

(3) 水稻カドミウム吸収抑制に関する試験

〈現地試験〉

鈴木 憲 盛岡 文雄
武藤 公二 大橋 猛

1. はじめに

カドミウム等重金属類の蓄積水田の改良技術についてはすでに多くの研究が積重ねられており、その結果一部の汚染水田については、回復のため土地改良事業が実施されている。

また、土地改良事業実施までの応急手当てとして、土壌改良資材施用による土壌の酸性矯正を図ることによりカドミウムの吸収抑制が実施されている。しかし土地改良事業は莫大な事業費、客土の調達、排土の処分等大きな問題を内蔵しながら実施されており、また、土壌改良材の施用は効果が不安定なうえ効果の持続性に問題がある。このような状況から土壌汚染対策はまだ多くの研究の余地がある。

土壌中重金属類を除去する技術の一つとして鉱酸またはキレート剤による重金属類の抽出除去が考えられ、一部で実験が行われており、著者等も基礎的な試験の結果を公表した。

今回はさらに本方法を実用化するために現地圃場において、塩酸による重金属類の除去率および処理土壌における水稻の生育について確認するため本試験を行った。

2. 試験方法

1) 試験場所

吉乃鉱山敷地に隣接する平鹿郡増田町吉野村後の鉱害地水田

2) 試験区

これについて表-7に示した。

№1 無処理区

№2 土壌酸矯正区：炭カルを $182.5 \text{ kg}/10\text{a}$ と珪カルを施用して土壌酸性を矯正した。
(処理土壌深さ 14 cm)

№3 土壌処理区：表-6の手順によって水田土壌を 0.1 N-HCl に浸漬攪拌して重金属類を抽出除去した後、炭カルを $2,069.3 \text{ kg}/10\text{a}$ と珪カルを施用して土壌酸性を矯正した。(処理土壌深 25 cm)

3) 試験規模

1区 4 m^2 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) 1区制

試験区の配置は図-1のとおりである。

4) 試験地土壌の性質

試験地土壌の土壌断面は表-1のとおりであり、各層位毎の重金属濃度等を表-2に示す。土壌は老朽化の傾向を示しており、重金属はCd、Cu、Pb、Znともにそれぞれ第2層まで著しく蓄積している。

また試験区毎の耕作土の重金属の平均的な含有量を表-3に示した。各区間で重金属の著しい差異はないが、酸性矯正区で土染法による濃度が幾分高い。

5) 耕種概要

耕種概要および施肥量等を表-7、表-8に示した。肥料は硫加リンアン11号(13-13-13)で施用し、基肥は5を全層に、2を表層に施用した。

供試作物および品種…………… 水稻アキヒカリ(早生)

6) 灌漑水質

灌漑水は成瀬川から取水し、その水質は表-9に示すように良質である。

7) 調査

生育期間中の調査は、土壌については5月26日、6月30日、7月14日、7月27日、8月10日にPH、Eh重金属含量の変化を調査し、水稻の生育については6月30日、7月27日、9月14日に調査した。9月20日(土壌処理区は10月4日)に刈取り収量を調査するとともに図-2、図-3に示す地点で各区9株(土壌は9地点)の試料を採取して、それぞれ稲体および跡地土壌の重金属の濃度を調査した。なお、稲体については同株について収量調査も行った。

3. 試験結果

1) 土壌の塩酸抽出処理について

土壌処理区の塩酸処理前後の重金属濃度および塩基類の変化を表-4に示し、処理前後の濃度比を表-5に示した。(その作業順等は表-6に示した。)

重金属類の抽出率についてはCdの抽出率が60%前後と大きくPb、Zn、Cu、Mnはともに50%以下である。Feは処理前より幾分増加しており、塩酸処理によって可溶化したFeの抽出残が考えられる。置換性塩基類についてはCa、Mgは減少し、Kの増加はFeの場合と同様と思われる、腐植と全窒素は減少するがその割合は極めて小さい。

図-1 (試験田略図)

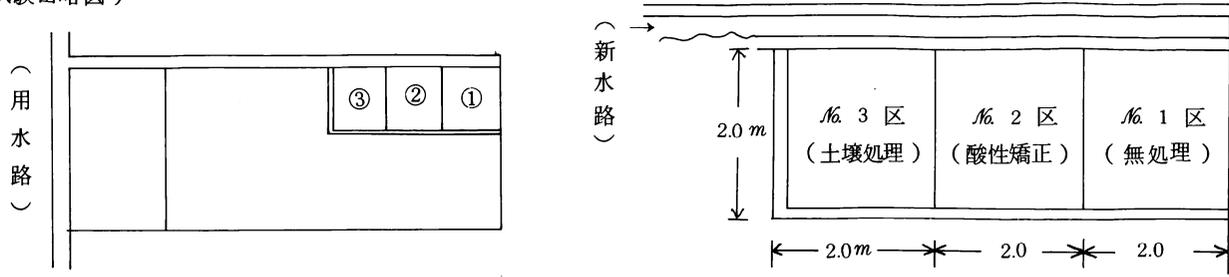


表-1 (土壌断面)

