

水稻のカドミウム吸収抑制に関する試験

〈ポット試験〉(第3報)

鈴木 憲* 武藤 公二
三浦 平則 大橋 猛

1. 目 的

水稻によるカドミウム(以下Cdと略記)の吸収を抑制する方法として、土壤中Cdを吸収されにくい形態にする方法と土壤中Cdを除去する方法の2つがあげられる。我々は過年度来、後者に属するものとして土壤中Cdの塩酸(以下HClと略記)抽出除去法に関連した水稻のポット試験・現地試験を行い、その可能性と問題点について知見を得てきた。今回は土壤中CdのHCl抽出処理が水稻の生育・収量・Cd吸収に与える影響を土壤中Cd濃度・土壤pH・水管理などそれぞれ効果が比較的明確になっている因子との関連でとらえる目的でポットによる試験を行った。

2. 方 法

- (1) 試験場所……公害技術センター構内
- (2) 供試土壌……重金属濃度の高い増田土壌(以下M-土と略記)とそれより低い鷹巣土壌(以下T-土と略記)の2種。(表-1)
- (3) 試験区設定……上記2種土壌と下記(b)~(d)の3処理法を組合わせた合計16処理(ポット)1区制。(L₁₆直交表割付、表-2)

(a) 土 壤

52年度供試のものを処理の種類別に混合、風乾、再調整した後に供試

(b) 土壌のHCl抽出処理

51年度にこの処理を行い、51・52年に供試したものを本年(53年)さらに風乾、再調整して供試。(表-1)

処理方法については当所報第4号に掲載

(c) pH 調 整

pH 6.5区は炭カル、pH 5.0区は1N硫酸を計算量加えてかくはんし、1週間後pHを測定し再度必要量を加えて調整

(d) 水 管 理

落水区は7月7日以降落水し、畑土壌程度の水分を保って酸化的に経過した。常時湛水区は代かき後刈取りまでの全生育期間を湛水状態とした。

* 現在秋田県衛生科学研究所

(4) 栽培概要

風乾土……ポット a/2,000 あたり 7.5 kg 充填

施肥量……各区共通

N、P₂O₅、K₂O 各 1 g /ポット

(硫加リンアン11号 7.7 g /ポット)

水稻品種……トヨニシキ(秋田農試産、畑苗、草丈 13 cm、分けつ無し)

栽植密度……2本を1株としてポット当り2株植

移植月日……5月23日

刈取月日……10月26日

その他……病害虫防除のためスミチオン、フジワンを適宜散布

(5) 重金属測定

玄米ならびに茎葉中の重金属濃度の測定にあたっては、硝酸-過塩素酸分解後に直接原子吸光法によった。

表-1 供試土壌の重金属濃度

土 壤	分析法分析 項目	全 分 解 法 (ppm)						0.1 N-HCl抽出法(ppm)					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Fe▲	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
増田土壌		545	149	630	6.39	1.27	369	291	36	244	6.42	204	192
鷹巣 "		132	47	259	3.40	1.23	348	37	6.8	59	3.25	55	160
増田塩酸処理土壌		375	131	425	1.55	1.33	380	163	31	94	1.34	248	228
鷹巣 "		102	45	214	0.77	1.24	431	21	4.7	26	0.71	73	214

53年度分析値(▲Feのみ%)

表-2 試験区の構成と内容(L₁₆直交表割付)

ポ ット No	要 因				要 因 (処 理) 内 容
	(A) 土 壤	(B) HCl 処 理	(C) pH	(D) 水 管 理	
1	1	1	1	1	(要因) (水準) (A) 土 壤 1. M-土壌(重金属濃度高い) 2. T- "(" 低い) (B) HCl抽出処理 1. 無処理 2. 処 理 (C) pH調整 1. pH低(5.0) 2. "高(6.5) (D) 水管理 1. 落 水 2. 常時灌水
2	1	1	1	2	
3	1	1	2	1	
4	1	1	2	2	
5	1	2	1	1	
6	1	2	1	2	
7	1	2	2	1	
8	1	2	2	2	
9	2	1	1	1	
10	2	1	1	2	
11	2	1	2	1	
12	2	1	2	2	
13	2	2	1	1	
14	2	2	1	2	
15	2	2	2	1	
16	2	2	2	2	

3. 結 果

(1) 水稻の生育状態ならびに玄米収量

試験区毎の結果を表-3に、要因分析結果を表-4に示した。またHCl処理に関して有意となったものについての要因解析図を図-1~5に示した。

(2) 玄米ならびに茎葉中の重金属濃度

玄米・茎葉それぞれについて試験区毎の結果を表-5、6に、要因分析結果を表-7(1)、(2)に示した。Cd以外の重金属濃度は参考までに掲載したものである。また、Cd濃度がHCl処理について有意となったものの要因解析図を図-6、7に示した。

