

(3) 重金属汚染土壌の塩酸抽出法による処理に関する研究

鈴木 憲 高橋 秋男
武藤 公二 清野 明廣

1. 目 的

カドミウムによる汚染米の対策として効果の認められる方法としては、中和剤や土壌還元促進剤を施用し、常時湛水栽培する事により、土壌中のカドミウムの可給化を抑制する方法と、排客土により土壌のカドミウム濃度の低い水田にする方法の二種類ある。しかし前者は水不足や水田の漏水等により、常時湛水が困難な場合には効果が認められない事が多く、また土性によつては根腐れの危険がある。後者は汚染土壌の廃棄による二次汚染や客土用土壌の採掘による自然破壊等の問題があり、客土の材料がまだ土壌化していない山土であるため、生産力が期待できない事が多い。

そこで土 のカドミウム濃度を下げる方法として、汚染土壌を塩酸やEDTA溶液で洗浄する方法が考えられた。しかし、それらを直接水田に撒いたのでは、地下水や河川水を汚染するため、廃水の処理が必要である。そこで汚染土壌を採土し、処理槽で塩酸抽出し洗浄中和して復土し、廃液を処理して排水するという処理システムが考えられた。

この研究は、塩酸抽出に及ぼす諸条件の影響について調べ、また塩酸抽出処理が土壌の性質や稲の生育に与える影響について調べるのが目的である。

2. 抽出試験

(1) 実験方法

増田町の水田土壌の風乾細土に抽出液を加え、恒温水平振とう器で振とうし、5 B 戸紙で戸過し、純水10 ml で 2 回洗浄し、残渣を王水と過塩素酸で処理し、抽出液、洗浄液と共に原子吸光光度計で重金属濃度を測定し、抽出率を求めた。供試土壌の重金属濃度は表 1 の通りである。

表 1 供試土壌

土 壤	土 性	重 金 属 濃 度 (ppm)					
		C u	P b	Z n	C d	F e	M n
増田(1)	埴 土	5.40×10	3.83×10	2.88×10 ²	3.21	2.17×10 ⁴	2.64×10 ²
〃 (2)	〃	7.65×10	4.29×10	4.21×10 ²	5.37	2.42×10 ⁴	3.04×10 ²

(2) 鉱酸の種類と抽出率

0.1 Nの塩酸、硫酸、硝酸及びそれらの混酸を用いて抽出率を比較した。

表 2 鉱酸の種類と抽出率

土 壤	抽 出 条 件				抽 出 率 (%)					
	酸	温 度	液 量	洗浄回数	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
増田(1) 10g	HCl	20℃	50 ml	2 回	17.8	7.8	10.6	89.2	0.3	15.5
"	H ₂ SO ₄	"	"	"	12.5	4.1	10.5	74.9	0.8	20.5
"	HNO ₃	"	"	"	16.2	5.3	10.2	78.7	0.2	15.4
"	HCl:HNO ₃ 3 : 1	"	"	"	14.9	8.2	10.8	87.3	0.3	16.1
"	HCl:H ₂ SO ₄ 7 : 3	"	"	"	14.6	4.2	9.9	87.7	0.5	17.8
"	HCl:H ₂ SO ₄ 1 : 1	"	"	"	11.6	3.6	9.6	85.5	0.6	17.4
"	HNO ₃ :H ₂ SO ₄ 1 : 1	"	"	"	10.5	3.4	9.3	76.9	0.5	18.5

結果は表2の通りである。カドミウムの抽出率は塩酸の場合最も高く、硫酸の場合に最も低かった。混酸の場合は、その2種の酸単独の場合の中間の値を示した。また硫酸はマンガンの抽出率が他の酸に比べて高く、銅が低かった。硝酸は鉄の抽出率が他に比べて低かった。また腐植は硫酸に最も溶けやすく、硝酸に溶けにくいのが液の着色で観察された。

(3) 塩酸濃度と抽出率

0.05 N、0.1 N、0.2 Nの塩酸を用いて、5分、15分、30分、60分間振とうし、各々抽出率を求めた。

結果は表3のようになった。この実験では、いずれの濃度でも僅か5分の振とうで60分と同様の抽出率も示した。塩酸濃度が高い程カドミウムの抽出率は高いが、0.2 Nでは腐植の溶出が0.1 Nの硫酸と同程度に多いように観察された。

表 3 塩酸濃度と振とう時間のCd 抽出率に及ぼす影響

土 壤	抽 出 条 件						Cd 抽 出 率
	土 壤 量	塩酸濃度	時 間	温 度	液 量	洗浄回数	
増 田 (1)	10 g	0.05 N	60分	20℃	50 ml	2 回	82.5%
〃	〃	〃	30	〃	〃	〃	80.9
〃	〃	〃	15	〃	〃	〃	82.7
〃	〃	〃	5	〃	〃	〃	81.5
〃	〃	0.1 N	60	〃	〃	〃	90.0
〃	〃	〃	30	〃	〃	〃	89.7
〃	〃	〃	15	〃	〃	〃	90.3
〃	〃	〃	5	〃	〃	〃	89.0
〃	〃	0.2 N	60	〃	〃	〃	92.6
〃	〃	〃	30	〃	〃	〃	92.6
〃	〃	〃	15	〃	〃	〃	91.9
〃	〃	〃	5	〃	〃	〃	92.5

(4) 抽出温度と抽出率

0.1Nの塩酸を50 mlを用いて、11℃、25℃、39℃で、5分、30分、60分間振とうし、各々抽出率を求めた。

表 4 振とう時間と温度の影響

土 壤	抽 出 条 件					抽 出 率 (%)					
	土壌量	塩酸濃度	時 間	温 度	洗浄回数	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
増 田(2)	10 g	0.1 N	60分	11℃	2 回	22.9	7.4	14.5	82.0	0.8	11.2
〃	〃	〃	30	〃	〃	21.7	7.2	13.7	81.2	0.8	10.6
〃	〃	〃	5	〃	〃	20.2	6.5	12.7	78.7	0.7	7.4
〃	〃	〃	60	25	〃	24.6	10.0	17.3	85.0	0.5	18.5
〃	〃	〃	30	〃	〃	24.5	9.5	16.0	85.1	0.7	14.1
〃	〃	〃	5	〃	〃	23.9	9.0	14.6	83.9	0.7	10.7
〃	〃	〃	60	39	〃	24.0	11.0	20.3	86.1	0.4	27.0
〃	〃	〃	30	〃	〃	25.1	11.4	19.2	85.7	0.4	22.5
〃	〃	〃	5	〃	〃	25.4	11.1	16.3	86.4	0.6	15.0

結果は表 4 のようになった。カドミウムは温度が高くなると僅かに抽出率が高くなるが、高くなる程その差は小さくなる。

銅は25℃と40℃では差がないが、11℃では少し低い。亜鉛とマンガンは温度が高くなる程抽出率が高くなるが、特にマンガンは上がり方が大きい。鉄は逆に温度が高くなるに従って少し低くなる。

