

水稻に対する砒素鉍害に関する調査研究

辻元 正・松本弘二・岡橋主税・*和田光男

Study of Arsenic Injury to Rice Plant

Tadashi TSUJIMOTO, Hirotsugu MATSUMOTO,
Chikara OKAHASHI and Mitsuo WADA

緒 言

1966年7月、奈良県宇陀郡菟田野町、および榛原町において、水稻の生育障害が発生した。筆者らは、この事件の調査を担当し、その原因が菟田野大沢にある大和水銀鉍業所の廃水中に含まれる砒素によるものであることを明らかにしたので、その実態ならびに対策などについて2, 3の知見を報告する。

一般に、砒素は土壌中にある程度含まれている⁹⁾。とくに、農薬として砒酸鉛、砒酸石灰などを施用した場合、土壌中に集積して相当の量に達していることが認められ⁹⁾、実際に梨園を水田に転換した際に砒素害が発生した報告¹⁾も見られる。水稻に対する砒素の鉍害については、例が少なく、1942年、鉍害土壌改良に関する研究^{2, 3, 4, 5, 6)}の一部としてとりあげられているにすぎない。

I 鉍害発生の経緯と被害水稻の状況

大和水銀鉍業所は、1926年から操業している水銀の製錬所である。これまでは、菟田野大沢一帯の地下から採掘した自山鉍（安山岩または花崗岩の変質した硬質状の母岩に、辰砂が層状に含まれているもので、その生因は多分、室生火山の活動が盛んであつた地質時代に、岩石の節理を水銀の蒸気が満たした後、冷えて生成したものと考えられる）を原料にしていたので、別に問題はおこらなかつたのであるが、さらに1964年12月より、チェコスロバキヤから輸入した原鉍を使用しだしてから鉍害が発生するようになった。

1. 鉍害発生の経緯

- (1) 1965年4月頃から付近一帯に煙害が発生した。
- (2) 鉍業所は煙突を高くして、拡散操置をつけたが、煙害は逆にひろがる結果となつた。
- (3) したがって廃気ガスのシャワー洗浄を行なつて、煙害の防止をはかつた。

(4) ところが、洗浄水は貯水槽をへて放出され、水田の灌漑水に混入する結果となつて、菟田野地区水田に流入した。

(5) さらに、廃液はパイプを通して直接芳野川に放出され、芳野川の各井堰から取水する榛原地区水田を汚染した。

(6) 以上の経緯をへて、1966年度水稻に両地区とも被害が発生した。

2. 被害水稻の状況

はじめに発生した煙害は、明らかに亜硫酸ガスによるものであつたが、1966年に発生した被害の状況はつぎのとおりである。

被害田の水口付近は一見して、ズリコイモチの激甚な場合とよく似た症状を呈していた。水稻は完全に生育がとまり、植えつけたままの状態か、または、或程度生育した株でも下葉は完全に枯れあがつて、分けつ茎も消滅していた。水口付近では、全く出穂せず、収量は皆無の結果に終つた。

また、8月頃の水稲根は完全に根ぐされを呈し、新根は見られず、全体が黒色に変化していた。被害がひどい水田は、ほとんどグライ土壌(湿田)で、一般に根ぐされの発生が見られる地帯であるが、鉍害によつて、さらに倍加されたものと思われた。

水口から遠ざかるにしたがつて、漸次、被害の程度は軽くなつているが、出穂期には、出穂はしても、稔実せず、青立ちの状態経過するものが多かつた。

一筆ごとの被害状況は、水口の被害が最も甚しく、漸次扇形状に軽くなつていた。その状況は水口から取水した灌漑水の流れとほぼ一致するものと思われた。

また、一筆内の被害区域のなかで、畔側の1~2条が明らかに被害が軽くなつているのが観察された。さらに局部的ではあるが、土壌が水上に露出したところも被害が軽いのが見られた。このことから、被害の発現機構が、土壌の酸化還元の関係にあるのではないかと推定

* 現在県農業改良課

された。

なお、調査した年度は、一般に中山間、山間地域にゴマハガレ病の発生が多かつた年であるが、鉍害地区においては、とくにその発生が甚だしかつた。そのため収穫期には、全く無残な様相を呈するにいたつたのであるが、このような現象にも相当鉍害の影響があつたものと想定された。なお、被害面積は約33haであつた。

II. 鉍害発生原因の検索

現地調査の結果、大和水銀鉍業所からの排液が農業用水に混入し、水田に取水され、その結果、排液中の異物が水稲に被害を与えたものと判定されたので、被害地土壌、および排液の化学的調査を行なつた。

