ダイズ	60	100	-	270	オオムギ	120	205	-	540	トウモロコシ	580	860	-	2,940	900	1,310	220
3	" 2/3 "	"	280	280	450	-	"	120	205	-	535	"	240	410	-	1,080	"	1,150	1,710	-	5,830	1,790	2,610	450	7,450
4	" 3/3 "	"	420	420	670	-	"	180	310	-	805	"	360	615	-	1,620	"	1,730	2,570	-	8,770	2,690	3,920	670	11,200
		8 作				9 作				10 作				8~10作				全施用量							
処 理	作 物	A	B	a	b	作 物	A	B	a	b	作 物	A	B	a	b	A	B	a	b	A	B	a	b		
		2	基肥N1/3代替 オオムギ	115	170	-	-	トウモロコシ	570	930	-	-	オオムギ	115	160	-	-	800	1,260	-	-	2,970	3,970	1,660	3,750
3	" 2/3 "	"	230	345	-	-	"	1,135	1,850	-	-	"	230	320	-	-	1,600	2,520	-	-	5,930	7,920	3,330	7,450	
4	" 3/3 "	"	345	515	-	-	"	1,710	2,780	-	-	"	350	480	-	-	2,410	3,780	-	-	8,910	11,890	4,990	11,200	

注) A: 高分子A, B: 高分子B, a: 石灰A, b: 石灰B コンポストは作付前に施用

土壤中の残留量を調査した。試験区は1区16㎡で2反復とした。

4 分析法

土壤中における化学分析は、作土層(0~15cm)について行い、第7~10作跡地についてはそれ以下の層位についても行った。

汚泥は下水汚泥分析法¹⁶⁾、土壌は土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法¹⁸⁾、さらに可給態窒素(硝酸態+アンモニア態+有機態)の分析は簡便法¹¹⁾によった。

III 試験結果

1 作土の化学性

汚泥施用土壌の化学性を作物栽培後の跡地における作土層(深さ0~15cm)の土壌を分析した結果、汚泥施用回数の多い第7作及び第10作跡地をとりあげて第4表に示した。

1) pHの推移

第1作から第10作の跡地土壌におけるpHの推移を第1図に示した。これには高分子処理汚泥の高分子A、石灰処理汚泥の石灰A(B)及び対照区について示した。汚泥

施用区については少量施用の1/3代替区と多量施用の3/3代替区の結果を示した。

第1作から第4作までの跡地土壌では、高分子A区は対照区に比してやや低く、石灰汚泥施用区は高く推移した。

第5作以降でも石灰汚泥施用区では1/3, 3/3代替区のいずれの施用区もpHはあきらかに上昇を示した。これに対し高分子A施用区では1/3, 3/3代替区ともいずれも対照区に比して大差はみられず施用量の多い3/3代替区で対照区に比してやや低く推移した。一方、石灰汚泥施用区では石灰Aを施用した第4作までは対照区と大きな差がみられなかったが、汚泥の種類を変更した第5作以降pHの著しい上昇がみられた。石灰汚泥施用区pHの上昇は第7作として栽培したトウモロコシの跡地でとくに顕著であり、その時点における土壌のpHと置換性石灰含量とを第4表に示した。石灰汚泥施用区pHは、1/3代替区が6.1, 3/3代替区が7.0で、置換性石灰含量は乾土100gあたり1/3, 3/3代替区はそれぞれ442mg, 949mgを示し、代替率の増大に伴って含有量が極端に増大した。この理由には、もともと石灰汚泥には多量の石灰が含有されていること、とくに跡地の石灰含量を高めた背景には第5作から第7作ま

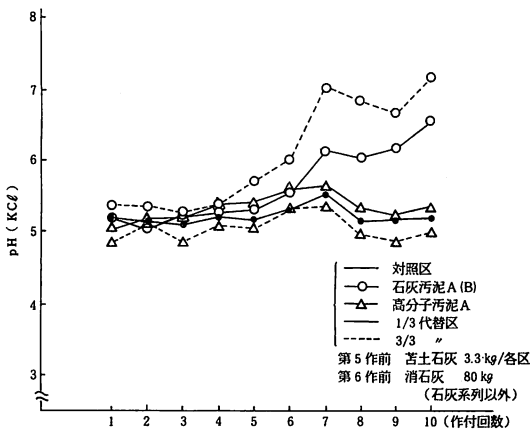
第4表 汚泥施用跡地土壌分析結果

(乾土あたり)