4. 考 察

(1) 水稻の生育状態ならびに玄米収量

水稻の生育におよぼす土壤のHCl抽出処理の影響としては表-4の草丈・茎数・稈長などの要因分析結果にあらわれているように、主効果およびpHとの交互作用が有意であった。それぞれについて各水準の母平均の推定を行いグラフ化したものが図-1~4である。図-3はHCl抽出処理により生育が劣ったことを示しているが、同様の傾向が図-1、2、4の低pH区には全てあらわれている。しかしながら、高pH調整を行った区ではHCl無処理のものと同程度かむしろ向上しており、HCl処理を施してもpHを6.5前後に調整することにより生育の劣勢を改善することが可能と考えられる。

玄米収量についてもHCl抽出処理の主効果およびpH調整との交互作用が有意であり、各水準の母平均の推定を行い図-5に示した。生育の場合と同様に低pH区ではHCl処理による収量の低下が観察されるが、高pH区ではHCl処理に関する2つの水準間に差がないことが明らかである。

(2) 玄米ならびに茎葉中のCd濃度

重金属濃度に関する要因分析結果を表-7に示したが、玄米・茎葉ともにCdについては水管理に次いでHCl処理が有意となっている。HCl処理とpH調整との交互作用は危険率5%で有意ではなかったが、生育ならびに収量に関しては有意であるため無視せずに推定を行いグラフ化して図-6、7に示した。図よりHCl処理の主効果としてのCd濃度低下が明らかであると同時に、HCl抽出処理と高pH調整の組み合わせがHCl無処理と低pH調整の組み合わせに比較し、玄米・茎葉それぞれ幾何平均にして $1/2$ 以下、 $1/3$ 以下になっているのが判る。また、HCl無処理と高pH調整の組み合わせが高いCd濃度を与える傾向も示されている。

5. 結 論

土壤中の塩酸抽出処理により水稻の茎葉ならびに玄米中のCd濃度は低下したが、水稻の生育・

玄米の収量にはマイナスの影響を与える。しかし、土壌を高pH状態に調整することにより生育の劣勢を改善できる。また、交互作用は有意ではないが、塩酸抽出処理と高pH調整との組合せは玄米中のCd濃度の低減にも効果的である。

表-3 稲の生育状態並びに玄米収量

ポット No	要因				6月30日				7月3日		7月24日		出 穂 月 日	9月3日			玄米 収量
	(A) 土 壌	(B) 酸 処 理	(C) pH	(D) 水 管 理	pH	Eh ₆ (mV)	草 丈	茎 数	pH	Eh ₆ (mV)	草 丈	茎 数		稈 長	穂 長	穂 数	
1	1	1	1	1	6.05	136	46	12	6.45	271	75	49	8/11	74	16.5	46	51.4
2	1	1	1	2	6.21	89	42	14	5.82	90	78	52	8/9	76	19.0	48	73.8
3	1	1	2	1	6.67	74	43	14	6.36	86	81	51	8/11	75	16.0	46	35.4
4	1	1	2	2	6.55	80	47	17	6.73	76	78	60	8/9	79	16.0	50	75.8
5	1	2	1	1	5.83	56	44	11	6.02	1	80	51	8/9	81	18.0	41	41.9
6	1	2	1	2	6.11	-30	38	9	6.50	-10	70	61	8/12	70	16.5	51	54.3
7	1	2	2	1	6.63	17	44	13	6.76	28	78	54	8/11	92	18.0	46	48.6
8	1	2	2	2	6.50	-10	50	17	6.49	14	77	65	8/10	79	17.5	45	67.2
9	2	1	1	1	5.64	143	53	24	5.69	35	79	63	8/8	80	16.5	50	47.3
10	2	1	1	2	5.62	-39	50	19	6.21	42	80	58	8/10	75	16.5	43	49.5
11	2	1	2	1	6.42	-25	45	13	6.73	65	79	56	8/9	80	17.0	45	53.7
12	2	1	2	2	6.38	-40	47	13	6.21	-18	84	52	8/11	77	19.0	47	68.6
13	2	2	1	1	5.89	-108	44	12	5.79	-39	69	55	8/13	68	14.5	51	30.3
14	2	2	1	2	5.69	-73	47	17	5.60	-63	74	50	8/10	68	16.5	42	37.8
15	2	2	2	1	6.47	91	51	16	6.33	51	81	54	8/8	78	16.5	42	52.9
16	2	2	2	2	6.58	-33	49	16	6.36	23	75	57	8/12	82	15.0	48	66.6

