

島根県のマンガン過剰水田に発生する水稻の黄化症状 (第2報) 収量への影響と対策

野 田 滋*

Growth Inhibition with Yellowing of Rice Plant on the Manganese Excessive Paddy Fields in Shimane Prefecture, Japan. (No 2) Influence of Yield and Possible Countermeasure

Shigeru Noda*

I 緒 言

島根県金城町では、圃場整備後の水田で、水稻の葉が黄化する生育不良現象（以下、黄化症と記す）が認められた。黄化症は生育初期に発現して、下位葉から黄化し始め、分けつが抑制され、生育が不良になるものである。この黄化症状は石見銀山下流域で古くから‘しおまち’と呼ばれる生育不良現象と非常に類似していた。前報（野田, 2007）では、金城町で発生した黄化症について、障害の特徴と発生要因を検討して、葉の黄化が過剰な二価マンガンや二価鉄の生成による鉄過剰に起因して発現すると推察した。福井県のマンガン過剰水田でも初期に葉が黄化する生育不良現象が報告されている（寺島, 1973）。黄化症状は生育初期に発現し、障害が重度の場合を除き、徐々に回復して葉も緑色になり、生育中期から後半にかけて目立たなくなるが、収量的に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。本研究では、この黄化症状の発現が水稻収量に及ぼす影響と対策を検討したので報告する。また、県内で実施した概況調査（1972~'79）や土壌環境基礎調査（1992~'96）による水田土壌の重金属濃度の調査結果から、金城町及び石見銀山下流域水田はともにマンガン濃度が高い特徴が認められた。勝見（1986）

は福井県のマンガン過剰水田で、土壌中のマンガン含量が多くなるほど玄米収量の低下を認め、収穫時のマンガン過剰吸収が減収要因であると推察している。マンガンは水稻に対する毒性が弱い部類に属し、過剰害は栄養生長期よりも生殖生長期に出やすいことも知られている（茅野, 1967）。そこで金城町の水田について、水稻収穫時におけるマンガン過剰の影響についても検討したので報告する。

本調査を実施するに当たり、旧浜田農業改良普及センター（現浜田農林振興センター）農業改良普及員青戸貞夫氏及び福田光芳氏には調査に多大な協力を頂いた。厚く感謝の意を表す。

II 材料及び方法

1. 黄化症と水稻収量

1992年の移植後1か月頃の分けつ期に、黄化症が発現した圃場を、地域別に3圃場（品種；コシヒカリ）選定した。また、比較のため、過去に黄化症の発生が見られない圃場も1圃場（品種；コシヒカリ）選定した。発現圃場では障害が大きい部分と障害がみられない部分で、生育量の測定を行うとともに、後の収穫に備えて目印を設定した。障害程度の評価としては、黄化し生育量が小さい順に障害の程度を「大」「中」「小」の3段階に区分し、黄化症状もなく

*技術普及部 農業環境グループ

障害がみられない株を「小」とした。なお、黄化が全葉に及び、黄化程度の激しい株は「激甚」、過去に黄化症の発生のない圃場の株を「無」として区別した。以後、特に明記しないかぎりは、この基準に従って評価した。収穫時、各圃場内で目印を中心に部分刈り (3.3m²) を行い、障害程度別の水稻収量を比較した。

さらに、1995年に金城町の全域から19圃場を選定し、黄化と収量との関係について検討した。各圃場では、黄化症による障害発現の有無と障害程度を判別した。なお、障害発現田では発現場所を調査地点とした。また、本調査年は黄化症による障害程度が例年に比べて軽く、生育量による障害程度が最も大きい圃場でも中程度と判定されたことから、障害程度を生育量や黄化の程度によって「中」「小」「微」「無」の4段階に細分した。したがって、「小」や「微」は前述の区分における「小」とは異なり、同一圃場内で障害のみられない株よりやや生育量が小さく、「小」は「微」に比べて黄化程度が大きい株、そして「無」は黄化症の認められない圃場の株とした。

