

# 水稻の初期生育抑制障害発生に伴う水田土壤中の 硫黄含量の変化とその実態\*

辻 藤 吾\*\*

キーワード 可溶性硫黄, 可給態硫黄, 硫化物態, 塩安系高度化成, 硫安系高度化成

## 1. はじめに

水田土壤中における硫黄は、硫酸還元に伴う硫化物集積、硫化水素による水稻の生育阻害要因として古くから研究され、硫化水素による根腐れから生じる秋落ち現象は周知の事実である。また、硫化鉱物（パイライト）の急激な酸化による硫酸酸性害もしばしば報告されてきた。いずれも、硫黄の過剰害として重要な阻害要因であった。しかし、近年では土づくりの進展に併せて、典型的な秋落ち現象が少なくなりつつあるものと考えられる。

ところで、滋賀県北部地域に多発する水稻の初期生育抑制障害には根の活性に異常がなかった。また、落水によって作土層を酸化的にするよりも硫酸根施用による回復が早かったことから、これは土壤還元の発達に伴う土壤中硫酸根の形態変化に起因するものであって、土壤中有効態硫黄の飢餓状態から硫黄欠乏を誘発することを予測した<sup>1)</sup>。

現場で問題となる障害を受けた分けつ期の水稻茎葉中硫黄含量を調査したところ、欠乏限界は全硫黄で0.12%であったが、これは既往成績の限界値0.10～0.16%の範囲内にあった<sup>2)</sup>。また、水稻の硫黄欠乏症発現程度は水田の硫酸根施用前歴によっても異なっていた<sup>2)</sup>。

本報では、このような初期生育抑制障害発生に伴う水田土壤中の硫黄含量の変化を知る目的で、これまでの推定、特に土壤還元の発達による土壤中硫酸根の消長を肥料の種類との関連で検討した。

一方、当地域では、無硫酸根肥料施用が一般化してい

る現況からみて、近年の水田土壤中の硫黄含量の実態について、農家水田土壤の数種を用い、腐植、土壤反応の検討と併せながら、経年変化についても検討した。さらに、本県農業試験場の本、分場が過去20年以上にわたって継続実施している地力変動調査圃場での土壤中硫黄含量の実態を上記と同様に比較検討した。

以上の点について述べるとともに、これまでの報告に対する総合考察をしたので併せて報告する。

## 2. 調査方法

### 1) ペースト肥料施用に伴う土壤中硫黄含量の推移 (インキュベート実験)

場内水田作土（第1報<sup>1)</sup>の1997年早植栽培試験供試水田跡地土壤）を採取し、刈り株、根などの粗大有機物を除去し、未風乾のまま混合したものを平底の大型容器内で予め供試土全量について少量の水を用いて混和後、5.7 L容、27 cm×21 cmのポリプロピレン製タッパーウェアに5 cmの深さで、容器当たり湿潤土3.7 kgを充填した。充填後、水分を調整して羊かん状とし、2.5 cmの深さに10 cm間隔で容器当たり2条の施肥溝を作った。

供試ペースト肥料（12-12-12）は、第1報<sup>1)</sup>の晩植栽培試験（1995年）の窒素施用量に準じて容器当たり3.15 gを溝内に均一に条施し、側方土で溝を被覆した。各容器ごとに2 cmの湛水深を保ち、以下の項目を分析した。なお、対照としてペースト肥料無添加土壤を同様に調整した。

酸化還元電位（以下、Ehと略記）は施肥位置にごく近接、かつ条に平行して容器側方より挿入固定した白金電極を用い、第1報<sup>1)</sup>と同様に定期的に測定した。

土壤の可溶性硫黄は、条施した容器から全層について生土20 gを採り、2 mol L<sup>-1</sup>塩化アンモニウム50 mLと水40 mLを加えて、1時間振とう後No.5Cでろ過し、イオンクロマトグラフィーで定量した。

なお、2 mol L<sup>-1</sup>塩化アンモニウムは佐藤<sup>3)</sup>の方法に

\* 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3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  
日本土壤肥科学雑誌 第71巻 第4号 p.472~479 (2000)

準じたが、これは1957年当時の土壤中硫黄含量と比較する目的で採用し、本報では可溶性硫黄と称した。

また、近年、水田土壤の可給態硫黄（以下、Av-Sと略記）抽出に0.03 mol L<sup>-1</sup>リン酸二水素カルシウムが用いられるが<sup>4)</sup>、インキュベート中の変化ならびに塩化アンモニウムによる抽出量との比較検討を行うため、ペースト肥料無添加土壤を用いて抽出した。抽出液と土壤との比率は塩化アンモニウムと同一の比率を用いたため、乾土：抽出液は約1：10となった。インキュベート中は30°Cで静置し、施肥、湛水3日後から1週間ごとに6週まで定期的にサンプリングした。

