

# ペースト肥料による水稻の初期生育抑制障害と 障害に対する資材の施用効果\*

辻 藤 吾\*\*

キーワード 晩・早植水稻, ペースト肥料, 側条施肥, 生育抑制障害, 土壤還元

## 1. はじめに

早植水稻の側条施肥におけるペースト肥料利用に関する実用化試験は1975年前後から開始され、その後急速な普及をみた<sup>1)</sup>。ペースト肥料は湛水土中でも所定の位置に所定量の肥料を正確に施肥機で施せるように、粘度の高い糖蜜などのアルコール発酵副産物を用いて、濃厚なソース状になっていること、また本県では側条施肥が琵琶湖富栄養化防止対策上からも有効な施肥技術である<sup>2)</sup>ことから、他県に先がけて奨励されてきた経緯がある。

また、1983年頃になると水稻の施肥配分が従来の基肥重点から追肥重点に全面的に変換される等の変化があったが、側条施肥によって生育前半が過繁茂になりやすいことから、この間、施肥位置の改良あるいは緩効性肥料の利用技術が検討されてきた<sup>2)</sup>。

しかし、1990年代初頭から、滋賀県北部を中心にペースト肥料側条施肥田に特有で、原因不明の初期生育抑制障害が頻発し始め、これの原因究明と対策が現場のJAを中心に進められていた。

障害の概要は、移植後30～40日を経過する5月下旬～6月上旬にかけて、分けつが停止し、草丈も伸長せず、下葉が黄化する点が特徴的であって、根傷みは特に目立たない。乾田、湿田にかかわらず発生する。また、苗質や品種間差は特に認められない。

しかし、その対策と指導効果は必ずしも十分でなく、ややもすると生産者側の技術不足に帰せられる状況にあって、過度の代かきや深植え防止などと呼びかける基

本技術の奨励にとどまっていた。

1995年、筆者の所属する農業試験場の圃場でも同様の障害が発生したことから、これの土壤肥料的な原因を研究する必要性が生じた。1995年は移植後に異常低温が1カ月以上も継続したことによる初期生育の遅延に加え、上述の生育抑制障害が当地域水田の随所に多発したことから生産者の悩みは大きかった。これは、本県で流通するペースト肥料の約60% (1999年) が県北部に遍在している実情からもうかがわれる。

本報では、1995年、まず、農家障害田での土壤環境の概査を行うとともに、原因究明のための生育障害の再現試験を晩植水稻栽培によって行った。これは、気温の上がる晩植栽培では土壤還元が促進され、障害も発生しやすくなると考えたからである。1996年には前年の経過を踏まえながら、資材施用による障害対策の予備検討を同様に晩植栽培によって行った。さらに、1997年には、一般農家の行う早植水稻栽培による障害再現試験と資材による障害対策効果の確認を行ったので、主としてこれら圃場試験結果について報告する。

## 2. 試験ならびに調査方法

### 1) 現地概査の方法

1995年6月16日、滋賀県東浅井郡湖北町を中心にペースト肥料施肥田で障害発生の顕著な農家水田5筆から、健全な生育をした粒状肥料施肥田を対照として土壤を採取した。採取方法は、移植株の側条側および反対側の作土から直径5cmの塩ビ製パイプを用いて、それぞれ5～6カ所打ち抜いた試料を混合し、pHおよびアンモニア態窒素を測定した。アンモニア態窒素の抽出は10%塩化カリウムによる常法によったが、窒素の定量はインドフェノール比色法<sup>3)</sup>を用いた。

### 2) 栽培試験の方法

#### (1) 晩植水稻による障害再現試験 (1995年)

小麦 (農林61号) 栽培跡に稲わらを鋤込んで土壤還元を促進し、さらに基肥窒素施用量の多少による障害発

\* 滋賀県北部早植水稻の初期生育抑制障害の原因究明と対策技術について (第1報)

\*\* 滋賀県農業試験場湖北分場 (529-0423 滋賀県伊香郡木之本町千田840)、2000年3月まで勤務、現在、JICA長期派遣専門家 (ザンビア在住)

1999年9月13日受付・受理

日本土壤肥料学雑誌 第71巻 第4号 p.454～463 (2000)

生への影響を検討した。

試験圃場には場内水田（細粒グライ土、幡野統）の1筆581m<sup>2</sup>を用い、試験規模は1区当たり55m<sup>2</sup>、単連制とした。圃場は場内の地力中庸以上の代表的なもので、後述する1997年供試圃場に隣接するが、土壌の化学性は特に調査しなかった。供試水稻は滋系60号の中苗（箱当たり乾籾100g播種）を用い、稲わら処理法および基肥窒素の施用方法は次のとおりとした。

