

水稻の硫黄欠乏による栄養障害と硫黄吸収特性*

辻 藤 吾**

キーワード 水稻の硫黄欠乏, 硫黄吸収特性, 全硫黄, 無機態硫黄, N/S 比

1. はじめに

前報¹⁾において、滋賀県北部地域に頻発する水稻の初期生育抑制障害は、早植、晩植にかかわらず土壌還元の発達による硫黄欠乏由来の栄養障害の可能性が大きいことを述べた。これは、被害田に硫酸根を施用すると4、5日で治ゆること、また、落水によって作土を酸化状態にするよりも障害が早く回復したことから、土壌中有効態硫黄の一時的な飢餓に起因することを推測した。

従来、農家水田で水稻の硫黄欠乏が広範囲に発生し、水稻の生育が抑制されたという報告はない。わずかに広島県農業試験場水田の無硫酸根区で硫黄のレスポンスを認めたものがあるに過ぎない²⁾。また、砂質水田での硫黄欠乏が指摘されていても³⁾、その具体的事例の報告は見当たらない。営農指導の段階で異常に気がついていても報告されなかったことを聞くこともある。

いずれも、わが国水田の秋落ち防止に対する無硫酸根肥料の徹底指導に加え、硫黄は灌漑水、降水からの天然供給があり、また、肥料の副成分として自動的に施用されるため水稻の硫黄欠乏も生じなかった。このため、養分としての硫黄に対する意識は薄かった。

反面、養分としての硫黄に対するこのような認識にもかかわらず、水稻の植物栄養学上の硫黄吸収・移動特性に関する既往の知見は多い。近年では、水耕栽培による硫黄欠乏は窒素欠乏と酷似し、外観上の識別が困難²⁾とされる。また、同じく水耕栽培によると、分けつ期で、最高収量に対する欠乏限界の全硫黄含有率は0.16%とされている⁴⁾。

しかしながら、資材や施肥技術の単一化、高度化に由

来すると考えられる栄養障害が現実にも営農段階で発生することは冒頭で述べたとおりである。そこで、本報では、水稻の硫黄含量の調査によって、これら障害発生に伴う硫黄の吸収特性を知ろうとした。前報¹⁾では、晩植栽培によって障害の機作を検討したが、本報での水稻の硫黄吸収特性の解析は、当管内で最も一般的な早植栽培水稻を対象とした。さらに、圃場レベルでの晩植、早植を含む水稻の硫黄欠乏限界の含有率についても明らかにしようとして、若干の知見を得たので報告する。

2. 調査方法

1) 水稻の硫黄および窒素の分析法

100 mL 容ニッケル製のつぼを用いて、風乾物で2.50 gを秤取し、無水炭酸ナトリウム、過酸化ナトリウムを混合、被覆するアルカリ熔融-重量法⁵⁾により、標準とする栄養生長期の水稻乾燥粉末試料の全硫黄(以下、T-Sと略記)を分析した。次に河野ら⁶⁾の方法に準じて15 mL 容磁製平底蒸発皿を用いて、風乾物で100~200 mgを秤取し、硝酸マグネシウム溶液で乾式灰化後、希塩酸浸出液についてイオンクロマトグラフィーで得た分析値と上述の重量法とを比較検討し、前者の方法で留意する点を確認のうえ、簡易迅速なイオンクロマトグラフィーによって一連の分析を行った。

植物体中の遊離の硫酸根(以下、SO₄-Sと略記)は河野ら⁶⁾の方法に準じ、一定量の乾燥粉末試料(100 mg)を水20 mLを用い室温で30分間浸出後、No.6ろ紙によるろ液についてイオンクロマトグラフィーによって分析した。

全窒素(以下、T-Nと略記)は常法どおり、ケルダール分解後、セミマイクロ蒸留によって定量した。

2) 晩植水稻の生育障害と硫黄・窒素含量

1996年、晩植水稻の障害再現試験で資材施用による障害対策を検討したが¹⁾、本報では障害回復に伴う硫黄および窒素含量を調査した。

3) 早植水稻の生育障害と硫黄・窒素含量

早植水稻の障害に対する資材の施用効果を1997年に

* 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2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.464~471(2000)

検討したが¹⁾、晩植栽培と同様に障害回復に伴う水稻の硫黄ならびに窒素含量を調査した。

また、1998年には著しい初期生育抑制障害を受けた現地農家水田で、硫酸マグネシウム(以下、硫マグと略記)施用による障害回復を実証した際の調査試料ならびに経済連による現地農家水田での代かき時における石膏施用効果実証試験から提供された試料について分析した。