2) 粒状肥料施用に伴う土壤中硫黄含量の推移（インキュベート実験）

上述1)の実験とはほぼ同様に、ポリプロピレン製容器によるインキュベート実験を行った。供試土壤は前報<sup>2)</sup>の1998年早植栽培供試水田のうち、コシヒカリ栽培前の作土を用い、1)の実験と同様の前処理をした。但し、粒状肥料には塩安系および硫安系の高度化成（いずれも14-14-14）の粉碎したものをを用いて、1998年の栽培試験施肥量の5割増の水準で容器当たり1.80gの施肥量とし、未風乾土に予め肥料を全層混和した。容器当たり湿潤土4.50kgを秤取後、水1Lを加えて代かきし、水深を2cmに調整した。なお、供試肥料は前報<sup>2)</sup>で述べた早植水稻の硫黄吸収特性を調査した試験と同一のものをを用いた。インキュベート中は30°Cで静置し、施肥湛水直後、3日後および以降1週間ごとに6週まで定期的にサンプリングした。Av-Sは1)の実験と同様に0.03 mol L<sup>-1</sup>リン酸二水素カルシウムによる方法<sup>4)</sup>を用い、併せてpH、Ehを測定した。

3) 農家および農業試験場水田土壤の硫黄含量の実態とその経年変化

農水省補助事業、土壤保全調査で実施している県北部地域農家水田の定点調査地点、50筆水田から1982、1992および1997年の過去3回にわたり、腐植含量に1%以上の差があり、かつ調査期間中に圃場整備のなかった5筆の作土を任意に選定して分析に供した。これ

ら試料の土壤統群および土壤統名は表1に示すとおりである。

土壤試料は全炭素（以下、T-Cと略記）、全窒素（以下、T-Nと略記）、全硫黄（以下、T-Sと略記）の腐植成分ならびにpH（H<sub>2</sub>O）およびAv-Sについて分析した。但し、硫黄を除く各項目は上記事業の研究報告<sup>5)</sup>のバックデータを引用した。また、Av-Sの定量条件として、既述の1)、2)で述べたリン酸二水素カルシウム濃度を0.03 mol L<sup>-1</sup>から0.01 mol L<sup>-1</sup>に低くし、液比を1：10から1：5に変えた。0.03 mol L<sup>-1</sup>ではイオンクロマトグラフィーでのリン酸イオンのピークが過大すぎることによるカラムの保守性やブランク増大のための分析精度低下を考慮したからであり、土壤統群、水田の来歴の相違を相対的に比較できると考える。

T-Sの分析法はSteinbergsら<sup>6)</sup>の方法によって試料を調整、分解後、イオンクロマトグラフィーで分析した。

次に、同調査事業で農業試験場の本、分場3カ所が別途に実施している基準点調査の代表的な共通処理区を選定した。これら調査地点名、土壤統群、土壤統名は以下のとおりである。

- ①大中（蒲生郡安土町大中、農試本場）：中粗粒グライ土、八幡統
- ②木之本（伊香郡木之本町千田、湖北分場）：細粒グライ土、幡野統
- ③安曇川（高島郡安曇川町田中、湖西分場）：中粗粒褐色低地土、三河内統

また、共通処理区名と処理内容（カッコ内）は以下のとおりである。

- ①化学肥料単用区（稲わら持出し、珪カル、熔リン無施用）
- ②稲わら全量還元区（珪カル、熔リン無施用）
- ③総合改善区（稲わら全量還元、珪カル、熔リン施用）

これらの試料は、地点によって試験開始年次に3年の差があるが、開始初年目、開始から10年目および最新調査年で20年目に相当するものを選定した。定点調査と同様に作土についてT-C、T-NおよびpHのデータ<sup>5)</sup>を引用するとともに硫黄含量を調査した。

3. 結果および考察

1) ペースト肥料施用に伴う土壤硫黄含量の推移

Ehの推移を図1に示した。湛水直後からEhの低下が顕著で、10日後には-100~-200 mVにまで低下した。ペースト肥料添加区のEhは施肥位置に近接し、や

表1 定点調査圃場の土壤統群、土壤統

定点地区名	同左略記	土壤統群	土壤統
伊香郡高月町東高田	A	細粒灰色低地土、灰褐色	諸橋統
東浅井郡湖北町南速水	B	細粒グライ土	幡野統
〃	C	細粒強グライ土	田川統
坂田郡山東町市場	D	灰色低地土、下層黒ボク	野市統
坂田郡米原町磯	E	泥炭土	谷中統

