

## マンガン集積土壌における牧草の生育に関する研究

### III. 土壌マンガンの溶出および牧草のマンガン吸収に 対する珪酸石灰施与の影響

尾 形 昭 逸

(広島大学水畜産学部)  
(1969年5月1日受理)

## Studies on the Growth of Pasturage Crops on the Soils with Accumulated Manganese

### III. Effects of Calcium Silicate Application on the Elution of Manganese from Soil and the Growth of Pasturage Crops

Shoitsu OGATA

*Department of Animal Husbandry, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry,  
Hiroshima University, Fukuyama*  
(Tables 1-11)

## 緒 言

第1<sup>1)</sup>および第2報<sup>2)</sup>に引きつづき水田条件下で多量にマンガンを集積した土壌に牧草を栽培した場合、これら牧草のマンガン吸収に対し珪酸石灰の施与がどのような効果を示すかについて検討を進めたので、その結果について報告することとする。

すなわち、Berger, K. C. および Gerloff, G. C.<sup>3)</sup>は土壌が酸性化すると一般に土壌マンガンを可溶化した作物がこのマンガンを吸収し、マンガン過剰症を示し、これに石灰を施与すると作物によるマンガン吸収を抑制することを示している。作物によるマンガン吸収に対して石灰イオンは拮抗的に作用することは Williams, E. および Vlamis, J.<sup>4)</sup>により指摘されている所であり、土壌に対する石灰資材の投入は土壌酸度の上昇せしめることと相まって、土壌溶液中の石灰イオン濃度の上昇により、マンガンの吸収に対し抑制的に働くものと考えられる。

また Williams, E. および Vlamis, J.<sup>5)</sup>は珪酸は植物に多量にマンガンを吸収された場合、その害的作用を軽減することを示した。

本報告では多量にマンガンを集積している土壌に対して珪酸石灰を施与した場合牧草のマンガン吸収に対して如何なる機構で抑制的に働らくかを明らかにする。

## 実 験 方 法

### 1. 供 試 土 壌

前報告<sup>1,2)</sup>と同様に供試土壌は芦田川中流神辺平野に分布するマンガン集積土壌である。この詳細に

については第1報<sup>1)</sup>に記述したのでここでは省略する。

## 2. 土耕栽培試験

硅酸石灰の施与効果に関する検討は土耕法によって行った。1辺30 cm 深さ30 cmの角型コンクリート製ポットによって行った。充填土壌量は風乾土壌として24 kgである。肥料の施与量ならびに硅酸石灰の施与量は第1表に示したとおりである。

Table 1. Amounts of fertilizers applied to pot cultures.

Treatments	C-0	C-1	C-2	C-3	C-4
Fertilizers					
Calcium silicate* (g/pot)	0	10	25	50	100
Ammonium sulfate	10g per pot for all treatments				
Potassium sulfate	4g per pot for all treatments				
Super phosphate	10g per pot for all treats, except non phosphorous				

Pot size was 30×30×30 (cm), amounts of soil were 24kg (air dry soil).

\* Soluble silicate, and alkaline (as CaO) were contained 27.0% and 40.0% respectively.

After the each harvest, 5g of ammonium sulfate, 2g of potassium sulfate and 5g of super phosphate were applied but non phosphorous treatments were not applied with super phosphate.

また各刈取後、窒素、燐酸および加里の追肥として元肥の半量をあたえた。ただし硅酸石灰は元肥のみで、また無燐酸区に対しては刈取後といえども燐酸の追肥は行わなかった。窒素は硫酸で、燐酸は過燐酸石灰で、加里は硫酸加里によった。

栽培牧草はオーチャードグラス（雪印改良種）、レッドトップ（在来種）およびラジノクロバー（在来種）である。

## 3. 水耕栽培試験

マンガンに対する硅酸および石灰イオンの影響を検討するため、水耕法による試験を行った。基本培養液組成は第2報<sup>2)</sup>に示したのでここでは省略する。

## 4. その他分析法

牧草および土壌マンガンの定量の大凡は第1および第2報に示したので省略する。その他の分析は通常法によった。

# 実験結果ならびに考察

## 1. 土耕法による硅酸石灰用量試験

第2表、第3表および第4表にマンガン集積土壌に対する硅酸石灰の用量試験結果をそれぞれオーチャードグラス、レッドトップおよびラジノクロバーについて示した。また第5表には無燐酸施与土壌についての硅酸石灰の用量試験結果をオーチャードグラスとラジノクロバーについて示した。