分 析 方 法

1 試 料

1967年7月(菟田野地区)、および8月(榛原地区)に鉍害水田、健全田の灌漑水取入口付近の作土層を採取し、その風乾細土を分析試料とした。

また、鉍業所の廃液は貯水槽から採取した。

2 分析方法

砒素の分析は、アルセメート法⁸⁾によつた。すなわち、風乾細土0.2gを125ml三角フラスコにとり、蒸溜水を追加して25mlとし、濃硫酸5ml、15%沃化カリウム溶液2mlおよび酸性塩化第一錫溶液8滴を加える。As⁵⁺を完全にAs³⁺に還元するため、フラスコを振とうして15分間放置する。つぎに、スクラッパーに硝子綿をつめ、上部2/3は酢酸鉛液(H₂S吸収用)でうろおし、下部1/3は硝子綿のみをつめる。吸収管にアルセメート試薬溶液3mlを入れ、つぎに、発生フラスコの溶液に粒状亜鉛(無砒素)3gを加え、ただちにスクラッパーを挿入する。AsH₃の発生は30分位で完結するが、しばらく放置し、約1時間後、吸収管内溶液を試薬ブランクに対し560μmで比色する。呈色液は室内では約2時間、暗室内で6時間は変色しない。

アルセメート溶液はアルセメートの0.5%ピリジン溶液である。

分析結果および考察

菟田野地区土壌の分析結果は第1表に示した。すなわち、水系が異なり、被害も全然認められない正常田(No. 7)に対して、被害田土壌中の砒素量は圧倒的に多く、被害の程度が甚大なNo. 3, No. 4ではとくに多い。また、No. 6は被害田No. 5の排水口付近で被害が発生していない地点であるが、その砒素量(16ppm)は、正常田(14ppm)とほとんど同じくらいになつていた。

第1表 菟田野鉍害地区水田土壌

No.	pH	Cu ppm	SO ₄ %	As ppm	備 考
1	7.2	266	0.17	170	被 害
2	7.0	48	0.20	96	〃
3	6.8	338	0.22	244	被害甚大
4	6.8	300	0.19	288	〃
5	6.9	98	0.17	68	被 害
6	6.1	175	0.16	16	No. 5の排水口附近
7	6.1	50	0.13	14	正 常

第2表 榛原鉍害地区水田土壌

No.	As ppm	Cu ppm	被害の有無
1	4.0	3.6	正 常
2	73.2	4.9	被 害
3	48.5	2.7	被 害
4	5.0	—	芳野川からしろかき水を1回取水したのみで被害なし
5	30.5	—	被 害

榛原地区の土壌についても第2表に示すとおり、正常田(No. 1)に対して被害田土壌中の砒素量は圧倒的に多い。No. 4は、しろかき水として1回取水したのみの水田であり、被害は認められず、その砒素含量も正常田のみであつた。

そのほか、銅、硫酸根はそれぞれ一般水田とくらべて、非常に多量に含まれていた。被害の程度との相関は砒素の場合ほど密接ではなかつた。とくに榛原地区の被害田の銅含量は数ppm程度であつた。

つぎに、鉍業所の廃液について砒素量を調べた結果は第3表に示したとおりである。

第3報 廃液中の砒素量

排 水 口	As ppm	
	廃 液	同 ろ 液
1	70	65
2	81	65
農試灌漑水	0	0

水銀鉍業所からの廃液は、50m³程度のコンクリート槽に貯溜され、沈澱物を一応沈降させたあと放流していた。廃液は工場内での一般使用水と、水銀蒸気を冷却、洗浄した排水とが含まれている。勿論、洗浄水はアルカリ(ソーダ灰)で中和して排出されていたが、砒素はこの部分に含まれるものである。

第4表の結果から、廃液中の砒素は、ほとんど水溶態

で含まれていることが明らかである。

砒素は自然界に広く分布している元素であつて、土の中にもつねに検出されている。

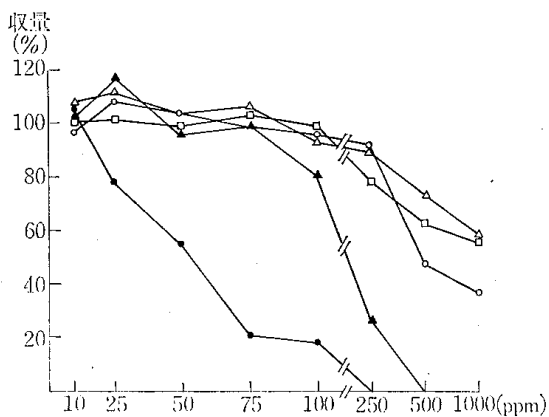
しかし、その量は一般に微量で、林、米田の調査では As_2O_3 として、6~29ppm、平井、菅野の調査では As として 8~51ppm であつた¹¹⁾。

作物に対する砒素の影響については、数種の報告がなされているが、水稻に対しては、荻原¹⁾、高崎¹²⁾、前田⁷⁾、細田^{2~6)}、奥田¹⁰⁾らの報告が見られる。細田⁶⁾によれば、砒素はほかの重金属に比較して、その害作用は激甚で、75ppmの施用では10アール当り21.67kgの収量に減少し、250ppmになると移植後数日で枯死している。