作別	区別	pH (Kcl)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	NO ₃ -N (mg/100g)	可給態 N (mg/100g)	有効態 P ₂ O ₅ (トルオーグ) (同左)	置換性塩基(mg/100g)			Ca/Mg	Mg/K	塩基飽和度 (%)
									CaO	MgO	K ₂ O			
第	対 照 区	5.45	0.30	3.70	12.3	0.28	4.83	12.8	248	24.6	14.3	7.4	4.0	44
7	石灰B(A)1/3	6.13	0.30	3.82	12.7	0.64	5.89	14.7	442	28.9	17.7	11.3	3.5	75
作	" 3/3	7.07	0.32	4.06	12.0	2.11	8.76	4.6	949	36.4	36.8	18.8	2.3	156
後	高分子A1/3	5.64	0.33	3.40	10.3	0.58	5.83	14.6	263	34.7	13.5	5.5	5.6	49
の	" 3/3	5.35	0.35	3.70	10.5	0.64	7.99	17.3	242	30.7	17.7	5.7	3.8	45
跡	高分子B1/3	5.27	0.34	3.94	11.7	0.48	6.43	31.1	150	27.6	17.7	3.9	3.5	31
地	" 3/3	5.66	0.36	4.41	12.3	0.74	5.99	55.0	195	32.0	25.2	4.4	3.2	39
第	対 照 区	5.18	0.29	4.17	14.4	0.46	4.94	15.6	318	21.1	12.4	11.4	3.3	54
10	石灰残効1/3	6.54	0.28	3.68	13.1	1.44	4.80	11.9	655	26.4	8.7	18.0	6.5	106
作	" 3/3	7.15	0.31	4.19	13.5	2.99	8.03	8.2	950	26.0	17.1	26.1	3.3	152
後	高分子A1/3	5.34	0.29	3.96	13.7	0.82	5.86	20.2	327	30.7	10.8	7.8	7.5	57
の	" 3/3	4.97	0.33	4.50	13.6	1.32	8.60	20.2	272	22.7	13.8	8.8	3.7	47
跡	高分子B1/3	5.03	0.31	4.47	14.4	0.49	6.09	28.4	311	22.5	11.7	10.1	5.5	53
地	" 3/3	5.32	0.35	5.58	15.9	1.21	7.93	56.8	346	36.0	16.2	6.9	6.0	62

注) 可給態窒素：リン酸緩衝液抽出法¹⁰⁾による。

石灰B(A)は1～4作に石灰A汚泥を，5～7作に石灰B汚泥を施用。



第1図 各作跡地土壌pHの推移 (Kcl)

で供試した石灰含量の高い石灰Bを使用したことよ

以上のように，汚泥施用が土壌pHに及ぼす影響は凝集剤によって異なり，高分子処理汚泥に比して石灰処理汚泥施用によって土壌pHが極端に高まることが明らかとなった。高分子処理汚泥を多量に施用することにより土壌pHをわずかに低下させたが，対照区と大きな差は

