

陸田転換畑におけるマルチ、トンネル直播 レタスの塩類濃度障害について

小 塚 和 男・緑 川 覚 二・梶 田 貞 義

陸田の転換畑において発生したレタスの生育障害について、2～3の土壌肥料的な検討を加えてみた。

マルチ被覆トンネル利用の11月まき直播栽培レタスは、基肥窒素を10アール当り20kg以上施用した場合に完全に枯死した。これらの土壌を分析した結果、障害が発生した区では、 pH は5以下、 EC では2ミリモール以上、 Y_1 では1以上、 NO_3-N では乾土100g当り50mg以上であった。このようなことから、枯死障害の主因は根圏における NO_3-N の集積による濃度障害であると考えられた。

また、ここでは pH と EC 、 EC と Y_1 、 pH と NO_3-N との間にそれぞれ極めて高い相関関係の存在することが認められ、このことから、本土壌では pH と EC の両者の測定によって NO_3-N の推量が可能であると考えられた。

さらに、本作型の窒素の元肥は10アール当り10kg程度が安全であると考えられた。

I はじめに

茨城県では4～5月どりをねらいとしたマルチ被覆トンネル直播レタス(以下「秋播レタス栽培」と略称する)の栽培が拡がりつつある。火山灰陸田の裏作レタスについては、すでにその栽培法の実用化をみているが¹⁾、転換畑における秋播レタスでは、なお株枯れや下葉の枯れ上がりなど、栽培の安定化になお検討を加えることが残されている。

本報は、さきに発表した稲作転換試験²⁾の一環として、秋播レタスに対する施肥適量をみようとした際、レタスに生育障害を惹起したので、その原因解明のために処理区土壌の化学性について検討したものである。その結果、秋播レタスの塩類濃度障害の発生限界と、施肥上の注意点につ

いての知見を得たので報告する。

II 試験方法

1 試験年次および供試土壌の性質

本試験は1970年の秋冬作として、茨城県的那珂台地に位置する水戸市上国井町の農試験場内の陸田転換畑(転換2年目)圃場において実施した。本圃場は44年までは水田で、昭和45年に畑に転換し大豆を、46年にはさといもを栽培し、その収穫跡地に秋播レタスを導入した。

本土壌は、黒色の腐植質火山灰土壌であるが、その理化学性は第1～3表に示すとおりである。

第1表 供試土壌の化学性

深 さ (cm)	pH (H ₂ O)	腐植 (%)	T-C (%)	T-N (%)	C / N	CEC (me)	置換性塩基 (me)			P ₂ O ₅ 吸収係数	有効態	
							Ca	Mg	K		P ₂ O ₅ (mg)	SiO ₂ (mg)
0-14	6.0	11.0	6.4	0.45	14.2	23.8	9.2	4.3	0.25	2464	2.7	67.0
14-30	5.8	9.1	5.3	0.36	14.7	22.0	8.1	0.6	0.10	2728	tr	69.0

注 有効態P₂O₅はTrough法による。

第2表 供試土壌の三相分布

深 さ (cm)	容積重 (g)	三相分布%			孔隙率 (%)
		固相	液相	気相	
5-10	121.7	25.5	39.8	34.7	74.5
15-20	128.7	33.3	43.7	23.0	66.7

第3表 供試土壌の土塊の状態

粒 径 区分	10mm<		5-10mm		5mm>		合計 (g)
	g	%	g	%	g	%	
供試 転換畑	1,068	53.4	227	11.4	705	35.2	2,000
普通畑	378	18.7	239	11.9	1,387	69.4	2,000

すなわち、化学性について第1表をみると、腐植含量が多い、塩基が少ない、磷酸吸収係数が極めて大きい、有効磷酸の含量が著しく少ない・・・など、火山灰土壌の特徴を示している。さらに物理性をみると、孔隙率が大きく、また普通畑に比べて10mm以上の土塊部分が大きく、なお水田の影響が認められる。

2 栽培法および試験区の内容

供試品種は秋播用に適品種とされているグレートレークス54で、1970年11月上旬に黒色マルチ(120cm巾短冊, 30×30cm4条)に直播し、12月中旬に透明ポリフィルムのトンネルを覆い、2月上旬までに1株1本立てに間引した。3月中旬以降はトンネルの開閉によって温度管理を行なったが、この期間は無灌水のまま経過した。

試験規模は1区1.5m²の単連で、第4表に示すようにアール当りN, P₂O₅, K₂Oそれぞれ0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0の各用量試験を実施した。なお施肥は、硫酸、過石、塩加を用い、それぞれベッド巾に施用し、作土層に混合した。また、炭カルを施肥前に土壌のpH(H₂O)が6.0になるよう(80kg/10a)施用した。

3 土壌の分析法

4月上旬にポリフィルムを除去し、各処理区ごとに表層土(0~10cm)を3カ所から採土、混合し、風乾ののち2mmの篩を通し分析に供した。

土壌分析はつぎの方法によった。

pH(H₂O): 風乾土1に対し5倍量の純水を加えて振

とうし、浸出液についてガラス電極法により測定した。

電気伝導度(EC): pH(H₂O)を測定した液について、直ちに電気伝導度計により測定した。(1:5)

Y₁: 風乾土1に対し2.5倍量の1規定塩化加里液を加えて振とうし、浸出液について苛性ソーダによる滴定法。

NO₃-N: 風乾土についてフェノール硫酸法により定量した。

III 結果および考察

1 生育

12月~2月頃までの初期生育をみると、発芽は各処理区とも順調で、整一なスタートを示した。2月上旬における1株1本立ての間引時は、無肥料、無窒素、N-10kgの3区は正常な生育を示していたが、他の処理区では下葉の枯死、あるいは株枯れが多数認められた。すなわち、このばあいN-20kg以上の各区(磷酸、加里の用量試験区はいずれもN-30kgとした)では、いずれも大半が枯死しており、生存株についても下葉の枯れ上がりが認められた。その後、3月のトンネル開閉による日中の温度管理を開始するに及んで、上記の3区を除く各区ではすべての株が枯死するに至った。

2 土壌分析

前記各処理区の跡地について、pH(H₂O)、Y₁、ECおよびNO₃-Nを分析したが、その結果を示すと第4表のとおりである。すなわち、分析結果の概要について述べる

第4表 レタス跡地土壌の化学性

区 別	項 目	施 肥 量 (Kg/10a)			土 壌 の 化 学 性				レタスの生育状況
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH (H ₂ O)	Y ₁	EC (1:5) m.mho	NO ₃ -N mg/100g	
窒素用量	1. 無窒素	0	20	30	5.55	0.33	0.98	1.6	良
	2. 窒素少	10	"	"	5.15	0.56	1.76	38.6	やゝ良
	3. " 中	20	"	"	4.55	1.59	2.84	82.5	枯 死
	4. " 多	30	"	"	4.65	1.86	3.57	89.0	"
	5. " 極多	40	"	"	4.50	2.50	3.28	76.2	"
磷酸用量	1. 無磷酸	20	0	"	4.85	1.04	2.14	67.8	"
	2. 磷酸少	"	10	"	4.55	1.91	2.32	74.3	"
	3. " 中	"	20	"	4.40	2.87	2.83	90.0	"
	4. " 多	"	30	"	4.65	1.37	2.25	67.8	"
	5. " 極多	"	40	"	4.55	2.76	2.91	76.1	"
加里用量	1. 無加里	"	20	0	4.60	2.28	3.12	107.3	"
	2. 加里少	"	"	10	4.60	1.92	3.07	94.0	"
	3. " 中	"	"	20	4.55	2.18	2.97	90.8	"
	4. " 多	"	"	30	4.55	2.28	2.80	85.5	"
	5. " 極多	"	"	40	4.50	2.64	3.17	83.6	"
参 考	1. 無肥料	0	0	0	5.60	0.32	0.72	16.6	良
	2. 対照田	0	0	0	5.85	0.55	0.09	0.9	一

陸田転換畑におけるマルチ、トンネル直播 レタスの塩類濃度障害について

小 塚 和 男・緑 川 覚 二・梶 田 貞 義

陸田の転換畑において発生したレタスの生育障害について、2～3の土壤肥料的な検討を加えてみた。

マルチ被覆トンネル利用の11月まき直播栽培レタスは、基肥窒素を10アール当り20Kg以上施用した場合に完全に枯死した。これらの土壤を分析した結果、障害が発生した区では、 pH は5以下、 EC では2ミリモ-以上、 Y_1 では1以上、 NO_3-N では乾土100g当り50mg以上であった。このようなことから、枯死障害の主因は根圏における NO_3-N の集積による濃度障害であると考えられた。

また、ここでは pH と EC 、 EC と Y_1 、 pH と NO_3-N との間にそれぞれ極めて高い相関関係の存在することが認められ、このことから、本土壤では pH と EC の両者の測定によって NO_3-N の推量が可能であると考えられた。

さらに、本作型の窒素の元肥は10アール当り10Kg程度が安全であると考えられた。

I はじめに

茨城県では4～5月どりをねらいとしたマルチ被覆トンネル直播レタス(以下「秋播レタス栽培」と略称する)の栽培が拡がりつゝある。火山灰陸田の裏作レタスについては、すでにその栽培法の実用化をみているが¹⁾、転換畑における秋播レタスでは、なお株枯れや下葉の枯れ上がりなど、栽培の安定化になお検討を加えることが残されている。

本報は、さきに発表した稲作転換試験²⁾の一環として、秋播レタスに対する施肥適量をみようとすした際、レタスに生育障害を惹起したので、その原因解明のために処理区土壤の化学性について検討したものである。その結果、秋播レタスの塩類濃度障害の発生限界と、施肥上の注意点につ

いての知見を得たので報告する。

II 試験方法

1 試験年次および供試土壤の性質

本試験は1970年の秋冬作として、茨城県的那珂台地に位置する水戸市上国井町の農試験内の陸田転換畑(転換2年目)圃場において実施した。本圃場は44年までは水田で、昭和45年に畑に転換し大豆を、46年にはさといもを栽培し、その収穫跡地に秋播レタスを導入した。

本土壤は、黒色の腐植質火山灰土壤であるが、その理化学性は第1～3表に示すとおりである。

第1表 供試土壤の化学性

深 さ (cm)	pH (H ₂ O)	腐植 (%)	T-C (%)	T-N (%)	C N	CEC (me)	置換性塩基 (me)			P ₂ O ₅ 吸収係数	有効態	
							Ca	Mg	K		P ₂ O ₅ (mg)	SiO ₂ (mg)
0-14	6.0	11.0	6.4	0.45	14.2	23.8	9.2	4.3	0.25	2464	2.7	67.0
14-30	5.8	9.1	5.3	0.36	14.7	22.0	8.1	0.6	0.10	2728	tr	69.0

注 有効態P₂O₅はTrough法による。

第2表 供試土壤の三相分布

深 さ (cm)	容積重 (g)	三相分布 %			孔隙率 (%)
		固相	液相	気相	
5-10	121.7	25.5	39.8	34.7	74.5
15-20	128.7	33.3	43.7	23.0	66.7

第3表 供試土壤の土塊の状態

粒 径 区分	10mm<		5-10mm		5mm>		合計 (g)
	g	%	g	%	g	%	
供試 転換畑	1,068	53.4	227	11.4	705	35.2	2,000
普通畑	378	18.7	239	11.9	1,387	69.4	2,000

すなわち、化学性について第1表をみると、腐植含量が多い、塩基が少ない、磷酸吸収係数が極めて大きい、有効磷酸の含量が著しく少ない・・・など、火山灰土壌の特徴を示している。さらに物理性をみると、孔隙率が大きく、また普通畑に比べて10mm以上の土塊部分が大きく、なお水田の影響が認められる。

2 栽培法および試験区の内容

供試品種は秋播用に適品種とされているグレートレークス54で、1970年11月上旬に黒色マルチ(120cm巾短冊, 30×30cm4条)に直播し、12月中旬に透明ポリフィルムのトンネルを覆い、2月上旬までに1株1本立てに間引した。3月中旬以降はトンネルの開閉によって温度管理を行なったが、この期間は無灌水のまま経過した。

試験規模は1区1.5m²の単連で、第4表に示すようにアール当りN, P₂O₅, K₂Oそれぞれ0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0の各用量試験を実施した。なお施肥は、硫酸、過石、塩加を用い、それぞれベッド巾に施用し、作土層に混合した。また、炭カルを施肥前に土壌のpH(H₂O)が6.0になるよう(80Kg/10a)施用した。

3 土壌の分析法

4月上旬にポリフィルムを除去し、各処理区ごとに表層土(0~10cm)を3カ所から採土、混合し、風乾のち2mmの篩を通し分析に供した。

土壌分析はつぎの方法によった。

pH(H₂O): 風乾土1に対し5倍量の純水を加えて振

とうし、浸出液についてガラス電極法により測定した。

電気伝導度(EC): p_H(H₂O)を測定した液について、直ちに電気伝導度計により測定した。(1:5)

Y₁: 風乾土1に対し2.5倍量の1規定塩化加里液を加えて振とうし、浸出液について苛性ソーダによる滴定法。

NO₃-N: 風乾土についてフェノール硫酸法により定量した。

III 結果および考察

1 生育

12月~2月頃までの初期生育をみると、発芽は各処理区とも順調で、整一なスタートを示した。2月上旬における1株1本立ての間引時は、無肥料、無窒素、N-10Kgの3区は正常な生育を示していたが、他の処理区では下葉の枯死、あるいは株枯れが多数認められた。すなわち、このばあいN-20Kg以上の各区(磷酸、加里の用量試験区はいずれもN-30Kgとした)では、いずれも大半が枯死しており、生存株についても下葉の枯れ上がりが認められた。その後、3月のトンネル開閉による日中の温度管理を開始するに及んで、上記の3区を除く各区ではすべての株が枯死するに至った。

2 土壌分析

前記各処理区の跡地について、p_H(H₂O), Y₁, ECおよびNO₃-Nを分析したが、その結果を示すと第4表のとおりである。すなわち、分析結果の概要について述べる

第4表 レタス跡地土壌の化学性

区 別	項 目	施 肥 量 (Kg/10a)			土 壌 の 化 学 性			レタスの 生育状況	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH (H ₂ O)	Y ₁	EC(1:5) m.mho		NO ₃ -N mg/100g
窒 素 用 量	1. 無窒素	0	20	30	5.55	0.33	0.98	1.6	良
	2. 窒素少	10	"	"	5.15	0.56	1.76	38.6	やゝ良
	3. " 中	20	"	"	4.55	1.59	2.84	82.5	枯 死
	4. " 多	30	"	"	4.65	1.86	3.57	89.0	"
	5. " 極多	40	"	"	4.50	2.50	3.28	76.2	"
磷 酸 用 量	1. 無磷酸	20	0	"	4.85	1.04	2.14	67.8	"
	2. 磷酸少	"	10	"	4.55	1.91	2.32	74.3	"
	3. " 中	"	20	"	4.40	2.87	2.83	90.0	"
	4. " 多	"	30	"	4.65	1.37	2.25	67.8	"
	5. " 極多	"	40	"	4.55	2.76	2.91	76.1	"
加 里 用 量	1. 無加里	"	20	0	4.60	2.28	3.12	107.3	"
	2. 加里少	"	"	10	4.60	1.92	3.07	94.0	"
	3. " 中	"	"	20	4.55	2.18	2.97	90.8	"
	4. " 多	"	"	30	4.55	2.28	2.80	85.5	"
	5. " 極多	"	"	40	4.50	2.64	3.17	83.6	"
参 考	1. 無肥料	0	0	0	5.60	0.32	0.72	16.6	良
	2. 対照田	0	0	0	5.85	0.55	0.09	0.9	一

とつぎのごとくである。

1) pH (H₂O)

生育障害をうけなかった無肥料、無窒素およびN-10 Kgの3処理区では pHが5.15~5.60の弱酸性反応を示しているが、障害をうけた他の処理区つまりN-20 Kg以上の多施肥区では、いずれも pHが4.5~4.8の酸性を呈している。

2) 置換酸度 (Y₁)

生育障害の無~軽を示した無肥料、無窒素、N-10 Kgの3処理区では、0.33~0.56とY₁の低いのに対し、生育障害の激甚な各処理区では、いずれもY₁が1.59~2.87と高い酸度を示している。

3) 電気伝導度 (EC)

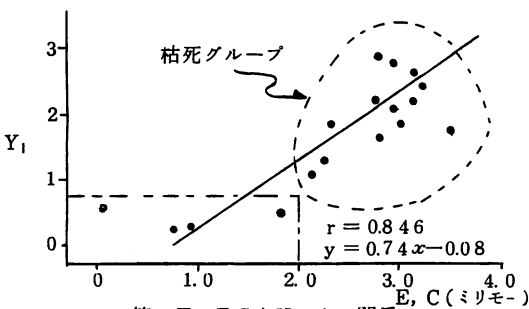
レタスにおける生育障害の軽微な前記3処理区についてみると、0.72~1.76ミリモ-と比較的低い値を示しているのに対し、N-20 Kg以上施肥した区では、2.14~3.57ミリモ-と高い電気伝導度を示し、土壌中における塩類集積の多いことが推定できる。このばあい、ほぼ窒素の施肥量に対応してECの高くなる傾向が認められるが、磷酸および加里の各施肥量ではこの傾向が明らかでない。

4) NO₃-N

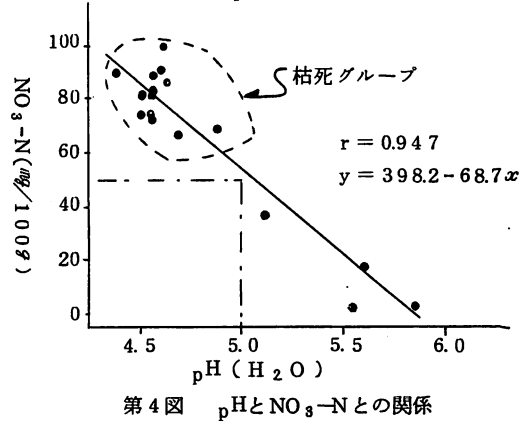
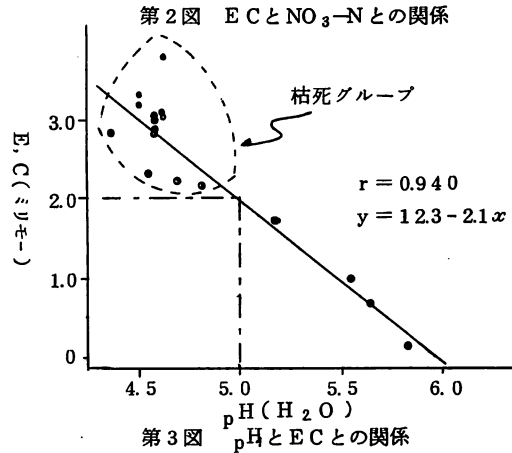
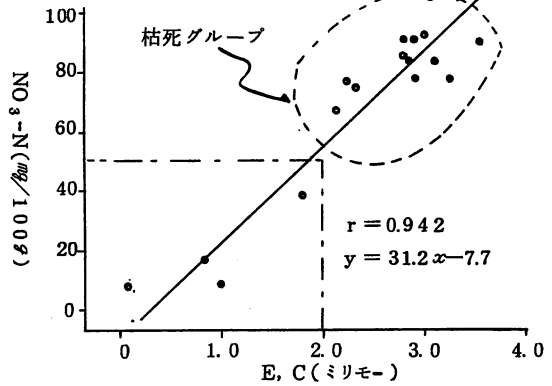
生育障害を受けていない無肥料、無窒素およびN-10 Kgの3処理区では土壌中のNO₃-Nが少ないが、N-20 Kg以上施用の各処理区では、乾土100g当りで70~100mgのNO₃-Nがあり、それぞれ異常に高いことが認められる。つまり、窒素の施用量の増加にともなってNO₃-Nの増大する傾向が認められるが、磷酸の増肥ではこの傾向が認められない。しかし、加里については施用量の増加にともなってNO₃-Nの漸減する傾向がうかがわれる。

3 分析成分および項目との関係

以上の分析結果について、各成分、項目間における相関



関係を求めて図示すると第1~4図のとおりである。



すなわち、こゝで各成分、項目間の相関を求めてみると、pHとEC、ECとY₁、NO₃-NとpHおよびECとNO₃-Nなど、それぞれの成分または項目間において極めて高い相関関係の存することが認められた。

一般に、畑土壌に施用された窒素は、やがてその大部分がNO₃⁻となって土壌溶液に溶出し、塩類の濃度を高める

うえで密接な相関関係をもっていると考えられる。このようなことから、硝酸態窒素を測定して全塩類濃度を推測したり、逆に全塩類濃度を測定して硝酸態窒素の量を推測する簡便な相関法が採用されている。したがって、本土壤のばあいには、 pH およびECの両者の測定によって硝酸態窒素を簡便に推量することが可能であると考えられる。

さらに、レタスの生育障害と各因子との関係をみるため、枯死グループを点線の囲みで表したが、これによれば、 pH (H_2O)では5以下においてみられ、ECについては2ミリモル以上、 Y_1 はほぼ1以上、そして NO_3-N は乾土100g当り50mg以上においてそれぞれ枯死していることが認められる。このことは、本土壤におけるレタスの生育の好適限界を示す土壌診断上の基準と考えられる。

4 マルチ被覆トンネル栽培下における濃度障害と施肥適量について

畑状態下において施用された窒素は、やがてその大部分が NO_3-N に変化し、その結果 pH が低下し、 Y_1 を増大し、さらに土壌溶液の塩類濃度を高め、電気伝導度を増大する。したがって、本試験における生育障害の主たる原因は、窒素多施用にともなう NO_3-N の集積による塩類濃度障害と考えることができる。

そこで、以上のような NO_3-N に由来する塩類の濃度障害を惹起した要因と、その対策としての施肥適量について考察する。

1) 被覆栽培の土壌環境

被覆栽培下では、雨水をさえぎる環境条件下にあるため肥料の流亡が少なく、むしろ土壌水分の蒸散によって過剰な肥料成分は地表近くに集積し、塩類濃度の上昇することが知られている³⁾。したがって、本実験における秋播レタスのマルチ被覆トンネル栽培では、かゝる環境条件下にあるため当然作土根圏の塩類濃度が高くなったものと思われる。

2) 土壌および気象条件

前述したように、本土壤は中小土塊の多い構造と孔隙率の高い土壌であり、加えて火山灰の陸田で地下水位が低く、冬期間は表層土が乾燥し易い特徴を有している。また、この間の気象をみると、降雨量は年間でもっとも少なく、とくに11月から3月にかけては寡雨過乾の状態を経過する。このことは、トンネル被覆栽培において作土、とくに地表面の水分蒸散にともなう土壌水分の上昇運動によって、根

圏における土壌溶液の塩類濃度をより一層高めていると推察される。

3) 前作の影響

畑作のばあい、前作物の種類や前作物に対する施肥量、施肥時期などによって、跡作の生育に大きな影響を及ぼすことはよく知られていることである。この圃場では前作にサトイモのマルチ栽培が行なわれているが、普通作物に比して多肥栽培が行なわれているので、この施肥残効も障害の誘因として無視することはできないと思われる。すなわち、本試験完了時の無肥料区の NO_3-N の異常に高い量を示していることは、かゝる施肥残効の高いことを示唆しているものと思われる。

4) 施肥対策について

以上のようなことから、秋播レタスのマルチ被覆トンネル栽培を安定化するうえで、塩類濃度による障害を未然に防止するためには、施肥の合理化、つまりマルチ栽培に対応した施肥窒素の適量を施用することが基本である。

沖積土壌の夏レタスのばあい、窒素に対する感応が鈍く、10アール当り40Kg施用しても収量は漸増するが、単位施用量当りの増収率は窒素30Kg以上で急に低下し、利用率も低くなり、跡地の酸性化も著しくなることなどから、元肥には15Kg程度が施肥の適量であるとしている⁴⁾。

また、秋播で本試験と同じ作型で水田裏作のばあい⁵⁾は、元肥にN、 P_2O_5 、 K_2O をそれぞれ、ほぼ30Kg施用しているが、ここではAM化成や石灰窒素、鶏ふん等の硝化抑制剤入り肥料や緩効性肥料を主体として施肥している。このことは、窒素の無機化を抑え、窒素の供給が長くなるのでレタスの生育に対する濃度障害の軽減にかなり実用的な寄与をしていると考えられる。他方、こゝではかなりの多肥を行なっているが、水田裏作条件で土壌水分に恵まれ、したがって、土壌溶液中の肥料養分がかなり稀釈されるために施肥レベルを高くしても濃度障害に対し、比較的安全であることを裏書きしているとみられる。

以上のようなことから、塩類の濃度障害に弱いとされるレタスのばあい、本土壤のごとき火山灰土壌での秋播被覆トンネル栽培では土壌中の NO_3-N 濃度を上記の限界以下にすることを目標とし、そのためには、元肥窒素を10アール当り10Kg程度が安全であると考えられる。

IV 摘 要

黒色火山灰土壌の陸田転換畑におけるマルチトンネル直

陸田転換畑におけるマルチ、トンネル直播レタスの塩類濃度障害について

播レタスの生育障害について、2～3の土壤肥料的な検討を行なった結果はつぎのとおりである。

1) 元肥に10アール当り20Kg以上の窒素を施用したばあい、レタスは生育障害を起し、3月までに完全に枯死することが認められた。

2) 土壤分析の結果、 $pH(H_2O)$ では5以下、ECでは2ミリモル以上、 Y_1 では1以上、 NO_3-N では乾土100g当り50mg以上において生育障害が発生した。

3) pH とEC、 Y_1 とEC、 NO_3-N と pH 、ECと NO_3-N の間には、それぞれ極めて高い相関関係が認められ、したがって pH とECの両者の測定によって NO_3-N の推量が可能であると考えられた。

4) 転換畑におけるレタスの生育障害の主たる原因は、窒素多施用にともなう NO_3-N の集積による塩類濃度障害であると考えられた。

5) かかる NO_3-N に由来する塩類の濃度障害を惹起した要因として、被覆栽培条件下における土壤環境と、転換畑の土壤条件および気象条件によって根圏に塩類が集積し易いこと、さらに前作サトイモの施肥残効も影響してい

たことが推察された。

6) 以上のようなことから、転換畑におけるマルチトンネルの直播レタスを安定させるためには、施肥窒素の適量を施用することが基本で、その元肥窒素の適量は10アール当り10Kg程度が安全であると考えられた。

参 考 文 献

- 1) 茨城農試(1969):昭和43年度水田作栽培試験成績書。
- 2) 梶田貞義・小坪和男・幸田浩俊・黒沢晃(1972):陸田転換畑のそ菜導入に関する試験,茨城農試研究報告,13号,103~162
- 3) 日土肥学会編(1970):近代農業における土壤肥料の研究,67,養賢堂
- 4) 郷間光安(1973):土壤肥料試験研究成績,第5号,1~9,神奈川県農業総合研究所
- 5) 千葉農試(1968):昭和42年土壤肥料試験成績2-1

転作大豆の増収の可能性とその耕種法

秋山 実・梶田 貞義・渡辺 正信
塩幡 昭光・幸田 浩俊・黒沢 晃

転作水田へ大豆の導入について、技術の確立をはかるため栽培法の検討を行った、その結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) 少なくとも大豆の播種位置が、地下水位上50 cmを要し、地表水の排除が自由にできる圃場を選択する。
- (2) 播種は5月上中旬の早期播種がよい。
- (3) 栽植密度は、10 a当り300 Kg以内の収量限界では50×20 cm、300 Kgをこえた収量水準では75×10 cmと推定され、400 Kg前後の場合は75×20 cmあたりに適正がみられた。また、転換畑は普通畑より欠株が発生しやすいので、欠株をなくすることが重要である。
- (4) 施肥は洪積畑地での基準が適用でき、鶏糞の効果が高い。また、積極的な施肥が増収の一要因である。
- (5) 主要害虫の生態からみて、おおむね大豆の開花～幼英期以後、7～10日間隔で4回前後の農薬散布が必要である。
- (6) 転作大豆の10 a当り子実収量は、標準的な栽培で300 Kg、可能性としては500 Kgである。

I はじめに

昭和45年から進められた米の生産調整を契機として、水田の転換作物はいろいろ考えられるが、広く栽培しやすく、需要量が多い大豆作が再評価され、稲作転換対象作物の一つにとりあげられた。

大豆の平均収量は低く10 a当り120～130 Kg内外が統計数字であるが、関係農試の多収獲試験にみられる実績では非常に高く、300～400 Kg或いは500 Kgをこす成績もある。

とくに、転換水田は大豆生産の場として考えた場合、土壌が粘質で、しかも豊沃とみられ大豆の生育に適する。乾

土効果がでて窒素の有効化が進む。畑より水分含量が高く稔実に好影響を与える。

このため水田大豆は、その生産基盤の優位性から収量の安定、向上への期待が大きい。

しかし、不利な条件としては、地下水位が高過ぎたり、排水不良で滞水しやすいなど、水分管理の困難性に問題がある。

また、雑草防除や病虫害防除にもきめのこまかい対応が必要であり、水田転換畑に適合した生産技術の確立が望まれる。

そこで、昭和46年から48年にわたって県北、県西、県南に3試験地を設け、水田転換畑における大豆の栽培技術確立を検討したのでその結果の概要を報告する。

II 試験方法

1. 試験地の概要

年次	試験地	水田条件	地下水の動き	湿害の程度			備 考
				前期	中期	後期	
1971	桂村1圃場	台地間谷津田 黒色土壌、半湿田	6月の平均が20 cm前後	多	なし	少	地下水位がゼロになる場合があり、種子の腐敗、発芽後の枯死生育遅延を招いた。
	" 2圃場	火山灰切土跡 黒色土壌、乾田	転換畑水田で水位は低い	なし	なし	少	停滞水で一時的に多湿になる程度、生育期間中3回冠水
	結城市芳賀 電ヶ崎市宮湖町	鬼怒川流域平坦 灰褐色壤土、乾田 利根流域平坦 沖積灰色土壌、乾田	6月の平均が9.1 cm 6月の平均が2.5 cm前後	なし	なし	少	登熟期に一時停滞水の影響あり 4～5葉期まで葉色不良 生育期間中1回冠水
1972	水戸市上国井町	台地下平坦 黒色火山灰土壌、半湿田	栽培期間中おおむね30～35 cm	少	なし	なし	低湿部にリゾクトニアの寄生による黄変株が開花期までみられた。
	電ヶ崎市宮湖町	前年と同じ	7月上旬が2.5 cm、以後30～40 cm	少	なし	なし	発芽初期の湛水でファザリウム及びリゾクトニアの寄生による幼芽の腐敗枯死が発生した。
	協和町	平坦地 黒色火山灰土壌、乾田	6～7月の平均が7.9 cm 8～9月の平均は32.8 cm	多	中	なし	6月8日以降、降雨のたび湛水8月上旬より低下、9月12日降雹害

茨城県農業試験場研究報告 第15号 (1974)

年次	試験地	水田条件	地下水の動き	湿害の程度			備考
				前期	中期	後期	
1973	水戸市上国井町	火山灰 黒褐色土壌, 乾田	5下~7上まで5~10 cm, 以後20~25cm	多	多	少	5月下旬~7月上旬まで極度の生育停滞, 雑草害多く, カメ虫の被害20~30%におよぶ。
	竜ヶ崎市宮湖町	前年と同じ	栽培期間中おおむね50 cm前後	なし	なし	なし	ボンミノリでシロイチモンジマダラメイガ, タチスズナリではカメ虫の被害が著しい。
	協和町	前年と同じ	6月8日以後やや高く 7月8日以後25~30 cm以下	少	なし	なし	6月8日の降雨で一時冠水。

注 1972年竜ヶ崎は転換2年目圃場, 他はすべて転換初年目圃場である。

2. 耕種概要

年次	試験地	供試品種	播種期 月・日	栽植密度 (cm)	人工倒伏 月・日	害虫防除	施肥(10a当りKg)
1971	桂村1	ボンミノリ	5.24	50×10	7.10	スミチオン乳剤1回 バイジット粉剤1#	消石灰300 N3, P ₂ O ₅ 10 K ₂ O12.5溝施肥
		農林2号					
		タチスズナリ					
	桂村2	同上	5.26	"	7.8	スミチオン乳剤2回 バイジット粉剤1#	消石灰100 同上
		結城市	ボンミノリ	5.19	"	6.29	DDVP乳剤1# EPN粉剤1# スミチオン乳剤4#
	竜ヶ崎市	ボンミノリ	5.20	"	6.30	スミチオン粉剤1#	消石灰200 同上
農林2号		5.20	"	6.30	スミチオン粉剤1#	同上	
1972	水戸市	農林2号	5.13	50×10	6.30	VC粉剤播溝散布 スミチオン粉剤5回	消石灰100 同上
			5.30	50×20			
	竜ヶ崎市	農林2号	5.16	"	6.30	ビニフェート粉播溝散布 スミチオン粉剤5回	消石灰120 同上全面施肥
			5.30	"			
	協和町	農林2号	5.13	50×10・20	なし	ビニフェート粉播溝散布 スミチオン乳剤3回 バイジット乳剤3#	堆肥1500 苦土石灰150 ようりん60 その他同上
			5.19	75×10・20			
1973	水戸市	農林2号	5.2	50×20	7.4	VC粉剤播溝散布 EPN粉剤5回	標肥 標肥+追肥 標肥+堆肥(3t) 鶏糞(800)
			5.17	75×20			
	竜ヶ崎市	ボンミノリ	5.19	"	7.4	ビニフェート粉播溝散布 スミチオン粉剤6回 バイジット乳剤2#	消石灰160 ようりん160 条件は水戸市と同じ
			5.30	"			
	協和町	ボンミノリ	5.1	50×20(2本立)	5.27	ビニフェート粉播溝散布 スミチオン乳剤2回 バイジット乳剤2#	苦土石灰150 ようりん60 その他施肥条件で 鶏糞区が標準+鶏糞 以外水戸市と同じ
			5.17	75×20(")			

