

アルファルファとオーチャードグラスのカルシウム吸収特性

原田 勇・落合 英司 (酪農学園大学)

The absorption characteristic of calcium by Alfalfa and Orchardgrass

Isamu Harada and Eiji Ochiai

(Rakuno - Gakuen University)

結 論

カルシウムは動植物の体内でリン酸を移転させる、生体内の触媒、キナーゼ酵素に作用して、その活性を発現させるのは一つの例であるが、各種の酵素反応に作用して、その働きを完成させる。しかしこのキナーゼ酵素にみられるような、活性をたかめるカルシウムの力は、Caイオンとして単純に作用するわけではない。Caイオンを要求するキナーゼ酵素の大半はカルモデュリンと呼ばれる四原子のCaを結合した金ぞく蛋白質で、その分子量は1万7,000であるといわれている。

原生動物から、動物・植物界に広く存在するこのカルデモデュリンは、カルシウム作用の仲介因子として近年注目を浴びるようになった金ぞく蛋白質である³⁾。

このような重要な働きをするカルシウムは、植物体内では一般にCaイオンの他、炭酸・リン酸・硫酸カルシウム、ペクチン酸・フィチン酸カルシウム、蔞酸・酒石酸カルシウムなどにな

って存在する⁴⁾。

最近カルシウムチャンネル機構が次第に明らかになり、生体内におけるカルシウムの役割は一層重要になりつつある⁵⁾。

しかしながら、牧草のカルシウム吸収特性については、家畜のミネラル栄養の立場から研究調査されたものは決して多いとはいえない^{2, 6, 7)}。

そこで、本研究では、土壌の種類と施肥処理の相違によるアルファルファ (Medicago sativa L.) とオーチャードグラス (Dactylis glomerata L.) のカルシウム吸収特性について検討した。以下にその概要を記述する。

材料及び方法

- 1) 供試土壌及び供試植物、供試土壌は野幌
洪積性重粘土壌、植苗粗粒火山性土壌、美
唄高位泥炭土壌、および篠津沖積土壌であ
る。この4種の供試土壌に施肥処理として
堆厩肥+完全化学肥料区も (Manure and

Complete Fertilizer : MCF区)、完全化学肥料区 (Complete Fertilizer : CF区)、硫酸系完全化学肥料区 (SO₄系区)、塩素系完全化学肥料区 (Cl系区)、無窒素区 (-N区)、無カリ区 (-K区) および無肥料区 (Non Fertilizer : NF区) の8処理区を設け (2連) 処理面積は 3.0 × 3.3 m、畦間30cm11条の単条播とした。その配置はランダムとした。

供試植物はアルファルファ (Medicago sativa L. 品種名 : デュービー 2kg/10a) とオーチャードグラス (Dactylis glomerata L. 品種名 : フィロックス 2kg/10a) を用い、5ヶ年間栽培した。施肥量については、Table 1のように窒素は750~1000、リン酸は730~1280、カリにおいては750~2400、石灰は1200~6000、そして苦土640kg/haとした。微量元素肥料のFETは40kg/ha、堆厩肥は15t/haである。

は100~120cmまで、2年目以降は表層10cmの深さで採取、風乾したものを2mmメッシュの篩にかけたものを分析に供した。

3) 分析方法

窒素 (N) は土壌、植物共に、硫酸分解した後、セミマイクロケルダール法により測定した。土壌の有効態リン酸 (P₂O₅) についてはBray's No.2法により抽出しFisk Subbarow法に従って比色法により測定した。カリ (K₂O) とナトリウム (Na₂O) の分析法については1規定酢酸アンモニウム (pH 7.0) を用いて得た抽出液を、炎光度法により測定した。カルシウム (CaO) とマグネシウム (MgO) の分析法は、さきのカリ、ナトリウムの抽出液をEDTAを用いたキレート滴定法により各々分析した。