収穫期に調査地点の土壌と調査地点を中心に周辺の水稲を20株採取した。土壌は易還元性マンガン、水稻については収量調査と茎葉のマンガン及び鉄濃度の測定を行った。

2. 落水による障害改善効果

1992年6月22日の移植後1か月の分けつ期に、黄化症が最も激しい圃場を選定し、障害程度が大きい株から障害がみられない株まで十数株採取して丁寧に洗浄後、地上部と根部に分け、地上部は乾物重を測定した。根部では軽く濾紙で水分を拭き取り、直ちに2g秤取して、 α -ナフチルアミン酸化量を測定 (作物分析法委員会編, 1975) して根の活性を調べた。試料採取後、圃場は障害が最も激しい部分と障害程度が大きい部分及び外観上障害がみられない部分をそれぞれ「激甚」「大」「小」の3段階に区分して目印を設置後、落水処理を行った。

7月12日に、目印を中心にそれぞれ数株ずつ採取し、同様に地上部と根部に分けた。根部では直ちに10g秤取して、O₂-アップテスター (大洋科学工業社製) による呼吸能の測定を行い、落水後の根の活性を調査した。培養条件は25℃、

培養液は脱塩水で、1時間当たりの酸素吸収量を測定した。また、地上部は葉身部の窒素、リン、カリウム、カルシウム、マンガン、鉄含量の測定を行い、落水処理後の無機成分濃度の変動を調査した。

3. マンガン過剰が水稻収量に及ぼす影響

1995年の収穫期に、黄化症発現履歴のある金城町全域の水田の中から4圃場を選定し、水稻を採取して葉身部を分別後、それぞれマンガン、鉄濃度を測定し、既往のマンガン過剰水稻と比較した。

一方、黄化症が発現した1圃場内で、収穫期に10か所で部分刈り (3.3m²) 調査を行い、刈り取り中央部で作土を採取した。水稻は茎葉のマンガン及び鉄濃度を測定し、収量及び収量構成要素の調査を行った。土壌は収穫時の易還元性マンガンの測定に供した。

III 結 果

1. 黄化症と水稻収量

生育初期に発生する黄化症は、同一の圃場内でも障害程度が大きく異なることが多い (野田, 2005)。同一圃場内における障害程度が収量に及ぼす影響を表1に示した。障害程度が大きく生育の抑制された部分では、穂数が少なく、障害が激しい場合には極端に減少した。また、収量も障害が軽い部分に比べて10~15%減収した。障害が軽い部分では、対照とした障害無発現圃場に比べて、収量がやや劣ったが、一部に上回る圃場も認められた。

黄化症が収量に与える影響について、さらに調査圃場を増やし、圃場ごとに検討して表2に示した。黄化症による障害程度は年度によって異なるが、調査年は障害が最も大きかった圃場でも、障害程度は「中」で例年に比べて軽度であった。障害程度が比較的大きい圃場では、穂数が少なく、もみ重、玄米重ともに低下する傾向が認められたが、一部、生育後半に回復して障害無発現圃場並の収量が得られた圃場もあった。障害が軽い圃場では、収量は障害無発現圃場と大きな差異はなかったが、収量にバラツキが認められた。

一方、土壌の易還元性マンガンとの関係をみ

ると、マンガン濃度の高い圃場で黄化症の発現が多く、収量は低いものの、濃度と収量との関係については判然としなかった。また、障害のない圃場でも全般にマンガン濃度は高く、収量にもややバラツキが認められた。

他方、茎葉中のマンガン濃度は黄化症が発現した圃場の多くで1,000ppmを超えたが、マンガン濃度と収量との関係は明確ではなかった。

しかし、黄化症発現時に葉中に異常蓄積して障害の要因と推察した鉄についてみると、収穫時の茎葉中の鉄濃度は全般に低く、障害との関

連も認められなくなり、茎葉濃度と収量との間にもほとんど関係が認められなかった。

2. 落水による障害改善効果

黄化症発現時における根の α -ナフチルアミン酸化量を図1に示した。根の α -ナフチルアミン酸化量は地上部乾物重と高い正の相関があり、生育量の小さい水稻ほど根の酸化量が少なく、黄化症による障害程度が大きい株ほど根活性が低下していることが明らかになった。