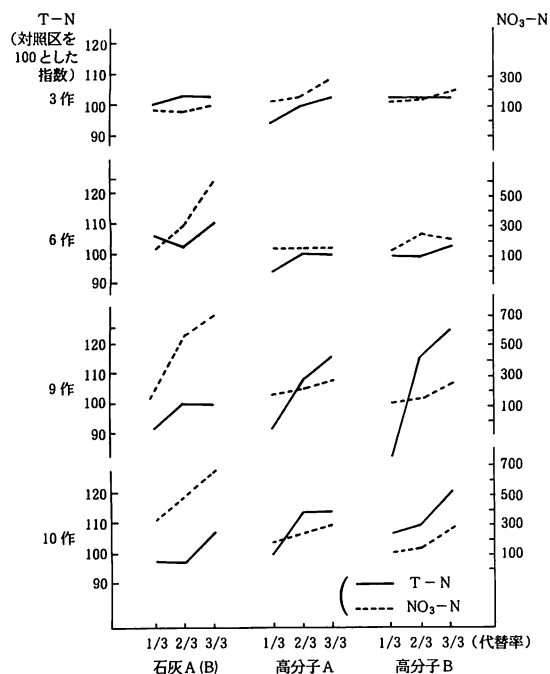
なく，土壌pHへの影響は石灰処理汚泥に比し，高分子処理汚泥は小さかった。

2) 全窒素，硝酸態窒素，有効態リン酸

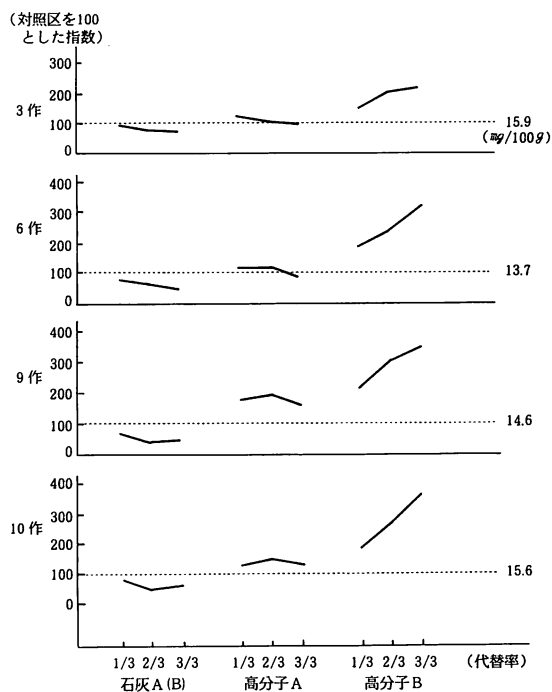
本研究では汚泥の窒素の無機化率を30%として⁶⁾窒素肥料に代替させて作物に対する肥料効果を検討した。その結果，作物による窒素吸収は汚泥施用区で多くなったが，汚泥の施用量に対応した増加はみられなかった⁹⁾。作物栽培跡地土壌における全窒素，硝酸態窒素の消長と汚泥の種類と窒素代替率との関係を対照区を100とした指数で第2図に示した。

全窒素及び硝酸態窒素は代替率の増加に伴い含量の増加傾向がみられ，この傾向は作付回数が多く従って汚泥施用総量が多くなるにしたがい明らかとなった。土壌中における全窒素含量の富化は石灰汚泥施用区においては明らかでなかったが，高分子汚泥施用区ではいずれも増大し，とくに高分子Bにおいて顕著であった。

硝酸態窒素の富化は石灰汚泥施用区の3作目までは代替率が高くなっても，ほとんど同程度で大きな差はみられなかったが，5作目以降は代替率の増大に伴って明らかに土壌中における硝酸態窒素含量は高まった。さらに



第2図 全窒素と硝酸態窒素



第3図 有効態リン酸（トルオーグ）

汚泥の施用を中断した第8作以降においても硝酸態窒素の富化傾向が認められた。

以上のように、石灰汚泥、高分子B汚泥の3作目までを除けば汚泥の施用によって土壌中の全窒素及び硝酸態窒素は富化する傾向が認められ、とくに全窒素の富化は高分子汚泥施用区の第9作以降で、硝酸態窒素の富化は石灰汚泥施用区の第6作以降で目立った。

他方、下水汚泥中のリン酸含量は窒素とほぼ同程度であり、汚泥施用区の作物によるリン酸吸収量は多い⁹⁾。跡地土壌における有効態リン酸（トルオーグ法）と代替率との関係を第3図に示した。

石灰汚泥施用区は、1/3、2/3、3/3いずれの代替率処理も有効態リン酸含量は対照区に比して低く、代替率が上がるに従い低下する傾向がみられた。高分子汚泥施用区では、A及びB汚泥いずれもリン酸含量は対照区を上まわったが、A汚泥では代替率との関係が明らかでなかったが、B汚泥では代替率の増加に伴って、土壌中の有効態リン酸含量は明らかに高まった。

3) 全炭素 (T-C)