植物の分析は以下のようである。乾燥試料をマッフル炉で灰化し、水 : 塩酸 (1 : 1) で硅酸分離後の濾液を、リン酸、カ

Table 1. Amounts of fertilizer used

Nitrogen (N)	Phosphate (P ₂ O ₅)	Potassium (K ₂ O)	Calcium (CaO)	Magnesium (MgO)	Trace elements	Manure
Urea Ammonium sulfate Ammonium chloride	Super-phosphate Ammonium phosphate	Potassium sulfate Potassium chloride	Calcium carbonate	Magnesium carbonate Magnesium sulfate Magnesium chloride	F.T.E.	Cattle feces
750-1000kg/ha	730-1280kg/ha	750-2400kg/ha	1200-6000kg/ha	640kg/ha	40kg/ha	150t/h

2) 試料の採取方法

植物については、播種当年においては2番草まで、2年目以降は3番草までをアルファルファの開花始期を目安に、地上5cmのところ刈り取り、酵素活性を止めるため90℃で1時間処理した後、70℃で48時間通風乾燥し、直ちに粉碎したものを分析に供した。土壌においては、供試土壌

リ、ナトリウム、カルシウムおよびマグネシウムの分析に供した。また土壌・植物共に、銅、マンガン及び亜鉛の微量元素については、0.1N-HCl抽出により原子吸光法によって分析した。

また硝酸態窒素 (NO₃-N) およびフッ素 (F) については、イオンメーター法を用いて分析した。

結果および考察

カリが少ないが、pHは良好である。また

1) 供試土壌の特性

リン酸が第1層を除いて少なく、カルシウ

Table 2. Chemical characteristics of soil used. (Diluvial soil)

Horizon	pH		EC μS/cm	T-N %	Available P ₂ O ₅ mg/100g soil	Exchangeable Bases				Trace elements ppm			Fluorine F ppm
	H ₂ O	KCl				K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	
1st(0-20cm)	5.95	4.98	88	0.35	0.7	5.5	5.5	192.0	17.2	3.0	22.2	0.7	6.8
2nd(20-40cm)	5.65	4.40	68	0.22	0.7	2.5	9.5	106.5	2.0	1.4	7.1	0.4	6.0
3rd(40-60cm)	5.43	3.95	53	0.07	0.7	6.5	13.8	150.0	30.5	5.2	6.7	1.2	5.0
4th(60-80cm)	5.78	4.08	59	0.05	0.7	3.5	17.5	184.5	58.9	6.2	16.0	1.7	4.7
5th(80-100cm)	6.44	4.40	55	0.04	1.5	5.0	22.5	205.5	77.1	6.8	18.9	1.9	4.0

Table 3. Chemical characteristics of soil used. (Volcanic soil)

Horizon	pH		EC μS/cm	T-N %	Available P ₂ O ₅ mg/100g soil	Exchangeable Bases				Trace elements ppm			Fluorine F ppm
	H ₂ O	KCl				K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	
1st(0- 43cm)	6.26	5.46	74	0.12	18.6	4.0	3.0	60.9	6.0	2.9	23.9	4.0	3.9
2nd(43- 80cm)	6.47	6.03	56	0.03	2.4	2.6	2.0	15.4	3.5	0.9	5.3	5.1	2.5
3rd(80-100cm)	6.19	5.40	128	0.25	0.1	13.3	6.5	175.3	9.5	4.3	8.9	2.6	1.6
4th(100-120cm)	6.23	5.70	74	0.03	0.7	2.4	2.0	17.5	1.0	0.9	6.6	1.7	1.2

Table 4. Chemical characteristics of soil used. (Peat soil)

Horizon	pH		EC μS/cm	T-N %	Available P ₂ O ₅ mg/100g soil	Exchangeable Bases				Trace elements ppm			Fluorine F ppm
	H ₂ O	KCl				K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	
1st(0-20cm)	3.85	2.9	393	1.90	2.0	13.7	23.3	51.1	8.0	8.4	9.4	0.5	-
2nd(20-40cm)	4.47	3.5	369	2.07	0.5	9.0	22.0	179.2	18.0	8.4	18.4	0.3	-
3rd(40-60cm)	4.47	3.8	418	1.62	0.7	7.9	19.0	180.6	51.0	7.5	25.0	0.4	-
4th(60-80cm)	4.60	3.7	409	1.70	0.3	11.4	18.3	135.3	81.0	8.8	25.0	0.8	-
5th(80-100cm)	4.60	3.7	489	1.70	0.4	19.2	32.5	173.6	87.0	8.4	25.0	0.9	-