注 1) 人工倒伏の方法 5~6葉期に主茎を畦と直角の方向に一様に整然と踏圧倒伏させる。

2) 共通の一般耕種法と処理

- ・圃場整備~側溝は巾30~40cm深さ50cm前後とし圃場水の排除につとめた。
- ・石灰散布~中和目標pH6
- ・播種床準備~ロータリー耕3~4回 作畦など手作業
- ・播種前処理~2年目よりタネバエ等の予防措置として実施
- ・病害虫の防除~粉剤は10a当り3~4Kg, 乳剤は1000倍液100~120ℓ
- ・中耕培土~播種後25日頃1~2回その後2週間して培土1回培土は開花前20日頃終了
- ・雑草防除~1971年はPCP水溶剤を播種後10a当り2Kg, 1972~73年はベンチオカーブ・プロメトリンを播種後800g散布

Ⅲ 試験結果

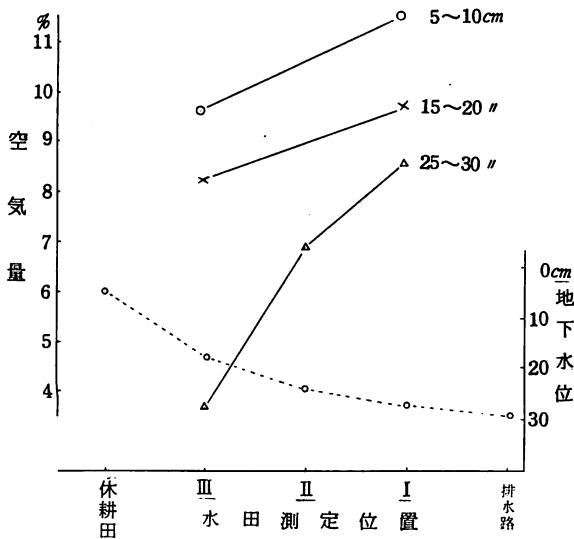
1 地下水位（土壌水分）と生育収量

第1表および第1図に示すとおり桂1と竜ヶ崎は結城に比べて地下水位が高く、大豆の転作条件としては不適に近い。桂は耕耘整地が手作業でなければできない程度のぬかり圃場のため、3品種とも68〜74%の苗立ちであり、しかも発芽後の生育がわるくその後の欠損株もみられた。

第1表 地下水位の時期変化（1971）

試験地	6月	7月	8月	9月	10月
桂 1	2.2	3.1	8.8	1.0	4.9
結 城	9.1	5.4	4.4	3.6	100以下
竜ヶ崎	2.5	4.1	6.8	5	4.8

注 各試験地とも4ヶ所の平均値（cm）



第1図 地下水位と空気量の変化
（1971，6月8日竜ヶ崎）

6月8日における竜ヶ崎の地下水位と空気量との関係では、地表下5〜10cmの層でも畑作物生育の最低限といわれる15%の空気量をはるかに下回っており、条件の不適さを物語っている。なお、6月29日の調査でも同じ傾向を示した。このような転換畑では降雨が5〜10mmあるとすぐ湛水状態となり、そのことが発芽、生育、粒の肥大、

莢の腐敗、紫斑病の増大と直結して、大豆作を極めて不安定とした。

その点、結城の場合は、第1表でもみられるように登熟の末期（9月上旬から収穫期）にかけての降雨で水位が20cm前後に上り、100粒重の肥大阻害や、腐敗莢の発生につながり立毛の作柄は良かったが子実収量は期待に反した。結果的には、生育基盤のちがいで結城、竜ヶ崎、桂の順に収量が高かった。（第2表）

2 播種期、品種と生育収量

各試験地における供試品種の生育収量は第2表のとおりである。

すなわち、桂試験地では圃場1.2を通じて供試した4品種のうち、農林2号、タチスズナリは欠株湿害等の影響をうけたにもかかわらず、10a当り200kg前後の収量をえたが、ボンミノリ、革新1号は虫害による青立および莢の腐敗で種子実の収量が極めて低かった。

結城試験地の場合、前者とちがって、ボンミノリが農林2号にまさり、10a当り300kgを超えた、これは降雨多湿条件下の播種の影響と思われる欠株率が高く、その上主茎の伸びも良くないが、一株の着莢数、100粒重がすぐれたためと思われる。

また、竜ヶ崎試験地では結城の場合と同様ボンミノリが欠株率は大きいにもかかわらず、農林2号、タチスズナリにまさったことは、稔実莢数と100粒重がこれを支えたものと思われる。

なお、1972年における竜ヶ崎の成績も71年同様にボンミノリが農林2号にまさった。既往の成績も含め、この結果から、県南部地域では早生のボンミノリが、県下一円には農林2号の適応性の高いことがうかがえる。タチスズナリは莢数の確保はできるが、100粒重が小さいため子実収量が劣った。

1972年における農林2号の播種期と収量との関係、1973年における品種、播種期のちがいと生育収量についてみるとそれぞれ第3、4表のとおりである。

第2表 各試験地における収穫物調査成績 (1971)

試験地	品目	欠株率	主茎長 (cm)	一株分枝数 (本)	一株着莢総数	被害粒内訳 (%)			10a当り		精粒歩合	100粒重 (g)
						シシトウ粒	カメムシ	腐敗	全重量 (Kg)	子実重 (Kg)		
桂 1	農林2号	18.0	75.3	4.0	64.5	3.1	5.4	3.9	532	220.2	94.3	25.4
	ボンミノリ	32.0	75.9	8.9	43.1	0	38.2	23.6	278	28.8	77.7	20.0
	タチスズナリ	11.0	88.1	3.1	53.5	0.8	5.0	5.0	535	201.6	97.6	23.7
	革新1号	0	86.8	2.8	68.0	5.3	6.0	36.0	372	49.2	85.6	24.7
桂 2	農林2号	23.3	67.3	4.1	70.5	3.7	2.8	9.4	518	237.8	92.9	23.1
	ボンミノリ	29.3	74.4	4.0	44.5	1.7	32.6	18.0	406	122.5	75.6	22.5
	タチスズナリ	11.8	84.8	4.0	60.5	2.3	5.1	5.7	521	219.5	94.9	21.0
	革新1号	36.5	89.0	4.3	—	7.2	—	28.6	331	46.8	82.7	25.7
結 城	農林2号	31.8	68.4	5.0	77.4	0.1	0.2	0.8	539	222.2	97.6	17.2
	ボンミノリ	62.7	60.4	5.3	145.5	3.6	0.2	5.7	611	348.4	95.1	22.2
竜ヶ崎	農林2号	13.8	64.2	4.6	49.2	0.8	0	25.4	553	228.9	87.1	20.1
	ボンミノリ	32.0	69.2	4.1	71.2	6.0	0.2	31.6	537	286.8	66.5	24.1
	タチスズナリ	27.6	82.3	4.3	86.5	7.5	0.5	14.6	550	230.0	88.8	17.6

第3表 播種期と収量構成 (1972)

品種	試験地	播種期 (月・日)	主茎長 (cm)	一株分枝数 (本)	一株穂実莢数	10a当り精子実重 (Kg)	同 比	100粒重 (g)	
農林2号	水 戸	5.13	73.3	4.8	41.1	285	100	23.9	
		5.30	55.4	2.7	48.0	229	80	21.2	
	竜ヶ崎	5.16	69.3	2.7	52.1	275	100	25.4	
		5.30	51.3	2.4	46.7	255	93	22.0	
		協 和	5.13	72.4	1.0	53.2	262	100	20.3
			5.29	64.9	3.2	61.6	183	70	19.4

第4表 品種・播種期のちがいと生育収量 (1973)

試験地	品種	播種	調査項目	開花期 (月・日)	成熟期 (月・日)	主茎長 (cm)	一株分枝数 (本)	株当り穂実莢	株当り障害粒数		10a当り精子実重 (Kg)	同 比	100粒重 (g)
									紫	斑虫喰			
水 戸	農林2号	5月2日	7.17	9.27	45.3	4.5	74.0	5.7	12.9	252	100	25.6	
		5.17	7.23	10.5	39.0	4.1	64.0	4.0	9.3	226	90	25.6	
	タチスズナリ	5.2	7.18	10.5	43.1	6.1	81.0	12.4	26.5	277	100	24.5	
		5.17	7.23	10.5	39.6	4.8	70.4	7.5	17.6	214	77	24.6	
協 和	ボンミノリ	5.1	7.8	9.11	70.8	10.8	166.8	4.2	1.6	346	100	23.5	
		5.17	7.12	9.20	64.1	8.2	145.7	6.7	2.8	367	106	24.1	
	農林2号	5.1	7.14	9.26	76.3	7.2	119.6	7.2	2.0	301	100	26.7	
		5.17	7.19	10.4	68.3	10.7	145.7	8.7	1.6	307	102	26.9	

注 栽植については、水戸～50×20cmの1本，協和～50×20cmの2本仕立とする。標準肥栽培

転作大豆の増収の可能性とその耕種法

第3表については、3試験地とも早播と遅播における諸形質の変化をみたが、早播によって開花始め、成熟はそれぞれ7日、4～5日位早まり、草丈が伸び、分枝および莢数には一定の傾向を認め難いが、100粒重が重くなり、子実収量も約20%多い。

また、第4表で示した品種の播種適応でみた場合、水戸と協和の試験地間で多少傾向がちがひ、水戸では農林2号、タチスズナリとも早播が主茎長、分枝、総莢数を多くして10～20%の播種期間差がみられたが、協和の場合、ボンミノリ、農林2号とも収量差がなく10a当りの絶対収量も他試験地に比べて高い。

品種のちがひによる収量差は播種期の早晩に比べて小さい。水戸の場合農林2号、タチスズナリの差は小さいが、タチスズナリより農林2号の播種期適応性が高い。協和では両播種期ともボンミノリが農林2号にまさり両品種とも水戸に比べ播種期適応が高い。

3 人工倒伏

薦田氏は人工倒伏について次のように定義している。

すなわち、大豆そのものの増収を期待する場合欠株をな

くし、草丈を伸ばし、自然条件では倒伏するような生育状態をつくり、本葉5～6葉のとき畦と直角の方向に倒伏（足踏み）させると湾曲した主茎は畦間にたおれ、分枝は上向きとなり多くでて圃場全面に広がる。

また、子、初葉節等より不定根が発生して個体発育が後期まで安定生育して増収につながるというものであるが、1971年の結果からは、生育、収量、形質変化が収量に明らかに有利にでた成績はない。むしろ結城、竜ヶ崎試験地でみられるように、収穫期の降雨などで接地部の湿害により腐敗莢が多くなり、紫斑の発生も多くなることもあって収量を不安定にする場合がある。

1972年水戸および竜ヶ崎において、農林2号に人工倒伏処理を行った結果は第5表のとおりである。

両試験地を通じて、倒伏処理によって主茎長の伸びがおさえられ、分枝数が多く着莢も多くなるが100粒重は低下の傾向がある。子実収量は4～5%倒伏処理の効果がみられる。

また、品種と人工倒伏との関係は、第6表に示すとおりである。

人工倒伏処理の有無と生育収量（1972）

品種	試験地	処 理	主 茎 長 (cm)	分 枝 数 (本)	稔 実 莢 数	10a当り 精 子 実 重 (Kg)	同 比	100粒重 (g)
農林2号	水 戸	人工倒伏	66.7	4.0	45.5	296	104	228
		△ 処 理	73.3	2.7	41.1	284	100	239
	竜ヶ崎	人工倒伏	70.3	3.3	71.2	289	105	243
		△ 処 理	69.3	2.7	52.1	275	100	254

第6表 人工倒伏処理の有無と生育収量（1973）

試験地	播種期 と栽植	品 種	処 理	主 茎 長 (cm)	一 株 分 枝 数 (本)	一 株 莢 数	株 当 り 障 害 粒 数		10a当り 精 子 実 重 (Kg)	同 比	100粒重 (g)
							紫 斑	虫 喰			
協 和	5. 1 (50×20cm)	ボンミノリ	△ 処 理	72.8	9.8	181.5	5.1	1.7	408.2	100	242
			人工倒伏	68.9	10.8	174.5	5.5	1.8	350.7	86	245
		農林2号	△ 処 理	77.2	8.7	141.3	5.7	3.1	361.0	100	27.1
			人工倒伏	69.0	7.6	133.0	7.6	3.4	307.5	85	26.8
水 戸	5. 2 (50×20cm)	農林2号	△ 処 理	41.7	4.1	69.0	6.2	14.1	228.8	100	23.1
			人工倒伏	38.4	5.0	78.0	5.9	9.1	226.3	99	23.9
		タチスズナリ	△ 処 理	39.9	5.9	85.2	11.9	26.4	254.6	100	23.5
			人工倒伏	43.8	7.9	86.7	12.7	29.0	277.1	109	23.1

注 人工倒伏は協和で5月1日播は27日、水戸では5月2日播で7月4日とする。（草丈平均は農林2号で40cm、タチスズナリで42cm）

すなわち、品種的にはボンミノリ、農林2号が処理の効果がでにくくタチスズナリで効果がやすい。収量要因としては2試験地とも、主茎長が短くなり分枝数が多くなるが、人工倒伏区は収穫時の過湿(水戸)や紫斑、虫害などの障害粒がやや多くなる傾向がみられるので、稈実英数や収量の増加に結びつかないものと思われる。

4 虫害と生育収量

桂、結城両試験地における供試品種と害虫の被害率との関係を見ると第2表のとおりである。

すなわち、桂試験地ではスミチオン、バイジットの2回散布(8月28日、9月9日)に比して結城試験地はDDVP、EPN、スミチオン(6月10日から9月10日まで4回散布)を計6回散布している。

このことは本県平坦部の大豆作についての害虫防除は、多回防除を必要とすることを示している。

とくに、桂試験地(県の北部地域)ではボンミノリ、革新1号にカメ虫(ホソヘリ、アオクサ)の被害が多く育立ち現象となり低収量の原因となっている。

5 栽植様式と生育収量

栽植様式と生育収量についての1972年の結果は第7表のとおりである。

畦巾を50cm、株間を10cm、20cmとしてm²当り栽植本数をかえ、生育、収量におよぼす影響をみると、水戸および竜ヶ崎試験地では疎植の方が収量が高いが協和では差がない。協和でさらに疎植とした区は多湿条件下で、雑草の繁茂が多く、その影響もあって収量は低下した。

また、1973年水戸、協和の両試験地で行った、播種期、品種と栽植様式、密度の組合せ試験の結果は第8表に示すとおりである。

第7表 栽植様式と生育収量 (1972)

試験地	播種期 (月,日)	栽植様式 (cm)	主茎長 (cm)	一株 分枝数 (本)	一株 稈実英数	10a当り 子実収量 (Kg)	同上	100粒重 (g)
水戸	5.13	50×10	73	2.7	41.1	284	100	23.9
		50×20	60	4.8	67.6	306	108	23.4
竜ヶ崎	5.16	50×10	69	2.7	52.1	275	100	25.4
		50×20	60	4.7	88.9	289	105	24.1
協和	5.13	50×10	72	※1.0	※53.2	263	100	20.3
		50×20	62	※4.8	※79.2	259	98	20.6
		75×10	58	※5.6	※84.6	187	71	20.7
		75×20	63	※5.6	※110.4	155	59	20.9

注 農林2号, 標肥 ※2本立

第8表 栽植様式、密度のちがいと生育収量 (1973)

試験地	播種期 (月,日)	品種	栽植様式 (cm)	主茎長 (cm)	一株 分枝数 (本)	一株 稈実英数	10a当り 子実収量 (Kg)	100粒重 (g)
水戸	5.2	農林2号	50×20	43.8	4.9	80.4	292	25.0
			75×20	42.0	5.8	80.9	212	26.4
		タチスズナリ	50×20	44.7	6.8	95.5	265	24.0
			75×20	44.2	6.5	102.9	239	24.5
協和	5.17	農林2号	50×20	59.0	4.1	64.0	226	25.6
			75×20	41.4	5.1	73.8	155	25.4
		タチスズナリ	50×20	39.6	4.8	70.4	212	24.6
			75×20	40.3	4.8	85.4	134	24.9
協和	5.1	ボンミノリ	50×20	71.6	9.8	178.0	368	23.9
			75×20	72.3	9.7	181.0	396	24.5
		農林2号	50×20	76.5	8.1	138.9	314	26.6
			75×20	71.6	9.8	174.9	359	26.4
和	5.17	ボンミノリ	50×20	69.6	8.7	150.1	377	23.8
			75×20	72.2	10.0	165.0	394	24.8
		農林2号	50×20	69.9	9.3	143.3	343	26.8
			75×20	66.5	11.8	159.5	402	27.2

すなわち、水戸では農林2号、タチスズナリのいずれも50×20cmに対し、75×20cmの疎植区の収量が劣り、その傾向は播種期がおくれるほど強く差があらわれる。

一方、協和についてはボンミノリ、農林2号ともにまた両播種期とも、50×20cmに比べて75×20cmの疎播区で収量があがり100粒重の増加もみられる。

1972年は協和において、また、1973年は水戸でそれぞれ湿害をうけ、著しく生育が抑制阻害されたため、生育量の小さい湿害条件下では密播が疎播にまさり、適条件下では疎播区の生育、収量がすぐれることを示すものと思われる。

農林2号、タチスズナリ級の品種を対象にしても、生育量と収量との関係から、10a当り300Kg以内で主茎長が50cm前後までの場合は、 m^2 20本またはより密植で子実収量が安定するが、主茎長70cm前後で草丈が1mをこえる生育量の大きい場合で、収量400Kg前後の栽培では、 m^2 10本以内におさえ、しかも畦巾を広げて畦間の遮光通風をよくする必要がある。

密植条件を与えた場合、光不足が開花期前後に上位節より4～5節下ったところで、異常な節間伸長がみられ、過繁茂となってこれが倒伏につながる事が指摘されている。

さらに、1株本数と生育収量との関係については第9表のとおりで、畦巾、株間を同じとした場合の1株苗立ち本数については、2本立ちは草丈は伸びるが分枝、莢数、100粒重の低下傾向がみられた。

第9表 一株本数と生育収量(1972,水戸)

処 理	一 株 一 株		10a当り		同 比	100粒重 (g)
	主茎長 (cm)	分枝数 (本)	稔 実 莢 数	精 子 実 重 (Kg)		
2本立	68	3.4	73.6	258	100	22.5
1本立	61	5.5	74.4	295	114	22.7

注 農林2号, 標肥, 5月16日播 50×20cm

6 耕盤破碎と生育収量

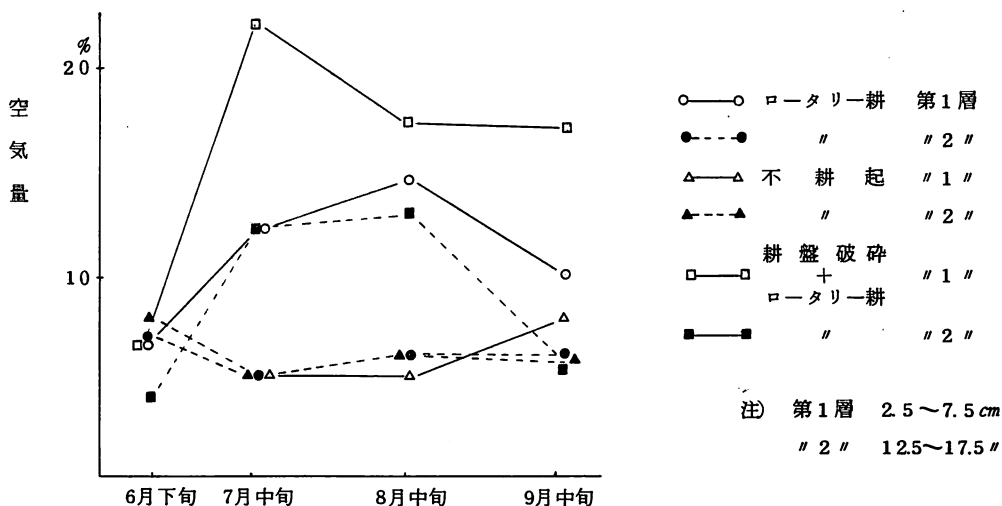
水田転換畑では地下水位が高く、その上、降雨時の地上水の滯水が生育を阻害することが多い。そこで耕盤破碎により作土圏の余剰水の排除を図った。耕盤破碎は1.5mおきに巾10cm深さ15～30cmを処理した。

この結果、地上水の排除がよく根圏の乾きが明らかにすぐれ、梅雨期でも多湿がさげられ(第2図)第10表にみられるように、生育がすぐれ障害粒も極めて少なく、対象区に比べて28%の増収となった。

第10表 耕盤破碎と生育収量 (1972,水戸)

処 理	主 茎 長 (cm)	一 株 分 枝 数 (本)	一 株 稔 実 莢 数	株 当 り 障 害 粒 数			10a当り 精 子 実 重 (Kg)	同 比	100粒重 (g)
				紫 斑	褐 斑	虫 喰			
普 通 耕	5.5	2.7	48.0	4.5	2.5	3.0	22.9	100	21.2
耕 盤 破 碎	6.6	3.7	41.6	0.4	0.2	1.1	29.2	128	21.3

注, 5月30日播, 農林2号



第2図 土壤空気量の時期的変化 (1972,水戸)

7 雑草発生と生育収量

雑草防除は、1971年はPCP、1972、'73年はベンチオカーブ・プロメトリンを播種後に散布した。

この結果からみると、初年度は桂1および竜ヶ崎の両試験地において、2年目は協和、また3年目は水戸においてそれぞれ雑草が繁茂し手取り作業を余儀なくされた。この主因は桂1のように砕土率不良も考えられるが、各試験地に共通することは、多湿条件で除草効果が劣り、大豆の生育が抑制された半面雑草の生育が助長されたためである。

これら試験地の優占雑草は、桂1と水戸がノビエ、ミズガヤツリ、竜ヶ崎でノビエ、協和でノビエ、タデ類であった。水田転作で多湿の場合、除草作業も困難で大豆栽培上湿害とともに大きな問題であることが指摘できる。

このように多発した雑草の影響は第11表に示すように、大豆の分枝、莖長を抑制し、100粒重を下げ、子実収量は30%の減収となった。

耕起条件による除草剤処理効果の差異は第12表に示すように、ヤナギタデ、タネツケバナは耕起播種後の発生本数が不耕起に多く、ミズガヤツリ、ノビエは耕起により発生が減少した。

第11表 雑草が大豆の形質、収量に及ぼす影響 (1972, 水戸)

区名	7月19日(大豆開花期)			9月21日(大豆成熟期)			株稔実数	10a当り 精子実重 (Kg)	同 比 (%)	100粒重 (g)
	草丈 (cm)	葉数 (枚)	分枝数 (本)	莖長 (cm)	分枝数 (本)	分枝数 (本)				
雑草放任区	68.7	10.9	3.7	56.1	3.6	7.2	206	70	20.9	
手取区	68.2	9.6	4.0	61.3	5.5	7.4	295	100	22.7	

第12表 耕起条件による除草剤処理効果の差異 (m²当り)(1972, 水戸)

草種	除草剤処理前		処理後25日	
	不耕起(本)	耕起(本)	不耕起(本)	耕起(本)
ヤナギタデ	52	0	36	68
タネツケバナ	12	0	44	132
ミズガヤツリ	8	0	16	4
ノビエ	0	0	16	12

注 ベンチオカーブ・プロメトリン(700cc/10a)を5月14日に処理

第14表 播種方式と生育収量 (1972 協和 農林2号 5.13播)

処 理	主莖長 (cm)	分枝数 (本)	稔実 数	10a当り 精子実重 (Kg)	同 比 (%)	100 粒 重 (g)
耕起50×10 ^{cm}	72	1.0	53	263	100	20.3
不耕起50×10 ^{cm}	55	3.2	54	213	81	20.8
散播(1kg当り)	83	2.8	66	201	76	20.4

注 2本立

すなわち、不耕起播では正常な状態では発芽に支障はないが、播種後の降雨が一時的に畦間に停滞すると発芽障害につながり、また、生育の後半が凋落する。主莖長の抑制、分枝数の減少、1粒莢が多くなるなどで20%前後減収となった。

散播については、方法としてロータリー耕耘後ツースローをかけ、散播後さらにツースローをたてよこにかけた。a当りの播種量1kgで発芽もよく、m²当り50本前後の苗立ちとなった。普通栽培に比較すると密植のため、第15表でみるように主莖長、平均節間長も他区より徒長の傾向を示して収量も少なかった。

第13表 放任区雑草の生育(1972.水戸)

草種	7月19日草丈 (cm)	9月21日草丈 (cm)
ヤナギタデ	45.6	130.0
タネツケバナ	12.0	—
アゼナ	15.0	—
ミズガヤツリ	42.0	62.0
アブノメ	12.8	—
メヒシバ	20.0	165.0
タカサブロウ	33.0	100.0
ノビエ	88.0	90.0

注) 一雑草競合のため枯死

8 不耕起と散播

省力的な大豆栽培として不耕起、散播などが考えられるので、検討した結果は第14表のとおりである。

9 施肥と生育収量

1972年の成績でみられた生育凋落を補うため追肥、堆肥、鶏糞の施与効果を検討した。

転作大豆の増収の可能性とその耕種法

追肥については、とくに水戸では発芽後間もなく湿害の影響が出て生育が停滞し、追肥前に土中のNO₃-Nを測定したところ0.27mg/乾土100gで著るしく低かったが、協和の疎播区以外では効果が明らかでない。

また、堆肥の効果は協和で約10~20%、竜ヶ崎の農林2号密播区で15%の増収をみたが、多湿条件下の水戸では認められなかった。

第15表 施肥のちがいが収量に及ぼす影響 (1973)

試験地	処 理	5月2日播(50×20cm)				5月2日播(75×20cm)			
		農林2号		タチスズナリ		農林2号		タチスズナリ	
		精粒重(Kg)	比率(%)	精粒重(Kg)	比率(%)	精粒重(Kg)	比率(%)	精粒重(Kg)	比率(%)
水戸	標準肥	252	100	277	100	206	100	209	100
	標肥+追肥	206	82	237	86	190	92	200	96
	標肥+堆肥	229	91	255	92	209	101	185	89
	鶏糞施用	347	138	278	100	260	126	374	179
試験地	処 理	5月1日播(50×20cm)				5月1日播(75×20cm)			
		ボンミノリ		農林2号		ボンミノリ		農林2号	
		精粒重	比率	精粒重	比率	精粒重	比率	精粒重	比率
協和	標準肥	345	100	301	100	372	100	297	100
	標肥+追肥	317	92	306	102	395	106	370	125
	標肥+堆肥	408	118	361	120	407	109	354	119
	標肥+鶏糞	416	121	393	131	410	110	415	140
試験地	処 理	5月19日播(50×20cm)				5月19日播(75×20cm)			
		ボンミノリ		農林2号		ボンミノリ		農林2号	
		精粒重	比率	精粒重	比率	精粒重	比率	精粒重	比率
竜ヶ崎	標準肥	269	100	234	100	155	100	206	100
	標肥+追肥	219	81	260	111	111	72	208	101
	標肥+堆肥	218	81	270	115	158	102	195	95
	鶏糞施用	224	83	239	102	172	111	252	122

注 追肥は10a当り水戸……鶏糞区を除き化成(6-20-25)50Kg, 協和, 竜ヶ崎は硫安7.5Kg施用, 堆肥は10a当り3t, 鶏糞は800Kgとして乾燥糞(N…4, P₂O₅…3.8, K₂O…2.3)

第16表 鶏糞施用と生育並びに収量構成(1973, 水戸, 農林2号)

区 名	主茎長(cm)	一 株 分枝数 (本)	一 稔 莢 数	障害粒(%)		10a当り収量(Kg)			100粒重(g)
				紫 斑	虫 喰	稈 重	子実重	同 比	
鉦肥・標準	45.3	4.5	74	5.7	12.9	225	252	100	25.6
鶏 糞	55.0	7.0	115	17.3	49.4	365	347	138	27.5

3試験地とも共通にみられるのは鶏糞の効果であった。鶏糞施用による生育並びに収量構成については第16表のとおりであるが、鶏糞区が鉦肥区に比べ、開花10日前から(7月10日)葉色, 草丈, 主茎長がまさり, 稔実莢数, 100粒重が増えて, 障害粒は多くなるが38%の増収となった。鈴木⁶⁾, 山木氏等⁹⁾の報告と併せて考えて, 昨今の有機質(鶏糞)利用という考えからいっても一考に値する

ものと思われる。

IV 考 察

1 年次別の試験圃場における最高収量と耕種条件

試験年次別にみた各試験地毎の最高, 平均収量を第17表にまとめた。

第17表 年次別、試験地別最高収量と耕種条件

年度	試験地	品種	播種期 (月・日)	栽植 (cm)	施肥	10a 全重量 (kg)	10a 精粒重 (kg)	100粒重 (g)	全区平均 の精粒重 (kg)
1971	桂 2	農林 2号	5.26	50×10	標肥	518	221	231	124
	結 城	ボンミノリ	5.19	50×10	"	611	332	222	270
	竜ヶ崎	タチスズナリ	5.20	50×10	"	550	204	176	191
1972	水 戸	農林 2号	5.13	50×20	標肥	620	306	234	275
	竜ヶ崎	ボンミノリ	5.30	50×10	"	724	336	236	296
	協 和	農林 2号	5.30	75×20	"	476	272	203	218
1973	水 戸	タチスズナリ	5. 2	75×20	鶏糞	669	374	260	232
	竜ヶ崎	農林 2号	5.30	50×20	標肥	778	321	292	227
	協 和	農林 2号	5.17	75×20	標+鶏	839	461	275	371

1971年は土壌が大きく、施肥播種時における間・覆土が十分行なえず、加えてタネバエ、夜蛾などの幼虫の被害をうけて欠株を多くし、稔実期の多雨条件も伴って、腐敗莢の発生、100粒重の低下をまねき、病虫害防除も不十分なため結城試験地を除いては低収であった。

1972年は播種時の虫害の予防と、欠株防止、湿害回避、害虫防除につとめたが、後半の生育は肥切れ状となり期待に反した結果となった。

1973年は施肥を中心として密度を加味し、防除も徹底したので、とくに、協和試験地においてはボンミノリ、農林2号とも被害粒が少なく、登熟期間の好天にもめぐまれ、近年にない100粒重の増加とともに、処理平均でも10a当り370kgを超える収量を得るほ目的を達成することができた。

2 転換畑における大豆栽培の要訣

多くの技術者は転作大豆について、要約次のように論点をしぼった。

- ①水田土壌には根瘤菌の棲息はないと推定されるので、転作大豆の導入に当っては根瘤菌の接種が問題となろう。
- ②水田立地は肥沃度において畑地にまさるので、わが国に残された大きな大豆生産の場である。
- ③とくに、水田は水の扱いが自由になるので、畑作大豆で問題の多い生育期の干害の回避ができる。

実践的にとりくんだ転換畑での大豆栽培では、ないはずのものが有となり、有利に働く条件がむしろマイナスに働き、得られた成果は10a当りおおむね子実収量300kg前後であった。しかもこれは過去の畑作の成果⁷⁾とほとんど同じものである。

さらに内容を具体的に要約してみると次のようである。

1) 圃場の選択と碎土向上

試験実施の3年間、いずれの年もどこかの試験地で地下水、あるいは降雨による影響で発芽、生育、登熟の阻害をうけている。少なくとも大豆の播種位置が地下水位上50cmを要する。この場合は多少土性によってもちがうが、作物生育の正常化に必要な空気率15%以上が作土圏20cmでえられるからである。

したがって、地下水が40cmのところは10cmの揚げ畦が、また、35cmのところは15cmの揚げ畦が必要となろう。30cm以内の高水位のところでは揚げ畦労力の問題や、播種面積の縮小などによって実際の大豆栽培は経済的でない。

また、降雨による作土圏の停滞水は生育阻害につながり、さらに、生育末期の地上停滞水は登熟阻害に極端に影響するので、圃場の周辺の側溝または中溝をあげる必要がある。

碎土の問題についても、水田裏作麦で一般にいわれる、2mm以下の細土が60%以上を確保することが必要となり、加えて碎土率の悪い条件では雑草防除の面からも除草効果が劣る。

2) 播種期

早播は草丈の伸びと関連して分枝、着花、着莢の増加とつながる。

夏大豆、または早熟大豆については、4月播種で収量の期待できる成績もあるが、統計的にみた本県の晩霜の極は、過去において5月3日が記録されていることから、5月上中旬頃が安定早播の限界であり、その後5月下旬以降になると10日間隔で10%前後ずつ減収する。

3) 密度効果

適正密度は品種、播種期、地域、肥沃度、施肥などの単一または複合の条件によってちがう。この試験の範囲では10 a当り300Kgまでの収量水準では50cm畦で10~20cm (㎡当り10~20本)とみられる。

また、300Kgを超える収量水準では50cm畦に比べて75cm畦がこのましく、75cm畦での株数間のちがいについての成績はないが、㎡当り10~12本位が望ましいと推定され、収量限界が400Kg前後の場合は、密度を広げ㎡当り6~7本あたりに適正がみられる。

すなわち、湿害その他の条件で、生育が阻害され生育量が少ない場合は、密播の条件で収量を確保し、条件がよく生育が順調で旺盛な場合は、疎播条件が増収上好適するものと思われる。

播種期が遅れて、6月下旬~7月上旬播の大豆では、45~50cm×6~7cm(㎡当り30本前後)であることが知られている。¹⁰⁾

なお、密度効果との関連で問題にしなければならないことは欠株である。欠株が大きな理由で関東平坦地帯の大豆が低収であることは、すでに山木氏等⁴⁾によって報ぜられており、1株本数を1本にするか2本にするかは、欠株との関連からみれば、2粒播がその防止策としても大切なことである。

4) 施肥

従来、大豆など豆科の作物に対する施肥は根瘤菌による、窒素固定に期待が集中したが、品種改良とともに施肥感応度を見ると、むしろ他の作物に比べて、おそくまで養分吸収がみられるのが特徴的で、ことに、夏干ばつの基だしい洪積地では磷酸の不足にともなって積極的な施肥改善の方向へむいた。とくに茨城の大豆育成に関連した研究のつみ上げを要約してでき上った基準は、洪積地で10 a当りN-3Kg, P₂O₅-10Kg, K₂O-12.5Kgと高い水準を示している。この基準は転換畑についても適用できると思われる。