これら現地農家では、1998年4月29日に滋賀羽二重糯の中苗にペースト肥料を側条施肥して移植した。経済連による試験では、同年5月1日にコシヒカリの中苗をペースト肥料によって側条施肥したもので、代かき時に予め石膏をha当たり300kg全層に施用した。試料は石膏の肥効が認められた石膏施用区および障害が発生した無施用区から提供を受けた。

なお、本報では前報¹⁾で用いた水稻品種のコシヒカリおよび2系統に加え、新たに早植用の2品種(滋賀羽二重糯および後述する日本晴)を追加している。これらの品種は当地でそれぞれ早生、晩生および中生であるが、本論文で問題とする生育抑制障害が早期移植後、30~40日の分けつ期間中、品種間差によらずほぼ同時期に発生することから、供試品種、系統に特にこだわらなかつた。

4) 早植水稻の硫黄吸収特性

1998年、場内の細粒グライ土で1筆600m²前後の近接する水田3筆を供試し、粒状の塩安系および硫安系の高度化成をそれぞれ全層施肥し、コシヒカリの乳苗および日本晴の中苗を移植後、水稻の生育期別の硫黄吸収特性を窒素吸収特性と比較検討した。なお、これら水田土壌は前報¹⁾で述べた圃場と同程度に地力中庸~上の性質を有したが、化学性は特に調べなかつた。

コシヒカリの乳苗は箱当たり乾籾で250gを5月6日に播種し、無窒素区110m²、塩安系高度化成(14-14-14)施用区および硫安系高度化成(14-14-14)施用区をそれぞれ1区230m²、単連制で設定し、基肥窒素としてha当たり30kgを施用して、5月20日に機械移植した。

日本晴の中苗は箱当たり乾籾で120gを4月20日に播種し、コシヒカリと同種肥料を用いて塩安系高度化成区、硫安系高度化成区をそれぞれ290m²の規模、2反復で設定した。基肥窒素はha当たり40kgを施用して、5月20日に機械移植した。

なお、コシヒカリ乳苗栽培水田の前歴は、湛水直播栽培を1995年から3年間連続して行ったため、種子のカルパー粉衣に由来する石膏が副次的に施用された圃場である。日本晴水田では、1994年のみカルパー粉衣種子

を播種した前歴がある。

5) 水稻の硫黄欠乏限界値

これまでの場内における晩植、早植栽培試験あるいは現地早植栽培水田で調査、採取した水稻の茎葉収量、硫黄含量および窒素含量から水稻の硫黄欠乏限界値を推定した。

早植では、1997年、1998年の場内試験および1998年現地調査から、また、晩植では1996年の場内試験から合計で3品種、1系統の標本を抽出した。

推定方法は、欠乏(障害発生)区および健全(障害なし)区について、障害が継続した時期あるいは障害が回復中の時点で、幼穂形成期までの試料について、欠乏区の茎葉収量を健全区の茎葉収量で除した値を相対乾物収量とし、これを欠乏区の硫黄含量あるいは窒素含量と硫黄含量との比率(N/S比)の対比によった。また、欠乏限界値は最大乾物重の50~55%の範囲とした。

3. 結果および考察

1) 植物体分析法

水稻茎葉中T-Sの分析結果を表1に示した。重量法が僅かに高く、また、イオンクロマトグラフィーの変動が僅かに高く定量されたが、両法の平均値の差を検定しても $t_0=0.513 < t(4, 0.05)=2.776$ であって、両法には有意な差がなかつた。イオンクロマトグラフィー法で留意する点は、硝酸マグネシウム液に浸潤した試料を最初ホットプレート上で蒸発乾固する際に、試料を炭化させないように徐々に加熱し、また電気マッフル炉内での熔融灰化時にも135°C h⁻¹程度の昇温率となるようにしたことである。灰化後の2mol L⁻¹塩酸による珪酸分離は、ホットプレート上で乾固後に水抽出し、No.5Cでろ過した。

2) 晩植水稻の生育障害と硫黄・窒素含量

1996年7月26日、生育障害が顕著であったペースト肥料および特に目立つ障害のない粒状肥料区から採取した茎葉と根についてT-S、SO₄-SおよびT-Nの分析結

表1 全硫黄含量の分析法による差異

	重量法	イオンクロマトグラフィー
n	5	5
x	0.186	0.184
sd	0.007	0.008
cv	3.8	4.3

全硫黄は5反復の平均値(x)を乾物当たり10⁻²kg kg⁻¹で、また、 $cv=sd/x \times 100$ で示す。

表 2 晩植水稻の生育障害と乾物重, 硫黄および窒素含量 (1996)

