

牧草の苦土欠乏症発現とその施肥対策*

大村 邦男** 関口 久雄*** 赤城 仰哉****

土壌の苦土含量と牧草生育の関連について検討し、その下限値及び草地の安定生産を維持するための適正值を設定した。さらに、適正值を基にした具体的な施肥法の指針を現わした。牧草生育を正常に保つための土壌苦土含量の下限値は、置換性 MgO で 10mg/100g で、同値が 5 mg 以下では欠乏症が発現するとともに減収傾向が認められた。草地の安定生産を維持するために必要な土壌苦土含量（適正值）は、20mg/100g 程度と考えられた。なお、苦土欠乏が発現した時の K/Mg (m, e) は 3 以上であった。更新時に低苦土草地を適正值まで富化するには、MgO で 20kg/10a 程度の施肥が必要とみられ、この際く溶性形態の苦土肥料を用いるのが適当と思われた。また、既存草地の応急的な改良のためには、水溶性形態とく溶性形態の苦土肥料を併用するのが得策である。土壌の苦土レベルを適正值まで富化した後の維持管理の草地に対しては、MgO で年間に 3～4 kg/10a の施肥が必要とみられた。

I 緒 言

マグネシウム (以下 Mg) は、植物の葉緑素を構成する中枢元素であるとともに、代謝系の酵素反応にも関与しており、植物生理上重要な役割もっている。そのため、Mg が不足する場合には光合成代謝が阻害され、緑色植物ではクロロシスの発生することが知られている。Mg 欠乏による害作用については既に多くの作物で知られており、障害を回避するための対策が示されている^{1,2,3,4,5}。

一方、牧草の Mg 欠乏症発現については最近までほとんど知られず、その様相については必ずしも明らかではなかった。

草地に対する施肥が現場にまで普及するようになってからは未だ日が浅く、従来は N 中心の粗放的な管理が行われてきた。しかし、経営の集約

化に伴い粗飼料としての牧草に対する評価も変わり、草地生産の安定性とともな牧草の品質向上を指向する気運が高まってきた。そのため、従来の生産量偏重の施肥管理では対応しきれず、三要素以外の養分補給についても考慮しなければならなくなってきた。

以前に、根釧地方の採草地を対象に行なった調査で⁶、土壌の無機成分の中で K, Mg, P の不足割合が高く、これら成分の施肥改善の必要性が認められた。なかでも、K に次いで不足割合の高かった Mg は、草地造成（更新）時にりん酸質資材として随伴施用される以外はほとんど施肥されることがなく、長年にわたって欠乏状態におかれていた。この影響は、第 1 に、牧草の Mg 含有率の低下、植生悪化に伴う生産量の減少をもたらし⁶、第 2 に、近年、搾乳牛に多発している代謝障害が飼料中の Mg 不足に起因するとみられており⁷、牧草生産だけではなく家畜栄養生理の面からも草地に対する Mg 施肥の重要性が指摘されてきた⁸。

以上の背景をふまえて、本試験では、牧草生育に必要な土壌 Mg 含量を明らかにするとともに、それに基づく具体的な施肥法について検討を行った。

1986年4月30日受理

* 本報の一部は、1972年度および1980年度日本土壌肥料学会北海道支部会で発表した。

** 北海道立根釧農業試験場（現北海道立中央農業試験場、069-13 夕張郡長沼町）

*** 同上（同上、069-03 岩見沢市上幌向町）

**** 同上（現三菱化成工業株式会社、060 札幌市中央区）

II 試験方法

1. ポット試験による Mg 欠乏症発現の検討。

試験-1 土壌のMg含量と牧草生育 (1981年)

牧草生育に必要な土壌Mgの下限値を見出すために試験を行った。供試草種はチモシー(センポク)、オーチャードグラス(在来種)で、早春に既存草地から掘取ったものを5月22日にa/5000ポットに移植した。試験処理は、土壌の置換性MgOで1.9mg(原土)、5mg、10mg、20mg、40mg(各々M0、M1、M2、M3、M4区とする)の5段階とし、4反復で行った。共通肥料は、ポット当り硫安2g、過石3g、硫加1.5g、炭カル10g施用。収量調査は7月14日と9月11日の2回行った。

試験-2 カリ施肥が牧草のMg吸収に及ぼす影響(1970年~71年)

土壌のMgとともに、牧草のMg吸収に影響を及ぼすカリ施肥との関連について検討した。供試草種はメドウフェスク(在来種)、アカクローバ(ハミドリ)で、各々7月1日、5月28日にa/5,000ポットに播種した。試験処理は、土壌の置換性MgOで1.1mg~1.5mg(原土)、5mg、10mg、15mg(各々M0、M1、M2、M3系列とする)の4系列とし、K施用量をK₂Oでポット当り、0、0.5g、1.0g、1.5g(各々K0、K1、K2、K3区とする)の4段階とし、3反復で行った。共通肥料は、メドウフェスクはポット当り硫安2.5g、過石3g、炭カル5g、アカクローバは硫安1.5g、過石1g、炭カル5g施用。収量調査はメドウフェスクが11月5日、アカクローバは8月18日に行った。

2. 低Mg草地におけるMg施肥法の検討

試験-1 更新時におけるMg施肥法(1976年~79年)

Mgに欠乏した草地を更新する際に必要なMg施肥量とその肥料形態について検討した。供試草地は1976年に造成したチモシー、ラジノクローバ

混播草地で、試験処理は-Mg区及びMg資材として硫マグ、水マグ、ようりん、苦土炭カルを各々10a当りMgOで16kg施用した区を設定した。試験規模は1区9m²とし3反復で行った。共通施肥量は、造成時に10a当りN(硫安)5kg、P₂O₅(過石)25kg;但し、ようりん施用区は当該肥料に含有する分を差引いた量とした、K₂O(硫加)10kg、炭カル230kg;苦土炭カル施用区を除く。追肥は年間に10a当りN(硫安)8kg、P₂O₅(過石)8kg、K₂O(硫加)25kgとした。施肥及び刈取り時期は、早春施肥を5月上旬、1番草収穫6月下旬~7月上旬、1番草刈後追肥は7月下旬、2番草収穫は8月中旬~9月上旬に行った。