追肥の効果については、過水分により栄養生長の不十分だった転換畑での、開花直前の追肥は、施肥の基本として組込む程の効果は得られず全量基肥でよい。

ここで銘記しておくことは鶏糞の効果である。乾燥鶏糞10 a当り800Kg (N含量を籾肥の成分3Kgにあわせた)施用により明かな増収がみられ、過去の成績⁶⁾⁸⁾⁹⁾でもその効果を認めているので畜産公害のきびしい昨今、大豆増

産の施策とも符合させて考慮すべきことであろう。いずれにせよ積極的な施肥が増収の一要因である。

根瘤菌接種の効果については、大豆作の経歴のない転換畑でも立派に根瘤菌がつくことが認められ、初年目作でも接種の必要は認めないものといえる。

5) 病害虫の防除

ダイズサヤマタバエ、シロイチモンジマダラメイガ、シクイムシ、カメムシ類など大豆を加害する虫はその種類が多い。したがってそれらの害虫を無視して大豆の安定収量は期待できない。むしろ関東平坦地では不可能といつてよい。これらの主要害虫の生態をみると、おおむね大豆開花~幼莢期に加害する。したがって、この期間に7~10日間隔で4回前後の農薬散布が必要となる。現在登録にみられるこれら主要害虫に対する汎用的農薬はマラソン、EPN、パイジットの3種類であるので、これら農薬での徹底防除が肝要であろう。

6) その他、雑草防除の問題、ウイルス、褐斑、白目大粒などの商品流通の面でも改善せねばならない問題もある。とくに、麦と結びついた大豆作では当然大豆が6月中下旬の遅播となり、5月播の技術適用は大きく修正せねばならない。

また、実際の栽培の場面では土地依存型の大きい作物であるだけに、機械化が前提となり、とくに、収穫、乾燥調整などの能率化が問題となろう。

謝 辞

本研究の遂行にあたり御協力をいただいた小坪和男主任研究員、鯉淵登、内藤勝利、浅野伸幸技師、および関係作業員の方々に心から謝意を表します。

文 献

- 1) 雑穀奨励会：水田大豆 理論と実際(1971)
- 2) 山木鉄司・古厩留男・石塚隆男：茨城県における大豆品種とその分布の意義 茨城農試研報 2 44~49(1960)
- 3) 古谷義人：大豆に対する窒素の効果 農及園 28-3 462~463(1953)
- 4) 山木鉄司・古厩留男・石塚隆男：大豆畑における株立の実態と大豆の欠株に関する2~3の問題 茨城農試研報 3 69~75(1960)
- 5) _____ : 大豆の窒素施肥に

- 関する2～3の問題 茨城農試研報3 76～81
(1960)
- 6) 茨城県農業試験場・農林水産技術会議事務局：大豆の増収に関する土壌肥科学的研究(1965)
- 7) 茨城県農業試験場育種部大豆研究室：茨城県における大豆増産技術改善方針と成果(1961)
- 8) 山木鉄司：関東平土地域における大豆集団栽培，農業技術 18-5 213-217(1963)
- 9) 茨城県農業試験場：大豆多収穫栽培の実験と調査(1963)
- 10) 桐原三好・高島 彰：大豆の晩植栽培に関する研究 茨城農試研報6 43～51(1964)
- 11) 有賀武典：大豆の限界播種期と大豆サヤタマバエの被害 農及園 19巻-4号 438～442(1944)

畑作物藁稈類のすき込みが作物生育および 土壌の理化学性に及ぼす影響

木野内和夫・友部弘道

藁稈類のすき込みが後作物の生育、収量に及ぼす影響を明らかにするため試験を行なった。

藁稈類のすき込み効果は、夏作よりも冬作においてみられ、また、夏作物では陸稲、落花生が甘しよに比べすき込みの効果が高い。

藁稈類すき込み時の窒素添加の効果は、甘しよを除く各作物で認められ、甘しよでは過繁茂のため減収した。また、累積すき込みの効果は3年目よりあらわれ、跡地土壌の置換性カリ、有効態リン酸が増加した。

また、藁稈類の分解に及ぼす土壌水分、窒素、リン酸の添加、pHの影響について検討した。

I 緒 論

畑作農業の生産性の向上をはかるために、大型機械化栽培の推進が強く要望されている。機械化栽培における収穫作業には、コンバインあるいはハーベスターが利用され、省力的に作業が行なわれるが、この際多量に排出される作物藁稈類の処理が問題となる。すなわち、圃場外へ搬出するには多大の労力を要し、また圃場に放置すれば、その後の機械作業に支障をきたし、著しく能率が低下する。

畑地力の維持に有機物が重要な役割をもっていることは周知のとおりである。生産力維持の面から作物藁稈類を可能な限り跡地へ還元することは望ましいものと考えられる。したがって、排出される作物藁稈類をそのまま畑にすき込む場合、跡地土壌生産力にどの程度寄与するかを明らかにし、すき込みに伴う作業方法を見出すことは重要な課題である。

本研究は、このような視点より、北関東二毛作限界地帯

において、間作を解消しうる作付体系を対象に作物藁稈類の処理方法とその後作に及ぼす影響を明らかにしようとして検討を進めてきた。現在なお未解決の問題も多いが、これまでに得られた成果をとりまとめ報告する。

なお、この研究は総合助成事業「関東平原地帯における普通作を中心とした省力増収技術の確立に関する研究」¹⁾の一環として、昭和44年～48年にわたって作業技術部、化学部の共同研究によって行なったものである。

II 試験方法および結果

1 コンバイン収穫跡地の耕起整地法

1) 試験方法

チョッパー付普通型コンバインを用いて小麦を収穫した跡地において、第1表に示す試験区の構成で、藁稈すき込みの精度および甘しよの機械挿苗精度について試験を行なった。

第1表 試験区の構成

耕 起 整 地 法			挿 苗 作 業	
供 試 機 械			供 試 機 械	備 考
耕 起	碎 土	整 地		
ボトムブロー 14" × 2	ディスクハロー	ソースハロー	ディスク型	1. コンバイン刈高さ 10 cm
砕土装置付和犁 (ローター縦軸, 8" × 3	-	-	トランスプ	2. 10 a 当たりすき込み量 500 kg
ロータリー	-	-	ランター	3. 切断長 平均切断長 8.7 cm 5~15 cmの切断長 60% (重量歩合) 20 cm以上 10%
				4. 挿苗時期 6月22日

すき込み精度は耕起整地作業後1m×1mの区画を選定し、その区画内の地表から5cmごとに藁稈を掘り出し、土と分離してその藁稈量を測定し、重量歩合で表示した。

2) 試験結果

(1) 耕起作業法とすき込み精度

藁稈すき込みの前処理作業を行わない状態での麦稈のすき込み精度は第2表に示すとおりである。砕土装置付和犁(ロータリー縦軸)耕, ロータリー耕の場合は, 耕深が15cm前後であるため0~10cmの層に70~80%の麦稈が分布した。ボトムブラウ耕においては, 麦稈は斜に, 層状にすき込まれ, 20cmの層まで認められたが, 前処理を行わなかったため麦稈の埋没が悪く, 比較的表層に多く分布した。

第2表 層別藁稈量

層位	耕起法		
	ブラウ耕	砕土装置付和犁	ロータリー耕
表層	5.2%	15.6%	12.5%
0~5	25.7	46.4	41.7
5.1~10	38.9	22.3	40.8
10.1~15	19.9	13.8	5.0
15.1~20	6.2	1.9	
20.1>	4.3		

(2) 後作業に及ぼす影響

麦稈すき込み後に甘しよを機械挿苗した場合の精度を調査した結果は第3表に示すとおりである。砕土装置付和犁

第3表 甘しよの挿苗精度

耕起法	機械的		植えつけ埋没株率	植え付け角度			株間	株間の変異係数	地上部の長さ比率
	欠株率	不能株率		0-30°	31-60°	61-90°			
ブラウ耕	0	0	0	42	40	18	32.9	11.1	38.1
砕土装置付和犁耕	0	14.0	0	68	24	8	33.9	22.5	53.7
ロータリー耕	0	10.0	2	48	28	24	35.1	22.0	53.0

備考 地上部の長さ比率とは $\frac{\text{地上部の長さ}}{\text{茎長}} \times 100$ である。

耕, ロータリー耕では, ボトムブラウ耕に比較して植え付け不能株が10%前後みられるとともに, 株間が広く, そのばらつきが大きく, 地上部の長さ比率にみられるように植え付け深度も浅くなり, 作業精度は劣った。

2 前作藁稈類の処理方法が後作に及ぼす影響

1) 試験方法

二条大麦, 陸稲, 落花生, 甘しよを供試し, 麦収穫後に夏作物を播種, 挿苗する間作解消型の作付体系において,

第4表 試験区の構成

耕起方法	すき込みの有無	作付順序								備考
		昭44年夏	45年冬	46年夏	47年冬	46年夏	47年冬	46年夏	47年冬	
ロータリー耕	有 (+)	R	B	P	B	S	B	R	B	1) R:陸稲, P:落花生, S:甘しよ, B:二条大麦 2) Nの添加量はC/Nを20に低下させる量 3) 耕深ロータリー耕15cm, ブラウ耕25~27cm 4) 藁稈類のC/N比は陸稲わら66, 甘藷つる30, 二条大麦稈70であった。
	無 (-)	P	B	S	B	R	B	P	B	
ブラウ耕 (ボトムブラウ)	有+N添加(⊕)	S	B	R	B	P	B	S	B	

注 第4表以下の処理法の欄の記号(+)はすき込み有

(-)すき込み無, (⊕)はすき込み有+N添加を示す。

畑作物薬種類のすき込みが作物生育および土壌の理化学性に及ぼす影響

第4表に示すような試験区の構成で試験を行なった。陸稲、二条大麦はチョッパー付脱型コンバインで収穫（排出率は10~15cmに切断）し、甘しよはつる刈取り後人力で細断し、すき込み処理を行なった。すき込み量は各処理区において生産された全量をすき込むことにした。しかし、落花生については茎葉は圃場外へ搬出した。なお、昭和44年の夏作については、他圃場で均一栽培した二条大麦の麦

稈をa当たり70Kgすき込み試験を行なった。

なお、供試圃場は試験場の移転に伴い、昭和41年に平地林を開墾し造成した圃場で、その化学性については第5表のとおりである。供試作物の耕種法は毎年次同様に処理するようつとめた。その概要を示すと第5表のとおりである。

第5表 供試作物の耕種概要と供試土壌の化学性

耕種概要	作物名	品種名	播種、挿苗期 (月・日)				栽植様式			施肥量 (Kg/a)		
			44	45	46	47	畦幅 (cm)	株間 (cm)	播種量 (Kg/a)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			44	45	46	47	畦幅 (cm)	株間 (cm)	播種量 (Kg/a)			
二条大麦	関東二条三条	(44年はニューゴールド)	11.4	11.4	11.2	11.1	50	条播	0.8	落花生あと0.3 陸稲甘しよあと0.5	1.0	1.0
陸稲	ハツサクモチ		6.16	6.13	6.12	6.12	60	条播	0.8	0.6+0.4	0.9	0.6
落花生	白油7-3		6.19	6.13	6.12	6.12	60	10		0.3	1.0	1.0
甘しよ	高系14号	(44年はタマユタカ)	6.23	6.20	6.20	6.13	60	30		0.3	1.0	1.0

土壌の化学性	地形	層厚 (cm)	pH	Y ₁ (KCl)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	塩基置換容量 (me)	置換性 (me)			石灰飽和度 (%)	リン酸吸収係数 (mg)	有効態リン酸 (mg/100g)	
								CaO	MgO	K ₂ O			トルオーグ	アルミ型
								CaO	MgO	K ₂ O			トルオーグ	アルミ型
	台地	0~30	5.3	0.6	4.4	0.2	17.8	3.8	0.1	0.1	21	2381	0.1	19.8
		30~70	5.5	0.3	5.3	0.3	14.5	3.4	0.1	0.1	23	2603	0.2	20.4
		70~87	5.7	0.3	1.0	0.1	11.6	3.4	0.1	0.1	29	2215	tr	20.4
		87~	5.5	0.3	1.0	0.1	21.7	8.8	0.2	0.2	40	2294	tr	11.2

2) 試験結果

(1) 薬種処理法の相違と収量との関係

① 二条大麦

前作薬種類のすき込み方法と生育との関係については、

初期生育においては各処理間に差は認められなかった。しかし、生育中期以降では窒素添加すき込み区の生育が最もまきり、出穂期、成熟期などが遅れ、倒伏が著しかった。

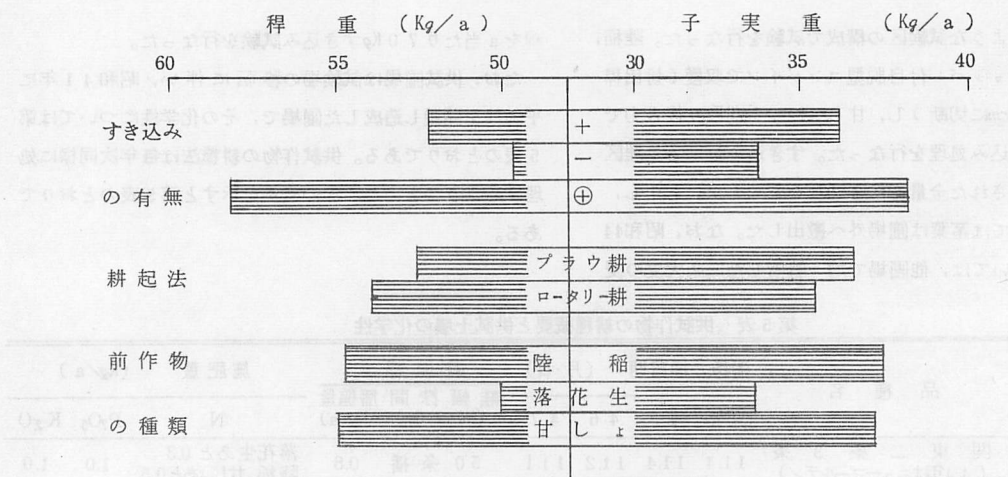
薬種処理法と収量との関係は第6表、第1図に示すと

第6表 二条大麦の収量

(Kg/a)

前作	耕種法	すき込みの有無	年次					子実重					同左指数
			44	45	46	47	平均	44	45	46	47	平均	
陸稲	耕	+	52.7	46.6	65.2	52.0	54.1	39.7	34.4	48.8	34.9	39.5	112
		-	49.5	41.6	57.7	55.4	51.1	36.8	30.1	40.8	33.3	35.3	100
		⊕	52.9	54.9	68.5	52.2	57.1	38.1	39.4	51.9	32.3	40.4	114
		平均	51.7	47.7	63.8	53.2	54.1	38.2	34.6	47.2	33.5	38.4	
		ロータリー	+	59.1	48.4	60.4	43.8	52.9	44.6	34.0	40.7	27.7	36.8
落花生	耕	+	68.3	38.1	72.7	41.2	55.1	49.0	26.9	41.3	30.1	36.8	100
		-	66.7	43.2	73.3	52.8	59.0	37.5	28.7	48.0	28.5	35.8	100
		⊕	64.7	43.2	68.8	45.9	55.7	43.7	29.9	43.3	28.8	36.5	97
		平均	64.7	43.2	68.8	45.9	55.7	43.7	29.9	43.3	28.8	36.5	
		ロータリー	+	54.2	38.5	55.8	47.9	49.1	39.8	32.7	30.8	33.5	34.2
甘しよ	耕	+	43.4	42.2	54.3	45.8	46.4	33.7	28.7	36.1	31.5	32.5	100
		-	43.9	50.3	61.5	58.0	53.4	31.8	33.4	41.7	30.7	34.4	106
		⊕	47.2	43.7	57.2	50.6	49.6	35.1	31.6	36.2	31.9	33.7	
		平均	41.8	44.9	58.4	47.1	48.1	32.4	30.1	36.7	25.1	31.1	95
		ロータリー	+	48.1	46.6	55.5	44.6	48.7	36.8	36.3	32.2	25.0	32.6
甘しよ	耕	+	48.7	48.9	66.4	56.2	55.1	37.3	33.1	44.8	29.9	36.3	100
		-	46.2	46.8	60.1	49.3	50.6	35.5	33.2	37.9	26.7	33.3	111
		⊕	46.3	49.5	71.3	45.9	53.3	36.1	38.1	51.8	25.2	37.8	116
		平均	48.5	38.9	56.7	42.0	46.5	36.5	27.4	41.0	23.8	32.2	100
		ロータリー	+	56.1	46.5	78.2	60.0	62.7	51.1	32.8	53.7	34.2	43.0
甘しよ	耕	+	53.6	45.0	68.7	49.3	54.2	41.2	32.8	48.8	27.7	37.7	
		-	67.6	46.7	60.6	47.1	55.5	53.6	32.6	40.8	25.0	38.0	117
		⊕	57.5	49.1	50.9	43.5	50.3	41.7	33.7	30.7	24.1	32.6	100
		平均	68.6	47.3	72.4	58.1	61.6	50.8	33.1	39.8	30.9	38.7	119
		ロータリー	+	64.6	47.7	61.3	49.6	55.8	48.7	33.1	37.1	26.7	36.4

注 落花生についてはすき込まないが、その前作物がすき込まれていることを示す。



第1図 二条大麦の処理要因別収量(4カ年平均)

りである。年次間の収量差は大きい、4カ年の平均値で見ると、窒素添加すき込み区が最も多収であり、次いですき込み区で、冬、夏作ともに藁稈類を搬出した区は前2者に比べて低収であった。

耕起法間ではプラウ耕が子実重でロータリー耕よりまさる傾向が認められた。

前作物の種類と収量との関係については、無すき込み区

に対する増収効果は、甘しつるすき込み区が陸稲藁稈すき込み区より大きい。さらに、ロータリー耕では陸稲藁稈すき込みの効果は認められなかった。一方、冬作麦稈すき込み、夏作落花生茎葉搬出区は、冬作・夏作(陸稲、甘しつ)ともに藁稈をすき込んだ区に比較し低収であった。

② 甘しつ

収量調査の結果は第7表に示すとおりである。4カ年の

第7表 甘しつの収量

(Kg/a)

項目 すき込みの有無 耕起法	茎 葉 重					上 諸 重					同左指数	
	44	45	46	47	平均	44	45	46	47	平均		
プラウ耕	+	428.2	439.8	400.5	386.6	413.8	288.9	230.6	224.0	233.8	244.3	120
ロータリー耕	-	483.7	449.4	405.2	410.2	437.1	245.1	208.4	173.3	187.9	203.7	100
	⊕	569.3	459.5	446.9	515.7	497.8	211.1	188.2	192.4	211.2	200.7	99
	平均	493.7	449.6	417.5	437.5	449.6	248.4	209.1	196.6	211.0	216.2	
ロータリー耕	+	449.4	421.3	452.1	380.6	450.9	270.4	209.8	201.4	238.7	230.1	103
	-	452.7	376.9	325.0	328.7	370.8	284.6	221.5	197.9	188.9	223.2	100
	⊕	531.3	433.3	485.4	479.2	482.3	236.4	207.6	158.3	210.2	203.1	91
	平均	477.8	410.5	420.8	396.2	434.7	263.8	213.0	185.9	212.6	218.8	

平均値で見ると、窒素添加すき込み区はつるぼけの生育相を示し、収量では上いも数が少なく最も劣った。すき込み区は無すき込み区よりつるの生育は劣ったが、いも収量はまさった。しかも藁稈すき込みの累積効果は認められた。

耕起法間では、収量差は認められないが、すき込みの増収効果は、ロータリー耕よりプラウ耕が高かった。

③ 陸稲

麦稈のすき込み方法と生育との関係については、初期生育においては、各処理間に差は認めなかったが、中期以降では、窒素添加すき込み区が稈長、穂数ともに最もまさり、倒伏が著しかった。

藁稈処理法と収量との関係は第8表に示すとおりである。年次間の収量差は大きい、まず、4カ年の平均値で見ると、窒素添加すき込み区が多収を示し、すき込み区では劣

第 8 表 陸稲の収量

		(Kg/a)										
耕起法	すき込みの有無	わら重					玄米重					同左指数
		4 4	4 5	4 6	4 7	平均	4 4	4 5	4 6	4 7	平均	
ブラウ耕	+	5 0.6	5 6.0	8 2.2	5 5.6	6 1.1	2 0.4	2 6.9	1 7.4	2 1.1	2 1.5	9 3
	-	5 7.7	5 6.0	8 5.3	7 3.3	6 8.1	2 2.7	2 8.1	1 6.8	2 4.3	2 3.0	1 0 0
	⊕	6 0.9	5 8.9	9 2.2	9 0.0	7 5.5	2 5.3	2 7.3	1 6.3	2 6.3	2 3.8	1 0 3
	平均	5 6.4	5 7.9	8 6.6	7 3.0	6 8.2	2 2.8	2 7.4	1 6.8	2 3.9	2 2.8	
ロータリー耕	+	5 5.5	4 9.8	8 1.7	6 5.6	6 3.2	2 4.2	2 7.9	1 8.6	2 0.3	2 2.8	9 7
	-	6 0.7	4 5.3	8 8.5	5 9.5	6 3.5	2 5.3	2 7.4	1 6.8	2 4.9	2 3.6	1 0 0
	⊕	6 0.6	5 6.0	8 9.5	6 3.7	6 7.5	2 7.1	2 7.1	1 8.2	2 8.0	2 5.1	1 0 6
	平均	5 8.9	5 0.4	8 6.6	6 2.9	6 4.7	2 5.5	2 7.5	1 7.9	2 4.4	2 3.8	

った。しかし、窒素無添加条件における麦稈類のすき込みは、当初は無すき込みに対する指数 9 3 と抑制的に働いたが、累積すき込みの効果は 3 年目にあらわれた。

耕起法間においては、4 カ年の平均値では収量差は認められなかった

④ 落花生

薬稈処理方法と生育との関係については、中期以降は窒

素添加すき込み区の生育がまさり、次いで無すき込み区、すき込み区の順であった。

薬稈処理法と収量との関係については第 9 表に示すとおり、年次間差は大きいですが、4 カ年の平均値では、窒素添加すき込み区が多収の傾向を示し、すき込み区が劣った。窒素無添加条件のすき込み区では、すき込み 1、2 年目は無すき込み区に対する指数 8 5 前後と低く経過したが、累積

第 9 表 落花生の収量

		(Kg/a)										
耕起法	すき込みの有無	茎葉重					子実重					同左指数
		4 4	4 5	4 6	4 7	平均	4 4	4 5	4 6	4 7	平均	
ブラウ耕	+	3 7.7	4 7.9	4 6.4	4 3.0	4 3.8	1 2.5	2 1.6	1 6.2	1 3.8	1 6.0	9 2
	-	4 1.5	4 5.2	5 3.4	4 9.1	4 7.3	1 4.7	2 5.9	1 5.8	1 2.7	1 7.3	1 0 0
	⊕	4 4.9	4 1.9	5 7.6	4 9.0	4 8.4	1 6.3	2 0.9	1 7.1	1 4.3	1 7.2	9 9
	平均	4 1.4	4 5.0	5 2.5	4 7.0	4 6.5	1 4.5	2 2.8	1 6.4	1 3.6	1 6.8	
ロータリー耕	+	4 5.2	4 6.8	6 1.8	4 7.2	5 0.3	1 1.6	2 2.1	1 6.5	1 6.9	1 6.8	9 5
	-	5 1.0	4 9.3	5 7.2	5 0.2	5 1.9	1 4.8	2 5.3	1 5.3	1 5.4	1 7.7	1 0 0
	⊕	5 2.7	5 1.2	6 2.7	5 2.1	5 4.7	1 3.1	2 5.3	1 8.1	1 5.6	1 8.0	1 0 2
	平均	4 9.6	4 9.1	6 0.6	4 9.8	5 2.3	1 3.1	2 4.2	1 6.6	1 6.0	1 7.5	

すき込みの効果が陸稲と同様 3 年目にあらわれ、窒素添加すき込み区とは同様の収量を示した。

耕起法間においては、生育、収量ともにロータリー耕がブラウ耕よりまさる傾向が認められた。

⑤ 作物体養分含有率

第 1～第 5 作までの収穫物の三要素含有率は第 10 表に

示すとおりである。窒素含有率は、第 1～5 作まで薬稈類すき込みの有無による差は認められないが、窒素添加すき込み区は、陸稲をのぞいて他の作物では高くなるのが認められた。リン酸含有率は、一定の傾向は認められなかった。カリ含有率は、夏、冬作とも薬稈類すき込みにより茎葉部で高くなるのが認められた。

第10表 収穫物の養分含有率

作物名	処理区	N (%)		P ₂ O ₅ (%)		K ₂ O (%)	
		茎葉	いも	茎葉	いも	茎葉	いも
第 一 作	+	1.96	1.01				
	-	1.94	1.07				
	⊕	2.04	1.14				
	ブラウ耕	2.07	0.98				
	ロータリ耕	1.89	1.16				
		稈	子実	稈	子実	稈	子実
第 二 作	+	0.51	1.72	0.16	0.36	1.87	0.38
	-	0.45	1.80	0.16	0.42	1.44	0.42
	⊕	0.63	2.08	0.19	0.38	1.72	0.38
	ブラウ耕	0.53	1.74	0.17	0.38	1.60	0.38
	ロータリ耕	0.53	1.99	0.16	0.39	1.81	0.38
		わら	もみ	わら	もみ	わら	もみ
第 三 作	+	1.03	1.60	0.27	0.54	1.38	0.28
	-	1.08	1.35	0.26	0.45	1.21	0.35
	⊕	1.02	1.49	0.22	0.49	1.43	0.30
	ブラウ耕	1.07	1.49	0.25	0.53	1.28	0.29
	ロータリ耕	1.02	1.47	0.25	0.45	1.39	0.32
		稈	子実	稈	子実	稈	子実
第 四 作	+	0.47	1.74	0.16	0.54	1.34	0.42
	-	0.47	1.80	0.14	0.63	1.21	0.41
	⊕	0.82	2.29	0.19	0.69	1.32	0.56
	ブラウ耕	0.65	1.72	0.18	0.50	1.39	0.42
	ロータリ耕	0.54	2.16	0.15	0.73	1.18	0.50
		茎葉	子実	茎葉	子実	茎葉	子実
第 五 作	+	2.15	5.73	0.31	0.65	1.46	0.54
	-	2.15	5.40	0.42	0.61	1.32	0.50
	⊕	2.28	5.40	0.33	0.55	1.54	0.50
	ブラウ耕	2.19	5.51	0.36	0.66	1.60	0.51
	ロータリ耕	2.30	5.51	0.34	0.55	1.43	0.51

耕起法間では、二条大麦の子実部において、ロータリ耕の窒素含有率が高くなるほかは処理間の差は認められなかった。

(2) 藁処理法の相違が跡地に及ぼす影響

① 跡地土壌の化学性

藁稈類のすき込みが跡地土壌に及ぼす影響について、その推移と第5作跡地について調査した結果は第11～12表に示すとおりである。藁稈類を毎作施用した場合の跡地土壌の推移をみると、置換性カリ、有効態リン酸は増加することが認められた。しかし、全窒素、全炭素については明らかでなかった。第5作跡地についてみると、藁稈類を連年すき込むことにより1層(0～10cm)、2層(10～20cm)とも置換性カリ、有効態リン酸は、無すき込みより多くなるが、全窒素、全炭素については明らかでなかった。

第11表 跡地土壌の化学性の推移

項目	処理区	44年		45年		46年
		1作	2作	3作	4作	5作
		夏	冬	夏	冬	夏
全炭素 (%)	すき込み	4.83	6.89	5.92	5.91	6.82
	の有無	⊕ 4.93	7.02	6.65	6.35	6.99
全窒素 (%)	"	- 0.42	0.36	0.36	0.46	0.46
	⊕	0.42	0.37	0.39	0.48	0.49
CaO (mg/100g)	"	-	139.3	227.0	265.0	294.0
	⊕	-	117.8	201.0	340.0	264.7
MgO (mg/100g)	"	-	12.1	27.0	46.4	64.0
	⊕	-	8.8	32.0	118.9	64.4
K ₂ O (mg/100g)	"	-	12.4	8.8	5.8	17.8
	⊕	-	13.4	14.5	19.4	25.3
P ₂ O ₅ (mg/100g)	"	- 1.5	3.8	3.5	2.6	6.8
	⊕	1.7	4.3	5.0	6.5	8.4

第12表 跡地土壌の化学性

深 さ	処理区	pH (KCl)	腐植 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N	置換性塩基(mg/100g)			有効態リン酸 (mg/100g)	
							K ₂ O	CaO	MgO		
1 層 (0～10cm)	すき込み	-	5.51	11.7	6.82	0.46	14.8	17.8	294.0	64.0	6.83
	有無	⊕	5.37	12.0	6.99	0.49	14.5	25.3	264.7	64.4	8.36
	耕起法	ブラウ耕	5.20	11.8	6.81	0.44	15.6	20.5	239.5	47.4	7.45
		ロータリ耕	5.37	12.0	7.00	0.49	14.2	22.4	264.2	72.4	7.70
2 層 (10～20cm)	すき込み	-	5.41	11.9	6.91	0.46	15.2	15.7	268.1	68.7	5.50
	有無	⊕	5.29	12.4	7.34	0.48	15.3	20.9	237.5	66.8	7.02
	耕起法	ブラウ耕	5.27	12.2	7.10	0.44	16.0	15.5	247.4	67.7	5.82
		ロータリ耕	5.15	11.9	6.98	0.50	14.0	19.6	229.8	44.8	6.37

備考 土壌分析は第5作収穫後において採土し調査を行なったものである。

畑作物薬稈類のすき込みが作物生育および土壌の理化学性に及ぼす影響

② 跡地土壌の理化学性

薬稈類すき込みの有無が土壌の物理性に及ぼす影響については第13表に示すように、すき込みによって土壌の物

理性には著しい差異は認められない。しかし、耕起法間においては、プラウ耕はロータリー耕に比較して固相および液相は大きく、気相は小さいことが認められた。

第13表 跡地土壌の三相分布

深 さ	処 理 区	固 相 (%)	液 相 (%)	気 相 (%)	孔 隙 率 (%)	容 積 重 (g)
1 層	すき込み	25.2	39.6	35.2	74.6	64.9
	の有無	⊕	28.1	40.6	31.4	72.0
(5~10 cm)	プラウ耕	28.7	43.0	28.3	71.2	71.8
	ロータリー耕	24.8	38.5	36.8	75.2	63.3
2 層	すき込み	26.1	41.0	33.0	73.9	67.6
	の有無	⊕	28.2	42.0	29.6	71.8
(15~20 cm)	プラウ耕	28.3	45.4	26.4	71.7	73.7
	ロータリー耕	25.5	40.6	34.0	74.5	66.3

注 この調査は第5作跡地において行なった。

3 薬稈類の分解促進について

1) 試験方法

1/5000aポットに土壌(黒色火山灰土壌)を充填し、乾物10g相当(50kg/a)の二条大麦稈を10cm前後に細断し、全層に混合し、第14表のようにC/N比;65, 40, 20, 有効態りん酸(mg/100g);0, 5, 10,

pH;5.5, 6.5, 土壌水分(pF);2.0~2.5, 2.5~3.3の要因と水準で直交表利用の多要因水準設計で処理区を設け、ポットを土壌中に埋没した。作物根の影響を防ぐため無栽培として、6月16日から10月16日の4か月間における麦稈の分解程度を薬稈のC/Nで判定した。

2) 試験結果

第14表 土壌中における薬稈の分解

試験区 番 号	C/N	処 理			全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N
		有効態りん酸 (mg/100g)	pH (KCl)	水 分 (pF)			
1		0	5.5	2.0~2.5	36.2	1.19	30.4
2	65	5	"	"	32.9	1.08	30.5
3		10	"	"	37.1	1.10	33.7
4		0	"	"	33.3	1.12	29.7
5	40	5	"	"	27.1	1.19	22.8
6		10	"	"	34.2	1.48	23.1
7		0	"	"	34.2	1.19	28.7
8	20	5	"	"	34.6	1.35	25.6
9		10	"	"	28.1	1.30	21.7
10		0	6.5	"	30.4	1.21	25.1
11	65	5	"	"	30.4	1.28	23.7
12		10	"	"	33.9	1.28	26.4
13		0	"	"	32.6	1.12	29.1
14	40	5	"	"	34.6	1.12	30.9
15		10	"	"	29.4	1.30	22.6
16		0	"	"	33.9	1.12	30.2
17	20	5	"	"	32.6	1.39	23.4
18		10	"	"	30.7	1.33	23.1
19	40	5	6.5	2.5~3.3	36.5	1.12	32.6
20	40	5	"	"	33.6	1.23	27.3
21		すきこみ前			47.5	0.73	65.0

注 1) 供試土壌の有効態りん酸はこん跡であった。

2) 有効態りん酸, pHはそれぞれの緩衝曲線から相当量を有効態りん酸は過りん酸石灰で, pHは消石灰で矯正した。

第15表 藁稈類の環境要因別分解

要 因	水 準	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N	
				C/N	指 数
窒素添加 C/N	6.5	33.6	1.19	28.3	100
	4.0	32.6	1.22	26.4	93
	2.0	32.5	1.28	25.5	90
有効態りん	0	33.4	1.16	28.7	100
酸 (mg/ 100g)	5	32.7	1.24	26.2	91
	10	32.2	1.30	25.1	88
pH (KC1)	5.5	33.1	1.22	27.3	100
	6.5	32.6	1.24	26.1	96
水分 (pF)	2.0~2.5	30.9	1.27	24.2	81
	2.5~3.3	35.1	1.18	29.9	100

藁稈類の分解についての調査結果は第14~15表に示すとおりである。C/N比は低くなるほど、また、有効態リン酸の増加するほど、水分関係では、土壌水分が高い条件において、試験終了時の麦稈のC/N比は低くなること が認められた。処理法間における藁稈類の分解に及ぼす各要因の影響は土壌水分>有効態リン酸=C/N>pHの順であった。

