

# 水稻のモリブデン過剰障害 (第2報) 過剰害の防止対策

高見 有一\*・野田 滋\*・山根 忠昭\*\*・故山路 健\*\*

## Molybdenum Toxicity in Rice Plant

### 2. Countermeasures of Growth Damage of Rice Plant due to Excess Molybdenum

Yuichi TAKAMI, Shigeru NODA, Tadaaki YAMANE  
and Tsuyoshi YAMAJI

#### 目 次

I 緒 言 .....	41	1. 硫酸第一鉄, イオウ華及び石膏の効果 .....	42
II モリブデンの土壌からの溶出と水稻による吸収 .....	41	2. 水稻幼植物に対する硫酸第二鉄と消石灰添加 .....	45
1. 土壌中モリブデンの溶解性とpHとの関係 .....	41	3. 硫酸第二鉄の効果 .....	45
2. モリブデン過剰培地における硫酸根レベル, pHと水稻の生育, モリブデン吸収との関係 .....	42	IV 考 察 .....	47
III 資材施用によるモリブデン過剰害の防止対策 .....	42	V 摘 要 .....	48
		引用文献 .....	48
		Summary .....	49

#### I 緒 言

前報<sup>5)</sup>では、島根県横田町の小馬木鉦山下流の水田で、水稻が生育不良となり葉身の黄化する現象が発生し、これがモリブデンの過剰障害であることを明らかにした。植物のモリブデン過剰害の防止対策に関する報告は世界的にも少なく、牛のモリブデン中毒の原因となるモリブデン含量の高い牧草生産防止について、アメリカで報告<sup>1)</sup>されている程度である。一方、モリブデンの欠乏に関する報告は野菜を中心に多数あり、欠乏の発生しやすい条件、その対策についてもかなりのことが知られており、過剰対策を行う場合の参考にな

る。

本報では、水稻のモリブデン過剰害を防止するために行った現地試験の結果を中心に、補足的に行ったポット試験と室内実験の結果を併せて報告する。

#### II モリブデンの土壌からの溶出と水稻による吸収

##### 1. 土壌中モリブデンの溶解性とpHとの関係

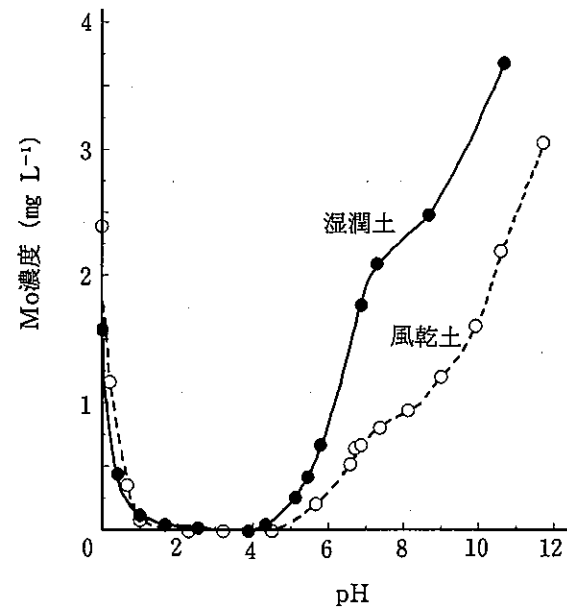
水稻のモリブデン過剰害は土壌pHによって大きく異なるので、モリブデンの溶解性とpHとの関係を室内実験によって検討した。

1) 材料及び実験方法

供試土壌は現地のモリブデン汚染土壌 (Mo321mg kg<sup>-1</sup>) の風乾土と風乾土を湛水状態として30°Cで2週間培養したもの (以下湿潤土) を用いた。抽出液は塩酸または水酸化ナトリウムの濃度を変えてpHの異なるものを調製した。容量250mlのポリエチレンびんに乾土として10g相当の土壌を採り、各抽出液100mlを加え、30°Cで1時間振とう後、12,000rpmで20分間遠心分離した。上澄液をろ過し、ろ液のpHをガラス電極法で測定するとともに、ろ液を硝酸分解後モリブデンの分析<sup>5)</sup>を行った。

2) 実験結果

第1図にろ液のpHとモリブデン濃度との関係を示した。モリブデンの濃度は風乾土、湿潤土ともにpHが1.0~4.5で最低となり、この範囲を超えると急激に上昇した。湿潤土ではpHが5.0以上で風乾土より濃度が高かった。