落水処理20日後の根活性と葉中の無機成分濃度を、落水前の障害程度別に表3に示した。落

表1 同一圃場内における黄化症による障害程度と収量

圃場番号	水稻品種名	分けつ期		*) 収穫期	
		障害程度	乾物重 (g/株)	穂数 (本/株)	精玄米重 (kg/a)
1	コシヒカリ	大	0.5	20.0	44.3
		小	2.2	24.5	51.0
2	コシヒカリ	大	0.8	16.5	41.5
		小	4.4	25.5	45.7
3	コシヒカリ	激甚	0.4	4.8	5.0
		中	12.9	22.5	39.7
4	コシヒカリ	無	4.9	33.0	50.4

注) *) 浜田農業改良普及所（現浜田農林振興センター）調査

分けつ期調査月日：1992.6.22（番号1, 2, 4）, 7.12（番号3）。調査株数：5～10

表2 黄化症による障害程度が水稻収量に及ぼす影響

圃場番号	障害程度	収穫時作土	収量調査（20株当たり）				収穫時茎葉濃度	
		易還元性Mn (ppm)	穂数 (本)	わら重 (g)	精もみ重 (g)	精玄米重 (g)	Mn (ppm)	Fe (ppm)
1	中	1,350	241	284	265	208	1,080	89
2	中	1,210	301	220	319	245	2,250	284
3	中	588	416	401	423	335	1,200	51
4	中	387	333	507	647	530	1,920	89
5	小	1,280	364	405	441	339	3,940	227
6	小	312	287	387	458	364	902	80
7	小	292	300	387	525	422	1,120	112
8	微	780	380	653	764	615	1,040	233
9	微	665	433	470	590	476	1,330	278
10	微	513	438	664	922	746	1,140	287
11	微	391	309	456	564	444	1,860	111
12	微	387	391	603	714	583	1,800	238
13	微	165	254	328	548	444	1,480	228
14	無	235	364	554	613	483	536	149
15	無	214	484	735	882	701	454	142
16	無	200	329	477	539	427	530	134
17	無	225	483	692	855	672	758	128
18	無	203	445	518	622	507	1,790	86
19	無	163	327	527	779	635	1,190	138

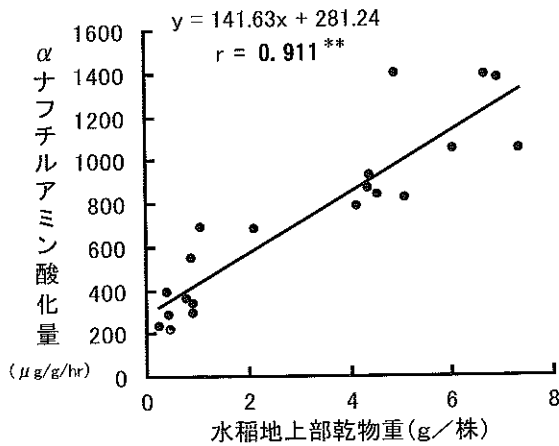


図1 黄化発現時の水稻根の活性と生育量の関係
注) ** 5%水準で有意.
調査時期: 移植後1か月頃の分けつ期

水後はいずれも葉色が緑色に回復し、落水前の障害が大きかった株は障害のみられなかった株に比べて濃緑色となった。O₂-アップテスターで測定した酸素吸収量は、障害程度「大」で落水前の障害が大きかった株が「小」の障害のみられなかった株に比べて多くなり、落水によって根の呼吸能は回復し、酸素吸収量の増大が認められた。また、根の形状をみると、二段根による新根の発生は酸素吸収量の多い株ほど多く見られた。しかし、「激甚」の障害が激しかった株については、落水後も回復は遅く、「小」

