

水田土壤中におけるカドミウムの挙動

第3報 水稻のCd吸収に及ぼす落水時期の影響

皆 川 勝† 鎌 田 賢 一† 岩 淵 晴 郎†

THE MOVEMENT OF CADMIUM IN PADDY SOILS

3. Effects of the Surface Drainage Period of Paddy Fields on the Cd Absorption of Rice Plants

Masaru MINAGAWA, Ken-ichi KAMADA & Haruo IWABUCHI

鉱山排水の影響によるカドミウム (Cd) 汚染が明らかとなった現地の水田において、昭和46年から2ヶ年にわたって、落水時期の早晚が水稻のCd吸収に及ぼす影響について栽培試験を実施した。

その結果、早い時期に落水すると、水稻体内のCd濃度は著しく増加し、玄米中の濃度も非常に高くなることが認められた。そしてここでみられた水稻のCd吸収の特異性は、落水に伴う土壌の酸化還元電位の推移や、これと対応して増加する土壌中の可溶Cd量の挙動と極めて密接な関係にあることが明らかとなった。また落水時期の選択にあたっては、土壌の種類、降雨量などの気象条件の相異なる乾燥化の程度を把握するとともに、栽培品種や水稻の生育状況を十分考慮する必要性を認めた。以上を勘案すると、本地帯では出穂後20日間程度経過してから落水するのが適当と思われた。

緒 言

カドミウムの土壌—作物間の挙動については、近年各地で研究が進められ、成果の一部はすでに公表されているが、未だ不明確な点が数多く残されている。

しかし汚染地域にあっては、緊急的に除染対策が強く要望されているため、土地改良の施工や吸収抑制資材の施用効果について検討が行われ、一部では現場の対応策として実施に入った地域もある。また「間断かんがい」、「中干し」ならびに落水などの水管理の如何によっては、水稻玄米中の

カドミウム濃度が大きく影響されることが知られているが、基本的な土壌中の挙動や作物への吸収機作などの解析が不十分である。

筆者らは、第1報¹⁰⁾においてカドミウムの土壌中における形態ならびに挙動について室内実験的に究明し、得られた結果とそこから導かれた仮説について報告したが、本報ではこの仮説に基づいて、土壌の酸化還元に伴う可溶カドミウム量の動向と、水稻の吸収状況との関連を水管理技術の観点から検討した。しかし本道では、「中干し」、「間断かんがい」などは一般的に実施されていないので、本試験の場合は、落水時期の早晚による土壌変化とカドミウムの土壌—作物間の挙動を究明し、汚染水田における作物のカドミウム吸収抑制

† 元中央農業試験場（現道農務部）

†† 中央農業試験場

対策の一つとして、適期落水期の設定を樹立しようとするものである。

なお本稿を草するにあたり、ご指導、ご校閲をお願いした天北農業試験場森哲郎場長に深甚の謝意を表するとともに、現地試験の遂行にあたり、なにかと協力をいただいた中部後志農業改良普及所共和駐在所黒川主任、岡田技師、伊東技師を初め関係諸氏ならびに試験委託農家の方々に、あつく御礼申しあげる。

試験方法

過去の調査結果で、鉱山排水の影響による Cd 汚染が確認された共和町東幌似、小沢 7 区の 2 カ所の水田について、昭和 46、47 年の両年(小沢 7 区は 47 年度のみ試験)にわたって現地試験を実施した。

1. 試験地土壌の理化学性

東幌似：熔結凝灰岩を母岩とする洪積世堆積物からなり、土性は SiCL~L で、下層の構造は良く発達し粒状を呈するため透水性はむしろ過良である。本土壌は黄褐色土壌粘土型に包含される。

小沢 7 区：粘土を主体とする水積土(河成沖積)で、下部には一部ヨシを介在している。土性は粘性の強い LiC で、構造は均質連結状を呈する。

地下水位が高く透水性も不良である。本土壌は、グライ土壌強粘土マンガン型に属する。なお両試験地土壌の一般理化学性については、第 1 表に示した。

2. 試験項目および処理

(1) 落水時期の早晚が水稻の生育および Cd 吸収に及ぼす影響

落水時期を早、中、後期の 3 段階とし、両試験地とも 3 筆の水田を使用、それぞれに熟期の異なる 3 品種を組み入れた。なおここで設定した落水時期のうち中期落水区は、ほぼ現地の指導落水時期に相当する。本試験における処理法および耕種概要については、第 2 および第 3 表に示した。

水稻の Cd 濃度の測定にあたっては、46 年度では落水後 5~7 日、47 年度の場合は 3~4 日経過後、各処理区とも 3 反覆づつ採取し、葉身、茎稈基部に分画した後分析に供した。また収穫期の試料については、籾および玄米とし分析した。また各試料とも同時に Zn、Cu 濃度も測定し、処理効果を検討した。