処理法	肥料	稲わら	茎葉の		T-S		SO ₄ -S		T-N	
			乾物重	茎葉	根	茎葉	根	茎葉	根	
粒状	-		59	0.15	0.11	0.005	0.046	2.99	1.37	
	+		46	0.15	0.12	0.016	0.041	2.81	1.68	
ペースト	-		28	0.13	0.07	0.009	0.020	2.89	1.75	
	+		19	0.12	0.10	0.054	0.026	2.84	1.51	

稲わら-は無施用, +は施用を, 乾物重は 10^{-3} kg m⁻² で, T-S, SO₄-S および T-N は 10^{-2} kg kg⁻¹ で示す。

果を乾物重と併せて表 2 に示した。

ペースト肥料区の茎葉中の T-S は 0.13% 以下を示し, 特に稲わら鋤込みによって 0.12% にまで低下した。根についても, ペースト肥料区の T-S が若干低い傾向もみられた。SO₄-S は, 茎葉ではペースト肥料区で増大する傾向があったものの, 根ではペースト肥料区で明らかに低かった。しかし, いずれも稲わら鋤込みによる影響は明らかでなかった。

茎葉の T-N は, 障害が発生せず, 稲わらを鋤込まなかった粒状肥料区で高く, 根の T-N は逆に低い傾向があったことを除いて明らかな差異は認められなかった。

上記試料を採取した 2 日後に, 前報¹⁾ で述べたように, 資材による対策試験を開始し, 障害回復が明らかとなった 8 月 6 日時点で各処理区から採取した茎葉について, T-S, SO₄-S および T-N を分析した結果を乾物重と併せて表 3 に示した。

障害を継続させた無処理区では, 7 月 27 日以降 T-S は茎葉および根ともに変化しなかったが, SO₄-S は茎葉で増加し, 根で減少した (表 2 のペースト, 稲わら施用区との対比)。

コロイド珪酸単用およびこれにマグネシウムあるいはマンガンを加用した区では, 茎葉の T-S は無処理区と大差なかったが, 根の T-S はコロイド珪酸単用区で増大する傾向もみられた。SO₄-S は茎葉で大きな変化がなかったが, 根では無処理区よりも増大した。

しかし, 最も大きな変化がみられた区は, 障害回復が顕著であった総合微量要素複合肥料 (以下, HiG と略記) 施用区であって, 茎葉, 根ともに T-S は明らかに増大し, 乾物重の増大も顕著であった。また, SO₄-S も著増し, 茎葉中 T-S の約 70% を占めていた。

一方, T-N をみると, 障害が継続した無処理区の茎葉では減少, 根では増大し, HiG 区の茎葉中の T-N が最も高く, 逆に根で最も低くなった。なお, HiG 区, 無処理区を除く他区の茎葉, 根では T-S と同様の増減

表 3 晩植水稻の資材による障害対策と乾物重, 硫黄および窒素含量 (1996)

対策処理法	茎葉の	T-S		SO ₄ -S		T-N	
		乾物重	茎葉	根	茎葉	根	茎葉
無処理	45	0.12	0.09	0.090	0.011	2.48	1.92
HiG	97	0.28	0.16	0.196	0.090	3.13	1.56
コロイド珪酸	41	0.13	0.14	0.085	0.018	2.55	1.97
コロイド珪酸+Mg	41	0.11	0.08	0.076	0.040	2.47	1.95
コロイド珪酸+Mn	51	0.11	0.07	0.079	0.052	2.36	1.81

対策処理は稲わら鋤込み, ペースト肥料区について行ったもので, 8 月 6 日採取試料についての調査結果を示す。乾物重は 10^{-3} kg m⁻² で, T-S, SO₄-S および T-N は 10^{-2} kg kg⁻¹ で示す。

表 4 早植水稻, 有機ペースト区の生育回復 (1997 年)

処理法	茎葉の	T-S		SO ₄ -S		T-N	
		乾物重	茎葉	根	茎葉	根	茎葉
硫マグ	56	0.35	0.14	0.180	0.076	3.06	1.49
落水	41	0.27	0.11	0.163	0.075	2.86	1.68

6 月 10 日処理, 6 月 17 日採取試料による調査結果を示す。乾物重は 10^{-3} kg m⁻² で, T-S, SO₄-S および T-N は 10^{-2} kg kg⁻¹ で示す。