さて、第1表、第2表の成績によれば、前にも述べたとおり、土壌中の砒素量と水稻の被害程度との間には密接な関係が見られた。

また、正常田では砒素含量が4~16ppm程度であるのに対して、被害田では30~290ppmの範囲を示していた。

したがつて、現地での砒素による被害発生の限界濃度を大約20ppmとすると、この値は、細田⁶⁾の報告を図にした第1図における砒素の例とほぼ一致している。



第1図 有害物質の濃度と水稻の収量 (細田⁶⁾の報告より引用図示)
○Fe ; ●As ; △Zn ; ▲Cu ; □Pb

また、一筆内の被害区域のなかで、畦側および表土が厚くて水面上に露出している場所では、被害の程度が軽いのを観察しているが、この事実は砒素の物理化学的性質に基因するものと考えられる。

鉱業所側の、貯水槽内での砒素の形態は、第3表に示したごとく、そのほとんどが水溶性であるが、これは原鉱を焙焼する際に発生する亜硫酸によつて砒素が環元をうけ、水溶性の亜砒酸塩になつているためと思われる。

ところが、貯水槽より流出して土壌と接触すれば、砒素は当然化学変化をおこすであろう。すなわち、砒素には酸化態の砒酸塩と環元態の亜砒酸塩があるので、土壌

の酸化還元によつてその影響は当然異なつてくることが考えられる。

これらに関する報告としては、すでに Knop (1884)⁹⁾が、砒酸塩は亜砒酸塩にくらべて、はるかに害作用が緩慢であることを明らかにしており、また、前田⁷⁾は土壌の酸化還元と砒素の溶出量との関係を調べ、酸化状態では砒素の溶出がほとんどなく、還元状態では多量の砒素が溶出されることを認めている。

これらの事実から畦畔側や、水面上に露出していて、土壌が比較的酸化的に保たれていると考えられる地点では、砒素の溶出は少なく、かつ砒酸塩に変化して、その害作用も軽くなつたものと推定した。

つぎに銅、硫酸根については、正常田とくらべて被害田には多量含まれているが、被害の程度との相関は砒素の場合ほど密接でない。とくに、榛原地区の被害田の銅含量は、きわめて低く数ppm程度である。

銅の水稻に対する影響については、さきに示した第1図によつても明らかなように 100ppm 以上の濃度で害作用が現われ、枯死する濃度はきわめて高く、500ppm であることからみて、銅が本鉱害の直接原因になつているとは考えられない。

以上述べた結果から、本鉱害が発生した経緯を要約すると、大和水銀鉱業所から排出される廃液に水溶性の砒素化合物が多量に含まれ、これが、灌漑水に混入して菟田野、榛原地区の水田に流入し、土壌中に蓄積して水稻に被害を与えたものと推定された。

III 被害水田の精密調査と水稻に対する対策

前項で明らかにしたごとく、被害の原因は、大和水銀鉱業所からの廃水中に多量の砒素が含まれ、これが灌漑水に混じて水田に流入し、土壌中に蓄積したためであることがわかつたので、さらに精密調査を行ない、その実態を明らかにして水稻作に対する対策をたてることにした。

1. 被害地区水田の土壌型

菟田野町 3 ha、榛原町 30ha の被害水田の土壌調査を行なつた結果、つぎの各土壌型を設定した。

強グライ土壌・粘土型	菟田野町	1.0ha
強グライ土壌・壤土型	〃	1.6〃
弱グライ土壌・壤土型	〃	0.2〃
灰褐色土壌・壤土型	菟田野、榛原町	20.2〃
灰褐色土壌・砂土型	〃	10.0〃

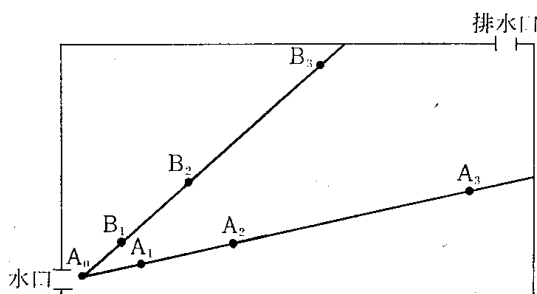
(土壌型は施肥改善事業分類基準による)

菟田野地区は一般に排水状態が悪く、グライ土壌(湿地)となつているものが多く、榛原町はすべて乾田で土

質は概して軽く排水は良好である.

2. 土壌採取方法

土壌断面調査地点ごとに, つぎの要領によつて土壌試料を採取し, 土壌中の砒素含量を測定した. 代表地点の一笔ごとの土壌採取点は原則として第2図の要領にしたがつて決定し, 垂直分布および水平分布調査を実施した.