小麦収穫後に麦稈を持ち出し、コンバインで細断した乾燥稲わらをha当たり6トンおよび無施用の2水準でロータリ耕2回によって深さ15cmに鋤込み、以後慣行どおり入水、代かきした。基肥窒素(N)はha当たり30, 50, 70kgの3水準でペースト肥料(12-12-12)を側条3cm、深さ5cmにM式MPR 605機を用いて施用した。なお、麦稈持出し、稲わら鋤込みは1995年6月28日、代かきは6月29日、移植は7月4日に行った。

さらに、同年、圃場試験と同時期に、障害の症状を詳細に観察し、また肥料の種類による障害発生の有無を予備的に検討するため、前面ガラス板装着の塩ビ製の箱(19cm×19cm×深さ30cm)を用い、圃場試験の最高水準の窒素施肥(Nとして6.6g m<sup>-2</sup>)、約40%増の乾燥稲わら施用(830g m<sup>-2</sup>)による模擬試験を行った。

供試肥料にはペースト肥料の比較として粒状の塩安系肥料、塩加リン安(14-14-14)を用いて、それぞれ5cmの施肥深で条施した。7月5日、箱当たり1本植えて施肥位置から4cm離して移植した。なお、供試水稻および供試土壌は上記圃場試験と同一のものをを用いた。

## (2) 肥料の相違による晩植水稻の障害再現と資材による障害対策の検討(1996年)

前年試験と同様に、晩植水稻によって障害の再現試験を行ったが、基肥には前年の模擬試験と同一のペースト肥料および塩安系の粒状肥料を供試した。また、土壌還元促進には前年と同様に稲わらを鋤込んだ。

障害発生後には、資材施用による障害対策のためDC社製で3要素を含まない総合微量要素複合肥料(以下、HiGと略称)の効果を検討した。これは、一篤農家がHiGを施用して障害発生田を治ゆしている情報を得、筆者は現場でこれを確認したことによる。なお、HiGの組成として、1kg当たり酸化マグネシウム140g、コロイド珪酸(SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)160g、酸化マンガン4g、鉄20gの他にホウ素、銅、亜鉛、モリブデン、コバルトの微量要素を0.04~3g含有している<sup>9)</sup>。また、副成分として硫酸(SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)を287gと多量に含んでいる。

資材施用方法は、肥料中どの成分が障害回復に寄与するか検討するため、同肥料中の主成分とされるコロイド珪

酸の単品ならびにこれにマグネシウム、マンガンの塩化物をそれぞれ加用する処理とした。これらの細部は以下のとおりであった。

供試圃場は場内、細粒グライ土の水田1筆619m<sup>2</sup>を用い、1区160m<sup>2</sup>の単連制とした。

供試土壌の全炭素、全窒素、全硫黄含量はそれぞれ2.69, 0.223, 0.036×10<sup>-2</sup> kg kg<sup>-1</sup> 乾土であった。CECは16 cmol(+) kg<sup>-1</sup>、塩基飽和度も75%と高いうえに可給態リン酸、珪酸にも富んでいた。遊離酸化鉄は0.95%と地力中庸以上の化学性を示した。なお、供試水田の透水性は日減水深で6~7mmとやや劣っていた。

麦稈は前年同様に持出し、コンバインで細断した乾燥稲わらをha当たり6トン施用する区および無施用の区に2分割し、これに基肥としてペースト肥料(12-12-12)、粒状肥料(14-14-14)を組み合わせて、それぞれNでha当たり66kgを側条に施肥し、滋系58号の中苗(箱当たり乾籾100g播)を移植した。

麦稈持出し、稲わら鋤込みは1996年7月2日、入水、代かきは7月4日に行い、基肥施用、移植は7月8日にI式TA 630 UFW機(粒状)およびM式MPR 505 P機(ペースト)をそれぞれ用いた。

移植直後、障害発生が予測された稲わら鋤込み、ペースト肥料施用区に予め畦畔板で区割りしておいた1区当たり12.5m<sup>2</sup>の小分割区以外は一般区域として落水処理区域に設定した。

資材施用法のうち、HiG区は現物でha当たり300kgを、成分解析区にはHiGと同量のコロイド珪酸単品(SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; 25.5%, NK工業社製)を水希釈液で処理する区、またHiGと同量の酸化マグネシウム、酸化マンガンをそれぞれ単独に塩化物を用いて上述のコロイド珪酸に加用したものを水希釈液で条間に施用する区、さらに障害を継続する無処理区と計5区について単連制で試験した。

## (3) 早植水稻による障害再現と資材による施用効果(1997年)

これまで2年間の晩植水稻による障害再現試験は、障害の機作を解明する素材試験であったが、資材による対策技術試験で効果のある主成分が推定のままに終わった。そこで、1997年には農家慣行の早植水稻による障害再現と資材中で主効果を示す成分の特定化を図った。

今期試験では、慣行どおり3月中旬に土づくり資材(珪カル、熔リン)を施用後に腐熟の進んだ前年秋のコンバイン排わらをロータリで鋤込み、4月下旬代かき、5月上旬移植の慣行早植栽培を行った。処理方法は基肥に用いるペースト肥料の種類を変える設計とした。これ