を示した。

このように, 茎葉中硫黄含量の大幅な増大は, 短時日の間では無機態のまま貯留されており, 茎葉中の窒素含量の増大を伴った。反面, 茎葉へ窒素が移行せず, 根で高い含量を示したものは障害が回復できなかった区であった。従って, 本障害に対して, 植物養分的にも硫黄の関与が大きいことが示唆される。

3) 早植水稻の生育障害と硫黄・窒素含量

前報¹⁾ で述べたように, ペースト肥料の種類を変えた試験 (1997 年) で, 障害発生後の有機ペースト区を 6 月 10 日に硫マグ, HiG 施用ならびに落水処理とにそれぞれ分割したが, このうち, 硫マグ区および落水区から 6 月 17 日に試料を採取, 分析した結果を表 4 に示した。

試料採取時点では, 硫酸根の施用や落水処理によって既に生育が回復し始めていたことから, 茎葉中の T-S はいずれも高い値を示しており, 根の T-S も同様であった。また, 茎葉中の SO₄-S は, 両処理とも T-S の 50% 以上を占めていた。回復の早かった硫酸根施用区は茎葉の T-N を高くし, 逆に根の T-N を低くした。

一方, 1998 年 5 月末に著しい生育抑制障害を受けた現地農家の水田約 0.13 ha (細粒灰色低地土, 灰色系, 宝田統) で生育調査あるいは茎葉を採取して分析した結

表5 早植水稻の生育障害と回復に伴う乾物重, 硫黄および窒素含量 (1998年, 現地)

現地	調査月/日	障害程度	茎葉の乾物重	葉色	T-S 茎葉	SO ₄ -S 茎葉	T-N 茎葉
農家	6/2	甚	28	16	0.09	0.001	2.71
		やや良	69	26	0.11	0.004	2.38
	6/10	甚*	32	26	0.14	0.032	2.66
		甚から回復	60	36	0.40	0.236	3.55
	6/17	甚*	52	39	0.15	0.010	3.14
甚から回復		118	39	0.36	0.188	3.24	
		やや良	119	38	0.20	0.053	2.82
経済連	6/2	石膏なし	43	35	0.13	0.003	2.64
		石膏あり	79	41	0.16	0.007	3.15

硫マグによる障害回復は6月2日に甚の区域で実施, *印は同日より隣接の甚区域で落水を継続して調査したことを示す。やや良域も落水して調査した。乾物重は10⁻³ kg m⁻²で, T-S, SO₄-S および T-N は10⁻² kg kg⁻¹で示す。

果を表5に示した。

障害の著しかった6月2日時点でのT-Sは0.1%未満であり, やや良の株でも0.11%であった。6月2日に障害程度が甚であった区域150 m²について, 硫マグを現物で3 kg (ha 当たり200 kg) 施用したところ, 障害が甚であったため完全な回復には約7日を要した。回復が極めて明瞭となった硫マグ施用域と, 落水によって回復を図ったが, 障害を依然残していた区域から6月10日および6月17日にそれぞれ茎葉を採取, 分析したところ, 落水ではT-Sの増大が緩慢であったのに対して, 硫マグ施用ではT-Sは顕著に増大し, また, 乾物重も約倍量となった。しかし, 生育がほぼ回復した6月10日以降の葉色は余り増大しなかった。なお, 前述の圃場試験と同様に, SO₄-Sの増大も明らかで, T-S中50%以上を占めていた。

上記の試料についてT-Nを分析したところ, 6月2日時点の障害茎葉が若干高い値を示したが, 生育が回復するに従い増大し, 6月17日時点では大差がなくなった。

次に, 1998年, 現地で代かき時に石膏を施用して効果のあった経済連による実証圃から提供された試料について調査したものを同じく表5の下段に示した。

障害程度は上述の農家圃場に比べてやや軽度であったため, T-Sも0.13%と後述する欠乏限界に近似した。また, 代かき時から石膏を全層施用したことでSO₄-S含量は低かった。なお, T-Nは石膏施用区で明らかに高かった。

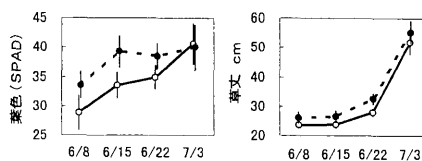


図1 葉色と草丈の推移 (日本晴)