(2) 落水後の土壌の酸化還元電位と可溶 Cd 量の推移

46 年度の試験結果から、落水時期別の水稻体内

第 1 表 試験地土壌の一般理化学性

試験地		粒 径 組 成 (%)				土 性	腐 植 率 (%)	全 空 素 率 (%)	置 換 容 量 me/100g	置換性塩基 mg/100g			燐 酸 吸 収 力 mg/100g	pH		減水深 mm/day
		粗 砂	細 砂	シルト	粘 土					石 灰	苦 土	加里		H ₂ O	KCl	
東 幌 似	1 層	4.7	26.4	47.3	21.5	SiCL	4.82	0.30	15.10	41.4	63.9	16.9	1388	5.2	4.3	22.74
	2 層	4.9	29.5	38.3	27.3	LiC	4.25	0.27	38.70	153.1	51.1	18.5	1682	5.7	4.6	
	3 層	12.4	50.7	27.3	9.6	L	4.96	0.29	45.40	82.8	68.2	24.5	2422	5.5	4.7	
小 沢 7 区	1 層	8.7	24.1	36.9	30.3	LiC	6.58	0.37	25.50	308.4	12.1	17.0	775	5.0	4.2	4.34
	2 層	2.2	21.9	40.7	35.2	LiC	8.40	0.64	28.00	395.4	18.1	10.0	792	5.2	4.5	

第 2 表 試験 区 の 構 成

処 理	品 種		落 水 時 期		規 模 (a)	
	46 年	47 年	46 年	47 年	東 幌 似	小 沢 7 区
早期落水	シオカリ、ほうりゆう、ユーカラ	ゆうなみ、そらちまつまえ	8月12日	8月14日	3.2	4.0
中期落水	〃	〃	8月22日	8月21日	2.1	4.5
後期落水	〃	〃	9月 1日	8月28日	4.2	5.5

第 3 表 耕 種 梗 概

試験地	施 肥 量 kg/10a			栽植密度	移植本数	移植月日	収穫月日
	N	P, O ₅	K, O				
46年 東 幌 似	7.0	9.0	7.0	33×15cm	3本	5月24日	10月2日
47年 〃	6.0	8.0	7.0	〃	3本	5月20日	9月19日
47年 小 沢 7 区	7.2	7.2	6.0	33×16.5cm	3本	5月26日	9月19日

の Cd 濃度に著しい差異が認められたので、47年度では作物の Cd 吸収と土壌の酸化還元電位に伴う土壌中の可溶 Cd 量との関連性について検討した。この目的のため土壌は、両試験地とも各処理区における落水当日と、作物体採取日と同時に採取した。採取した土壌は実験室に持ち帰り、湿潤土状態における Eh, pH を測定、同時に Cd, Zn, Cu ならびに Mn の 0.1N HCl 可溶量を測定した。

(3) 作物体および土壌分析法

本研究で採用した分析法の主なものは、次のとおりである。

作物体の Cd, Zn, Cu 濃度¹²⁾：玄米は 10g, その他の試料については 2g を供試、HClO₄, HNO₃, H₂SO₄ 3 液による湿式分解後、常法によりろ過、ろ液について Cd の場合はジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム (DDTC), メチルイソブチルケトン (MIBK) による抽出後、Zn, Cu ではろ液を直接原子吸光光度法により測定した。

土壌中の可溶 Cd, Zn, Cu, Mn 量¹³⁾：風乾土の場合は試料 10g に 0.1N HCl 50ml を加え 1 時間の振盪抽出後、濾液または希釈液について原子吸光光度法により測定した。湿潤土ではあらかじめ、水分量を求め、1N HCl および H₂O により土壌 10g に 0.1N HCl 50ml になるように調節したうえ、風乾土と同様に可溶量を測定した。

Eh および pH：試料を水分状態に応じ適宜 H₂O を加え十分かくはん、白金電極挿入後冷暗所に 24 時間静置し、比較電極を使用して Eh を測定した。pH はガラス電極法によった。

試 験 結 果

落水時期の早晚が、水稻の生育に及ぼす影響

水稻の生育面に与える落水時期の影響については、処理が出穂期以降に行なわれたためか、収穫時における草丈、穂数の調査では判然とした処理間差は 2 カ年とも認められなかった。

一方収量調査の結果では、46年度の場合、早期落水区における稔実歩合や籾薹比が低い傾向を示し、概して低収でかつ「イモチ病」の多発がみられた。しかし 47年度では処理による収量差はほとんどなく、逆に後期落水区の稔実歩合がやや低い傾向を示したに過ぎない。なお小沢 7 区試験地の後期落水区の全域および中期落水区の一部品種に水口の影響により異常に減収したものがあつた。収量成績の概要については第 4 表に示した。

2. 落水時期の早晚が水稻の部位別 Cd 濃度に及ぼす影響

落水処理別の水稻の Cd 濃度の推移を、部位別に示したのが第 1 図および第 2 図である。

本図から明らかなように、早期落水区の Cd 濃度は他の処理区に比較し、各部位ともに著しく高く推移しており、この傾向は 2 カ年ともほぼ類似していた。しかしこれらを詳細に検討すると、両年の間に若干の相異点もみられた。すなわち 46年度の場合は、早期に対して中、後期の処理間差が大きい、47年度ではむしろ早、中期に対する後期の差がより明瞭にみられることである。

次に Cd 濃度の体内分布をみると、一般に茎稈部が非常に高く、籾部では低いことが認められた。なお 46年度の成績中 10 月 2 日の茎稈部は、葉身部を含む葉全体の分析値であり、また 46年度 9