(5) 振とう時間と抽出率

表 4 から、カドミウムは振とう時間による抽出率の差が小さく、30分を超えると殆んど変わらない。銅は温度が低い場合には時間と共に抽出率が高くなるが、25℃以上では差がない。亜鉛は時間が長くなると少し抽出率が高くなる。マンガンは時間が長くなるに従って抽出率の上昇が大きい。鉄は25℃以上では逆に時間が長くなると低くなる。

(6) 酸化剤共存と抽出率

土壌中のカドミウムは還元状態よりも酸化状態の方が溶出しやすいと言われているが、抽出液に酸化剤として過マンガン酸カリウムを添加した場合の抽出率を求めた。

表 5 KMnO_4 共存と Cd 抽出量

土 壌	抽 出 条 件							抽 出 量 (μg)		
	土壌量	塩酸濃度	KMnO_4 濃度	液 量	温 度	時 間	洗浄回数	Cu	Zn	Cd
平鹿土壌	10 g	0.05 N	0.12 %	50 ml	20℃	30分	2 回	326	151	7.35
"	"	"	0.06 %	"	"	"	"	362	157	7.71
"	"	"	0.01 %	"	"	"	"	415	170	8.02
"	"	"	無 添 加	"	"	"	"	419	170	7.90
増田土壌 (1)	"	"	0.06 %	"	"	"	"	18	194	19.6
"	"	"	無 添 加	"	"	"	"	27	199	19.7

結果は表 5 の通りである。過マンガン酸カリウムを加えても効果がなく、むしろ多く加える程塩酸が消耗され抽出率が低下する傾向がある。

(7) 塩類共存と抽出率

0.1Nの塩酸に塩化カリウム、硫酸アンモニウムを0.1M/ℓ添加した抽出液50mlを用いて、各々抽出率を求めた。

また0.1Nの塩酸に塩化カルシウムを0.1M/ℓ、塩化アルミニウムを Al^{3+} として500ppm

添加した抽出液50 mlを用いて抽出率を求めた。

表 6 塩類添加の影響 (1)

土 壤	抽 出 条 件					抽 出 率 (%)					
	土壌量	添 加 物	温度	時間	洗 浄 回数	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
増田(1)	10 g	KCl	25℃	30分	3 回	18.6	12.0	13.9	85.4	0.4	18.9
〃	〃	(NH ₄) ₂ SO ₄	〃	〃	〃	14.2	5.4	13.5	78.3	0.9	23.2
〃	〃	無 添 加	〃	〃	〃	18.1	9.5	14.5	87.2	0.2	22.5

表 7 塩類添加の影響 (2)

土 壤	抽 出 条 件					抽 出 率 (%)					
	土壌量	添 加 物	温度	時間	洗 浄 回数	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
増田(2)	10 g	CaCl ₂	20℃	30分	2 回	42.9	27.8	53.6	91.9	1.6	28.8
〃	〃	AlCl ₃	〃	〃	〃	48.9	19.9	52.7	90.8	1.3	27.4
〃	〃	無 添 加	〃	〃	〃	46.1	17.0	50.8	90.0	0.9	25.2

結果は表 6 と表 7 のようになった。

塩化カリウムを添加すると抽出率はマンガンが少し低くなり他の成分は殆んど変らない。
 硫酸アンモニウムを添加すると、マンガンは高くなるが他は低くなる。また塩化アルミニウム
 を添加すると、いずれの成分も僅かに高くなり、塩化カルシウムを加えると、更に僅かに高
 くなる。

(8) 抽出洗浄液再利用による二段抽出の抽出率

まず土壌10 gを塩酸で2段に抽出し、水10 mlで何回か洗浄し、その2段目の抽出液と洗
 浄液を混合し、HCl濃度が元の濃度になるように計算量の12 N塩酸を追加した液を用意
 した。その液を1段目の抽出液として用いて、土壌10 gを抽出し、2段目は新しい塩酸で抽
 出し、水10 mlで何回か洗浄した。これを表 8 に示すように0.1 Nの塩酸50 mlと0.2 Nの塩酸25
 mlについて行つた。1段目の抽出液量は2段目の抽出液と洗浄液の和であり、抽出温度は
 20℃、振とう時間は30分とした。

表 8 抽出液洗浄液再利用による二段抽出

土 壤	抽 出 条 件										Cd 抽出率 (%)
	土壌量	塩 酸 濃 度	1 段 目				2 段 目		HCℓ 量 (ミリ当量)	洗 淨 回 数	
			抽出液	液 量	Cd (ppm)	HCℓ 補 充	抽出液	液 量			
増田(1)	10 g	0.1 N	新	50 ml	0.0	—	新	50 ml	10.0	1 回	91.4
〃	〃	〃	〃	〃	〃	—	〃	〃	〃	〃	91.6
〃	〃	〃	再	56	0.453	1.2N 0.04 ml	〃	〃	5.44	〃	90.3
〃	〃	〃	〃	〃	0.409	〃	〃	〃	〃	〃	89.5
〃	〃	0.2 N	新	25	0.0	—	〃	25 ml	10.0	〃	89.0
〃	〃	〃	〃	〃	〃	—	〃	〃	〃	〃	88.9
〃	〃	〃	再	32.5	1.02	1.2N 0.07 ml	〃	〃	5.88	〃	82.4
〃	〃	〃	〃	〃	1.09	〃	〃	〃	〃	〃	82.1

その結果、表 8 のように 0.1 N の場合、50 ml の新しい塩酸で二段抽出するのが最も抽出率が高かったが、母液を再利用した場合でも、HCl 消費量が約半分にもかかわらず、それに近い抽出率を示した。0.2 N の場合、25 ml の新しい塩酸で二段抽出しても、HCl 消費量は同じなのに、0.1 N 50 ml の場合よりも、またその再使用の場合よりも抽出率が低くなっている。また母液の再使用の場合には更に抽出率が低くなっている。

3. 洗 浄 試 験

(1) 実験方法

風乾細土 10 g に塩酸 50 ml を加え、20℃で 30 分間振とうし、母液を過した残渣を 10 ml の水で数回洗浄し、各々の洗浄液、抽出液の PH をガラス電極で測定した。またカドミウム濃度を原子吸光で測定し、塩素イオン濃度をモール法で滴定した。

(2) 洗浄回数と母液の PH 変化

0.05 N、0.1 N、0.2 N の塩酸を用いて抽出し、PH を測定した。

その結果、表 9 のようになり、図 1 のように洗浄回数を増す毎に PH は直線的に上昇した。

表 9 洗浄回数とPH変化

土 壤	抽 出 条 件			汲 液 の PH				
	土 壌 量	抽出液濃度 (N)	洗 淨	抽 出 液	洗 淨 液			
					1 回 目	2 回 目	3 回 目	4 回 目
増田(1)	10 g	0.05	水 10ml シャワー	2.00	2.28	2.43	2.58	2.88
"	"	0.1	"	1.38	1.68	1.81	2.02	2.27
"	"	0.2	"	0.95	1.18	1.39	1.66	1.92