第1図 ろ液のpHとモリブデン濃度

2. モリブデン過剰培地における硫酸根レベル、pHと水稻の生育、モリブデン吸収との関係

モリブデンは土壤溶液中ではモリブデン酸イオンとして存在し、pH5.0以上ではMoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が優勢であるといわれている<sup>1)</sup>。一方、硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)は同じ2価の陰イオンであることから、水稻のモリブデン吸収に対して競争的に働くことが予想されるため、その効果を水耕法で検討した。

1) 材料及び実験方法

実験は1/5,000aワグネルポット (深型、スチロール樹脂製) を使用し、3連制で行った。基本培養液は木村B液のMgSO<sub>4</sub>をMgCl<sub>2</sub>に変更したのを用い、予め水耕法で育苗した水稻品種'日本晴'の2葉期の苗を、1980年6月16日にポット当たり8本ずつ移植した。7月1日に培養液中のモリブデン濃度が8mg L<sup>-1</sup>になるようにモリブデン酸ナトリウム (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O) で調整し、第1表に示したような内容で硫酸根とpHの処理を開始した。処理開始後、10、20、35、50日目にそれぞれ2株ずつ抜き取り、乾物重を測定しモリブデンの分析を行った。培養液の更新は、処理前は5日毎に、処理後は2~4日毎に行なった。

第1表 因子と水準

因子	水準1	水準2	備考
S (mg/ポット)	50	500	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 使用
pH	4	6	HCl使用

2) 実験結果

水稻地上部のモリブデン濃度と乾物重の経時変化を第2図に示した。

培養液のpHが6の場合は比較的順調な生育経過をたどったが、pH4の場合は20日目頃から生育、特に分けつが発生が抑制され、下位葉がわずかに黄化した。また、50日目には黄化部分は枯死して目立たなくなったが、乾物重はpH6の場合の半分以下であった。しかし、硫酸根が多いと障害程度は比較的軽く、50日目の乾物重は硫酸根の少ないものより3割近く増加した。このような傾向は地上部、根部とも同様であった。

地上部のモリブデン濃度は、いずれの硫酸根レベルにおいてもpHが低い場合に高かった。一方、同レベルのpHの場合、硫酸根が多いと地上部のモリブデン吸収が抑制された。

III 資材施用によるモリブデン過剰害の防止対策

1. 硫酸第一鉄、イオウ華及び石膏の効果

前節の実験から、モリブデンの過剰害を防止するには、硫酸根を含む資材や硫酸根を生成する資材の施用が有効であることが示唆された。このことを現地で検討するために、硫酸第一鉄、イオウ華及び石膏の施用

第2表 供試土壌の性質

試験地	土性	pH	CEC (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	Mo (mg kg <sup>-1</sup> )
第1圃場	L	5.6	19.1	602
第2圃場	L	5.2	16.5	131
第3圃場	L	5.7	11.4	200

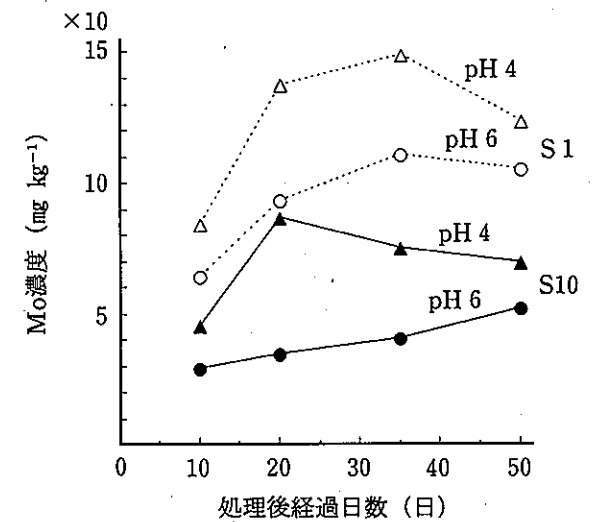
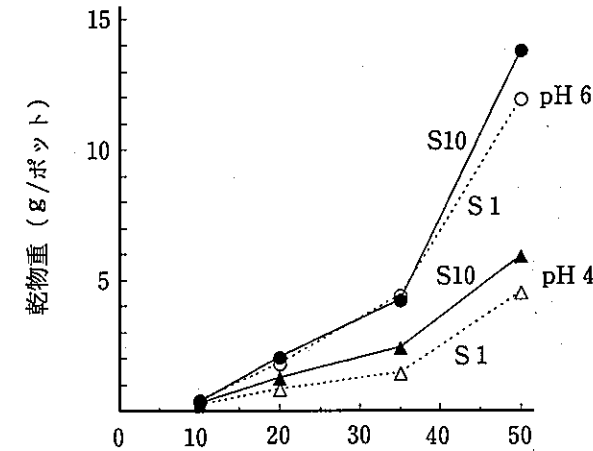
第3表 試験区の処理内容

