

重鉍害田土壌の復旧作土としての利用

渡邊敏朗・豊田正友¹⁾

(鉍害試験地)

坑内水が流入した重鉍害田土壌は、坑内水由来の硫化物を含み酸性硫酸塩土壌になっている。このような重鉍害田土壌を復旧作土として有効利用するため、復旧時に作土へ混入する硫化物含有堆積物の混入割合や炭酸カルシウムによる中和処理が作物の生育や収量に及ぼす影響について検討した。①重鉍害田土壌を復旧作土として利用すると作土は強酸性化し、小麦の収量はほとんど皆無になった。しかし、中和することによって小麦の生育や収量は良好になった。②硫化物含有堆積物の混入は、作物の生育障害を助長させる反面、中和処理との併用によって作土の理化学性が改善され、作物の増収効果が認められた。③硫化物含有堆積物20%の混入は水稻に悪影響を及ぼすことなく、むしろ水稻の収量は堆積物が混入しない場合より増加した。

[キーワード：重鉍害田、酸性硫酸塩土壌、硫化物、水稻、小麦]

Application of Acid Sulfate Soil as Topsoil for Restoring Paddy Fields heavily damaged by Coal Mine. WATANABE Toshiro, Masatomo TOYODA. (Fukuoka Agricultural Research Center, Yoshiki, Chikushino, Fukuoka 818-8549 Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 17:27-31 (1998)

In order to apply acid sulfate soil, which resulted from water containing sulfide flowing from closed coal mine, as topsoil for restoring paddy fields heavily damaged by coal mine, we investigated the effects of the mixing ratio of sediment and neutralizing with the application of calcium carbonate on the growth and yield of crops. The results were as follows: (1) Sulfide was oxidized to sulfuric acid by the application of acid sulfate soil. Also, the plow layer was very acidified. The yield of wheat was very small. However the growth and yield of wheat increased with the neutralizing effect of calcium carbonate. (2) For mixing the sediment containing sulfide, the physico-chemical properties of the plow layer improved with the neutralizing and the crop yield increased. (3) No adverse effect on the rice was found though the sediment was mixed with 20%. Moreover, the rice yield increased as compared to not mixing.

[Key words: paddy fields heavily damaged by coal mine, acid sulfate soil, sulfide, rice, wheat]

緒 言

筑豊地域には未復旧の鉍害田が現在約800haあり、そのうちのおよそ3割は重鉍害田である。重鉍害田は、一般の鉍害田より石炭採掘による地盤沈下の程度が極めて大きく、これらの多くは降雨水や坑内水の流入などによって作土が水没している。このような重鉍害田では水稻の作付が不可能であるため長期間放置され、作土の上にヨシなど枯死植物体がへドロ状に堆積している¹⁰⁾。一般の鉍害田の復旧では従来の作土を繰り返して利用するが、重鉍害田の復旧では作土を繰り返さずにそのまま埋め立てることが多い。この際、作土として水田下層土や花こう岩質の未耕土のような肥沃度の低い土壌が利用され、復旧後に作物の生育や収量を維持することは困難になりやすい。復旧後作物の収量低下を防ぐには一般の鉍害田のようにできるだけ従来の作土を繰り返して利用することが望ましい。

一方、坑内水が流入した重鉍害田では、水酸化第二鉄の沈着によって赤褐色を呈した枯死植物体が堆積しており、これら堆積物や作土中には坑内水由来の硫化物が含まれ、酸性硫酸塩土壌になっている。このような重鉍害

田土壌を作土として繰り返すと硫化物の酸化によって硫酸が生成され強酸性化し、復旧後生育障害など作物への悪影響が懸念される。さらに、堆積物はへドロ状になっているため繰り返す際完全に除去することは不可能である。このため、作土へ混入した堆積物が作物の生育や収量に及ぼす影響も明らかにする必要がある。そこで、酸性硫酸塩土壌になった重鉍害田土壌を復旧作土として有効利用するため、復旧時に作土へ混入する堆積物の混入割合が作物の生育や収量に及ぼす影響を検討した。また、堆積物や作土中に含まれる硫化物は数年にわたり徐々に酸化されるので、硫化物の酸化をあらかじめ考慮して炭酸カルシウムで中和し、中和処理が作物の生育や収量に及ぼす影響についても検討したので、その概要を報告する。