(3) 洗浄回数とカドミウム濃度変化

0.1Nと0.2Nの塩酸を用いて抽出し、カドミウム濃度を測定した。

結果は表10のようになり、図2のように減衰曲線を描き、PHが1上がると、カドミウム濃度は約1/10に減少している。

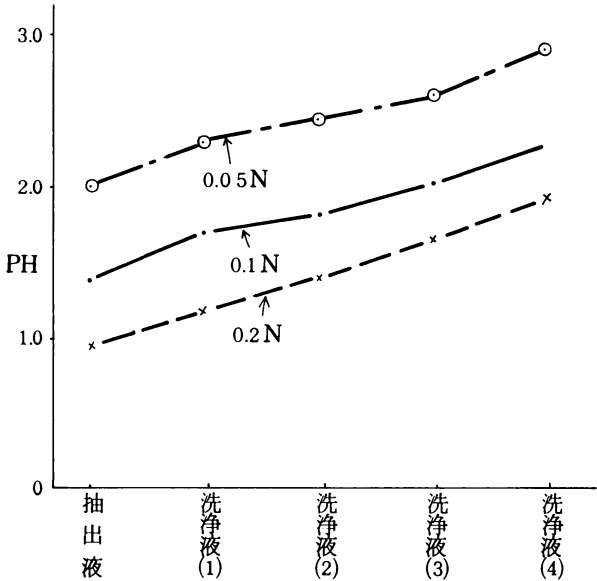


図 1 洗浄汲液のPH変化

表 10 洗浄回数とCd濃度の変化

土 壤	抽 出 条 件			汲 液 の Cd 濃 度 (ppm)				
	土 壌 量	抽出液濃度 (N)	洗 淨	抽 出 液	洗 淨 液			
					1 回 目	2 回 目	3 回 目	4 回 目
増田(1)	10 g	0.1	水 10ml シャワー	1.19	0.797	0.421	0.219	—
"	"	0.2	"	2.84	2.00	1.20	0.585	0.236

2-(8)の結果を基礎としてカドミウムの物質収支を計算し、これを図3に示した。

塩酸抽出した場合の残留液濃度 (mg/l) は母液の濃度と等しいと仮定し、洗浄した場合の残留液の濃度は、その回の洗浄母液と次回の母液の相乗平均と仮定し、残留液量は13.5mlと仮定して残留液中のカドミウムの絶対量を求め、その差から残査中の不溶性の量を算出した。

これを見ると塩酸抽出をした場合には残査中の不溶性カドミウムは極端に減少するが、洗浄によっては殆んど減少しないと言える。

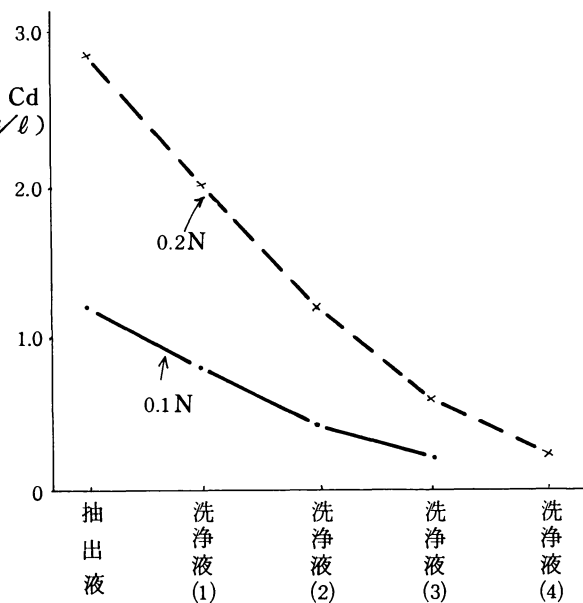


図2 洗浄母液のCd濃度の変化

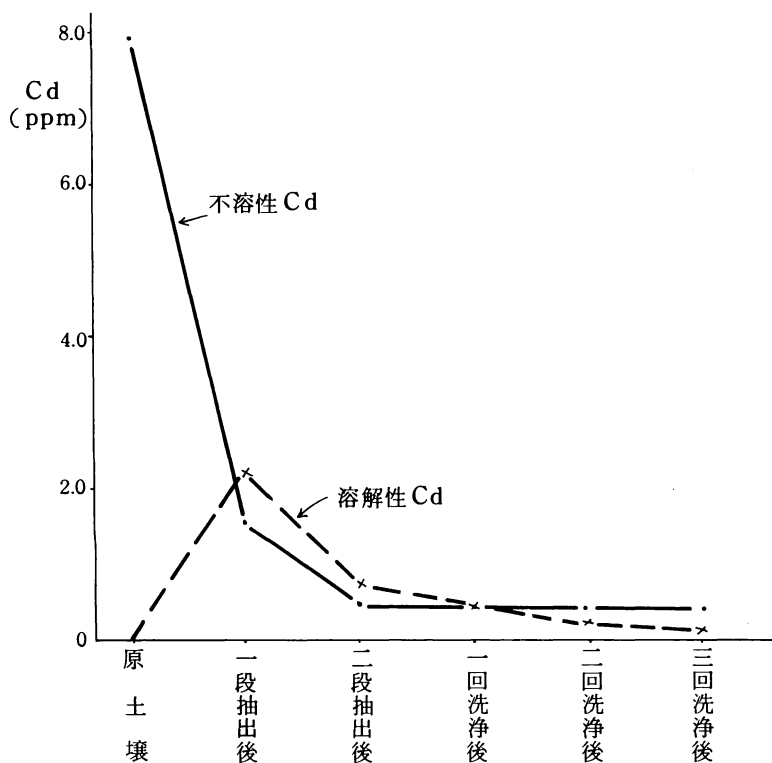


図3 土壌残査中の不溶性及び溶解性のCd濃度の変化

残留液のカドミウム濃度が高く不溶性濃度が低い場合には不溶性カドミウムの上下がみられるが、液濃度や液量の測定や推定の誤差による変動であり、実際は殆んど変化せず、変化するとしても、洗浄によるPHの上昇により残留液中のカドミウムが僅かに不溶性に戻るだけだと考えられる。

0.1 Nでは1段目の抽出で不溶性カドミウムが約1/5になり、2段目の抽出で更に約1/3になる。また図示しないが、0.2Nの場合は1段目で一挙に約1/15になり、2段目の抽出では少ししか減少しない。

(4) 洗浄回数と塩素イオン濃度の変化

0.05 N、0.1 N、0.2 Nの塩酸を用いて抽出し、塩素イオン濃度を測定した。

表 11 洗浄回数と Cl^- 濃度の変化

土 壤	抽 出 条 件			Cl^- 濃 度			
	土 壤 量	抽出液濃度 (N)	洗 淨	抽出液 mg/ml	洗 淨 液 mg/ml		残 査 mg/g
					1 回 目	2 回 目	
増田(2)	1 0 g	0.0 5	水 10 ml シャワー	1.7 6	0.9 1 7	0.3 9 5	0.6 8 5
"	"	0.1	"	3.4 8	1.7 5	0.8 6 6	1.4 3
"	"	0.2	"	7.1 5	3.6 4	1.7 5	2.6 5

結果は表11のようになり、塩素イオン濃度は抽出液の濃度に比例し、図4のようにカドミウムと同様に減衰曲線を描く。

次に0.1 N塩酸を用いて抽出し、普通のロータによる汙過と吸引汙過の場合の塩素イオン濃度の変化について比較した。

その結果は表12のようになり、普通の汙過では1回の洗浄毎に汙液の濃度が約1/2になるのに対し、吸引汙過では約1/4になる。また残査の濃度は図5のように普通の汙過では3回洗浄してやつと1,000ppmまで下がるのに対し、吸引汙過では