第4表にみられるように、土壌中の全炭素は各汚泥とも施用による蓄積が多量施用区(3/3代替区)において多くなる傾向がみられたが、1/3代替区では高分子Bを除いて対照区に比し、やや低くなる傾向がうかがわれた。高分子Bの施用により土壌中の炭素含量が高まったことは汚泥の成分組成に起因すると考えられる。即ち高分子B汚泥にはバーク樹皮が30%添加されており、そのC/N比は7.7~12.9平均9.4であって、他の汚泥、高分子Aの平均5.4、石灰A・Bそれぞれの平均6.4、6.9に比して高かった。従ってC/N比が低く微生物菌体が有機物の主体となっている他の高分子A、石灰A・B汚泥に比して畑地への施用後に土壌中で土壌微生物による分解がされ難いためと推測される。

C/N比は、石灰汚泥及び高分子A汚泥施用区では石灰1/3代替処理の第7作跡地の1例を除き対照区に比して低くなるが、高分子B汚泥施用区では全炭素の増大に伴ってC/N比は対照区と同等かやや上昇する傾向が

うかがわれた。

4) 置換性塩基

供試汚泥の塩基(第2表)のうち石灰は石灰汚泥が平均14.5~32.1%と高く、高分子汚泥は1.3~1.5%と低かった。苦土は平均高分子、石灰汚泥とも0.31~0.92%の含量で石灰に比して低く、加里も同様に0.07~0.21%の含量で石灰や苦土含量に比して極端に低かった。

跡地土壤中の置換性石灰、苦土の量と供試汚泥とその代替率および作付回数との関係を第4図に示した。跡地土壤中の置換性石灰含量は石灰汚泥施用区で明らかに高まり、その傾向は第5作以降で顕著であった。さらに汚泥施用を中断した第8作以降でもその傾向が持続された。一方、施用に伴う置換性石灰の土壤蓄積は高分子A区では代替率が高まるに従って値はほぼ平行かやや低下し高分子B区では代替率の増加にともなって値がやや増加する傾向がうかがわれた。

次に置換性苦土についてみると、高分子A系列の苦土含量の変化は石灰と同傾向を示したが、高分子B系

列は作付回数が進んだ第9, 10作段階において多量施用の3/3代替区で蓄積がやや高まった。石灰系列では3/3代替区でやや高くなる傾向がみられ、2/3代替区では1/3代替区とほぼ同等か逆に低い傾向があつて、代替率の変化に伴う傾向は明らかではなかった。

置換性加里については、供試汚泥中の加里含量が極端に低かったことから、汚泥施用と代替率及び作付回数との関係に一定の傾向がみられなかった。

石灰/苦土比は第4表にみられるように第7作跡で対照区の7.4に対し、石灰汚泥区は11.3~18.8と高かったのに反し、高分子A区では5.5~5.7、高分子B区では3.9~4.4と低い値となったが、第10作跡では対照区を含めていずれの施用区とも7作跡に比して高くなる傾向がみられ、とくに石灰残効区のうち3/3代替区で著しく高かった。

一方、苦土/加里比は第7作跡ではいずれの汚泥施用区とも大差がみられなかったが、第10作跡では石灰汚泥及び高分子汚泥施用区の値が3.3~7.5と対照区と同程度かそれ以上となった。