層位	層深 (cm)	土性	土色	腐植	斑紋結核	礫
1	0 - 14	CL	7.5 y 4.5 / 1 (灰色)	含 ~ 富	含む	あり
2	14 - 26	CL	7.5 y 5 / 1 (灰色)	含	〃	小円、小半角富、 細円富
3	26 -	L	2.5 y 6 / 6 (黄褐)	あり	上部Mn斑 含む	なし

表-2 (試験前土壌分析値)

層位	PH		全分解 (ppm、Feは%)						土染法 (ppm)						腐植 (%)	全N (%)	塩基換容量 (me)	置換塩基 (mg / 100g)				飽和度 (%)
	H ₂ O	KCl	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn				CaO	MgO	K ₂ O	計 (me)	
1	5.48	4.42	244	94.6	418	3.66	1,484	262	108.8	4.60	115.5	3.25	533	125	5.33	0.21	(me) 25.7	375	61.2	10.4	16.6	64.6
2	5.77	-	214	89.4	444	4.26	1,998	344	56.0	3.07	93.2	2.59	332	108	4.16	0.19	27.0	444	69.5	9.8	19.5	72.2
3	6.33	-	50.4	87.5	384	1.76	2,010	562	11.9	17.2	66.0	1.17	425	200	1.71	0.08	30.4	606	144	16.9	29.1	95.7

表-3 (試験前の耕作土の分析値)

項目 区名	PH		全分解 (ppm・Feは%)						土染法 (ppm)						腐植 (%)	全N (%)
	H ₂ O	KCl	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn		
1. 無処理区	5.57	—	252	103.8	426	3.88	1.662	272	75.2	33.4	69.8	2.05	475	90	5.06	0.31
2. 酸性矯正区	5.33	—	256	73.4	406	3.72	1.328	226	94.2	38.8	91.1	2.62	533	89	5.80	0.25
3. 土壌処理区	5.60	—	274	93.2	458	4.36	1.702	246	78.1	31.8	83.9	2.24	483	79	4.94	0.27

表-4 (土壌処理区の塩酸処理前後の分析値)

項目 処理名	PH		全分解 (ppm・Feは%)						土染法 (ppm)						腐植 (%)	全N (%)
	H ₂ O	KCl	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn		
ハギ取土 (処理前)	5.57	4.50	302	98.8	538	4.78	1.442	258	95.3	36.3	123	3.07	442	97	4.99	0.27
同上 (処理後)	3.37	3.03	198	71.2	388	2.00	1.622	174	61.4	23.3	68.5	1.21	575	50	4.80	0.24

項目 区名	塩基 置換 容量 (me)	置換塩基					土壌処理区のハギ取土は25cm 厚さのもので、処理後という のは資材施用前
		CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)	左の計 (me)	飽和度 %	
ハギ取土 (処理前)	25.2	386	65.7	9.6	17.3	68.7	
同上 (処理後)	26.2	187	34.9	13.4	8.7	33.2	

表-5 (土壤の塩酸処理による変り方)

土壤の重金属の抽出率(%)												その他の性質の抽出率(%)						
全分解法						土染法						腐植	全N	置換容量	置換性塩基			
Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn				CaO	MgO	K ₂ O	飽和度
34	28	28	58	-12	33	36	36	44	61	-30	48	4	11	-4	52	47	-40	52

抽出率の算出法は表-4より $\left(\frac{\text{処理前の値}(-)\text{処理後の値}}{\text{処理前の値}} \times 100 \right) = \%$

表-6 (土壤処理の作業順等)

順	作業名と内容	期間(月日)
ア	田の土の剥ぎとり(25 cm深さ) 土量(2.0 m×2.0×0.25=1.0 m ³)	4. 13~14
イ	剥ぎとり土壤の屋内乾燥	4. 14~24
ウ	同上 期間中の反転及び砕土 (2回)	4. 22及24
エ	土壤の塩酸浸漬(コンクリート槽使用、0.1 N 相当HClで30分間浸漬攪拌)	4. 25~28
オ	同上土壤のカマス詰め及びホースの水で洗浄(洗浄回数適宜)	同上
カ	同上土壤の1日1回 水洗浄	4. 29~5. 4
キ	同上土壤の水田(試験田)への埋めもどし	5. 6 ~ 7
ク	その他の作業は1. 2区同様	(別記)