は、現場で障害が多発するペースト肥料には、製造原料としての廃糖蜜が有機物として30%前後含まれ、前年度試験によればペースト肥料によって土壤還元が促進される傾向もみられたからである。このため、有機物を全く含まないペースト肥料と比較検討した。

また、資材による対策試験で卓効を示したHiGの副成分には硫酸根が多量に含まれていることに注目し、障害対策試験として硫酸根の施用効果を検討することとした。これらの細部は以下のとおりであった。

試験圃場は場内細粒グライ土の水田1筆576m<sup>2</sup>であり、前作は水稻であった。また、供試土壤の主な化学性をみると、全炭素、全窒素、全硫黄含量はそれぞれ、1.95、0.193、 $0.026 \times 10^{-2}$  kg kg<sup>-1</sup> 乾土と前記の晩植栽培田に比べて腐植含量が少なかった。また、CECは14.3 cmol(+) kg<sup>-1</sup>、塩基飽和度は100%近く、有効態珪酸、リン酸にも富んでいた。しかし、遊離酸化鉄は0.84%とやや少なかった。透水性は晩植水田並であった。

障害再現試験は1区150m<sup>2</sup>、単連制とし、コシヒカリの中苗(箱当たり乾籾120g播)を5月6日に前年と同種のM式機を用いて移植した。

供試ペースト肥料は慣行のK社製ペースト肥料(10-16-12)に対して、比較肥料としてN社製ペースト肥料(14-12-10)を用いた。本試験では前者を有機ペースト、後者を無機ペーストと略称した。基肥の実施用量はNとして有機ペースト区でha当たり35kg、無機ペースト区は37kgであった。なお、穂肥は下記の障害対策のための処理を終了した時点で、共通のNK化成(16-0-20)を用いてha当たりNで前者の区には15kg、25kgを、後者の区には15kg、23kgをそれぞれ7月13日と7月16日に分施した。

資材による対策試験は、6月10日にHiGおよび硫酸マグネシウム(以下、硫マグと略記)を施用した。HiGは晩植栽培試験と同量を(ha当たり現物で300kg)、また、硫マグはHiGと同量の硫酸根となるようにha当たり現物で190kg施用する区をそれぞれ圃場水口寄りに設置した。併せて、落水処理を水尻側に分割設置し、6月19日まで落水した。

調査は有機ペースト区で硫マグおよびHiG施用の効果を、無機ペースト区ではHiGの効果をそれぞれ落水処理と比較検討した。

### 3) 栽培試験における調査方法

水稻の生育・収量調査は常法によった。葉色はSPAD-502型を用いて展開第2葉の中肋を除く部位を測定した。水稻根の呼吸量はT社製O<sub>2</sub>アップテスターに

よって測定した。呼吸量測定理由は、障害株の根には外観上特に異常がなく、また、根腐れもないのが一般的であったが、根呼吸総量のエネルギーの3分の1は概ね養分吸収に使うとされるので<sup>9)</sup>、障害株の根が顕著な阻害を受けているか否か、その活性を確認する目的で行った。

呼吸量は、3~4株の新鮮物(生重で20~30g)を30°C、6~9時間連続してチャンパー内に置き、根の乾物当たりの酸素消費量で示した。

湛水土壤中の揮発性脂肪酸(以下、VFAと略記)の総量は犬伏ら<sup>9)</sup>の方法によって浸出した試料について0.01 mol L<sup>-1</sup>水酸化ナトリウムで滴定して求めた。

酸化還元電位(以下、Ehと略記)は銀-塩化銀電極を比較電極とし、4~5cm層位で土中に固定した長さ6mm、直径0.5mmの白金電極による電位差をポータブルORP計を用いて測定した<sup>7)</sup>。圃場では2~3反復の計測とし、測定時には地温を同時測定し、下記の式を用いてメータ直読値を補正した。なお、電極の校正はキンヒドロソ標準液によった。

$$Eh = E_{Ag/AgCl} + 206 - 0.7(T - 25)$$

但し、Tは地温を示す。

## 3. 結果および考察

### 1) 現地概査

1995年以降に現地で発生した典型的な障害事例を写真に示したが、下記の現地概査の地点、時期と本項で示す写真とは直接の関係はない(写真1, 2)。

土壤分析のために現地で採取した水田の多くは強グライ土、グライ土であって、各筆とも基肥施用、移植から約40日を経過していたが、アンモニア態窒素は側条施肥側で乾土1kg当たり30~40mg、反対側で10~20mgと肥料窒素は明らかに残存していた(表1)。また、障害の発生しなかった水田2筆から対照試料を採取したが、生育旺盛なため、既に多くが減耗していた。なお、