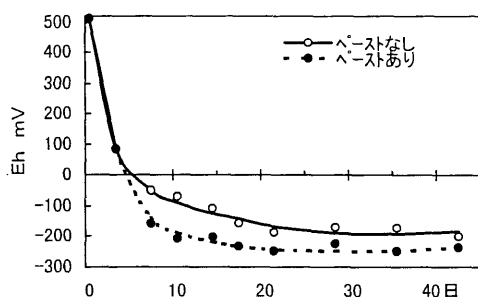


図1 酸化還元電位の経時変化  
横軸は湛水後の日数で示す。

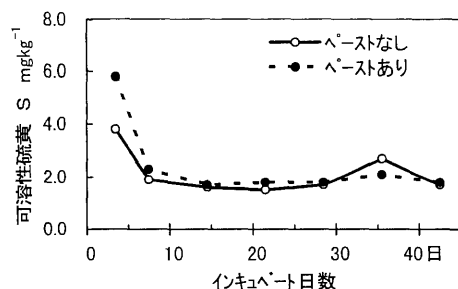


図2 可溶性硫黄の経時変化

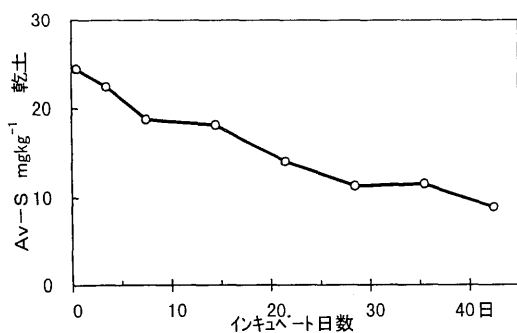


図3 可給態硫黄の経時変化

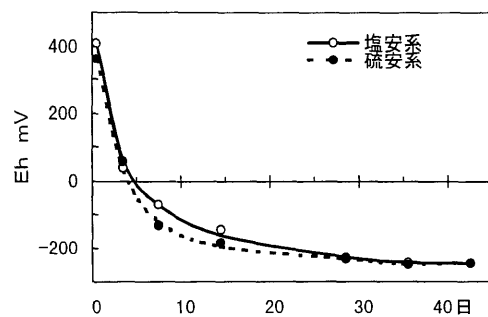


図4 酸化還元電位の経時変化

や局所的な値を計測したと思うが、ペースト肥料無添加に比べて7日以降明らかに低かった。20日を経過すると、肥料添加区で $-250$  mV、無添加区で $-200$  mVとほぼ平衡状態になった。

$2 \text{ mol L}^{-1}$  塩化アンモニウム抽出による可溶性硫黄の推移を図2に示した。

Ehの低下に平行して7日目までは高めに抽出されたものの、14日以降は明らかに減少して平衡状態で抽出され、30~40日目に及ぶとやや上昇傾向もみられた。肥料の有無による差は、ペースト肥料添加区で終始高めに抽出された。これは供試ペースト肥料がT-Sで0.28%を含有していたので、肥料由来の硫黄が多めに抽出されたものと考えられる。なお、肥料由来の硫黄は乾土当たりSとして約 $4 \text{ mg kg}^{-1}$ の添加量であった。

1957年当時の佐藤<sup>3)</sup>の結果によれば、本実験の供試土よりも腐植含量は明らかに高かったものの、健全田では $102 \text{ mg kg}^{-1}$ の可溶性硫黄を含有していた。本実験で得た肥料無添加区3日後では、 $4 \text{ mg kg}^{-1}$ と肥料に由来する量とほぼ同水準で抽出された。これは、1957年当

時の水準に比べると著しく低い値であった。

次に、肥料無添加土壌について抽出したAv-Sの変化を図3に示した。インキュベート開始直後に $25 \text{ mg kg}^{-1}$ であったが、Ehの低下とともに漸減し、Ehが $-200$  mVに低下した40日後には $10 \text{ mg kg}^{-1}$ にまで減少した。しかし、塩化アンモニウム抽出による可溶性硫黄のように平衡に至らず、またAv-Sは可溶性硫黄に比べて5倍以上多く抽出された。