表-7 (試験区と処理法、資材及び施肥量)

項目 区名	0.1N HCl 処理	PH 矯正 炭カル	改良資材		基肥			追肥(幼形期)			⑧
			珪 カル	ヨ ー リン	チ ッ ソ	リン サン	カ リ	チ ッ ソ	リン サン	カ リ	
1.無処理区	×	—	—	—	7.0	7.0	7.0	1.5	1.5	1.5	施用量は kg/10a
2.酸性矯正区	×	182.5	150.	60.	7.0	7.0	7.0	1.5	1.5	1.5	
3.土壌処理区	○	2069.3	150.	60.	7.0	7.0	7.0	1.5	1.5	1.5	

HP矯正は、PH(KCl) 6.0目標とし、石灰分は珪カルの方も見込んだ。))

表-8 (耕種概要)

作業等	期日
各区の荒耕しと163区の土の埋めもどし	5月6～7日
各区の代かきと施肥、改良資材の施用	5月19日
供試品種アキヒカリ(早生) 育苗箱苗 草丈 12cm 葉数 3.0枚	—
田植(手植)	5月26日
栽植密度 20cm(南北)×25cm(東西) 20株/m ² 、1株5～6本植	—
追肥(幼穂形成期)	7月14日
刈取 161と162区 163区(土壌処理区)	9月20日 10月4日
水管理 活着以降は各区共通 中干し7月6日～7月13日とし、以降は 節水栽培(間断灌漑)	—

表-9 (灌漑水の分析値) PH以外はmg/l

月 日	PH	Cu	Pb	Zn	Cd
4月18日	-	n.d	n.d	n.d	n.d
5月26日	6.94	0.002	n.d	0.002	tr
6月9日	7.23	0.001	n.d	n.d	n.d
7月14日	-	tr	-	0.01	n.d

図-2 (区内における水稲の試料採取地点)

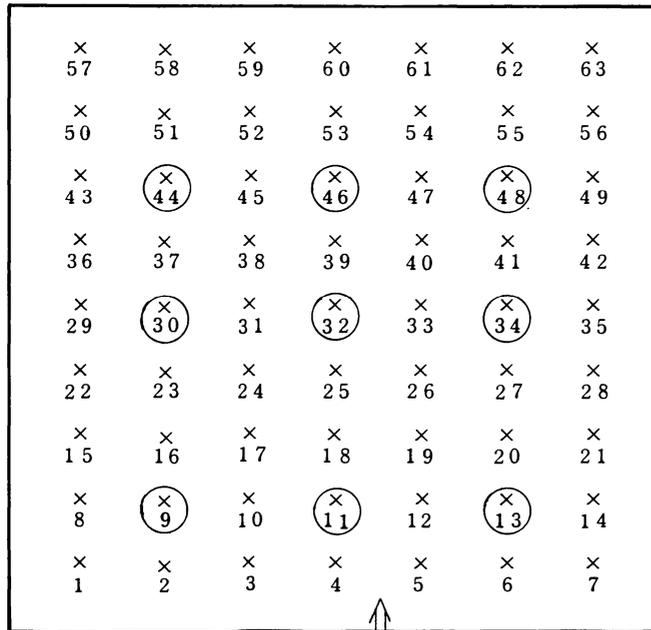
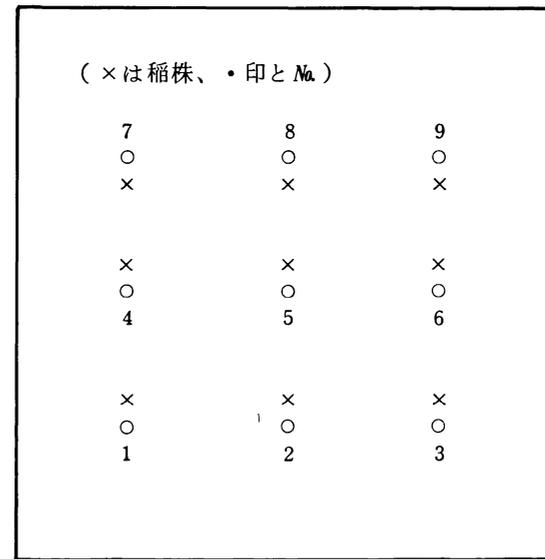