第2図 試料採取地点

A₀を基点としてA₁は3m, A₂は9m, A₃は27m, B₁は3m, B₂は9m, B₃は27m

垂直分布調査は前図A₀と, 地形および面積に応じてA₂, またA₃の作土を3cmごとに採取し, さらに鋤床層, および下層(40cm)を採取した.

水平分布調査は調査水田の地形, 面積に応じてA₁, A₂……B₁, B₂, B₃の地点の作土を全層平均して採取した.

一般調査は垂直, 水平分布調査地点以外の水田で, 水口部, 中央部, 排水口部の作土全層を平均して採取した.

3. 土壌分析結果

各試料の風乾土について, 砒素量を測定した結果は第4, 5表および第3図に示したとおりである.

第4表 分析成績 (菟田野町)

地点番号	層位	As ppm	土壌型
1	A ₀ 3cm	19.2	強グライ
	6	33.4	粘土型
	9	88.4	
	12	140.0	
	15	63.2	
	18	76.6	
	21	22.0	
	鋤床	25.6	
	下層	6.0	
	A ₁ 土作	155.0	
	A ₂ 作土	60.4	
	B ₁ 作土	36.8	
	B ₂ 3	70.8	
	6	51.4	
9	70.8		
12	27.4		

	15	5.6		
	鋤床	2.0		
	下層	4.0		
2	1 水口	16.4	強グライ	
	2 中央	106.0	粘土型	
	3 排水口	78.8		
3	1 水口	22.4	灰褐色	
	2 中央	17.6	壤土型	
	3 排水口	28.0		
4	1 水口	20.2	強グライ	
	2 中央	9.0	粘土型	
	3 排水口	9.2		
5	A ₀ 3cm	53.0	強グライ	
	6	34.4	壤土型	
	9	34.0		
	12	31.8		
	15	72.8		
	18	8.4		
	鋤床	5.6		
	下層	3.2		
	A ₁ 作土	27.4		
	A ₂ 作土	29.0		
6	A ₃ 3cm	8.8		
	6	5.6		
	9	10.0		
	12	6.4		
	15	8.0		
	鋤床	2.8		
	下層	tr		
	7	1 水口	68.8	強グライ
		2 中央	10.4	壤土型
		3 排水口	23.2	
7	A ₀ 3cm	3.6	灰褐色	
	6	3.8	壤土型	
	9	3.6		
	12	2.0		
	15	2.2		
	鋤床	tr		
	下層	4.0		
	A ₁ 作土	2.6		
	A ₂ 作土	2.0		
	A ₃ 3cm	tr		
6	tr			
9	tr			
12	tr			
15	9.6			
鋤床	12.8			

	下層	tr		A ₁ 仕上	20.8	強グライ		
	B ₁ 作土	tr		A ₂ 3cm	63.2	壤土型		
	B ₂ 作土	2.8		6	36.2			
	B ₃ 作土	15.6		9	30.8			
8	A ₀ 3cm	76.6	強グライ	12	28.4			
	6	83.6	粘土型	15	3.6			
	9	29.4		18	9.6			
	12	75.2		鋤床	3.6			
	15	72.8		下層	2.8			
	鋤床	15.2		A ₃ 作土	18.4			
	下層	2.2		B ₁ 作土	135.0			
	A ₁ 作土	44.6		B ₂ 作土	3.4			
	A ₂ 3cm	65.2						
	6	59.4		15	1	水口	59.4	弱グライ
	9	23.2		2	中央	18.8	壤土型	
	12	6.4		3	排水口	28.0		
	15	15.6						
	18	9.6		16	1	水口	59.4	強グライ
	鋤床	9.2		2	中央	9.6	壤土型	
	下層	2.4		3	排水口	8.0		
	A ₃ 作土	12.8						
B ₁ 作土	135.0		17	A ₀ 3cm	163.0	強グライ		
B ₂ 作土	47.2			6	212.0	壤土型		
				9	200.0			
9	1	水口	83.6	強グライ	12	193.0		
	2	中央	28.8	壤土型	15	172.0		
	3	排水口	16.4		18	76.6		
10	1	水口	71.6	強グライ	鋤床	34.4		
	2	中央	29.0	壤土型	下層	7.2		
	3	排水口	15.8		A ₁ 作土	20.0		
11	1	水口	116.0	強グライ	A ₂ 3cm	27.0		
	2	中央	8.0	壤土型	6	30.0		
	3	排水口	16.8		9	25.8		
12	1	水口	24.8	強グライ	12	19.2		
	2	中央	5.6	壤土型	15	48.4		
	3	排水口	2.2		鋤床	20.8		
13	1	水口	15.0	強グライ	下層	4.0		
	2	中央	10.0	壤土型	B ₁ 作土	23.8		
	3	排水口	4.8		B ₂ 作土	3.6		
14	A ₀ 3cm	120.0	強グライ	18	A ₀ 3cm	200.0	灰褐色	
	6	61.2	壤土型		6	28.8	砂土型	
	9	22.8			9	18.6		
	12	40.0			12	23.2		
	15	39.0			15	24.0		
	鋤床	28.0			鋤床	23.2		
	下層	5.6			下層	4.0		
				A ₁ 作土	19.2			
				A ₂ 作土	14.2			