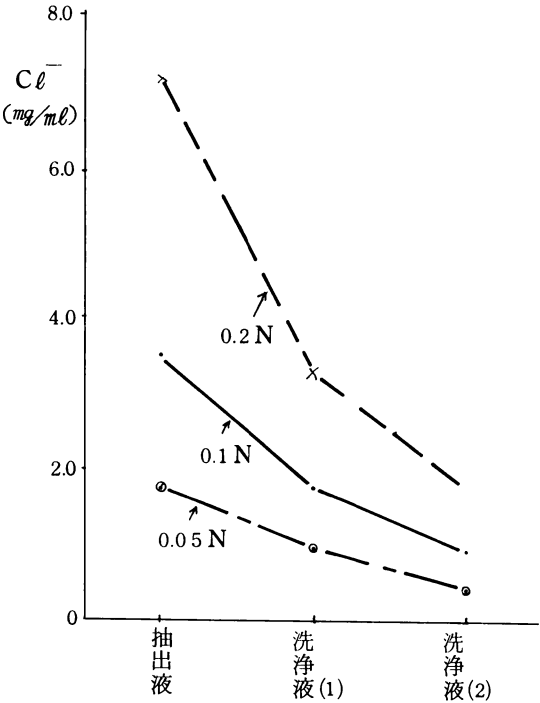


図 4 洗浄回数の Cl^- 濃度の変化

1 回の洗浄で軽く 1,000 ppm 以下に下がってしまう。また残査の濃度は 1 回の洗浄毎に普通の
の H_2O では約 $2/3$ に、吸引 H_2O では約 $1/3$ に減少している。

表 12 Cl^- 濃度変化の H_2O 法による比較

土 壤	抽 出 条 件				Cl^- 濃 度					
	土壌量	抽出液 濃 度 (N)	洗 淨	H_2O 過	抽出後 mg/ml	洗 淨 液 mg/ml				残 査 mg/g
						1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	
増田 (2)	10 g	0.1	水 10ml シャワー	普 通	3.52	1.99	0.962	0.526	0.332	0.673
"	"	"	"	吸 引	3.57	1.87	0.460	0.128	0.035	0.025

4. 塩酸抽出土壌の中和試験

(1) 緩衝曲線法による中和

土壌 200 g を 0.1N の塩酸
1 l を用いて、20℃ で 30 分
間振とうし、プフナーロー
トで吸引 H_2O し、水 200 ml
で 2 回洗浄し、残査を風乾
し、中和実験に供した。

抽出前と抽出後の土壌 10
g に 1 N の塩化カリウムを
25 ml 加え、0.2 N の水酸化ナ
トリウムを 2 ～ 8 ml 加えた
後 60 分間放置し、PH を測
定し、その変化をグラフに
プロットした緩衝曲線によ
って、土壌の PH を 6.5 にす

るのに要する CaO 量を算出した。(表 13)

そうして求めた CaO 量を消石灰 (CaO 70%)、炭カル (同 53%)、珪カル (同 25%)、
熔リン (同 50%) に換算した量を各々添加し、よく混合し水 10ml を加えて 10 日間放置した。
それに塩化カリウムを 25ml で 1 N となるように加え、PH を測定した。

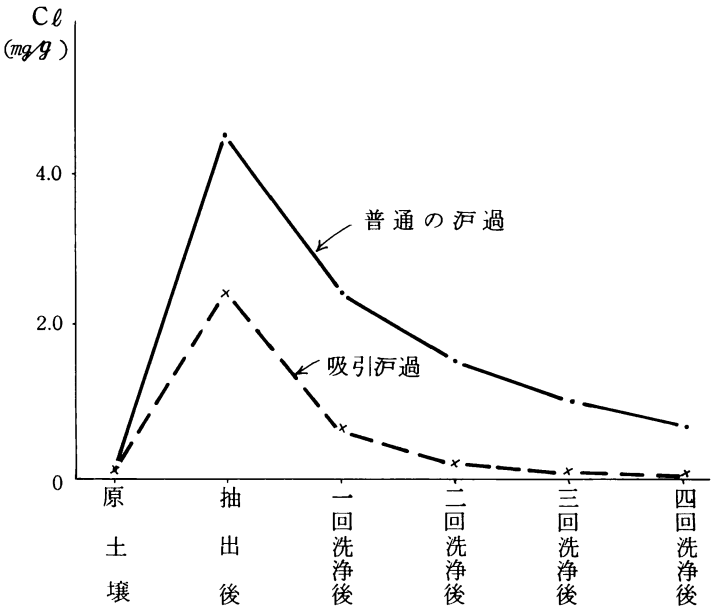


図 5 土壌残査中の Cl^- 濃度の変化

表 13 中和に要する CaO 量 (土壌 10 g 当り)

土 壌	土 壌 量	P H (1N・KCl)	中 和 CaO量 mg / 10 g	換 算 値 mg / 10 g			
				消 石 灰	炭 カ ル	硅 カ ル	熔 リ ン
増 田 (2) 抽 出 前	10 g	4.25	30.7	43.9	58.0	123	61.4
“ 抽 出 後	“	2.73	67.3	96.1	12.7	26.9	13.5

表 14 中和剤を計算量加えた場合の 10 日後の PH

土 壌	土 壌 量	中 和 剤 添 加 量 (mg)				熟 成	P H (1N・KCl)
		消 石 灰	炭 カ ル	硅 カ ル	熔 リ ン		
増 田 (2) 抽 出 前	10 g		58			10 日	6.02
“ 抽 出 後	“	97				“	5.56
“ “	“		128			“	5.68
“ “	“			26.9		“	4.65
“ “	“				13.5	“	4.04
“ “	“		64	13.5		“	4.85
“ “	“		64		6.8	“	4.65
“ “	“	48		13.4		“	4.79
“ “	“			13.4	6.7	“	4.34

その結果は表 14 のようになった。抽出前の土壌では PH 6 まで上がり順調に中和が進行したといえるが、抽出後の土壌ではやや低い PH 値となる。炭カルと消石灰は速効性で、PH 5.5 ～ 5.7 と普通の水田土壌と同程度まで回復している。硅カルと熔リンは遅効性で PH 5 以下で特に熔リンは遅く PH 4 までしか上らない。二種の中和剤を CaO 量が半々になるように加えた場合は、単独の場合の中間の値より低かった。

(2) 2 段中和

前節で実験した 10 日熟成後の土壌の PH を更に 6.5 にするのに要する CaO 量を緩衝曲線法により求めた結果、表 15 のようになった。

抽出後の土壌に炭カルを計算量加え、10 日間熟成させた後、表 16 の CaO 量を 4 種類の中和剤で補ってやり、更に 10 日間熟成させた後 PH を測定した。

表 15 10 日間熟成による反応率

土 壤	中 和 剤	中 和 CaO 量	反 応 率
増 田 (2) 抽 出 後	消 石 灰	1 0.6 ^{mg}	8 4.2
〃	炭 カ ル	9.9 8	8 5.4
〃	硅 カ ル	2 5.0	6 2.4
〃	熔 リ ン	3 3.7	4 9.9