試験地	区名	処理内容
第1及び	対照	無処理
第2圃場	硫酸第一鉄	硫酸第一鉄 1.0kg m <sup>-2</sup> 炭酸カルシウム 0.3kg m <sup>-2</sup> *
	イオウ華	イオウ華 0.1kg m <sup>-2</sup>
	石膏	硫酸カルシウムをSとして 0.1kg m <sup>-2</sup>
第3圃場	対照	無処理
	石膏	硫酸カルシウムをSとして 0.1kg m <sup>-2</sup>
	石膏半量	硫酸カルシウムをSとして 0.05kg m <sup>-2</sup>

注) \*硫酸第一鉄の80%を中和するのに必要な量

第4表 施肥量 (g m<sup>-2</sup>)

試験地	年次	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
第1圃場	1977	6.3	11.0	7.8
	1978	4.1	9.3	4.8
	1979	6.0	8.0	7.0
第2圃場	1977	4.4	11.0	5.4
	1978	5.4	10.6	6.5
第3圃場	1979	6.0	8.0	7.0



第2図 水稻地上部のモリブデン濃度と乾物重の経時変化

S1: 硫酸根をSとして 50mg/ポット添加  
S10: 硫酸根をSとして500mg/ポット添加

試験を行った。

1) 材料及び試験方法

(1) 供試圃場の土壌の性質

島根県仁多郡横田町小馬木地区で、モリブデンに汚染された3圃場を選定した。各試験圃場の土壌は第1圃場が中粗粒灰色低地土・灰色系 (加茂統)、第2圃場と第3圃場が中粗粒強グライ土 (琴浜統) であり、土壌の性質は第2表に示すとおりである。試験は汚染の著しい水口部付近に1m<sup>2</sup>の木枠を埋め込み2連制で行った。

(2) 試験区と処理内容

試験区の処理内容を第3表に示した。いずれの圃場でも初年目に田植が終わってから木枠を埋め込み、いったん植え付けた苗を抜いて資材を施用した。その直後に苗を植え直したため、硫酸第一鉄区では枯死株

が多く1週間後に再び植え替えた。各資材はいずれも初年目のみに施用し、2年目以降は残効を検討した。

(3) 栽培管理と施肥

供試品種は第1圃場の初年目は'トドロキワセ'を、第2圃場の初年目は'北陸79号'を、それ以外は'チドリ'を用いた。移植時期は5月18日または5月20日でほぼ同じであったが、収穫期は9月10日~10月6日で品種や年次により変動があった。各年次の施肥量は第4表に示すとおりで、基肥には塩加リン安 (12-18-14) と重焼リンを、追肥にはNK化成 (16-0-20) を施用した。

2) 試験結果

(1) 第1圃場

第5表に3年間の試験結果をまとめて示した。

初年目は、対照区の生育は徐々に不良になり、移植1か月後には黄化葉が発生し、低収となった。しかし、硫酸第一鉄区とイオウ華区では黄化葉が認められず、生育は良好で、対照区に比べ著しく増収した。また、これらの資材の施用によって茎葉のモリブデン濃度も明らかに低下した。

2年目の対照区では、黄化葉の発生は認められたものの、前年に比べて生育障害は軽く、茎葉のモリブデン濃度も半分以下に低下したため、各資材の施用効果は相対的に前年より低くなった。黄化葉の発生は硫酸第一鉄区と石膏区でもわずかに認められたが、イオウ華区では認められなかった。資材施用区の水稲のモリブデン吸収は対照区に比べて少なく、生育は良好で

第5表 水稲の生育、収量及び茎葉中Mo濃度と跡地土壌のpH (第1圃場)

年次	区名	分けつ期*			収穫期			わら重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ 百分比	茎葉中 Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	跡地土壌 pH
		草丈 (cm)	茎数 (本/株)	黄化の程度	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)					
1977	対照	41.5	12.4	++~+++	103.6	17.0	12.0	30.3	37.4	100	828	5.6
	硫酸第一鉄	40.2	13.0	-	101.9	17.2	14.5	52.4	65.8	176	169	5.7
	イオウ華	44.2	22.7	-	100.6	17.2	17.4	53.5	68.9	184	358	5.1
1978	対照	53.6	9.4	++	84.6	20.5	13.6	40.4	61.0	100	357	5.8
	硫酸第一鉄	56.0	8.5	+	89.5	21.1	12.7	42.2	65.1	107	288	5.7
	イオウ華	53.7	9.1	-	89.3	20.1	11.0	47.9	67.9	111	136	5.0
	石膏	60.3	9.6	+	91.2	20.5	11.6	49.4	77.3	127	286	5.8
1979	対照	33.2	6.7	++	81.4	19.1	7.4	24.0	41.2	100	481	5.9
	硫酸第一鉄	34.8	11.3	±	82.3	18.3	11.3	32.0	51.5	125	184	5.6
	イオウ華	35.5	11.6	-	77.5	17.7	11.4	42.0	55.3	134	24	4.9
	石膏	36.4	13.6	-	85.6	17.8	13.9	44.5	63.0	153	198	6.0