Ⅲ 考 察

機械収穫に伴って多量に排出される藁稈類の畑地への還元方法としては、直接すき込み法、夏作マルチ冬作すき込み法が考えられるが、本試験では前者の方法について、麦収穫後に夏作物を播種する作付体系を対象として、藁稈類すき込みが後作物に及ぼす影響、窒素源併用効果および果積施用効果などについて検討を行なった。なお、この作付体系における夏作物の収量性は、従来の晩播栽培試験の収量水準とはほぼ同様であるので、試験結果の解析には支障はないものと考えられる。

藁稈類すき込みの効果は、作物の種類、土壌の肥沃度によって異なることが認められている²⁾³⁾⁴⁾本試験においても同様の傾向がうかがえた。すなわち、夏作物においては、藁稈類すき込みの効果は甘しではすき込み当初より認められ、その増収率も高い。しかし、陸稲、落花生では、すき込み当初は抑制的に働き、4カ年平均で無すき込みに比較して95の収量指数であった。二条大麦では甘しつるすき込みの効果は高く、陸稲藁の表層すき込みで

は効果は認められない。

このように藁稈類のすき込みにより後作物の反応が異なるのは、肥沃度の高い土壌ではすき込みの効果がやすいことからみて、(1)本試験で供試した土壌のように肥沃度の低い土壌においては、窒素要求度の高い作物では、すき込み有機物の分解に伴う窒素飢餓の影響が大きく、そのために生育抑制が大きくなったこと、(2)さらに甘しでは藁稈類のすき込みによって土壌中に増加したカリを有効に利用したことなどが考えられる。

なお、すき込みの効果は一般には冬作よりも夏作でその効果が大きいとされているが²⁾、本試験では冬作において効果が高いことは、(1)夏作物が晩播栽培で生育期間が短かく、肥料の残効があること、(2)夏作で放出された窒素が表に利用されたためと推定される。

藁稈類の分解促進を図るための窒素添加の効果は多くの試験で認められているが²⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾本試験においても窒素添加すき込み区では、無添加すき込み区に比べ、陸稲、落花生ともすき込み当初より収量がまさったが、窒素要求度の低い甘しでは「つるばけ」の生育相を呈し、その効果は少ない。

したがって、肥沃度の低い土壌では、窒素源を添加しながらすき込みの方が有利であると判断された。

藁稈類を連年すき込みした場合には、窒素無添加条件でもその効果は3年目から認められた。このことは藁稈類すき込み当初は窒素の有機化が無機化より大きい、累積を重ねていくと無機化の方が有機化を上回る状態にあることを示すものと推察される。さらに土壌の分析からもみられるように藁稈類のすき込みによって加里が増加することが認められた。

藁稈類のすき込み方法については、プラウ耕による層状すき込み、ロータリー耕による全層混合との間には必ずしも一定の傾向は認められず、その差は少ないことから、後作物の播種作業に支障のない方法をとることが望ましいと言える。その作業法は、北農試で開発したレキ付プラウ⁹⁾によるすき込み精度はきわめて高いことが認められている。本試験において得られたコンバインにストローチップパーを装置して排稈を切断したあと、ロータリーによって前処理し、ボトムプラウで耕起する体系は実用的な方法である。

以上の結果から、機械収穫に伴って多量に排出される作物藁稈類の畑地への直接すき込みは、作物収量および土

壤の生産力の維持、増進に役立つことが判定された。

さらに今後においては、後作物に負の影響を与えないすき込みの限界量と持続効果を薬稈類の質、土壌の肥沃度、後作物の施肥量、などの関係において検討する必要がある。

謝 辞

本研究遂行にあたり御配慮と御指導をいただいた農林省農林水産技術会議ならびに農事試験場の関係各位に対して謝意を表します。

また、終始御指導と御助言を賜った前場長有賀武典氏、前副場長黒沢兎氏、前化学部長、現副場長石川昌男氏、作業技術部長坂本尙氏、同部主任研究員桐原三好氏に対し深謝の意を表します。

IV 摘 要

薬稈類のすき込みが後作物の生育、収量に及ぼす影響を明らかにするため、間作解消型の作付体系において試験を行なった。得られた結果の概要は次のとおりである。

1. 薬稈のすき込み状態は、プラウ耕では下層部まですき込むことができるが、ロータリー耕、碎土装置付和犁耕では0～10 cmの層に70～80%の稈が分布した。後者の方法では甘しょの機械挿苗精度は劣った。
2. 薬稈類のすき込み効果は作物の種類によって異なることが認められた。
 - 1) 二条大麦；すき込みの効果は夏作物より高い傾向がうかがえた。とくに甘しょつるすき込みの増収効果は大きい。
 - 2) 甘しょ；すき込み当初より効果がみられ窒素添加すき込みでは過繁茂のため減収した。
 - 3) 陸稲、落花生；すき込み当初は生育が多少抑制されたが、窒素添加するとすき込み当初から生育が順調で、増収した。いずれの作物においても累積すき込みの効果は2～3年目より現われた。
3. すき込み方法としてプラウ耕、ロータリー耕など処理

法の違いが収量に及ぼす影響は、各供試作物とも一定の傾向が認められず、その差も小さい。

4. 薬稈すき込みの跡地土壌では、置換性カリ、有効態リン酸が増加したが、全炭素、全窒素については明らかでない。また、薬稈すき込みによって土壌の物理性には著しい差異は認められなかった。
5. 薬稈類の土壌中における分解は、窒素添加してC/N比が低い場合、土壌中の有効態リン酸が高いなどの条件において促進されることを認めた。
6. 以上の結果から、薬稈類のすき込みは作物生産および跡地土壌の生産力の維持、増進に役立つことを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 桐原三好ら：関東平原地帯における普通作を中心とした省力増収技術に関する研究，茨城農試特別研究報告，第1号 1972
- 2) 農林水産技術会議事務局編：コンバイン収穫に伴う薬稈類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 1972
- 3) 栃木農試：昭和42年度試験成績書
- 4) 愛知農試豊橋実験農場：昭和41年度試験成績書
- 5) 茨城農試畑作経営部：畑夏作試験成績書 1963～1965
- 6) 北海道農試畑作部：新鮮有機物すき込みと作物の生産性に関する試験成績書 1968
- 7) 長野農試桔梗原分場：昭和42年度試験成績書
- 8) 石川実ら：茨城県に分布する火山灰畑土壌における有機物施用に関する総合考察，茨城農試研報，第11号 41～51 1970
- 9) 野本俊雄：レーキ付プラウによる薬稈類の完全すき込み法，新しい技術第4集，農林省農林水産技術会議事務局編 1967

ゴボウの栽培法に関する研究

第1報 ゴボウの生育過程と養分吸収について

本田 宏一・石川 実・石川 昌男

1) ゴボウの栽培期間は180日~190日と長いが、この間は栄養生長のみであり、その生育相は根部の伸長と肥大および地上部の繁茂~衰退から3時期に大別される。すなわち、発芽とともに根部は急速に伸長し、70日前後で1m内外の長さ達する(根部伸長期)。ついで地上部が急激に繁茂し(葉・葉柄繁茂期)、さらに、根部が上部から下部へ肥大充実するが(根部肥大期)、これらの生育相は相互に関連し、重複しながら展開する。

2) 養分の吸収も生育相に対応して進むが、要素によって異なっている。窒素・リン酸および苦土は生育の後期まで吸収され続けるのに対し、加里と石灰は葉・葉柄繁茂期までに吸収されてしまい、その後は地下部へ転流するものの、一部は地上部の枯死脱落にもなって流亡する。この相違は、前者が地下部に蓄積されることが多いのに対し、後者は地上部に多いことに起因している。

I 緒 言

茨城県におけるゴボウの作付面積は、3,190ha(昭和46年)で全国第1位を占めている。以前は那珂川流域の沖積土地帯に栽培されていたが、近年にいたり台地上の黒色火山灰土地帯に栽培の中心が移り、さらに褐色火山灰土地帯へと産地が拡大する傾向を示している。水戸市近辺の産地においては、連作を回避するために、「ゴボウ-陸稲」、「ゴボウ-ナガイモ」、「ゴボウ-ナガイモ-陸稲」などの作付様式がおこなわれている。しかし、産地の移動、拡大とともに、ゴボウは深根性であることから深耕作物として着目され、他作物との労働競合も少ないこともあって、メロン・スイカなどの果菜類や葉菜類、あるいは甘藷などの組み合わせも定着しつつあり、新しい作付体系作物としても重要な位置を占めてきている。

ゴボウは粗放栽培にも耐える反面、良質なものを生産するためには、土壌の反応や硬度、腐植層の厚さ、あるいは乾湿などの土壌条件に影響され易い。しかしながら、これらの点については十分に明らかにされておらず、また、米麦にみられるような、作物の生育経過に応じた合理的な施肥法についての知見も少ない。良質なゴボウを生産するには、適切な施肥量と方法および好適な土壌条件等について把握する必要があると考えられるが、そのためには、まずゴボウの生育経過を明らかにし、その過程における乾物生産と、それに対応した養分吸収過程を知ることが不可欠であるといえよう。本報においては、ゴボウの抜きとり調査の結果得られた、生育経過と養分吸収について報告する。

本調査にあたり、抜きとり資料は、作業技術部桐原三好主任研究員ならびに木野内和夫技師よりいただいた。記して謝意を表します。なお、本調査は45~46年に実施したが、主に45年の結果について述べる。

II 試験方法および調査方法

1 供試圃場の特徴

供試圃場の土壌は、黒色火山灰土壌で内原統に属し、その簡略分級式はⅢfnⅡ(w)である。また、土壌の断面形態、粒径組成、三相分布および化学性は第1~3表のとおりである。

第1表 土壌の断面形態

第1層	0-18 ^{cm}	腐植にとむ黒色(7.5YR2/2)のSL、発達弱度の細粒状構造、ち密度12、透水性大、調査時の湿りやや乾、境界漸変
第2層	18-39	腐植にとむ黒色(7.5YR2/1)のSL、発達弱度の細粒状構造、ち密度24、細孔含む、透水性小、調査時の湿りやや乾、境界明瞭
第3層	39-60	腐色含む暗褐色(7.5YR3/4)のSCL、発達弱度の塊状構造、ち密度23、透水性中、調査時の湿りやや乾、境界やや明瞭
第4層	60-100	腐植含む褐色(7.5YR4/6)のSL、無構造、ち密度20、透水性中、上部に今市土ならびに七本桜浮石混入、調査時の湿りやや乾

第2表 土壌の理化学性

層位	深さ (cm)	礫 (風乾土中) %	風乾細土中		細土無機物中					土性	現地における理化学性 100cc容中				
			水分 %	腐植 %	粗砂 %	細砂 %	砂合計 %	シルト %	粘土 %		容積重 g	固相容積 cc	液相 cc	気相 cc	孔隙率 %
1	0-18	0	11.8	7.98	52.7	27.6	80.3	16.9	28	SL	64.6	24.7	35.3	40.0	75.3
2	18-39	0	13.7	6.52	38.2	42.7	80.9	19.1	0	SL	56.0	20.2	48.2	31.6	79.8
3	39-60	0	12.0	2.40	52.6	30.1	82.7	0	17.3	SCL	57.0	20.7	54.7	24.6	79.3
4	60-100	0	12.8	1.43	11.6	62.2	73.8	22.9	3.3	SL	54.0	19.8	55.4	24.8	80.2

第3表 土壌の化学性

深さ cm	pH		置換性塩基			CEC me	石灰飽和度 %	リン酸吸収係数	有効態リン酸 mg
	(H ₂ O)	(KCl)	CaO me	MgO me	K ₂ O me				
	0~10	5.5	4.8	6.4	0.5	0.1	22.7	27.0	3028
10~20	5.8	5.1	8.5	1.0	0.2	22.6	37.6	3041	3.0
20~30	5.6	4.8	5.4	0.8	0.1	23.0	23.5	3011	tr
30~40	5.4	4.9	5.5	1.4	0.1	22.7	24.2	2897	〃
40~50	5.5	5.2	3.6	1.0	tr	19.0	18.4	2963	〃

2 栽培法

供試品種は柳川理想を用いた。施肥量は元肥として10aあたりN=7Kg, P₂O₅=20Kg, K₂O=7Kgを側条溝に施用した。追肥1回目は6月4日にN・K₂Oを各7Kg, 2回目は7月5日に各6Kg施用した。また、圃場の反応は炭カルを用いてpH(KCl)6.0に矯正した。播種はシードテープを用い、5月6日におこない、間引きは5月29日に60×10cmに1本立とした。

3 調査方法

1) 試料の抜きとりおよび調整

抜きとりは、畦間に鋤を掘っておこない、ただちに葉、葉柄、根部に分けて生体重を測定し、細断後ガラス室で乾燥した。その後80℃の通風乾燥機で恒量に達するまで乾燥、乾物重とした。なお、根部は粉末資料としたが、葉および葉柄は通常の粉碎機では繊維が糸くず状

になって粉末と分離するため、細断資料を分析に供した。

2) 分析方法

Nはケルダール法、他成分については、硝酸・過塩素酸による湿式分解後、P₂O₅は比色法、K₂Oは炎光法、CaO およびMgO は原子吸光法によって測定した。

III 調査結果

1 生育概況および乾物生産

第4表から、まず地上部の生育をみると、生育の初期から出葉ごとに葉面積および葉柄長は増大し続け、7月末から8月中旬にかけて最盛期を迎えるが、8月末を境として葉は粗剛になり、それまでとは異なった新しい小型の葉が出葉するようになる。葉の交替現象は葉長/葉巾比からも明らかのように、初期の葉が1以下を示す達磨型の葉であるのに対し、後期の葉は1.3~1.4の値であって、たて長の葉に形が変化することが認められる。また、着葉数も8

月末までは4枚前後で経過するが、その後はむしろ増加する傾向を示している。なお、8月末までは約7日間隔で規則正しく出葉するが、以後は規則性が消失して、出葉間隔が短縮し、2枚の葉がほぼ同時期に出葉するなどが観察され、おおむね、この時期が出葉転換期といえる。

一方、地下部においては発芽後伸長し続けるが、根長は播種後70日前後で1m内外に達し、急速に肥大し始める。

このような、地上部および地下部の生育にともなう、乾物率および乾物重の変化は第1～2図に示すとおりである。

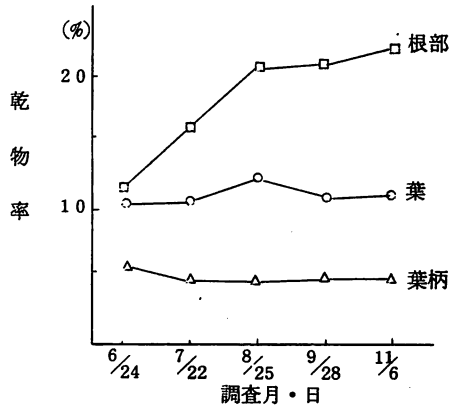
ゴボウの部位別乾物率は根部、葉、葉柄の順に低下しており、地上部は終止ほぼ一定の値を示している。これに対し、根部は播種後110～120日までは直線的に乾物率が增加するが、22%前後に達すると、ほとんど増加しない。

つぎに乾物重についてみると、全乾物重は播種後50日位から急増し、140日位まで続くが、以後やや劣る傾向を示す。さらに、部位別にみると、葉および葉柄の地上部重が根部に先立って50～55日頃から急速に増加し、110～120日目でピークに達した後、出葉の転換とともに乾物重は漸次減少していく。根部における増加は70～80日までは緩慢であるが、その後は直線的に増加し、そして、T/R比も110～120日頃から1以下に低下していくことが認められる。

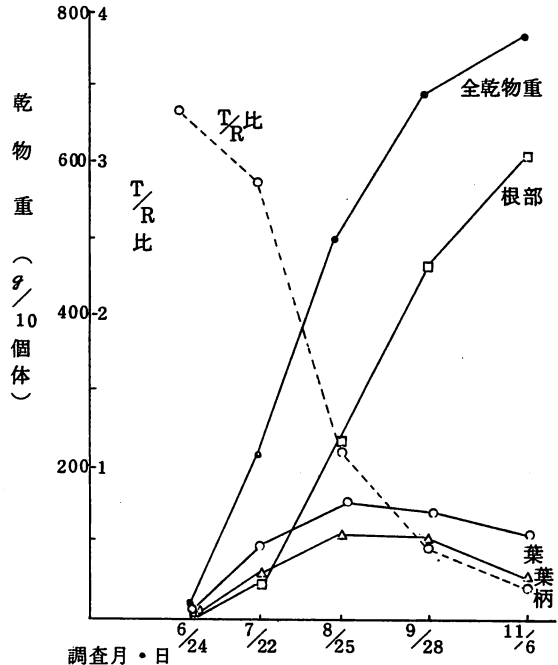
第4表 生育調査

調査月日	播種後日数	最大葉			生葉数枚	最長葉柄長cm	根部	
		葉長cm	葉巾cm	葉長/葉巾			長さcm	根径cm
6/24	50	12.6	15.2	0.83	4.0	15.8	21.1	0.68
7/22	78	33.7	36.1	0.93	3.4	60.3	47.4	1.35
8/25	112	38.5	35.6	1.08	4.0	69.4	57.3	2.03
9/28	146	35.6	25.4	1.40	6.5	45.6	53.8	2.67
11/6	185	28.5	21.7	1.31	6.1	40.9	59.8	2.93

注) 根部長は、46年度の調査結果によれば、播種後30日目で28～33cm、65日目で90～92cmであった。



第1図 生育にともなう器官別乾物率の変化



第2図 生育にともなう器官別乾物重およびT/R比の変化

2 養分含有率および吸収経過

1) 無機養分含有率

無機養分含有率は第3図に示すとおりである。

窒素の含有率は葉がもっとも高く、ついで葉柄>根部の順である。葉では初期に高く、中期に低下し、出葉転換後再び上昇する。葉柄では生育の進むとともに低下するが、根部においてはごく初期に濃度がやや高いほかは、ほぼ一

定の濃度に保たれる。

リン酸含有率は葉では全期を通じてもっとも高く、葉柄では根部に比して初期に高いが、中期以降は両部位間の差は消失する。また、どの器官においても初期から中期にかけて含有率は上昇するが、末期に再び低下する。

加里含有率は葉柄において他器官より明らかに高い値を示すことが特徴的に認められ、生育初期の60日間位は上昇するが、以後低下の一途をたどる。葉においても中期までは葉柄と同様な経過をたどるが、その後はあまり変化しない。根部では生育とともに低下する。

石灰含有率は地下部に比し地上部においていちぢるしく高く、初期には葉>葉柄であるが、中期以後逆転する。葉では初期に高く中期にかけて低下し、以後はあまり変化しない。葉柄は葉と逆の経過をたどる。根部は全期を通して一定である。

苦土含有率は、葉は初め高く、中期に向って低下し、出葉転換とともに上昇するが、末期に再び低下する。葉柄においては生育にともない上昇するが、根部では他器官に比し、含有率は低い。

以上のように部位別に成分の濃度分布をみると、葉は一般に各成分の含有率が高く、葉柄、根部の順に低下する傾向が認められる。ことに、窒素およびリン酸は葉において、塩基類とくに加里は葉柄において含有率の高いことが特徴的に認められる。

2) 養分吸収量および吸収経過

本調査圃場においては、根部収量は2.5トンであったが、この時の養分吸収量を示すと第5表のとおりである。

これによると、もっとも多く吸収されるのは窒素であって、10aあたり13.7Kg、ついで加里が13.4Kg、石灰が8.6Kgであり、リン酸および苦土は3.8~3.9Kgで、ほぼ同程度の吸収量であった。

つぎに、これら各養分の吸収経過および集積経過をみると、第4図ならびに第5図のとおりである。

すなわち、生育の初期からもっとも速やかに吸収されるのは、加里および石灰であり、つづいて窒素とリン酸が吸収され、苦土の吸収はもっとも遅れておこなわれる。また、窒素と苦土は生育の末期まで吸収が持続するのに対し、リン酸は播種後140日、加里および石灰は播種後110~120日で吸収量が最大に達したのち、一部は地上部の枯死脱落によって流亡することが認められる。

一方、各器官における養分の集積経過をみると、窒素はまず葉に急激に集積し、これと並行して葉柄にも集積するが、根部への集積は遅く、播種後70日位から盛んになる。8月末の出葉転換以後、地上部に集積された窒素は漸次、根部への転流移行がおこり、集積されるとともに、この間に吸収された窒素も同様に根部へ集積するものと考えられる。

リン酸は窒素同様、葉、葉柄、根部の順に集積し、播種後110~120日から地上部より流出して、生育末期まで根部に畜積される。ただ、播種後140~150日頃からそれまでに吸収されたものの一部が、体外へ失なわれる。

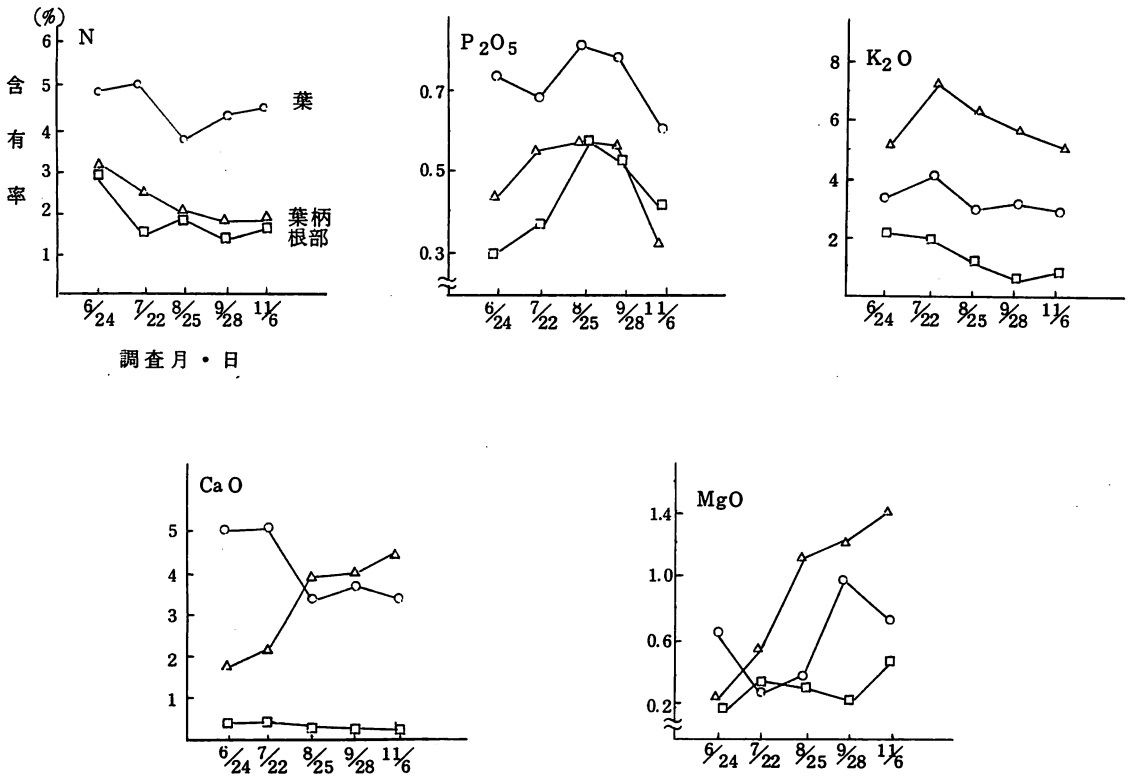
加里は葉柄における集積量の多いことが特徴的に認められ、集積の開始するのももっとも早く、ついで葉に集積している。根部への集積は他器官に比して緩慢であって、8月末から9月末にかけては一時的に停滞し、その後葉柄、葉からの急激な流出にともなって増加している。地上部からの流出は地下部への集積を上まわっている。

石灰は吸収された量の大部分が葉および葉柄に集積され、みかけ上の流出の経過は加里に類似している。ただ、石灰の場合は体内での再移動がほとんどない元素なので、多くは地上部の枯死脱落にともなって、体外へ失なわれるものと思われる。根部への集積は少ない。

苦土は葉柄、葉、根部の順に集積し、葉柄、葉の順に流出して根部に貯えられる。

収穫時における各要素の各器官への分布割合を第5図からみると、葉部への分布割合は石灰>窒素>加里>苦土 \geq リン酸の順であり、葉柄部では石灰>加里>苦土>窒素>リン酸であって、根部においてはリン酸>苦土>窒素>加里>石灰である。また、吸収された窒素の約7割が根部に集積し、残りの多くは葉に分布する。リン酸および苦土は窒素に類似した傾向を示すが、加里はこれらの要素に比し根部に集積する割合が少ない。石灰の場合は葉にもっとも多く、葉柄と根部に均等に分布している。加里および石灰は地上部に多く存在することが認められる。

ゴボウの栽培法に関する研究



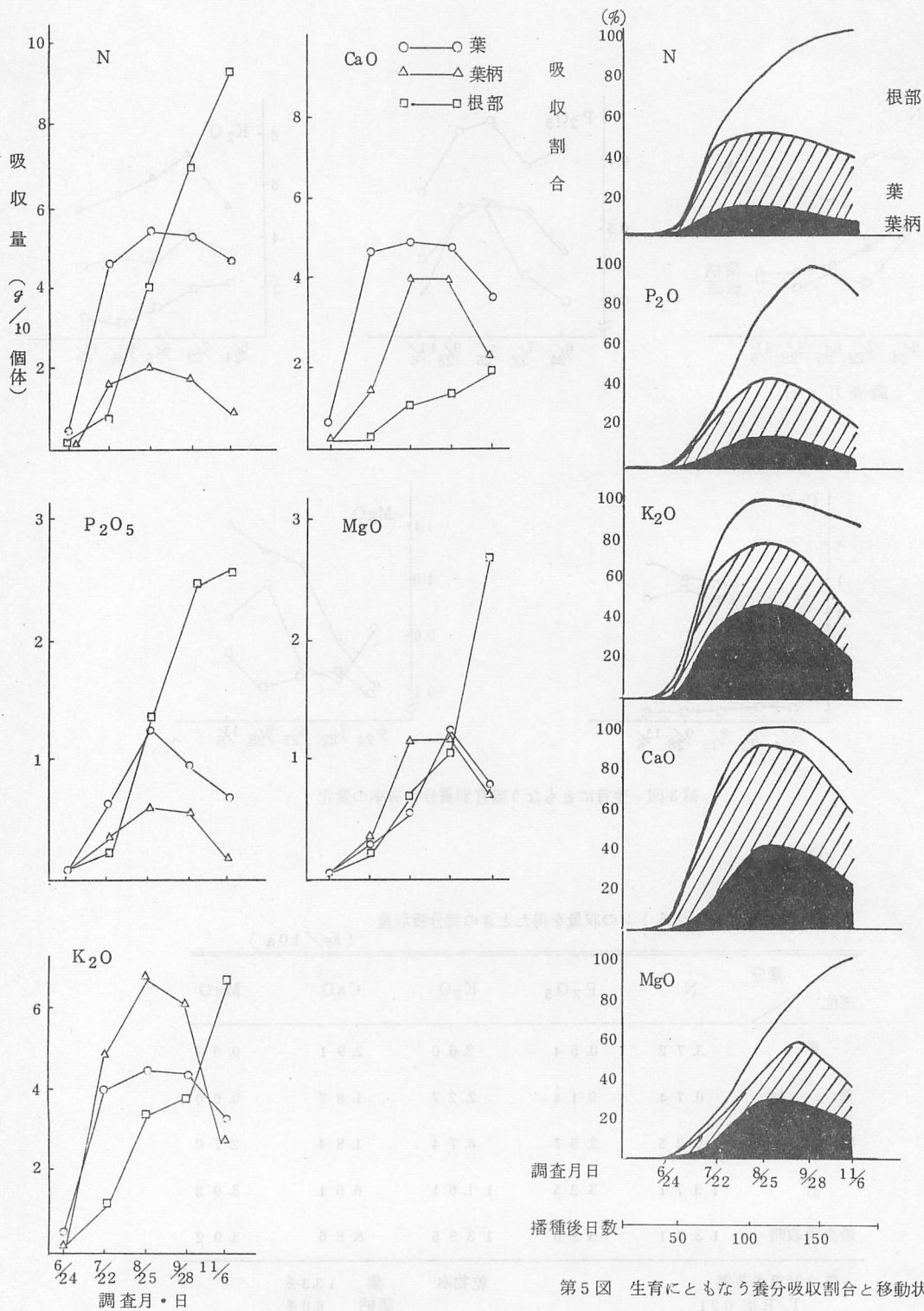
第3図 生育にともなう器官別養分含有率の変化

第5表 2.5トンの収量を得たときの養分吸収量

		(Kg/10a)				
部位	養分	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	葉		3.72	0.54	2.60	2.91
葉柄		0.74	0.14	2.27	1.87	0.60
根部		9.25	2.57	6.74	1.84	2.70
計		13.71	3.25	11.61	6.61	3.92
最高吸収時		13.71	3.80	13.35	8.56	3.92

注) 計算の基礎
 T/R比 0.21
 地上部に葉の占める割合 67.3%

乾物率
 葉 13.3%
 葉柄 6.0%
 根部 2.45%



第4図 生育にともなう各器官中の養分の消長

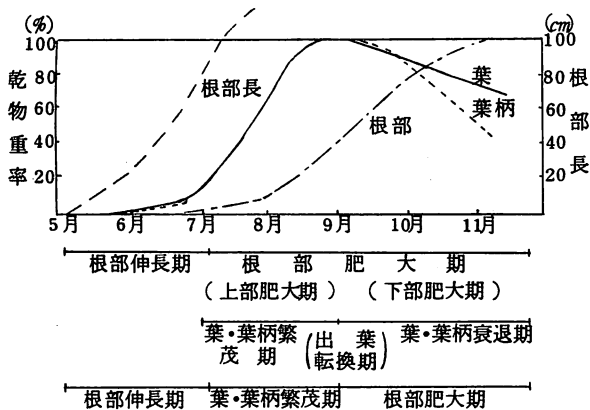
第5図 生育にともなう養分吸収割合と移動状況

Ⅳ 考 察

1 生育過程の区分

ゴボウは播種から収穫までに180～190日の日数を要し、栽培期間の長い作物の一つである。この間は栄養生長のみ進行するが、この生育過程は、第6図に示すように、①根部伸長期（生育初期、播種後約70日）、②葉・葉柄繁茂期（生育中期、播種後60～110日）、③根部肥大期（生育後期、播種後110～180日）の3時期に大別することができる。

なお、根部の肥大については、出葉転換期頃は上部が太く、下部が細い尻こけ状態にあること¹⁾一般に転換後の肥大はウラ肉がつくと称し重視されていること、また、この時期をほぼ中心として乾物率の上昇をとまなう肥大から、上昇の少ない肥大充実に変化するのうかがわれることなどから、出葉転換期前を上部肥大期、転換後を下記肥大期と仮称することとする。



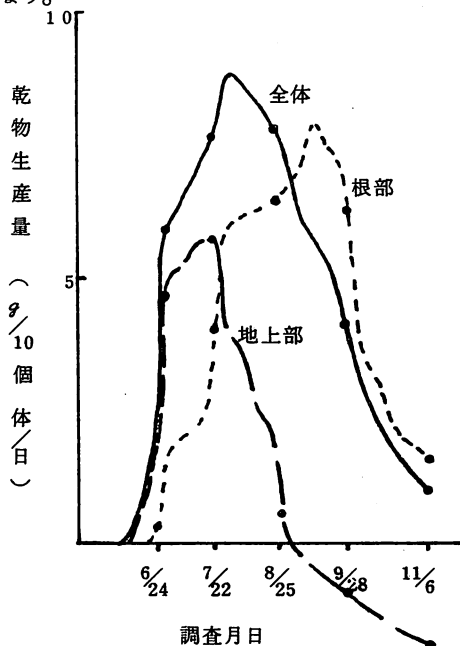
第6図 ゴボウの生育経過

2 乾物生産と収量形成

ゴボウの乾物生産のパターンは、その生育過程（第6図）および第7図の器官別乾物生産の推移にみられるように、地上部の生産が主体となる時期と、根部の生産が主体となる時期の存在していることは明らかである。

そこで、根部の乾物重を肥大期の前後にわけて、その割合を算出すると4：6になり、根部収量の主要な蓄積は出葉転換以降の根部肥大期におこなわれたことになる。根部肥大期には、地上部に貯蔵された同化産物も根部に移行するものと思われるが、第2図に示されているように、根部

の蓄積量に比して地上部の減量は少なく、これがすべて根部に蓄積されたとしても、占める割合は低い。このような点からみて、根部肥大期における根部の乾物蓄積速度の増加（第7図）および蓄積量の増大は、主としてこの時期におこなわれる同化作用の産物であると考えられる。したがって、乾物生産の経過からみた増収のポイントは、根部肥大期における同化量を大きくすることにあり、そのためには出葉転換後の葉の同化力を高く保つことが重要であるといえよう。



第7図 器官別乾物生産量の推移模式図

3 養分吸収のパターン

養分は葉・葉柄繁茂期にもっとも多く吸収され、第6表に示したように、6月24日～8月25日の約60日間に、各要素の全吸収量の窒素73%、リン酸76%、加里96%、石灰95%、苦土56%が植物体内に取込まれ、主として地上部に集積する。すなわち、養分の吸収は地上部の乾物生産と並行しておこなわれるが、各要素が地上部に集積するのは、苦土を除いてはこの時期までである。乾物生産の主体が根部に移るにつれて、地上部に集積した各要素は根部に転流し、蓄積される。このような経過からみると、この時期までに地上部に集積された量が、その後続く葉の再生産と高い同化能力を保障することになり、ひいては根部の乾物生産の律速因子になるものと考えられる。

上記のように、養分吸収順位は加里・石灰>窒素・リン酸>苦土であるのに対し、根部への蓄積率の高い順位は、リン酸・苦土・窒素>加里・石灰である。この差異は、各要素の栄養生理的な意義と役割を示唆するものと思われるが、ここでは吸収と転流のパターンからみて、おおよそ(窒素・リン酸・苦土)、(加里・石灰)の2群に類別されるように考えられる²⁾