試験-2 既存の低Mg草地に対するMgの表面施肥による改良(1976年~78年)

土壌のMg含量に不足する既存草地に対する応急的な改善策をたてるための検討を行った。供試草地は別海町(広野)、標津町(北標津)に位置する農家圃場で、いずれも造成後4年を経過したチモシー、ラジノクローバを主体とする混播草地である。試験処理は対照区;年間10a当りN(硫安)8kg、P₂O₅(過石)8kg、K₂O(硫加)18kg施用、硫マグ全量区;対照区+初年目硫マグをMgOとして10a当り18kg施用、硫マグ分施肥区;対照区+硫マグをMgOとして10a当り6kg毎春施用、ようりん施用区;対照区+初年目ようりんをMgOとして18kg施用、の4区設定した。試験規模は1区9m²とし4反復で行った。施肥及び刈取り時期は、早春施肥を5月上旬~中旬、1番草収穫及び追肥6月下旬~7月上旬、2番草収穫を8月下旬~9月上旬に行った。供試圃場の土壌の化学性は表-1のとおりである。

試験-3 維持管理のためのMg施肥法(1974年~79年)

年次の経過に伴う土壌Mgの低下と、それを補うための追肥量及び牧草生育に必要な土壌Mgの適量について検討した。供試草地は1973年に造成したチモシー、ラジノクローバ混播草地で、試

表1 現地圃場の土壌の化学性

場所	pH (H ₂ O)	T-C (%)	Ex.-Base(mg/100g)			CEC (m.e)	BrayNo2 P ₂ O ₅ (mg/100g)	りん酸 吸収係数
			K ₂ O	CaO	MgO			
別海町(広野)	6.4	4.2	3.8	86	4.0	14.2	10.3	1,360
標津町(北標津)	6.4	5.8	6.7	215	4.8	22.0	3.6	1,970

験処理は硫マグを使用し、MgOで10a当り、0、3 kg、6 kg、9 kg、12kg(但し、3年目までは、0、4 kg、8 kg、12kg、16kg)とした。また、Mg肥料の形態の違いによる肥効を比較するため、硫マグ、水マグ、ようりんを各々10a当りMgOで4 kg相当施用した区を設定した(1976年~79年)。試験規模は1区9 m²とし3反復で行った。

共通施肥量は、年間に10a当りN(硫安及び尿

素) 8 kg、P₂O₅(過石) 8 kg、K₂O(硫加) 20 kg施用した。施肥及び刈取り時期は、早春施肥を5月上旬、1番草収穫7月上旬~中旬、1番刈後追肥7月中旬~下旬、2番草収穫は8月下旬~9月中旬に行った。なお、ポット試験、圃場試験(試験-1、3)に供試した土壤の代表的な化学性を表-2に示した。

表2 代表土壤の化学性

pH (H ₂ O)	T-C (%)	Ex. Base(mg/100g)			CEC (m.e/100g)	Bray No.2 P ₂ O ₅ (mg/100g)	りん酸 吸収係数
		K ₂ O	CaO	MgO			
5.8	6.1	11.0	222	4.1	17.8	29.8	1,830

III 試験結果及び考察

1. 土壤のMg含量と牧草のMg欠乏症の発現

Mg欠乏症の発現は、チモシー(以下Ti)では生育の旺盛な節間伸長期の初期に現われ、その症状は、下位葉に斑点状の黄化部分を生じ、それが次第に葉肉部分へ広がるとともに上位葉にも及んだ。その結果、欠乏症発生株数の割合は(表-3)、

表3 苦土欠乏症の発現割合*

区 (MgO, mg/100g)	M1	M0	M2	M3	M4
チモシー	86 (1.9)	36 (5.0)	4 (10.0)	0 (20.0)	0 (40.0)
オーチャードグラス	39	11	0	0	0

*7株×4反復(=28株)中のMg欠乏症発現株割合で表示

M0区86%、M1区36%で、土壤の置換性MgOが5 mg以下の区で高い割合を示し、M2区(10 mg)でも一部の株に欠乏症が認められた。一方、オーチャードグラス(以下O_G)では葉全体が黄ばむ程度で症状は判然とせず、欠乏症発生株の割合は、M0区39%、M1区11%で、Tiに比べると低い割合であった。

牧草収量についてみると(図-1)、Tiは2番草のM1区を除いて、各番草及び年間合計収量でM0区との間に統計的な有意差を示し、Mg施用による効果が認められた。しかし、M1~M4区の間ではほとんど差がみられなかった。O_Gでは1番草のM1~M4区と年間合計収量のM2

~M4区でM0区との間に統計的な有意差がみられた。また、1番草では土壤の置換性MgOの上昇に伴って増収したが、M3区で頭打ちの傾向が認められた。

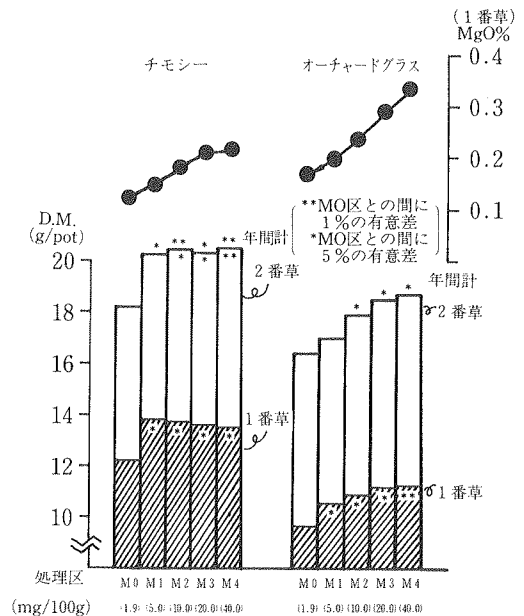


図1 牧草乾物収量及びMgO含有率

牧草のMg含有率は、両草種とも土壤の置換性MgOに対応して上昇したが、その上昇割合はTi < O_Gであった。また、TiではM3区で含有率の上昇が緩慢になったのに対し、O_GではM4区においても上昇する傾向を示した。なお、Mg欠乏症が発現した時の牧草体Mg含有率は、Tiで0.15%