## 2) 粒状肥料施用に伴う土壌中硫黄含量の推移

Ehの変化は図4に示すとおり、ペースト肥料添加実験とほぼ同様の速度で低下した。1週から3週にかけて、塩安系肥料区で若干高めに経過したが、4週では肥料の差が消失して $-200$  mV以下となった。

Ehと同時にpHを測定したところ、インキュベート開始時に6.5であったが、1週間以内に7にまで上昇し、以降、大きな変動はなかった(データ略)。

次に、Av-Sの経時変化を図5に示した。当然ながら、硫安系肥料区で高く抽出されたが、Ehの低下とともに減少し、4週目以降では肥料の種類による差が少なくなった。

供試肥料のT-Sを別途に定量したところ、塩安系

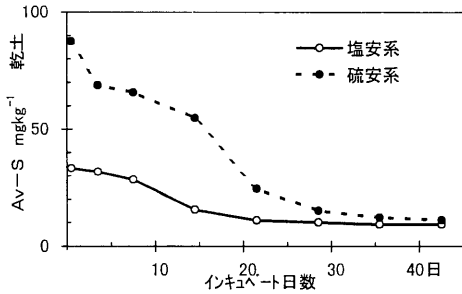


図5 可給態硫黄の経時変化

料で1.77%を、硫安系肥料で10.8%を含有していた。施肥量および供試土重から換算すると、肥料に由来する硫黄は塩安系、硫安系でそれぞれ13, 80 mg kg<sup>-1</sup> 乾土となって、これらは土壌硫黄に上乘せられて抽出されているが、上述のとおりインキュベート中に著しい減少を示した。

以上のとおり、窒素質肥料の種類にかかわらず、インキュベート中に Eh が低下し、これに伴って土壌中の Av-S 含量は明らかに減少した。佐藤・山根<sup>7)</sup> が1960年当時供試した砂質原土の塩化アンモニウム抽出による可溶性硫黄含量は84 mg kg<sup>-1</sup> 乾土であって、これは2週間で還元されて消失している。また、200 mg kg<sup>-1</sup> 乾土の SO<sub>4</sub>-S を添加しても2週間で1/2以下になっていた。本報告の肥料施用量は慣行施肥量よりも5割増とし、供試肥料を硫安系高度化成で添加しても SO<sub>4</sub>-S として100 mg kg<sup>-1</sup> 乾土未満と少量であった。このような低水準ではあったが、リン酸塩抽出による Av-S も3週間でその大半の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> は硫化物態 S<sup>2-</sup> となるために、抽出量は低水準にとどまるところとなった。

硫化物態は土壌中で主に FeS の形と思われる、これは水稻には不可給態であるが、Eh が低いことから容易に酸化されやすく、すぐ可給態に戻るものと考えられる。

本報告でインキュベート実験に供した土壌のうち、ベスト肥料施用土壌では前作の水稻に硫黄欠乏が発生した。インキュベート開始時における無肥料区の Av-S の水準から、硫黄欠乏となる土壌中硫黄含量の限界値を推定すると、0.03 mol L<sup>-1</sup> リン酸二水素カルシウム、1:10の抽出条件下では25 mg kg<sup>-1</sup> 以下と考えられるが、なお多事例の検討を要する。

### 3) 農家および農業試験場水田の硫黄含量実態とその経年変化

定点調査圃場5地点の過去3回にわたる全点数について、pH および腐植成分の T-C, T-N ならびに硫黄含量

表2 定点調査圃場の pH, 炭素, 窒素および硫黄含量

定点地区	調査年次	pH	T-C	T-N	T-S	Av-S
A	1982	5.8	1.33	0.130	0.014	14
	1992	5.8	1.36	0.177	0.017	14
	1997	6.0	1.54	0.156	0.018	7
B	1982	5.9	1.69	0.150	0.018	34
	1992	5.5	1.76	0.200	0.021	21
	1997	5.2	2.27	0.208	0.021	8
C	1982	6.0	2.12	0.220	0.025	46
	1992	5.8	2.30	0.246	0.025	12
	1997	5.6	2.43	0.229	0.029	33
D	1982	6.2	2.65	0.230	0.033	25
	1992	6.3	2.77	0.262	0.036	15
	1997	6.4	3.36	0.278	0.037	8
E	1982	5.6	5.43	0.560	0.072	105
	1992	5.2	5.58	0.530	0.072	65
	1997	5.2	5.57	0.534	0.069	49