19	1	水口	7.2	灰褐色
	2	中央	14.2	砂土型
	3	排水口	19.8	
20	1	水口	59.4	強グライ
	2	中央	17.8	壤土型
	3	排水口	10.4	
21	1	水口	80.2	灰褐色
	2	中央	8.2	壤土型
	3	排水口	12.0	
22	1	水口	200.0	灰褐色
	2	中央	8.8	砂土型
	3	排水口	12.2	
23	1	水口	42.8	灰褐色
	2	中央	25.8	壤土型
	3	排水口	25.2	

9	1	水口	31.2	灰褐色
	2	中央	12.8	壤土型
	3	排水口	8.4	
10	1	水口	28.5	灰褐色
	2	中央	16.0	壤土型
	3	排水口	6.0	
11	1	水口	21.2	灰褐色
	2	中央	3.6	壤土型
	3	排水口	3.2	
12	1	水口	7.2	灰褐色
	2	中央	3.6	壤土型
	3	排水口	3.2	
13	1	水口	36.2	灰褐色
	2	中央	4.8	壤土型
	3	排水口	20.2	

第5表 分析成績 (榛原町)

地番	点号	層位	As ppm	土壌型
1	1	水口	19.8	灰褐色
	2	中央	4.0	壤土型
	3	排水口	6.0	
2	1	水口	6.4	灰褐色
	2	中央	3.6	壤土型
	3	排水口	3.2	
3	1	水口	15.2	灰褐色
	2	中央	9.2	壤土型
	3	排水口	4.8	
4	1	水口	7.2	灰褐色
	2	中央	4.0	壤土型
	3	排水口	3.6	
5	1	水口	5.2	灰褐色
	2	中央	41.2	壤土型
	3	排水口	5.6	
6	1	水口	24.0	灰褐色
	2	中央	49.4	壤土型
	3	排水口	18.2	
7	1	水口	5.7	灰褐色
	2	中央	3.3	壤土型
	3	排水口	13.0	
8	1	水口	17.5	灰褐色
	2	中央	13.5	壤土型
	3	排水口	12.5	

14	1	水口	12.4	灰褐色
	2	中央	12.4	壤土型
	3	排水口	6.4	
15	1	水口	43.4	灰褐色
	2	中央	11.0	壤土型
	3	排水口	12.0	
16	1	水口	25.6	灰褐色
	2	中央	64.0	壤土型
	3	排水口	4.8	
17	1	水口	19.2	灰褐色
	2	中央	3.6	壤土型
	3	排水口	3.2	
18	1	水口	9.2	灰褐色
	2	中央	13.0	壤土型
	3	排水口	4.4	
19	1	水口	2.0	灰褐色
	2	中央	tr	壤土型
	3	排水口	tr	
20	1	水口	16.8	灰褐色
	2	中央	4.5	砂土型
	3	排水口	5.0	
21	A ₀	3cm	8.4	灰褐色
		6	6.0	砂土型
		9	tr	
		12	5.6	
		15	16.4	
		18	4.0	
	21	2.8		

	鋤床	15.6	
	下層	6.0	
A ₂	3	4.0	
	6	4.0	
	9	2.8	
	12	3.2	
	15	3.2	
	18	4.0	
	鋤床	4.0	
	上層	3.6	
B ₁	作土	19.2	
B ₂	作土	3.6	
22	A ₀ 3cm	19.2	灰褐色
	6	12.8	壤土型
	9	8.4	
	12	2.5	
	15	11.0	
	18	5.6	
	鋤床	4.4	
	下層	16.4	
B ₂	作土	11.0	
B ₃	3cm	16.0	
	6	4.4	
	9	—	
	12	4.4	
	15	3.6	
	18	6.0	
	鋤床	2.8	
	下層	2.0	
B ₂	作土	23.2	
B ₃	3cm	4.8	
	6	4.8	
	9	2.5	
	12	4.0	
	15	3.6	
	18	4.0	
	21	3.6	
	鋤床	3.6	
	下層	5.6	
23	A ₀ 3cm	3.7	灰褐色
	6	31.2	壤土型
	9	29.2	
	12	21.2	
	15	19.8	
	18	21.2	
	21	64.4	
	鋤床	52.0	
	下層	15.6	