以下、O_cでは0.20%以下で草種による Mg 要求量の違いが認められた。

以上のとおり、草種によって Mg 欠乏症の現われ方が異なったが、両草種とも Mg 欠乏が明らかであったのは土壤の置換性 MgO が 5 mg 以下の場合であった。しかし、10mg 以下では収量が不安定なことから、当値以下では潜在的な欠乏が予想された。これらを総合すると、牧草生育に必要な土壤の置換性 MgO の下限値は10mg/100g と考えられた。

また、根釧地方の主幹草種である Ti を対象に土壤 Mg の適正值を検討したところ、牧草の Mg 吸収量との間に図-2 のような関係が得られた。

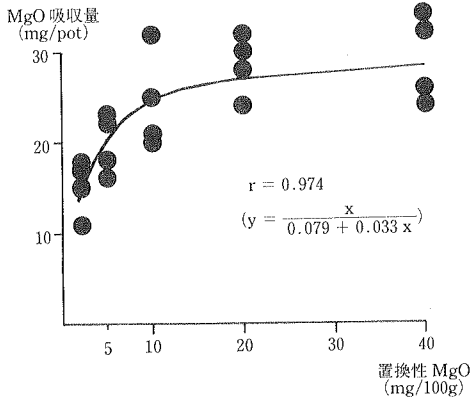


図2 土壤の置換性 MgO と牧草の MgO 吸収量 (チモシー, 1 番草)

この結果から、牧草の Mg 吸収量は土壤の置換性 MgO で 20mg までの上昇が明らかであるが、それ以上ではほぼ一定の値を示した。すなわち、牧草生育にとって必要な土壤の置換性 MgO は 20mg 以上であると推定された。

2. カリ施肥が牧草の Mg 吸収に及ぼす影響

供試したメドウフェスク (以下 Mf)、アカクローバ (以下 Rc) ともに Mg 欠乏症が発現したのは播種後数週間～1 ヶ月後からであった。その症状は、Mf が葉脈を残して筋状に黄化したのに対して、Rc では症状が激しく、黄化が葉全体に及ぶとともに、著しいものでは褐変して枯死する個体もみられた。試験処理別にみると(表-4)、両草種とも M 0 系列では全区に欠乏症が現われ、K 施用量の増加に伴って症状が著しくなる傾向がみられた。また、M 1 系列においても K 施用量の多い

表4 苦土欠乏症の発現様相
メドウフェスク

Mg 系列 (mg/100g) \ K区 (施用量 g/pot)	K 0 (0)	K 1 (0.5)	K 2 (1.0)	K 3 (1.5)
M 0 (1.1)	+	++	++	+++
M 1 (5.0)	-	+	+	+
M 2 (10.0)	-	-	-	-
M 3 (15.0)	-	-	-	-

アカクローバ

M 0 (1.5)	+	++	+++	+++
M 1 (5.0)	-	-	+	++
M 2 (10.0)	-	-	-	+
M 3 (15.0)	-	-	-	-

+++ 欠乏症が著しく一部に枯死あり。
 ++ 大部分の葉に欠乏症がみられ、部分的に懐死
 ++ 大部分の葉に欠乏症発現。
 + 一部の葉に欠乏症発現。
 - 欠乏症なし。

区では欠乏症が認められ、K との拮抗作用による Mg 吸収の抑制が示唆された。なお、Rc では M 2 系列の K 多用区でも一部の葉に欠乏症がみられ、Mf の場合よりも K との拮抗作用が明らかであった。

牧草収量は土壤の置換性 MgO が極低値であった M 0 系列で著しい減収を示し (図-3)、全区を平均してみると、他の系列に比べて Rc で 7～8 割、また、Mf では 1～2 割の減収となった。さらに、Rc では K 施用量の増加に伴う減収傾向がみられ、K との拮抗作用が牧草収量にまで及んでいることを示した。なお、両草種とも減収が明らかであったのは M 0 系列に限られたが、M 1 系列でも減収となる場合がみられ、安定収量を示したのは土壤の置換性 MgO が 10mg 以上の M 2, M 3 系列であった。このような傾向は、前述した Ti, O_c の場合にも認められ、牧草生育にとって必要な土壤の置換性 MgO の下限値は 10mg/100g であることが確かめられた。

牧草の Mg 含有率は、土壤の置換性 MgO に対応する一方で、K 増肥に伴う低下傾向が認められ、牧草の Mg 吸収が K によって抑制されることを現わした。なお、牧草体に Mg 欠乏症が発現した時の Mg 含有率は、概ね Mf で 0.25% 以下、Rc では 0.3% 以下で草種による違いがみられた。