まずオーチャードグラスの結果について見るに、硅酸石灰の用量の増加により収量に大きく影響することはないようである。これは1番草のみならず、2, 3番草とも同様であった。しかし、マンガンの牧草中の濃度は1番草においても3番草においても低下せしめている。すなわち硅酸石灰無施与区1番草で680 ppm（乾物中）ときわめて高いものが硅酸石灰100 g区では563 ppmと低下しており、3番草においても、硅酸石灰施与量の増大にともなって牧草中マンガンは低下している。その他窒素含有率、加里含有率、燐酸含有率に硅酸石灰施与の効果はあらわれていないようである。当然のことながら石灰と燐酸の含有率は硅酸施与量の増加にともなって増加している。特に燐酸含有率は1番草に比して3番草が

Table 2. Effect of calcium silicate dressing on yield and manganese content of orchard grass.  
(Dry matter basis)

Cutting	Calcium silicate added (g/pot)	MnO ppm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ppm	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Dry matter yield (g/pot)
1 st cutting	0	680	178	3.33	0.74	2.05	0.54	1.20	45.3
	10	794	193	3.76	0.72	2.06	0.65	1.15	46.5
	25	610	122	3.54	0.74	1.95	0.67	1.94	42.8
	50	637	125	3.60	0.75	2.05	0.79	1.95	44.1
	100	563	102	3.58	0.65	2.05	0.73	2.07	37.9
3 rd cutting	0	854	236	2.61	0.66	1.05	0.49	2.09	33.4
	10	827	141	2.56	0.64	1.06	0.49	2.65	33.4
	25	653	193	2.66	0.68	1.09	0.52	2.88	34.5
	50	531	185	2.61	0.75	1.05	0.52	3.24	33.5
	100	477	108	2.56	0.63	1.09	0.59	3.45	34.8

特に高いことは注目すべき事であると考え、レッドトップについては第3表に示したとおりである。

Table 3. Effect of calcium silicate dressing on yield and manganese content of red top.  
(Dry matter basis)

Cutting	Calcium silicate added (g/pot)	MnO ppm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ppm	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Dry matter yield (g/pot)
1 st cutting	0	724	260	4.73	0.79	2.35	0.85	1.31	21.9
	10	698	255	4.33	0.78	2.42	0.85	2.14	29.4
	25	541	294	4.48	0.75	2.21	0.94	2.15	29.5
	50	572	234	4.62	0.62	2.15	1.08	2.30	22.9
	100	506	250	4.68	0.69	2.33	1.11	2.53	23.0
3 rd cutting	0	768	281	1.92	0.65	1.94	0.51	4.41	34.3
	10	727	257	2.12	0.51	1.93	0.51	5.10	39.2
	25	742	370	1.88	0.69	1.89	0.58	5.00	33.3
	50	722	760	1.76	0.68	1.92	0.56	5.27	32.9
	100	698	345	1.90	0.77	1.92	0.62	5.81	38.4

レッドトップについてもオーチャードグラスとほぼ同様の事がいえる。ただ硅酸含有率はオーチャードグラスよりも高く、とくに1番草に比較し3番草で高くなっている。この事はオーチャードグラスよりレッドトップはマンガン過剰に対して障害症状をより呈しがたい事とつながるものようである。

第4表に苧科牧草であるラジノクロバーについての成績を示した。本牧草もオーチャードグラスと同様、硅酸石灰の用量の増加にともなう収量の増減は大きくなかった。しかし、牧草体中のマンガン濃度は硅酸石灰用量の増加にともなう低下している。また硅酸含有率はオーチャードグラス、レッドトップの禾本科牧草のそれに比較して極めて低い。しかし石灰含有率は高く硅酸石灰の用量の増加とともに増加している。

第5表に燐酸を施しなかった場合の硅酸石灰の用量試験の結果を示した。

第1回刈取期のみ成績を示したが、この場合も硅酸石灰の用量の増加にともなう、オーチャードグラスおよびラジノクロバー中のマンガン濃度は低下している。とくにラジノクロバーにおいてよりそ

Table 4. Effect of calcium silicate dressing on yield and manganese content of ladino clover.  
(Dry matter basis)