の6割程度の酸素吸収量であった。

一方、落水後の葉身中の無機成分濃度をみると、落水前に障害が大きかった株で酸素吸収量の増加に応じて、窒素などの3要素成分が高くなり、逆に鉄やマンガンは減少して障害のみられない株に近い数値になった。しかし、障害の激しい株については、窒素濃度が障害のみられない株に近い数値になったものの、他の成分は黄化症発現時の体内成分の特徴を維持し、リン、カリウム濃度が低く、逆に鉄、マンガン濃度が顕著に高く、カルシウム濃度も高かった。

3. マンガン過剰が水稻収量に及ぼす影響

現地水稻の成熟期葉身の部位別マンガン濃度を表4に示した。葉身中のマンガン濃度は全般に高かった。止葉で比較すると、寺島(1973)は福井県のマンガン過剰水田で、0.2%をマンガン過剰水稻としているが、調査したいずれの圃場もこれよりも高かった。一方、鉄濃度については最下位葉で高かったものの、他は一般水田と変わらなかった。

そこで、マンガン過剰が収穫期の水稻に与える影響をみるため、同一圃場内で10か所の部分刈り調査を行い、土壌や茎葉のマンガン濃度と水稻収量との関係を、表5に示した。収穫時の土壌の易還元性マンガン濃度は、同一の圃場内

表3 落水処理後の水稻の根活性と生育量及び無機成分濃度

1) 落水処理20日後の呼吸能

障害程度	酸素吸収量		比率
	(O ₂ ml/g/hr)	平均	
激甚	0.34	0.34	58
大-1	0.69 0.62	0.66	112
大-2	0.79 0.99	0.88	149
小	0.50 0.67	0.59	100

2) 落水処理20日後の生育量及び無機成分濃度

障害程度	生育調査			葉身中無機成分濃度					
	草丈 (cm)	茎数 (本)	乾物重 (g/株)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
激甚	29.0	3	0.3	1.66	0.10	1.00	0.60	1,720	3,200
大-1	46.3	8	1.9	2.41	0.15	1.50	0.48	340	1,200
大-2	57.5	15	3.5	3.01	0.22	2.00	0.32	260	1,100
小	76.0	28	20.3	1.64	0.25	2.05	0.38	190	1,100

注) 調査月日: 1992年7月12日

でも場所によって大きく異なり、濃度が高い部分で収量が低く、穂数や登熟もみ数も減少する傾向が認められた。また、茎葉中のマンガン濃度も土壤中濃度の高いところで高くなった。茎葉中のマンガン濃度ともみ収量の関係を図2に示した。茎葉中のマンガン濃度は、もみ重との間に明瞭な関係が認められ、濃度が高い所で収

量の低下が認められ、茎葉濃度がおよそ2,100 ppmを超えると急激に低下した。また、登熟もみ数においても同様に減少した。登熟歩合については、土壌や茎葉のマンガン濃度と一定の関係を認めなかったが、全般に低い数値であった。

一方、茎葉中の鉄濃度と収量との間には明らかな関係が認められなかった。

IV 考 察

黄化症は栄養生長期である分けつ期に発生し、分けつが抑制されて生育が不良になることから、収穫期には穂数が減り、減収につながる。また、障害が軽度の場合でも、生育は遅延する。したがって、分けつ数の確保や生育遅延対策が必要になる。しかし、一筆の圃場で障害程度に偏りがみられることから、通常、障害のみられない株に合わせて管理を行っているのが実際である。したがって、黄化症の発生規模や発現後の管理

表4 収穫時水稻における葉身の部位別マンガ
ン及び鉄濃度

圃場 番号	葉身部位	Mn	Fe
		(%)	(%)
1	上位1(止葉)	0.480	0.016
	〳 2	0.430	0.014
	〳 3	0.370	0.018
	〳 4	0.410	0.044
	〳 5	0.650	0.360
2	上位1(止葉)	0.360	0.010
	〳 2	0.370	0.016
	〳 3	0.340	0.022
	〳 4	0.430	0.410
	〳 5	0.430	0.100
3	上位1(止葉)	0.200	0.010
	〳 2	0.190	0.012
	〳 3	0.200	0.014
	〳 4	0.230	0.024
	〳 5	0.250	0.124
4	上位1(止葉)	0.340	0.008
	〳 2	0.310	0.010
	〳 3	0.340	0.012
	〳 4	0.390	0.022
	〳 5	0.340	0.260