定点地区略名は表1に示した。また、T-C, T-N, T-S は 10<sup>-2</sup> kg kg<sup>-1</sup> 乾土で、Av-S は mg kg<sup>-1</sup> 乾土でそれぞれ示す。

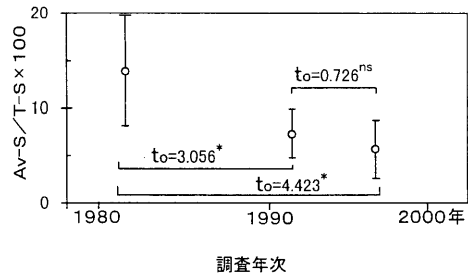


図6 Av-S/T-S 比の年次変動

図中の t<sub>0</sub> は平均値の差を t 検定したもの。変異は標準偏差で示す。\* は 5%水準で有意なことを示す。

の調査結果を表2に示した。

腐植成分の T-C, T-N および T-S 相互の相関関係は極めて高く、T-C と T-S との間には r=0.993, また、T-N と T-S との間には r=0.990 と、いずれも 0.1%水準で有意な単相関係数を得た。

5地点の15年間の変化をみると、pH には大きな変動がなく平均値で5.7~5.9の幅であった。腐植では T-C が各地点とも増大傾向を示し、T-N や T-S の変動は明らかでなかった。

しかし、地点Cを除いて Av-S が概して低下する傾向を示した。また、可給態硫黄の可動性の指標として、Av-S の T-S に対する比率をみても、地点Cを除いていずれも経年的に低下した。各調査回ごとに Av-S/T-S の比率について5地点の平均値を求め、これらはそれぞ

れ対応する試料なので、平均値の差を検定した結果を図 6 内に示した。

初回目と 2 回目および初回目と 3 回目の平均値の差は、5%水準で有意であった。1982 年以降、現在に至るまで各地でこの比率が有意に低下していることは、腐

植成分としての硫黄には大きな変化がみられなかったものの、Av-S としては pH の影響や施肥慣行の影響を受けた結果と考えられるが、これらの寄与割合を明らかにすることはできなかった。

一方、農業試験場の基準点調査圃場について、先ず、pH をみると (図 7)、総合改善区は 6 以上で、各基準点とも変化が少ない。しかし、稲わら全量還元区および化学肥料単用区は pH 5.5 前後と経年的にやや低下傾向を示した。

次に、Av-S の経年変化をみると (図 8)、処理の相違にかかわらず、20 年間で安曇川のみ減少傾向がみられたが、他の基準点では稲わらが還元される条件では見られな減少はみられず、20 mg kg<sup>-1</sup> 前後で横ばいの状況であった。