○—塩安系, -●-硫安系, 月/日を示し, 縦棒は標準偏差を示す。

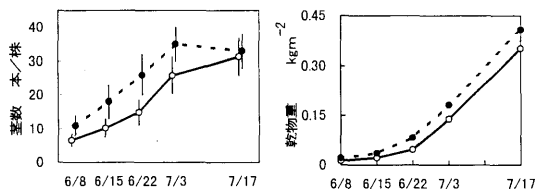


図2 茎数と乾物重の推移 (日本晴)

○—塩安系, -●-硫安系, 月/日を示し, 縦棒は標準偏差を示す。

4) 早植水稻の硫黄吸収特性

(1) 生育状況

コシヒカリの生育概況は, 移植後25日目の6月8日頃から無窒素区のみ草丈低く, 茎数も少なく推移したが, 硫安系区と塩安系区との差はなかった。以後, 幼穂形成期(7月17日), 穂揃期(8月12日)を経ても同様の生育を示し, 葉色にも差はみられなかった(データ略)。

一方, 日本晴の生育は図1, 2に示したが, 移植後14日目の6月3日頃から軽微な葉色差が観察され始め, 6月8日に至って硫安系区の葉色は塩安系区よりも明らかに濃く, また, 草丈も長かった。塩安系区の生育抑制は, これまで述べたペースト肥料施用田での障害と同一の症状を呈した。このような粒状肥料施用で硫黄欠乏と考えられる生育障害の発現は場内では初事例であった。

生育抑制障害は6月22日時点でも同様であったが, 6月24日に中間追肥を施用したところ, 塩安系区の葉色の回復が顕著となり, 7月3日時点では葉色差は消失した。しかし, 草丈, 茎数にはなお影響が残る傾向が認められ, 7月17日に及ぶと塩安系区と硫安系区の茎数の差はほとんどなくなったものの, 塩安系区の乾物重はなお劣っていた。7月27日(幼穂形成期)に全区一斉に穂肥を施用したが, 塩安系区の出穂は硫安系区に比べて2~3日遅延した。

次に, 供試両品種の成熟期の生育および収量を調査したところ, コシヒカリでは無窒素区が劣ったことを除い

表 6 成熟期の生育と収量 (早植水稻, 日本晴, 1998 年)

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	$\times 10^2 \text{ m}^{-2}$		
硫安系	78 \pm 2	19.5 \pm 0.8	19 \pm 3	790	619	0.78	515	(100)	55.7	214	95.7	22.9
塩安系	80 \pm 2	18.8 \pm 0.7	20 \pm 3	775	642	0.83	535	102	60.2	244	95.0	22.9

稈長, 穂長は cm, 穂数は株当たり本数を, 収量は 10 kg ha^{-1} で示す. また, \pm の値は標準偏差を示す.

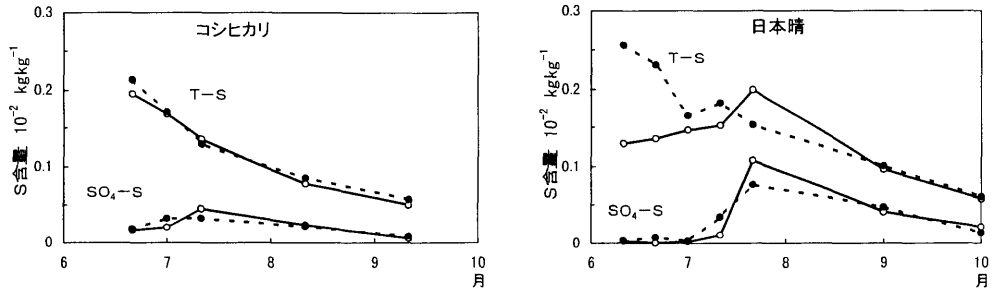


図 3 生育時期別硫黄含量
—○— 塩安系, —●— 硫安系を示す.

て差がなかった (データ略). 日本晴は硫黄欠乏によるとみられる初期生育抑制障害が塩安系区で発生し, 生育は劣ったが, 7月17日以降で回復したように, 生育中期の窒素栄養が良好になった結果, 穂数, 籾数とも多くなり, やや増収した (表 6). すなわち, 塩安系区では 6月末からの中干しによって土壌還元が緩和され, それまで肥効発現が不十分であった基肥に対して追肥窒素の肥効が上乘せされた形で発現し, 中期栄養を良好にした結果, 穂数, 籾数を増大させたものと考えられる.

コシヒカリでは生育抑制障害が生じず, 日本晴で顕著であった理由は, 品種, 苗質の相違よりも供試圃場の前歴によるものと考えられた. すなわち, コシヒカリの供試圃場は, 方法で述べたとおり, カルパー中に約 18% 含まれる石膏の連用による残効があって, 硫黄のレスポンスを弱めたものと思われ, 本試験供試前の 3 年間で ha 当たり 43 kg の石膏が施用されていたものと推定した.