注) 水稻品種：コシヒカリ

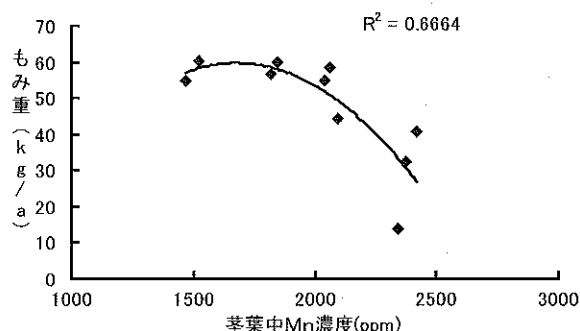


図2 同一水田における収穫期の茎葉中マンガ
ン濃度と収量

表5 同一圃場内における土壌及び稲体マンガ
ン濃度が収量と収量構成要素に及ぼす影響

地点 番号	土壌	茎葉濃度		収量調査			収量構成要素					
	易還元 性Mn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	わら重 (kg/a)	精もみ 重 (kg/a)	精玄米 重 (kg/a)	穂数 (本/m ²)	一穂 もみ数	m ² 当たりもみ数 総数 (×100)	登熟数 (×100)	登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)
1	1,450	2,420	275	37.2	40.5	29.9	373	67.2	251	150	59.9	19.9
2	1,180	2,370	422	23.5	32.1	25.9	244	64.0	156	123	79.0	21.0
3	1,160	2,340	344	12.0	13.7	10.6	111	46.7	52	51	98.4	20.7
4	965	2,090	489	31.2	44.3	36.1	271	75.7	205	164	79.9	22.0
5	851	2,040	362	47.5	54.6	43.3	425	82.4	350	208	59.5	20.8
6	726	1,820	253	55.2	56.4	44.5	499	82.4	411	218	53.0	20.4
7	519	1,520	585	60.2	60.2	48.2	411	77.6	319	246	77.0	19.6
8	447	1,470	665	43.0	54.8	44.2	391	82.2	322	205	63.9	21.5
9	377	2,060	371	57.4	58.5	46.5	489	63.9	313	240	76.8	19.4
10	332	1,850	365	63.9	59.7	47.2	548	70.2	384	236	61.4	20.0

注) 水稻品種：コシヒカリ

方法によって収量は大きく異なる。障害程度の比較的大きい年度に一筆の圃場内で水稻収量を比較すると、障害の大きい部分では、障害が見られない部分に比べて、穂数が少なく、10~15%減収が認められた。また、障害の激しい圃場では穂数が極端に少なく収穫皆無の圃場もあり、黄化症による穂数減が減収の主因となった。一方、障害程度が比較的軽いと、穂数は黄化症がみられない圃場と大差なかったが、発現後の管理方法の違いによると考えられる収量差が大きかった。黄化症による収量低下を防止するためには、黄化症状を早期に回復させて障害がみられない状態に戻すこと、また、障害程度が大きい場合は減収の主因となる穂数を十分確保する対策が必要である。

黄化症が発現する機作として、障害水田では湛水による土壌Ehの低下に伴い過剰なマンガン濃度の上昇と、続いて起こる鉄濃度の上昇によって根の生理活性が低下し、鉄排除能が阻害されて鉄過剰症になり、根の養分吸収が阻害されて黄化徴候を呈していると前報(野田, 2007)で推察した。