すなわち、第1群(窒素・リン酸・苦土)は、地上部から根部への転流割合も高く、根部肥大期間中も吸収され続けて、根部の貯蔵栄養素として肥大に直接関与する点に、その特徴が認められる。また、第2群(加里・石灰)の場合は、葉・葉柄繁茂期までに吸収が完了し、地下部への転流は少なく、地上部の枯死脱落ともなう流亡量の多いことから考えて、地上部の生産を通じて、根部肥大に役立つものと推察される。

なお、ゴボウの以上のような経過を、三寸ニンジン³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾や大根に比較してみると、これらはゴボウの地上部の繁茂期に相当する時期に収穫されるが、この時期までの経過はほぼ共通している。ゴボウはむしろナガイモの経過に類似することがうかがわれる⁷⁾

第6表 養分の時期別吸収量と吸収割合

養分	時期	時期					養分 吸収量 (Kg/10a)
		5/6	6/24	7/22	8/25	9/28	
N	吸収量	0.6	5.8	4.1	2.4	0.8	13.7
	割合	4	43	30	17	6	
P ₂ O ₅	吸収量	0.1	1.0	1.9	0.8		3.8
	割合	2	27	49	21	-14	
K ₂ O	吸収量	0.5	8.5	4.3			13.3
	割合	4	64	32	-3	-11	
CaO	吸収量	0.4	5.0	3.2			8.6
	割合	5	58	37	0	-15	
MgO	吸収量	0.1	0.7	1.5	1.0	0.6	3.9
	割合	2	18	38	26	16	

4 ま と め

以上の乾物生産と養分吸収の経過から、最良の収穫を得るには、地上部の繁茂期に各養分を十分に蓄積させる必要がある。そのためには、過繁茂にならない程度で、最大限

に窒素を吸収させるような施肥法を確立するとともに、ゴボウは加里や石灰⁸⁾あるいは苦土⁹⁾の欠乏などに敏感に反応し、生育が抑制されることから、これら塩基類の土壌中濃度と生育の関係を明らかにする必要がある。さらに、窒素、リン酸および苦土は生育の後期まで吸収が持続し、いずれも根部に貯蔵される比率が高いことを考えると、後期におけるこれら要素の吸収を増加させることが、増収技術となる可能性が考えられる。とくに窒素の場合は、根部肥大期に葉の含有率が高くなる傾向を示しており、この点出葉転換前後における後期追肥の必要性について検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 伊藤克己ら：ダイコン・カブ・ニンジン・ゴボウ、現代農業技術双書、家の光協会(1972)
- 2) 石塚喜明・田中 明：水稻の生育経過に関する研究(第1報)無機栄養素吸収移動過程、日土肥誌23-1号、p 23~28(1952)
- 3) 鈴木誠次郎他5名：そさい類の時期別養分吸収に関する試験、東京都農試研報第3号、p 105~131(1964)
- 4) 徳永美治他3名：高師ヶ原土壌におけるそ菜の生育様相(第4報)ダイコンの形態推移と無機養分吸収、愛知農試 報第21号 p 148~153(1966)
- 5) 高橋和司他3：非火山性鉱質土壌畑地における施肥法改善に関する研究(第1報)にんじんの生育形体推移、養分吸収経過ならびに土壌中N濃度に対する感応、愛知農試 報第22号(1967)
- 6) 伊沢悟郎・安達忠良：根菜類の窒素代謝に関する研究(第1報)大根の生育と窒素の吸収ならびに分布について、兵農大研報2-2、p 77~80(1956)
- 7) 佐藤一郎：砂丘地ナガイモの栄養生理に関する研究鳥大砂研実験所報第5号、p 1~18(1964)
- 8) 埼玉農試：昭和38年度地力保全基本調査成績書 p 8~10(1963)
- 9) 伊藤 潔：ごぼう生育障害の事例とその対策、農業技術22-8、p 26~27(1967)

八千代町におけるハクサイ栽培土壌の 理化学性の実態と養分吸収について

小山田 勉・石川 実・石川 昌男

ハクサイの安定生産をはかるために必要な土壌条件ならびに栽培法・養分吸収量についてその実態を調査した。

八千代町におけるハクサイ栽培土壌は火山灰土壌（宮ヶ崎統）であり、土性は壤質ないし埴壤質であった。化学性は、やや酸性化の傾向がみとめられるが、本県における同一土壌型の平均値にくらべ、各養分ともうまわり、とくにカリ、リン酸の富化が顕著であり、そ菜畑としての特徴がみとめられた。

収量は10 a当り7トン前後であり、これを収量目標とした場合の栽植株数は10 a当り3,250株前後、1株重量2.6 Kg、欠株率を18%以下にする必要のあることがうかがわれた。

施肥量と収量との関係については判然としないが、施肥窒素が10 a当り28 Kg以上の場合に欠株率の高まることがうかがわれた。

養分吸収量について、収穫物1トン当りの各養分の吸収量は、窒素1.93 Kg、リン酸0.34 Kg、加里2.35 Kg、石灰1.71 Kg、苦土0.30 Kg、硼素0.67gであった。養分吸収は収穫期まで生体重の増加と平行しており収穫期まで各養分を十分供給する条件が必要と考えられた。

I 結 言

茨城県におけるハクサイの作付面積は昭和42年において4,970 ha¹⁾におよび全国的にみても多い。本県の主要な産地は県西部にあり、栽培歴も古い。しかしながら産地の宿命でもある連作障害（おもに土壌病害）の発生がみられるなど商品化率の低下が懸念されるところである。また、ハクサイの定植期ならびに生育初期が台風シーズンと重なることもあって作柄は年によってきわめて不安定である。このことは、市場価格の暴騰・暴落の原因ともなっている。

したがって、各種の連作障害を回避しながら安定生産をはかるための技術が要求されている。

以上のような背景のもとに筆者らはハクサイ栽培地帯の土壌の理化学性ならびに養分吸収の実態を明らかにし、土壌改良ならびに施肥の合理性に資することを目的に昭和45年度において調査を行った。その結果2・3の問題点が摘出されたので報告する。なお、本調査にあたり多大の便宜と御協力をいただいた結城地区農業改良普及所の方々に厚くお礼を申し上げる。

II 調査方法

ハクサイ栽培土壌の理化学性ならびに養分吸収の実態を

知るためつぎの調査を行った。調査項目および方法は以下のとおりである。

1. 調査圃場の選定

調査圃場は結城郡八千代町における畑作地帯で、ハクサイの作付規模の大きい磯部落（1戸当り2ha 前後）の6圃場と、比較的規模の小さい太田部落（1戸当り1ha 前後）5圃場の計11圃場を選定した。

2. 土壌の断面調査

地力保全基本調査法に基づいて行った。

3. 土壌ならびに作物体の分析

(1) 土壌分析・測定項目と方法

PH：ガラス電極法、電気伝導度（EC）：1：5浸出法、全窒素（T-N）：ケルダール法、全炭素（T-C）：チューリン法、CEC：振とう浸出法、置換性石灰・苦土：原子吸光法、置換性加里：炎光法、有効態リン酸：トルオーグ法、有効態硼素：熱水抽出法（クルクミン法）。

(2) 作物体分析法

窒素：ケルダール法、リン酸：バナドモリブ比色法、加里：炎光法、石灰・苦土：原子吸光法、硼素：吉田法²⁾

4. 耕種法、収量その他

ききとりおよび現地調査によった。

Ⅲ 調査結果

第1表 代表土壌の断面形態

1 ハクサイ栽培土壌の類型区分

八千代町の土壌は、比高差の小さい標高20~30mの低い洪積台地を被覆する火山灰土壌と鬼怒川流域の沖積土壌とに大別される。沖積地は水田、陸田、桑園などに利用されておりハクサイの作付はわずかである。一方、台地上の火山灰土壌はほとんど畑として利用されており、春夏作スイカ・メロン、秋作のハクサイなどの露地野菜の栽培が盛んである。

八千代町の台地土壌は地力保全基本調査³⁾によれば、表層腐植層の宮ヶ崎統、表層多腐植層の舟木統、全層多腐植層の内原統、全層多腐植でやや湿潤な鯉湖統・芹沢統、再堆積性の小幡統の6タイプである。これら土壌のうち宮ヶ崎統の占める割合は6割以上であり、これにハクサイの作付が多い。このため、ハクサイの作付の多い台地上の火山灰土壌を調査の対象とし、沖積地を除いた。

作付規模の大きい磯部落のハクサイ栽培土壌の代表的な土壌断面をみると、第1表のとおりである。

第1層	0~15cm	腐植に富む黒褐(7.5YR ³ / ₂) SCL 発達弱度の細粒状構造、 ち密度12 でやや疎、調査時の湿り湿、層界や や明瞭
第2層	15~35	腐植に富む暗褐(7.5YR ³ / ₃) SCL 無構造連結状構造、 ち密度15 で中、細孔含む、調査時の湿り湿
第3層	35~	腐植含む褐(7.5YR ⁴ / ₄) CL 無構造連結状構造 ち密度17 で中、細孔小穴あり、調査時の湿り 湿、層界明瞭

注) 場所: 結城郡八千代町大字磯字大境

これによれば、腐植層の厚さは30cm以上あり、有効土層は1m以上で典型的な宮ヶ崎統-1に区分される土壌である。

2 土壌の理化学的性質

(1) 理化学性

第1表に示した土壌の理化学性のうち、粒形組成ならびに三相分布などについて示すと第2表のとおりである。

第2表 土壌の理化学性

層位	深さcm	粒形組成											孔容積率(%)	容積重(9)
		風乾細土中(%)			細土無機物中(%)				三相分布(%)					
		礫	水分	腐植	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	気相	液相	固相		
1	0~15	0	6.5	6.3	20.5	55.4	75.9	6.0	18.1	29.5	29.5	30.2	69.5	77.4
2	15~35	0	5.9	5.6	23.0	42.6	65.6	19.5	15.0	21.0	21.0	20.4	79.6	53.5

注) 三相分布・容積重: 1層は深さ5~10cm, 2層は35~40cm

場所: 八千代町大字磯字大境

土壌中に礫は含まれず、メタリン酸ソーダ-分散法による粘土含量は1層が18%, 2層が15%である。

三相分布のうち固相率についてみると、1層が30%, 2層が20%前後である。これら、粘土含量、固相率、容積重の数値は本県に多くみられる火山灰土壌の値と符合していた。

(2) 化学性

ハクサイ栽培土壌の化学性は第3表のとおりである。なお、この結果を対比する意味で当町に多く分布する宮ヶ崎統の県平均⁴⁾ならびに本県の「やさい畑土壌の改良基準値⁵⁾」を併記した。

第3表 ハクサイ作付前における八千代土壌ならびに
県平均とやさい畑土壌の改良基準値

	層位	八千代土壌	県平均 (宮ヶ崎統1)	やさい畑 土壌の改 良基準値	
pH(H ₂ O)	作土	5.7 ± 0.4	5.5 ± 0.4	—	
	次層	5.7 ± 0.4	5.9 ± 0.5	—	
pH(KCl)	作土	5.0 ± 0.4	4.8 ± 0.3	5.5~6.0	
	次層	5.1 ± 0.3	5.0 ± 0.3	—	
電気伝導度 (1:5) mmho/cm	作土	0.28 ± 0.09	—	—	
	次層	0.31 ± 0.04	—	—	
全炭素 (T-C) %	作土	3.5 ± 0.5	4.4 ± 1.1	—	
	次層	2.7 ± 1.0	4.2 ± 1.2	—	
全窒素 (T-N) %	作土	0.32 ± 0.04	0.40 ± 0.05	—	
	次層	0.24 ± 0.07	0.30 ± 0.08	—	
C/N	作土	11.0 ± 1.4	—	—	
	次層	11.0 ± 1.2	—	—	
塩基置換容 量(CEC) me	作土	18.7 ± 1.3	23.5 ± 5.8	—	
	次層	17.5 ± 2.6	22.9 ± 5.4	—	
置換 性 塩基	CaO	作土	210.6 ± 7.0	243 ± 10.2	300
		次層	190.0 ± 9.2	302 ± 14.6	—
mg 乾土 100g	MgO	作土	41.3 ± 9.4	27 ± 2.0	30
		次層	39.1 ± 12.1	3.8 ± 2.6	—
K ₂ O	作土	4.39 ± 1.28	2.8 ± 1.4	2.0~3.0	
	次層	2.95 ± 1.65	1.9 ± 1.9	—	
石灰飽和度 %	作土	3.99 ± 1.30	3.6 ± 1.4	6.0	
	次層	4.01 ± 1.93	4.3 ± 1.7	—	
リン酸吸収 係数	作土	2.382 ± 3.75	1.883 ± 2.86	—	
	次層	2.528 ± 4.38	2.126 ± 4.69	—	
有効態リン 酸 ^{mg} 乾土 100g	作土	2.14 ± 1.61	8.0 ± 4.2	—	
	次層	3.9 ± 4.0	2.4 ± 1.7	—	
有効態窒素 ppm	作土	0.91 ± 0.23	—	0.5	
	次層	0.63 ± 0.19	—	—	

これによれば、作土のpH、苦土、加里、有効態リン酸は
県平均値をうわまっていることが認められる。そのなかで
も、加里およびリン酸の富化が顕著であり、野菜栽培土壌
においてよくみられるような特徴がみられる。

全炭素ならびに全窒素、塩基置換容量(CEC)、石灰
は県平均値を下まわっているが、石灰飽和度は40%前後
であり平均値と類似している。

次層では加里が県平均をうわまわり、全炭素、塩基置換
容量、石灰は作土と同様に下まわっている。他の項目につ
いてはいずれも県平均値と類似している。

つぎに本地区のハクサイ栽培土壌の化学性と本県におけ
る「やさい畑土壌の改良基準値」を対比すると、pHはや
や低く、石灰濃度ならびに石灰飽和度も基準値以下である。
しかし、現地調査において、ハクサイに石灰欠乏症の発生
はみられず、欠乏症の発現までにはいたっていないことが
うかがわれた。

加里、リン酸、苦土、硼素はこの基準をうわまっている。
以上のように、作土のリン酸および加里の富化が顕著で
あったことについては、本地域における作付体系が大きく
影響しているように推察された。すなわち、夏作にスイカ
またはプリンスメロン、秋作のハクサイの体系であり、こ
れに施肥される三要素をみると第4表のとおりである。

第4表 スイカおよびハクサイの施肥成分量

		(Kg/10a)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
スイカ	最低~最高	6.0~34.0	6.0~23.1	6.0~29.6
	平均 (n=10)	16.4	12.4	15.3
ハクサイ	最低~最高	11.7~40.9	13.2~38.0	10.8~34.0
	平均 (n=11)	29.1	22.0	26.4

これによれば、普通作にくらべかなり多肥であることが
うかがわれる。また、スイカとプリンスメロンはほとんど
トンネル栽培であり、これについても化学性に大きく影響
していることが予想された。すなわち、スイカ跡地におい
て、マルチ部および非マルチ部における2・3の化学性につ
いて示すと第5表のとおりである。

第5表 マルチならびに裸地における土壌養分濃度(スイカ跡地)

(8月25日)

土 壤 層 位	pH		電気伝導度(EC) (1:5) m mho/cm	置 換 性 塩 基 $\frac{mg}{100g}$ 乾 土			有効態りん酸 $\text{NO}_3\text{-N}$ (トルオーグ) $\frac{mg}{100g}$ 乾 土 $\frac{mg}{100g}$ 乾 土		
	H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O	$\frac{mg}{100g}$ 乾 土	$\frac{mg}{100g}$ 乾 土	
マルチ跡	作土	6.0±0.5	5.4±0.6	0.35±0.10	322.5±182.7	53.6±16.5	44.7± 7.8	16.9±12.2	4.4
	次層	5.8±0.1	5.2±0.2	0.41±0.13	271.8±101.8	69.0±18.5	42.0±29.5	9.5± 5.3	5.8
裸 地	作土	5.6±0.2	5.0±0.2	0.30±0.04	198.9± 54.8	41.0± 7.7	39.7±10.8	14.5± 9.1	3.4
	次層	5.6±0.3	5.2±0.2	0.31±0.04	153.0± 46.0	44.5± 8.3	22.5±13.9	2.4± 0.7	3.6

これによれば、マルチによる養分の富化がはっきりとみとめられる。

以上のように、本地域における化学性は作付体系などに影響されることがみとめられ、作土のリン酸ならびに加里の富化が顕著であった。しかし、作土の影響は次層にはおよんでいないことがみとめられた。

3 生育ならびに収量

(1) 生育

本地域における中生ハクサイのは種期は8月10日から8月20日までであり、育苗日数は2週間前後であった。定植期は8月末から9月7日前後までであり、10月下旬から11月中旬の収穫期まで、本圃での生育日数は60~70日である。この間もっとも乾物生産の顕著な時期は、10月中旬から収穫期にいたるいわゆる結球肥大期である。

本圃での生育期間におけるおもな生育障害についてみると、生育初期ではウィルス病の罹病株が見られる以外、とくに大きな障害は認められなかった。結球肥大期では、根瘤病ならびに軟腐病による障害がかなり圃場で見られた。根瘤病および軟腐病については、各農家とも薬剤による対策を講じているが、軟腐病については完全防除までに行っていないことがうかがわれ、収穫期における欠株の大半はこれであった。

石灰、苦土および硼素欠乏などによる生育障害はみとめられず、かりにあったとしてもそれによる障害の程度はきわめて少ないものと推定された。

根の生育については、結球肥大期において深さ30cm以上に細根の伸長していることがみとめられ、広範な養水分の利用の可能なことがうかがわれた。

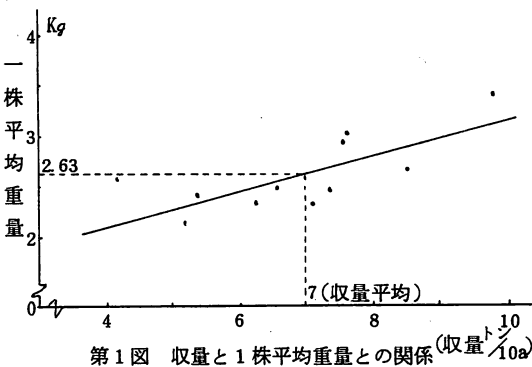
(2) 収 量

調査農家の収量は、最高10a当り9.8トン、最低5.4

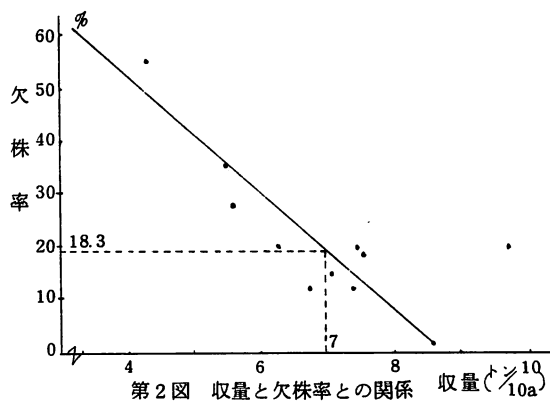
トンであり、平均は7トンで農家によってかなり異なることが認められた。

収量構成要素である10a当りの栽植株数は3090~3700株、1株の平均重量は2.17~3.39kgであり、欠株率は2~5%であった。これらの収量構成要素と収量との関係について検討すると以下のとおりである。

栽植株数と収量との間には有意な相関が認められなかった。しかし、第1図および第2図に示すように、1株平均重量ならびに欠株率との間にはそれぞれはっきりと相関が認められた。



第1図 収量と1株平均重量との関係(収量 $\frac{kg}{10a}$)



第2図 収量と欠株率との関係(収量 $\frac{kg}{10a}$)

第1図から平均重量7トンにおける1株平均重量をみると、2.63Kgである。同様に第2図から欠株率をみると18.3%が得られる。これらの数値から栽植株数を算出すると3,257株である。したがって収量目標を10a当り7トン以上とした場合には栽植株数3,257株、1株当りの平均重量は2.63Kg、欠株率を18%以下の条件が必要であるといえる。

施肥量と収量との関係について、施肥窒素量と収量との関係を見ると、あきらかな関係はみとめられないが、10a当り30Kg以上の場合に平均収量の7トンを下まわるものが多かった。また、窒素と欠株率との関係については、28Kg前後に欠株率の小さくることがみとめられた。

つぎに、収量と土壌のpH、石灰、苦土などとの関係はあきらかでなかった。

4 養分吸収の実態

各調査圃場において、収穫期における三要素ならびに石灰、苦土、硼素の作物体濃度ならびに養分吸収量について示すと第6表および第7表のとおりである。

第6表 収穫期における養分濃度(乾物)

	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	B ppm
平均	4.95	0.87	6.02	4.44	0.77	18.5
標準偏差	0.14	0.23	0.46	0.67	0.22	2.39
変異係数	2.80	2.631	7.96	15.06	28.53	12.92

n = 11

第7表 養分吸収量
(10a当り)

	N Kg	P ₂ O ₅ Kg	K ₂ O Kg	CaO Kg	MgO Kg	B g	備考
平均	13.5	2.4	16.4	12.0	2.1	4.7	収量9.8~4.2ton/10a
標準偏差	3.1	0.5	3.8	3.0	1.0	1.5	平均収量7.0ton/10a
変異係数	2.30	2.16	2.31	2.5.2	4.90	30.6	乾物率3.9%

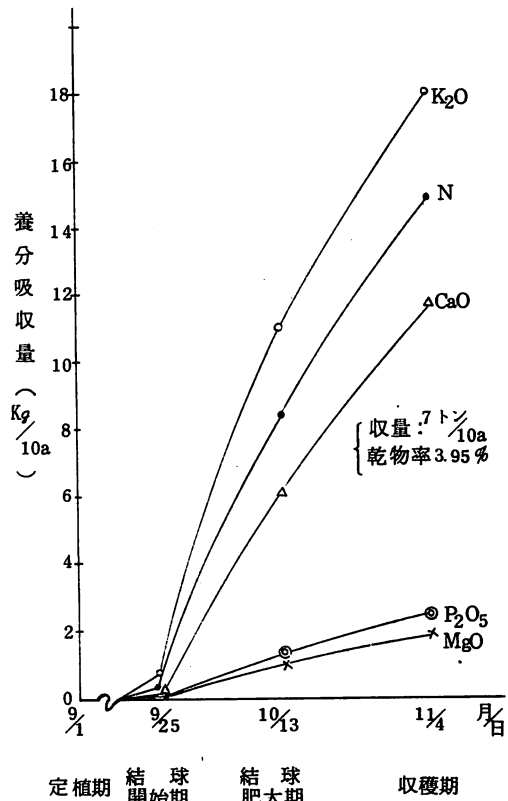
n = 11

作物体養分濃度では加里がもっとも高く、平均6.02%であり、ついで窒素の4.95%、石灰4.44%、以下リン酸、苦土の順である。硼素は平均18.5ppmである。各養分の変異係数は、窒素が2.8%であり、きわめて小さく、栽培管理が異なってもかなり一定の濃度を示すことがうかがわれる。

各養分の吸収量は、加里が最大で10a当り平均16.4Kg、窒素は13.5Kg、以下石灰、苦土、リン酸の順であり、硼素はわずか4.7gである。

養分吸収量の変異係数は、収量の変異係数23%に近似しており、養分濃度はほぼ一定であり、養分の吸収量は主に収量の多少にあることがうかがわれる。

養分吸収の推移についてみると第3図に示すように、9月末の結球開始期から、収穫期にかけて各養分とも直線的に経過していることがみとめられる。したがって、収穫期にいたるまで各養分を十分供給する条件の必要なが考えられる。



第3図 養分吸収量の推移

IV 考 察

ハクサイの適地は砂壤土～壤土で排水の良好な沖積土地帯とされている。⁶⁾⁷⁾しかし、茨城県における産地は火山灰地帯に多く分布しており、八千代町の場合も宮ヶ崎統に代表される火山灰土壌である。

火山灰土壌は一般に保水性、通気性にすぐれ、ぼう軟であるなどの好条件をもっている。しかし、化学性において、沖積土壌にくらべ劣悪な場合が多い。すなわち、酸性、塩基含量および有効態リン酸の欠乏などである。

八千代町におけるハクサイの栽培は戦前から行われていたが、盛んに栽培されるようになったのは戦後である。昭和24～25年頃の作付状況は1戸当り20a前後であったが、30年頃より火山灰台地での栽培が盛んになり現在にいたっている。

したがって、化学性において劣悪な火山灰土壌であっても、土壌改良によって十分産地となりうる条件をもっており、土壌改良の効果は大きい。

ハクサイの生育とpHとの関係について丸川⁸⁾はpH(KC1)6.0が適当であるとし、秋谷⁷⁾によれば、弱酸性～微アルカリ性としており、筆者⁹⁾らも八千代土壌と同種の土壌を用いて試験した結果適pH(KC1)は5.0～6.0の間にあることを認めた。

八千代土壌のpH(KC1)は平均5.0であり、わずかではあるが、ハクサイの適pHより低い傾向がうかがわれる。

石灰濃度については、低pHを反映し、筆者の試験による適pH5.0～6.0のときの石灰濃度である乾土100g当り225～482mgの範囲に入っているものが少なく、酸度改良とあわせて石灰の補給の必要なことが認められた。しかし、現地調査では、石灰欠乏症の発生は認められず、欠乏症の発現までにはいたっていないようである。

石灰欠乏の発生要因については、土壌中の石灰濃度だけでなく、品種およびアンモニア、加里、ナトリウムなどの濃度や気象に影響されるとしている。⁷⁾したがって、一概に土壌中の石灰濃度の多少で論議することはできないが、静岡土壌において、石灰欠乏の発生圃場の置換性石灰は乾土100g当り80～125mgであり、健全圃場では150～243mgで、作物体濃度も被害株の2.5～2.9%に対して、健全株は3.2～3.3%であったことを報告している。¹⁰⁾

一方、八千代土壌の石灰濃度は平均乾土100g当り210mgであり、作物体中の石灰濃度は3.35～5.2%(収

穫期)と高いことが認められ、現段階では石灰欠乏発生の可能性は少ないものと推定される。しかし、前述のように土壌のpHが低いこと、石灰飽和度が40%程度であること、また、石灰が加里、窒素について吸収量の多いことからみて、毎作石灰の適正量を補給しなければならないことがうかがわれる。

作土の苦土、加里、リン酸はかなり富化していたが、これは10年以上におよぶスイカーハクサイの作付体系における施肥の影響によるものと考えられ、連年施肥による集積とみることができるとは。したがって土壌中での移動が少ないとされるリン酸については富化上限値の設定が必要と思われる。

ハクサイにとって、もっとも重要な微量要素である硼素は作土中で平均0.91ppmであり、欠乏症の発生が確実に発現するとしている0.3ppm¹¹⁾をうまっており、硼素欠乏の発生もみられなかった。このことは、各農家とも硼素にはかなり関心が高く、硼砂、FTE、硼素入化成肥料などを使用していることにより、富化したものと推察される。

つぎに、ハクサイの収量は各栽培農家によってかなり異なることが認められたが、そのちがいのもっとも大きな要因は欠株率の高低にあった。すなわち、欠株の原因は根腐病ならびに軟腐病に代表される病害が主因であった。

一方、欠株率と施肥窒素との間に関連がみられ、施肥窒素が10a当り28Kgをこえると欠株率の高まることが認められ、窒素の多施は病害の発生を助長することが推察される。

養分吸収量は、加里、窒素、石灰を多量に吸収し、リン酸、苦土は加里などにくらべ少ない。吸収の経過は生育初期から収穫期まで直線的に増大している。これは、ハクサイの生体重あるいは乾物重が生育初期から収穫期にいたるまで増加し、1日当りの増加量の山が生育の後期にあることによるものと考えられる。このような養分吸収のタイプを山崎¹²⁾は「A型」と区分している。

したがって、ハクサイに対して土壌養分は生育初期から収穫期にいたるまで十分養分供給のできるような土壌管理および施肥の必要なことがうかがわれる。

以上八千代町におけるハクサイ栽培土壌の理化学性と養分吸収について検討したが、今後ともより安定した収量を得るためには、適切な土壌管理ならびに施肥管理の必要なことがうかがわれた。すなわち、塩基類とくに石灰については毎作適正量を補給する必要がある。また、ハクサイに

八千代町におけるハクサイ栽培土壌の理化学的の実態と養分吸収について

は、生育初期から収穫期まで十分養分を供給できる条件の必要なことがわかれたが、これらの条件をみたすため堆肥などの有機物の施用がきわめて効果的であると考えられる。各農家の堆肥の施用量は化学肥料と混和して施用する程度でその量はきわめて少ないことから今後とくに必要になってくるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 茨城県園芸協会 (1969) : 茨城の園芸
- 2) 吉田よし子他 (1965) : 抽出法による作物体ホウ素の迅速定量法, 日土肥誌VOL36 №3
- 3) 茨城農試化学部 (1961) : 地力保全基本調査成績書 (昭和36年度)
- 4) 石川昌男 (1967) : 茨城県火山灰畑土壌の性質と生産力, ベドロジストVOL11 №1 (p64~65)
- 5) 茨城県教育普及課 (1971) : 茨城県耕地土壌の改良基準
- 6) 杉山直儀 (1969) : 蔬菜総論 養賢堂 (p142)
- 7) 秋谷良三 (1963) : 蔬菜園芸ハンドブック養賢堂 (p53)
- 8) 丸川慎三 (1971) : 現代農業技術双書 家の光協会 (p65)
- 9) 小山田勉 (1974) : 八千代村における白菜栽培土壌の実態ならびに土壌 pH と白菜の生育および養分吸収について, 茨城土肥研究会誌 №10
- 10) 静岡農試 (1958) : 白菜, 甘藍心腐症状対策試験成績書
- 11) 杉山直儀編 (1969) : 野菜の生理と施肥技術 誠文堂新光社 (p198)
- 12) 山崎育哉 (1960) : 蔬菜の肥培 地球出版

土壌の重金属汚染に関する調査研究

第1報 七会村塩子地区水田土壌の重金属汚染の実態

石川昌男・津田公男・平山 力
石川 実・吉原 貢・小林 登

西茨城郡七会村の塩子地区において、土壌、水稲玄米およびかんがい水中の重金属類の調査分析を行った。土壌汚染の実態とその特徴を明らかにした。

1) 本地区水田約15haは高取鉱山からの排水によって、カドミウム、銅および亜鉛などで汚染されていた。

2) 本地区の汚染の特徴は土壌カドミウムが比較的低濃度にもかかわらず、高濃度のカドミウム汚染米を産出したことである。その理由について土壌の性質、水管理の慣行ならびに用水事情などの面から考察した。

I 緒 言

重金属による農業公害は古くから報告されているが、近年イタイイタイ病の原因としてカドミウムが注目され、これが契機となって昭和45年に「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」（略して土壌汚染防止法）が制定された。

茨城県においても、この法律にもとづいて昭和46年以降農耕地土壌について土壌汚染防止対策概況調査が行われ、とくに汚染のおそれがある地区について細密調査を行ってきた。その結果、七会村塩子地区、日立鉱山周辺地区、千代田村上稲吉地区において、カドミウム汚染が認められ、その結果にもとづいて現在汚染防止対策が実施されている。

農業試験場においては、昭和46年以降概況調査および細密調査を担当し、農耕地の重金属汚染の実態を明らかにするとともに、汚染防止、除去対策について試験を行ってきた。

土壌汚染防止法の制定により、今後重金属汚染は少なくなるものと考えられるが、これまでに排出された重金属は将来にも影響を与え、その対策を求められることが少なくないと思われる。そのような場合の参考とするため、ここにこれまでの調査研究の結果をとりまとめて報告することにした。本報ではその第1報として、七会村塩子地区の土壌汚染の実態について報告する。

本調査は環境庁の補助のもとに行われたものであり、調査に当たって県環境局水質保全課、茨城県公害技術センター、常北地区農業改良普及所、七会村役場および地元の農民の

方々の多大の御協力をいただいたことを深く感謝します。

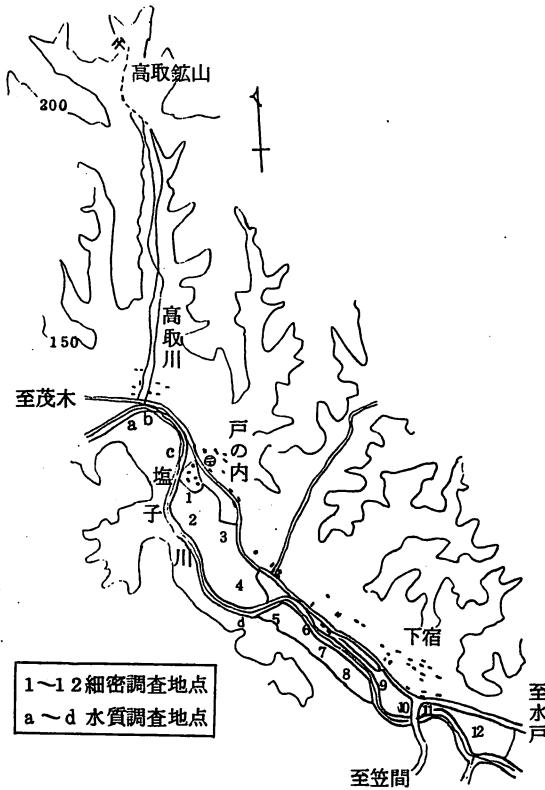
II 調査地区の概況

七会村塩子地区（第1図）は水戸市の北西約20kmの栃木県境の山間地で、調査対象とした約15haの水田は汚染源である高取鉱山より1km下流で、塩子川流域に沿って1.5kmの間に分布している。周囲の山は砂岩からなり、このため水田は砂壤土の礫質土壌および灰色土壌が主で、漏水田である。その上冷水と鉱害により水口の水稲生育は不良で、水稲収量は360～400kg前後であるが、すし米の産地として知られていた。

高取鉱山¹⁾は1591年（天正年間）に明の禅僧俳寛が梅ヶ沢で錫鉱を発見し、採掘したのがはじまりと伝えられている。以後錫高野鉱山として続いていたが、明治41年タングステン鉱が発見され、鉱口を塩子側に変え、高取鉱山と改名し、タングステンの採鉱を開始し、昭和28年には銅の浮游選鉱も始められた。その間、休山一操業をくり返しながら昭和42年千歳鉱山が事業を継承し、現在に至っている。主要な鉱石はタングステン鉱石である鉄マンガ重石、錫石、黄銅鉱および黄鉄鉱である。現在は選鉱のみを行っており、粗鉱生産1000～1300トン/月、製品としてはタングステン精鉱、銅精鉱等が主で、その他金、銀、錫、硫化鉄鉱、マンガ等を生産している。