以上、牧草の Mg 欠乏症の発現には土壤の Mg

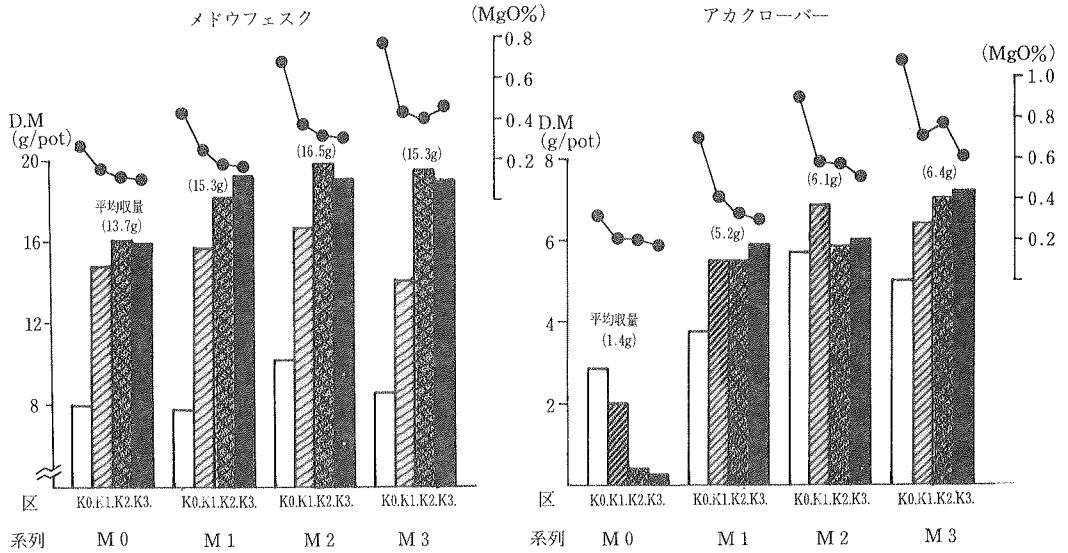


図3 牧草乾物取量とMgO含有率

表5 試験処理別の土壌のK/Mg(m.e)

草種	メドウフェスク				アカクロウバ				草種	チモシー オーチャードグラス	
	区	K0	K1	K2	K3	K0	K1	K2			K3
M0		5.55	15.26	24.96	34.67	3.61	10.77	17.93	25.09	M0	10.72
M1		1.22	3.36	5.50	7.63	1.08	3.21	5.35	7.49	M1	4.06
M2		0.61	1.68	2.75	3.82	0.54	1.61	2.68	3.74	M2	2.03
M3		0.41	1.12	1.83	2.54	0.36	1.07	1.78	2.50	M3	1.02
										M4	0.51

網かけ部分はMg欠乏症が発現した区を表わす。

含量とともに、カリ施肥量が大きな影響を及ぼすことがわかった。そこで、従来から作物のMg欠乏症発現の指標に使われてきた、土壌のK/Mg (m, e)^{3,5)}について検討を行った。その結果(表-5), Mf, RcともにMg欠乏症が発現した時のK/Mgは3以上で、試験-1のTi, Ocでも同様の値を示した。すなわち、牧草のMg欠乏症の発現を予測するうえで当値が有効であることを現わしており、Mg欠乏の発現を抑えるためには、土壌のK/Mgが3以下になるような施肥管理が必要と考えられた。

3. 更新時における土壌Mgの富化

Mg資材の違いが牧草取量に及ぼす影響は判然としなかったが、土壌の置換性MgO及び牧草によるMg吸収量には各資材の特性が反映された(表-6)。土壌の置換性MgOは水溶性形態の硫マグ施用では年次の経過に伴う減少割合が大きい

のに対して、く溶性形態のMg資材施用では減少が小さかった。なかでも、ようりん、苦土炭カルは、4年目跡地においても置換性MgOで10mg以上の値を維持し、当該肥料の持続性が示された。このような傾向を反映して、牧草による3年間のMg吸収量は、ようりん≧苦土炭カル>水マグ≧硫マグの順に高く、ようりん、苦土炭カル中のMgは牧草による利用率が高いことを現わした。

更新時に施用されるMg資材は、土壌のMgを適正值まで富化するためのものであり、その後耕起されないことから肥効の持続性が要求される。上述の結果から、水溶性形態のものは流亡する割合が高く、牧草による利用率も低いことを考えると、造成時に当該形態の資材を用いるより、く溶性形態のMg資材を施用するのが妥当と思われた。

表6 土壌の置換性 MgO 含量の推移及び牧草の MgO 吸収量

Mg 資材	年次	置換性 MgO (mg/100g)				3ヶ年合計 (2~4年)吸 収量 (kg/10a)	利用率* (%)
		1	2	3	4		
無施用		2.5	4.1	2.9	2.3	4.9	
硫マ	グ	9.3	3.9	2.9	2.5	6.4	9
水マ	グ	11.8	18.4	5.6	3.6	6.7	11
ようりん		17.7	19.5	11.5	13.3	7.9	19
苦土炭カル		13.0	17.8	13.4	14.4	7.7	18

* 2~4年目の吸収量をもとに算出した割合
(各処理区吸収量 - Mg無施用区吸収量) / 施肥量 × 100

4. 表面施肥による低 Mg 草地の改良

供試草地はいずれも土壌の置換性 MgO が低く、表面施肥による牧草収量及び含有率の向上が認められた。牧草収量は、処理初年目は硫マグ全量区、同分施肥区 > ようりん施用区、2年目以降は硫マ

グ分施肥区、ようりん施用区 > 硫マグ全量区で施肥法及び肥料の違いによる差がみられた。しかし、3年間の平均収量では処理間差はほとんどなく、いずれの区においても慣行区を上まわる収量を示した(表-7)。また、Mg 施肥による牧草の MgO 含

表7 牧草の乾物収量指数

場所	試験 処理	年次 番草	1			2			3			3カ年 平均値
			1	2	計	1	2	計	1	2	計	
			別海町(広野)	対照区	(634)	(489)	(1,123)	(451)	(440)	(891)	(525)	
	硫マグ全量区	110	102	107	100	109	105	105	100	103	105	
	硫マグ分施肥区	105	103	104	98	102	100	106	107	106	104	
	ようりん施用区	98	101	99	116	103	109	109	100	105	104	
標津町(北標津)	対照区	(608)	(375)	(983)	(525)	(548)	(1,073)	(598)	(453)	(1,051)	(1,036)	
	硫マグ全量区	103	109	105	103	102	103	99	105	102	103	
	硫マグ分施肥区	113	98	107	100	106	103	100	106	103	104	
	ようりん施用区	87	109	95	102	99	101	106	106	106	101	