注) \*調査日: 1977年6月28日, 1978年7月5日, 1979年6月21日

第6表 水稲の生育、収量及び茎葉中Mo濃度と跡地土壌のpH (第2圃場)

年次	区名	分けつ期*			収穫期			わら重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ 百分比	茎葉中 Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	跡地土壌 pH
		草丈 (cm)	茎数 (本/株)	黄化の程度	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)					
1977	対照	34.8	9.9	±	78.4	19.6	16.4	47.0	66.2	100	197	5.2
	硫酸第一鉄	30.4	5.9	±	78.0	17.1	14.1	44.5	47.9	72	29	5.0
	イオウ華	32.2	9.4	±	72.6	18.6	16.3	41.3	54.5	82	45	4.3
1978	対照	52.9	10.5	+++	72.4	16.9	10.4	31.9	47.0	100	371	5.3
	硫酸第一鉄	50.8	11.7	+~++	71.1	16.2	11.1	32.2	46.1	98	71	5.0
	イオウ華	49.0	12.3	+	70.8	16.0	11.2	32.3	42.6	91	34	4.5
	石膏	52.5	13.2	±	72.1	16.2	12.3	37.8	53.7	114	25	5.2

注) \*調査日: 1977年6月28日, 1978年7月5日

あった。

3年目の対照区では、前年より被害が大きく、各資材の増収効果は前年以上であった。茎葉のモリブデン濃度も各資材の施用で明らかに低下し、特に跡地土壌のpHが最も低いイオウ華区で顕著であった。

(2) 第2圃場

第6表に2年間の試験結果をまとめて示した。

第1圃場に比べて土壌のモリブデン濃度が低く、跡地土壌のpHは対照区でも低かった。初年目の対照区は生育障害がほとんど認められなかった。一方、資材を施用することによって、硫酸第一鉄区とイオウ華区は対照区に比べ減収した。また、硫酸第一鉄区では鉄過剰症状が発現した。しかし、いずれの資材もモリブデ

第7表 水稲の生育、収量及び茎葉中Mo濃度と跡地土壌のpH (第3圃場)

区名	分けつ期 (6/21)			収穫期			わら重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ 百分比	茎葉中 Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	跡地土壌 pH
	草丈 (cm)	茎数 (本/株)	黄化の程度	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)					
対照	36.6	9.0	+	79.4	18.2	10.7	34.3	56.6	100	289	5.7
石膏	34.8	7.9	±~+	81.1	18.0	10.9	35.2	58.5	103	265	5.6
石膏半量	34.9	10.5	±	82.9	18.0	13.0	37.6	59.8	106	259	5.5

ンの吸収抑制効果は大きかった。

2年目の対照区では、生育初期に分げつの発生が抑制され、下位葉の黄化が著しかったが、最高分けつ期頃には生育が回復した。各資材の施用によって初期の生育障害と葉身の黄化程度は軽減された。しかし、増収効果が認められたのは新たに設けた石膏区だけであった。茎葉のモリブデン濃度は各資材の施用で激減した。

(3) 第3圃場

試験結果を第7表に示した。第2圃場に比べて土壌のモリブデン濃度はやや高く、跡地土壌のpHも全般に高かった。しかし、土壌のモリブデン濃度は第1圃場よりかなり低いために、対照区の生育障害は軽く、分けつ期に黄化葉が発生したものの最高分けつ期以後回復した。石膏施用による増収効果とモリブデンの吸収抑制効果はごくわずかであった。

2. 水稲幼植物に対する硫酸第二鉄と消石灰添加の影響

水稲のモリブデン過剰害を防止するためには硫酸第一鉄、イオウ華、石膏の施用が有効であることを、1979年までの現地試験で確認した。その後チタン採取率として硫酸第二鉄が安価に入手できることが分かったので、その施用量、施用方法及び消石灰施用の影響を幼植物試験により検討した。