(2) 水稻による硫黄および窒素吸収

上述のような生育経過のあった 2 品種について, 先ず生育時期別の硫黄含量を示したものが図 3 である. 図中, 8 月以降の穂揃期, 成熟期では部位別に含量および乾物重をそれぞれ調査し, 地上部全体の平均含量で示した.

コシヒカリの場合, 硫安系, 塩安系の T-S の差は少なくて, 生育の進展に伴って漸減した. これに対して, 日

本晴の塩安系区では, 生育障害が継続した 7 月始めまでに 0.13% から 0.15% に漸増し, 生育回復後に 0.2% まで急速に増大したあと, 硫安系区と同様に減少した. 既述の生育状況から判断して, T-S が 0.15% までは潜在性も含む欠乏域であったと考えられる.

同様に $\text{SO}_4\text{-S}$ 含量の推移について追肥前の 6 月中旬で比較すると, コシヒカリの $\text{SO}_4\text{-S}$ 含量は日本晴よりも明らかに高かった. それ以降, 追肥に由来する硫酸根の有無に関係なく幼穂形成期にかけて両品種とも $\text{SO}_4\text{-S}$ が顕著に増大する点特徴的であった. 中干しによる土壌の酸化条件が還元態の S^{2-} から SO_4^{2-} へと急速に変化させたことによるものと考えられる.

次に, 単位面積当たり硫黄吸収量の時期別推移を図 4 に示したが, 穂揃期, 成熟期の吸収量は含量と同様に地上部全体の値で示した.

一般に, 栄養生長から生殖成長への変換点として開花期を境にして養分の動きをみることが多いが, 本報では穂と稈が容易に分別でき, また, 開花期終了後の日数も浅い穂揃期を便宜上の採取時期としたが, 本研究の目的からは特に支障ないものと考えられる.

コシヒカリの場合, 幼穂形成期まで明らかな差はなかったが, 穂揃期をピークに硫安系で高い吸収量を示した. また, 日本晴は 7 月中旬まで小差であったが, 硫安系が終始高い吸収量を示し, 以後塩安系で高くなり, コシヒカリと同様に穂揃期にピークを示した.

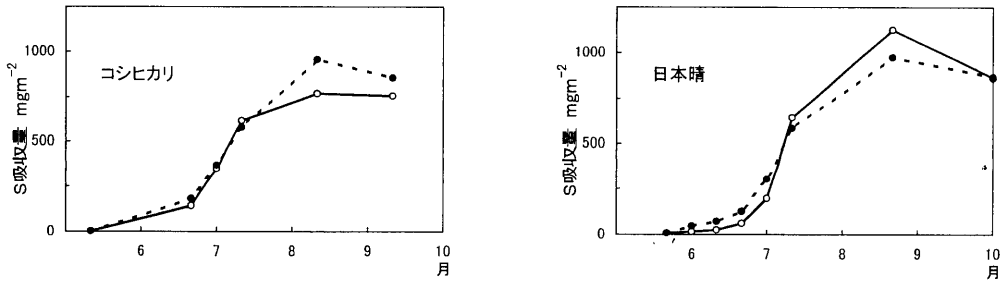


図4 生育時期別硫黄吸収量
—○— 塩安系, -●- 硫安系を示す。

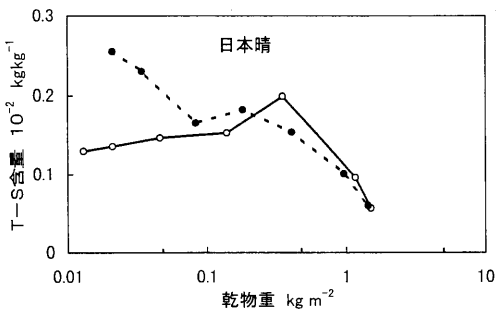


図5 地上部乾物重と硫黄含量の関係 (日本晴)
—○— 塩安系, -●- 硫安系を示す。

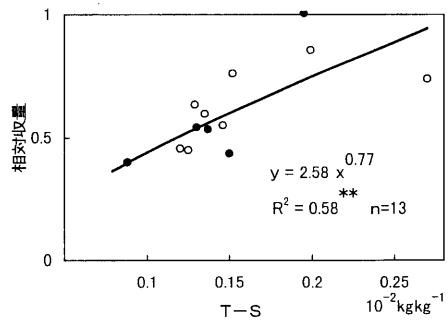


図6 茎葉相対収量とT-Sの関係
○場内 (1996~1998), ●現地 (1998). ** 1%水準で有意なことを示す。

なお、生育時期別の窒素吸収量は両品種とも硫黄とは同様の推移を示した (データ略)。

これまでの硫黄含量ならびに硫黄吸収量の推移をみただ中で、分けつ期間中の硫黄が生育障害と密接な関係にあった。そこで、障害が発生した日本晴について地上部乾物重と硫黄含量の関係をみたものが図5である。