単位：草丈、稈長、穂長はcm 基数、穂数はポット当り本数
玄米収量はポット当りg

Eh測定はポット内土壌に電極挿入、5～10分間の測定値である。

表-4 生育・収量に関する要因分析結果

要因	6月30日		7月24日		9月13日	玄収 米量
	草丈	基数	草丈	基数	稈長	
A 土 壌	*	*				*
B HCl 処理			*			*
C pH					*	**
D 水 管 理						**
A × B						*
A × C		*				*
A × D				*		*
B × C	*	*			*	*
B × D						*
C × D						*

* 5%危険率で有意

** 1% " で "

表-5 玄米中の重金属濃度

(風乾物当たり ppm)

ポット No	(A) 土 壌	(B) HC ₂ 処理	(C) pH	(D) 水 管 理	Cu		Pb		Zn		Cd		Fe		Mn	
						平均		平均		平均		平均		平均		平均
1	1	1	1	1	6.75	6.95	0.08	0.10	30.0	30.6	0.516	0.522	9.8	10.3	43.6	43.6
					7.15		0.12		31.2		0.527		10.7		43.6	
2	1	1	1	2	4.59	4.65	0.10	0.10	22.5	22.6	0.050	0.047	9.4	9.3	21.8	22.5
					4.70		0.10		22.6		0.043		9.2		23.2	
3	1	1	2	1	8.62	8.88	0.14	0.12	33.1	33.0	2.78	2.64	9.6	9.3	78.8	78.0
					9.14		0.09		32.9		2.50		9.0		77.2	
4	1	1	2	2	4.29	4.42	0.12	0.13	19.3	19.9	0.041	0.040	8.1	8.0	18.0	18.6
					4.55		0.13		20.5		0.038		7.8		19.2	
5	1	2	1	1	6.38	6.46	0.09	0.10	27.2	27.5	0.169	0.179	8.7	9.0	47.9	52.0
					6.54		0.10		27.7		0.188		9.2		56.1	
6	1	2	1	2	3.74	3.87	0.06	0.10	22.6	22.2	0.014	0.015	9.2	9.2	21.3	21.1
					4.00		0.13		21.8		0.015		9.2		20.8	
7	1	2	2	1	5.62	5.74	0.03	0.09	25.9	26.2	0.150	0.170	8.9	9.1	46.6	45.9
					5.86		0.15		26.4		0.190		9.2		45.2	
8	1	2	2	2	3.88	3.69	0.07	0.07	21.9	21.7	0.015	0.017	8.9	8.8	20.5	20.6
					3.50		0.06		21.5		0.019		8.6		20.6	
9	2	1	1	1	6.33	6.40	0.17	0.12	25.0	25.5	0.927	0.904	9.5	9.3	65.9	71.5
					6.47		0.07		25.9		0.884		9.0		77.0	
10	2	1	1	2	3.71	3.68	0.13	0.10	16.4	16.8	0.013	0.014	10.3	10.6	20.1	20.9
					3.65		0.07		17.1		0.015		10.8		21.7	
11	2	1	2	1	5.71	5.76	0.10	0.08	22.5	22.5	0.471	0.468	9.0	9.2	52.8	56.1
					5.81		0.05		22.5		0.464		9.4		59.3	
12	2	1	2	2	3.51	3.55	0.10	0.08	20.2	20.2	0.043	0.040	9.0	9.2	21.5	22.4
					3.59		0.06		20.1		0.036		9.4		23.3	
13	2	2	1	1	6.38	6.71	0.06	0.04	29.6	28.6	0.457	0.447	9.0	8.8	104	112
					7.05		0.02		27.5		0.436		8.5		120	
14	2	2	1	2	3.25	3.19	0.12	0.12	13.4	13.7	0.014	0.015	10.5	10.2	19.1	20.0
					3.13		0.12		14.1		0.015		9.9		20.8	
15	2	2	2	1	4.74	4.95	0.11	0.10	23.6	23.7	0.076	0.073	9.7	9.5	37.0	35.5
					5.15		0.08		23.7		0.069		9.3		34.0	
16	2	2	2	2	2.96	3.08	0.14	0.09	16.6	16.4	0.012	0.012	9.1	9.1	20.7	21.3
					3.19		0.04		16.1		0.011		9.1		21.9	

註 1ポット当たり2株植 左右の株を別々に分析した。

表-6 茎葉中の重金属濃度

(風乾物当たり ppm)