表1 現地概査によるアンモニア態窒素およびpH

採取位置	地 点							
	A	B	C	D	E	F	G	
pH	側条施肥側	6.4	6.5	6.6	6.4	6.5	6.4	6.4
	反対側	6.4	6.5	6.6	6.5	6.6	-	-
NH <sub>4</sub> -N*	側条施肥側	43	32	42	30	28	7	8
	反対側	23	24	9	18	21	-	-

\* mg kg<sup>-1</sup> 乾土で、また、地点F、Gは粒状肥料の側条施肥(対照)を示す。

pHは6.4~6.6と大きな差を認めなかった。

以上のとおり、ペースト肥料施用による初期生育抑制水田での土壤窒素や反応には特に大きな問題がなかった。

2) 栽培試験

(1) 晩植水稻による障害再現試験 (1995年)

移植20日後の7月24日頃から早植栽培と同様の黄化葉を発生する株が全区にわたって認められ(写真3)、土壤表面からは湧きによるガス発生も顕著であった。障害発生初期には処理間の差が明らかでなかったが、7月30日前後では稲わら無施用区の葉色が若干濃く観察された。

塩ビ製箱を用いた模擬試験による障害は圃場より約2週間遅れてペースト肥料施用箱のみ発現した。圃場および箱試験による障害株の症状(写真4)をみると、分けつ茎の下葉に発生が多く、主茎には少なく、下位葉中心にクロロシスを呈した。障害甚の場合には葉先枯を生じ、葉縁の葉脈上に暗褐色の斑点を形成する。斑点中央部は壊死して、中空状のものもある。しかし、これは還

元が進んだ場合の別要素による副次的生理障害を生じたものと思われ、今後の検討を要する。

障害発生時に試験圃場で採取した水稻根の呼吸量を調査した結果を表2に示した。

近接する試験圃場で通常に栽培した健全な水稻根と比較すると、障害田から採取したものの根量は少なく観察されたが、外観や活性に異常はなく、呼吸量は窒素多施用区で高く、また、稲わら鋤込み区でも高かった。障害発生1週間後に再度測定した結果でも、窒素多施用区で高い傾向にあったが、稲わら鋤込みの影響は根の活性を低める傾向を示した。

現地障害水田と同様の方法で側条施肥側の作土中アンモニア態窒素、pHならびにVFAを測定した結果を同じく表2中に示した。

窒素施用量に応じてアンモニア態窒素は明らかに高い水準で保持されていた。稲わらによる施肥窒素の有機化は窒素50kg以上の区で生じたが、窒素飢餓を呈するほどでなかったと考えられる。

VFAは、稲わら施用の有無よりも窒素施用による影響が大きく、窒素70kg区が乾土1kg当たり2cmol以上と最も多かった。これは、窒素の増大よりもペースト肥料中の有機物が随伴して多量に施用されたことによる影響が大きいと考えられる。

7月31日以降の生育調査結果(表3)によると、稲わら鋤込みによっても生育は抑制されており、葉色も淡く、通常の還元障害が顕著であった。8月10日以降は田干し、節水管理によってこれら障害の回復を図ったため、葉色も漸次回復し、中でも稲わら無施用の回復は早いことが観察された。晩植であったため、このような稲わら鋤込みによる還元障害の影響は成熟期まで顕著に影響するところとなり、特に稈長が短くなった。弱小の遅発穂も生じたが、穂数の最も多かった稲わらなし、窒素70kg区が最多収となった(データ略)。

以上のとおり、早植栽培に発生する初期生育抑制障害

表2 水稻根の呼吸量、土壤のアンモニア態窒素、pHならびにVFA

処理法	呼吸量		NH <sub>4</sub> -N	pH	VFA	
	7月24日	7月31日				
N 稲わら				7月31日		
30	0	8.3	5.6	46	6.5	0.1
	6	8.1	5.1	66	6.7	0.2
50	0	—	6.4	88	6.8	0.2
	6	—	5.3	82	6.7	0.2
70	0	9.8	6.9	125	6.8	2.4
	6	11.1	5.4	116	6.8	2.7
対照		10.9	3.7	63	6.8	tr.

ha当たりNはkg、稲わらは10<sup>3</sup>kgで、また、呼吸量は通算8.5時間の根乾物1g当たりの酸素消費量mLで、VFAはcmol kg<sup>-1</sup>でそれぞれ示す。

表3 晩植水稻の生育 (1995年)

処理法	7月31日			8月11日			10月16日			
	N 稲わら	草丈	茎数	葉色	草丈	茎数	葉色	稈長	穂長	穂数
30	0	36±2	11±4	35±2	56±2	15±3	40±2	60±2	19.1±0.7	15±3
	6	31±1	11±4	31±3	44±3	13±3	38±3	52±1	18.0±0.4	17±2
50	0	38±2	12±4	37±4	57±2	17±3	41±2	61±3	19.0±0.9	16±2
	6	33±3	11±3	35±3	50±3	15±2	40±3	58±1	19.1±0.8	17±3
70	0	37±1	14±4	37±3	57±3	20±4	40±4	62±1	18.3±0.8	18±4
	6	30±2	10±3	30±4	42±5	13±3	38±4	51±3	18.0±0.8	17±2