1) 材料及び実験方法

実験は現地水田の未風乾土壌 (Mo321mg kg<sup>-1</sup>, 土性L, pH6.4) を500mlビーカーに充てんし2連制で行った。試験区は硫酸第二鉄を0.2kg m<sup>-2</sup>施用した硫酸第二鉄区、硫酸第二鉄を0.4kg m<sup>-2</sup>施用した硫酸第二鉄倍量区、硫酸第二鉄を0.7kg m<sup>-2</sup>とその80%中和量の炭酸カルシウムを0.25kg m<sup>-2</sup>施用した中和区、消石灰を0.1kg m<sup>-2</sup>施用した消石灰区、それに対照区を設けた。水稲品種「日本晴」の3葉期の苗を1980年7月3日にポット当たり1本ずつ移植した。途中で生育調査と土壌pHの測定を行い、8月22日に抜き取って、乾物重を

第8表 水稲の生育経過

区名	7/21		8/5		8/20	
	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)
消石灰	20.7	2	24.1	2	38.4	2
対照	23.1	2	34.4	3	54.7	3
硫酸第二鉄	27.8	3.5	37.9	6	50.0	6
硫酸第二鉄倍量	17.7	2	29.2	2	51.2	4.5
中和	23.8	2	32.5	5	49.6	5.5

測定しモリブデンの分析を行った。肥料はポット当たりN, K<sub>2</sub>Oを各50mg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を120mg, それぞれ塩安、過石、塩加で施用した。

2) 実験結果

水稲の生育経過を第8表に、収穫期の水稲のモリブデン濃度及び乾物重と土壌pHとの関係を第3図に示した。

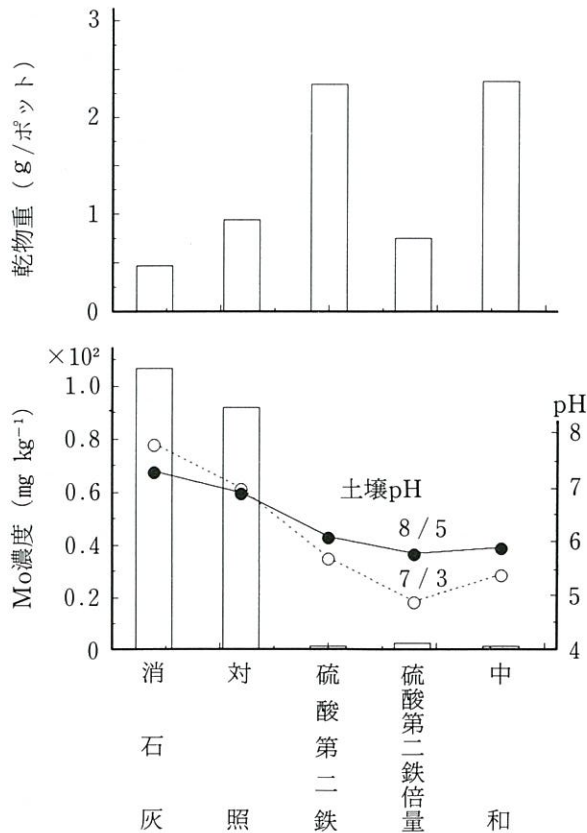
硫酸第二鉄区と中和区では土壌pHが低下し、水稲の乾物重は増加し、モリブデンの吸収量は激減した。硫酸第二鉄倍量区では土壌pHがさらに低下し、水稲のモリブデン吸収は抑制された。しかし、生育初期に葉先が褐変する鉄過剰症状を呈し、分けつの発生が遅延し、試験終了近くになって回復してきたものの、乾物重は対照区に及ばなかった。消石灰区では土壌pHが上昇し、水稲の黄化の程度も対照区より激しくなり、乾物重は減少し、モリブデンの吸収量も増加した。

3. 硫酸第二鉄の効果

前項の実験と並行して、最も実用性が高いと考えられる硫酸第二鉄の施用方法を現地水田で検討した。

1) 材料及び試験方法

前年まで試験していた第1圃場の試験区の近傍に、新たに1m<sup>2</sup>の木枠を埋め込み2連制で行った。土壌は中粗粒強グライ土(琴浜統)で、その性質を第9表に、試験区の処理内容を第10表に示した。初年目には硫酸



第3図 収穫期の水稻のモリブデン濃度及び乾物重と土壤pH

第9表 供試土壤の性質

土性	pH	CEC (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	Mo (mg kg <sup>-1</sup> )
L	6.4	17.3	398