Cutting	Calcium silicate added (g/pot)	MnO ppm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ppm	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Dry matter yield (g/pot)
1 st cutting	0	344	510	3.56	0.58	1.43	1.86	0.08	38.4
	10	322	302	3.44	0.45	1.85	2.16	0.12	33.4
	25	340	337	3.62	0.45	1.53	2.19	0.10	30.4
	50	305	315	3.43	0.52	1.53	2.14	0.14	31.1
	100	213	305	3.64	0.52	1.57	2.21	0.50	26.9
3 rd cutting	0	488	418	2.56	0.45	1.85	2.16	0.61	16.8
	10	514	468	3.20	0.54	1.86	2.21	0.95	15.2
	25	283	431	3.26	0.54	1.84	2.18	1.02	19.0
	50	283	345	3.40	0.66	1.83	2.25	1.23	19.6
	100	279	351	3.19	0.68	1.85	2.31	1.03	20.7

の効果があきらかなようである。

Table 5. Effect of calcium silicate application on manganese, calcium and silica content in orchard grass and ladino clover grown on soil without phosphorus dressing.  
(Dry matter basis)

Amounts of Calcium silicate added (g/pot)	Orchard grass				Ladino clover			
	MnO ppm	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Dry matter yield, g/pot	MnO ppm	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Dry matter yield, g/pot
0	846	0.65	2.29	12.8	358	1.89	1.59	12.4
10	811	0.68	2.65	16.0	348	2.09	1.37	14.0
25	767	0.73	2.88	15.4	283	2.19	1.92	14.6
50	680	0.84	2.95	15.1	183	2.11	1.92	12.8
100	606	0.95	3.24	14.8	157	2.13	2.10	10.4

#### Results from the 1st cuttings

ただ収量は無リン酸区の場合珪酸石灰 10 g ないし 25 g で無施肥に比して増加しているものと考えられ、生育状況も肉眼的観察の結果ややよかったものと考えられた。

#### 2. マンガン集積土壌からのマンガン溶出におよぼす珪酸石灰の影響

土壌マンガンの溶出とくに置換態のマンガンの溶出は溶出液の pH が 4.0 以下になると急激に増してくることは第 2 報<sup>2)</sup>ですでのべてきた。また茶園土壌、あるいは柑橘園土壌の酸性化にともなうマンガン過剰害の出現からも教えられるところである<sup>6)7)8)9)10)</sup>。

したがって珪酸石灰のマンガン集積土壌に対する投与は土壌の pH を上昇せしめ、これによってマンガンの溶出を抑制する作用もあると考えられる。

第 6 表にオーチャードグラスに対する珪酸石灰用量試験の跡地土壌の pH を示した。すなわち、珪酸石灰の増用により、たしかに土壌酸度は低く保たれている。したがって珪酸石灰の使用は土壌酸度の低下の結果として、牧草のマンガン吸収抑制が考えられる。

Table 6. Effect of calcium silicate application on soil pH.

Calcium silicate added (g/pot)	*pH (KCl)	*pH (H <sub>2</sub> O)
0	4.35	5.50
10	4.62	5.82
25	5.33	6.15
50	5.47	6.37
100	5.81	6.57

\* Soil pH was measured after the final harvest of orchard grass: Weight of soil in a pot was 24 kg as air dry soil.

Table 7. Effect of presence of silica sol on elution of manganese from soil. (Eluting manganese represented by MnOppm in air dry soil)

*pH of eluting sol.	None silica sol added		50mg (as SiO <sub>2</sub> ) silica sol added		100mg (as SiO <sub>2</sub> ) silica sol added	
	Exchangeable	Easy reducible	Exchangeable	Easy reducible	Exchangeable	Easy reducible
3.0	40	5476	31	4810	29	4371
4.0	21	5238	10	4138	12	4083
5.0	4	5447	4	4092	2	4148
6.0	1	5152	trace	4255	trace	3970
7.0	2	6280	trace	5277	trace	3849

Easy reducible manganese represents manganese eluted by 1 N-acetic acid to various pH and containing hydroquinone 0.4%.

\* pH of eluting solution was adjusted with 1 N-acetic acid and NH<sub>4</sub>OH.

しかし、第7表に示したように、マンガン集積土壌に対する硅酸ゾルの添加は各種のpHにおいてマンガンの溶出とくに置換性マンガンの溶出を低下せしめている。易還元性マンガンの溶出に対しても硅酸ゾルの添加は抑制的にはたらくものと思われ、土壌pHの高い所でその効果が明瞭のものようである。

また、第8表に土壌マンガンの溶出に対する石灰イオン添加の影響を検討し、その結果を示した。こ

Table 8. Effect of addition of calcium ion on the elution of manganese from soil manganese eluted, represented as MnOppm in air dry soil.