	A ₁ 作土	6.0	
	A ₂ 作土	4.0	
	A ₃ 作土	3.2	
	B ₁ 作土	18.6	
	B ₂ 作土	17.4	
	B ₃ 3cm	19.2	
	6	17.4	
	9	13.8	
	12	2.0	
	15	tr	
	18	tr	
	21	12.8	
	鋤床	13.2	
	下層	3.2	
24	A ₀ 3cm	200.0	灰褐色
	6	21.2	壤土型
	9	15.6	
	12	19.6	
	18	16.8	
	18	12.8	
	鋤床	150.0	
	下層	3.2	
	A ₁ 作土	13.2	
	A ₂ 作土	11.0	
	A ₃ 3cm	5.0	
	6	4.8	
	9	21.2	
	12	15.8	
	15	4.8	
	鋤床	4.4	
	下層	5.0	
	B ₁ 作土	38.0	
	B ₂ 作土	4.0	
	B ₃ 作土	5.8	
25	A ₀ 3cm	9.8	
	6	10.0	
	9	6.0	
	12	2.6	
	15	1.8	
	18	0.7	
	鋤床	tr	
	下層	3.0	
	A ₁ 作土	7.4	
	A ₂ 3cm	4.0	
	6	2.8	
	9	2.7	
	12	2.0	

	15	2.0	
	18	tr	
	鋤床	3.2	
	下層	tr	
	B ₁ 作土	2.3	
	B ₂ 作土	8.6	
	B ₃ 作土	1.8	
26	1 水口	102.4	灰 褐 色
	2 中央	28.4	壤 土 型
	3 排水口	24.0	

土壌分析結果によつて、つぎの様な傾向が見られた。

(1) 菟田野地区は一般に砒素量が高く、榛原地区においてはやや低かつた。この傾向は水稻に対する被害の程度と傾向が同じであつた。

(2) 一般に水口付近の砒素含量は高く、菟田野地区で最高200ppm以上を示した例があるが、平均して70~80ppm程度であり、圃場の中央部では20~30ppmほどで

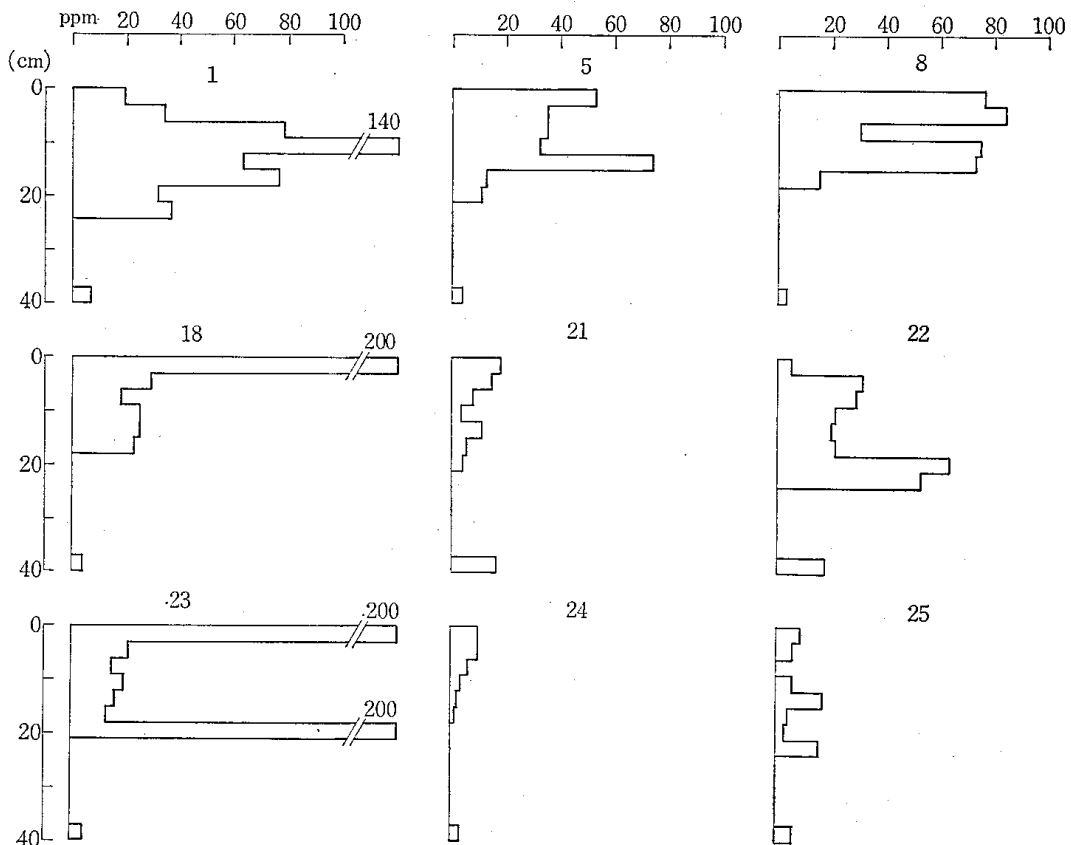
あつた。

榛原地区では水口付近で約30~40ppm、圃場の中央部で10~15ppm程度であつた。

(3) 作土層における砒素の垂直的な分布に関しては、一定の傾向は見られなかつた。このことは、作土層がすでに耕耘などの影響を受けてかくらんされているためと考えられた。