試験方法

試験は、1993～1995年の3か年間、鉍害試験地（鞍手郡鞍手町中山）内の深さ65cm、1㎡コンクリート有底枠で行った。土壌の充填は、一般的な鉍害復旧工法に準じ、底から10cmの厚さに砂礫を敷いた後、花こう岩質未耕土を30cmの厚さで詰め十分に転圧し、その上に作土と

1) 前鉍害試験地

第1表 重鉍害田の作土、心土及び堆積物の理化学性

供試物	土性	pH(H ₂ O)	電気伝導率	水溶性硫酸イオン ¹⁾	H ₂ O ₂ 可溶性イオウ ¹⁾	易酸化性イオウ ²⁾
			μS/cm	mg/100g	mg/100g	mg/100g
作土	C.L	8.0	943	200	3981	3781
心土	C.L	8.5	435	76	837	761
堆積物	—	7.5	3450	3082	3644	562

1) 水溶性硫酸イオンは1:5浸出、H₂O₂可溶性イオウはH₂O₂処理後の硫酸イオン。
2) 易酸化性イオンは水溶性硫酸イオンからH₂O₂可溶性イオウを差し引いた値。

して重鉍害田土壌を20cmの厚さで詰めた。重鉍害田土壌は現地の重鉍害田(田川市伊田)から採取し、現地では作土と心土の境界が不明瞭になっているため復旧時の状況を想定して、作土と心土を当量混合し試験に供した(第1表)。

試験区の構成は第2表に示すとおり6区を設け、各区2反復とした。堆積物の作土への混入割合は0%、20%及び50%の3処理とし、混入方法は重鉍害田土壌を枠へ詰める際に容量割合で堆積物と重鉍害田土壌を混合した。土壌pHの調整は、酸性硫酸塩土壌の緩衝曲線法²⁾で行った。即ち、現地で採取した作土、心土及び堆積物のpHは7.5~8.5のアルカリ性であったが(第1表)、硫化物は数年にわたり徐々に酸化されるため、過酸化水素水で硫化物を十分に酸化させた後中和石灰量(pH6.0)を算出し、小麦作付前に炭酸カルシウムで中和した。但し、炭酸カルシウム施用量は堆積物の混入割合0%で10a当たり1.4t、20%で1.6t、50%で3.0tになったため、1993年と1994年はこれらの3分の1量を施用した。1995年はpH調整区の土壌pHが上昇したため常法による緩衝曲線法²⁾で再測定し、混入割合0%で10a当たり10kg、20%で85kg、50%で35kgの炭酸カルシウムを施用した。

作物は水稲2作、小麦3作の計5作を作付した。水稲は「ヒノヒカリ」を供試し、移植は1994年が6月17日、1995年が6月20日で、20日苗を用い1株4本植え、栽植密度は㎡当たり24株とした。施肥量は、10a当たり窒素成分で基肥6kg、第1回穂肥2kg、第2回穂肥1.5kgとした。小麦は「チクゴイズミ」を供試し、条間30cmの手播で、播種量は10a当たり7kgとした。施肥量は、10a当たり窒素成分で、基肥6kg、第1回追肥4kg、第2回追肥2kgとした。

土壌の理化学性及び作物体に関する分析は「地力保全測定診断の手引き」²⁾に従った。但し、水溶性硫酸イオンは1:5の水浸出法により浸出した硫酸イオンを、H₂O₂可溶性イオウは過酸化水素水で酸化、生成した硫酸イオンをZn-EDTAによる置換滴定法¹⁾で分析した。また、H₂O₂可溶性イオウから水溶性硫酸イオンを差し引いたものを易酸化性イオウとした。

結 果

1 水稲の生育及び収量

水稲の生育障害は、pH調整の有無にかかわらず堆積物

第2表 試験区の構成

試験区	処 理 内 容	
	堆積物混入割合(%) ¹⁾	土壌pH調整 ²⁾
0%pH無調整区	0	無
20%pH無調整区	20	無
50%pH無調整区	50	無
0%pH調整区	0	有
20%pH調整区	20	有
50%pH調整区	50	有

1) 堆積物の混入は容量割合。
2) 土壌pHは緩衝曲線法により炭酸カルシウムで中和。

の混入0%区及び20%区ともに認められなかった。しかし、50%pH無調整区は甚だしい生育障害が認められた。即ち、1994年は活着期に下葉が枯れ始め、分げつ開始期に全株枯死し、1995年は分げつ期頃から激しい下葉枯れの発生や生育むらが生じ始め、成熟期の落水時に全株枯死した。一方、50%pH調整区の生育障害は1994年、1995年とも軽いう下葉枯れや生育むら程度であった。また、50%pH調整区は1995年の調査で軽い倒伏が認められた。20%pH無調整区の茎数及び穂数は、1994年では0%pH無調整区よりわずかに少なかったが、1995年では逆に0%pH無調整区より優った。一方、pH調整区は1994年、1995年ともに堆積物の混入割合が高くなるほど、茎数や穂数が多くなった(第3表)。