ポット No	(A) 土 壤	(B) HCℓ 処理	(C) pH	(D) 水 管理	Cu		Pb		Zn		Cd		Fe		Mn	
						平均		平均		平均		平均		平均		平均
1	1	1	1	1	8.4	9.2	1.3	1.4	147	155	3.28	3.48	139	165	792	809
					10.0		1.5		162		3.68		191		826	
2	1	1	1	2	5.7	5.5	1.3	1.1	56.2	59.4	0.19	0.22	249	259	218	238
					5.2		0.9		62.6		0.24		268		257	
3	1	1	2	1	16.6	15.5	1.3	1.8	279	272	22.4	19.5	195	224	2070	2,010
					14.3		2.2		264		16.6		253		1,950	
4	1	1	2	2	4.2	4.3	1.3	1.4	53.0	46.9	0.22	0.16	205	211	147	147
					4.3		1.5		40.8		0.09		217		147	
5	1	2	1	1	9.2	9.1	1.2	1.4	99.2	100.1	0.92	0.94	179	174	1,110	1,170
					8.9		1.6		101		0.96		168		1,230	
6	1	2	1	2	3.3	3.2	1.9	1.7	52.9	50.8	0.077	0.075	374	330	188	192
					3.1		1.4		48.6		0.073		286		195	
7	1	2	2	1	7.0	6.8	1.0	1.2	85.1	91.5	1.08	1.07	155	154	970	887
					6.6		1.3		97.8		1.06		152		804	
8	1	2	2	2	3.2	2.9	0.9	1.0	38.5	42.2	0.053	0.060	206	199	174	167
					2.5		1.1		45.8		0.066		191		160	
9	2	1	1	1	8.0	7.7	2.4	2.1	111	118	4.96	5.21	273	223	1,700	1,625
					7.4		1.7		124		5.46		173		1,550	
10	2	1	1	2	2.6	2.7	1.3	1.5	18.5	18.7	0.067	0.057	290	289	115	121
					2.8		1.7		18.9		0.047		288		126	
11	2	1	2	1	7.0	7.1	2.0	1.8	65.4	70.6	2.73	3.04	215	198	1,560	1,345
					7.1		1.5		75.8		3.35		181		1,130	
12	2	1	2	2	2.9	2.8	1.2	1.3	29.7	30.4	0.16	0.17	188	188	174	188
					2.6		1.3		31.1		0.18		188		202	
13	2	2	1	1	10.1	10.3	2.4	2.4	110	122	3.42	3.74	220	202	2,710	2,605
					10.4		2.3		133		4.05		183		2,500	
14	2	2	1	2	2.5	2.5	1.7	1.5	16.6	16.6	0.040	0.037	181	213	118	115
					2.4		1.2		16.5		0.034		245		112	
15	2	2	2	1	5.3	5.5	1.0	0.9	57.2	53.1	0.37	0.34	158	165	718	646
					5.6		0.8		49.0		0.31		172		574	
16	2	2	2	2	2.1	2.2	1.4	1.3	21.6	21.9	0.058	0.062	198	209	140	137
					2.3		1.1		22.2		0.065		219		133	

註 1ポット当たり2株植 左右の株を別々に分析した。

表-7 要因分析結果

(1) 玄米の重金属濃度

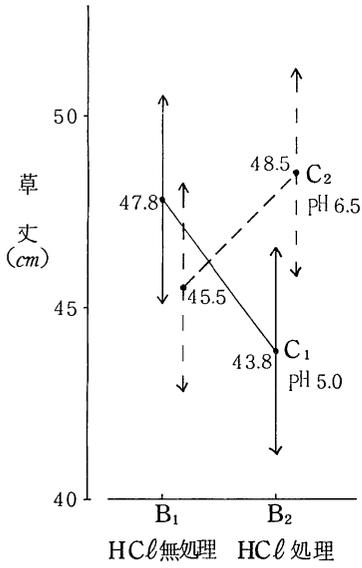
要 因	Cu		Pb		Zn		Cd		Fe		Mn	
	F	ρ										
(A) 土 壤	*	7.2			**	17.4						
(B) HCl 処理	*	5.7					**	12.0				
(C) pH									*	12.3		
(D) 水 管 理	**	70.2			**	59.6	**	74.8			**	79.1
A × B												
A × C												
A × D									*	11.0		
B × C												
B × D												
C × D									*	12.7		

注) F…F検定 *は5%危険率で有意 **は1%危険率で有意
 ρ …因子の寄与率(単位%)