しかし、最表層部は異常に高い含量(200ppm以上)を示す場合が多かつた。

(4) 砒素は下層部(深さ40cm)へも或程度浸透していることが認められた。下層への浸透は土壌型との関係が深いと考えられた。菟田野町は一般に強グライ土壌型が多く灌漑水の浸透は、榛原地区の乾田に比較して少ないと考えられるが、砒素の下層への浸透もこの事情を反映している。すなわち、表層部の砒素濃度は榛原地区の方が低いにもかかわらず、下層部の砒素濃度は菟田野地区と同程度か高い場合がみられた(第3図)。



第3図 砒素の垂直分布図

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1 強グライ土壌粘土型 (菟田野) | 5 強グライ土壌壤土型 (菟田野) |
| 8 強グライ土壌粘土型 (菟田野) | 18 灰褐色土壌砂土型 (菟田野) |
| 21 灰褐色土壌砂土型 (榛原) | 22 灰褐色土壌壤砂土型 (榛原) |
| 23 灰褐色土壌壤土型 (榛原) | 24 灰褐色土壌壤土型 (榛原) |
| 25 灰褐色土壌壤土型 (榛原) | |

4. 対策の設定

砒素によつて汚染された水田の水稲に対する対策としては、勿論、土壌中の砒素量を考慮する必要があるが、それとともに、土壌型との関係も組合せて考える必要がある。すなわち、砒素は化学的に酸化態、還元態の二型態を有し、環境に応じて相互に変化する性質をもっている。したがつて、水稲栽培期間における水田土壌の化学性の変化、いいかえれば、酸化還元性の違いは当然考慮されなくてはならない。

また、今後における残効の持続性などを考えてみても、被害水田の土壌型が大きく影響をおよぼすことは明らかであるので、さきに設定した土壌型と、つぎに示した砒素含量別基準を要因としてとりあげ、その組合せによつて第7表の対策区を設定した。

(1) 砒素含量別基準

両地区とも、精密調査によつて得た砒素汚染の程度によつて、つぎの如き基準を設けた。

a 水口付近は多く、ほかの大部分は少ない (10ppm 以下)

b 水口付近は多く、中央部も 10-20ppm であるが、ほかは少ない。

c 水口付近はとくに多く、圃場全部にわたつて 20~30ppm のもの。

d 水口付近はとくに多く、中央部も 50ppm 以上で

ある。

(2) 各対策区の説明

土壌型と砒素含有別により、第6表に示すとおり、6区の対策区を設けた。

対策区-1

土壌型が乾田で排水も良好であるうえ、砒素含量が最も低い対策区で、水稲に対する被害も比較的軽く、残効の持続も短かいと考えられる。主として榛原地区に分布する。

対策区-2

土壌型は乾田で排水も良好であるが、砒素含量が 10~30ppm 程度のものが含まれる。主に榛原地区に分布する。

対策区-3

土壌型が湿田(強グライ土壌)で排水が悪いが、砒素含量は最も低い対策区である。菟田野地区に分布する。

対策区-4

土壌型が湿田で排水が悪く、砒素含量が 10~20ppm 程度のものが含まれる。菟田野地区に分布する。

対策区-5

土壌型が湿田または半湿田(弱グライ土壌)であるが、砒素含量が 20~30ppm 程度のものが含まれる。菟田野地区に分布する。

対策区-6

土壌型はほとんど湿田、または半湿田で、ごく一部乾田が含まれるが、砒素含量が最も多く、水田中央部にいても、50ppm 以上が含まれている。

以上6つの対策区は、土壌型と砒素含量の組合せによつて設定したものであるから、水稲に対する砒素害は対策区1から6になるにしたがつて、ひどくなると考えられる。また、残効の持続期間は、現在のところ全く推測の域を出ないが対策区6から1になるにしたがつて短いであろうと考えられる。

ところが、水稲栽培のための具体的な対策ということになると、現在のところ、明確な解答を出すことは不可能である。

土壌中の砒素を物理的に除去する適切な手段は見あたらない。消極的であるが、化学的に不溶性に変える手段(例えば含鉄資材などがあるかも知れないと一応は考えられるが、これも、土壌の還元化が進むにつれて可溶化する可能性があることも考えられる。したがつて、実用的な対策は今後の研究をまつて、補正してゆかねばならないことは勿論である。