第 4 表 落水時期が収量に及ぼす影響

試 年	試 験 地	処 理	玄 米		籾 葉 比	稈 実 歩 合	1000 粒 重 g
			収 量 kg/10a	同 比			
46 年 度	東 幌 似	早期 シ オ カ リ	333.3	110	0.46	56.7	19.2
		ほうりゆう	351.3	88	0.65	60.4	20.8
		ユ ー カ ラ	267.3	65	0.41	73.9	19.8
	中 期	シ オ カ リ	303.8	100	0.58	74.4	19.5
		ほうりゆう	398.0	100	0.64	67.2	20.4
		ユ ー カ ラ	414.3	100	0.64	84.2	20.5
	後 期	シ オ カ リ	316.7	104	0.54	78.6	19.5
		ほうりゆう	398.3	100	0.69	89.8	21.4
		ユ ー カ ラ	280.7	68	0.47	79.4	19.7
47 年 度	東 幌 似	早期 ゆ う な み	581.0	121	1.46	88.2	24.1
		そ ら ち	510.2	96	1.37	88.7	23.7
		マ ツ マ エ	579.7	131	1.53	90.8	24.1
	中 期	ゆ う な み	478.4	100	1.32	84.7	23.4
		そ ら ち	529.2	100	1.13	89.0	23.1
		マ ツ マ エ	441.8	100	1.13	89.2	23.4
	後 期	ゆ う な み	601.5	126	1.56	82.9	24.2
		そ ら ち	476.9	90	1.09	74.0	23.6
		マ ツ マ エ	551.4	125	1.28	78.0	23.9
	小 沢 7 区	早期 ゆ う な み	447.1	120	1.07	81.1	25.1
		そ ら ち	488.5	120	1.10	90.2	24.6
		マ ツ マ エ	647.1	116	1.30	84.7	25.2
	中 期	ゆ う な み	372.4	100	0.73	87.3	24.8
		そ ら ち	407.6	100	0.99	90.6	24.2
		マ ツ マ エ	557.9	100	1.34	89.9	24.9
	後 期	ゆ う な み	※ 198.7	53	0.84	70.5	23.2
		そ ら ち	※ 288.8	71	0.87	85.1	24.0
		マ ツ マ エ	※ 442.0	79	1.09	89.2	25.4

※ 水口冷水影響あり

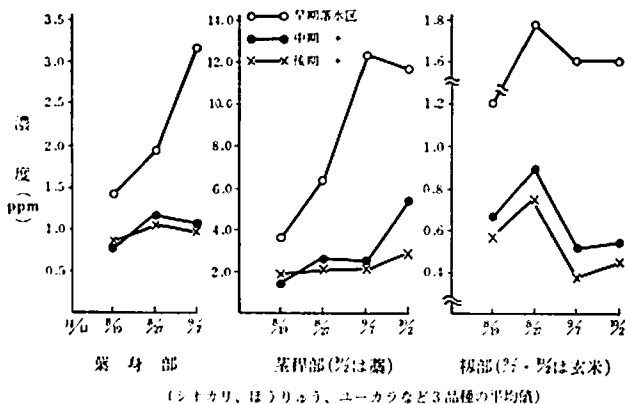
月 7 日以降および 47 年度 9 月 19 日の籾部濃度は、
玄米分析値をもって示した。

Cd 分析に供した各試料については、同時に
Zn, Cu 濃度も測定し第 3 図に示した。

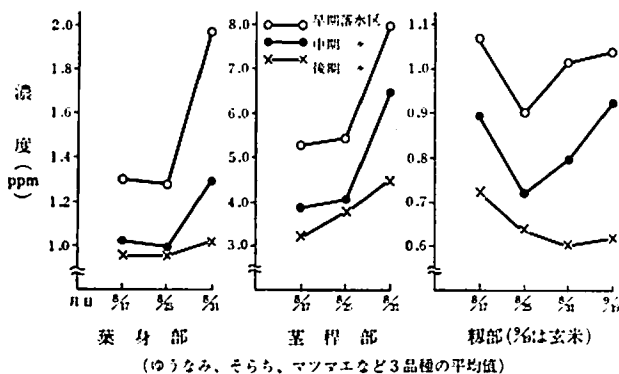
本図に示したごとく、Zn 濃度の葉身、茎稈に
おける推移は、Cd の場合に酷似している。しか
し Cu 濃度においては、落水時期別の処理間差

は小さくかつ Cd, Zn 濃度の場合とは異なり登
熟の進展とともに減少する傾向がみられた。また
体内の分布も、茎稈部よりむしろ葉身に多かつ
た。なお Zn, Cu の籾部における濃度をみると、
Cd とは異なり処理の差はほとんどなかった。

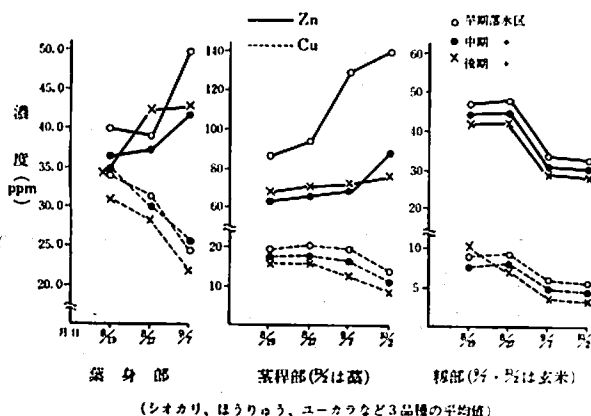
3. 落水処理別および品種別にみた玄米中 Cd 濃度



第 1 図 部位別 Cd 濃度の推移(1)
(46年度, 東幌似)



第 2 図 部位別 Cd 濃度の推移(2)
(47年度, 東幌似)