鉱内水、選鉱排水は長い間高取川を経て塩子川に流入しており、塩子川からかんがい用水が取水されていた。現在

は排水処理施設(沈澱池)が設置され、石灰で中和して放出されている。



第1図 調査地域位置図

Ⅲ 調査方法

1 水稻生育状況の調査

細密調査の予備調査として昭和46年7月13日に水稻生育状況、とくに水口より水尻部分にわたって生育状況、水温の変化等を調査し、収穫後同一地点の土壌を採取し分析した。

2 土壌および玄米中の重金属調査

昭和46年10月15、16日の両日にわたって、対象地域水田約15haについて、土壌汚染防止法にもとづく細密調査を行った。12カ所の地点を設定し、土壌汚染防

止法調査要領²⁾にもとづいて、水田内の中央部から作土(0~15cm)、次層土(15~30cm)ならびに水稻を採取した。また対照として高取川合流前の塩子川を水源とする汚染がないと思われる水田1カ所から同様に試料を採取した。

なお、昭和47年に46年と同一地点について、茨城県公害技術センターによって土壌と玄米が分析されたので、調査結果に参考として併記した。

さらに昭和48年土地改良対策の実施が決定されたので、同年3月工事処方箋の作成のため0.5haに1点の割合で土壌の精査を行い、併わせて土壌を分析したが、その要領は細密調査に準拠した。

3 水質調査

昭和46年7月と10月の2回にわたってかんがい水の水質調査を行い、結果は平均値として示した。

4 分析法

土壌、水稻莖葉および玄米の重金属類の分析は土壌汚染防止法に定める方法に従った。³⁾すなわち、土壌では0.1規定塩酸浸出による原子吸光法、作物体は硝酸、過塩素酸、硫酸による湿式分解法を採用し、亜鉛(Zn)および銅(Cu)は直接原子吸光法により、またカドミウム(Cd)はAPC-MIBK抽出後原子吸光法により分析した。

水はCdのみAPDC-MIBK抽出後原子吸光法、石灰(CaO)、苦土(MgO)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)、CuおよびZnは直接原子吸光法、カリ(K₂O)およびソーダ(Na₂O)は炎光法、塩素(Cl)は硝酸銀滴定法、硫酸(SO₄)は比濁法によった。

Ⅳ 調査結果および考察

1 水稻生育状況の調査

水稻生育が不良な水田3カ所を選び、水稻生育を調査した。その結果は第1表のとおり、水口部の生育はきわめて悪く、水尻に向うにしたがって生育が回復している。この関係をやや詳しく調査したのが第2図である。これは水口と水尻を結ぶ対角線に沿って1m間隔で水温と生育とを調査したものであるが、生育は水温に比例しており、水口部の生育障害には低水温も影響していることがうかがわれる。しかしながら、水口部の水稻葉は黄緑化し、また根はタワシ状を呈し、新根の伸長が妨げられており、銅過剰の

土壤の重金属汚染に関する調査研究

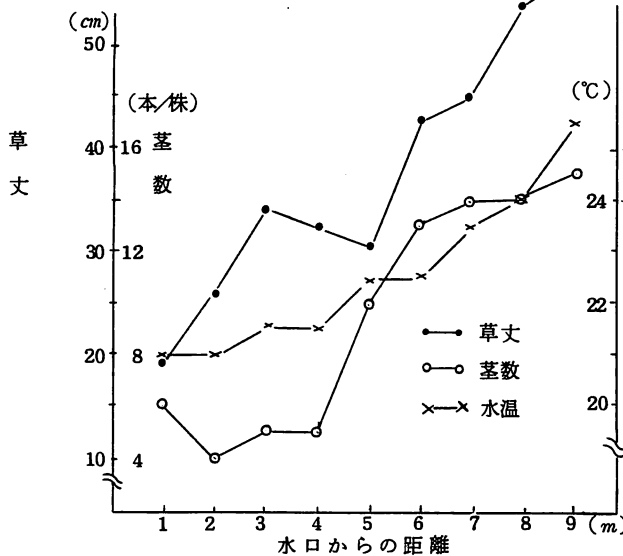
症状を呈していた。⁴⁾

土壤および水稻茎葉中の重金属濃度は水口部で高く、水尻部で低い傾向を示し、とくに銅において明瞭である。

以上のことから、本地区の水口部における水稻生育不良の原因は重金属の過剰と冷水によるものと考えられる。

第1表 水稻生育状況調査

No	水田内位置	生育		土壤(乾土 ppm)			茎葉(風乾物 ppm)		
		草丈 cm	茎数 本/株	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
1	水口	44.6	4.4	1.2	135	41	5.5	45	237
	中央	50.6	5.3	1.0	122	35	2.3	54	79
2	水口	29.1	4.9				3.5	137	168
	中央	37.0	8.8						
	水尻	56.4	15.3				1.7	19	57
3	水口	43.6	12.8	2.4	385	99	3.2	133	114
	中央	50.4	13.0	2.7	358	104	4.2	27	169
	水尻	58.4	15.8	2.3	162	87	4.8	15	50



第2図 同一水田内における水稻生育および水温の変化

2 土壤および玄米中の重金属濃度

昭和46年度の細密調査結果は第2表のとおりである。これによれば、塩子川と高取川合流点の上流部に位置し、汚染されていないと考えられる対照田作土のpH(KCl)は4.6, Cd 0.6 ppm, Cu 11 ppm, Zn 32 ppmであり、玄米ではCd 0.03 ppm, Cu 2.6 ppm, Zn 15.5 ppmであった。これに対し調査対象地域では作土中のCd 1.3~3.2 ppm, Cu 33~385 ppm, Zn

51~128 ppmであり、玄米のCdは0.14~0.49 ppm, Cu 2.8~4.6 ppm, Zn 17.8~26.4 ppmであった。このように調査地区の水田は対照田に比べて明らかに重金属濃度が高く、とくに土壤ではCuが、玄米ではCdの濃度が高い傾向が認められた。また、Cdが0.4 ppm以上の玄米が3点検出されたので、次年度以降引きつづき注意する必要があることを報告した。⁵⁾

第2表 細密調査

No		土		壤*			(乾土)			玄米(風乾物 ppm)		
		pH (H ₂ O)	(KCl)	CEC	CaO	MgO	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
1	作土	5.7	4.8	8.6	112	5	21	200	85	0.22	4.2	22.5
	次層土	5.6	4.7	5.4	59	2	1.2	32	57			
2	作土	5.8	4.8				1.4	181	51	0.42	4.0	20.4
	次層土	5.8	4.8				0.9	29	38			
3	作土	5.8	4.0				1.9	120	74	0.23	4.6	22.0
	次層土	6.0	4.8				1.0	11	51			
4	作土	5.4	4.5				1.4	77	46	0.32	2.9	20.9
	次層土	5.6	4.7				0.5	17	38			
5	作土	5.4	4.5	6.3	51	3	1.3	180	56	0.49	5.6	26.4
	次層土	5.5	4.5	5.8	47	5	1.6	79	56			
6	作土	5.8	4.1	10.0	109	8	2.4	385	99	0.31	2.9	22.4
	次層土	5.9	4.9	7.0	88	8	1.7	19	48			
7	作土	5.8	4.7	9.9	133	9	3.0	309	129	0.19	3.6	24.5
	次層土	6.0	4.9	9.3	116	15	4.2	78	129			
8	作土	5.7	4.8				2.4	260	86	0.14	3.3	21.7
	次層土	5.6	4.6				1.3	15	36			
9	作土	5.4	4.6	14.4	153	12	2.7	110	107	0.28	3.1	20.6
	次層土	5.8	4.8	8.9	101	9	1.3	26	65			
10	作土	5.6	4.6				1.8	87	67	0.19	2.6	18.6
	次層土	5.6	4.8				1.2	45	40			
11	作土	5.5	4.7				1.7	33	71	0.18	2.8	17.8
	次層土	5.5	4.6				0.2	6	24			
12	作土	5.5	4.6	12.3	125	12	3.2	155	104	0.42	2.8	19.6
	次層土	5.5	4.5	11.7	125	12	0.6	9	39			
対照 田	作土		4.6				0.6	11	32	0.03	2.6	15.5
	次層土						0.2	9	11			

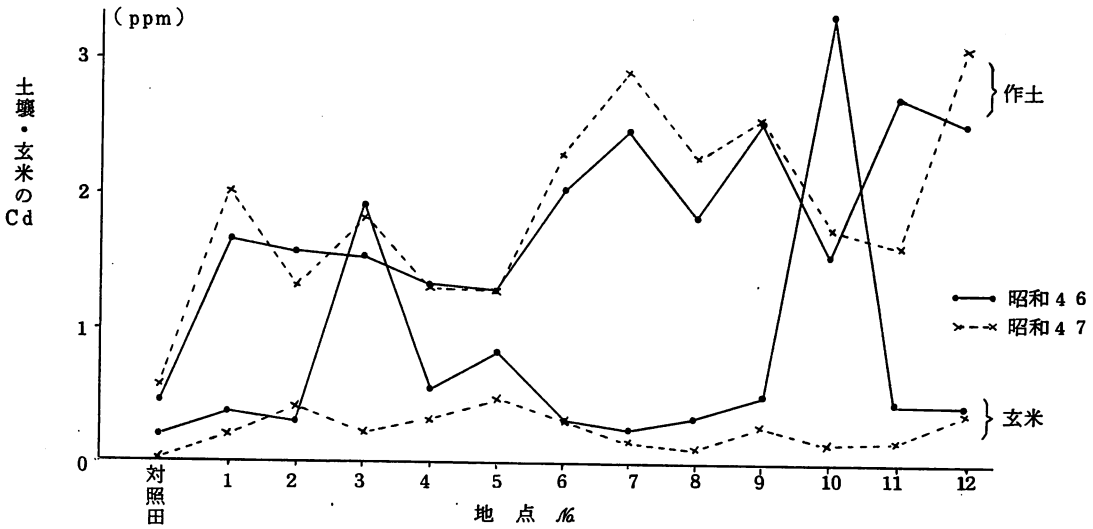
* CEC me/100g, CaO, MgO mg/100g, Cd, Cu, Zn ppm

この報告にもとづいて昭和47年に茨城県公害技術センターにより、昭和46年と同一地点について試料を採取し分析が行われた結果、玄米中のCdは非汚染田0.22ppmに対し、調査地域の玄米は0.26~3.37ppmで、土壤汚染防止法に定められている汚染地域として指定されるCd濃度である1.0ppmを超えるものが2点検出された。この結果にもとづいて茨城県は昭和48年度において本地域の土壤改良を実施することを決定した。

昭和46年と47年の結果を比較すると、第3図のよう

に土壤中のCd濃度には大差ないが、玄米のCdは昭和47年がやや高い傾向がみられ、とくにNo3, 10の地点では著しく高いことが特徴的である。昭和47年は46年に比べてやや雨量が少なく、出穂後の土壤が酸化的に保たれたためと思われる⁶⁾。また、No3地点はとくに土壤が乾燥したといわれ、またNo10は凹地で伏流水がみられる土壤である。

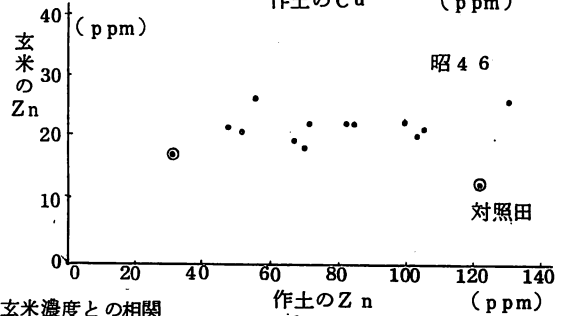
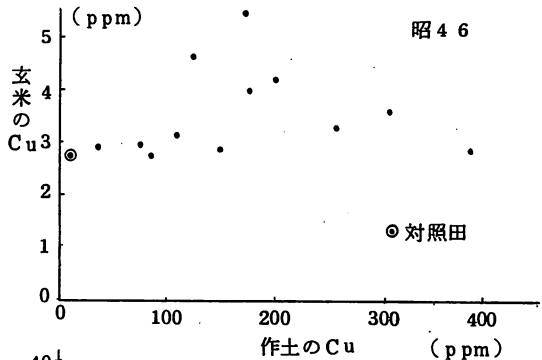
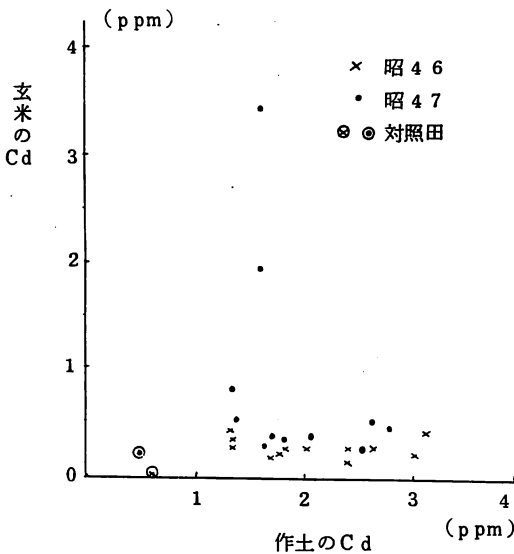
土壤の重金属汚染に関する調査研究



第3図 昭和46年と47年調査による土壌および玄米中Cd濃度の比較

つぎに、作土中の重金属濃度と玄米中のそれとの関係をみると、第4図のとおり、Cdではほとんど相関が認められないが、Cdが1.0 ppm以上の玄米が生産された地点は作土のCdは1.5 ppm以上のところである。Cuにつ

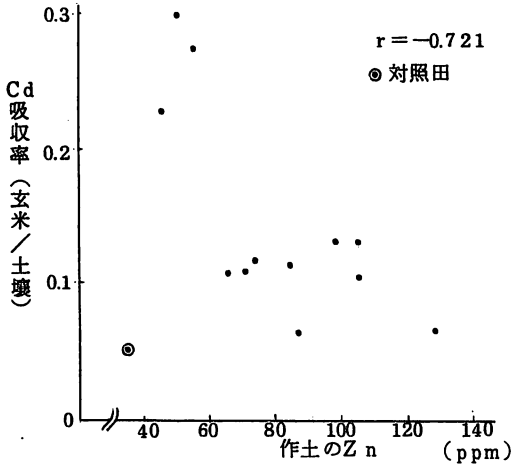
いてみると、作土のCuが200 ppmまでは玄米のCuも上昇するが、それ以上ではむしろ低下する傾向が認められる。Znでは相関が認められない。



第4図 作土濃度と玄米濃度との相関

しかしながら、土壌中のZn濃度とCd吸収率(玄米Cd濃度/土壌Cd濃度)との間には第5図のように負の相関係が認められた。水野⁷⁾によれば土壌中のCuおよびZn

濃度の増加はCd吸収率を低下させると報告しているが、本地区ではZnのみにこの関係が認められた。



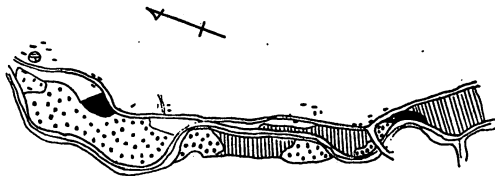
第5図 作土のZn濃度とCd吸収率との相関 (対照田は相関係数の計算から除外した)

3 地区内水田の土壌と重金属分布

昭和46, 47年の調査結果にもとづいて、カドミウム汚染田を土壌汚染防止法に準じて土壌汚染防止対策工事を実施することになった。それに先立って対策処方箋作成のための資料とするため、昭和48年3月本地区の水田の精査を行った。

1) 土壌の分布状況

第6図に示すように、本地区の水田土壌は3土壌に分類される。すなわち、塩子川流域には下層30cm以内から礫層が出現する河床型の礫層土壌砂土型が分布している。塩子川左岸には、県道茂木線に沿って塩子川との間に比高差1~1.5mの河岸段丘が発達しているが、そこに分布する水田は有効土層が1m以上の微砂~壤土の灰色土壌壤土型である。そしてこの段丘崖に沿って強グライ礫層土壌砂土型が分布し、その多くは伏流水の影響を受けた強湿田である。

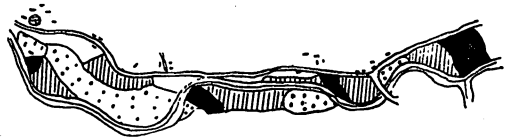


- 礫層土壌砂土型
- ▨ 灰色土壌壤土型
- 強グライ土壌砂土型

第6図 土壌類型

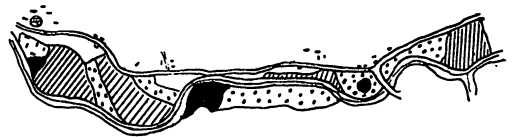
2) 地区内の重金属分布

作土中のCd, Cuの分布はそれぞれ第7, 8図に示すとおりである。これによれば、地区全体としてみると上流部が下流部に比べて必ずしも高濃度であるという傾向は認められない。これは上流部, 中流部, 下流部ごとに、それぞれ用水取入口を異にしているためであり、それぞれの部分についてみると、用水取入口に近い水田が高濃度であり、用水端部に近い水田ほど低い傾向が認められる。



- ▨ 1.0~1.5 ppm
- ▨ 1.5~2.0 ppm
- 2.0 ppm以上

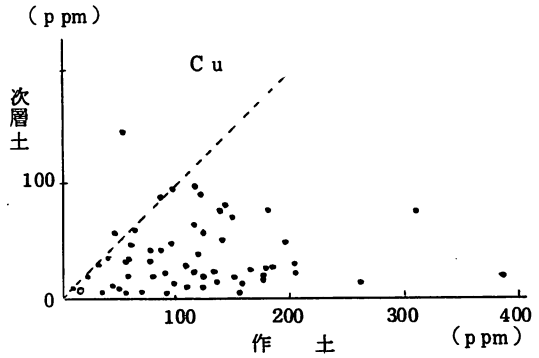
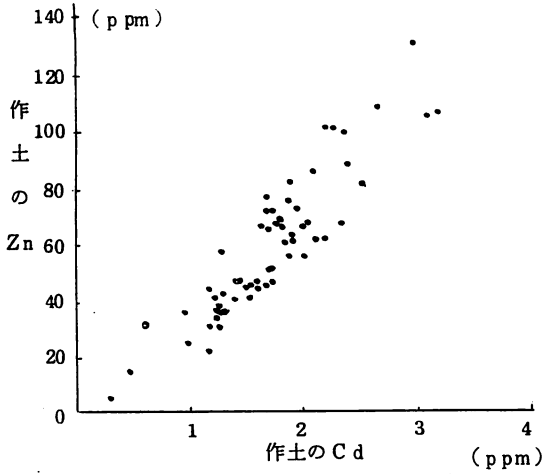
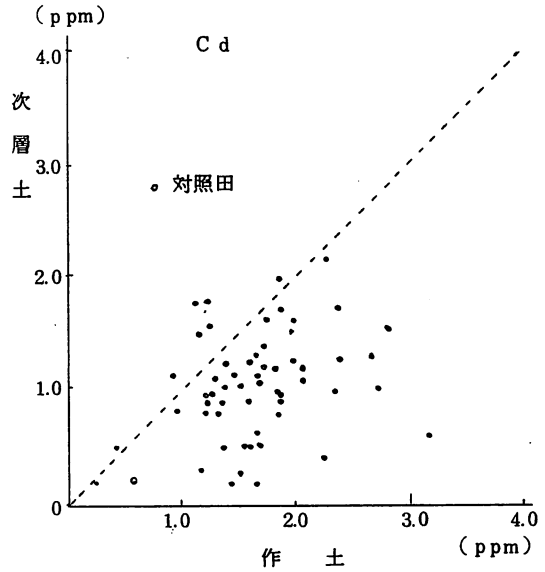
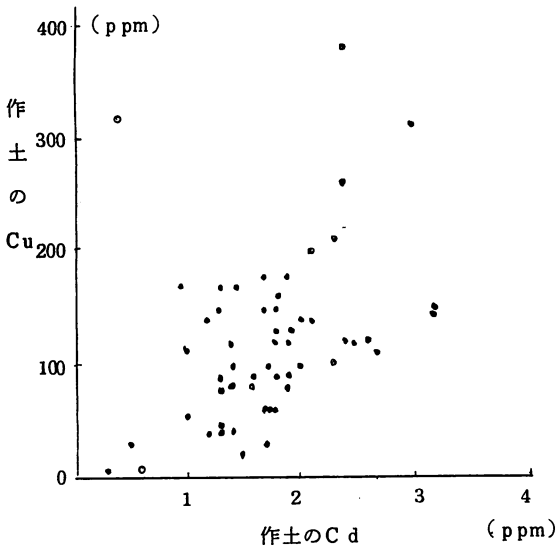
第7図 作土Cd濃度の分布



- ▨ 100 ppm未満
- ▨ 100~200 ppm
- 200 ppm以上

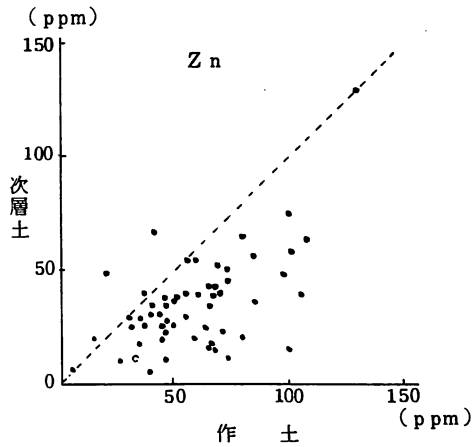
第8図 作土Cu濃度の分布

つぎに作土中の各重金属間の関係をみると、第9図のとおりCdとZnとは高い相関が認められるが、CdとCuとの相関は低い。これは後述するようにCuは水口部に多く集積するのに対し、Cdは水口, 水尻部で大差ないため、水田中央部から採取した試料では両者間に高い相関があらわれにくいものと思われる。

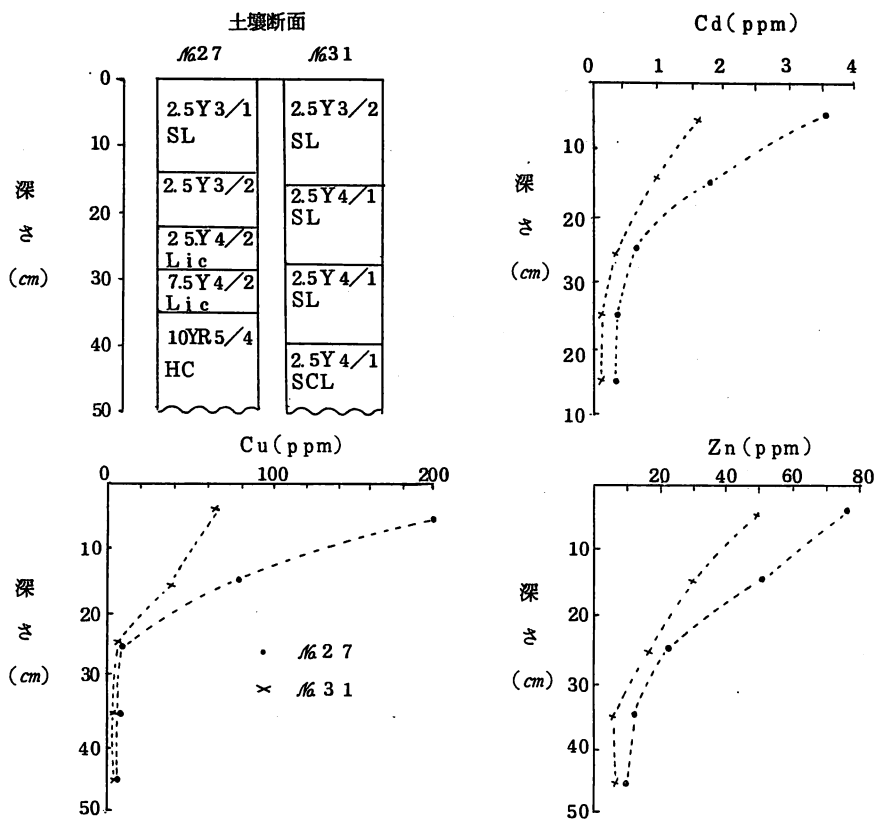


第9図 作土の重金属濃度の相互関係

水田土壌中における重金属の垂直的分布の様相を知るため、作土と次層土における重金属濃度の関係をみた。すなわち、第10図に示すように相関関係は認められないが、次層土/作土の濃度比はCd>Zn>Cuの順であり、Cuは下層への移動がもっとも小さいことを示している。さらに、下層への移動の状況を明らかにするために、精査時の2地点について地表から10cm間隔で採土した。測定濃度をその間隔の中心における濃度と考え、spline function⁸⁾をあてはめた。その結果第11図に示したようになめらかな曲線が得られ、下層への移動は上と同様にCd>Zn>Cuの順になることが認められた。



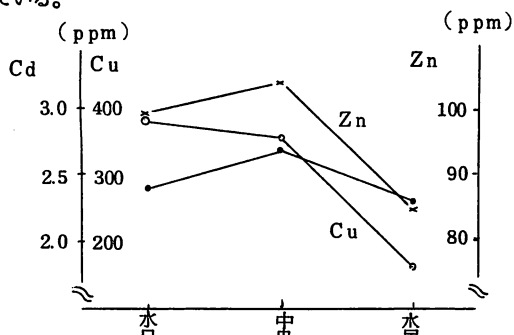
第10図 作土と次層土における重金属濃度の比較



第11図 重金属濃度の垂直分布に対する spline function のあてはめ

つぎに同一水田内における水平分布を知るために水口、中央および水尻部の作土と下層土の濃度を測定したが、その1例を第12図に称した。この場合も水尻方向への移動は $Cd > Zn > Cu$ の順に減少した。

以上のことからみて、垂直および水平方向への移動率は $Cd > Zn > Cu$ の順であり、鈴木ら⁹⁾の結果とも一致している。



第12図 同一水田内における重金属濃度の水平分布
細密調査 #6 の場合

3) 水質調査

第3表に示すとおり、高取川排水口では pH がやや低く、 SO_4 、 CaO 、 MgO および重金属濃度が明らかに高かった。とくに、Cd が検出されたのが特徴である。しかし、下流に至るにつれてこれらは希釈されて、高取川合流前の塩子川とはほぼ同様な水質になった。

第3表 水質調査 (ppm)

採水場所	pH	Cl	SO_4	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd
塩子川合流前(a)	6.7	10	20	6	3	0.4	0.02	0.00	0.01	0.00
高取川排水口(b)	5.8	12	100	40	10	2.1	1.82	0.85	1.04	0.06
塩子川郵便局前(c)	6.5	10	23	8	4	2.0	0.32	0.08	0.16	0.00
塩子川高田堰(d)	6.6	12	13	8	4	1.6	0.16	0.05	0.10	0.00

(a)~(d) 第1図参照

4 本地区の土壌汚染の特徴

上記の調査結果にみられるように、塩子地区の水田土壌は高取鉱山の排水中の重金属によって汚染され、水田の水口部分ではCuの蓄積による生育障害が認められ、さらに玄米中のCd濃度が高く、47年度では実に3.37ppmの高Cd濃度のものが生産された。しかしながら、このように高Cd濃度の玄米が生産された割には土壌中のCd濃度は他地区に比べて低く、この点において特徴的である。すなわち、すでに報告されている主要な汚染地のうち、安中⁰⁾、生野¹⁾、磐梯地区¹²⁾では土壌中のCd濃度が10ppm以上のものも少なくないが、その割には玄米中のCd濃度は1.0~1.5ppmの場合が多い。これに対して、イタイイタイ病が発生した神通川流域¹³⁾では土壌中のCdが0.2~4.5ppm(平均1.27ppm)で比較的低濃度であるにもかかわらず、高濃度(3ppm以上)の玄米も生産されており、塩子地区は神通川の場合と類似しているといえよう。

このように両者が類似している理由は、安中や磐梯地区が主として大気汚染によるのに対して、神通川流域や塩子地区が水質汚濁によるもののほかに、神通川と塩子地区では土壌条件がよく類似しているためと思われる。すなわち、両地区とも塩基置換容量が小さい砂壤土の礫質土壌が主であるため、土壌のCd吸着量は少ないが、漏水田であり落水による土壌の酸化が急速にすすみ、Cdの可給化が行われて水稲によるCd吸収が促進されたものと思われる。

さらに塩子地区の場合、漏水・冷地帯であるため、水口部分の冷水被害をいくらかでも少なくして登熟を促すように出穂直後に落水する習慣があり、また常習的な用水不足が早期落水を余儀なくしている。このような用水事情や管理の習慣が、土壌中のCdが比較的少ないにもかかわらず、玄米中の濃度を高めた1つの原因と考えられる。さらに、昭和47年のように降雨量が少ない年次にはこの傾向が一層大きくなるものと思われる。

したがって、本地区の汚染防止対策には、上記のような土壌の特徴を十分考慮して計画を作成する必要がある。

V 摘 要

七会村塩子地区の水田土壌が高取鉱山からの排水によって、カドミウム、銅および亜鉛によって汚染されていることが判明したので、その実態を調査した。その結果の要約

はつぎのとおりである。

1) 約15haの地区内には、礫層土壌壤土型、灰色土壌壤土型および強グライ土壌砂壤土型が分布し、前二者は漏水の大きい乾田であった。

2) 土壌中の重金属濃度は、カドミウムは1.3~3.2ppm、銅では33~385ppm、亜鉛は51~128ppmで、地区近傍の非汚染土壌中の濃度と比較した場合、いずれも高いことが認められた。

3) 重金属濃度の分布状況は、地区全体としてみた場合、河川の上流から下流への変化はみられず、それぞれの取水口付近で高い濃度を示した。

水平および垂直分布は、水口から水尻へ、作土から下層土へと進むにつれて減少し、いずれもカドミウム>亜鉛>銅の順であった。

4) 水質によると、高取川排水口ではpHが低く、SO₄CaO、MgOおよび重金属濃度が高いことが認められた。とくに、カドミウムは0.06ppmで水質基準値以上であった。

5) 水稲の生育は水口部で悪く、水尻部で回復することが認められた。水口部での不良の原因は、その一つに水温の低いことも関与しているが、とくに銅過剰の影響の大きいことが認められた。

6) 昭和46年度に実施した細密調査の結果、玄米中のカドミウム濃度は1.0ppmをこえるものは検出されなかったが、0.4ppmをこえるものが3点検出されたので、次年度以降の注意を指摘した。その指摘にもとづいて、県公害技術センターが、47年度に検査した結果、1.0ppmをこえる玄米が2点検出された。

7) 作土中の重金属濃度と玄米中の濃度との関係をみると、両者に相関は認められないが、玄米中のカドミウム濃度が1.0ppmをこえた地点の土壌中のカドミウム濃度は1.5ppmであった。また、玄米中の銅濃度は、土壌中の濃度が200ppmまでは増加し、それ以上ではむしろ低下した。亜鉛は両者間の関連は認められなかった。

8) カドミウムについて本地区の汚染の特徴をみると、土壌中の濃度が比較的低いにもかかわらず、高濃度(3.37ppm)の玄米が生産されたことであり、その理由について考察した。

参 考 文 献

- 1) 千歳鉱山株式会社高取鉱山(1973):高取鉱山

概況

- 2) 農林省(1971):農用地土壌汚染対策地域要件に係るカドミウムの量の検定の方法を定める省令
- 3) 農林水産技術会議(1971):土壌および作物体中の重金属の分析法
- 4) 茅野充男・北岸雄三(1966):重金属元素の過剰による水稻の被害に関する研究(第1報)銅, ニッケル, コバルト, 亜鉛およびマンガンの処理濃度を変えたときの水稻の生育, 土肥誌37, 342~347
- 5) 茨城県(1971):茨城県汚染防止対策細密調査報告(塩子地区)
- 6) 飯村康二(1972):土壌中のカドミウムの形態と水稻による吸収, 土肥誌要旨集, 18, 143
- 7) 水野直治・山上良明(1972):玄米中のカドミウム含量予測に関する一考察 土肥誌, 43, 383~387
- 8) K・T・ERH(1972):Application of Spline Function to Soil Science, Soil Sci, 114, 333~338
- 9) 鈴木正・吉田昭・東海林寛(1972):水田における重金属の水平および垂直分布について, 土肥誌要旨集, 18, II, 2
- 10) 群馬県農政部(1972):農用地の土壌の汚染防止等に関する法律に基づく事業実績・碓氷川流域・渡良瀬川流域
- 11) 兵庫県:公害防除特別土地改良事業計画概要表・生野鉦山周辺地区
- 12) 立谷寿雄, 館川洋・横木信行(1972):福島県における農作物および土壌の重金属汚染の実態(第1報)カドミウム含有量について, 福島農試研報, 10, 1~32
- 13) 富山県(1972):神通川流域土壌汚染細密調査区域およびその隣接地区の調査結果

土壌の重金属汚染に関する調査研究

第2報 日立周辺地区の重金属汚染の実態

石川 実・平山 力・津田公男・石川昌男

日立周辺地域の重金属（カドミウム、銅、亜鉛）汚染の実態を明らかにする目的で、細密調査をはじめとする一連の調査を行なった。

玄米中のカドミウム濃度と土壌中の同濃度との間には高い相関が認められた。

本地区の汚染は水田土壌のみならず、畑土壌および山林土壌も一様に汚染されていることが認められた。また、土壌中の濃度は、本地区の近くに位置する日立鉱業所より遠方になるにつれて低下した。

本地区の歴史的な背景および調査結果から、土壌汚染の種類ならびに汚染源について検討した。

I 緒 言

昭和46年度に農業試験場および公害技術センターとの共同で、茨城県内の重金属汚染、とくにカドミウムによる汚染のおそれのある地域について点検調査を行った。その地域の一つに、本報告の日立周辺地区が含まれていた。調査の結果は、1.0 ppm をこえる玄米は検出されなかったが、0.4 ppm をこえる玄米が認められた。