表 16 熟成 10 日後、中和剤を計算量追加した場合の 20 日後の PH

土 壤	1 回目中和剤	2 回目中和剤	PH (水)	PH ($\frac{N}{6}$ KCl)
増 田 (2) 抽 出 後	炭カル 1 2 8 ^{mg}	炭カル 2 0 ^{mg}	7.2 3	6.5 6
〃	〃	消石灰 1 4	7.1 4	6.3 8
〃	〃	硅カル 4 1	6.9 7	6.1 9
〃	〃	熔リン 2 0	7.0 9	6.2 9

その結果は表16のようになった。炭カルと消石灰は10日間で約85%反応するが、硅カルと熔リンはそれぞれ60%、50%しか反応していない事になるが、二段中和として、10日後に不足量を追加してやると、PHが炭カル、消石灰ではほぼ6.5となり、硅カル、熔リンでもまずまずの値になる。

5. 土壌の性質の変化

(1) 塩基置換容量等の変化

風乾細土10gに0.05 N、0.1Nの塩酸を用いて、10℃、30℃で、5分、30分間振とうし、10mlの水で2回洗浄し、残査を風乾し、その残査について、PH、導電率、塩基置換容量および置換性塩基を測定した。

その結果は表17～18のようになった。PHは0.1 Nでは約2、0.05 Nでは1.5程度低くなるが、温度、時間による差は小さい。吸引戸過の場合には少し高くなっている。

導電率は、0.05 Nでは原土壌の2倍、0.1 Nでは4倍程になるが、温度、時間については一定の傾向がなく、バラツキが大きい。吸引戸過ではかなり原土壌に近くなっている。

表 17 抽出条件と土壌の性質の変化

土 壤	抽 出 条 件				塩基置換容量me/100g		PH	導電率 μV/cm
	汙過法	酸濃度	温 度	時 間	PH5	PH7		
増 田 (2)	通 常	0.05 N	10 ℃	5 分	19.5	27.3	4.01	387
〃	〃	〃	〃	30	20.3	27.2	4.04	345
〃	〃	〃	30 ℃	5	20.4	26.0	4.11	299
〃	〃	〃	〃	30	19.9	28.0	3.98	326
〃	〃	0.1	10 ℃	5	20.6	26.1	3.67	779
〃	〃	〃	〃	30	21.1	26.8	3.57	752
〃	〃	〃	30 ℃	5	20.3	26.8	3.56	709
〃	〃	〃	〃	30	21.6	27.8	3.50	816
〃	吸 引	〃	〃	〃	21.2	27.2	3.80	274
〃	原 土 壤				19.3	25.2	5.58	197

表 18 抽出条件と土壌の置換性塩基の変化

抽 出 条 件				置 換 性 塩 基 (ppm)								
汙過法	酸濃度	温度	時間	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Mg	Ca	K
通常	0.05N	10℃	5分	2×10 ⁻¹	tr	6.4	3.4×10 ⁻¹	9.8	3.02×10	1.98×10 ²	6.5×10 ²	1.15×10 ²
〃	〃	〃	30	〃	〃	7.0	2.6 〃	1.00×10	3.10 〃	1.73 〃	5.5 〃	1.41 〃
〃	〃	30	5	〃	〃	6.4	2.6 〃	9.2	2.90 〃	1.67 〃	5.3 〃	1.10 〃
〃	〃	〃	30	〃	〃	6.0	2.8 〃	1.10×10	2.92 〃	1.70 〃	5.1 〃	1.13 〃
〃	0.1N	10	5	〃	〃	3.8	2.4 〃	1.24 〃	3.22 〃	1.39 〃	3.9 〃	1.16 〃
〃	〃	〃	30	6×10 ⁻¹	〃	7.4	1.6 〃	1.42 〃	3.22 〃	1.31 〃	3.4 〃	1.08 〃
〃	〃	30	5	2×10 ⁻¹	〃	7.0	1.4 〃	1.32 〃	3.14 〃	1.21 〃	2.7 〃	9.7×10
〃	〃	〃	30	〃	〃	6.4	8×10 ⁻²	1.80 〃	2.96 〃	1.31 〃	2.8 〃	1.03×10 ²
吸引	〃	〃	〃	〃	〃	6.8	1.4×10 ⁻¹	1.40 〃	3.30 〃	1.26 〃	2.8 〃	8.9×10
原 土 壤				〃	〃	3.2	1.14	2×10 ⁻¹	1.67 〃	3.00 〃	2.70×10 ³	2.06×10 ²

塩基置換容量はPH 5、7共に原土壤に比べ少し高くなるが、温度、時間、塩酸濃度によつては一定の傾向が見られない。吸引過しても変らない。

置換性塩基については、カドミウムの濃度が著しく低くなつてゐるが、これは絶対量（全分解による濃度）の低下によるものと考えられる。次いでカルシウム、マグネシウム、カリウムの置換性濃度の低下が大きく、逆に亜鉛、鉄、マンガンは置換性濃度が高くなつてゐて、鉄は著しく高くなつてゐる。

(2) リン酸吸収係数の変化

0.1 Nの塩酸を用いて、11℃、25℃、39℃で、5分、30分、60分間振とうし、同様に操作し、残査についてリン酸吸収係数を測定した。

その結果は表19のようになり、リン酸吸収係数は一割以上低くなるが、温度が高い程、また時間が長くなるに従つて僅かに低くなる。

表 19 抽出条件とリン酸吸収係数の変化

土 壤	抽 出 条 件		P ₂ O ₅ 吸収係数 mg/100g
	温 度	時 間	
増 田 (2)	11℃	60分	1,190
〃	〃	30	1,180
〃	〃	5	1,200
〃	25℃	60	1,160
〃	〃	30	1,170
〃	〃	5	1,200
〃	39℃	60	1,120
〃	〃	30	1,140
〃	〃	5	1,160
〃	原 土 壤		1,330

(3) 土壤の中和によるリン酸吸収係数の変化

次の節のポット試験に用いた土壤MA、MH、TC、TH 10gについて、中和石灰量に相当する量の消石灰、珪カル、熔リンをそれぞれ加え、よく混合し水10mlを加えて20日間放置し、リン酸吸収係数を測定した。

その結果は表20のようになった。リン酸吸収係数は中和剤の添加により上昇し、反応率の高い中和剤程上昇が大きい。

表 20 抽出土壌の中和剤によるリン酸吸収係数の変化

土 壌		中 和 剤	P ₂ O ₅ 吸収係数 mg/100g
MA	無 処 理	無 添 加	1,090
〃	塩酸処理	〃	990
〃	〃	珪カル 229 mg	1,120
〃	〃	熔リン 114	1,150
〃	〃	消石灰 82	1,230
TC	無 処 理	無 添 加	1,000
〃	塩酸処理	〃	850
〃	〃	珪カル 240 mg	1,020
〃	〃	熔リン 120	1,000
〃	〃	消石灰 86	1,100