第 3 図 部位別 En Cu 濃度の推移
(46年度, 東幌似)

前項でも若干ふれたが、玄米中の Cd 濃度を 2 カ年の測定結果から、処理別および品種別に検討したものを第 4 図および第 5 図に示した。なお各処理区の土壌中の可溶 Cd 量に差があり、これが玄米中の濃度に反映することが予想されたので、本図では処理の差を明確に把握するため、玄米中濃度を風乾土における 0.1N HCl 可溶 Cd 量で除した数値で示した。

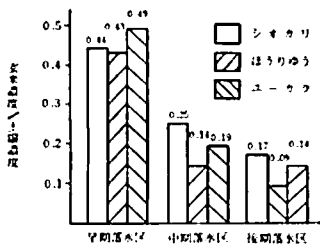
処理別にみた玄米中 Cd 濃度は、年次や品種によって多少の差はあるが、他の部位と同様に落水が早いほど高まる傾向にあった。また品種間差をみると、46 年度では「ほうりゅう」がやや低い傾向を示し、47 年度の場合は、「そらち」の濃度が他品種に比較し一般に高かった。

次に土壌の種類が水稻の Cd 濃度に及ぼす影響について、土壌条件の異なる 2 カ所で試験を実施した 47 年度の成績をみると、玄米中濃度においても明らかに相違することが認められた。すなわち黄褐色土壌の東幌似試験地の場合、グライ土壌の小沢 7 区試験地産の水稻に比較し、一般に高濃度でありしかも落水時期別の処理差がやや大きい傾向を示した。一方玄米中における Zn, Cu 濃度をみると、落水、品種ならびに土壌型による濃度差はほとんど認められなかった。

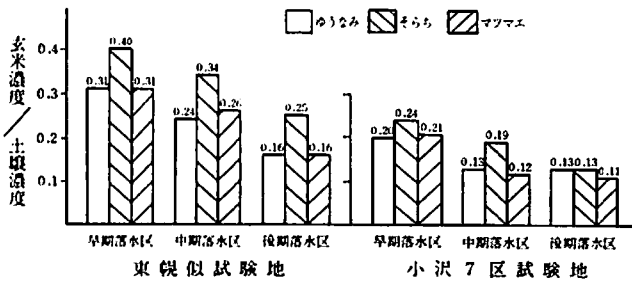
4. 落水後の土壌の酸化還元電位と可溶 Cd 量の推移

47 年度では、東幌似、小沢 7 区両試験圃場について、落水後の土壌 Eh, pH および 0.1 N HCl 可溶 Cd 量を経時的に測定したが、その結果は、第 6, 第 7, 第 8 図にそれぞれ示した。

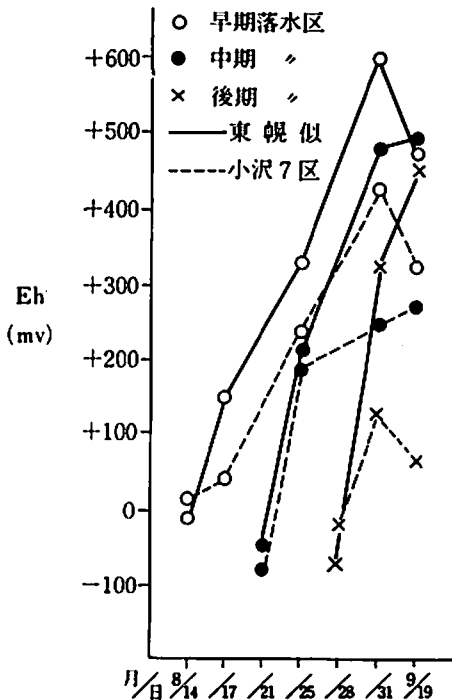
まず Eh の推移をみると、落水後 3～7 日経過すると急激に上昇している。また pH は、Eh とは対照的に変化し、落水によって低下していた。一方土壌中の可溶 Cd 量の場合は Eh とほぼ対応した動向を示すが、落水初期の比較的低い段階から増



第 4 図 落水時期が玄米中 Cd 濃度に及ぼす影響 (46年度, 東幌似)



第 5 図 落水時期が玄米中 Cd 濃度に及ぼす影響 (47年度)