草丈、稈長、穂長はcm、茎数、穂数は株当たり本数で、また、±の値は標準偏差を示す。



写真1 現地 (被害軽, 1997)



写真2 現地 (被害大, 落水中, 1995)



写真3 晩植栽培試験 (1995)

写真4 模擬箱試験 (1995)  
供試肥料: ベースト 2.0g (左), 塩化リン安 1.7g (右)写真5 晩植栽培試験 (1996)  
手前中央ラベル右側がベースト肥料区, 後方の黒色畦波内は資材による障害対策試験区を示す。写真6 早植栽培試験 (1997)  
左手前畦波シート内は硫酸根肥料施用区, 後方は落水中の有機ベースト区 (左半分), 無機ベースト区 (右半分) をそれぞれ示す。

は晩植栽培でも発現し、これは第一義的に土壤還元の発達に起因しているものと考えられた。特に晩植条件では移植後の気温上昇が顕著なため、有機物の急激な分解に伴う土壤還元に伴って早期に発現した。

圃場でも観察されたとおり、急激な湧きによる有機酸の生成も多かったものと思われるが、VFAの分析結果による限り、稲わら施用よりも窒素施用量の影響が大きかった。しかし、有機酸生成量と生育抑制障害発現との関係は明らかでなかった。また、障害は窒素施用量の多少にかかわらず発生しており、障害発生当初の根に対する生理的障害も根の呼吸量でみる限り、特に支障なかったと考えられる。

なお、模擬試験でみられた暗褐色の斑点がクロロシス発生に続いてみられたことは、還元に伴う2価鉄の過剰集積を生じているものと思われるが、これの解析はできなかった。

(2) 肥料の相違による晩植水稻の障害再現と資材による障害対策 (1996年)

1995年と同様に、ペースト肥料による初期生育抑制障害は、稲わら鋤込みの有無にかかわらず、移植後2週間を経た7月22日頃から発生し(写真6)、葉身は黄化して分けつが停止した。しかし、粒状肥料区には異常がなく、稲わら鋤込みの影響もみられなかった。

移植後のEhの推移をみると(図1)、夏期高温のため稲わら鋤込みによるEhの低下が著しかった。また、稲わらを鋤込まない場合、ペースト肥料を施用した区ではEhの低下が早かった。

障害発生時点で、マグネシウム、珪酸を主成分とするHiGを湛水条件下で施用したところ、4日後から障害株の葉色が回復し始めた。しかし、HiGと同一成分量のコロイド珪酸単独区およびコロイド珪酸にマグネシウムあるいはマンガン塩化物を加用した区では、無施用区と同様に障害は回復しなかった。なお、これら処理区以外の一般区域で落水処理したところ、葉色の回復には

7~10日を要した。

資材施用によって生育回復を図った試験区の生育状況を表4に示した。

資材施用後の8月6日に調査した結果では、HiG施用区以外の葉色は淡く、茎数も少なかった。しかし、根の呼吸量には差がなかったものの、長さ20mm程度の二段根がわずかに散見された。以後、成熟期でもHiG区の稈長は長く、生育が最も優れていた。

一方、障害発生後に落水処理して生育回復を図った一般区域の生育状況を表5に示した。

障害発生時の草丈、茎数は稲わら鋤込み、ペースト肥

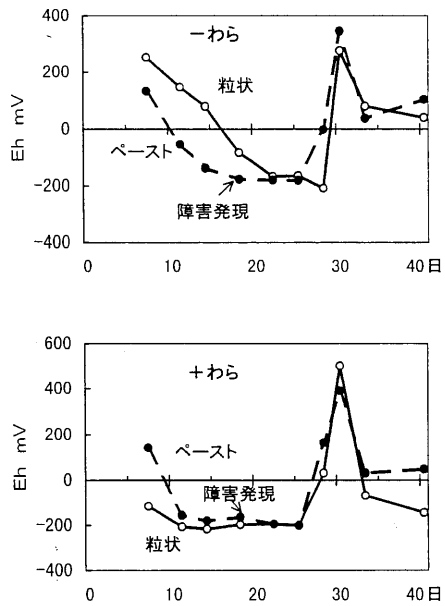


図1 晩植水稻のEh推移(1996) 代かき後の日数で示す。但し、入水・代かき7月4日、施肥7月8日(代かき後4日)、落水7月29日(代かき後27日)。

表4 晩植水稻の資材による障害対策と生育(1996年)