水稲の収量は、50%pH無調整区で枯死したのを除いてpH調整の有無にかかわらず堆積物の混入割合が高いほど多くなった。また、収量構成要素の中で㎡当たり粉数の増加が玄米重の増加に結びついた。50%pH調整区は、㎡当たり粉数が39,600~40,300粒と多く試験区の中で最も高い収量をあげた。しかし、千粒重、登熟歩合、屑米重歩合及び検査等級は0%pH調整区や20%pH調整区より劣り、品質の低下が認められた。また、1994年の生育や収量がいずれの区も全般的に良好なのは、鉍害復旧後の乾土効果によるものと考えられる。pH調整の有無による比較では、pH調整区の収量はpH無調整区に比べて同等かやや劣り、pH調整による増収効果は認められなかった(第4表)。

2 小麦の生育及び収量

pH無調整区は堆積物の混入割合にかかわらずいずれも生育障害が認められ、苗立しても分げつせず、葉身の先

第3表 水稲の障害及び生育

試験区	障害の程度 ¹⁾			穂数(分げつ期)		穂数(成熟期)	
	下葉枯れ	生育むら	倒伏	1994	1995	1994	1995
				本/㎡	本/㎡	本/㎡	本/㎡
0%pH無調整区	0	0	0	777	555	622	362
20%pH無調整区	0	0	0	753	622	600	436
50%pH無調整区 ²⁾	5	5	枯死	枯死	555	枯死	枯死
0%pH調整区	0	0	0	626	533	433	326
20%pH調整区	0	0	0	727	566	544	388
50%pH調整区	2	2	1.5	798	599	655	493

1) 障害の程度は0(無)~5(甚)とし、下葉枯れ及び生育むらは1994年と1995年の平均値、倒伏は1995年に調査。
2) 50%pH無調整区は、1994年には生育初期に、1995年には成熟期に枯死。

第4表 水稻の収量構成要素、収量及び検査等級

試験区	㎡当たり穂数		千粒重		登熟歩合		屑米重歩合		玄米重		検査等級 ¹⁾	
	1994	1995	1994	1995	1994	1995	1994	1995	1994	1995	1994	1995
	×100粒	×100粒	g	g	%	%	%	%	kg/10a	kg/10a		
0%pH無調整区	358	250	21.0	22.3	80	82	8.5	6.7	590	459	2.5	1.0
20%pH無調整区	357	329	20.8	22.4	87	80	6.5	7.4	620	586	2.5	2.0
50%pH無調整区 ²⁾	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死	枯死
0%pH調整区	292	250	21.8	23.0	84	80	4.5	5.7	536	457	3.0	1.0
20%pH調整区	339	299	21.7	22.5	83	80	4.8	4.3	612	540	3.0	2.0
50%pH調整区	396	403	20.5	21.9	81	73	5.5	6.4	669	646	4.0	3.0

1) 検査等級は、1 (1等上) ~ 9 (3等下) の9段階。

2) 50%pH無調整区は、生育障害の発生により枯死。

端から暗褐色となり全葉に及んだ後枯死し、枯死株の割合は50%以上に及んだ。このため、収穫期の稈長は18~33cm程度で、㎡当たり穂数もpH調整区の33~52%と少なく、収量はほとんど皆無になった。一方、pH調整区は生育障害の発生が全く認められなかった。pH調整区の稈長や㎡当たり穂数において処理間の差は判然としなかったが、50%pH調整区の生育は過繁茂になり、1995年の調査では水稻同様やや倒伏が認められた。子実重は、第1作小麦では堆積物の混入割合が高いほど少なかったが、その後は逆に堆積物の混入割合が高いほど多くなった。特に、50%pH調整区は極めて多収であった(第5表)。