() 内は実収量 kg/10a で、他は対照区を100とした指数で表わした。

有率の上昇は、マメ科牧草(Lc) > イネ科牧草(Ti)で草種間差がみられるとともに処理による違いが認められた(図-4)。その特徴的なものとしては、硫マグ全量区が初年目の MgO 含有率の上昇が著しい反面、2年目以降の低下が大きく、水溶性 Mg 肥料の多用は効果の持続性に乏しいことを現わした。一方、硫マグ分施肥区及びようりん施用区では3年間をとおしてほぼ安定した値を示した。なかでも、ようりん施用区は初年目全量施用ながら、硫マグ全量区のような MgO 含有率の著しい低下はみられず、当該肥料の肥効が持続性のあることを示唆した。このような傾向は、土壌の置換性 MgO の推移にも現われており(表-8)、硫マグ全量区では経年化に伴う低下が明らかであるのに対して、硫マグ分施肥区、ようりん施用区ではほぼ

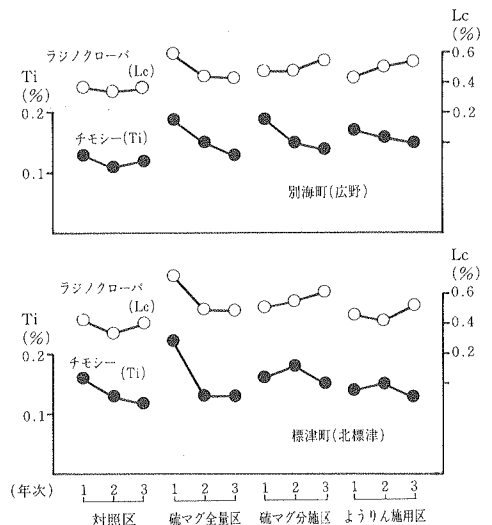


図4 牧草体 MgO 含有率 (1番草)

表8 土壤の置換性 MgO 含量の推移(mg/100g)

場所	試験 処理	年次		
		1	2	3
別海町 (広野)	対 照 区	4.6	3.8	2.6
	硫 マグ 全量 区	18.6	12.2	6.7
	硫 マグ 分施 区	9.9	11.5	13.0
	ようりん 施用 区	6.0	9.9	15.6
標津町 (北標津)	対 照 区	5.0	4.2	3.8
	硫 マグ 全量 区	18.4	12.8	11.0
	硫 マグ 分施 区	7.8	13.5	19.5
	ようりん 施用 区	6.6	10.0	12.5

安定した値を示した。

以上のとおり、低Mg草地に対するMg施肥は、牧草収量の安定性とその含有率の向上に寄与することが明らかになった。低Mg草地に対する

具体的な施肥法としては、速効性を重視すれば水溶性Mg肥料の多用が考えられるが、当該肥料は効果が大きい反面、肥効の持続性に乏しい。そこで、施肥効率を考慮した場合には、水溶性Mg肥料とく溶性肥料を併用するのが望ましいものと思われた。

5. 維持管理のためのMg施肥法

本試験では当初Mg施肥レベルを0, 4, 8, 12, 16kg/10aとしたが4年目以降からは0, 3, 6, 9, 12kg/10aとした。以下4年目以降の施肥レベルを中心に現わし、参考までに3年目までの値を付記した。

牧草収量はMg施用各区で無処理区に比べて増加しており、Mgの施用効果が明らかであった(表一9)。この中で最も安定した高収を示したの

表9 乾物収量指数の推移

MgO (kg/10a)	年次		3		4		5		6		5ヶ年平均 収量指数
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
0	(639)	(366)	(875)	(450)	(554)	(394)	(669)	(466)	(701)	(398)	(1,102)
3(4)	100	93	111	107	111	110	104	99	105	100	105
6(8)	111	102	111	106	116	106	105	109	114	107	109
9(12)	105	101	108	107	118	116	104	101	100	106	106
12(16)	107	95	103	103	112	112	100	113	102	104	106

() は実収量 kg/10a, 他はMgO, Oを100とした指数で表わした。MgO施肥量の()内は3年目までの値を示す。

は、MgOで6(8)kg施用した区で5年間の平均乾物収量指数は109であった。牧草のMgO含有率は(図一5)、Ti, ラジノクロバ(以下Lc)ともMg施肥量の増加に伴って上昇し、施肥量が6(8)kgまでの上昇が著しかった。すなわち、Mg施肥量が6(8)kgの処理区において牧草が安定収量を示すとともに、Mg含有率の向上が明らかであった。その時の土壤の置換性MgOの推

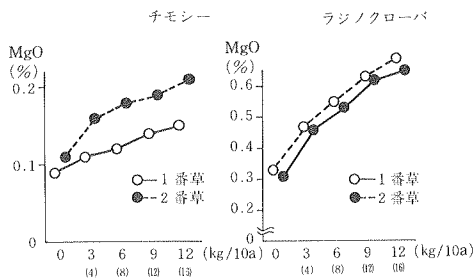


図5 牧草体MgO含有率(2-6年平均値)
()内の施肥量は3年目までの値を示す。

移は(表一10)、1, 2年目を除いて置換性MgOで20~25mgの範囲にあり、当値が牧草生育を維持するための適正値であることを示唆した。この点を確かめるために、本試験の結果をもとに土壤の置換性MgO含量と牧草のMgO吸収量との関連についてみた(図一6)。牧草のMgO吸収量は