地上部乾物重が m^2 当たり約 $0.15 kg$ までは障害の影響によって硫黄の吸収は緩慢であったが、これを越えると m^2 当たり約 $0.35 kg$ まで急速に増大した。この T-S の増大は、図3右でも示したとおり、最高分けつ期から幼穂形成期にかけて、いわゆるラグ期での SO_4-S の旺盛な吸収が寄与していたものと考えられる。

5) 水稻の硫黄欠乏限界値

方法で述べたとおり、品種および系統を特に分けず、3年間の晩植、早植水稻の茎葉試料を供し、相対収量と T-S および N/S 比との相関関係をみたものが図6、7である。

一般に養分の欠乏限界含有率は最高収量の 100~80% でプラトーになる変換点をさし、T-S の場合、それ以下

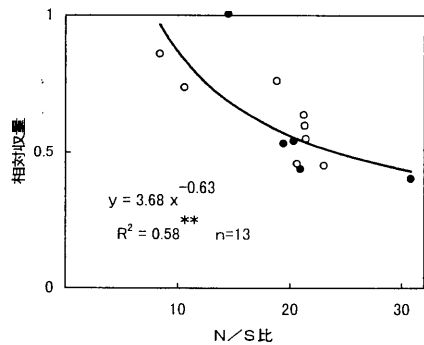


図7 茎葉相対収量とN/S比の関係
○場内 (1996~1998), ●現地 (1998). ** 1%水準で有意なことを示す。

では直線が、また、N/S比については負の指数関数が回帰として求められる。しかし、最高収量の 100~80% の間には処理の違いや実験誤差があって、限定せずにあ

る程度の許容範囲を持たすべきともされる⁷⁾。

方法で述べたとおり、相対収量 0.50~0.55 を欠乏限界とし、相対収量 0.8~1.0 のプラトー部も込みにした全標本について指数関数で求め、その有意性は両対数をとって 1 次式に変換後に検定したところ、T-S については直線に近似する相関式を得、N/S 比については曲線を得た。回帰式から、相対収量が 0.50~0.55 の時の T-S は 0.12~0.13% であって、水稻茎葉の硫黄欠乏限界値は 0.12% と推定された。

同様に、N/S 比の推定値は 25~21 であった。従って、T-S の欠乏限界値に対応する T-N は 3.0~2.7% と計算され、硫黄欠乏の水稻茎葉が含む窒素含量と推定した。

なお、近年では SO_4 -S には C 字型応答がみつけられている⁷⁾ のもの、本報では明瞭な曲線を示さなかった。

ところで、本研究で示した T-S 0.12% は Yoshida and Chaudhry⁴⁾ のいう限界硫黄濃度 (DC_{50}) 0.06% よりも高かった。また、本回帰中、最低値であった試料は、1998 年現地採取の滋賀羽二重糯が示した 0.09% であって、鈴木²⁾ の限界値 0.10% よりも低かった。本研究の場合、同一系内の試料でなく複年次におたり、また異なる土壌および品種、系統を用いての回帰であったため、必ずしも明瞭な限界値を得ることはできなかった。

しかしながら、生産現場で生育抑制障害が発生して生育が著しく遅延するため、生産者が問題視する程度と同一水準の茎葉を診断した結果の概数が上述のとおりであって、本障害に対する実用上の診断値になりうると思ふ。

現場での障害の症状は、前報¹⁾で述べたように、下位葉に発生が多かった。硫黄は窒素とともに移動性の高い要素であって上方に移動する。欠乏限界に近くなれば、下位葉からクロロシスを発生することとなり、これまでの記述からも明らかなおたり、本生育障害は硫黄欠乏によるものであるが、分げつ期の茎葉中の T-S が 0.12~0.13% であれば、その欠乏程度は激甚に至っていないものの、水稻は完全に硫黄に欠乏するといえよう。