対策処理法	8月6日			10月15日		
	茎数	葉色	呼吸量	稈長	穂長	穂数
無処理	11±2	36±2	8.1	52±2	18.4±0.5	17±3
HiG	19±3	43±2	7.5	59±2	18.5±0.8	24±4
コロイド珪酸	12±2	36±1	8.3	51±2	18.3±0.7	22±5
コロイド珪酸+Mg	10±3	34±2	7.4	53±3	18.2±0.5	21±6
コロイド珪酸+Mn	12±2	34±2	7.0	54±2	18.3±0.6	20±5

稈長、穂長はcm、茎数、穂数は株当たり本数で、また、±の値は標準偏差を示す。呼吸量は通算6時間の根乾物1g当たりの酸素消費量mLで示す。

表5 晩植水稻での障害再現と生育 (1996年)

処理法	稲わら	7月29日				8月12日			10月15日		
		草丈	茎数	葉色	呼吸量	草丈	茎数	葉色	稈長	穂長	穂数
粒状	-	41±2	18±3	37±3	6.4	70±4	29±5	39±3	64±2	18.6±0.8	23±3
	+	42±2	17±4	37±2	7.3	68±3	25±5	41±3	62±2	18.1±0.7	21±4
ペースト	-	34±3	13±3	34±3	8.1	69±3	28±5	43±3	61±2	18.0±0.6	25±4
	+	32±2	10±4	34±3	7.7	63±1	22±4	43±2	59±3	17.9±0.7	19±4

処理法の-は稲わら無施用, +は稲わら施用を, 根の呼吸量は通算6時間の根乾物1g当たりの酸素消費量 mL で示す. 草丈, 稈長, 穂長は cm, 茎数, 穂数は株当たり本数で, また, ±の値は標準偏差を示す.

料区でいずれも低い値を示し, 葉色も明らかに淡かった. しかし, ペースト肥料区の根の呼吸量は高い傾向もうかがわれた. 以後, 成熟期まで稲わら鋤込み, ペースト肥料施用区の生育が最も劣っていた.

なお, これら処理区の成熟期収量についても検討したが, 障害が顕著であったペースト肥料区で低収を, また HiG 施用区で多収を示した (データ略).

1995年の模擬試験でも示したとおり, 土壤還元が発達すると, ペースト肥料は塩安系粒状肥料に比べて生育障害を生じやすかった. 障害回復のため落水して土壤を酸化的にするよりも総合微量元素複合肥料の施用で障害が早く回復したことは, 篤農家圃場と同様に, その寄与成分としてコロイド珪酸, マグネシウムあるいはマンガン以外に肥料中の副成分が関与する可能性が極めて大きいことが示唆された.

### (3) 早植水稻による障害再現と資材による施用効果 (1997年)

移植後3週間を経た5月28日頃から有機ペースト区で生育抑制障害が発現し始め, 5月29日の Eh は有機ペースト区-190 mV, 無機ペースト区-120 mV と有機ペースト区で Eh が低下していた (図2).

障害が明瞭となった6月3日時点の生育は表6中に併記したが, 有機ペースト区の茎数は少ない傾向にあり, 葉色は明瞭な黄緑色を呈し, これまで述べた晩植栽培あるいは一般農家早植栽培と同一の症状を呈した.

障害発生後に落水処理および硫酸根肥料を施用し, 生育への影響を1カ月間調査した結果をそれぞれ表6, 7に示した.

障害の発現が顕著であった6月10日, 硫マグあるいは HiG のように硫酸根を多量に含む肥料を施用したところ, 4日後の6月14日頃から葉色が顕著に回復し始めたのに対して, 障害が発生しなかった無機ペースト区でも硫酸根の施用によって葉色はさらに濃くなった (表7, 写真7).

一方, 落水処理も上記と同じく6月10日から行った

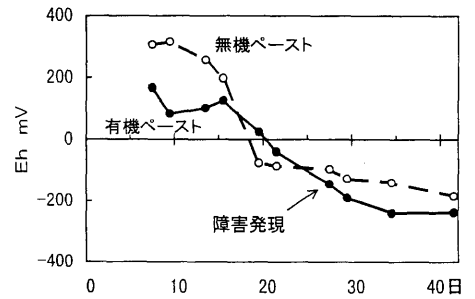


図2 早植水稻の Eh 推移 (1997)

入水・代かき4月30日, 施肥5月6日, 障害発現5月28日.

ところ, 6月20日から有機ペースト区の葉色回復がみられ始めた. この頃になると, 当初から健全であった無機ペースト区でも排水不良域で軽度の障害株が発生した.

以上の2処理の効果をも6月18日の調査結果と比較すると (表6, 7の対比), 有機, 無機両ペースト区とも硫酸根の施用処理は落水処理よりも草丈, 葉色が特に優れていた. 7月7日には幼穂形成期となり, 7月10日の生育では硫酸根肥料施用区の葉色が全般に淡く観察された.