6. 水稻の生育に与える影響（ポット試験）

(1) 実験方法

(1)－① 供試土壌の塩酸抽出処理

増田町土壌と鷹巣町土壌を畑状態まで風乾し、1 cmの篩を通し、5 倍量の0.1N塩酸を加えて時々攪拌し、30 分後布袋を用いて濾過し、その後水に浸漬したり手で圧縮して濾過したりする洗浄操作を3～4 回繰り返し、再び畑状態まで風乾し、CaO 要求量を緩衝曲線法により求めて、消石灰を加えて処理土壌として供試した。珪カル、ヨーリン添加区は無処理の中和石灰量に相当する珪カルと磷酸吸収係数の10%に相当するヨーリンを添加し、珪カルのCaO 分をさし引いた量の消石灰を加えた。

(1)－② 供試土壌………表21のとおり

MA 土壌（増田町吉野）とTC 土壌（鷹巣町）の2 土壌を塩酸処理して合計4 土壌種とした。

(1)－③ 試験区設定………表22のとおり

塩酸処理した土壌を消石灰で中和したものおよび珪カル、ヨーリンを添加し消石灰を用いたもの、消石灰で中和し常時湛水としたもの等、無処理区を加え合計8 処理区を設けた。

原則として2 連制、一部1 連制とした。

表 21 ポット供試土

土 壤 記号	処 理	土 性	中和CaO量	P ₂ O ₅ 吸収係数	塩基置換容量	HP	導 電 率	遊 離 酸 化 アルミニウム	Cℓ ⁻ 濃度
			mg/100g	mg/100g	me/100g		μV/cm	ppm	ppm
MA	無 処 理	埴 土	1.79×10 ²	1,030	26.2	5.55	2.97×10 ²	3.1×10 ³	2.1×10
MH	塩 酸 処 理	〃	5.72 〃	912	25.5	3.54	1.11×10 ³	3.8 〃	9.44×10 ²
TC	無 処 理	〃	2.41 〃	994	21.6	4.96	3.66×10 ²	7.7 〃	4.4×10
TH	塩 酸 処 理	〃	6.00 〃	837	23.8	3.35	1.21×10 ³	6.4 〃	1.17×10 ³

土 壤	全 分 解 重 金 属 濃 度 ppm						0.1 N H C ℓ 抽 出 重 金 属 濃 度 ppm					
	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
M A	6.34×10 ²	1.78×10 ²	7.29×10 ²	7.57	1.67×10 ⁴	2.65×10 ²	3.41×10 ²	5.45×10	3.19×10 ²	7.30	3.09×10 ²	7.38×10
M H	3.78 〃	1.56 〃	4.62 〃	1.65	1.64 〃	2.07 〃	1.79 〃	4.53 〃	1.19 〃	1.38	6.53×10 ²	7.60 〃
T C	1.47 〃	5.84×10	3.01 〃	3.90	1.78 〃	2.22 〃	4.48×10	9.8	7.10×10	3.93	6.53×10	2.04 〃
T H	1.08 〃	5.16 〃	2.43 〃	6.8×10 ⁻¹	1.78 〃	2.12 〃	3.12 〃	9.3	3.35 〃	6.8×10 ⁻¹	1.62×10 ²	1.51 〃

表 22 ポット試験区

試 験 区	ポット№	使用土壌	水管理	添 加 剤
MA無処理区	A 1、2	M A	節 水	な し
〃 処理区(1)	F 1、2	M H	〃	消石灰 52.3 g
〃 〃 (2)	F 3、4	〃	〃	消石灰 35.9 g、珪カル 45.8 g、熔リン 36.2 g
〃 〃 (3)	F 9	〃	常時湛水	消石灰 52.3 g
TC無処理区	A 9、10	T C	節 水	な し
〃 処理区(1)	F 5、6	T H	〃	消石灰 54.9 g
〃 〃 (2)	F 7、8	〃	〃	消石灰 32.9 g、珪カル 61.7 g、熔リン 33.1 g
〃 〃 (3)	F 10	〃	常時湛水	消石灰 54.9 g

(1)－④ 栽培概要

a/2,000 ワグネルポットに風乾土（水分20％程度）を約8kgつめ、肥料3要素は各区共通量（1g／ポット）とし化成肥料（硫加リンアン11号）7.7gを施用した。

水稻、ヨネシロ（秋田農試産、畑苗）を2本1株、ポット当り2株植え、5/29代かき、5/31移植、10/13刈取、水管理は、移植後中干しまで断水せず、7/1～7/15は中干し、その後常時湛水区以外は節水栽培（過湿畑状態程度）として土壌を酸化状態に経過させた。

薬剤散布は、7/2スミチオン（害虫用）と7/7、7/29、8/10の3回はスミチオン（＋）フジワン（病害用）を併用散布した。

(2) 結 果

(2)－① 生育状況

生育状況は表23－(1)、23－(2)のとおりである。収量については吸収抑制資材のポット試験同様、刈取後乾燥中に強風に遇つて飛散した区もあり（同試験参照）あまり細かな比較は出来ない。また一部ゾイ虫に侵されたポットもある。（表－23 参照）

増田土壌（MA）の無処理区は草丈が低く分けつも少く、早く出穂し収量が少かつたが、塩酸処理区（MH）は移植直後の一週間程、葉の先端から枯れて来たものもあつたが、活着後の生育は順調で草丈、分けつ共に普通並みに回復し、収量は無処理区よりは非常に優つた。ただ出穂期がやや遅れた。土壌のPHは目標に近い値を示し、Ehは無処理に比べかなり下つた。

表 23 - (1) 生育状態及び収量調査

試 験 区	土 壤	ポ ット №	活 着	6 月 28 日		7 月 29 日		出 穂 月 日	10 月 13 日			収量 g /ポット	
				PH	E h	草 丈	茎 数		稈 長	穂 長	穂 [▲] 数	ワ ラ 重	玄 米 重
MA無処理	MA	A 1	稍不良	5.8 8	mv 3 5 2	cm 5 4	本 2 9	8/3	cm 5 6	cm 1 7.5	本 3 4	2 0	3 3.7
“ “	“	A 2	“	6.1 3	3 6 3	5 2	2 1	4	6 0	1 6.5	3 2	1 5	2 4.4
“ 処理(1)	MH	F 1	不 良	6.5 0	1 8 6	6 7	6 5	2	7 6	1 6.0	5 6	5 9	6 0.0
“ “ “	“	2	“	6.1 7	1 5 5	6 9	4 9	11	7 1	1 6.0	3 3 (+) 9	3 0	4 1.0
“ “ (2)	“	3	稍不良	6.1 8	1 1 7	6 4	6 7	12	7 4	1 6.0	5 5	5 5	5 7.2
“ “ “	“	4	不 良	6.7 0	1 0 1	6 5	7 7	12	8 0	1 7.5	5 6	6 2	4 1.7
“ “ (3)	“	9	稍不良	6.3 7	1 4 2	7 0	7 3	6	8 0	1 6.0	6 1	6 0	7 3.1
TC無処理	TC	A 9	良	5.2 0	2 9 7	8 1	5 3	8/6	8 0	2 0.0	3 5	4 3	4 4.9
“ “	“	10	“	5.2 3	3 4 4	7 1	6 8	6	8 6	1 4.5	4 5	4 8	5 5.5
“ 処理(1)	TH	F 5	稍不良	6.4 0	7 5	7 3	8 0	15	8 6	1 7.0	6 1	6 4	7 7.0
“ “ “	“	6	“	6.5 8	1 4	7 1	8 1	13	7 9	1 6.5	2 2 (+) 3 8	5 3	4 7.6
“ “ (2)	“	7	“	6.3 8	1 0 8	7 4	8 4	6	8 5	1 5.0	6 6	7 3	7 3.0
“ “ “	“	8	“	6.8 3	1 4 8	6 9	7 0	15	7 9	1 8.0	4 2 (+) 1 3	6 8	4 5.5
“ “ (3)	“	10	“	6.5 2	4 4	7 0	7 2	13	7 7	1 6.5	6 6	6 3	7 5.8