3 跡地土壌の理化学性

土壌pHは、第2作の水稻跡地までいずれの区も3.3~4.7の強酸性になった。1994年に2回目の炭酸カルシウムを施用した後、pH調整区はpH6.0~6.5の水田土壌の適正域まで上昇し、その後強酸性化しなかった。しかし、pH無調整区は試験期間中pH4前後のまま推移した(第1図)。水溶性硫酸イオン含量は、第1作の小麦跡地には50%区で乾土100g当たり727~1401mg、0%及び20%区で100~239mg存在し、その後年々減少する傾向を示した(第2図)。電気伝導率は、水溶性硫酸イオン含量の推移とほぼ同じパターンを示し、水溶性硫酸イオン含量の減少に伴って低下した。また、50%pH無調整区と50%pH調整区の電気伝導率は、1993年の小麦跡地で1.81~2.01mS/cm、1994年水稻跡地でも1.09~2.52mS/cmと極めて高かった。

1995年の水稻跡地土壌の理化学性では、堆積物の混入割合が高いほど仮比重の低下や粗孔隙率の増大がみられ、作土の物理性が改善された。可給態窒素含量や水稻の窒素吸収量も同様に増加し、堆積物の混入割合が高いほど土壌中の窒素供給量の増大が認められた。特に、50%pH調整区の水稲の窒素吸収量は10a当たり14.2kgと高い値になった。H₂O₂可溶性イオン含量は硫酸イオンとして0%区で乾土100g当たり140~170mg、20%区で232~265mg、50%区で388~547mg残存し、堆積物の混入割合が高いほど残存量は増加した。また、易酸化性イオン含量は、pH調整区ではいずれの区も100mg前後なのに対し、pH無調整区は154~316mgで、将来硫化物の酸化による土壌への影響はpH無調整区の方が大きいと考えられる(第6表)。

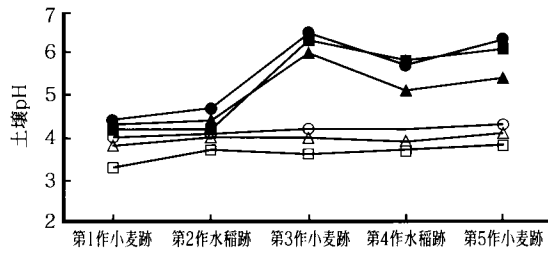
第5表 小麦の生育及び収量

試験区	障害の程度 ¹⁾		稈長			㎡当たり穂数			子実重		
	枯死	倒伏	1993	1994	1995	1993	1994	1995	1993	1994	1995
			cm	cm	cm	本	本	本	kg/10a	kg/10a	kg/10a
0%pH無調整区	5	0	33	-	25	129	-	186	12	21	48
20%pH無調整区	5	0	26	-	18	144	-	206	9	31	41
50%pH無調整区	5	0	枯死	-	22	枯死	-	222	枯死	23	54
0%pH調整区	0	0	74	82	70	392	393	398	503	550	507
20%pH調整区	0	0	72	82	75	306	369	411	416	598	640
50%pH調整区	0	1.0	71	81	79	357	410	429	399	718	738

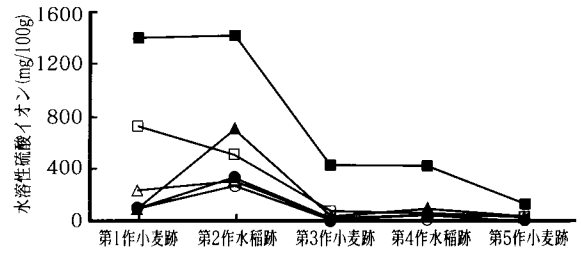
1) 枯死株は枯死株の割合について0(0%)~5(50%以上)として1993~1995年の3年間の平均値、倒伏は0(無)~5(甚)とし、1995年に調査。

考 察

酸性硫酸塩土壌は、集積した硫化物の酸化によって硫酸が生成し強酸性になる土壌で、干拓地⁶⁾に多くみられる。他にも新第三系堆積岩⁸⁾や熱水変成安山岩⁹⁾を由来とした酸性硫酸塩土壌について詳細な報告がある。本県の鉍害復旧田においても、河川水や海水に含まれる硫酸塩の還元により底土に生成、集積された硫化物が復旧工事によって地表にもたらされ土壌が酸性化した事例¹⁾がみられる。本試験の場合、坑内水に含まれる硫酸イオンが地上に湧出後重鉍害田に流入し、還元により生成した硫化物が重鉍害田土壌やその上の堆積物に蓄積することに由来する。現地から搬入した重鉍害田土壌の作土や堆積物のpHはアルカリ性であったが、枠への充填作業や第1作小麦作付中に硫化物が酸化し、第1作小麦跡地の土壌pHはいずれの区も3.3~4.4の強酸性になった(第1図)。このことは、現地において重鉍害田土壌を繰り返す際に土壌がかく乱されて硫化物が酸化し強酸性になることを示唆している。村上⁶⁾によると、埋め立てが完了した干拓地において干拓後4年間石灰を施用しないと土壌pHは2.9~3.5で推移し、その間栽培した大豆、カンショ、小麦、イタリアンライグラス、ラジノクローバは全て生育しなかった。本試験でも、pH無調整区の小麦の収量はほとんど皆無になり、改良対策なしに小麦の栽培は不可能である(第5表)。福永¹⁾は小麦の収量をあげるには土壌pHを6以上にすることがあるが、水稻に対しては4.5程度になれば十分な収量をあげることができると述べている。0%pH無調整区や20%pH無調整区では、水稻跡地の土壌pHは3.9~4.3で推移したが、試験期間中水稻の生育障害は認められなかった(第3表)。しか