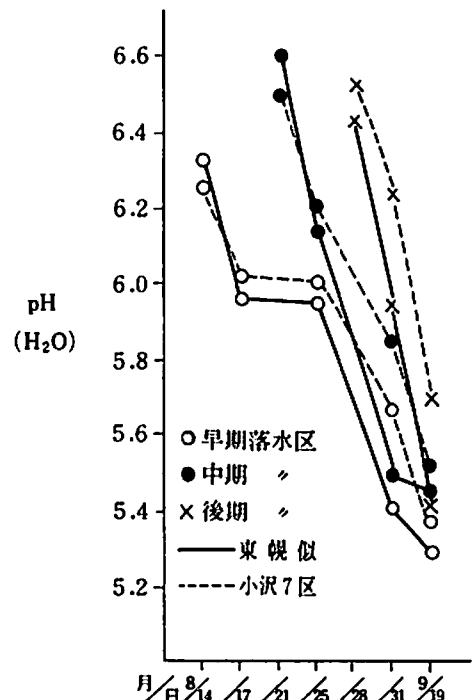


第 6 図 落水後の土壌 Eh の変化

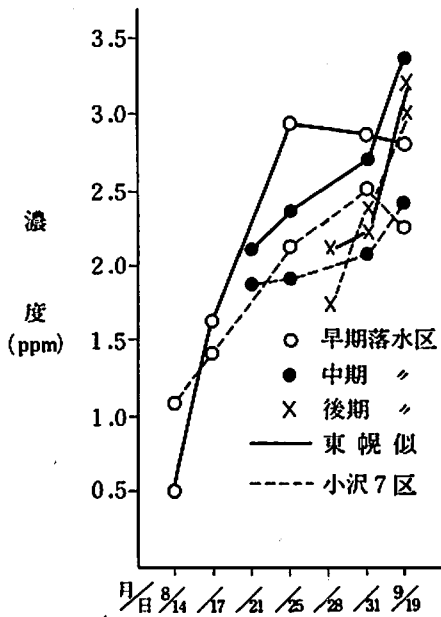
加していることが認められた。これらを試験地間で比較すると黄褐色土壌の東幌似の方が全般に変動差が大きかった。

次に落水後の Zn, Cu, Mn などの可溶量変化について検討した結果を第 9 図に示した。なお本図では、風乾土に対する湿潤土の可溶比をもって図示した。これは、各元素の可溶部分の恒量値として、風乾状態での測定値が妥当と認められており、この数値が異なる両試験地の土壌において、湿潤土の可溶化傾向をより適確に把握するためである。

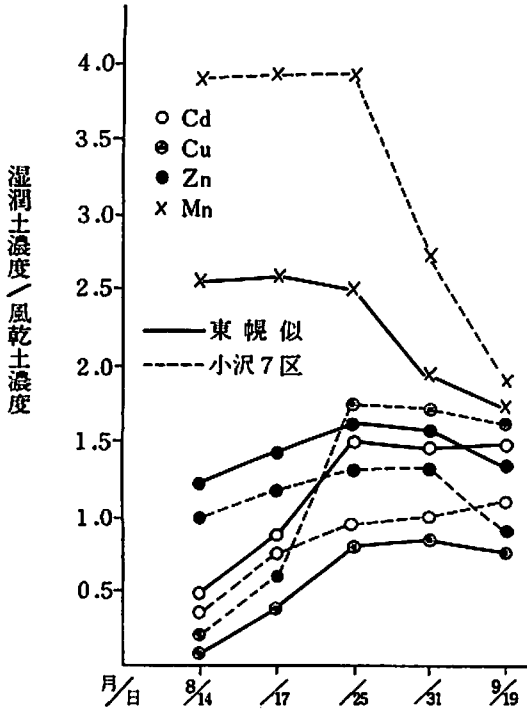
各元素の落水後の推移をみると、Cd と Cu は初期より急激に可溶比が増加しているが、Mn は、11 日経過するまでほとんど変化なく、以後急減していた。Zn は、ほぼ両者の中間的な動向を示し、落水後 11 日目まで漸増、以後減少の傾向にあった。なおこれらを両試験地間で比較すると、Cd, Zn は東幌似で、Cu, Mn は小沢区で



第 7 図 落水後の土壌 pH の変化



第 8 図 落水後の可溶 Cd 量の変化
(湿潤土)



第 9 図 落水後の各元素の変化 (早期落水区)

やや高く経過していた。

考 察

1. 落水時期の早晚が水稻の生育に及ぼす影響
水稻は通常還元下で栽培する期間が長い為、土壌によっては過度に還元が発達し、生育上障害となることがある。この対策の一つとして、生育途中に「間断かんがい」や「中干し」などの水管理を行っている。

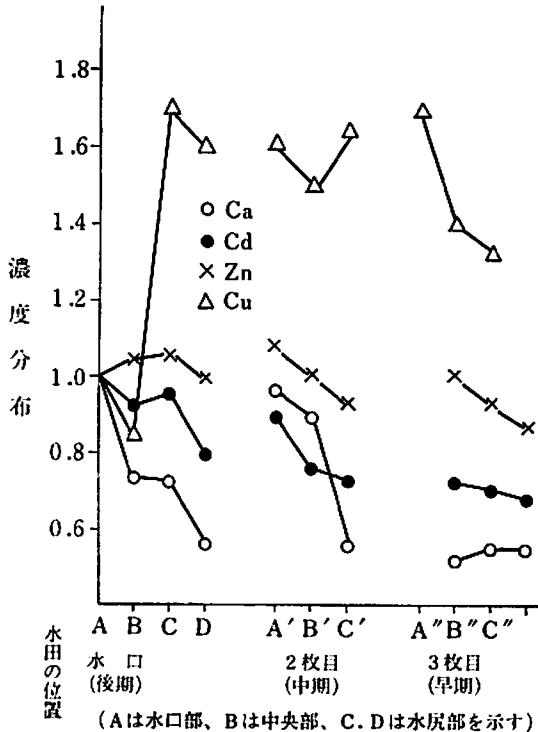
しかし本道の場合は、前述のような異常還元による影響は少なく、むしろ夏期間の低温障害回避のために「深水かんがい」を行うことが多い。

一方落水は、登熟性促進や倒伏防止などの観点から極めて重要視されているが、最近は収穫作業に機械を運行させる関係から、田面乾燥を促進させるため時期を早める傾向にある。