水稻は他作物に比べて高鉄濃度に対する適応性が著しく高い特異性を有する。これは根の酸化能、すなわち根から酸素を出し有害な二価鉄を難溶性の酸化鉄に変えて鉄の根への侵入を低下させるからだと考えられている。但野(1976)は根が過剰な鉄の侵入を防ぐために、呼吸によって生産されたエネルギーを用いて積極的に鉄を排除する、すなわち鉄排除能があることを報告している。また、この鉄排除能は生育初期が最も弱く、呼吸を阻害する物質の存在や50ppmを超える高濃度の二価鉄でも低下したと報告している。前報(野田, 2007)で30ppmを超える過剰な二価マンガンの存在で、水稻根の呼吸能が大きく阻害されることを報告した。したがって、黄化症状発現時に高濃度に存在する二価マンガンを速やかに除去する必要がある。

そこで、黄化症発現圃場において、落水による根の生理活性の回復効果を検討した。黄化発現時は、障害程度が大きく生育量の小さい水稻ほど根活性が低く、根の生理活性の低下が明らかに認められた。落水処理すると、障害が激し

かった株を除き、障害を受けた株は障害がみられなかった株に比べて根活性が高くなり、酸素吸収量に応じて窒素、リン、カリウムの三要素成分が高くなり、逆にマンガンを鉄は低く、障害がみられなかった株に近くなった。

これらの結果から、落水処理は、土壌溶液中の過剰なマンガンを速やかに除き、酸化させて難溶化し、発生源となる土壌からの溶出を抑え、根の生理活性を回復させる効果があったと考えられる。

落水処理する場合、黄化症水稻は生育がどうしても遅れるので、早期に回復させて通常管理に戻すためには、早期の落水処理が肝要となる。黄化葉の発現を見たら、直ちに田面に小さな亀裂が入る程度に干し、葉が緑色に回復したら水を入れるようにする。

一方、本地域の水田は、土壌のマンガン濃度が既報(寺島, 1972; 勝見, 1986)のマンガン過剰水田並に高いことから、水稻は栄養生長期に発生する黄化症のみならず、成熟期の収量においても何らかのマンガン過剰の影響を受けていると考えられる。そこで、成熟期の葉身中マンガンを既報(寺島, 1973)のマンガン過剰水稻と比較した結果、同様なマンガンの異常蓄積が明らかになった。収穫期における茎葉中マンガンの生育阻害濃度は、水耕及び土耕試験で1,000ppm(石塚ら, 1961)や3,000~4,000ppm(鎌田ら, 1979)とする報告があり、福井県のマンガン過剰田では収量に影響する濃度として1,500ppmを報告(勝見, 1986)している。このように気象、土壌及び管理条件によって、マンガン過剰の限界レベルは異なる。したがって、本地域で障害が見られた収穫時の茎葉濃度は、900~4,000ppmと一応既往の生育阻害レベルの範ちゅうに入るが、圃場別に比較すると、生育条件による違いから茎葉濃度と収量との関係は判然としなかった。

そこで、生育条件の同じ一筆の圃場内で、収穫時に土壌と水稻を採取して、生殖生長期のマンガン過剰害について検討した。全般的に、茎葉のマンガンを濃度が高く、低収であったが、茎葉濃度と収量間に関係が認められ、およそ2,100ppmを超えると減収した。茅野(1967)はマンガンをによる水稻の過剰害が生殖生長期にでやす

く、下位葉のマンガンの異常蓄積による早期枯死で、葉面積が低下し、一穂穎花数や登熟歩合が減少して減収することを報告している。調査圃場は黄化症の障害程度の大きい圃場であったことから、穂数減による収量低下が大きくなったが、全般に登熟歩合が低く、茎葉中のマンガン濃度の高い所で一穂もみ数も少なく、成熟水稻へのマンガン過剰の影響は明らかであった。一方、福井県のマンガン過剰田では減収の要因として、茎葉中のマンガン濃度の上昇による千粒重の低下を指摘（勝見，1986）しているが、玄米千粒重は全般に軽いものの、茎葉マンガン濃度との間に明らかな関係は認められなかった。