次に, 成熟期の生育および収量をみると (表8, 9), 有機, 無機両ペースト区とも硫酸根肥料の施用は穂数を増加させる傾向もうかがわれたが, 有機ペースト区では落水処理との収量差が少なかった. これは硫酸根肥料施用区で稈長の増大, 籾わら比の低下がみられたように, 栄養生長期の生育量が増大したにもかかわらず, 1回目の穂肥施用量を ha 当たり N で 15 kg にまで制約したため, 籾数が不足したことによると思われる. しかし, 無機ペースト区での硫酸根肥料の施用は穂数, 総籾数を多くし, 最多収を示した.

本試験結果でも明らかなおと, 早植水稻のペースト肥料による初期生育抑制障害の回復には, 落水によって

表6 早植水稻の落水処理と生育 (1997年)

処理区	6月3日			6月18日			6月27日			7月10日		
	草丈	茎数	葉色	草丈	茎数	葉色	草丈	茎数	葉色	草丈	茎数	葉色
有機ペースト	26±2	10±2	29±3	32±2	17±3	36±2	54±3	25±3	38±2	69±2	25±3	33±2
無機ペースト	27±2	11±3	34±3	32±2	17±4	37±2	51±2	25±4	38±2	72±3	26±4	33±2

落水処理は6月10日から実施。草丈はcm, 茎数は株当たり本数で、また、±の値は標準偏差を示す。

表7 早植水稻の硫酸根肥料施用と生育 (1997年)

処理区	6月10日			6月18日			6月27日			7月10日		
	草丈	茎数	葉色	草丈	茎数	葉色	草丈	茎数	葉色	草丈	茎数	葉色
有機ペースト+HiG	26±1	12±3	33±2	36±1	22±3	40±2	54±1	29±4	37±1	67±2	27±4	32±2
有機ペースト+硫マグ	26±1	12±3	33±2	37±1	19±4	41±2	55±2	25±4	38±2	69±2	24±4	33±2
無機ペースト+HiG	28±1	16±4	35±3	37±1	24±5	41±2	57±1	31±8	38±2	73±2	29±6	32±2

硫酸根肥料は6月10日に施用。草丈はcm, 茎数は株当たり本数で、また、±の値は標準偏差を示す。

表8 成熟期の生育および収量 (1997年, 早植水稻の落水処理)

処理区	稈長	穂長	穂数	わら重	精籾重	籾わら比	精玄米重	収量比	籾数		登熟歩合 %	千粒重 g
									/穂	×10 <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		
有機ペースト	84±3	19.0±1.4	19±2	483	685	1.42	544	(100)	80.4	323	88.1	21.0
無機ペースト	85±3	20.1±1.4	20±3	484	679	1.40	526	97	80.9	331	83.5	21.2

稈長, 穂長はcm, 穂数は株当たり本数で、また、±の値は標準偏差を示す。収量は10 kg ha<sup>-1</sup>で示す。

表9 成熟期の生育および収量 (1997年, 早植水稻の硫酸根肥料施用)

処理区	稈長	穂長	穂数	わら重	精籾重	籾わら比	精玄米重	収量比*	籾数		登熟歩合 %	千粒重 g
									/穂	×10 <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		
有機ペースト+HiG	85±4	19.0±0.8	20±2	509	691	1.36	550	101	74.2	313	84.5	20.8
有機ペースト+硫マグ	87±2	18.6±0.9	19±2	491	677	1.38	532	98	-	-	-	20.9
無機ペースト+HiG	85±2	21.1±1.0	21±4	556	747	1.34	591	109	76.8	342	78.2	21.0

稈長, 穂長はcm, 穂数は株当たり本数で、また、±の値は標準偏差を示す。収量は10 kg ha<sup>-1</sup>で示す。収量比\*の対照は表8の有機ペースト, 落水区を100とした。

作土層を酸化的にするよりも硫マグのような硫酸根肥料の施用効果が大きかった。

これは、土壤還元が発達した中の硫酸根の形態を変化させた結果、有効態硫黄が飢餓状態となり、水稻が一時的な硫黄欠乏になったことによるものと推定される。

水稻がペースト肥料による初期生育抑制障害を受けると、農家は落水して障害回復を図るよう普及指導されている。しかし、落水は除草剤や肥料成分の流出を伴い、除草効果の低下のみならず肥料成分の流域への負荷を増大させる。

農家は硫安の追肥によって回復を図る事例も多かった。しかし、1995年の現地概査あるいは同年の晩植栽培試験でも示したように、障害発生時のアンモニア態窒素は作土に相当量残存しており、障害によって窒素が吸収できない状況にあった。このような土壤養分の状況にもかかわらず、硫安が施用されると急激な窒素吸収を伴い、幼穂形成期に至っても葉色は落ちず、農家は穂肥の適期施用を逸するような状況であった。生育の回復は硫安の副成分、硫酸根が効果を呈していたものと考えられる。