図-3 (跡地土壌採取地点図)



(例えば土のNo.1は稲のNo.9株に最も近い)

2) 稲の生育および収量

各調査時の生育量および収量について表-10に示し、刈取時の株毎の調査結果を表-11に示した。

両処理とも土壌 PH (H₂O) が6.0以上で水稻苗にとっては生育に好適でなく、また土壌処理区は残留塩素にもよると(昨年ポット試験) 思われるが活着が悪く初期生育はおくれたが、7月下旬には酸性矯正区は無処理区と同程度の生育を示し、土壌処理区の生育の後半は、土壌の反応変換による養分(N、P₂O₅ など)の有効化によると考えられるが、無処理区を上回る生育となり、やや出来過ぎの様相を示し、出穂がおくれた。

収量では酸性矯正区は無処理区並みであるが、土壌処理区では稲体生育量の大きさに比例し、玄米重が30%増であり、また出来過ぎによる登熟のおくれからくず米の量も多い。

表-10 (水稻の生育、収量調査)

項目 区名	生 育 調 査								
	6 月 30 日		7 月 27 日		9 月 14 日			出 穂	
	草 丈	茎 数	草 丈	茎 数	稈 長	穂 長	穂 数	期 (月日)	揃 (月日)
1 無処理区	33.5	15.4	64.4	25.1	74.3	17.6	22.9	8/2	8/4
2 酸性矯正区	33.6	17.2	59.1	26.4	72.3	18.5	22.4	8/2	8/4
3 土壌処理区	33.4	11.7	60.2	31.6	77.5	18.5	29.1	8/7	8/12

項目 区名	収 量 調 査 (kg/10 a)					
	わら重	(%)	屑米重	(%)	玄米重	(%)
1 無処理区	585.3	100	20.6	100	563.4	100
2 酸性矯正区	559.3	95.6	24.6	119.4	566.8	100.6
3 土壌処理区	742.0	126.8	39.9	193.1	743.1	131.9

(生育調査は各区20株についての平均、収量調査は30株より換算)

(単位 ; 茎数、穂数は本 / 1 株、稈長・穂長は cm)

表-11 (1株当たり収量：単位g)

1 無処理区				2 酸性矯正区				3 土壌処理区			
試料 №	わ ら 重	玄 米 重	屑 米 重	試料 №	わ ら 重	玄 米 重	屑 米 重	試料 №	わ ら 重	玄 米 重	屑 米 重
1-9	29	30.7	1.8	2-10	26	28.2	1.8	3-9	37	33.8	2.1
11	25	20.9	2.0	11	19	21.4	1.5	11	30	27.8	3.4
13	24	21.4	1.8	13	21	23.2	1.3	13	34	32.1	3.6
30	32	34.4	1.1	30	24	25.3	1.6	30	37	33.8	3.4
32	37	31.0	2.8	32	32	29.5	3.0	32	49	49.5	5.2
34	35	32.0	0.6	34	29	27.8	2.6	34	43	40.3	2.0
44	39	36.5	2.6	44	28	31.6	1.1	44	38	27.8	3.7
46	28	26.1	1.9	46	37	40.0	1.6	46	37	40.4	2.2
48	34	45.1	1.4	48	25	25.4	1.4	48	38	42.2	2.2
\bar{x}	31.4	30.9	1.8	\bar{x}	26.8	28.0	1.8	\bar{x}	38.1	36.4	3.1
S	5.3	7.6	0.7	S	5.5	5.5	0.6	S	5.4	7.2	1.1
C	0.17	0.25	0.39	C	0.21	0.20	0.36	C	0.14	0.20	0.34

⑧ \bar{x} ; 平均 S ; 標準偏差 C ; 変動係数

3) 栽培期間中の水田土壌中のPH、重金属類の変化

これについて表-12に示した。

両処理とも炭カル施用と珪カル分も含めてPH(KCl)6.0を矯正目標としたが、田植直前の調査では目標に達したのは土壌処理区のみで、無処理区PH4.4に対して酸性矯正区は結果的に石灰の施用量が少なくPH(KCl)5.1であった。この差は7月中～下旬まで持続し8月になって各区ともPH(水)6.5に終息した。

土壌の酸化還元程度を表わすEh_hを見れば、中干し、間断灌漑にもかかわらず各区とも調査時における測定値は200mV内で低く、その中でも土壌処理区が常に低い傾向である。

土壌中の重金属類は、塩酸処理による重金属類がある程度抽出除去された土壌処理区と、ほかの2区との濃度の差がそのまま生育期間を通じて持続し、酸性矯正区は常にCd濃度が