一般に寒冷地では、穂揃い後25日位が適当な落水期とされ、落水後も過度の乾燥はさけるべきとされている⁷⁾。本試験の結果をみても、46年度のように低温で生育が遅れ、出穂期以降もしばしば間欠的な低温が招来する条件下では、早期の落水によって減収する場合があることを示している。これは試験地土壌の透水性が過良なために乾燥化が急激に進み、坂上ら¹⁵⁾が指摘したように、無機養分の吸収が阻害されたことも一因として考えられる。

これに対し47年度は、気象条件が良好で水稻の生育は順調であった。当年は、落水処理間隔を短縮したが、最初の落水は前年より2日遅れた。また処理後の降雨量も前年より多く、水田の乾燥化の程度も緩慢であった。このため処理による生育、収量差はほとんどなく、後期落水区における稔実が若干劣る傾向を示したに過ぎない。なお47年度の小沢7区で一部の試験区(後期落水、中期落水の一部)で異常に低い収量を示すものがあった。この原因として、これらの試験区が比較的水口部に近いための冷水の影響と、第10図に示したように水口部に重金属類が多く蓄積していることの影響が推察される。

2. 落水時期の早晚が水稻の Cd 吸収に及ぼす影響



第10図 水田における重金属などの分布

時期別に投与した場合の水稲のCd吸収は、穂ばらみ>出穂開花>登熟中期の順に多いとされている⁹⁾。また岩井ら⁵⁾によると、汚染田におけるCdの吸収は、出穂期以降急激に高まるとしている。さらに茅野²⁾、天正ら²⁰⁾のRI¹⁰⁹Cdの試験結果によると、生育の前半は根の分布割合が高いが、出穂後10日目頃から地上部濃度は最大に達するといわれている。このような水稲の吸収にみられる特異性は、水稲自体の特性によることも考えられるが、生育後半においては、落水などの水管理がなされるので、土壌酸化に伴う可溶Cd量の増加が推察される。

水管理と水稲のCd吸収に関しては、高木ら¹⁸⁾勝見ら⁹⁾の報告や、各地で行われた試験成績など数多いが、いずれも「間断かんがい」、「中干し」あるいは早期の落水によって水稲のCd吸収が著しく高まることが知られている。

本試験の結果によると、早期の落水によって、水稲体内のCdおよびZn濃度は非常に高まり、特にCdでは、籾部あるいは玄米中濃度にも大き

く影響していた。しかしCu濃度の場合は、判然とした落水時期の差はなかった。

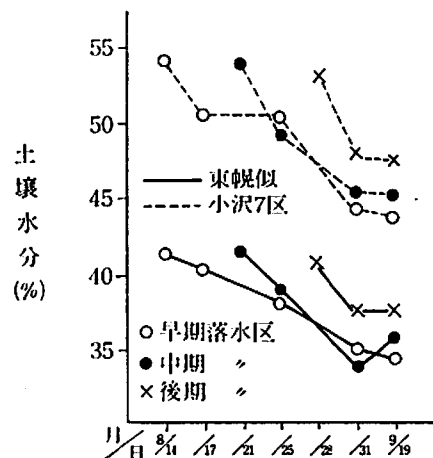
次に器官別に濃度分布をみると、各元素とも籾部または玄米中で最低値を示した。石塚、田中⁹⁾はCuについて、培地濃度の非常に高い段階では、茎葉中濃度が増加、穂部が減少するとしている。しかし茎稈部、葉身部濃度の場合、元素によって相異がみられ、Cd、Znでは茎稈部が高く、Cuの場合は若干ではあるが葉身部が高い傾向を示していた。

3. 落水後の土壌の酸化還元電位と可溶Cd量の推移

落水後土壌の乾燥化にしたがい、比較的速やかに土壌の酸化が進む。しかし土壌の種類によって、水分の減少機構に大きな差がみられるという¹⁹⁾。本試験の場合でも、黄褐色型(土性 SiCL/L で2層以下粒状構造)とグライ型(土性 LiC/LiC で均質連結状構造)との間に明瞭な差がみられ、グライ型土壌では落水後の水分含量が10%以上も高く推移していた(第11図参照)。

そのため各土壌のEhは、落水後著しく上昇するが、黄褐色型ではグライ型のものより常に高く推移しており、土壌の乾燥化との関連性が推測される。

これに対し土壌中のCdやCuの可溶量変化は、Ehとほぼ対応した動向を示したが、Znは



第11図 落水後の土壌水分の変動

落水初期では類似の傾向にあるものの、後半においては明らかでなかった。また Mn は、Eh とは逆の関係で推移していた。

Cd, Cu などの可溶変化にみられる Eh との関連性は、土壤中における存在形態に基因することが考えられる。白鳥¹⁶⁾、飯村ら³⁾ および浅見¹⁾ などの見解を総合すると、還元状態下の土壌中では、Cd などは硫化物として存在しているが、土壌の酸化に伴い形態変化し、硫酸化合物または交換態になり、作物に移行するとしている。

一般に土壌中の硫化物が硫酸化合物に変化する場合には、微生物活動が中心となって反応が行われるため、棲息数によっては多少の差はあるにしても、比較的緩慢に進行するであろう。一方還元状態下の土壌中には、 S^{2-} が比較的多量に存在するが、この発生は Eh がほぼ +150mV 附近で始まるという¹⁴⁾。したがって、溶解度のごく小さい CdS が、水田土壌中で可溶化するには、少なくともこれ以上に酸化される必要があろう。しかし水稻体内の Cd 濃度の高まりからみると、落水後の極めて初期の酸化段階で、土壌 Cd の可溶化が促進されるものと考えられる。以上の点から、酸化に伴う CdS の可溶化を、単なる形態変化のみによるとする説明には、かなりの矛盾が感じられる。