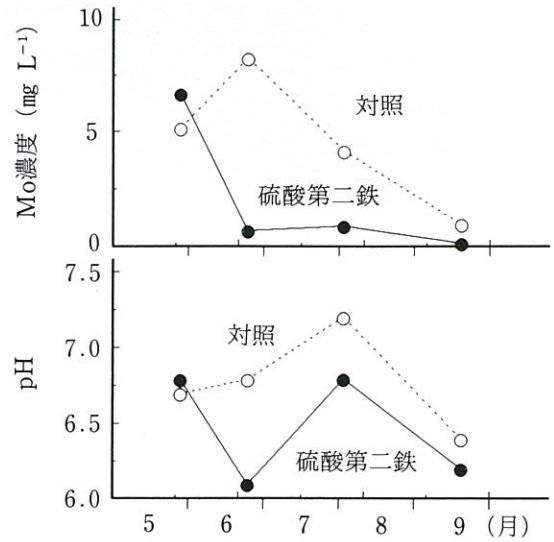
第10表 試験区の処理内容

区名	処理内容
対照	無処理
硫酸第二鉄A	硫酸第二鉄 0.7kg m <sup>-2</sup> 炭酸カルシウム 0.25kg m <sup>-2</sup> *
硫酸第二鉄B	硫酸第二鉄 0.2kg m <sup>-2</sup>

注) \*硫酸第一鉄の80%を中和するのに必要な量

第11表 施肥量

年次	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1980	6.3	16.0	7.1
1981	4.0	10.6	4.8



第4図 土壤溶液のモリブデン濃度とpHの経時変化 (1980)



第5図 水稻の生育状況 (1980年7月22日)

右:対照区

左:硫酸第二鉄A区

第二鉄を炭酸カルシウムで中和した場合の、2年目にはその残効と硫酸第二鉄を単用した場合の効果を検討した。

供試品種は両年も‘チドリ’を用いた。初年目は5月27日に移植し、9月19日に収穫した。2年目は5月17日に移植し、9月14日に収穫した。施肥量は第11表に示したとおりで、基肥には塩加リン安(12-18-14)と重焼リンを、追肥にはNK化成(16-0-20)を施用した。

2) 試験結果

第4図に初年目の土壤溶液のモリブデン濃度とpHの経時変化を、第5図に同年7月22日の水稻の生育状況を、第12表に2年間の水稻の生育、収量及び茎葉中のモリブデン濃度をまとめて示した。

初年目の対照区の被害は激しく、植え付け後1か月

第12表 水稻の生育、収量及び茎葉中Mo濃度と跡地土壌のpH

年次	区名	6/24		7/22		収穫期			わら重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ重 (10 <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> )	もみ 百分比	茎葉中 Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	跡地土壌 pH
		草丈 (cm)	莖数 (本/株)	草丈 (cm)	莖数 (本/株)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)					
1980	対照	38.5	4.5	62.1	4.9	66.2	16.6	4.3	13.6	16.8	100	838	6.3
	硫酸第二鉄A	45.8	11.1	76.5	11.8	80.8	17.5	11.0	46.1	46.8	279	123	5.8
1981	対照	27.8	6.7	52.4	7.4	66.4	15.8	6.2	22.0	16.1	100	1068	6.2
	硫酸第二鉄A	38.8	10.4	65.7	10.7	77.6	17.6	9.4	41.1	45.0	280	791	6.0
	硫酸第二鉄B	39.0	12.8	68.5	13.0	77.7	18.1	11.7	46.5	53.9	335	481	5.9

以内で黄化葉が発現し、収穫期まで回復しなかった。分けつはほとんどなく、収量もこれまでの最低であった。硫酸第二鉄を施用すると、正常な水稻とほとんど変わらない生育を示し、対照区の3倍近い収量が得られた。また、茎葉のモリブデン濃度も対照区の7分の1に激減した。土壌溶液のモリブデン濃度とpHは全稲作期間を通じて、対照区より低く経過した。

2年目も対照区の生育障害は大きく、前年同様に収量は低かった。前年の残効を検討した硫酸第二鉄A区は、もみ百分比は前年並みであったが、莖数、わら重などの対照区との差は縮まり、茎葉のモリブデン濃度の低下割合もかなり小さくなった。また、跡地土壌のpHは前年に比べるとやや高かった。一方、硫酸第二鉄B区はA区より生育、収量ともに勝り、対照区に比べて3倍以上の収量が得られ、茎葉のモリブデン濃度も2分の1以下に低下した。