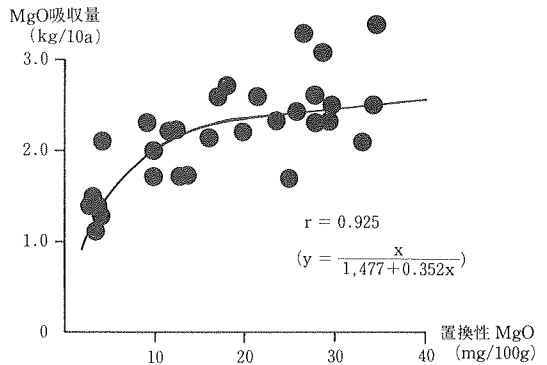


図6 土壤の置換性MgO含量と牧草のMgO吸収量

表10 土壌の置換性 MgO 含量の推移及び牧草の Mg 吸収量

MgO (Kg/10a) 年次	置換性 MgO (mg/100g)						6ヶ年合計 吸収量 (kg/10a)	利用率* (%)
	1	2	3	4	5	6		
0	4.1	3.9	3.4	3.3	2.9	2.6	8.8	
3(4)	9.1	9.7	13.6	13.1	12.4	15.6	11.7	14
6(8)	11.5	9.7	19.6	24.8	21.6	25.7	13.1	10
9(12)	18.0	23.4	29.5	29.3	28.2	34.0	15.4	11
12(16)	17.0	27.6	27.6	32.8	26.4	34.2	16.3	9

* (各処理区 Mg 吸収量 - Mg・O 区吸収量) / 施肥量 × 100
() 内の施肥量は 3 年目までの値を示す。

土壌の置換性 MgO が 20mg 程度でほぼ一定のレベルに達しており、上述の結果及び試験-1 (図-2) とほぼ一致した。これらの結果を総合すると、牧草の安定生産を維持するために必要な土壌の置換性 MgO の適正値は 20mg/100g 程度であると考えられた。

なお、維持管理のための Mg 施肥は、造成 (更新) 時に Mg 含量を適正値まで富化した後、年次の経過に伴う損失分を補給し、土壌の Mg レベルを維持することが基本と考える。本試験で土壌の Mg 含量がほぼ一定の水準となったのは、Mg 施肥量が 3 (4) kg の場合であり、当該区では牧草による Mg 利用率が最も高い値を示した。このことから、造成時に適正値まで富化された後の Mg 施肥量は、年間に 10a 当り MgO で 3 ~ 4 kg 必要と思われた。また、追肥用 Mg 肥料について、その形態の違いによる肥効の発現を比較したところ (表-11)、く溶性形態の Mg 肥料が他に比べて緩効的であった程度で明らかな差はみられなかった。

表11 土壌の置換性 MgO 含量の推移及び牧草の MgO 吸収量

Mg 年次 肥料	置換性 MgO (mg/100g)				3ヶ年合計 吸収量 (kg/10a)	利用率* (%)
	1	2	3	4		
無施用	2.5	4.1	2.9	2.3	4.9	
硫マグ	4.1	5.9	8.0	11.2	7.2	19
水マグ	4.7	10.5	7.6	12.0	7.4	21
ようりん	5.4	6.8	7.8	10.3	6.9	17

* (各区 MgO 吸収量 - 無施用吸収量) / 施肥量 × 100

IV 総合考察

根釧地方の作土を構成している火山性土は、各種養分の天然供給量に乏しい⁹⁾うえに、冬期間は寡雪であるため土壌凍結が著しく、養分が流亡し易い自然条件下にある。一方、当地方の主幹草種であるチモシーは、養分不足に対する耐性に弱く、チモシー主体草地における土壌養分の低下は他の草種の侵入を促し、植生の悪化を招くことが知られている¹⁴⁾。すなわち、当地方で草地の安定維持を図るためには、施肥管理が重要な位置を占めるものと考えられる。このような背景の中で、従来は問題にされていなかった Mg について、牧草生育ばかりではなく、家畜飼養の面からも施肥の必要性が指摘されるようになってきた^{7,8)}。

根釧地方の採草地を対象に行った実態調査では⁶⁾、置換性 MgO が 10mg 以下の低苦土草地在全体の 49%、また、5 mg 以下の極低苦土草地在が 8% もみられ、その分布は内陸部を中心に管内の全域に及んでいた。一方、乳牛の起立不能症候群が多発傾向にあり、その原因の一つとして放牧期における牧草体の無機成分含量やその不均衡が上げられている^{10,11)}。そして、本症の一部は低 Mg 血症によるグラステナニー様症状^{12,13)}として診断されており、疾病が多発する農家では牧草中の苦土含量が低いことが認められている⁷⁾。このように、当地方では土壌の苦土含量の不足によるとみられる弊害が牧草を介して家畜の健康にまで及んでおり、苦土肥沃度の向上は重要な課題になっている。

土壌の苦土肥沃度改善のためには、まず、土壌の苦土含量と牧草生育との関連を明らかにするとともに、牧草の安定生産と質的向上を図るための総合的な指針が必要である。

本試験では、牧草生育に必要な苦土含量の下限値及び適正值を設定し、適正值を維持するための具体的な施肥法について検討した。

土壌の苦土含量が不足する場合には、牧草生育が抑制されるとともに苦土欠乏症が発現する。牧草の苦土欠乏症の現われ方は草種によって異なり、イネ科牧草よりもマメ科牧草で症状が著しく、欠乏に伴う減収割合も大きい。このことは、混播草地で土壌の苦土が不足する時は、まずその影響がマメ科牧草に現われることを示しており⁹⁾、草地の植生安定のために苦土が果す役割の大きいことを示唆した。また、同じイネ科牧草の中でも草種によって苦土欠乏症の発現に違いがみられた。チモシーは苦土欠乏症が発現し易くその症状は典型的なクロロシスとして認められた。これに対して、オーチャードグラス、メドウフェスクでは苦土欠乏症の発現は極低苦土土壌の場合に限られており、症状の現われ方もチモシーほど明らかではなかった。このような差は、各牧草体の苦土含量及びその内容に関連があるものと思われる。牧草体内における苦土のうち葉緑素を構成するMgの割合は約1割で、多くの部分は水溶性形態として存在しているものといわれている^{4,15)}、苦土含量の少ない草種が苦土欠乏に陥った場合、葉緑素を構成している苦土が容易に低減するためクロロシスの発生が引き起されるものと思われる。これに対して、苦土含量の多い草種では、苦土欠乏の影響が葉緑素を構成するMgに達するまでには相当な時間を要するものと推察される。このことが、草種による外観的な苦土欠乏の発現に差を生ずる一因になっているものと考えられた。なお、各草種とも明らかな苦土欠乏症が認められたのは、土壌の置換性MgOが5 mg/100g以下の場合で、その時の牧草体MgO含有率はチモシーで0.15%以下、オーチャードグラス0.20%以下、メドウフェスク0.25%以下、アカクローバ0.30%以下であった。また、置換性MgOが5~10mgでは外観的な欠乏症が発現しないまでも牧草収量が不安定な場合もみられ、10mg以下では潜在的な苦土欠乏に陥っていることを伺わせた。すなわち、正常な牧草生育を維持するためには、置換性MgOとして10mg/100g以上必要であることを現わした。