筆者らは、CdS の可溶化について、Fe (Ⅲ) の溶解促進作用を中心に検討した結果を報告した¹⁰⁾。すなわち、土壌 Eh 系の主構成物である鉄は、酸化還元反応として $Fe^{3+} + e \rightleftharpoons Fe^{2+}$ の変化をするが、ここで生成する Fe^{3+} は CdS の溶解を著しく促進させる。したがって酸化還元反応に基づく可溶量の急激な増減は、主にこの作用に基因しているものとした。水野は¹¹⁾、同様な実験により、筆者らの見解を支持している。また固定(吸着)された部分を除く Cd の可溶率(全 Cd に対する 0.1N HCl 可溶量)も、土壌中の可溶 Fe^{3+} 量と高い相関関係にあるが、第 2 報⁶⁾ で明らかにしたごとく、 NO_3^- -N、 MnO_2 、 Cu^{2+} なども Fe^{3+} とあいまって CdS の可溶化を促進していることが認められた。

土壌の酸化、還元境界 Eh は、ほぼ +0.3V

とされているが、これは Fe (Ⅱ) の生成量の増減する境界とも受け取られている。高井¹⁸⁾ は土壌中の酸化還元反応を、鉄の場合 $Fe(OH)_2 + OH^- \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + e$ 式で示し、pH 7.0 における基準電位を -0.194V と計算している。

先の CdS 添加土壌による培養実験で¹⁰⁾、可溶量が減少傾向に転ずる Eh が、ほぼ +250mV であり、-100mV 位まで下がると急減することが認められた。しかし -100mV における可溶量は、CdS の溶解度にはほぼ見合う数値であり、これ以上の Eh では、Fe (Ⅲ) の影響を受けているものと考えられる。一方土壌が酸化方向に進むと、Eh の上昇に伴い、Cd の可溶量は著しく増すが、比較的低い Eh 段階においても、土壌によっては可溶化率が最大に達する例があった(小沢 7 区早期落水区)。これは前述したごとく、土壌中の Fe^{3+} や Cu^{2+} 含有量がこの段階でも多いことによると考えられる。

Cd と同様に Eh との関連性が密接な Cu の場合や、この関連性が不明確な点もあるが Zn についても、汚染土壌中における形態、挙動が Cd と類似していることが予想される。しかしこれらは、Cd と比較するとはるかに多量に存在しており、土壌中で生成される S^{2-} 、 Fe^{3+} 量との関係から、Cd の場合との相異点も考えられるので今後の検討が必要である。

次に汚染土壌中の Cd, Zn, Cu などの可溶量を把握するため、試料を風乾状態にして測定する方法がとられているが、土壌の酸化還元に伴う動的な変化を知るには全く不適當であり、作物吸収との関係が得られない場合が多い。したがって本研究で採用している湿潤土状態での測定が望ましく、作物吸収との関係が良く理解出来る。また Cd の場合は、出穂期以降(登熟期が適當)の採取土壌の測定により、ある程度玄米中濃度の高低を予知出来るものと思われる。

4. 水稻の Cd 吸収抑制対策としての水管理法について

汚染水田においては、水稻の生育上「中干し」や「間断かんがい」が必要とされる場合にも、極力期間短縮を図るのが望ましい。また落水は、水

稲の収量性や収穫時の作業能率に悪影響を与えないかぎり、なるべく遅い方がよい。

本試験の成績から、適切な落水時期について、出穂後から落水までの経過日数と玄米中 Cd 濃度との関係について検討した(第12図)。

本図に示したとおり、年次によって若干のふれはあるが、出穂後10日内外で落水した場合の玄米中濃度は未だ非常に高いことがわかる。一方2週間から20日間程度経過した場合にはかなり低下している。またこの時期の落水は、概して収量的にも安定しており、収穫時における機械の運行も比較的円滑に行われた。したがって土壌、気象条件(主に降雨量)の相異による乾燥化の程度や水稻の生育状況、ならびに栽培品種に留意する必要があるが、大体出穂後20日間程度経過した後の落水が妥当と考えられる。

要 約

汚染水田に対する水管理の方法によって、水稻の Cd 吸収が著しく影響を受けることが知られている。本研究は、落水時期と水稻の Cd 吸収との関係について、落水後の土壌変化を中心に1971～1972年の両年にわたる栽培試験の結果をとりまとめたものである。

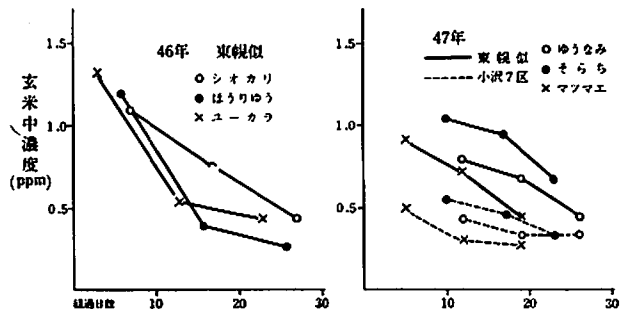
1. 早期の落水は、水稻の茎稈および葉身部の Cd 濃度を著しく高めたが、玄米中濃度をも増加させることが認められた。