第1図 跡地土壌のpHの推移
 ○ 0%pH無調整区 ● 0%pH調整区
 △ 20%pH無調整区 ▲ 20%pH調整区
 □ 50%pH無調整区 ■ 50%pH調整区



第2図 跡地土壌の水溶性硫酸イオンの推移
 ○ 0%pH無調整区 ● 0%pH調整区
 △ 20%pH無調整区 ▲ 20%pH調整区
 □ 50%pH無調整区 ■ 50%pH調整区

し、潜在的な酸性障害の可能性が十分に考えられるとともに跡地土壌には易酸化性イオンが多く残存することから、重鉍害田土壌を作土として繰り返して利用する場合たとえ水稲の作付だけでも改良対策は不可欠と考えられる。

酸性硫酸塩土壌の改良には、酸化が十分完了した後中和する方法と、数年にわたる酸化をあらかじめ考慮して中和する方法がある。前者の方法は酸化が完了するまである程度の期間を要するため、現地の状況や臨時石灰鉍害復旧法などを考慮して本試験では後者の方法によった。炭酸カルシウム施用によって土壌pHは水田土壌の適正域まで上昇し、小麦の生育や収量は良好になった。水稲に対しても、pH調整によって増収効果は認められなかったものの大きく劣ることなく、良好な収量が期待できる(第4表)。酸性硫酸塩土壌になった重鉍害田は硫化物の含有量など土壌条件がそれぞれ異なるため、改良する土壌ごとに酸性硫酸塩土壌の緩衝曲線法²⁾によって中和石灰量を算出し、中和石灰量が多量になる場合は数回に分施することが望ましい。また、復旧後も土壌pHには十分留意する必要がある。福永¹⁾によると強酸性土壌に対し石灰施用量が増加するほど小麦は増収するが水稲の収量は小麦と反比例しており、本試験と同様に石灰施用による水稲の増収効果は認められていない。その要因について本試験でも明らかにすることはできず、今後の問題点であろう。

重鉍害田土壌に蓄積した堆積物は、硫化物を含むとともに水酸化第二鉄の沈着によって赤褐色を呈し、ヘドロ状になっている。重鉍害田土壌を作土として繰り返す際にこの様な堆積物を完全に除去することは困難で復旧時

に堆積物が作土へ混入する。そこで、重鉍害田土壌を作土として繰り返す際に作土へ混入した堆積物が作物の生育や収量に及ぼす影響を明らかにした。この堆積物は、電気伝導率や水溶性硫酸イオン含量が高く(第1表)、堆積物の混入割合が高いほど跡地土壌の土壌pHは低下し、水溶性硫酸イオン含量は高くなる傾向であった(第1, 2図)。このため、1993年小麦ではpH調整区でさえ堆積物の混入割合が高いほど減収した。また、1994年の水稲ではpH無調整区の生育は堆積物の混入割合が高いほど低下し、50%pH無調整区は生育初期から全株枯死した。酸性障害の原因として一般的に考えられるのは、酸性に基づくH⁺そのものの障害よりも、強酸性下において土壌から溶出するAl³⁺やMn²⁺による間接的な障害である。山根⁹⁾は、熱水変成安山岩中の硫化物の酸化による水稲の生育障害について、被害の発生が早くしかも枯死する場合は直接的な酸性障害も考えられると指摘した。本試験において、水稲や小麦は堆積物の混入割合が高くなるほど間接的な障害だけでなく直接的な酸性障害を受け、特に50%混入すると酸性障害に加え高塩類濃度による生育障害も考えられる。このように、堆積物の混入は作物の生育障害を助長することが明らかになった。一方、生育障害によって枯死した50%pH無調整区の水稲とpH無調整区の小麦を除いた場合、水稲や小麦の収量は堆積物の混入割合が高いほど多くなった。これは、堆積物の混入によって土壌中の窒素供給量の増加や作土の物理性が改善したためと考えられ、堆積物の混入は堆きゅう肥など有機質資材の施用と同様な効果が期待できる。しかし、堆積物50%の混入は、pH無調整区の場合水稲でも生育障害の発生がみられ、pH調整区では作物の生育が過繁茂