▲穂数の(+) 9 等とあるのはゾイ虫被害茎(全穂)

表 23 -(2) 生育状態及び収量調査のまとめ

試 験 区	土 壌	ポット No.	6 月28日		7 月29日		出穂 月 日	10 月 13 日			収量 g /ポット	
			PH	Eh	草丈	茎数		稈長	穂長	穂数▲	ワラ重	玄米重
MA無処理	MA	A1、 2	6.0 1	mv 3 5 8	cm 5 3.0	本 2 5.0	8/4	cm 5 8.0	cm 1 7.0	本 3 3.0	1 7.5	2 9.1
〃 処理(1)	MH	F 1、 2	6.3 4	1 7 1	6 8.0	5 7.0	12	7 3.5	1 6.0	4 4.5 (+) 5	4 4.5	5 0.5
〃 〃 (2)	〃	3、 4	6.4 4	1 0 9	6 4.5	7 2.0	12	7 7.0	1 6.8	5 5.5	5 8.5	4 9.5
〃 〃 (3)	〃	9	6.3 7	1 4 2	7 0	7 3	6	8 0	1 6.0	6 1	6 0	7 3.1
TH無処理	TC	A9、 10	5.2 2	3 2 1	7 6.0	6 0.5	8/6	8 3.0	1 7.3	4 4.0	4 5.5	5 0.2
〃 処理(1)	TH	F 5、 6	6.4 9	4 5	7 2.0	8 0.5	14	8 2.5	1 6.8	4 1.5 (+) 1 9	5 8.5	6 2.3
〃 〃 (2)	〃	7、 8	6.6 1	1 2 8	7 1.5	7 7.0	11	8 2.0	1 6.5	5 4 (+) 6.5	7 0.5	5 9.3
〃 〃 (3)	〃	10	6.5 2	4 4	7 0	7 2	13	7 7	1 6.5	6 6	6 3	7 5.8

鷹巣土壌（TC）の無処理区はまずまずの生育状況であつたが、塩酸処理区（TH）は分けつがやや多く収量もかなり優つた。出穂期はやはり少し遅れた。PH、EhともMHと同様であつた。

常時湛水した区はMH土壌では出穂期が節水区に比べ早くなつていて、収量がやや優るが、TH土壌では出穂期も収量も殆んど変らない。

(2)－② 稲の重金属濃度

稲の重金属濃度は表24－(1)、24－(2)のようになった。MA無処理区の玄米のカドミウム濃度は1.0を超えたが、塩酸処理区は1/10～1/20に下がつた。塩酸処理をして硅カルと熔リンを加えた区は、消石灰だけで中和した区より少し高かつた。

TC無処理区の玄米のカドミウム濃度は、2.0に近かつたが塩酸処理区では1/6～1/10に下がつた。塩酸処理をしてケイカルと熔リンを加えた区は、消石灰だけで中和した区より少し低かつた。

塩酸処理をして更に常時湛水した区は、MH、THとも節水区に比べ同程度かそれ以下であつた。

表 24 -(1) 稲の重金属濃度

試 験 区	土 壤	ポ ット No	玄 米 (ppm)						粳 穀 (ppm)						茎 葉 (ppm)					
			Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
MA無処理	MA	A 1	8.9 4	0.4 3	3 3.7	1.2 0	9.4 2	3 2.7	7.3	6.1	6 1.2	2.6 2	1 2.2	3 8.0	13.9	9.6	2 0.3	6.9 5	3 1.0	8 4.0
“ “	“	2	8.8 0	0.4 1	3 4.5	1.4 0	9.0 7	3 7.4	6.6	10.0	5 9.3	4.0 6	1 1.4	4 3.9	13.8	7.3	2 0.3	9.3 1	2 7.5	9 2.7
“ 処理(1)	MH	F 1	6.2 3	0.4 2	2 9.9	0.1 1	9.4 7	2 7.3	5.8	3.2	4 0.3	0.3 1	8 7	1 5.8	8.2	4.2	7 6.9	0.6 3	3 0.7	3 1.0
“ “ “	“	2	6.0 1	0.4 4	3 0.2	0.0 6	1 0.5	2 2.7	5.6	3.4	3 5.1	0.1 7	1 3.8	1 6.0	6.9	4.6	6 3.5	0.2 7	1 0.1 0	2 9.7
“ “ (2)	“	3	6.5 9	0.4 3	3 2.7	0.1 2	1 0.2	2 9.9	5.6	3.6	4 0.1	0.3 3	9 4	2 3.1	6.8	4.6	6 2.3	0.3 6	4 2.8	5 0.5
“ “ “	“	4	6.9 1	0.4 5	3 1.9	0.2 6	9.6 2	3 3.1	6.1	2.3	3 9.8	0.4 5	7 1	2 9.1	9.4	4.9	7 6.9	1.2 8	2 7.7	8 9.4
“ “ (3)	“	9	5.1 6	0.4 0	2 9.1	0.0 9	8.8 2	1 9.8	4.3	2.0	3 2.6	0.1 8	6 6	1 1.5	6.7	4.8	8 4.1	0.4 9	4 1.7	2 4.3
TC無処理	TC	A 9	5.8 9	0.4 2	3 2.1	1.9 9	7.8 8	3 0.0	4.7	3.4	5 5.2	5.4 3	5 7	3 0.8	7.4	5.1	1 9.3	1.2 2	1 8.8	7 0.2
“ “	“	10	6.1 1	0.3 9	3 1.6	1.7 6	7.7 3	3 3.4	5.4	4.7	6 1.6	5.6 6	7 2	3 5.7	10.1	4.7	2 2.9	1.3 7	1 5.8	9 1.6
“ 処理(1)	TH	F 5	4.5 3	0.3 8	2 6.6	0.2 0	7.7 6	2 5.3	4.9	2.8	3 3.3	0.3 6	5 4	2 1.9	6.1	3.5	7 5.3	1.3 1	1 5.2	6 4.1
“ “ “	“	6	6.0 9	0.4 4	3 1.6	0.3 0	8.9 0	2 6.9	5.7	4.8	4 2.0	0.7 4	6 5	1 8.3	10.6	4.3	8 6.2	1.6 7	2 0.1	5 8.2
“ “ (2)	“	7	4.5 9	0.4 0	2 7.0	0.1 5	8.5 1	2 6.3	3.1	2.1	2 8.9	0.2 3	5 6	1 8.7	5.7	4.1	4 6.8	0.7 6	1 7.1	5 8.4
“ “ “	“	8	5.1 0	0.4 5	2 6.6	0.1 9	8.4 2	3 4.1	5.0	2.3	3 8.3	0.4 3	6 9	2 8.1	6.6	6.6	6 5.2	0.6 3	2 1.5	1,130
“ “ (3)	“	10	3.3 8	0.3 9	2 2.2	0.0 2	8.7 3	1 3.8	3.5	2.2	2 8.6	0.0 9	5 7	5 3	2.6	4.3	3 6.0	0.1 1	2 4.0	7 7