対策区1および対策区2においては、水田が乾田であり、砒素量も少ないから、水口以外では被害の程度も軽

第 6 表

対策区名	要 因	
	土 壌 型	砒素含有別
対策区-1	灰褐色土 壤 砂 土 型	a
	灰褐色土 壤 砂 土 型	b
	灰褐色土 壤 壤 土 型	a
対策区-2	灰褐色土 壤 砂 土 型	c
	灰褐色土 壤 壤 土 型	b
	灰褐色土 壤 壤 土 型	b
対策区-3	強グライ土 壤 粘 土 型	a
	強グライ土 壤 壤 土 型	a
対策区-4	強グライ土 壤 壤 土 型	b
対策区-5	強グライ土 壤 壤 土 型	c
	弱グライ土 壤 壤 土 型	c
対策区-6	強グライ土 壤 粘 土 型	d
	強グライ土 壤 壤 土 型	d
	弱グライ土 壤 壤 土 型	d
	灰褐色土 壤 壤 土 型	d

いと考えられる。これに対して対策区4, 対策区5, および対策区6においては, 水田がほとんど湿田で土壌の還元化が強いと考えられ, 砒素量も多く水口以外での被害も相当あると考えられる。

つぎに, 対策区3はこれらの中間的な傾向を示すものと考えられる。結局, 対策の要点は土壌の還元化をおさえる意味から堆肥の使用は中止することとし, 含鉄資材の施用によつて, 砒素の固定化をはかり, かつ, 一般的な増収効果を期待するとともに, 栽培法の面では, 水田土壌を酸化的に持続させることによつて, 亜砒酸の生成をおさえることなどをとりあげる必要がある。すなわち, 節水栽培もしくは水稲の準畑栽培といつてもよいほどの強節水栽培法を採用し, また, 実施可能なところでは畦立栽培法をとりいれるべきである。ただし, たとえば対策区6などでは砒素の絶対量がとくに多いので, これらの諸対策で水稲に対する被害が必ず軽減するという保証はない。すなわち, 水口付近はいかなる対策を施しても, その効果は期待されない場合があるかも知れない。このような場合の根本的対策は, 汚染された土壌を排土し, あらたに客土することであろう。

摘 要

1966年7月奈良県宇陀郡菟田野町および榛原町において水稲の生育障害が発生した。筆者らはこの事件の調査を担当し, その実態ならびに対策などについて2, 3の知見を得たので報告する。

1. 水稲に対する生育障害の原因は, 水銀鉍業所からでる廃水中の砒素が灌漑水に混入して, 水田に流入蓄積したためである。

2. 水稲に対する被害は, 水田一筆ごとに, 水口付近が最もひどく, 漸次同心円状に軽くなつていた。

3. 土壌中に蓄積している砒素量も水口付近が最も多く, 200ppm以上の場合もあつた。被害の発生状況と同様, 漸次同心円状に少なくなつていた。また, 水田の最

表層部は砒素が異常に多く含まれている場合が多い。

4. 砒素は下層へも或程度浸透しているが, その割合は湿田型よりも乾田型のほうが大きい。

5. 水稲作に対する対策は, 土壌型と砒素量とを考慮して設定すべきである。

本調査には県企画課, 農業改良課, 大宇陀農業改良普及所, および菟田野, 榛原両町から多大の支援, 協力をうけた。深く謝意を表する。

文 献

1. 萩原種雄 1939. 梨園跡地における水稲の生育不良対策試験成績. 土肥誌 **13**: 11—15.
2. 細田克巳 1942. 鉍毒土壌改良に関する研究(第1報). 土肥誌 **16**: 308—318.
3. ——— 1942. ——— (第2報). 土肥誌 **16**: 341—348.
4. ——— 1942. ——— (第3報). 土肥誌 **16**: 349—356.
5. ——— 1942. ——— (第4報). 土肥誌 **16**: 423—438.
6. ——— 1942. ——— (第5報). 土肥誌 **16**: 459—466.
7. 前田信寿 1954. 砒素除毒に関する研究(第2報). 宮城短大学報 **1**: 1—9.
8. 中尾正三 1962. AgDDCによる微量ヒ素の比色定量法. Dotite news letter **10** (3): 2-7.
9. 小野寺伊勢之助 1942. 肥料学各論(下巻). 養賢堂: 756—759.
10. 奥田東 1962. 作物に対するケイ酸の栄養生理的役割について(第5報). 土肥誌 **33**: 1—8.
11. 奥田東 1968. 土壌肥料論. 養賢堂.
12. 高崎巻 1939. 農業薬剤の作物に及ぼす影響. 土肥誌 **13**: 840—846.

Summary

Growth injury happened to rice plant when waste liquid flowed from a mercury refinery into paddy fields in July 1967. A lot of arsenic the liquid contained turned out to be the main cause of the growth injury.

1. The close investigation of the contaminated fields revealed that the injury was the severest at the water inlet to the field, and was comparatively slight in the middle of it.

2. The quantity of arsenic absorbed in the soil was very large at the inlet and was decreasingly small towards the centre of them. Moreover, excessive quantities of arsenic were often found on the surface of the fields.

3. The constituent was seen permeating the lower layers of the soil.

4. The permeation was deep in proportion to the good drainage of soil.

5. Drastic measures should be taken with a special reference to quantity of arsenic and type of soil.