#### IV 考 察

水田における重金属汚染の対策としては、排土客土、上乘せ客土などによって作土を非汚染土に替えることが最も確実な方法であり、土壌汚染防止法の制定以来、ほとんどの対策地域でこの方法が採用されている。しかし、土壌汚染防止法で特定有害物質に指定され、基準が定められているのはカドミウム、銅、ヒ素であり、モリブデンは特定有害物質に指定されておらず、公害防除特別土地改良事業の対象とならない。そこで、耕種的対策について検討した。

##### 1. 土壌中モリブデンの溶出と水稻のモリブデン吸収

モリブデンは土壌の酸性が強くなると鉄の酸化物や水酸化物あるいはアルミニウムの酸化物に吸着されて不溶性となり、植物による吸収が抑えられる<sup>2)</sup>。TURNER<sup>4)</sup>はカリフラワーの葉中のモリブデン濃度

がpHの上昇とともに増加することを、高橋<sup>3)</sup>はレッドクローバのモリブデン過剰障害が酸性中和によって激しくなることを認めた。したがって、モリブデン汚染土壌を管理する上で、モリブデンの溶解度を低く保つことができる土壌pHの範囲を明らかにしておく必要がある。

モリブデンの溶出は風乾土、湿潤土ともにpH1.0以下の強酸性とpH4.5以上で急増した。また、pH5.0以上では湿潤土が風乾土よりモリブデンの溶出は多かった。実験条件は多少異なるものの、ヒ素の溶出パターン<sup>6)</sup>と傾向が似ていた。ただし、ヒ素の場合はpH7.0以上で溶解度が高まるため、7.0以上になることの少ない現実のヒ素汚染水田では、pHの管理よりも節水栽培によって土壌を酸化的に維持することが重要であった。これに対しモリブデン汚染水田では、資材を投入して土壌を酸性にすればモリブデンの溶解度が低下し、過剰害が回避できると考えられる。ただし、資材の施用量が多すぎると色々な問題が生じるが、この点については後述する。

モリブデンを土壌から溶出させないようにすると同時に、溶出してしまったモリブデンを水稻に吸収されにくくすることも、モリブデン過剰害を防止する一つの方法である。硫酸根はモリブデンと競合的に働くため、水稻のモリブデン吸収を抑え、生育障害が軽減することを水耕実験で明らかにした。したがって、モリブデン汚染土壌への含イオウ資材の添加は、水稻のモリブデン吸収抑制という点で効果が期待できそうである。

##### 2. 各種資材の施用効果

硫酸第一鉄とイオウ華は、試験を行った2圃場ともに水稻のモリブデン吸収抑制効果が著しく、3年目でもその効果は持続した。特にイオウ華区では硫酸根の溶脱に伴う塩基の流亡も加わったためか、跡地土壌の

pHは低く維持され、茎葉のモリブデン濃度は年々低下した。一方、硫酸第一鉄区では80%中和量の炭酸カルシウムを併用したため、跡地土壌のpH低下はわずかであった。水稻の生育期間の土壌pHを測定していないので断定はできないが、硫酸第一鉄区のモリブデン吸収抑制は、pH低下より硫酸根の競合作用、鉄によるモリブデンの吸着等によるところが大きかったと考えられる。

水稻の収量は、土壌のモリブデン濃度の低い圃場では、硫酸第一鉄とイオウ華の施用により初年目に20~30%の減収となった。これは、硫酸第一鉄区では鉄過剰害が、イオウ華区では酸性障害がでた可能性もある。一方、モリブデン濃度の高い圃場では10~80%の増収率となり、硫酸第一鉄よりイオウ華が若干勝った。増収率は初年目が最も高く、2、3年目に低下したが、水稻のモリブデン吸収量が増加していないことから、資材の効果が低下したとは考えにくい。

石膏は安価で最も実用性が高いと考えて3圃場で検討した結果、土壌のモリブデン濃度が低い場合には、モリブデン吸収抑制効果が顕著な圃場とほとんど認められない圃場の二通りがあった。石膏はpHを下げる能力はなく、あくまで硫酸根による競合的な吸収抑制に期待して施用するわけである。モリブデン濃度が低く、土壌pHが高い圃場では石膏の効果が少なかったが、水耕実験ではpHが高くても硫酸根のモリブデン吸収抑制効果が認められているため、土壌pHの高低では石膏の効果の違いを説明できない。硫酸根は土壌に吸着されないために流亡しやすく、一方では、湛水条件下で硫化物に還元され不溶化することも考えられる。このようなことが原因で土壌溶液中の硫酸根濃度が低下し、石膏の効果が発揮されない場合もあると推察される。