高く Zn および Cu も同じ傾向である。

また本水田は、3 処理区とも中干しの効果が見られず、7 月下旬には還元状態の影響によると思われる重金属類の濃度の低下が見られている。

表-12 (栽培期間中の土壌分析値)

月/日	区 名	PH		▲ Eh ₆ (mV)	0.1 N - HCl 可溶 (ppm)				備 考
		H ₂ O	KCl		Cu	Pb ■	Zn	Cd	
5/26	1. 無処理区	5.45	4.35	-	87.0	31.3	92.8	2.58	湛水、代かき(資材、施用、施肥)後7日 (田植直前)
	2. 酸性矯正区	6.16	5.07	-	95.8	22.5	75.5	3.17	
	3. 土壌処理区	6.97	6.51	-	63.3	18.4	51.8	1.48	
6/30	1. 同 上	6.14	-	179	82.5	36.9	69.5	2.42	湛水後42日目 (第1回生育調査日) (飽水程度の湛水)
	2. "	6.41	-	163	123.3	38.0	101.5	3.56	
	3. "	6.98	-	154	15.4	29.3	47.3	1.50	
7/14	1. 同 上	5.55	4.27	180	18.4	-	-	2.50	中干し (7月7日~7月13日) (採土後追肥湛水)
	2. "	6.02	5.16	164	19.4	-	-	2.84	
	3. "	7.24	6.60	198	9.5	-	-	1.04	
7/27	1. "	6.36	-	142	12.5	47.3	10.1	3.19	7月15日以降 間断灌水 (第2回生育調査日) 分析用稲抜取る
	2. "	6.17	-	141	11.8	40.6	10.8	3.63	
	3. "	6.60	-	106	24.7	4.4	41.1	1.30	
8/10	1. 同 上	6.50	-	179	12.0	46.1	10.5	3.19	飽水程度 No.1、No.2は8月4日 穂揃、No.3は8月12日 穂揃
	2. "	6.56	-	183	13.1	40.9	11.0	3.58	
	3. "	6.66	-	107	40.1	7.1	47.8	1.46	

▲ Eh₆は採土したものを持帰り30分間測定

■ Pb の4回測定のうち前2回は土染法による。

4) 試験跡地土壌

収穫時における水田土壌の分析結果を表-13にさらに地点毎には表-14に示した。

PHは、落水後の酸化により湛水期間より全般にやや酸性側に变化し、また両処理とも、珪カル分を含めたこともあって、結果的には石灰の施用量が少なく目標(KCIのPH 6.0)達しておらずH₂OのPHでも無処理区に近くまで低下しているが、なお石灰の施用量に応じた高さとなっている。(土壌処理区)酸性矯正区)無処理区)

(注) 以下次のように略称することがある。

無処理区 (無処理)

酸性矯正区 (酸 矯)

土壌処理区 (土処理)

重金属のCdについては、生育期間中の差がそのまま維持され、その濃度も変りがなく、酸性矯正区が最も高く、ついで無処理区)土壌処理区の順で土壌処理区でも1.35 ppmである。

Znについては湛水時より濃度が増すがCdとほぼ併行しており、処理区間の順位も同じである。

CuとPbでは、Pbの無処理、酸矯区を除いて両種とも湛水中より濃度が増していることはZn同様で、両種ともPHの高さと逆の濃度である。なおCuは3区ともほかの重金属より変動係数が大きい。

土壌処理区のCdを除いて、重金属は湛水中より濃度が高く、かつ処理区間の差は田植直前よりも増巾されている。

土壌の理化学性の変化では、T-N、腐植、CEC(塩基置換容量)は処理区間の差は極めて小さいが、土壌処理区のT-Nと腐植が減少の傾向であることは試験開始前と同様である。

置換性塩基ではCaOは炭カルの施用量に応じた残量が認められるとともに、PHの高さと比例している。

MgOは塩酸処理時による減量が回復しておらず。

K₂Oについては、両処理のわずかに低下しているのはこの試験の結果からは不明である。

表-13 (跡地土壌の分析値)