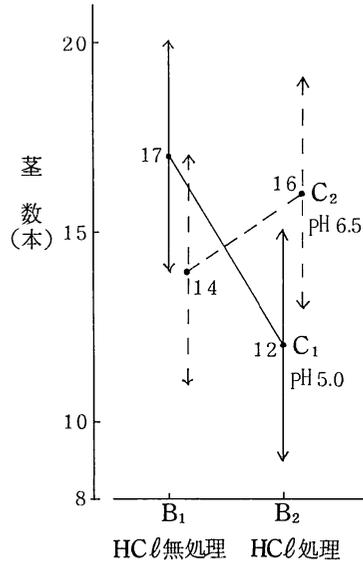
(2) 茎葉の重金属濃度

要 因	Cu		Pb		Zn		Cd		Fe		Mn	
	F	ρ										
(A) 土 壤	*	7.2			**	18.4						
(B) HCl 処理	*	3.8			*	3.7	**	9.9				
(C) pH												
(D) 水 管 理	**	74.5			**	61.4	**	75.8	*	14.8	**	86.3
A × B												
A × C												
A × D												
B × C												
B × D												
C × D												

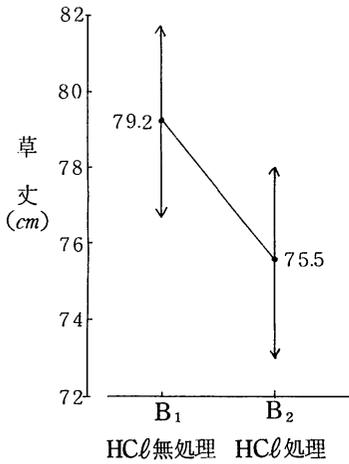
注) Fと ρ については同上



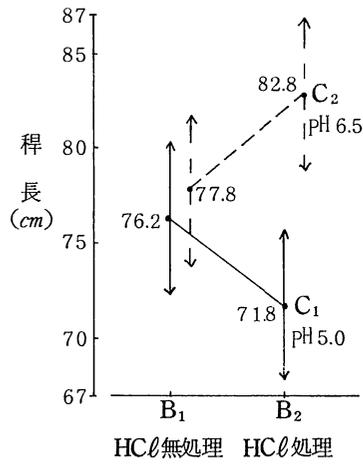
図一 1 6月30日 草 丈



図一 2 6月30日 茎 数



図一 3 7月24日 草 丈



図一 4 9月13日 稈 長

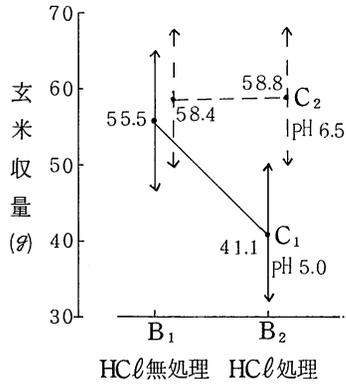


图-5 玄米収量

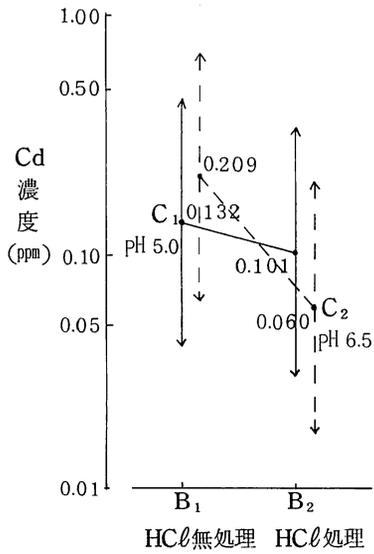


图-6 玄米中Cd濃度

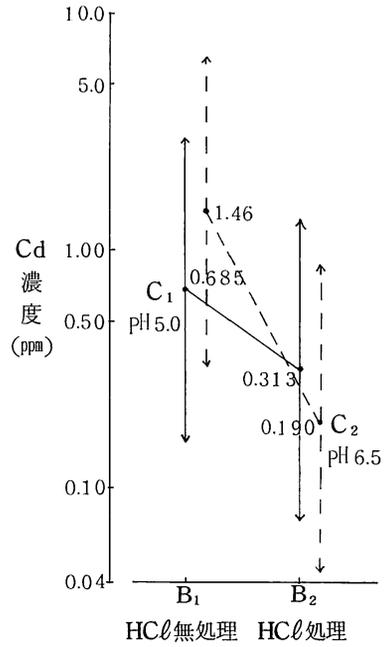


图-7 茎葉中Cd濃度