2. Zn の場合は、玄米中濃度を除き Cd と類似した傾向を示すが、Cu 濃度ではいずれの部位においても影響はなかった。

3. 落水後、土壌の Eh は上昇し、0.1N HCl 可溶の Cd 量や Cu 量も増加した。しかし Eh の上昇程度や可溶元素の増加量は、土壌型によって異なり、黄褐色土壌ではグライ土壌に比較し変動差が大であった。

4. 水稻体内および玄米中 Cd 濃度と、土壌中の可溶量との間には密接な関係があり、土壌中の可溶量の多少が作物に敏感に反映していた。

5. 汚染水田における落水時期の選択にあつた



第 12 図 出穂から落水までの経過日数と玄米中 Cd 濃度との関係

ては、土壌の乾燥化の程度や水稻の生育状況を十分把握して決める必要がある。なお本試験実施地帯の適切な落水時期としては出穂後、2週間から20日間程度経過した頃が適当であろう。

参 考 文 献

- 1) 浅見輝男, 1972; 日曹金属株式会社津製錬所の排煙、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壌汚染, 土肥誌, 43—9, 339—343.
- 2) 茅野充男, 1972; 重金属の吸収時期と水稻体内分布, 土肥要旨集, 18, 50.
- 3) 飯村康二, 伊藤秀文, 1971; 土壌中の亜鉛およびカドミウムの形態について, 土肥要旨集, 17, 167.
- 4) 石塚喜明, 田中明, 1962; 水稻の要素代謝に関する研究(第8報), 土肥誌, 33—2, 93—96.
- 5) 岩井俊治, 喜田健治, 山田信明, 柳沢宗男, 1972; 水稻の重金属吸収に関する研究(第3報), 土肥要旨集, 18, 122.
- 6) 鎌田賢一, 皆川勝, 1973; 水田土壌中におけるカドミウムの挙動(第2報), 道農誌集, 29.
- 7) 狩野徳太郎, 1968; 灌漑排水, 養賢堂, 64—86.
- 8) 勝見太, 小泉哲, 滝島康夫, 1972; 水管理が水稻のカドミウム吸収に及ぼす影響, 土肥要旨集, 18, 125.
- 9) 小林宏信, 津村昭人, 石川美佐子, 1969; 水稻の Cd 吸収と体内挙動に関する研究(1), 土肥要旨集, 15, 55.
- 10) 皆川勝, 鎌田賢一, 1973; 水田土壌中におけるカドミウムの挙動(第1報), 道農誌集, 27, 65—76.
- 11) 水野直治, 1972; 土壌の酸化還元電位による土壌中のカドミウムの挙動と米のカドミウム含量に関する一考察, 土肥誌, 43, 5, 179—181.
- 12) 農林省農政局, 1971; 農用地の土壌の汚染防止等に関する法律関係資料, 22—40.
- 13) ———, 1971; 土壌保全対策事業における重金属類の分析法について, 2.
- 14) 鬼鞍豊, 仲谷紀男, 後藤重義, 1967; 疎大有機物施用水田における湛水時の還元の進行と水稻の生育, 九州農試彙報, 13, 1, 2, 157—165.

- 15) 坂上行雄, 井口卓平, 1968; 水稻の生育と養分吸収に及ぼす登熟干ばつの影響 (第 1 報), 土肥誌, 39, 3, 171—175.
- 16) 白鳥孝治, 1972; 還元土壌中における亜鉛, カドミウムの固定, 土肥要旨集, 17, 167.
- 17) 高井康雄, 1961; 水田土壌の還元と微生物代謝, 農業技術, 16, 2, 1—2.
- 18) 高木睦夫, 矢野文夫, 1969; 亜鉛メッキ工場廃水による作物の被害とその対策について (第 4 報), 土肥要旨集, 16, 33.
- 19) 寺沢四郎, 1970; 水田の落水後の水分状態 (第 1 報), 土肥誌, 41, 9, 383.
- 20) 天正清, 前木昭, 葉可賀, 1972; 土壌植物系におけるカドミウムの挙動に関する RI 技法による検討, 土肥要旨集, 18, 50.

Summary

It is well known that the Cd absorption of the rice plant is affected remarkably by the method of water management used in a paddy field that is polluted by Cd.

The writers did cultivated experiments on the relationship between Cd absorption and water management in 1971 and 1972.

The results were summarized as follows ;

1) Cd content in the rice plant increased rapidly with surface drainage in the early period and it was also recognized that Cd content in brown rice increased in the earlier period of

surface drainage.

2) Zn content in the rice plant had a similar tendency to Cd content in the rice plant except for brown rice. However, Cu Content was not affected by drainage treatments.

3) The redox potential (Eh) in the paddy soil after surface drainage rose rapidly and 0.1 N HCl soluble Cd and Cu contents in the soil increased.

However, the degree of rise in Eh and increase in soluble elements varied with the type of soil, that is, yellow-brown soil was more variable than gley soil.

4) Cd content in the rice plant and brown rice correlated closely to the solubility of Cd in paddy soil, and the rate of Cd absorption was sensitively influenced by the variation in solubility.

5) The right period of surface drainage must be determined with consideration of the drying condition of fields and the growth of the rice plant which is affected by the soil type, the condition of weather and the varieties of rice plants.

In these regions where the experiments were carried out, it can be concluded that the right period of surface drainage is about 20 days after heading.