層位	区名	※	PH		土 染 法 (ppm)				T N (%)	腐 植 (%)	C E C (me)	置 換 塩 基 ■		
			H ₂ O	KCl	Cu	Pb▲	Zn	Cd				CaO	MgO	K ₂ O
表 土	1. 無 処 理	\bar{x}	5.30	4.27	138.2	37.1	109.4	3.17	0.18	4.1	24.5	272	99	7.8
		S	0.09	0.08	16.3	17.3	3.7	0.23						
		C	0.02	0.02	0.12	0.05	0.03	0.07						
	2. 酸 性 矯 正	\bar{x}	5.68	4.77	135.2	33.5	120.0	3.74	0.19	4.2	25.1	324	110	6.6
		S	0.11	0.12	10.9	1.3	6.0	0.13						
		C	0.02	0.02	0.08	0.04	0.05	0.03						
	3. 土 壌 処 理	\bar{x}	5.81	5.12	82.3	20.5	63.7	1.35	0.17	3.8	24.8	562	66	6.6
		S	0.63	0.74	11.8	4.2	9.7	0.25						
		C	0.11	0.14	0.14	0.20	0.15	0.19						

(注) ① ※ \bar{x} ; 平均、S; 標準偏差、C; 変動係数

② ■ 置換塩基の単位は (mg/100g)

③ 表土の分析項目のPH~Cdまでの6項目は、各区9地点について、T-Nから右6項目については各区3地点についてのもの。

④ Pb▲は0.1N-HCl可溶。

表-14 (跡地土壤の分析値) (区内1地点毎)

区名 と位置 №	P H		01N-HCℓ抽出法 (ppm)				全 N %	腐 植 %	置 換 容 量 (me)	置換塩基(mg/100g)			
	H ₂ O	KCℓ	Cu	Pb	Zn	Cd				CaO	MgO	K ₂ O	
1. 無 処 理 区	1	5.24	4.17	140	34.9	103	2.78	0.18	4.4	24.6	258	98	7.9
	2	5.28	4.25	136	37.7	111	3.04						
	3	5.17	4.20	132	34.8	113	3.24						
	4	5.24	4.20	133	35.4	107	2.98	0.18	4.0	24.5	274	99	7.1
	5	5.43	4.33	132	36.9	114	3.50						
	6	5.33	4.28	140	39.3	111	3.44						
	7	5.31	4.28	179	38.5	105	3.01	0.18	4.0	24.5	283	101	8.3
	8	5.43	4.41	121	37.7	109	3.19						
	9	5.32	4.31	131	39.0	112	3.32						
2. 酸 性 矯 正 区	1	5.72	4.84	143	34.2	118	3.84	0.19	4.3	25.1	311	111	6.9
	2	5.53	4.61	149	32.6	126	3.92						
	3	5.63	4.77	150	35.6	127	3.80						
	4	5.71	4.76	138	34.1	123	3.76	0.20	4.1	25.0	327	111	6.3
	5	5.65	4.74	129	32.4	127	3.76						
	6	5.67	4.67	137	32.8	119	3.83						
	7	5.61	4.74	128	34.9	115	3.58	0.19	4.2	25.1	333	109	6.6
	8	5.72	4.79	120	31.8	112	3.51						
	9	5.92	5.04	123	33.0	113	3.64						
3. 土 壤 処 理 区	1	6.32	5.74	81.5	23.2	52.0	1.14	0.15	3.4	24.0	579	66	6.6
	2	6.15	5.62	82.5	21.0	70.0	1.68						
	3	5.14	4.37	84.0	20.6	68.0	1.24						
	4	5.58	4.78	91.5	24.1	75.5	1.63	0.23	3.6	24.6	722	66	6.3
	5	6.92	6.30	64.0	12.3	53.0	1.47						
	6	6.19	5.71	63.5	14.7	52.5	0.93						
	7	4.93	4.11	85.5	22.3	65.5	1.21	0.12	4.4	25.9	386	65	7.0
	8	5.67	4.86	88.5	23.7	60.5	1.30						
	9	5.40	4.59	99.5	23.0	76.5	1.51						

5) 収穫期稲体中の重金属濃度

これについての平均値を表-15に、さらに1株毎の分析値を表-16に示した。

玄米ではCu、Pb、Znでは処理区間の濃度の差が極めて小さいか、土壌処理区が高い傾向で、Cd濃度は土壌中の濃度を反映して土壌処理区の玄米で格段に濃度が低く無処理区比で40%となっている。

このCd濃度の処理区間の順は、酸矯>無処理>土処理でCdはほかの重金属より変動係数が大きい。

わらにおける重金属濃度は各区の分析個体間の変異が大きいので処理間の差が明確でないが、酸性矯正区の濃度がやはり高く、土壌処理区の濃度の減少が意外に少なくCuだけはやや高い。これは土壌中の重金属濃度とともに、稲株個体の生育の影響も強く受けているためと思われ、CuはCdに対して抑制的に働いているようである。