勝見（1986）は、水稻の生育後半のマンガン吸収量は湛水条件よりも落水条件で多くなることから、生育後半において早期に落水すると、茎葉中のマンガン濃度が高くなり減収の要因となると指摘している。また、マンガン過剰田で落水の時期を、幼穂形成期以降、出穂期以降及び乳熟期以降の3段階にすると、水稻収量は落水の時期が遅いほど減収割合が小さくなり、茎葉中のマンガン濃度も低下し、特に幼穂形成期以降に落水すると、湛水条件に比べて約20%減収したと報告している。本地域においても、生育後半のマンガン過剰の影響が明らかであることから、マンガン吸収を抑えるために早期の落水は避け、できるだけ湛水して乳熟期以降落水するなど適正な水管理が望まれる。

V 摘 要

1. 生育初期に発生する黄化症は、障害程度が大きい場合、収穫時に穂数が減少して減収の主因となった。
2. 障害程度が比較的軽い場合、黄化症の収量に及ぼす直接的な影響は小さくなるが、水稻生育は遅延する。そのため発現後の管理差によって収量にバラツキが認められた。
3. 黄化症水稻の根活性は、障害程度に応じて低下したが、落水処理で回復し、旺盛な養分吸収が認められた。
4. 成熟期水稻はマンガン過剰症であり、一穂もみ数や登熟もみ数が少なく、登熟歩合も低かった。
5. 一筆の圃場内では、土壌や茎葉のマンガン濃度と収量との間に関係が認められ、濃度の高い所で減収した。
6. 黄化症対策としては、発現初期の落水が効果的であり、黄化葉の発現を見たら、田面に亀裂が入る程度に乾かし、葉が緑色に回復したら入水する。
7. 成熟期のマンガン過剰軽減対策としては、生育後半の早期の落水は避け、乳熟期以降に落水するなど、適正な水管理によって過剰なマンガン吸収を抑える必要がある。

引 用 文 献

- 茅野充男（1967）重金属元素の植物に対する害作用特に重金属誘導鉄クロロシスの発生機構に関する研究。炭大農学術報告15, 105-164.
- 石塚喜明・田中 明・藤田 収（1961）水稻の要素代謝に関する研究（第6報）培養液中の鉄、マンガン及び銅濃度の水稻生育ならびに要素含有率に及ぼす影響。土肥誌32, 97-100
- 鎌田賢一・土岐和夫（1979）たん水土壤中のマンガンの動向と水稻生育（第1報）マンガンの硫酸塩ならびに塩化物添加が土壌成分と水稻の生育に及ぼす影響。土肥誌50, 487-493
- 勝見 太（1986）マンガン過剰が水稻の生育収量に及ぼす影響。福井農試報23, 41-65.
- 作物分析法委員会編（1975）栽培植物分析測定法。養賢堂, 531-533.
- 野田 滋（2007）島根県のマンガン過剰水田に発生する水稻の黄化症状（第1報）症状と発生要因。島根農試研報37.
- 但野利秋（1976）水稻の鉄過剰障害対策に関する作物栄養学的研究。北大農邦文紀要10巻 第1号, 22-68.
- 寺島利夫（1973）マンガン過剰水田に関する研究。福井農試特報5, 1-86.

Summary

Influence of yield and possible countermeasure on the yellow stunting of the initial growth disorder were investigated on the manganese excessive paddy fields, in the Kanagi District. Secondly manganese toxicity of on-the-spot rice plants at the reproductive growth stage was investigated. The results obtained are summarized as follows:

1. The yellow stunting of the initial growth disorders, in the case of large degree of damage, were brought about the yield reduction which was reduced by the decrease of number of ears.
2. In the case of small degree of damage, this disorders were brought about the yield reduction which was induced by delayed growing.
3. The drainage of residual water when initial symptoms was appeared, made sufficient effect to improve growth inhibition with yellowing of rice plants in the early stage of growth.
4. On the spot rice plants were manganese toxicity at the reproductive growth stage and the yield reduction was brought about by the decrease of the number of grains per head and percentage of ripened grain.
5. Method of preventing manganese toxicity which is brought about excess manganese up take in rice plant at the reproductive growth stage, is not early drained flooded water in paddy field up to at least milk ripe stage.