牧草の質的向上を図るうえで苦土含有率を高めることは家畜栄養学上大切なことである^{11,16)}。牧

草の苦土含有率は土壌の苦土含量を反映するが、その反応は草種によって傾向を異にする^{17,18)}。その代表的な例としてチモシーとオーチャードグラスを比較した場合、チモシーでは苦土施肥に伴う牧草体苦土含有率の上昇が小さいのに対し、施肥反応が敏感なオーチャードグラスでは施肥に伴う含有率の上昇が明らかである。しかし、両草種とも土壌苦土含量の上昇に伴う収量増加は20~40 mgで頭打ちの傾向がみられ(図-1)、高いレベルにおける含有率の上昇は、いわば贅沢吸収に相当するものと考えられた。

また、当地方の主幹牧草であるチモシーを対象に、牧草生育に必要な土壌の苦土含量を検討した。その結果、ポット試験及び圃場試験ともほぼ同様の傾向を現わした。すなわち、ポット条件におけるような牧草生育が旺盛な場合でも、牧草の苦土吸収量は置換性MgOが20mg/100g程度で一定レベルに達しており、当値は牧草の安定生産を図るうえで必要な適正範囲であり、施肥を行うに当たっての基準になるものと思われた。

以上、土壌の苦土含量の絶対量の不足が苦土欠乏を発現させる場合について述べてきたが、作物に苦土欠乏が発現する条件としては、苦土吸収が他の成分によって阻害される場合が提げられる^{3,4,5)}。本試験でもイネ科、マメ科両牧草の苦土含有率はカリ施肥量の増加に伴って低下した。特に、マメ科牧草ではその影響が収量にまで及んでおり、カリによる苦土吸収の抑制が明らかであった。カリ供給力の劣る当地方の火山性土壌では、一般の施肥管理の下ではカリ過剰による苦土欠乏はほとんど発生しないものと思われるが、家畜の糞尿が常時還元される牧草地ではその恐れが生ずる。なお、各草種とも苦土欠乏症が発現した時の土壌のK/Mg(m, e)は、3以上の値を示し、他の作物で欠乏症発現の指標として使われてきた当値^{3,5)}が草地においても適用できることを現わし、施肥バランスを考えるうえで参考になるものとみられた。

次に、具体的な施肥管理を検討するに当たって、更新時と維持段階に分けて考えてみた。

まず、更新時の施肥は土壌の肥沃度を一定レベルまで高めるためのものであり、適正值(置換性MgOで20mg/100g程度)を目標に改良することが望ましい。管内の標準的な土壌である黒色火山

性土(置換性 MgO 含量 5 mg/100g 以下, 仮比重 0.68)を対象に, 深さ 15cm までを改良することを考えると, 10a 当り MgO で 20kg 程度の施肥が必要である。草地は一度造成されると, 耕起することなく長期間利用するので施用する苦土資材は肥効の持続性が要求される。そのため流亡し易い水溶性形態のものより, 比較的持続性のあるく溶性形態のものが適当と思われた。具体的な資材の選定に当っては, 当地方の土壤はりん酸や石灰に不足する草地が多いので, りん酸が不足する土壤に対しては苦土を含みりん酸質資材を, また石灰が不足する場合には苦土を含む石灰質資材を用いるなど, 土壤診断に基づいて他の要素を考慮した資材の選択が必要であろう。

一方, 苦土欠乏に起因した低収草地であっても, 経営的配慮から草地更新が困難な場合は, 応急対策として表面施肥による苦土の補給が必要となってくる。その場合, 収量, 含有率の向上等からみて 10a 当り 6 kg 以上の施肥が必要であり, 資材は水溶性形態とく溶性形態の苦土肥料を併用するのが望ましいと考えられた。

以上, 低苦土草地に対する施肥法について述べてきたが, 牧草による収奪と溶脱により年次の経過とともに土壤の苦土含量は低下する。そのため, 牧草生産の安定維持を図るためには, 追肥による補給が不可欠である。

維持段階の草地に対する施肥は, 土壤の苦土含量の減少分を補充し, 適正値を維持することが基本と考えられる。チモシー主体の採草地では, 生育が旺盛な場合でも年間の MgO 収奪量は 10a 当り 2~3 kg である。また, 毎年苦土を 3~4 kg 連用することで土壤の苦土レベルがほぼ一定の値を示すことがわかった(表-10)。これらを総合すると, 一度適正値まで富化された後の施肥量は, 年間に 10a 当り 3~4 kg 施用するのが適当と思われた。なお, 連用した場合には, 施用する苦土肥料の形態の違いによる差はほとんど認められなかった。

また, 年次の経過に伴う表層土壤の酸性化は, 塩基類の動向に影響を及ぼすことが知られている¹⁹⁾。根釧農試の場内圃場で行った試験でも, 土壤の置換性石灰と苦土の間に正の相関関係が認められ, 施用された苦土の動向が pH 及び土壤の石灰含量に左右されることを現わしており, 土壤苦土

を保持するためには土壤の石灰含量を適正に維持することも大切である。

なお, 本試験は採草型草地を対象に行ったが, 放牧地に対する苦土施肥を考える場合には, 還元される糞尿の評価を加味する必要がある。

謝 辞 本試験のとりまとめに当り, 御指導, 御校閲をいただいた道立中央農試化学部長, 高尾欽弥氏, 同環境保全部長, 大崎玄佐雄氏に厚く謝意を表す。また, 本試験を始めるに当り貴重な御助言をいただいた山口宏専技(現, 道南農試)に深く感謝する。