第6表 水稲跡地土壌の理化学性及び水稲の窒素吸収量 (1995年)

試験区	仮比重	粗孔隙率	可給態窒素	水溶性硫酸イオン	H ₂ O ₂ 可溶性イオン	易酸化性イオン	窒素吸収量	
							最高分げつ期	成熟期 ¹⁾
		%	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	kg/10a	kg/10a
0%pH無調整区	1.23	4.8	3.0	16	170	154	3.73	7.18
20%pH無調整区	1.13	8.2	6.2	58	265	207	5.68	10.56
50%pH無調整区	0.98	12.2	12.1	72	388	316	7.32	枯死
0%pH調整区	1.21	5.6	5.9	49	140	91	4.08	8.13
20%pH調整区	1.12	6.7	6.6	103	232	129	4.48	9.40
50%pH調整区	0.91	14.6	11.1	434	547	113	6.20	14.26

1) 成熟期の窒素吸収量はわらと籾の合計量。

となって軽い倒伏や水稲の品質低下が認められた。‘ヒノヒカリ’を倒伏させず安定多収を得るため、真鍋ら⁴⁾は生育・収量目標を、角重ら³⁾はそれを達成するための窒素吸収量の指標値を策定した。50% pH調整区の㎡当たり籾数は目標30,000~32,000粒⁴⁾に対し40,000粒前後、成熟期の窒素吸収量は10 a当たり指標値12kg³⁾に対し14kgなどこれら値を上回った。また、尾形ら⁷⁾は、‘チクゴイズミ’は‘ニシカゼコムギ’より耐倒伏性が弱いことやうどんこ病にも弱いため、極端な多肥栽培を避けるよう指摘した。これらのことから、堆積物50%の混入は作物や土壌に及ぼす影響から判断して不適当であると考えられる。

以上のことから、重鉍害田土壌を復旧作土として利用すると作土は強酸性化し、小麦の収量はほとんど皆無になった。しかし、硫化物の酸化をあらかじめ考慮して中和すると小麦でも良好な生育や収量を得ることができた。また、堆積物の混入は作物の生育障害を助長させる反面、中和処理との併用によって作土の理化学性が改善され、作物の増収効果が認められた。その混入割合として、20%の混入は水稲に悪影響を及ぼすことなく、むしろ水稲の収量は堆積物が混入しない場合より増加した。

引用文献

- 1) 福永良一(1962)北九州における鉍害地水田土壌の改良に関する研究. 福岡農試特別報告 **17**: 35-36.
- 2) 福岡県農政部(1988)地力保全測定診断の手引き.
- 3) 角重和浩・山本富三・井上恵子・田中浩平(1993)ヒノヒカリの窒素栄養診断(第1報)ヒノヒカリの窒素吸収量と生育・収量との関係. 福岡農総試研報 **A-12**: 15-18.
- 4) 真鍋尚義・田中浩平・福島裕助(1990)水稲品種ヒノヒカリの栽培法. 福岡農総試研報 **A-10**: 5-10.
- 5) 村上英行(1967)中海, 宍道湖地域における酸性硫酸塩土壌の分布とその特性. 土肥誌 **38(4)**: 112-116.
- 6) 村上英行(1968)可酸化イオウの酸化に伴う土壌無機成分の変化. 土肥誌 **39(4)**: 194-198.
- 7) 尾形武文・住吉強・比良松道一・松尾太・原田皓二(1995)小麦の新しい準奨励品種‘チクゴイズミ’の福岡県における適応性. 福岡農総試研報 **14**: 22-25.
- 8) 佐々木信夫(1977)新第三系強酸性硫酸塩土壌に関する研究. 岩手農試研報 **20**: 23-54.
- 9) 山根忠昭(1984)水稲の生育障害原因となる熱水変成安山岩中の硫化物. 土肥誌 **55(2)**: 146-150.
- 10) 渡邊敏朗・豊田正友(1996)福岡県筑豊地域における重鉍害田の実態. 九農研 **58**: 72.