#### 4. 要 約

滋賀県北部を中心に、近年、主としてペースト肥料の側条施肥田で多発する水稻の初期生育抑制障害の原因を土壤肥科学的に究明し、これの対策を図ろうとした。このため、現地概査するとともに、晩植水稻で障害の再現を試み、また、篤農家の実践する資材による対策技術の解析を試みた。さらに、一般農家と同様に、当地域の基幹品種早植栽培による障害を再現し、障害回復に有効な資材で、主効果のある成分の特定化を図ったところ、以下のことを明らかにした。

1) 障害水稻は移植後 30~40 日に下位葉が黄化し、草丈の伸長、分けつの停止を伴うものであって、品種間の差はなかった。また、障害時の土壌中には肥料窒素は明らかに残存し、土壌反応にも異常はなかった。

2) 晩植栽培でも土壌還元を促進した場合、また、粒状肥料よりも有機物を多量に含むペースト肥料で生育抑制障害が生じやすかった。なお、障害根の呼吸活性や外観には特に異常がなかった。

3) 慣行の早植栽培で、初期生育の抑制障害を受けた水稻に対して資材を用いて障害回復を図ったところ、硫酸マグネシウムのような硫酸根肥料の施用は、落水によって作土を酸化的にするよりも速効かつ卓効を示した。

4) 以上のことから、土壌還元の発達に伴う水稻の初期生育抑制障害は、土壌中の硫酸根が一時的な飢餓状態になることで発生する栄養障害の可能性が大きいことを指摘した。

**謝 辞** 研究進展のヒントは木之本町古橋の中核農家、橋本正美氏に負うところが大きい。資材提供は渋谷政夫氏から、供試土壌一般化学分析は滋賀県農試の竹久主任技師にそれぞれお世話になった。記して謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 日本土壤肥科学会編：施肥位置と栽培技術—現状と問題点, p. 139~194, 博友社, 東京 (1982)
- 2) 小林正幸・辻 藤吾・長谷川清善・大橋恭一：琵琶湖集水域における農業排水の水質改善に関する研究, 環境研究, 第 87 号, p. 32~40 (1992)
- 3) 植物栄養実験法編集委員会編：植物栄養実験法, p. 392~395, 博友社, 東京 (1990)
- 4) 渋谷政夫：総合微量要素肥料の理論と実際, p. 20~21, ダイケミカル, 東京 (1993)
- 5) 森田茂紀・阿部 淳 編：根ハンドブック, p. 155~156, 根研究会, 東京 (1995)
- 6) 犬伏和之・斎藤雅典・和田秀徳・高井康雄：湛水土壌中の揮発性脂肪酸の定量法, 土肥誌, 57, 406~407 (1986)
- 7) 八木一行・鶴田治雄・陽 捷行：CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O フラックス測定マニュアル, 農環研資源・生態管理科研究集録, 第 7 号, p. 143~156 (1991)

### Studies on Causes and Measures for the Growth Disorders of Early Planting Rice in the Northern District of Shiga Prefecture (Part 1)

#### Occurrence of Initial Growth Disorders of Rice Plants Supplemented with Basal Paste-Like Fertilizer, and Effects of Sulfate Fertilizer Application on the Disorders

Togo Tsuji

(Shiga Agric. Exp. Stn., Kohoku Branch)

The author investigated the regional growth disorders of early-planted rice, of which initial growth is severely and peculiarly inhibited, causing yellow stunting of lower leaves and no increase in stem number after approximately 30 to 40 d of transplanting, to paddies supplemented with a basal paste-like fertilizer at the row sides. No specific responses were found among rice varieties.

The field experiments and soil analysis of paddies were carried out; firstly to reproduce the disorders in the late planting of rice, and secondly, to diagnose the components of a commercial fertilizer which has been effectively used by a farmer to recover the disorders.

The results obtained were as follows;

1) Disordered paddies contained appreciable amounts of ammonium nitrogen in the soil, indicating no effects of nitrogen deficiencies to rice plants.

2) The specific growth disorders of yellow stunting were also found in the late-planted rice cultivation. Furthermore, the application of a granular fertilizer at the row sides showed less

growth disorders as compared to the paste-like fertilizer when they were treated in the same experimental paddy.

3) An experiment to separate the farmers practical fertilizer into a few nutrients for diagnosis showed that any nutrient other than sulfate contributed less to recover the disorders.

Consequently, in the following early rice planting experiment, in which the growth disorders by paste-like fertilizer were also induced, the application of magnesium sulfate responded well for recovery within several days under a submerged condition, whereas the recovery by surface drainage took more than 10 d.

As a conclusion, the author suggests the disorders will be induced primarily by developed soil reduction, hence causing nutritional disorders in rice plants related to temporary sulfate starvation in the soil.

*Key words* basal fertilizer at row sides, early rice planting, growth disorders, paste-like fertilizer, soil reduction

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 71, 454-463, 2000)