根においても、濃度の絶対量は高いが個体間の変異が大きく、各処理間の比較傾向もCd濃度を除いてはわらの場合とほぼ同様である。

このように酸性矯正区の稲のCd濃度が玄米、わら、根ともに3区中最高を示したのは、開始前から重金属濃度の高い場所に位置したこともあろうがPHがもっと目標近く上昇しておればCdその他の重金属とも吸収抑制効果ももっと高かったものと推定される。

表-15 (収穫期稲体中の重金属濃度)

部位		区名 金属 ※	1 無処理区			2 酸性矯正区			3 土壌処理区		
			\bar{x}	S	C	\bar{x}	S	C	\bar{x}	S	C
玄 米	Cu		3.6	0.23	0.06	3.7	0.22	0.06	3.8	0.35	0.09
	Pb		tr	—	—	tr	—	—	tr	—	—
	Zn		18.4	0.81	0.04	19.6	1.14	0.24	20.1	1.44	0.07
	Cd		0.23	0.07	0.32	0.37	0.09	0.23	0.09	0.05	0.52
わ ら	Cu		4.8	0.76	0.16	5.3	0.71	0.13	7.0	0.82	0.12
	Pb		2.2	0.38	0.17	2.1	0.32	0.16	2.6	1.30	0.49
	Zn		69.4	1,080	0.16	111.1	1,861	0.17	61.1	6.71	0.11
	Cd		1.36	0.39	0.29	3.0	0.89	0.30	0.98	0.25	0.26
根	Cu		131	21.2	0.16	140	17.3	0.12	98	13.1	0.13
	Pb		158	21.2	0.13	152	26.5	0.17	85	14.2	0.17
	Zn		190	48.2	0.25	272	32.3	0.12	185	31.5	0.17
	Cd		6.20	1.57	0.30	15.9	3.61	0.23	9.73	2.34	0.24

(注) ① ※ \bar{x} : 平均 S : 標準偏差 C : 変動係数
 ② 各区9株についてのもの

表-16 (収獲期稲体中の重金属濃度)

単位: ppm

部位	試料 №	1 無処理区				試料 №	2 酸性矯正区				試料 №	3 土壌処理区			
		Cu	Pb	Zn	Cd		Cu	Pb	Zn	Cd		Cu	Pb	Zn	Cd
玄 米	1-9	3.6	tr	17.6	0.30	2-10	3.8	tr	19.9	0.34	3-9	3.6	tr	20.7	0.05
	11	3.9	〃	18.8	0.35	11	3.4	〃	17.6	0.24	11	3.4	〃	18.8	0.05
	13	4.0	〃	19.3	0.29	13	3.5	〃	18.0	0.24	13	4.0	〃	18.7	0.11
	30	3.6	〃	18.6	0.28	30	3.4	〃	19.1	0.42	30	4.2	〃	19.6	0.14
	32	3.7	〃	18.3	0.19	32	4.0	〃	20.6	0.51	32	4.1	〃	19.4	0.19
	34	3.7	〃	19.2	0.14	34	3.8	〃	20.2	0.44	34	4.1	〃	22.5	0.07
	44	3.6	〃	18.5	0.22	44	3.6	〃	19.8	0.36	44	4.2	〃	22.2	0.08
	46	3.5	〃	18.2	0.19	46	3.9	〃	20.9	0.39	46	3.7	〃	19.7	0.06
	48	3.2	〃	16.7	0.14	48	3.6	〃	20.3	0.36	48	3.3	〃	18.9	0.07
わ ら	1-9	4.9	2.2	63.8	1.76	2-10	5.8	2.1	99.3	3.07	3-9	7.9	2.6	63.0	0.82
	11	6.3	2.5	82.5	1.37	11	5.5	2.7	86.0	1.92	11	7.1	2.3	61.9	0.84
	13	4.6	2.4	86.7	1.95	13	4.7	2.0	89.2	1.81	13	7.9	5.6	73.0	1.36
	30	4.9	2.9	64.3	1.39	30	5.2	2.0	133	4.33	30	7.1	3.9	51.9	1.01
	32	5.6	1.9	73.1	1.15	32	6.1	2.0	130	2.88	32	6.7	1.9	56.6	1.44
	34	4.3	1.7	65.4	0.63	34	6.3	2.3	128	4.18	34	7.5	1.6	69.6	0.77
	44	4.0	1.8	50.8	1.32	44	4.9	2.0	114	3.59	44	5.5	2.1	56.2	0.89
	46	4.1	2.1	73.0	1.62	46	4.9	1.9	124	2.92	46	7.3	2.0	57.6	0.90
	48	4.3	2.3	65.4	1.06	48	4.1	1.5	96.1	2.49	48	6.0	1.8	59.9	0.75
根	1-9	148	147	170	6.41	2-10	150	165	295	16.8	3-9	85	70	236	7.67
	11	140	152	306	6.11	11	132	121	281	12.3	11	104	79	173	9.06
	13	154	203	208	7.31	13	138	155	272	9.8	13	122	105	234	15.1
	30	153	154	168	7.54	30	130	151	212	18.3	30	102	88	174	9.10
	32	134	158	154	6.36	32	170	128	304	16.0	32	106	86	176	10.7
	34	128	154	184	6.91	34	159	186	295	15.3	34	77	63	140	7.61
	44	120	160	150	6.58	44	143	195	264	15.9	44	97	85	177	10.6
	46	96	125	163	2.22	46	115	125	230	16.3	46	90	80	164	9.88
	48	102	173	206	6.33	48	125	139	299	22.7	48	101	106	192	7.86