土壌 pH あるいは土壌の特性との関連でみると以下とおりであった。

各基準点の 3 処理、全年次わたる T-S と Av-S の

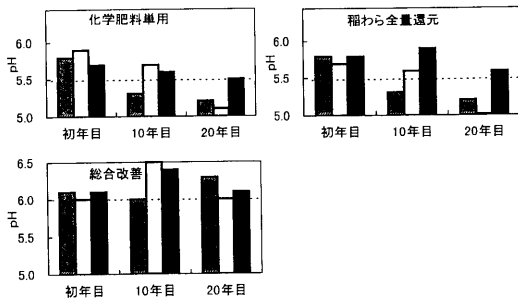


図 7 pH の変化  
 大中, □安曇川, ■木之本。

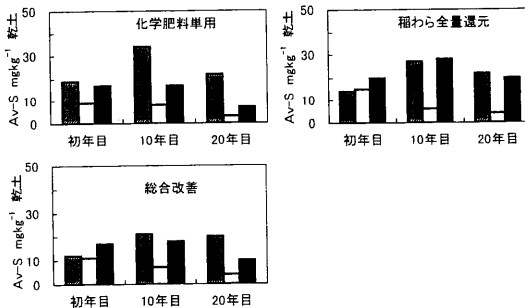


図 8 Av-S の変化  
 大中, □安曇川, ■木之本。

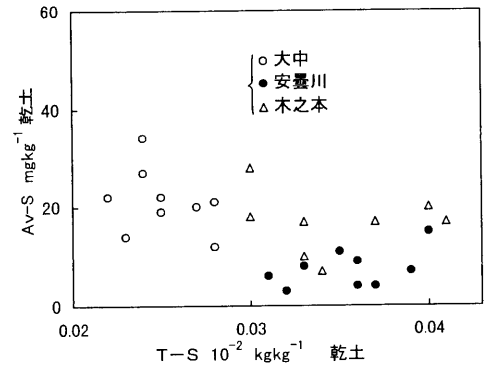


図 9 Av-S と T-S との関係

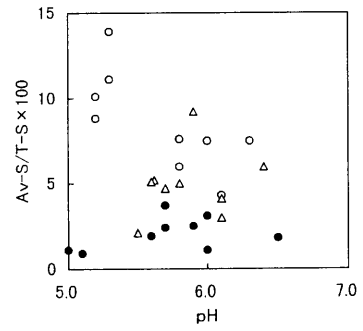
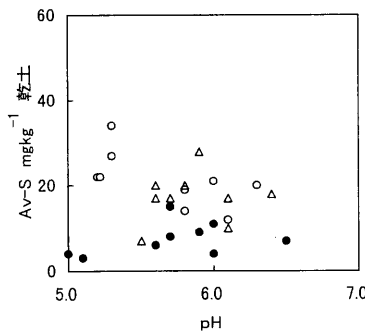


図 10 pH と Av-S およびその可動性の関係  
 ○大中, ●安曇川, △木之本を示す。

係をみると(図9), 大中のT-Sは低い水準にありながらAv-Sが高く, 安曇川は逆にT-Sが高い水準にありながらAv-Sは低く, 木之本はこれらの中間的な値を示した。

同様に, pHとAv-Sとの関係を見ると(図10左), 木之本, 安曇川ではpH上昇に伴ってAv-Sは増加する傾向がうかがわれ, 草地土壌でのpH上昇に伴う可動性の増大<sup>9)</sup>と同様であった。しかし, 大中では逆にpH上昇に伴ってAv-Sが低下する傾向を示した。これは, 同図右のとおり, Av-S/T-S比とpHとの関係にもみられた。大中では下層土30~70cmに砂層があるために, 硫黄の可動性が增大して $SO_4^{2-}$ が溶脱したものと考える。

以上の基準点圃場は, 調査開始後20年以上を経過し, 畑転換の全くないもので, 堆肥や土づくり資材の連用で水稲に対する肥沃度は向上している。木之本は本研究で問題とする湖北地域であるが, 同圃場での水稲の初期生育抑制障害は現在のところ余り目立たない。大中, 安曇川については発生していない。

灌漑水からの硫黄の天然供給量が未検討であるものの, 稲わら還元, 資材の供給があっても, 可給態硫黄含量の増大は図8でもみたとおり, 大きな期待はできず, 安曇川のような乾田では, 土づくりと併せて十分留意する必要がある。

木之本の一般圃場あるいは湖北地域の農家水田では, 硫黄欠乏による水稲の初期生育抑制障害が頻繁に発生し始めたことから, 土づくりと併せた硫酸根肥料の適正な施用が今後の重要な対策技術と考えられる。

#### 4) 水稲の初期生育抑制障害に対する総合考察

湖北地域における気象の最も大きな特色として, 積雪量が多いように, 北陸型気象と共通する点がある。1980年代の北陸地域で水稲収量変動が大きい地域として, 当地域に隣接する福井県嶺南地域が上げられている。ここでは, 湿田における生わら施用と水管理との関連で, 湛水前の土壌乾燥による乾土効果の発現に年次間差の大きいことが指摘されたが, 異常還元による生育障害はなかったと報告されている<sup>9)</sup>。近年でも本報告のような初期生育抑制障害は, 側条施肥の普及も少ないためか, 特に目立たないようである。

湖北地域も同様に秋耕しても十分な乾土効果を期し難い地域である。畑状態が長いほど硫酸還元は少ない<sup>7)</sup>ことからみると, 逆に多雪地帯で春先に易分解性有機物が多いまま湛水されれば, 硫酸還元は促進される結果となる。本報での検討結果に加えて, 第1報<sup>1)</sup>の緒言でも述べたように, 肥料の流通事情に反映される地域性と多

雪地という気象の地域性が重複して本障害を多発させている側面もあろう。

このほか, 水稲の施肥技術が基肥重点から追肥重点の施肥法に転換したことは, 基肥窒素が半量以下となつて, 基肥に由来する硫黄供給量に制約を生じたとも思われる。

ところで, 土壌還元の発達に伴う有機酸の生成については, 第1報<sup>1)</sup>の晩植栽培試験で障害が発現した際に揮発性脂肪酸(VFA)の総量を検討したが, 有機酸総量と障害発生との間には明らかな関係が認められなかった。従来, 検討されてきた有機酸と水稲生育阻害との問題<sup>10)</sup>について, 本障害への適応は疑問と考えられる。