4. 要 約

水稻の初期生育抑制障害の回復は、落水よりも硫酸マグネシウムのような硫酸根肥料の施用が卓効を示したことから、本障害は硫黄欠乏による栄養障害の可能性が高いことを既に指摘した。このため、障害を受けた水稻茎葉の硫黄を中心に化学分析し、水稻の硫黄吸収特性および欠乏限界を調査したところ、以下の結果を得た。

1) ベースト肥料の施用によって晩植水稻に障害が発生した茎葉中の T-S は乾物当たり 0.12% であった。これを硫酸根を多量に含む総合微量元素複合肥料によって回復させたところ、T-S は 0.28% にまで増大し、単位面積当たりの乾物重も顕著に増大した。

2) 早植水稻で、同様に障害を受けた現地農家水田に硫酸マグネシウムを施用したところ、T-S は 0.09% から 0.40% にまで増大し、落水して障害を回復させたものより約 2 倍の乾物重となった。

3) 塩安系の粒状肥料を基肥に全層施肥して早植栽培したところ、ベースト肥料と同様の生育障害が発生した。

硫黄欠乏による生育障害は分げつ期に発現し、茎葉中の T-S で 0.13% にまで減少した。しかし、落水によって回復する過程で、肥料の種類によらず、最高分げつ期から幼穂形成期にかけて無機態硫黄が特異的に多く吸収されたため、これが塩安系の硫黄欠乏の回復に寄与した。

4) 3 年間の晩植、早植栽培試験から採取した 3 品種および 1 系統の茎葉乾物重の相対収量から水稻の硫黄欠乏限界値を推定したところ、相対収量が 0.50~0.55 の時の T-S は 0.12~0.13% であった。また、同様に求めた T-N との比率、N/S 比は 25~21 であった。これらの値は、生育抑制を受けた障害株について求めたもので、水稻の硫黄欠乏による初期生育抑制障害に対する実用上の診断値になるものと考えられた。

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と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) 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 19, 49~106 (1977)
- 3) 高橋英一・吉野 実・前田正男：作物の要素欠乏・過剰症, p. 186~189, 農文協, 東京 (1980)
- 4) Yoshida, S. and Chaudhry, M. R.: Sulfur nutrition of rice. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25, 121~134 (1979)
- 5) 京都大学農学部農芸化学教室編：農芸化学実験書, 第 3 巻, p. 1058~1060, 産業図書, 東京 (1957)
- 6) 河野憲治・尾形昭逸・小林省吾：草類の硫黄欠乏症発現と植物体の硫黄含有率および土壌の硫黄供給可能量との関連, 土肥誌, 58, 343~349 (1987)
- 7) Yamaguchi, J.: Sulfur deficiency of rice plants in the lower Volta area, Ghana. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45, 367~383 (1999)

**Studies on Causes and Measures for the Growth Disorders of Early Planting Rice
in the Northern District of Shiga Prefecture (Part 2)**

**Nutritional Disorders by Sulfur Deficiency of Rice
and Its Characteristic Absorption by Plants**

Togo Tsuji

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

Sulfur absorption and critical contents of sulfur in disordered rice plants during their initial growth were investigated.

The results obtained were as follows ;

1) The total sulfur content of rice shoots which were inhibited at the time of late planting by the application of a paste-like fertilizer showed 0.12% in dry matter. When this growth was recovered by using the same fertilizer as that used by a farmer, sulfur content was raised to as high as 0.28% in dry matter, together with a remarkable increase in dry matter.

2) A similar response was observed for the early planting of rice in a farmer's paddy with enhanced increments of total sulfur, from 0.09 to 0.40% in dry matter, by the application of magnesium sulfate, the major component of the commercial fertilizer. Also, dry matter increments were twice as high as those recovered by the surface drainage.

3) Surprisingly, the yellow stunting of the initial growth disorders were found by the incorporation of a chloride fertilizer into the plow layer as a basal. Such nutritional disorders were restricted during the tillering stages and the total sulfur content of the shoots decreased to as low as 0.13% in dry matter.

However, the higher absorption of inorganic sulfate between the maximum tillering stage and young panicle formation period contributed greatly to the recovery of sulfur deficiency in the rice.

4) Total sulfur contents as well as N/S ratios were significantly correlated to the relative yields. These critical levels were 0.12 to 0.13% of total sulfur and 25 to 21 of N/S ratios when the relative yields were 50 to 55%. The levels were considered practical indices as far as the present growth disorders are concerned.

Key words critical N/S ratio, critical total sulfur contents, inorganic sulfate, sulfur deficiency in rice, sulfate absorption

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 71, 464-471, 2000)