6) 玄米中のCd濃度等とほかとの相関

これについて相関係数を表-17に示した。各項目とも3処理区間を通して27試料について見たものである。

試験設計がはじめから統計的なものでないため相関係数のみに止めた。

この表によれば、これまで報告された事柄のそれぞれの相関が認められた。

表-17 (相関係数)

項 目	相 関 係 数
土壤中Cd濃度と玄米Cd濃度	r = 0.782 ***
〃 とわらCd濃度	r = 0.653 ***
〃 と根Cd濃度	r = 0.302
根Cd濃度とわらCd濃度	r = 0.712 ***
わらCd濃度と玄米Cd濃度	r = 0.858 ***
根中のCuとCd濃度	r = -0.658 ***
わらのZn濃度と玄米Cd濃度	r = 0.844 ***
わらのCu濃度と玄米Cd濃度	r = -0.403 *
わらの中のZnとCd濃度	r = 0.913 ***
わらの中のCuとCd濃度	r = -0.840 ***
玄米中のZnとCd濃度	r = 0.011
玄米中のCuとCd濃度	r = 0.045

* 危険率 0.05 ≥
 ** " 0.01 ≥
 *** " 0.001 ≥

試料数：27

考 察

本試験では現地水田の土壌を稀塩酸に浸漬攪拌し、さらに水で洗浄して塩酸とこれに溶解した重金属を除去する作業をすべて手作業によって実施した。そのため処理時の土塊が大きく塩酸による重金属類の抽出除去が不完全になり、また処理後の水洗も十分に出来ないため重金属類が土壌中かなり残留し、前報告に(所報第4号)比較して特にカドミウムの除去率が悪く各種重金属の除去率(抽出率)も異っている。しかし前報告でも指摘したが脱水率の高い沝過方法を用いることにより実用的に十分な程度まで土壌中のCdを除去することが可能なことがこの試験で確認された。

塩酸処理による土壌の理化学性的変化は、土壌を中和する過程の中で適切な資材を選択することにより、ほぼ十分に回復出来ることを示したが、苗の活着不良、初期生育の遅延、または稲体の出

来過ぎ出穂遅延等まだ調整すべき幾つかの問題点は指摘し得る。しかし稲体の生育経過、生育量、収量等から判断して、塩酸による土壌処理は適切な中和処理により水稻の生育には何らの障害も残さないものと考えられる。

玄米中の重金属類の濃度は銅、鉛、亜鉛とカドミウムでは異なる傾向を示している。

銅、鉛、亜鉛については今回の供試土壌中の重金属濃度の差では稲体生育に強い影響を及ぼさず、従って玄米中への吸収にも大差がないものと考えられ、既往の知見と一致するものである。

カドミウムでは土壌中の重金属濃度が玄米中濃度に鋭敏に反映し、かつ生育条件によっても強く影響される性質を持っているため、本試験のように土壌中のカドミウムを60%程度除去した場合は、玄米に対する吸収を強く抑制している。また本試験では中干を実施したが十分その効果が出ておらず、土壌は常に還元的に経過したため、玄米に対するカドミウム移行をさらに抑制する方向に作用したものとする。

以上の試験結果から重金属汚染水田土壌を塩酸で処理して玄米中のカドミウム濃度の低減をはかる方法は試験的には可能なことを実証したが、この方法が実用化するには現地で施行可能な農業土木工学的な技術が確立され、さらに二次公害、経済効果等の検討がなされなければならない。

参考文献

秋田県公害技術センター年報 第4号

重金属被害軽減に関する研究

昭53年 秋田県農業試験場