* pH of eluting sol.	Non Ca ion added		10mg Ca ion (as CaO) added		20mg Ca ion (as CaO) added	
	Exchangeable	Easy reducible	Exchangeable	Easy reducible	Exchangeable	Easy reducible
3.0	40	6476	47	5870	45	6125
4.0	21	5238	30	6078	42	5388
5.0	4	5447	13	6238	20	5874
6.0	1	5152	5	5953	trace	6060
7.0	2	6280	10	5844	trace	5756

\* pH of eluting solution was adjusted with 1N acetic acid and NH<sub>4</sub>OH Ca ion added to 100g dir dry soil was CaCl<sub>2</sub>.

れによると石灰イオンそのものは土壌マンガンの溶出に対し、抑制的作用を示さない。それよりはむしろ

ろ置換性マンガンの溶出を増加せしめているものようである。

これらの結果より、土壤マンガンの溶出に対する珪酸石灰投入の影響は土壤酸度の低下と珪酸の添加をとうして発現されるものと結論されよう。

したがって牧草による土壤マンガンの吸収に対する珪酸石灰の投与の影響のは、まずもって土壤よりのマンガンの溶出に対して珪酸石灰の上述の効果をとうしてあらわれるものと言える。

### 3. 水耕栽培による珪酸ゾルおよび石灰イオンの牧草によるマンガン吸収に対する影響の検討

つぎに牧草によるマンガンの吸収に対し、珪酸および石灰がどのような影響があるかを水耕法により検討し、その結果を第9表、第10表および第11表に示した。

すなわち第9表にはオーチャードグラスについての試験成績を示した。これによると、オーチャードグラスの場合水耕液中マンガン濃度が5 ppm (MnOとして)でも25 ppmの場合でも添加珪酸の濃度の如何にかかわらず体内マンガン濃度は余り大きな影響はうけないようである。ただ水耕液中マンガン濃度が50 ppmと高濃度になり、添加珪酸の濃度がまずと牧草体内マンガン濃度はいくらか低下するものようである。また、牧草中の珪酸濃度は水耕液中のマンガンの濃度の如何にかかわらず、確実に上昇している。ラジノクロバーの場合は第10表に示したが、牧草体中マンガン濃度に対する珪酸添加の影響は明確ではなかった。しかも、体内の珪酸濃度もオーチャードグラスの場合とは異なり、水耕液の珪酸の上昇にともない明確な増加は見られなかった。また生育量もオーチャードグラスの場合と同様珪酸添加の影響は大きくはなかった。

Table 9. Effect of silica sol addition on orchard grass grown on water culture having different manganese concentrations. (Dry matter basis)

Treatments SiO <sub>2</sub> and Mn ppm in culture solution	MnO ppm	SiO <sub>2</sub> %	Dry matter yield (g/pot)
SiO <sub>2</sub> - 0 ppm	MnO- 5 ppm	409	0.48
	MnO-50 ppm	2750	0.68
SiO <sub>2</sub> - 5 ppm	MnO- 5 ppm	419	1.46
	MnO-50 ppm	2660	1.68
SiO <sub>2</sub> -25 ppm	MnO- 5 ppm	450	3.70
	MnO-50 ppm	2280	4.48

growing period: Oct. 1 st. to Nov. 25 th.

Table 10. Effect of silica sol addition on ladino clover grown on water culture having different manganese concentrations. (dry matter basis)

Treatments SiO <sub>2</sub> and MnO ppm in culture sol.	MnO ppm	SiO <sub>2</sub> %	Dry matter yield g/pot
SiO <sub>2</sub> - 0	MnO- 5 ppm	764	0.46
	MnO-50 ppm	4114	0.52
SiO <sub>2</sub> - 5	MnO- 5 ppm	618	0.98
	MnO-50 ppm	4399	0.88
SiO <sub>2</sub> -25	MnO- 5 ppm	668	0.71
	MnO-50 ppm	4478	0.78

growing period: Oct. 1 st to Nov. 25 th.