表 24 - (2) 稲の重金属濃度のまとめ

試 験 区	土 壌	ポ ット №	玄 米 (ppm)						粳 穀 (ppm)						茎 葉 (ppm)					
			Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn
MA無処理	MA	A1、2	8.87	0.42	34.1	1.30	9.25	35.1	6.95	8.05	60.3	3.34	118	410	13.85	8.45	203	8.13	293	884
〃 処理(1)	MH	F1、2	6.12	0.43	30.1	0.09	9.99	25.0	5.70	3.30	37.7	0.24	113	159	7.55	4.40	70.2	0.45	659	304
〃 〃 (2)	〃	3、4	6.75	0.44	32.3	0.19	9.91	31.5	5.85	2.95	40.0	0.39	83	261	8.10	4.75	69.6	0.82	353	700
〃 〃 (3)	〃	9	5.16	0.40	29.1	0.09	8.82	19.8	4.3	2.0	32.6	0.18	66	115	6.7	4.8	84.1	0.49	417	243
TC無処理	TC	A9、10	6.00	0.41	31.9	1.88	7.81	31.7	5.05	4.05	58.4	5.55	65	333	8.75	4.90	211	12.95	173	809
〃 処理(1)	TH	F5、6	5.31	0.41	29.1	0.25	8.33	26.1	5.30	3.80	37.7	0.55	60	201	8.35	3.90	80.8	1.49	177	612
〃 〃 (2)	〃	7、8	4.85	0.43	26.8	0.17	8.47	30.2	4.05	2.20	33.6	0.33	63	234	6.15	5.35	56.0	0.70	193	857
〃 〃 (3)	〃	10	3.38	0.39	22.2	0.02	7.83	13.8	3.5	2.2	28.6	0.09	57	53	2.6	4.3	36.0	0.11	240	77

7. 考 察

(1) 抽出条件

鉱酸の中で塩酸が最もカドミウムの抽出率が高いが、抽出率を上げるためには土壌粒子をよく分散させ、濃い塩酸を多量に用い、高温で長時間攪拌し、多段抽出し脱水率の高い濾過方法で充分洗浄するとよい。

しかし、粘土質土壌、特に火山灰土壌は強酸性下では粘土の結晶格子の一部が壊れるため、次第にアルミニウム原子が粘土の外に出て来て、アルミニウムイオンの一部が動きやすく、植物に害を与えと言われる。従つて、塩酸抽出のように、PH 1 前後というシビアな条件下ではその危険性が考えられる。

カドミウムの抽出率は抽出温度が低く、抽出時間が短かくても、0.1N程度の塩酸で、80%以上という高い値を示す。また、玄米のカドミウム濃度は土壌中のカドミウムの絶対量には必ずしも比例せず、その易溶性濃度に影響されると考えられる。従つて、土壌の変質を覚悟してまで温度や塩酸濃度を上げたり時間を長くしたりするのは無用である。それよりも土壌粒子を分散させてムラなく抽出し、脱水率の高い濾過法を用いて残査の可溶性濃度を低くする事が重要である。また、抽出液量を増すと廃水処理量が増す事になるが、洗浄濾液を抽出液調製用に利用すると廃水量を減らす事が可能である。

(2) 中和条件

抽出後の土壌の中和剤としては、肥料用の消石灰か炭カルが速効性である。二段中和の場合、石灰過剰となるのを避けるために、速効性のものでPH 6程度まで上げた後、熔リンや珪カルで調整するのが無難である。また、熔リン、珪カルの施用は塩酸抽出処理で失われるMn、Mg等の補給にもなる。

(3) 土壌への影響

7-1(1)で述べたように塩酸処理により土壌の変質が予想されるが、実際にはこの分析結果の範囲では土壌は殆んど目立つた悪影響を受けなかつた。塩基置換容量が僅かに高くなつたが、粘土の結晶格子の一部が壊れたため、付加荷電が増したためとも考えられる。

リン酸吸収係数の低下は、アルミニウム、カルシウム等リン酸を固定する成分の減少によるものと考えられ、石灰等で中和すると元に戻る。

導電率が高くなるのは、遊離の酸や塩類の濃度が高くなる事を意味するが、脱水率の高い濾過法を用いる事により、原土壌と同じくらいまで下げる事ができる。なお、洗浄の終点の判定法として、イオン電極法による塩素イオンの測定があるが、この導電率を測定する事によつても可能である。

鉄、マンガン等の置換性の濃度が高くなる事から、それらの溶脱が心配されるため、この

成分の補給や復土前の鋤床の転圧等の対策が望まれる。また、遊離酸化アルミニウムはあまり変らないから、土壌を中和すればアルミニウムイオンによる生育障害の心配はない。土壌については以上のとおりであつて、土性が少し変つたとしても作物を生産する上では障害はないと思われるが、なお、検討を要する。

(4) 稲への影響

まず、残留塩素による生育障害が心配される。ポット試験に用いた土壌はMH、THとも洗浄が不十分で塩素イオン濃度が約 1,000 ppm あり、苗の活着にとつて危険な濃度と言える。やはり脱水率の高い沝過法により塩素イオンを十分に除去すべきである。

ポット試験において活着後の生育は順調で無処理区に比べ収量が優つた。これは重金属に汚染された土壌は多かれ少かれ生育障害があるため、塩酸処理により過剰な重金属が減少し、生育障害が軽減された事と、酸処理による部分殺菌により、いわゆる反応変換効果で有機態窒素等が有効化したことによるものと考えられる。また、出穂期が少し遅れたのも、そのため窒素がやや過剰となつたためと考えられる。

玄米のカドミウム濃度は節水栽培にも拘らず完全に 0.4ppm 以下になり、また、どちらの土壌についても大よそ土壌のカドミウム濃度の低下に応じて米の濃度も低下しており、塩酸抽出処理で残留したカドミウムが可給態に変わりやすいのではないかという懸念は当らなかった。

塩酸抽出処理区は玄米の色艶が少し悪いように観察され、味が劣るのではないかという点に関しては今後検討しなければならないが、この年は低温が続き、その上酸処理により出穂期が遅れたため、実りの悪い稲が多かつた事も一因と考えられる。

(5) 今後の課題

この実験で、脱水率の高い沝過方法を用いる事が、カドミウムの抽出率を高め、残査中の可溶性カドミウムや塩素イオンの濃度を減少させ、稲の生育障害や玄米のカドミウム汚染の恐れをなくす等の意味で、最も重要な条件と考えられるが、今後の課題として、フィルタープレス等を備えたパイロットプラントを用いて現地水田の規模で土壌を処理し、稲を栽培し生育状況、成分分析、米の試食等の調査をする事が必要である。