引用文献

- 1) 山崎伝, 上敷領末男, 寺島政夫. "作物の苦土欠乏と苦土欠乏土壤". 東海近畿農試報告. 3, 73-106 (1956).
- 2) 黒沢順平. "岩手県下の火山灰土壤の分類とその生産増強対策". 岩手県農試研究報告. 14, 22-40 (1970).
- 3) 森哲郎, 渡辺公吉, 藤田勇. "北海道十勝火山性高丘地土壤に対する苦土施用法に関する研究, 1, 菜豆の生育, 収量における苦土, 加里および石灰の相互関係について". 北海道農試彙報. 87, 1-17 (1965).
- 4) 長野県農業試験場. "作物の苦土欠乏について". 長野県農試報告. 21 (1955).
- 5) 五十嵐孝典, 新田一彦, 沢田泰男, 池盛重, 吉岡真一, 庄子貞雄. "北海道の各種土壤におけるえん麦の Mg 対 K 用量試験". 北海道農試彙報. 84, 1-9 (1964).
- 6) 大村邦男, 赤城仰哉. "根釧火山灰草地の施肥法改善, 1, 採草地における土壤と牧草の無機組成の実態". 北農. 48(12), 20-37 (1982).
- 7) 佐藤彰. "根室地区の乳牛の代謝障害, 特に根室内陸において多発化の傾向にある乳牛の起立不能症候群について". 北海道獣医師会雑誌. 21, 17-19 (1977).
- 8) 小倉紀美, 佐野信一. "北海道根室地方産粗飼料の無機成分含量". 北海道立農試集報. 36, 69-76 (1977).
- 9) 大村邦男, 木曾誠二, 赤城仰哉. "火山灰草地における施肥管理が草地の経年変化に及ぼす影響". 北海道立農試集報. 52, 65-75 (1985).
- 10) 米村寿男. "家畜の栄養障害に関する研究". 家畜衛生試研報. 62, 203-221 (1971).
- 11) 原田勇, 篠原功. "土壤と牧草栄養からみた牛の起立不能症". 畜産の研究. 31, 32-36 (1977).

- 12) 村上大蔵, 内藤善久, "牛のグラステタニーに関する研究". 日獣誌, **34**, 324-331 (1972).
- 13) Metson, A.J.; Saunders, W.M.H.; Collie. T. W and Graham. V.W. "Chemical composition of pastures in relation to Grass-tetany in beef breeding cows". N, Z, Jl, Agric Res. **9**, 410-436 (1966) .
- 14) 大村邦男, 赤城仰哉, "採草地における植生推移と土壤養分環境の関連性について". 北海道立農試集報, **53**, 33-42 (1985).
- 15) Todd, J.R. "Magnesium in forage plants. II. Magnesium distribution in grasses and clovers" Agric. Sci. **57**, 35-38 (1961) .
- 16) 川島良治, "牛のミネラル栄養". 畜産の研究, **23**, 275-279 (1969).
- 17) 尾形保, 小林義之, 田野良衛, "草類のミネラル組成に及ぼす土壤条件と肥培管理に関する研究". 草地試研報, **2**, 20-27 (1973).
- 18) 北海道立根釧農試土壤肥料科, "土壤肥料に関する成績書昭和52年度", 20-32 (1977).
- 19) 関口久雄, 大村邦男, 赤城仰哉, "根釧火山灰草地に対する苦土施肥法". 北農, **49**(5), 9-18(1982).

Development of Magnesium Deficiency Disease of Meadow Grass and Fertilization Measure

Kunio OHMURA*, Hisao SEKIGUCHI** and Takashi SEKIJO***

Summary

The study was conducted on the correlation between the Mg-content of soil and the growth of meadow grass to clear the lower limit value of the Mg-content necessary for the growth of meadow grass while setting a proper value for keeping stable production. In addition, an index to a concrete fertilization method was realized on the basis of the proper value.

The development mode of a Mg-deficiency disease showed a tendency different according to the kind of grass but the yield was unstable in all kinds of grasses when exchangeable MgO in soil was 10mg/100g or less and the latent advance of the Mg-deficiency disease was expected.

That is, it was considered that at least 10mg or more Mg was necessary in order to keep the normal growth of the meadow grass. Furthermore, the deficiency disease was cleared in the MgO-content of 5 mg or less in all kinds of grasses and a marked decrease in the yield was shown in the MgO-content of 2 mg or less.

The Mg-content in soil (proper value) necessary for attaining not only the stable production but also the enhancement of the MgO-content of the meadow grass was about 20mg/100g as exchangeable MgO and this value was considered to be set as a standard in the case of fertilization.

The Mg-absorption of the meadow grass showed a decrease tendency with the increase in K-fertilization quantity and antagonism was confirmed between both components. Furthermore, a K/Mg ratio (m.e) was 3 or more in all kinds of grasses when the Mg-deficiency disease was developed.

It is desirable to improve Mg-fertilization at the time of renovation on the basis of the proper value. In this case, it was considered that fertilization of about 20kg/10a as MgO was necessary in order to enrich low Mg-soil up to the proper value and it was found to be proper to use Mg-fertilizer in a citric acid-soluble form at this time.

On the other hand, improvement by surface fertilization was effective with respect to a Mg-deficient existing meadow.

In this case, it is advisable to together use water-soluble and citric acid-soluble type Mg-fertilizers.

The necessary fertilization quantity to a existing meadow after enriched up to the proper value was considered to be 3~4kg/10a, year as MgO with due regard to the intake amount by meadow grass, outflow loss or the like.

*Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13, Japan

**Rice Crop Division, Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Iwamizawa, Hokkaido, 069-03, Japan

***Mitsubishi Chemical Industries Limited, Chuo, Sapporo, Hokkaido, 060, Japan