塩基飽和度は高石灰含量に起因する石灰汚泥施用区において飽和度の高まりが顕著であったが高分子汚泥施用区では対照区に比して大きな差がみられなかった。

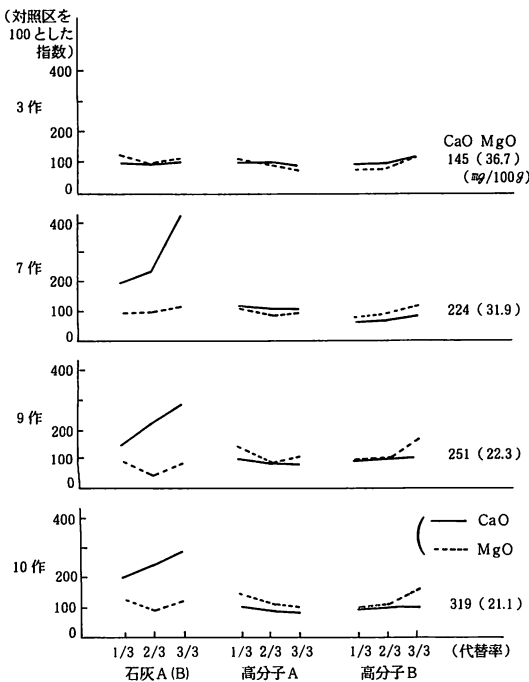
2 土壌の層別化学性

汚泥の施用が作土下の化学性に及ぼす影響を検討するため汚泥施用量が多かった3/3代替区について、汚泥施用回数の多い第7作と第10作跡地を層別に土壌を採取し分析に供し、その結果を第5表に示した。

対照区に比して作土層で高い値のみられた汚泥施用各区の全窒素、硝酸態窒素、リン酸及び置換性塩基は次層(15~30cm)において値は同等か高まっており、これらの中でとくに移動しやすい硝酸態窒素、苦土等はこれ以下の層でも高い値を示した。このことは、汚泥施用に伴ってこれらの成分は容易に下層へ溶脱移動することがうかがわれた。

3 作土の可給態窒素と収量

可給態窒素(硝酸態+アンモニア態+有機態)の含量(第4表)は汚泥施用各区でその値が高いことが目立っ



第4図 置換性石灰と置換性苦土

第5表 層別別跡地土壌分析結果

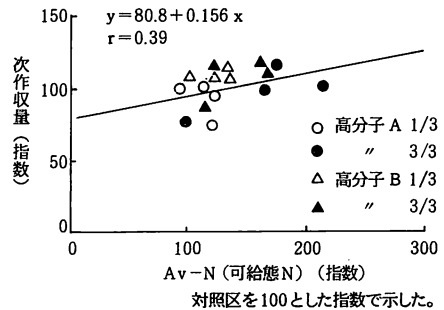
		(mg/100g)							
区 別	層 位 (cm)	pH (Kcl)	T-N (%)	NO ₃ -N	有効態 P ₂ O ₅ (トルオーグ)	置 換 性 塩 基			
						CaO	MgO	K ₂ O	
第 7 作	対 照 区	0~15	5.45	0.30	0.3	12.8	249	24.6	14.3
		15~30	5.34	0.32	0.7	11.9	235	29.7	10.5
		30~45	5.19	0.36	1.0	2.7	192	29.5	4.5
7	高 分 子 A 区	0~15	5.35	0.35	0.6	17.3	242	30.7	17.7
		15~30	5.22	0.37	1.6	10.1	191	27.7	7.8
		30~45	5.08	0.39	2.0	1.8	158	26.1	4.2
作	高 分 子 B 区	0~15	5.66	0.36	0.7	55.0	195	38.4	21.3
		15~30	5.37	0.28	1.7	11.0	128	30.0	10.5
		30~45	5.02	0.30	2.7	0.9	105	28.0	9.3
第 10 作	対 照 区	0~15	5.15	0.30	1.0	11.0	292	14.0	11.6
		15~30	5.00	0.27	0.6	2.7	240	19.5	10.1
		30~45	5.00	0.34	0.6	0.0	269	37.6	4.8
10	高 分 子 A 区	0~15	5.01	0.32	1.8	22.9	274	24.0	14.6
		15~30	5.13	0.31	1.6	15.1	290	31.9	6.2
		30~45	4.99	0.29	1.0	1.8	251	36.1	4.1
作	高 分 子 B 区	0~15	5.29	0.38	1.9	69.6	370	33.7	16.5
		15~30	5.25	0.31	1.5	14.7	300	38.0	10.8
		30~45	4.99	0.27	1.2	1.8	246	37.6	6.2

注) 汚泥施用区はいずれも3/3代替区の数値。

た。また代替率と可給態窒素の関係は、汚泥の投入量の多い3/3代替区で1/3代替区より値が大きくなる傾向がみられた。

収量に最も影響を及ぼすと考えられる肥料成分は、土壌中の可給態窒素の発現があり⁹⁾、第7作から第10作までの跡地土壌の可給態窒素と次作(第8作から第11作)の収量との関係を第5図に示した。