Table 11. Effect of calcium ion addition on orchard grass grown on water culture having different manganese concentrations. (dry matter basis)

Treatments CaO and MnO <sub>2</sub> ppm in culture solution		MnO ppm	CaO %	Dry matter yield (g/pot)
CaO- 0 ppm	MnO- 5 ppm	558	0.25	4.5
	MnO-50 ppm	3980	0.21	3.0
CaO-40 ppm	MnO- 5 ppm	409	0.47	19.6
	MnO-50 ppm	2750	0.50	20.1
CaO-100ppm	MnO- 5 ppm	277	0.98	18.0
	MnO-50 ppm	2097	0.88	18.7

growing period: Oct. 1 st to Nov. 25 th.

これに対し、水耕液中の石灰イオンの濃度をますと、オーチャードグラスの場合を第11表に示したが、植物体中マンガン濃度を減少せしめている。すなわち、石灰イオンはマンガンの吸収に対し拮抗的に作用するものと十分に考えられる。

すなわち硅酸の存在は植物によるマンガンの吸収に対して何らの効果を持たないが、石灰は拮抗的效果をもっており、マンガン吸収を抑制するものと考えられる。このことは土壌マンガンの溶出に対するとは対象的な効果と受け取られ、硅酸石灰の土壌に対する施与は植物によるマンガンの過剰吸収に対し、土壌酸度の低下および、土壌マンガンの溶出に対する硅酸の抑制的效果と、植物によるマンガンの吸収に対する石灰イオンの拮抗的效果により軽減するものと考えてよい。

## 結 論

マンガンの多量に集積した土壌に牧草を栽培し、これに硅酸石灰を施与した場合、牧草の生育ならびに牧草のマンガン吸収に如何なる影響があるかを検討し、つぎの結論をえた。

- 1) 硅酸石灰の施与は土壌よりのマンガン溶出を低下せしめ、牧草によるマンガン吸収を抑制する。
- 2) 硅酸石灰の施与による土壌マンガン溶出の抑制効果は土壌 pH の上昇によるものと、可溶性硅酸の土壌中における濃度の上昇によるものと考えられる。
- 3) 植物によるマンガンの吸収に対して、硅酸は明確な効果はもたないようである。しかし、これに反し、石灰イオンは拮抗的效果をもち、植物によるマンガン吸収を低下せしめた。
- 4) 以上のことより、マンガン集積土壌に生育する牧草のマンガン過剰吸収に対する硅酸石灰の施与の効果は、土壌よりのマンガン溶出に対する可溶性硅酸の添加の抑制効果ならびに土壌 pH の上昇による溶出抑制効果と、石灰イオンの土壌溶液中の上昇にともなう、植物によるマンガン吸収に対する拮抗的抑制効果よりなるものと考えられる。

## 引 用 文 献

- 1) 尾形昭逸・黒住久弥・西勝海：広島大学水畜産学部紀要，**7**，137～147 (1967)
- 2) 尾形昭逸・田中秀和：同 上 ，**7**，301～312 (1968)
- 3) Berger, K.C. and Gerloff, G. C.: Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., **12**，310～311 (1947)
- 4) Vlamis, J. and Williams, E: Plant Physiol., **37**，650～655 (1962)
- 5) Williams, E. and Vlamis, J: Plant Physiol., **32**，404～415 (1957)
- 6) 大塚恭司：日本土壌肥科学雑誌，**37**，269～276 (1966)

- 7) 大塚恭司：日本土壤肥科学雑誌, **35**, 1~5 (1964)
- 8) 同上：同上, **35**, 65~67, 65~67 (1964)
- 9) 青木朗・森田修二：同上, **37**, 599~ (1966)
- 10) 佐藤公一・石原正義：果樹に関する土壤肥研究集録, 245~246 (1964)

## SUMMARY

Experiments on the elution of manganese from soil and pot cultures were performed in order to determine what effects of calcium silicate application to the soil enriching manganese under the paddy field condition on the growth and manganese absorption of pasturage crops would appear.

1). Amounts of manganese eluted from soil were suppressed by application of calcium silicate, due to the raising of soil pH and also of soluble silica concentration in soil.

2). Application of calcium silicate did not result in increasing of pasturage crops yields but rather in lowering of manganese concentrations in plants. In the case of none phosphorous application, this lowering effect of calcium silicate application of contents of manganese in plants was more noticeable.

3). Addition of silica sol to culturing solutions did not affect manganese concentration of pasturage crops but of calcium ion did.

4). Therefore, raising soil pH and soluble silica concentration in soil will result in decreasing the elution of soil manganese, especially of exchangeable manganese. Calcium ion would have a direct, that is, antagonistic effect on the absorption of manganese by pasturage crops.