そこで、さらに詳しい実態を知るため、昭和47年度に土壌汚染防止法にもとづく細密調査を行った。その結果についてはすでに公表してあるが、この結果をふまえて、水田を中心とした土壌中の重金属濃度の分布状況をより詳しく知るために精密調査を行なったので、さきの細密調査結果とあわせて報告する。

本調査にあたっては、太田地区農業改良普及所、高萩地区農業改良普及所、日立市、十王町および十王町黒前農業協同組合のご協力を得たことに対して深く感謝いたします。

II 調査地区の概要

調査地区は、茨城県の北部に位置し、県下でも代表的な工業都市である日立市街地の北西4~6kmのところの山間地帯である。調査地区は、後出の第3図のとおりである。

地区内の水田は、標高200~400mの丘陵地の狭い谷底に分布する棚田状の水田で、約53ha分布する。農家一戸当たりの面積は、70~80aで少なく、収量は、10a当たり300~360kg程度である。産米の大部分は保有米とされている。用水は、前述のような地形から、大部分が天水依存で、一般に乏しく冷水である。

地区内の道路網は不備で、地区の北部をかすめて通る県道があるのみで、その他には、巾員2m程度の道路が数本

あるのみである。それも、起伏が多く曲折している。場所によっては、道路の全くない水田もある。

III 調査方法

1 土壌および玄米中の重金属調査

昭和47年8月~10月にわたって、土壌汚染防止法にもとづく細密調査を行なった。すなわち、2.5haに1点の割合で地区内の水田を対象に15地点を選定し、調査要領¹⁾にしたがって、水田の中央部から作土(0~15cm)および次層土(15~30cm)をそれぞれ2kg程度採取した。同時にその部分の水稻を、玄米にした場合、1kg以上確保するに十分な量を採取した。

このほか、48年3月6~7日にかけて、地区内の水田を対象とした応急対策ならびに恒久対策をたてる場合の基礎資料とする目的で、54地点を任意に選定し、土壌の種類別分布状況を調査するとともに、さきの調査要領に準じた方法で採土を行ない、土壌中の重金属濃度を測定した。また、参考として、畑土壌、山林土壌および畑作物を数地点より採取した。

2 水質調査

地区内の水質調査は、水稻栽培期間中の灌漑水を調査要領¹⁾にもとづいて7地点より8月18日に採水し、カドミウム、銅、亜鉛を測定した。

3 分析法

土壌、玄米および灌漑水の分析は土壌汚染防止法に定められたもので、前報²⁾に述べた方法によった。

IV 調査結果および考察

1 玄米, 水田土壌およびかんがい水中の重金属濃度

1) 玄米中の濃度

細密調査による玄米中の重金属濃度は第1表に示す。

カドミウムは0.45~3.33ppm, 平均1.07ppmであった。厚生省³⁾が, 当初, 判断の尺度として設定した0.4ppmは, いずれの地点においてもこえることが認められた。また, 汚染米とされる1.0ppmをこえるものは5地点で検

出され, なかでも2および3地点では2.0ppmをこえる高濃度であった。

銅の濃度は, 2.31~4.29ppmの範囲にあり, 平均3.06ppmであった。玄米中の銅濃度についての安全基準は設定されていないが, 農林省の所管のもとで各県農業試験場が行なっている概況調査⁴⁾の全国平均値は2.87ppmであり, 本地区内でこれをこえるものは9検体認められた。

亜鉛は1.432~1.878ppm, 平均1.655ppmであった。全国の平均値⁴⁾は1.895ppmであり, 本地区の玄米中の濃度は, いずれもこれより低いことが認められた。

第1表 細密調査(48年度)

区分	層位 (cm)	地点															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
玄米中の重 金属濃度	Cd ppm	—	1.60	2.35	3.33	0.73	0.54	0.59	0.88	1.20	0.69	0.55	1.22	0.73	0.45	0.64	0.51
	Cu "	—	2.83	4.29	3.47	3.00	2.57	3.56	2.87	3.51	3.09	2.49	3.04	3.21	2.91	2.70	2.31
	Zn "	—	15.27	18.78	15.94	14.46	14.32	16.35	17.02	16.21	16.48	15.94	18.64	17.56	17.16	17.97	16.08
上 壤 中 の 重 金 属 濃 度	Cd ppm	0-15	1.1	2.7	3.9	2.1	1.7	1.1	1.5	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	1.0	0.8
		15-30	1.1	2.8	3.3	2.3	1.7	0.7	1.3	0.8	0.6	0.5	0.9	0.8	0.6	0.9	0.5
	Cu "	0-15	35.4	46.6	55.9	26.3	23.0	20.6	13.2	10.7	11.7	7.7	15.1	14.9	13.1	12.0	30.4
		15-30	29.7	51.1	50.0	26.1	22.1	17.2	10.8	9.4	9.1	6.8	14.3	13.9	10.7	10.1	27.3
	Zn "	0-15	26.8	26.8	36.7	17.6	13.7	11.0	17.1	11.3	9.5	8.3	16.8	13.9	10.7	17.0	16.1
		15-30	15.3	25.3	34.0	16.3	12.5	8.1	11.7	10.2	6.5	8.1	16.2	13.6	7.7	14.2	13.6
上 壤 の 理 化 学 的 性 質	pH(H ₂ O)	0-15	6.2	5.7	5.8	6.0	5.9	6.1	6.3	5.9	6.0	6.2	5.9	5.8	5.7	5.6	5.8
		15-30	6.2	6.0	5.9	6.2	5.9	6.3	6.2	5.8	6.0	6.1	6.0	6.0	5.9	5.8	6.0
	CEC me	0-15	16.4	18.5	14.8	15.4	15.4	14.9	18.5	21.0	18.4	19.5	19.0	19.1	16.5	22.3	16.5
		15-30	16.8	19.2	14.8	16.5	14.8	14.4	17.4	20.2	18.0	18.2	19.0	18.9	16.7	21.9	12.2
	CaO %/100g	0-15	114.1	105.0	127.0	160.0	103.0	129.0	168.0	116.0	102.0	117.0	83.0	104.0	97.0	117.0	91.0
		15-30	114.0	124.2	159.0	168.2	96.0	140.0	134.0	104.0	115.0	110.1	77.0	103.0	98.1	99.2	106.0
	MgO "	0-15	14.1	10.5	14.0	29.5	13.5	9.0	29.0	10.3	7.7	9.1	11.5	11.7	12.8	18.8	10.3
		15-30	10.2	13.0	16.5	32.1	12.0	10.2	30.6	8.4	9.7	8.4	9.1	14.1	11.7	14.4	9.4
	K ₂ O "	0-15	45.1	20.6	6.4	6.5	11.6	9.7	80.5	7.7	21.6	20.8	14.1	32.5	12.9	13.0	20.6
		15-30	20.2	13.0	6.4	20.6	44.6	31.8	6.4	35.7	6.5	33.8	32.2	33.5	19.4	32.8	7.5
	Na ₂ O "	0-15	23.8	18.6	5.7	5.2	4.5	6.5	12.8	6.5	9.6	14.9	7.1	15.0	3.2	4.6	12.9
		15-30	14.0	6.5	5.1	10.9	10.2	10.2	5.7	3.9	5.8	18.2	14.2	10.9	7.2	9.2	7.5

2) 水田土壌中の濃度

細密調査による土壌中の濃度は第1表に示すとおりであるが, 精密調査結果と併せた地区全体の濃度をみると, カドミウムは, 0.57~5.10ppmの範囲にあり, 平均1.72ppmであった。銅では, 6.8~80.5ppm, 平均19.6ppmであり, 亜鉛は5.5~80.0ppm, 平均16.6ppmであった。

さきの概況調査の水田土壌の全国平均値は, カドミウム

は0.35ppm, 銅は7.41ppm, 亜鉛は11.98ppmであり, 本地区でこれをこえるものは, カドミウムでは100%, 銅では98%, 亜鉛70%であった。なお銅の場合, 土壌汚染防止法にもとづく基準値である125ppmよりは低い値であった。

3) 土壌中(作土)の濃度と玄米中の濃度との関係

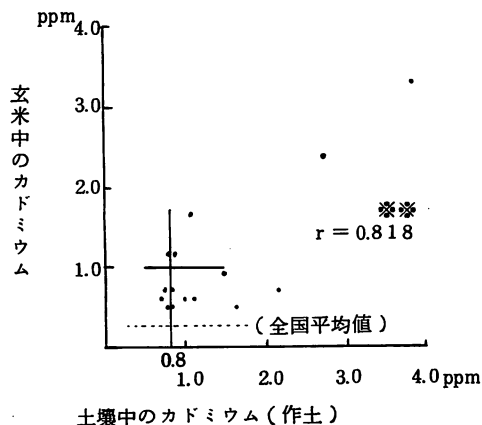
細密調査の結果から, 両者間の関係をカドミウムについ

土壤の重金属汚染に関する調査研究（第2報）

て示せば第1図のとおりである。

本図からも明らかなように、土壤中の濃度が0.8ppm以上の場合に1.0ppmをこえる玄米が生産されることが認められ、また、土壤中の濃度と玄米中の濃度との間には高い相関を示した。

銅および亜鉛についての図示は省略したが、銅では両者間にやや有意な関係（ $r = 0.416$ ）がうかがわれた。亜鉛では両者間の関連は認められなかった。



第1図 土壤と玄米中のカドミウム濃度との関係

4) かんがい水中の濃度

カドミウムは0.00ppmで検出されなかった。銅は0.00~0.07ppm、亜鉛は0.01~0.03ppmで、農薬用水質基準

値⁵⁾と対比して問題のないことが認められた。

2 水田土壤型および重金属濃度

地区内には、灰色土壤、礫質土壤、グライ土壤、礫層土壤および黒色土壤の5種類の土壤が分布し、土性は本地域一帯の基岩である花崗岩の影響をうけて砂壤土である。

土壤の分布割合は第3表のとおりである。これによれば、灰色土壤、礫質土壤およびグライ土壤の3種で全体の約90%を占めることが認められ、これらは本地区に分布する代表的な土壤であるといえよう。

第3表 土壤型別分布面積

項目 土壤型	分布面積	比率
灰色土壤壤土型	16.5 ha	44
礫質土壤 "	10.0	27
グライ土壤 "	8.3	22
礫層土壤 "	1.9	5
黒色土壤 "	0.8	2

この3種の土壤について、土壤型別の重金属濃度をみると、第4表に示すとおりである。各重金属の平均濃度は、土壤の種類により異なるが、いずれの場合も変異係数は大きく、土壤間の差異は認められなかった。

第4表 土壤型別の重金属濃度

項目 土壤型	(乾土)								点 数
	pH(KCl)		カドミウム(ppm)		銅(ppm)		亜鉛(ppm)		
	作土	次層土	作土	次層土	作土	次層土	作土	次層土	
灰色土壤壤土型	4.57±0.23 (5.0)	4.63±0.24 (5.2)	1.3±0.7 (53.8)	0.7±0.5 (71.4)	20.2±15.8 (78.2)	11.2±7.9 (70.5)	14.9±8.4 (56.4)	6.5±6.1 (93.9)	17
礫質土壤 "	4.57±0.14 (3.1)	4.66±0.13 (2.8)	1.3±0.5 (38.5)	0.7±0.5 (71.4)	16.8±4.7 (28.0)	8.4±5.2 (61.9)	13.5±3.9 (28.9)	5.3±3.5 (66.0)	9
グライ土壤 "	4.53±0.35 (77.3)	4.62±0.21 (45.5)	1.9±1.3 (68.4)	1.0±0.6 (60.0)	20.9±21.6 (103.4)	10.9±7.3 (67.0)	24.8±20.2 (81.5)	14.8±7.9 (55.4)	10

作土=0-15m, 次層土=15-30cm

()は変異係数を示す。

3 水田土壌中の重金属濃度分布状況

1) 地域的分布状況

作土のカドミウム濃度の分布状況は第3図に示す。さきに述べたように、本地区では、土壌中に0.8 ppm以上のカドミウムがある場合に1.0 ppm以上の玄米が生産されている。そこで本図は、土壌中のカドミウム濃度0.8 ppmを基準にとり、0.5 ppm間隔で5段階に区分し、当地区の汚染源と思われる日立鉱業所を起点として、1 km間隔の同心円をえがいたものである。

本図からも明らかのように、半径1~2 km圏内の地点はすべて2.31 ppm以上のA区分に属することが認められた。なお、この圏内の最高濃度は5.10 ppmであった。

2~3 km圏内になると、A区分に属するものは認められず、B、CおよびD区分に属するものがほぼ均等に出現している。しかし、詳細にみると、東部に位置する水田は高い濃度を示し、西部に位置する水田ほど濃度は低下する傾向がうかがわれた。

3~4 km圏内になると、B区分に属する地点さえも認められず、D区分に属する地点が半数以上を占め、E区分に属する地点が出現した。

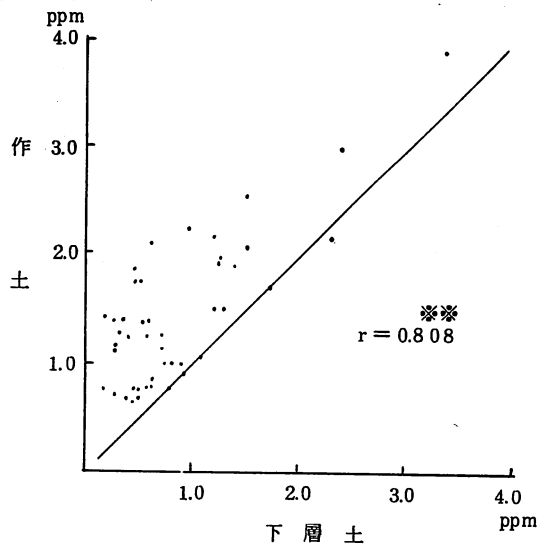
4 km以上の圏内になると、濃度はさらに低下し、DおよびE区分のみとなり、E区分の比率が高まることが認められた。

銅および亜鉛については、1.0 ppm間隔で4段階に区分して検討した。その分布状況図は省略するが、その結果の概要は、2 km圏内の銅濃度は46.5~80.5 ppm、亜鉛濃度は24.0~80.0 ppmで、他の圏内の濃度より高いことが認められた。2 km以上では、カドミウムの場合ほど明瞭ではないが、ほぼ同様の傾向が認められた。

2) カドミウム濃度の垂直および水平分布

垂直分布は、作土に多く下層土では減少する。減少の程度は場所により異なるが、第4図に示すように、作土の濃度と下層土の濃度との間には高い相関のあることが認められた。

この場合の深さは30 cmまでであるが、より深い位置まで測定した一例を示せば第5表のとおりである。これによれば、表層部ほど高濃度であり、20 cm以下は自然状態であることがうかがわれた。



第4図 作土および下層土のカドミウム濃度

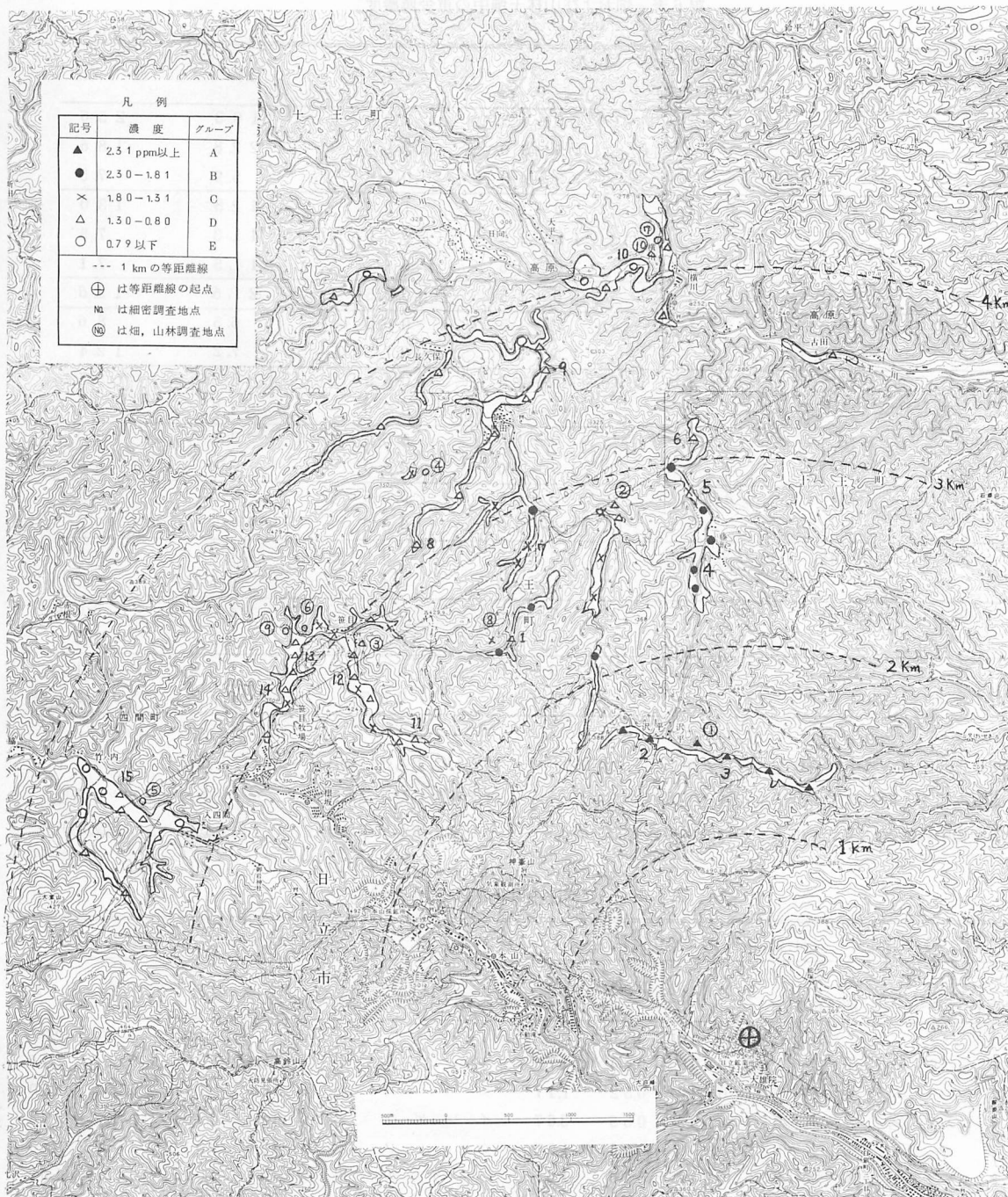
第5表 カドミウムの垂直および水平分布 (ppm)

深さ cm	A垂直場分の布	水平分布			
		Aほ場		Bほ場	
		水口	水尻	水口	水尻
0-10	1.60	1.65	1.60	1.60	1.70
10-20	1.20				
20-30	0.25				
30-40	0.20				
40-50	0.20				

水平分布は、水口部分も水尻部分も大差のない濃度を示した。水質による汚染の場合は、水口部分で高濃度を示し、水尻部分で低下するのが一般的であるが、本地区ではそのような差は認められなかった。また、さきのにべた水質からも明らかのように、水質による汚染は考えられない。

4 畑土壌、山林土壌および畑作物中の重金属濃度

畑土壌および山林土壌中の重金属濃度は第6表に示す。カドミウムでは0.55~3.00 ppm、銅は1.8~21.5 ppm、亜鉛は8.5~25.6 ppmの範囲にあった。これらを畑土壌中の全国平均値⁴⁾(カドミウム0.26 ppm、銅2.82 ppm、亜鉛9.46 ppm)と比較した場合、カドミウムはい



第 3 図 作土のカドミウム濃度分布状況

いずれも平均値以上であった。銅および亜鉛では、平均値以上を示す地点も認められた。

第6表 畑および山林土壌中の重金属濃度

(ppm)						
地点No	地目	鉱業所よりの 距離圏 (Km)	深 さ cm	カドミウム	銅	亜 鉛
①	畑	1~2	0-15	3.00	19.3	25.6
			15-30	2.14	22.8	18.6
			30-40	0.75	5.9	7.5
②	畑	2~3	0-15	1.20	12.8	13.0
			15-30	0.90	11.3	7.5
			30-45	0.85	11.5	7.1
③	畑	2~3	0-15	0.85	21.5	12.6
④	畑	3~4	0-15	0.60	6.5	8.6
			15-30	0.75	7.2	12.4
⑤	畑	3~4	0-15	0.65	8.8	8.5
			15-30	0.20	24.0	4.0
⑥	畑	3~4	0-15	0.55	3.9	6.0
			15-30	0.60	3.8	5.5
⑦	畑	4以上	0-15	0.55	2.4	8.5
			15-30	0.60	1.5	9.6
⑧	山林	2~3	0-15	1.45	1.8	15.5
			15-30	0.40	0.6	8.5
⑨	山林	3~4	0-15	0.50	4.0	8.0
			15-30	0.20	0.5	1.5
⑩	山林	4以上	0-15	0.85	6.0	12.1
			15-30	0.85	2.5	10.2

畑および山林土壌中の濃度を、日立鉱業所からの距離的關係でみると、同鉱業所に近い地点ほど高濃度であった。畑作物中の濃度は第7表に示す。作物中の濃度を、概況

調査⁴⁾による畑作物中の平均濃度と比較してみると、十王町で採取したナスおよびジャガイモ中のカドミウム濃度がやや高い値を示すほかは、いずれも低いことが認められた。

第7表 畑作物中の重金属濃度(現物)

採 取 場 所 日 立 市 入 四 間 町 字 笹 目						採 取 場 所 十 王 町 大 字 高 原 字 沢 平					
作物名	項目 測定 部位	水分 %	カドミウム ppm	銅 ppm	亜鉛 ppm	作物名	項目 測定 部位	水分 %	カドミウム ppm	銅 ppm	亜鉛 ppm
ナス	果実	93.1	0.090	0.32	1.17	ナス	果実	95.1	0.140	0.75	1.50
インゲン	さや実	92.7	0.005	0.55	3.67	インゲン	さや実	91.4	0.009	0.70	5.33
プラム	果実	88.9	0.000	0.56	1.50	シソ	葉身	82.6	0.010	4.50	5.50
タマネギ	鱗茎	93.5	0.041	0.15	1.65	スイカ	果肉	93.4	0.005	0.49	1.65
						ジャガイモ	塊茎	84.9	0.074	1.45	3.67
※ 畑作物中の平均値			0.05	3.23	13.84	※ 畑作物中の平均値			0.05	3.23	13.84

※印は概況調査による全国平均値である。

5 汚染の種類および汚染源

日立鉱山煙害史⁶⁾によれば、明治40年に煙害が入四間村(現在日立市入四間町)の農作物や林木におよび、翌41年には多賀郡黒前村(現在十王町)、豊浦村、日立村(以上、現在日立市)などの各村に広がっている。被害を受けた町村は、大正3年には3町30カ村となっている。一方、明治42年、政府に設置された「鉱毒予防調査会」は当地の煙害を調査し、煙害は亜硫酸ガスと煙じんであると結論づけている。そして、亜硫酸ガスは濃度を稀釈するために多量の空気を送入して排出すべきこと、煙じんは煙道中で採取することを指示している。

この煙害史よりみれば、今回の調査範囲はかつての煙害被害区域内にあることが認められる。そして、汚染状況調査結果は水田土壌のみならず、畑土壌も、山林土壌も一様に汚染されていることが認められた。このことは、本地区の汚染は大気汚染によることを立証しているといえよう。

日立鉱業所を起点として、同心円をえがいた場合の土壌中の重金属濃度は、同鉱業所より遠方になるほど低下することが認められた。

したがって、本地区の汚染は前述のような歴史的な背景および調査結果からも明らかなように、大気汚染に起因する土壌汚染であり、汚染源は日立鉱業所の排煙であると考えられる。

V 要 約

日立周辺地域の重金属による汚染の実態を明らかにする目的で、本調査を実施した。結果の概要はつぎのとおりである。

1) 細密調査の結果、1.0 ppm 以上のカドミウムをこえる玄米が5点検出された。本地区では、土壌中のカドミ

ウム濃度が0.8 ppm以上の場合に、1.0 ppmをこえる玄米が生産され、また土壌中の濃度との間には高い相関が認められた。

銅および亜鉛は、土壌中の濃度と玄米中の濃度との関連は明瞭でなかった。

2) 地区内に分布する水田土壌型は、灰色土壌、礫質土壌およびグライ土壌が主で、土性はいずれも砂質壤土であった。

これらの土壌間の重金属濃度差は認められなかった。

3) 日立鉱業所を起点として、1 Km間隔の同心円をえがいた場合、2 Km圏内の土壌中の重金属濃度もっとも高く、起点より遠方になるにしたがって低下する傾向を示した。

4) 地区内の夏畑作物数種について、重金属濃度を測定した結果、一部の作物において、やや高い濃度のカドミウムが検出された。

参 考 文 献

- 1) 農林省：農用地土壌汚染対策地域要件に係るカドミウムの量の検定の方法を定める省令(1971)
- 2) 石川昌男・他：土壌の重金属汚染に関する研究(第1報)・茨城農試研報 第15号(1974)121~130
- 3) 環境庁土壌農薬課編：土壌汚染 158 白亜書房(1973)
- 4) 土壌汚染防止対策調査成績書：土壌保全対策資料38号 農林省農政局
- 5) 環境庁土壌農薬課編：水質汚濁 上巻 白亜書房(1973)
- 6) 公害白書：茨城県 204~210 (1970)

土壌の重金属汚染に関する研究

第3報 水稻登熟過程における米のカドミウム、銅およびマンガン濃度の変化

津田公男・石川昌男・石川 実
飛田 勇*・黒沢正義**

日立鉱山周辺のカドミウム汚染田において、採取時期のちがいによる米のカドミウム、銅およびマンガンの濃度の差異を、登熟期間中の米への移行蓄積、屑米混入ならびに個体変動の観点から検討した。

(1) 出穂後30日以降で屑米混入率が10~15%以下の時期ならば、採取時期による精玄米の重金属濃度の変化は小さいので、この時期以後に試料を採取することが望ましい。

(2) 屑米の混入によって分析試料の重金属濃度はほぼ確実に上昇するから、試料の選別規格を一定にする必要がある。

I 緒 言

カドミウム(Cd)濃度が1.0ppm以上の玄米は「食品衛生法第7条」によって販売が禁止されるとともに、それを生産した農耕地は原則として「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」によって「対策地域」に指定される。このように玄米のCd濃度によって法的措置が講じられるため、「農用地の土壌汚染対策地域の指定要件に係るカドミウムの量の検定の方法を定める農林省令」で定められた試料の採取、調整および分析法を遵守する必要がある。

ところで、調査分析を進める上でいくつかの実際的な問題に直面することがある。例えばその1つは試料の採取時期の問題である。すなわち、出穂時前後におけるCd給与または落水処理が水稻玄米のCd濃度を著しく高めることが知られているため^{1,2,3,4}採取時期の早晚によっても玄米Cd濃度に差異がもたされる可能性がある。

また、水稻採取時期の問題は屑米混入と密接に関係する。すなわち、採取時期が早いほど屑米の混入割合は高い。Cd

は糠層に多く含まれるため⁵、糠層の割合の高い屑米の混入割合の増大とともにCd濃度が高まることが考えられる。このことは玄米選別の精粗とも関係し、農家の保有米分析の際には重大な意味をもつ。

本報告はCd汚染田において、出穂期以後の米のCd濃度の変化を追跡した結果をもとに、採取時期について調査分析のための実際的な知見を得ようとするものである。なお、Cdとともに銅(Cu)およびマンガン(Mn)についても併せて検討を加えた。

II 材料および方法

1 供試材料

昭和47年の土壌汚染防止対策細密調査によってCd汚染が明らかになった日本鉱業KK日立鉱山周辺⁶の3カ所の水田から、出穂期以後約1カ月半数回にわたって水稻体3~5株採取した。第1表に採取場所および作土の化学性を示す。

第1表 採取場所および作土の化学性

(昭和48年5月11日採土)

場 所 耕作者	(略号)	土 壤 型	土 性	pH		N-NH ₄ Ac (pH7)		0.1N-HCl 抽出		
				H ₂ O	KCl	抽出(mg/100g乾土)	CaO	MgO	Cd	Cu
十王町 高 原 字 沢 平 椎 名 克 己(沢平A)		礫 質 土 壤	L	5.9	4.7	105	31	3.6	5.3	7.0
十王町 高 原 字 沢 平 田 所 保 司(沢平B)		礫 層 土 壤	L	5.6	4.3	61	24	2.6	4.4	3.9
日立市 入 四 間 町 笹 目 大 高 広 中(笹 目)		灰色 土 壤 壤 土 型	L	5.2	4.1	51	34	1.1	1.3	1.4

* 高萩地区農業改良普及所

** 常陸太田地区農業改良普及所

本地域は山間地の棚田であり、用水量が乏しい上に漏水が大きく、さらに冷水かんがいと日照時間不足のため一般に低収である。大部分の水田土壌は花崗岩を母材とし、一部においては火山灰の混入も認められる。土性はおおむね粗粒～中粒質である。沢平Aおよび沢平Bにおいては地表下30cm頃から砂礫層が出現するが、笹目では有効土層は1m以上で厚い。

細密調査結果にもとづいて昭和48年には本地域一帯に珪カルおよび榕リンなどの改良資材の施用ならびに漏水防止のためのビニール畦畔の埋設などがおこなわれたが、試料採取水田だけはこれらの対策を講ぜず、従来からの慣行栽培を実施した。第2表に供試品種および栽培管理実施期日を示す。

第2表 品種および栽培管理実施期日

場所	品種	移植	(月/日)		
			出穂期	落水	刈取り
沢平A	トドロキワセ	6/1	8/14	8/28	9/20
沢平B	コシヒカリ	6/4	8/20	8/28	9/28
笹目	トドロキワセ	5/27	8/20	8/30	9/27

2 登熟度調査

時期別に採取した水稻体をガラス室内で風乾し調査に供した。穂数は各稲株全部を用いて調査し、1穂もみ数および1穂もみ重は各稲株からランダムに20本抜き出して調査をおこなった。さらに、そのもみについて比重1.06の塩水選をおこない登熟歩合を求めた。

米の粒厚分布は20本の穂を取り除いた各稲株の残りの

穂全部の米について縦目振とうふるいによって粒厚1.8mm以上、1.8～1.6mmおよび1.6mm未満に選別して求めた。なお、農林省統計調査部では従来から粒厚1.7mm以上を上玄米としているが、1.7mmのふるい上には肉眼的に屑米の混入が認められたので、重金属濃度の差異を明瞭にするため上のように選別した。ここでは、3段階に選別した玄米を便宜的に以後それぞれ上米、中米および下米とよぶこととする。

3 分析方法

粒厚調査に用いた各米をステンレス製のコーヒー・ミラーで細粉した。笹目の2例だけは各粒厚米を別々に分析したが、それ以外は上米と粒厚分布調査結果をもとに各粒厚の米を人為的に混合して作成した非選別米とを分析に供した。

細粉試料を硝酸・過塩素酸・硫酸によって加熱分解し、塩酸で溶解して分解液をつくった。CuおよびMnはこれを直接原子吸光計にかけて測定したが、CdはAPDC-MIBK抽出後に同様に測定した。⁷⁾

III 結果および考察

1 登熟度

第3表に登熟度調査結果を示す。3カ所の水田とも穂数および1穂もみ数と栽培時期との間には一定の関係は認められないが、1穂もみ重、登熟歩合(もみ重、もみ数)および上米割合においては、採取時期が遅くなるほど明らかに増大した。下米割合は逆に後期に至るほど低下し、中米割合は採取初期と後期で低く中期においてやや高まる傾向を示した。

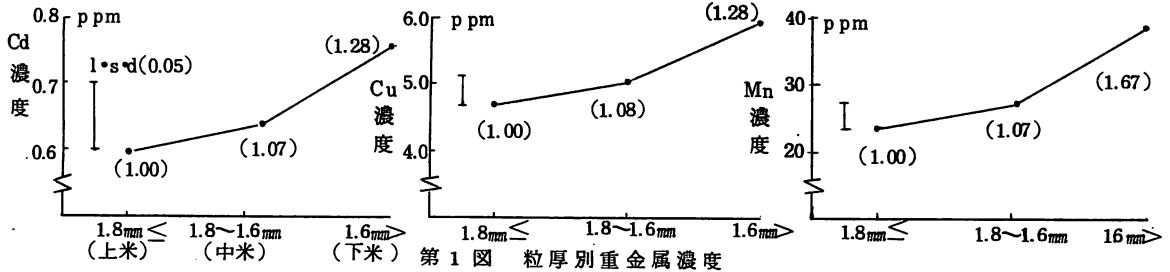
第3表 供試水稻の登熟度

場所	採取期 日(月/日)	出穂期 後日数(日)	穂数 (本/株)	もみ数 (1穂)	もみ重 (g/穂)	登熟歩合(%)		米粒厚分布(重量%)		
						もみ数	もみ重	1.8mm ≤	1.8～1.6mm	1.6mm >
沢平A	8/27	13	10.7	70.0	0.81	0.0	0.0	5.4	18.9	75.7
	8/31	17	16.3	78.8	1.06	1.35	26.9	29.6	38.8	31.6
	9/6	23	16.0	82.1	1.21	46.7	56.0	66.2	18.8	15.0
	9/10	27	17.0	81.3	1.31	50.6	70.2	79.6	1.28	7.6
	9/17	34	15.7	66.8	1.22	63.6	82.0	94.3	3.9	1.8
	9/27	44	19.3	76.8	1.63	76.6	90.2	94.5	3.7	1.8
沢平B	8/31	11	14.0	55.4	0.41	0.0	0.0	2.8	8.3	88.9
	9/6	17	11.7	73.8	1.05	22.3	29.8	44.4	13.3	42.3
	9/10	21	11.0	73.8	1.25	31.3	40.8	43.8	23.4	32.8
	9/17	28	14.3	71.1	1.44	64.6	76.7	67.7	20.9	11.4
	9/20	31	13.3	71.2	1.38	65.1	75.4	78.4	13.5	8.1
	9/27	38	14.0	63.2	1.37	76.0	86.8	88.0	7.8	4.2
	10/4	45	15.3	65.3	1.43	82.2	89.8	84.9	9.9	5.2
笹目	8/28	8	23.7	58.5	0.63	0.0	0.0	2.8	17.2	80.0
	9/3	14	18.0	69.4	1.06	36.1	39.6	43.4	27.4	29.2
	9/8	19	19.7	64.8	1.14	47.5	65.8	69.8	16.3	13.9
	9/13	24	19.3	61.2	1.26	65.8	79.7	83.6	10.1	6.3
	9/20	31								
	9/27	38								