前報で⁹⁾窒素肥料代替性の観点からみると石灰処理汚泥は高分子処理汚泥に比して作物に対する基肥の窒素肥料代替としての効果が劣ると報じた。そこで、高分子汚泥A及びBの基肥窒素代替率1/3, 3/3について、次作収量との関係を第5図に示した。これによると、可給態窒素はいずれの施用についても100以上であったが、収量は必ずしも100以上とはならなかった。可給態窒素と次作収量との関係は正の相関がうかがわれたがその相関関係は低かった。可給態窒素の富化はある程度は次作収量に影響するが、それは必ずしも高い相関が



第5図 可給態窒素と次作収量(7作~10作跡地)

みられなかった。これは、各作毎に耕種基準に従って施肥されたことと、可給態窒素が下層へ移動(第5表)したことなどが関与したためと考えられる。

IV 考 察

汚泥施用が土壌pHに与える影響は凝集剤により異なり、高分子凝集剤を用いた汚泥では土壌は酸性化^{2,7,13)}

石灰と塩化第2鉄を凝集剤とした場合は土壌はアルカリ化する。^{1,12,13,15)}本研究でも石灰処理汚泥の施用により土壌pHは顕著に上昇し、高分子処理汚泥の施用により土壌pHはわずかに低下する傾向が認められ、既報とよく一致した。つまり本研究では窒素肥料代替性を下水汚泥に求めたため窒素含量の高い高分子処理汚泥でその施用量が少なく、窒素含量の低い石灰処理汚泥の施用量は相対的に多くなった。このため石灰含量がもともと高いうえ、さらに多量施用となった石灰処理汚泥で土壌pHの値の上昇がより顕著になったと考えられる。

汚泥中の全窒素のうち作物により利用され得る窒素の割合(窒素無機化率)を30%とし⁹⁾、この割合で汚泥の施用を行うと最も代替率の高い3/3代替区においては、基肥窒素の3.3倍が全窒素量として投入されたことになる。しかしながら、作物が栽培されることによって、土壌中から作物によって窒素が吸収される量が増加したにもかかわらず、跡地土壌における全窒素の残存量は高く20%の上昇しかみられなかった。

さらに、汚泥の施用によって硝酸態窒素や苦土が作土層以下の下層に移動することが明らかになった。小川らは¹⁰⁾火山灰土壌における施肥窒素の利用配分を施肥窒素を100とした場合、作物の吸収利用60%、下層への溶脱15%、脱窒5%、表面流去0.1%としている。また、藤井らは¹¹⁾ライシメーター試験により汚泥連用土壌の土壌溶液の分析から汚泥由来の硝酸態窒素の下層への溶脱を指摘している。本研究の結果と合わせると、汚泥中の窒素は土壌中への残留、作物による吸収利用、作土下層への溶脱、空气中への脱窒等が汚泥由来窒素の行方として考えられるが、その他作物-土壌系以外への流出が示唆された。

硝酸化成菌によるアンモニア態窒素からの硝酸化成作用は一般に土壌pHが7前後が最適で、pHが10以下及び5以下では阻害される⁸⁾ので、本研究においてpHの高い石灰汚泥を施用した(残効試験を含む)跡地土壌で、高分子汚泥施用区に比して相対的に高い硝酸濃度につながったものと考えられる。

海老原らは³⁾石灰と塩化鉄を凝集剤とする石灰処理汚

泥の土壌施用は、凝集剤の鉄が関与して可給態リン酸をFe型リン酸に変化させ、トルオーグリン酸の含量が低下すると報じた。本研究においても、塩化鉄を凝集補助剤とした石灰処理汚泥の施用区で代替率に対応してトルオーグリン酸の低下がみられ、海老原らの結果と符合した。しかし、石灰処理汚泥の連用により、有効態(トルオーグ)リン酸が富化される報告^{12,15)}もあり、この点に関しては今後の検討課題である。これに対して、高分子処理汚泥施用による土壌のトルオーグリン酸の富化は、本研究で供試した高分子A及び同B汚泥とで差がみられたが、日向⁷⁾、海老原ら³⁾の結果同様に土壌富化が認められた。