近年, 西南暖地で麦稈鋤込みに伴う水稲の生育抑制障害に関連して, 微量だが毒性の強い芳香族カルボン酸の関与が強いことが指摘されている<sup>11)</sup>ので, 第1報<sup>1)</sup>で述べた1996年晩植水稲にペースト肥料施用によって障害を再現した水田で, 障害発生中の8月1~3日にかけて, 株元からD社製素焼ポーラスカップを用いて採取した土壌溶液について, 芳香族カルボン酸の検出を九州農業試験場, 田中主任研究官(現, 農業研究センター)に依頼した。

その結果, 稲わらおよびペースト肥料施用の有無にかかわらず, 植物根に毒性が強いとされるフェニール酢酸, 2-フェニールプロピオン酸, 3-フェニールプロピオン酸, 4-フェニール酪酸は全く検出されなかった。採取時期の検討など十分でないが, 芳香族カルボン酸も含む有機酸の生成は本障害に対する主因でなかったものと考ええる。

硫酸還元菌は有機物の終末微生物であつて, 揮発性脂肪酸の多くを基質にする<sup>12)</sup>ことを考え併せると, 有機酸の生成は硫酸還元菌を増殖したときえ思われるが, このような嫌気性微生物相からの解析については未検討である。

本研究で供試した主なペースト肥料は, 有機物で約30%,  $SO_4$ -Sとして約0.3%を含有する。これを, 有機物原料を低配合の割合に制限し, また, 硫酸加里などによって硫酸根を約10倍の組成にした試作肥料を供試して, 1999年に農業試験場水田の2筆ならびに現地農家水田の数筆を用いて, 従来肥料を対照として早植水稲への肥効が検討されたところ, 従来肥料には典型的な初期生育抑制障害が発現したのに対して, 試作品には全く発現しなかった。いずれも未公表, データ無提示のものであるが, 本研究の結論を端的に示すものとして付言したい。

石塚・田中<sup>13)</sup>が既に予測したように, 水田土壌の特

質として、還元条件下では硫黄の化学形態が変化することによる水稻の硫黄欠乏障害が現実のものとなった点に留意すべきである。

#### 4. 要 約

本県湖北地域に発生する水稻の初期生育抑制障害は、土壤還元の発達に伴う硫黄欠乏によるものと推定したが、水田土壤中の硫黄の消長が不明であったため、これを肥料の種類との関連で検討した。また、農家水田および農業試験場水田で継続している土壤保全調査事業の定点および基準点調査圃の硫黄含量を pH、腐植組成とともに検討した。これらの結果、以下のことを明らかにした。

1) ベースト肥料および塩安系、硫安系粒状肥料を条状および全層に施用して湛水でインキュベートし、定期的に塩化アンモニウムによる可溶性硫黄あるいはリン酸二水素カルシウムによる可給態硫黄を抽出したところ、土壤 Eh の低下に伴って可溶性および可給態硫黄含量は明らかに減少した。特に可溶性硫黄含量の水準は 1950 年代の事例に比べて著しく低い値であった。

2) リン酸二水素カルシウム抽出による可給態硫黄は可溶性硫黄の約 5 倍と多量に抽出された。

3) 農家水田の過去 15 年間の可給態硫黄含量の推移を知るため、湖北地域 50 筆定点圃場から腐植含量に差のある 5 地点を抽出し、腐植成分とともに調査したところ、腐植はやや増大傾向を示したが、可給態硫黄は概して低下する傾向を示した。

全硫黄中に占める可給態硫黄の割合をみても、15 年前と近年ではこの比率が有意に低下しており、これは pH の影響や施肥慣行の影響を受けていることによるものと考えられた。

4) 基準点調査圃の土壤は、畑転換がなく、稲わらおよび資材による土づくりで 20 年以上を経過する土壤 3 種 (半湿田 2 種, 乾田 1 種) であり、土壤硫黄含量はそれぞれの土壤特性を反映した。中でも、中粗粒質乾田の可給態硫黄は経年的に低下する傾向を示した。

以上のことから、土壤還元が発達すると土壤中の硫酸根は硫化物態に還元されるため、水稻にとって一時的に不可給化される。近年では、土壤中の可給態硫黄含量の水準が著しく低下しているために、硫酸還元によって水

稻の硫黄欠乏を誘発する可能性が極めて大きいことを指摘した。

しかしながら、積雪量の多い当地域水田での乾土効身の効率性や肥料流通の偏りは、本障害を助長する要因になるものと考えられ、硫酸根肥料の適正な施用および土づくりの重要性も指摘した。