2 米中重金属濃度

米の粒厚別重金属濃度を第1図に示す。いずれの重金属も粒厚が小さくなるほど濃度は上昇する傾向が認められた。統計的には、Cdにおいては下米と上米および中米との間

に有意差が認められたが、CuおよびMnにおいてはさらに上米と中米との間にも有意差があった。また、上米に対する中米の濃度比はいずれの重金属もほぼ等しかったが、下米のそれではCdとCuは等しくMnでは著しく高かった。

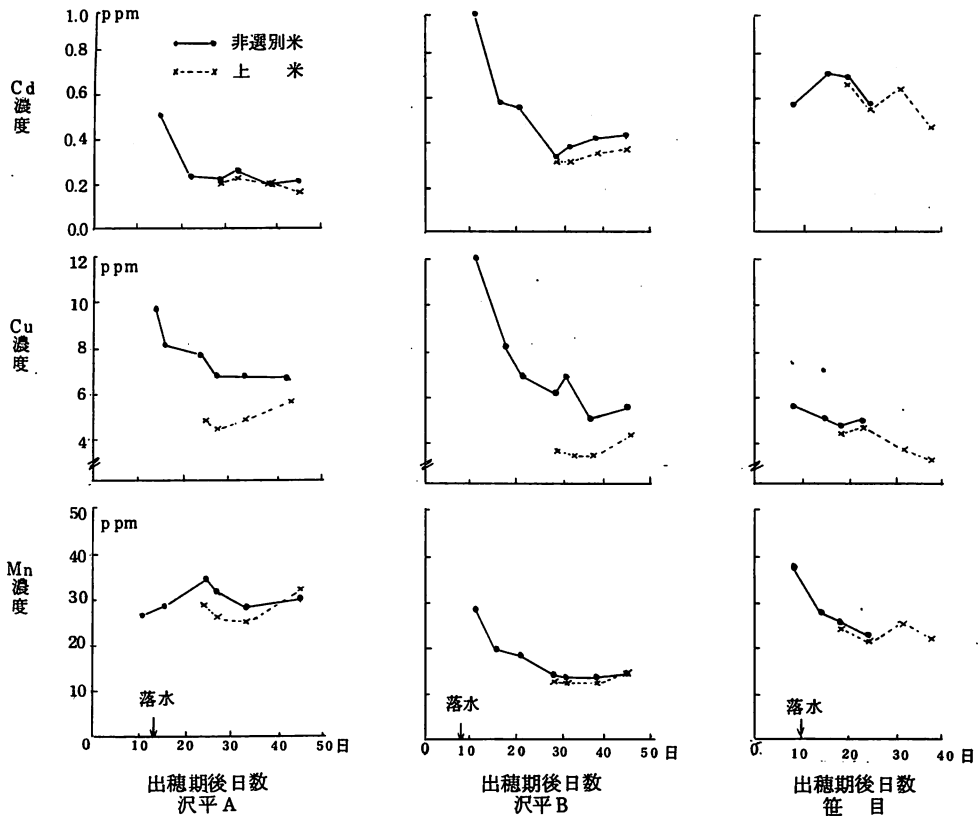


第1図 粒厚別重金属濃度

笹目における9月8日, 13日採取の平均値を示す。カッコ内の数字は上米を1.00としたときの比を示す。

第2図に非選別米と上米の採取時期別重金属濃度を示す。非選別米においては笹目のCdおよび沢平AのMnを除いて採取時期が遅れるほど濃度低下の傾向が認められた。こ

れは第4表に示した下米混入率と重金属濃度との相関係数から、下米混入率の低下が濃度低下をもたらしたものと推定される。



第2図 時期別の非選別米および上米の重金属濃度の変化

第4表 下米混入率と非選別米重金属濃度との相関係数

場 所	非 選 別 米 重 金 属		
	Cd	Cu	Mn
沢平A	0.933 **	0.982 **	-0.616
沢平B	0.930 **	0.969 **	0.993 **
笹目	-0.311	0.990 **	0.992 **

** 1%水準有意

上米においてはいずれの採取水田とも採取時期と重金属濃度とに一定の関係は認められなかった。

つぎに、採取時期の対応する非選別米と上米との重金属濃度を比較すると、3カ所の採取水田の平均濃度差はCd 0.04 ppm, Cu 1.69 ppm, Mn 2.50 ppmであり、前者が有意に高かった ($\alpha = 0.05$)。また、濃度差と採取時期との相関係数はいずれも有意でなく(図表省略)非選別米は上米よりも登熟期間全体として平均的に高濃度であることを示した。

第5表に土壌、非選別米および上米の変動係数を示す。米の場合は採取時期の変動であり、下米混入の差異によって濃度が変化する非選別米は上米よりもその値が大きいことは十分予想されるが、下米混入率と濃度とに相関関係が認められなかった沢平のMnおよび笹目のCdでは非選別米はむしろ上米よりも変動係数が小さかった。

第5表 土壌、非選別米および上米重金属濃度の変動係数 (%)

場 所	土 壌 *			非選別米			上 米		
	Cd	Cu	Mn	Cd	Cu	Mn	Cd	Cu	Mn
沢平A	4	8	32	47	17	10	15	9	13
沢平B				44	33	30	11	12	7
笹目	12	11	9	10	7	22	14	9	7

* 作土4カ所採取によって求めた。但し、沢平Bでは2カ所から採取したので、変動係数は求めなかった。

3 考 察

本調査は出穂期以後における米の中のCd, CuおよびMn濃度の変化を追跡したもので、得られた結果をもとに水稻の試料採取時期についての知見を得ようとしたものである。

試料採取時期による米の重金属濃度の変化は(1) 屑米の混入、(2) 登熟期間における重金属の玄米への移行程度、(3) 採取株のちがい(個体変動)などに支配されると考え

られる。

まず屑米の混入の影響についてみれば、下米混入率と重金属濃度との間に正の相関が認められたが(第4表)、これは未熟粒の混入によってCd濃度が高まったという報告⁸⁾と一致する。

一般に重金属は胚乳よりも糠に多く分布するため、糠割合の高い屑米において重金属濃度の高いことが考えられる。粒重の小さい米および青米は普通米よりもCd濃度が高いという報告⁵⁾もあるが、本調査によればCdのみならずCu, Mnも同様の傾向が認められた(第1図)。また元素間の比較では、MnはCdよりも白米/玄米濃度比が小さく⁹⁾糠/玄米濃度比が大きい¹⁰⁾とされているが、本調査においても下米/上米濃度比はCd, CuよりもMnで高く、糠層にMnがとくに集積していることを示している。

以上のようなことから、採取時期によるCd濃度の変化について検討する場合には、屑米を除いた精玄米について比較するのが妥当と考えられる。

つぎに登熟期間における重金属の玄米への移行程度についてみると、水稻のCd吸収は出穂期前後におけるCd給与または落水処理によって著しく高まり、それ以後の処理の影響は小さいとされている。^{3,4)}また茅野¹⁾はRI技法を用いて水稻にCdを短時間吸収させ、吸収直後に玄米の分析を行ったところ、出穂後10日目の処理におけるCd濃度が最大で、以後次第に低下することを認めた。これらのことから考えれば、出穂後日数が経過すれば、玄米中の重金属濃度の変動が小さくなるものと思われる。

本調査においては、出穂後10~15日に相当する落水前後の下米混入率が3カ所の調査日ともほぼ80~90%に達し(第3表)、上米の採取は実際上困難であった。上米を分析試料としたのは、早生種のトドロキワセでは出穂後20日前後であり、中生種のコシヒカリでは28日後であったが、この時期以後における上米のCd濃度と採取時期との間には一定の関係が認められなかった。したがって出穂後一定期間、本試料によれば出穂後約30日以降で屑米混入率が10~15%以下になれば、採取時期による濃度変化は実際上無視できると考えられる。

つぎに採取株による重金属濃度の変動について考えよう。採取時期による上米の濃度の変動係数は各重金属とも10%前後であった(第5表)。これは採取株のちがい、すなわち個体変動と考えられる。本地域は大気汚染型⁶⁾のため、土壌のCd濃度の変異係数は比較的小さいが、水質汚染の場

合にはもっと大きいと考えられる。したがって水田内において重金属濃度が不均一に分布する場合には、採取時期よりも採取株（位置）が実際上問題になるものと思われる。

沢平AのMnと笹目のCdでは下米混入率と非選別米濃度との間に相関関係が認められなかったが（第4表）、これも個体変動によるものと思われる。すなわち、沢平AのMnでは作土のMnの変動係数が大きいため、それとともなって採取株の玄米のMn濃度も変動し、下米混入率の影響よりも採取株による濃度変化が大きかったものと思われる。また笹目では作土のCd濃度の変動は小さいが、玄米のCd濃度は土壤のそれよりも出穂期前後における土壤水分の影響を受けるため¹¹⁾、採取位置の水分の変動が下米混入の影響よりも大きかったものと推定される。

したがって、同一採取株では屑米混入率が高いほど重金属濃度が高いが、採取株が異なる場合には屑米混入の影響は個体変動の程度によって左右されるものと考えられる。

以上から、調査分析のための実際的な試料の採取および調整は以下のようにまとめられよう。

前記の「農用地の土壤汚染防止対策地域の指定要件に係るカドミウムの量の検定の方法を定める農林省令」に指定されるように精玄米を分析する場合には、出穂後30日以降で屑米混入率が10～15%以下の時期なら、採取時期のちがいによる精玄米中の濃度変化は個体変動の範囲内であり、実際上問題にならない。また、屑米が混入すると分析試料の重金属濃度は確実に上昇するから、選別規格を一定にする必要がある。これはとくに農家の保有米分析の際に配慮しなければならない点である。

謝 辞

試料採取に便宜を与えられた専技押鴨保夫、同萩谷俊雄の両氏に感謝します。

参 考 文 献

1) 茅野充男：重金属の吸収時期および吸収径路と水稻

玄米中への重金属とりこみ量との関係，土肥誌44，204～210（1973）

- 2) 飯村康二：土壤中のカドミウムの形態と水稻による吸収，土肥要旨集18，143（1972）
- 3) 柳沢宗男・山田信明・喜田健治：水稻の重金属吸収に関する研究（第1報）カドミウムの時期別給与が玄米および体内濃度に及ぼす影響について，同上18，121（1972）
- 4) 岩井俊治・喜田健治・山田信明・柳沢宗男：水稻の重金属に関する研究（第3報）水管理カドミウムの吸収に及ぼす影響について，同上18，122（1972）
- 5) 岩渕晴郎・皆川勝・鎌田賢一：玄米の熟度ならびに精白度と重金属濃度，同上19，II，7～8（1973）
- 6) 石川実・平山力・津田公男・石川昌男：土壤の重金属汚染に関する調査研究，（第2報）日立周辺地区における汚染の実態，茨城農試研報15，131～138（1974）
- 7) 農林水産技術会議：土壤および作物中の重金属の分析法（1971）
- 8) 立谷寿雄・館川洋・横木信行：福島県における農作物および土壤の重金属汚染の実態（第1報）カドミウムの含有量について，福島農試研報10，1～32（1972）
- 9) 森次益三・小林純：生物体内における微量金属の研究（第2報）白米中のカドミウム含有量，農学研究50，37～49（1963）
- 10) 農技研肥料化学科：微量要素含有量肥料に関する研究（第7報）水稻によるカドミウムの吸収とリン酸重金属塩の施用効果，農技研肥料化学科資料第149号（1971）
- 11) 浅見輝男：日曹金属株式会社津製作所の排煙，排水に含まれるカドミウム，亜鉛，鉛および銅による水田土壤汚染，土肥誌43，339～343（1972）

茨城県における土壌および作物体の ポリ塩化ビフェニル汚染調査*

漆原 栄治・小林 登・石川 昌男

2年間にわたり県内のポリ塩化ビフェニル(以下PCBと略す)汚染調査を実施した。その結果、過去にPCBを使用したと思われる工場付近の土壌および作物体からPCBが検出された。検出されたPCB成分はKC(鐘淵化学の商品名であるカネクロールの略)-300, KC-400の2成分であり, KC-500, KC-600およびKC-1000は検出されなかった。

PCB濃度の最高値は土壌で0.50ppm, 作物体では玄米の0.03ppmであった。

さらに、県内で使用量の多い市販農薬10種類中におけるPCBの有無を調査した。その結果、農薬製剤中にPCBは検出されなかった。

I 緒 言

環境における有機塩素系農薬の残留調査でガスクロマトグラム上に多数のピークを示し農薬分析を妨害する物質として、PCBが同定されていた¹⁾。1968年にカネミライスオイルに混入したPCBにより生じた人間のカネミ油症事件および琵琶湖を中心とする水質と水産動植物のPC

B汚染が明らかにされ、以来PCBによる環境汚染がクローズアップされた。

さらにPCBの特性は表1に示すように、化学的に非常に安定で油溶性のため、食物連鎖を通してきわめて高倍率に濃縮され、人間に悪影響を与えることが明らかになった。

表1 PCBの特性²⁾

種 類	主 成 分 (異性体の 混 合 物)	粘 度 75°Cセン チストークス	蒸 留 範 囲 (°C, 760 mmHg)	蒸 気 圧 mmHg	そ の 他 の 特 性
KC-200	2塩化ビフェニル	2~3	270~360		1.水に難溶, 油脂に可溶
KC-300	3塩化ビフェニル	3.3~4.4	325~360	0.0005(30°C)	2.化学的に不活性, 耐熱性, 耐酸化性, 不燃性
KC-400	4塩化ビフェニル	5.4~7.3	340~375	0.0003(30°C)	3.接着性, 伸展性に富む
KC-500	5塩化ビフェニル	12~19	365~380		4.低揮発性
KC-600	6塩化ビフェニル	46~87	385~420		5.絶縁性が高い

1970年における地域別出荷量は関東地方へ2580トンであり、本県へは370トンの量が出荷されている。このことから、それ以前のPCB量を加えると多量のPCBが本県に持ち込まれたことが推定される。

そこで県内のPCB汚染の実状を知るため、47年から2年間にわたり土壌および作物体について実態調査を実施した。また土壌および作物体が農薬製剤中に由来するPCBにより汚染されることも考えられるので、県内で使用量の多い市販農薬10種類中におけるPCBの有無について調査した。以下その結果について報告する。

II 試 験 方 法

1 調査方法

47年は県内のPCBによる環境汚染の一般状況を知るため、PCBを使用していた工場付近の土壌と、あまり汚染がないと考えられる土壌、およびそこに栽培された作物体を分析した。48年度は、前年の分析結果から、PCB濃度が比較的高い2地区をえらび重点的に調査した。

2 分析方法

PCB分析法は^{3), 4), 5)} おもに科学技術庁の方法⁴⁾にしたがった、図1に示すように、PCB分析の際に障害とな

*本報告の一部は昭和48年4月日本土壌肥科学会関東支部大会で発表した。

る有機塩素系農薬を水酸化カリウムで分解し、PCBを抽出する方法である。

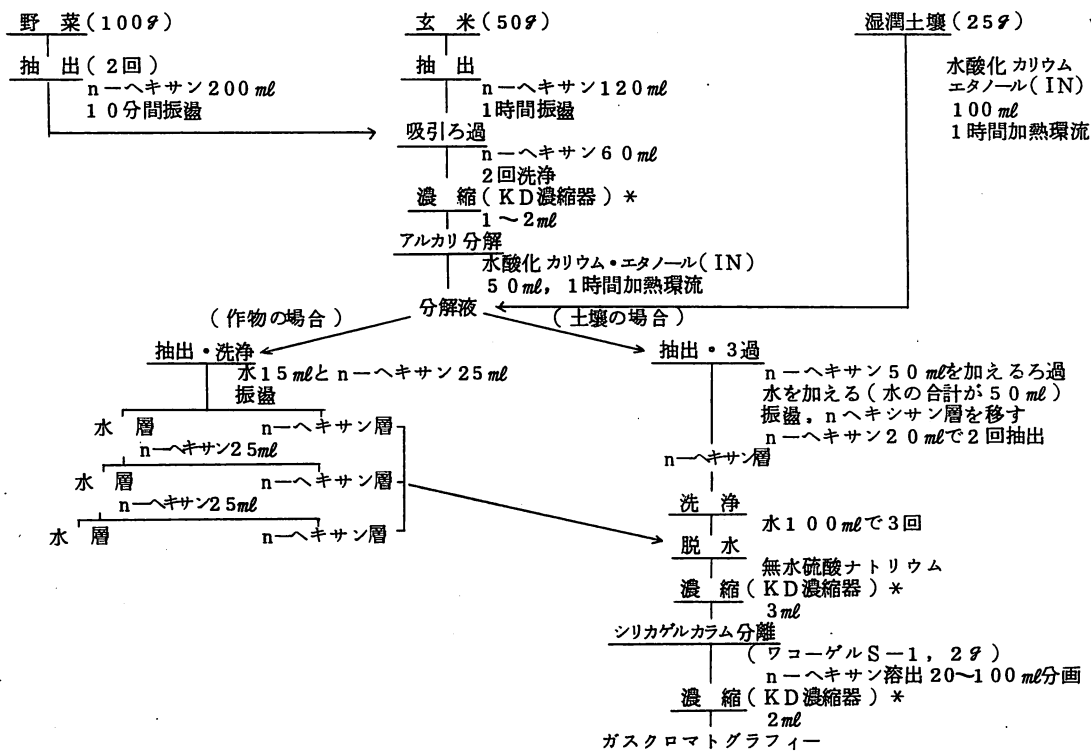


図1 PCB分析法
 *KD濃縮器：クーデルナ・ダニッシュ濃縮器

- (1) 試薬, 分析に使用したn-ヘキサン, エタノール, 無水硫酸ナトリウム(以上, 残留農薬分析用), 水酸化カリウム(試薬特級), PCB標準品とシリカゲル(ワコーゲル・S-1)は, いずれも和光純薬工業製品を使用した。
- (2) カラムクロマトグラフィー, ワコーゲル・S-1を130℃で1夜加熱活性化し, その2gをn-ヘキサンでガラスカラム(10mm×300mm)に充てんし, その上部に無水硫酸ナトリウム1gをのせた。このシリカゲルカラムに試料濃縮液全量を加えn-ヘキサン100mlで展開した。はじめの20mlは捨て去り, その後全流出液を回収した。
- (3) 濃縮, クーデルナ・ダニッシュ濃縮器500mlを使用した。
- (4) ガスクロマトグラフィー, 機種; 日立023型(ECD⁶³Ni, 検出器付), カラム; ガラス製, 内径3mm, 長さ2m, カラム充てん剤; 2%OV-17/ChromosorbW(AW-DMCS処理), 60~80メッシュ, カラム温度; 220℃, 試料気化室温度; 240℃, キャリヤーガス流速: N₂, 1.6Kg/cm²の条件にて分析した。

- (5) 定性および定量, 試料から得られたPCB成分の定性は, 標準品であるKC-300, 400, 500, 600のいずれのパターンに一致するかにより同定した。定量は, DDEと重ならない波高の総和値による絶対検量線法⁴⁾で算出した。

Ⅲ 結果および考察

- (1) PCBのガスクロマトグラム
 図2に示すようにKCの番号が大きくなるほど, すなわちビフェニルへの塩素化が進むにしたがって保持時間の長いピークが現われた。KCの各成分は多数のピークを示しており, ビフェニルへの塩素化数が同一であっても多数の異性体が存在していると考えられる。土壌および作物体から抽出したKC-300, KC-400には, 標準品に対して保持時間の短いピークが認められた。これらのピークは, 土壌のアルカリ分解によって生じたPCBより揮発性の高い物質のピークと思われる。

茨城県における土壌および作物体のポリ塩化ビフェニル汚染調査

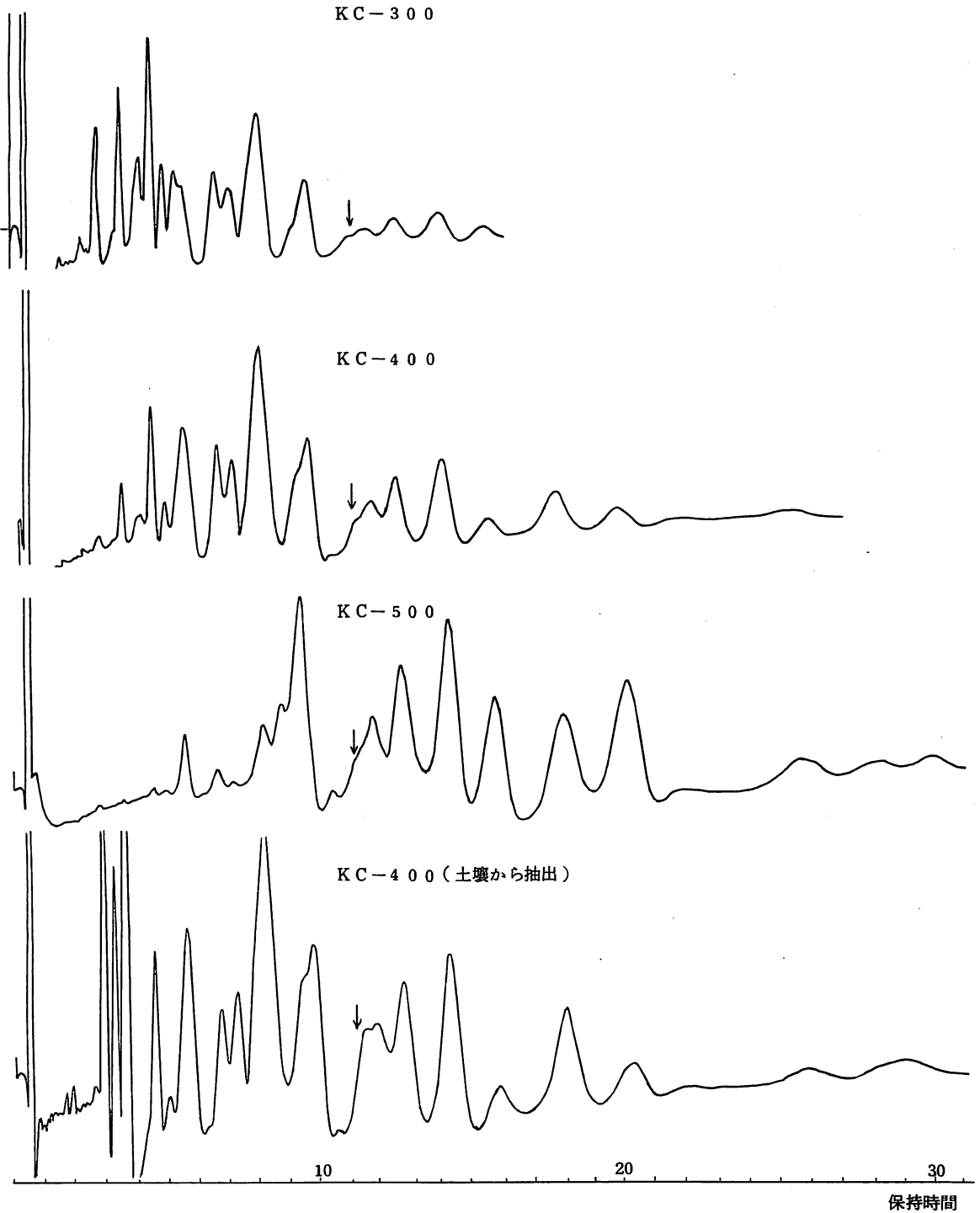


図2 PCBのガスクロマトグラム
保持時間：1 min/1目盛
→：DDEの表われる保持時間

(2) 県内のPCB汚染状況

47年度は県内の汚染の概略を把握する目的で調査した。
48年度は前年の分析結果と茨城県公害技術センターが行った工場排水および水路底土中のPCB分析値からPCB

使用の疑わしい猿島郡総和町A工場と稲敷郡阿見町B工場付近を重点に調査した。その結果を表2および表3に示した。

表2 47年におけるPCB汚染実態調査

採取場所	採取月日	田畑区分	**		PCB成分
			土壌中濃度(ppm) (0~15cm)	作物体中濃度(ppm) 作物名 濃度	
県西地域					
猿島郡総和町下大野	6・14	畑	0.11	ナス n・d	KC-300
猿島郡総和町北利根12	9・13	水田	n・d	玄米 0.01	KC-400
県南地域					
土浦市北神立町2の1	9・13	水田	n・d	玄米 0.01	KC-300
土浦市平野稲子田80	6・19	水田	n・d		
行方郡潮来町延方	6・20	水田	0.01		KC-300
新治郡出島村大字穴倉字上谷津	6・19	畑	n・d		
新治郡玉里村高崎	6・19	水田	n・d		
稲敷郡阿見町若栗1331	9・19	水田	0.30	玄米 0.03	KC-400
稲敷郡阿見町若栗	6・19	畑	0.08	カボチャ n・d	KC-300
水戸地域					
水戸市藤井町本郷	6・6	水田	n・d		
水戸市飯富町内方	6・6	水田	0.05		KC-300
那珂湊市下関	6・6	水田	n・d		
勝田市高野	6・6	水田	0.06		KC-300
県北地域					
笠間市木戸南原	6・13	山林	n・d		
東茨城郡御前山村下伊勢畑	6・13	山林	n・d		
常陸太田市真弓町仲城	6・6	山林	n・d		
日立市滑川町モガキ平	6・6	畑	0.11	キャベツ n・d	KC-300

※ n・dは<0.01 ppm, **土壌は乾土当りの濃度, ***作物は新鮮重当りの濃度

表3 48年におけるPCB汚染実態調査

採取場所	採取月日	田畑区分	**		***		PCB成分
			土壌中濃度(ppm) 上層(0~15cm)	下層(15~30cm)	作物(品種) 濃度	濃度	
猿島郡地区							
総和町駒羽根宮久保264	9・10	畑	n・d	n・d	ナス	n・d	
総和町下大野	26	水田	0.50	0.45	玄米(日本晴)	0.01	KC-400
総和町小提字小鳥谷56	10	水田	0.04	0.03	玄米(コンヒカリ)	n・d	KC-400
三和町大和田山下山下2615	10	水田	n・d	n・d	玄米(コンヒカリ)	n・d	
境町志島816	10	水田	0.03	0.04	玄米(コンヒカリ)	n・d	KC-400
境町稲尾799	10	水田	0.02	0.03	玄米(コンヒカリ)	n・d	KC-400
境町塚崎4444	10	水田	0.01	n・d	玄米(コンヒカリ)	n・d	KC-400
稲敷郡地区							
阿見町若栗北1363の1	9・11	畑	n・d	n・d	落花生	n・d	
阿見町若栗4666の105	11	畑	n・d	n・d	落花生	n・d	
阿見町若栗359	28	水田	0.46	0.40	玄米(コンヒカリ)	0.01	KC-400
阿見町大字廻戸	11	水田	0.05	0.04	玄米(日本晴)	0.01	KC-400
阿見町上条1132の3	11	水田	0.09	0.09	玄米(コンヒカリ)	0.01	KC-400

※ n・d<0.01 ppm, **土壌は乾土当りの濃度, ***作物は新鮮重当りの濃度

県内の土壌および作物体から分離されたPCBはKC-300とKC400であり、KC-500、KC-600は検出されなかった。これはKC-300およびKC-400の国内生産量と消費量⁶⁾がともに多いことから裏づけされるかもしれない。土壌から検出されたPCB成分は、付近の工場がどの成分のPCBを使用したかは明確ではないが、畑土壌からは主にKC-300が検出され、水田土壌からはKC-300とKC-400が検出された。

汚染濃度は水田土壌に0.50~0.11ppm、玄米で最高0.03ppmであり、畑土壌に0.11~0.08ppm検出されたが、畑作物には不検出であった。これより畑より水田土壌が高く汚染されていることが認められた。一方、水田土壌の上層と下層からほぼ同濃度のPCBが検出された。これは47年度にAおよびB工場ともにPCB使用を中止しており、その後の土壌の耕耘により上層と下層が攪拌された結果と推定される。これらの汚染値は、国内の汚染地²⁾で検出された水田土壌の1200ppm、玄米の1.33ppmと比較すると小さいことがうかがわれる。さらに47年度からPCB使用の中止、加えてStanbury⁷⁾が明らかにした土壌微生物によるPCBの分解および土壌から大気へのPCBの揮散⁶⁾により土壌中のPCB濃度は、今後減少すると考えられる。

汚染経路は、明らかにすることはできないが立川⁶⁾らの報告から考えて、工場排水路から水田への流入およびPCBを含有する河川水を利用したものと考えられる。また大気のPCB揮散により、環境が汚染される経路も考えられる。

3) 農薬中のPCB

県内で使用量の多い市販農薬10点についてPCBの有無について調べた。その結果、バイジット粉剤、ダイスントン粒剤、モンゼット粉剤、ヒノザン粉剤(以上、日本特

殊農薬)、スミチオン粉剤(キング化学)、ネマゼット粒剤(サンケイ化学)、ブラシコール粉剤(八州化学)、バリダ粉剤(武田薬品工業)、ブラエス粉剤(日本農薬)、ビスダイセン水和剤(東京有機化学)にPCBは検出されなかった。

IV 要 約

県内の土壌および作物体のPCB汚染調査を実施した。

- 1) 土壌および作物体からKC-300とKC-400が検出された。
- 2) 検出されたPCB濃度は低濃度であった。
- 3) 農薬中にPCBは検出されなかった。

終りに本調査に際し協力をいただいた市町村役場、県衛生研究所、県公害技術センター、県内水面水産試験場、地区農業改良普及所、病害虫防除所、県環境局水質保全課の方々に対し謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) R.W.Stevens, and C.H.Van Middelien: Pesticides in The Environment, vol.1, Part II Marcel Dekker, Inc., (1971)
- 2) 磯野直秀, 藤原邦達: 科学, 42, 739(1972)
- 3) 磯本忠明・立川涼・小川恒彦: 公害と対策, 7, 517(1972)
- 4) 科学技術庁研究調整局: PCB様物質による環境汚染の防止に関する特別研究(1973)
- 5) 上田雅彦: 食品衛生研究, 22, 739(1973)
- 6) 立川涼: 日本生態学会誌, 2, 74(1973)
- 7) J.B.Stanbury, J.B.Wyngaarden, and D.S.Fredrickson: The Metabolic Basis of Inherited Disease, McGraw-Hill, New York, ed. 2 (1966)

茨城県農業試験場研究報告 第15号

昭和50年3月31日 発行

発行所 茨城県農業試験場
水戸市上国井町

印刷所 センター印刷株式会社
水戸市駅南柳堤1617

印刷者 鈴木 四郎

Contents

1. On the Contamination of Non-Glutinous Grains in the Seed of Glutinous Rice Varieties
.....Hiroo NEMOTO, Haruo HANAWA, Koji KOIBUCHI and Shinichi ONO
2. Studies on Injuries by Continuous Cropping of Rice Plant in Upland Field and Its Control
Part II. Control of Injuries
.....Kuni SAKAI, Yujirō FUSHITANI, Kimio TSUDA, Masao ISHIKAWA,
Nobuyuki ASANO, Sadayoshi KAJITA, Akira MATSUDA, Kō SHIMONAGANE,
Katsumi OZAKI and Bunkichirō WATANABE
3. Inheritance of Blast-Resistance of Upland Rice Varieties
Part I. Inheritance of Resistance of a Upland Rice Variety NŌRIN No.4
.....Shōji ABE, Shigehisa KIYOSAWA and Shinichi ONO
4. Studies on Vegetable Cropping in Drained Paddy Field
Part I. Effects of Ground Water Level and Height of Ridge on Growth and Yield of
Cucumber, Cabbage and Cauliflower
.....Hirotoishi KŌDA, Sadayoshi KAJITA, and Minoru AKIYAMA
5. Injuries by High Salt Concentration of Lettuce on Direct Sowing Cultivation using Poly
ethylen Mulching in Plastic Tunnel
.....Kazuo KOAKUTSU, Kakuni MIDORIKAWA and Sadayoshi KAJITA
6. Cultivation of Soybean on Drained Paddy Field
.....Minoru AKIYAMA, Sadayoshi KAJITA, Masanobu WATANABE, Akimitsu
SHIOHATA, Hirotoishi KŌDA and Akira KUROSAWA
7. The Effect of Crop Leavings on Growth of Succeeding Crops and the Soil Properties of
Upland Field
.....Kazuo KINOUCI and Hiromichi TOMOBE
8. Studies on the Cultivation of Edible Burdock (*Arctium lappa L.*)
Part I. Life History and Absorption of Inorganic Elements
.....Koichi HONDA, Minoru ISHIKAWA and Masao ISHIKAWA
9. Nutrition Uptake of Chinese Cabbage in Yachiyo Town and its Field Properties
.....Tsutomu OYAMADA, Minoru ISHIKAWA and Masao ISHIKAWA
10. Soil Pollution by Heavy Metals
Part I. Pollution of Paddy Soils by Heavy Metals in Shiogo, Nanakai Village, Ibaraki
Prefecture
.....Masao ISHIKAWA, Kimio TSUDA, Chikara HIRAYAMA, Minoru ISHIKAWA
Mitsugu YOSHIHARA and Noboru KOBAYASHI
11. Soil Pollution by Heavy Metals
Part II. Soil Pollution by Heavy Metals in neighboring areas of Hitachi
.....Minoru ISHIKAWA, Chikara HIRAYAMA, Kimio TSUDA and Masao ISHIKAWA
12. Soil Pollution by Heavy Metals
Part III. Change of Cadmium, Copper and Manganese Concentration of Paddy Rice Grain
in Maturing Stage
.....Kimio TSUDA, Masao ISHIKAWA, Minoru ISHIKAWA, Isamu TOBITA and
Masayoshi KUROSAWA
13. Residue of PCB in Soils and Crops in Ibaraki Prefecture
.....Eiji URUSHIHARA, Noboru KOBAYASHI and Masao ISHIKAWA