土壌の置換性塩基の項で記したように石灰汚泥施用による置換性石灰の富化は顕著であったが、加里と苦土への影響はわずかであった。高分子汚泥の施用では塩基バランスの変化がわずかであったのに反し、石灰汚泥の施用では石灰の過剰蓄積によるバランスの劣化が認められた。石灰汚泥連用区において、畑作物を栽培した場合明らかに収量の低下がみられ⁹⁾、その主な原因としては高いpH条件になったことと過剰な石灰蓄積に伴った塩基のアンバランスとがその一因と考えられた。

下水汚泥は一種の有機物資材であるが、微生物菌体が主体で土壌施用後すみやかに分解されるためか、C/N比の高いバーク樹皮添加汚泥区(高分子B)、さらに高分子A施用区でも施用量の多い3/3代替区以外では、1/3、2/3代替区等の少量施用では土壌中の全炭素含量は高まらず、このことは下水汚泥が堆肥的な効果を発揮しにくい⁵⁾一因を裏書きしている。

汚泥施用跡地土壌の可給態窒素は、前述のように高まったが、これによって次作の収量が必ずしも増加しなかった。これは、次作に栽培された作物の種類、基肥や追肥等肥培管理上の差異が大きく関与し、必ずしも施用した下水汚泥の残効が収量を左右しないことを示唆した。

V 摘 要

石灰および高分子化合物を凝集剤とする下水汚泥の畑施用が土壌の化学性に及ぼす影響を化学肥料のうちの窒

素質肥料代替性の観点から検討した。

1 汚泥施用が土壌pHに及ぼす影響は凝集剤によって異なり、石灰処理汚泥では土壌pHを高め、高分子処理汚泥ではその多量(3/3代替率)施用でわずかに低下させる傾向が認められた。

2 跡地土壌の窒素成分は汚泥施用により全窒素あるいは硝酸態窒素の増大がみられ、とくに高分子処理汚泥施用区では全窒素の、石灰処理汚泥施用区では硝酸態窒素の富化が顕著であった。

3 有効態リン酸は石灰汚泥施用により低下し、高分子処理汚泥施用により高まる傾向が認められた。

4 いずれの汚泥もその多量施用により、全炭素の値は高まった。

5 石灰処理汚泥施用による置換性石灰の富化は顕著であった。高分子処理汚泥施用の影響は置換性塩基については小さかった。

6 塩基バランスは石灰処理汚泥施用により劣化した。高分子処理汚泥施用では対照区と大きな差はみられなかった。

7 汚泥施用により跡地土壌の可給態窒素は高まった。可給態窒素の次作収量への影響は大きくなかった。

謝辞：本研究を行うにあたり、県下水道課、霞ヶ浦流域下水道事務所、利根流域下水道事務所及び日立市下水道部処理センターの関係者の方々に材料提供等でご協力を頂き、また、新妻場長、坪副場長、米山病虫部長には本報告のご校閲をいただいた。記して厚く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 安藤光一ら(1982)：野菜に対する下水処理汚泥の施用効果 千葉農試研報：23 99-105
- 2) 海老原武久ら(1982)：汚泥の農用地への利用に関する研究 第Ⅱ報 汚泥連用が土壌・作物に及ぼす影響 群馬農試報：22 49-58
- 3) 海老原武久ら(1985)：汚泥類連用土壌におけるリン酸の動態 群馬農業研究A総合：2 37-42
- 4) 藤井國博ら(1980)：下水汚泥の土壌施用が土壌環境に及ぼす影響 ライシメーター実験(Ⅱ) 国立公害研報：14 111-157
- 5) 橋元秀教(1979)：有機物資源としての下水汚泥 下水汚泥-リサイクルのために-土肥学会編博友社 105-122
- 6) 平山 力ら(1988)：下水汚泥の農業利用に関する研究 第1報 下水汚泥の理化学的特性 茨農試研報：27 57-65
- 7) 日向 進(1987)：下水汚泥コンポストの有効利用法-連用土壌の理化学性の変化から-再生と利用：38 56-66
- 8) 甲斐秀昭(1976)：窒素化合物の代謝 植物栄養・土壌肥料大辞典 養賢堂
- 9) 松本英一・平山 力(1988)：下水汚泥の農業利用に関する研究 第2報 下水汚泥の畑施用が作物の生育収量に及ぼす影響 茨農試研報：27 67-80
- 10) 小川吉雄ら(1979)：畑地からの窒素の流出に関する研究 茨農試特研報：4
- 11) 小川吉雄ら(1989)：リン酸緩衝液抽出による可給態窒素の簡易測定法 土肥誌：60 160-163
- 12) 真行寺孝ら(1989)：下水汚泥の多量連用が土壌及び作物に及ぼす影響 千葉農試研報：27 61-52
- 13) 山田正幸ら(1985)：汚泥連用が土壌および作物に及ぼす影響 群馬農業研究A総合：2 43-52
- 14) 吉田富男(1979)：下水汚泥と微生物 下水汚泥-リサイクルのために- 博友社 124-144
- 15) 和地 清・松崎敏英(1984)：土壌および農作物に対する汚泥施用の影響 神奈川県試験研究連絡協議会環境部会報告：16 23-31
- 16) 下水汚泥資源利用協議会(1983)：下水汚泥分析方法
- 17) 肥料取締法に基づく特殊肥料等：昭和25年農林省告示第177号(1950)
- 18) 農林水産省農蚕園芸局農産課編：土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法(1979)