チタン採取率として安価に入手できることのできた硫酸第二鉄の効果を検討した結果、炭酸カルシウムの併用によってモリブデン過剰害を軽減できたが、2年目には茎葉のモリブデン濃度と土壌pHの上昇が認められたことから、効果の持続性に問題があると考えられる。一方、硫酸第二鉄の単用区では、モリブデンの吸収抑制効果はやや不十分であったが、増収効果は高かった。施用量が少ないので、経費を炭酸カルシウム併用の3分の1程度に節減できると考えられる。ただし、土壌条件、栽培管理などによって効果の現れ方や持続性に差があると思われるので、適宜、肉眼観察とともに土壌pHの検定を行い、鉄過剰害や酸性障害が

発生しないように資材を施用することが重要である。このことは、硫酸第一鉄やイオウ華を施用する場合にもいえることである。又、鉄の硫酸塩を連用するとリンが鉄と結合して不可給化し、水稻にリン酸欠乏が発生するおそれもあるので注意が必要である。

## V 摘 要

水稻のモリブデン過剰害を防止するために、いくつかの室内実験と現地圃場における対策試験を実施し、下記のような結果を得た。

- 1) モリブデンの土壌からの溶出はpHが1.0~4.5で最低となった。
- 2) 硫酸根は水稻のモリブデン吸収に対して強い競合作用を持つことを認めた。
- 3) 硫酸第一鉄 $1.0\text{ kg m}^{-2}$  (80%中和量の炭酸カルシウムを併用) またはイオウ華 $0.1\text{ kg m}^{-2}$  施用による障害防止効果は顕著であり、その効果は3年間持続した。
- 4) 石膏施用の効果は、圃場によって高い場合と低い場合があり、安定しなかった。
- 5) 硫酸第二鉄 $0.7\text{ kg m}^{-2}$  (80%中和量の炭酸カルシウムを併用) 施用により、土壌溶液のモリブデン濃度は低下し、水稻のモリブデン吸収を抑制し、顕著な障害防止効果を示した。翌年はモリブデンの吸収抑制効果はかなり低下したが、増収効果は前年並みであった。
- 6) 硫酸第二鉄 $0.2\text{ kg m}^{-2}$  を単用した場合、モリブデンの吸収抑制効果はやや不十分であったが、顕著な障害防止効果が得られた。

## 引用文献

- 1) BARSHAD, I. (1951): Factors affecting the molybdenum content of pasture plants: I. Nature of soil molybdenum, growth of plants, and soil pH. *Soil Sci.* 71: 297-313.
- 2) JONES, C.M. (1957): The solubility of molybdenum in simplified and aqueous soil suspensions. *J. Soil Sci.* 8: 313-327.
- 3) 高橋英一・吉野 実・前田正男 (1980): 原色作物の要素欠乏・過剰症。農文協, p77.
- 4) TURNER, F. and W.W. Mc CALL (1957): Studies on crop response to molybdenum and lime in Michigan. *Mci. Agr. Exp. Sta. Quart. Bull.* 40: 268-281.

5) 野田 滋, 高見有一・山根忠昭・山路 健 (1994): 水稻のモリブデン過剰障害 (第1報) 障害の実態と発生条件。島根農試研報28: 27-39.

6) 山根忠昭 (1989): 水稻におけるヒ素被害の発生機構と対策。島根農試研報24: 1-95.

## Summary

Some treatments were studied to avoid growth damage of rice plant caused by excess molybdenum. The results obtained were as follows:

1. The concentration of dissolved Mo from high Mo soil was the lowest in the solutions from 1.0 to 4.5 pH values.
2. By hydro-cultural experiment, a competitive relation between sulfate and molybdate on Mo uptake by rice plant was proved.
3. The application of either ferrous sulfate ( $1.0\text{ kg m}^{-2}$ ) with calcium carbonate (required amount to neutralize 80%) or sublimed sulfur ( $0.1\text{ kg m}^{-2}$ ) reduced the Mo content and remarkably promoted the growth of rice plant. The residual effect of these materials continued for three years.
4. The suppression effect of gypsum on Mo uptake varied with the experimental field.
5. The application of ferric sulfate ( $0.7\text{ kg m}^{-2}$ ) with calcium carbonate reduced the Mo content of soil solution and rice plant, and made remarkable effects on the growth and yield of rice plant. In successive cropping in the next year, the conventional yield could be confirmed, although the suppression effect on Mo uptake became lower.
6. Even a single application of ferric sulfate ( $0.2\text{ kg m}^{-2}$ ) made sufficient effect to prevent Mo toxicity in rice plant, although it reduced the Mo content of rice plant less than dual application of ferric sulfate and calcium carbonate.