謝 辞 イオンクロマトグラフィー分析は滋賀県農試、徳田主任技師の労を煩わした。記して謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 辻 藤吾: ベースト肥料による水稻の初期生育抑制障害、障害に対する資材の施用効果、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), 土肥誌, 71, 454~463 (2000)
- 2) 辻 藤吾: 水稻の硫黄欠乏による栄養障害と硫黄吸収性、滋賀県北部早植水稻の初期生育抑制障害の原因究明対策技術について (第 2 報), 同上, 71, 464~471 (2000)
- 3) 佐藤郁生: 圃場における硫黄化合物の消長, 水田土壤における硫黄化合物の研究 (第 1 報), 東北大農研彙報, 8, 173~184 (1957)
- 4) 鈴木 皓: 硫黄栄養が作物のアミノ酸代謝におよぼす影響ならびに作物の硫黄栄養の診断法に関する研究, 農技研報告, B 29, 49~106 (1977)
- 5) 竹久邦彦・柴原藤善・小松茂雄: 滋賀県における農耕地壌の実態と変化, 滋賀農試研報, 40, 39~53 (1999)
- 6) Steinbergs, A., Iismaa, O. and Freney, J. R.: Determination of total sulphur in soil and plant material. *Ann. Chem. Acta*, 27, 158~164 (1962)
- 7) 佐藤郁生・山根一郎: 硫化水素生成における土壤有機物役割, 東北農研彙報, 11, 145~157 (1960)
- 8) 辻 藤吾: ポット条件下における火山灰土壌でのオチャードグラス・ラジノクローバの硫黄欠乏, 火山灰土草地の硫黄供給能に関する研究 (第 3 報), 草地試研報 34, 36~55 (1986)
- 9) 農林水産技術会議事務局編: 土壤環境の変化に起因する作不安定化要因の解明と対策技術の開発, 研究成果 234 p. 18~21 (1990)
- 10) 瀧島康夫: 水田特に泥炭質湿田土壌中における生育阻害物質の行動に関する研究, 農技研報告, B 13, 117~2 (1963)
- 11) Tanaka, F., Ono, S. and Hayasaka, T.: Identification and evaluation of toxicity of rice root elongation inhibitors in flooded soils with added wheat straw. *S. Sci. Plant Nutr.*, 36, 97~103 (1990)
- 12) 上木勝司・永井史朗 編著: 嫌気微生物学, p. 62, 66~(養賢堂, 東京 (1993))
- 13) 石塚喜明・田中 明: 水稻の栄養生理, p. 346~347, 賢堂, 東京 (1969)

**Studies on Causes and Measures for the Growth Disorders of Early Planting Rice  
in the Northern District of Shiga Prefecture (Part 3)**

**Transformation of Sulfur Compounds in Paddy Soils Causing  
Growth Disorders in Rice and Their Present Status in Soils**

Togo Tsuji

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

Sulfate transformation under submerged conditions was investigated by the incubation of submerged soils applied with granular and paste-like high analysis fertilizers. Secondly, soil samples collected from the fixed paddies for the soil fertility survey, both of farmers and experimental stations, were analysed for humus and sulfur.

The results obtained were as follows ;

1) Paste-like and granular fertilizers were applied in a layer and mixed in the whole layer respectively, followed by the extraction of soluble and available sulfur with appropriate extractants. As a result, both soluble and available sulfur decreased as the Eh of soils decreased, indicating appreciable amounts of sulfate were transformed to sulfide.

2) Five soils of fixed paddies in which the humus contents differed appreciably were selected to check the changes in available sulfur within 15 y. As a result, humus contents showed relative increases within 15 y, however, the content of available sulfur tended to decrease. The ratios of available to total sulfur significantly decreased within 15 y, indicating the influences of soil pH and/or farmers' practices of fertilizer selection upon the ratios.

3) Soil samples, especially of well-drained paddy in an experiment station, decreased the available sulfur within 20 y.

It can be concluded that the greater Eh is reduced in the soils, the higher level of sulfide formed, thus the rice plants will become deficient in sulfate due to the formation of unavailable iron sulfides. This will be much enhanced considering the recent trends of lower levels of available sulfur, which coincidentally inhibited the initial growth of rice in early planting cultivation in our district.

*Key words* available sulfur, granular fertilizer, paste-like fertilizer, soluble sulfur, sulfide sulfur

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 71, 472-479, 2000)