茨城県農業試験場研究報告 第29号

平成2年3月31日発行

発行所 茨城県農業試験場
〒311-42 水戸市上国井町

印刷所 新生プリント社
水戸市見川2丁目28-18

Bulletin of the Ibaraki-Ken Agricultural
Experiment Institute

No.29 1989

Contents

1. On the New Recommended Glutinous Rice Variety "Kokonoemochi" in Ibaraki Prefecture
..... Yoshiaki TAKAGI, Mikio KANO and Tadao KON
2. On the Breeding of New Upland Rice Cultivar "Sakihatamochi"
..... Tadao KON, Hideo HIRASAWA, Masakata HIRAYAMA and Toshiaki KIRIHARA
3. On the New Recommended Sweet Potato Cultivar "Dejimakei No.4" in Ibaraki Prefecture
..... Tadashi IZUMISAWA, Masatoshi ISHIHARA, Shoji ABE, Osamu SATOH and Kazuyuki IWASE
4. On the Semi Recommended Wheat Variety "Nisikazekomugi" in Ibaraki Prefecture
..... Yukihiro IIDA, Takasi KAWANO and Yoshihiro NIITUMA
5. On the Semi Recommended Two-rowed Barley Variety "Misato Golden" in Ibaraki Prefecture
..... Yukihiro IIDA and Yoshihiro NIITUMA
6. Effect of Inabenfide on Lodging in Rice Plant
..... Mikio KANO and Mitsuru KUBOTA
7. Studies on Extremely Early Harvest Culture with Polyethylen Tunnel and Film Mulching in Sweet Potato
..... Tadashi IZUMISAWA and Masatoshi ISHIHARA
8. Studies on Rotation of Vegetables, Common Crops and Rice in Meadow Paddy field (Gley Soils)
Part III. Increase of Soil Air Capacity by Application of Organic Matters
..... Hirotohi KOHDA
9. Improvement of the Paddy Field Polluted by Irrigation Polluted Water
Part III. Effects of Synthetic Detergents on the Rice Plant
..... Chikara HIRAYAMA and Kuni SAKAI
10. Influence of the Domestic Waste Water on the Quality of Agricultural Water and Effect of the Water Purification by the Treatment Plant
..... Chikara HIRAYAMA, Shizuo SAKURAI and Mikio HAYASHI
11. The Effect of Paddy Fields on Water Quality
Part II. The Fate of Nitrate Input by Irrigation in Paddy Fields (Gley Soil)
..... Tsutomu OYAMADA and Noboru KOBAYASHI
12. The Utilization of Sewage Sludge in the Agricultural Field
Part III. Influence on Chemical Properties in Soil with Applications of Sewage Sludges
..... Eiichi MATSUMOTO and Chikara HIRAYAMA