供試験土壌の特性は、Table 2～5のとおりである。洪積性重粘土壌では、リン酸 (P₂O₅)、カリ (K₂O) が少なくまたカルシウム (CaO)、マグネシウム (MgO)、カリ、微量元素では第2層で極めて低くなっている。銅 (Cu) については第2層を除き下層へ行くほど増加の傾向が見られる。

粗粒火山性土壌ではマグネシウムおよび

ムも第3層を除けば極めて低くなっている。銅については第3～4層で低くなっており、この土壌では土層による含有率のばらつきが非常に大きい。

Table 5. Chemical characteristics of soil used. (Alluvial soil)

Horizon	pH		EC μS/cm	T-N %	Available P ₂ O ₅ mg/100g soil	Exchangeable Bases				Trace elements ppm			Fluorine ppm
	H ₂ O	KCl				K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	
	mg/100g soil						ppm						
1st(0- 30cm)	6.38	5.09	57	0.23	7.3	9.9	6.4	296.6	60.1	5.8	25.4	4.0	10.9
2nd(30- 50cm)	6.82	5.09	45	0.14	2.9	6.4	7.7	311.4	94.8	5.3	21.5	4.5	4.4
3rd(50- 75cm)	6.44	4.91	52	0.08	4.7	4.8	7.9	196.8	106.2	3.8	19.8	4.8	2.7
4th(75-100cm)	6.53	4.88	47	0.13	2.2	6.4	8.0	216.2	170.3	4.4	21.9	5.7	3.5
5th(100-120cm)	6.58	4.84	56	0.11	2.4	6.2	9.5	196.6	183.9	3.9	18.6	5.8	3.5

泥炭土壌ではpH、リン酸が他の土壌に比べ特に低く、pHは通常肥沃土とされる土壌の約半分、全窒素およびECが極めて高くなっている。またマグネシウム含量は下層へ行くほど増加の傾向が見られる。銅については全層にわたり含量は低く、第1層を除けば下層へ行くほど増加の傾向が見られる。

沖積土壌では、pH、全窒素、カルシウムおよびナトリウムが良好であった。またカリ、リン酸がやや低く、マグネシウムが多い傾向が見られる。銅についてはこの4種の土壌中最も含量が高く下層へ行くほど増加の傾向が見られた。

2) 乾物収量

乾物収量の概要は、Table 6に示すようであった。処理区別にみた場合MCF区が最も高くアルファルファで平均37.8、オーチャードグラスで46.9 t/ha/5年であった。また最低はNF区でアルファルファにおいて平均16.3、オーチャードグラスが12.5 t/ha/5年で、MCF区を100とした場合アルファルファが43と1/2以下に、オーチャードグラスが27と1/4となり、大きな差異が認められた。

土壌種類別にみた場合沖積土壌が最も高く、アルファルファ38.3、オーチャードグラスで46.6 t/ha/5年であった。また最低は、泥炭土壌で20.1、26.6/ha/5年であった。

Table 6. Dry matter yield of forages.

(t/ha/5 years)

Treatment of fertilizer	Diluvial soil		Voleanic soil		Peat soil		Alluvial soil		Average		Rate by treatment of	
	A l	O r	A l	O r	A l	O r	A l	O r	A l	O r	A l	O r
Manure and complete fertilizer	39.1	54.5	34.1	40.4	34.5	45.0	43.3	47.3	37.8	46.9	100	100
Complete fertilizer	40.9	51.8	29.1	36.8	29.1	39.4	40.6	43.7	35.6	42.9	94	92
Sulfur	35.6	52.1	32.4	37.8	28.5	34.4	36.9	43.5	34.7	44.2	92	94
Chlirine	37.7	50.5	30.9	33.3	29.0	35.7	24.5	37.2	32.5	39.2	79	84
Non nitrogen	37.8	35.1	30.8	14.5	27.1	25.3	35.2	17.9	32.7	23.2	87	50
Non phosphate	36.2	49.5	27.6	33.0	4.8	9.5	30.3	20.5	25.1	28.1	66	60
Non potassium	37.9	44.6	27.0	21.8	7.7	14.2	26.1	22.1	24.3	25.7	64	55
Non fertilizer	38.3	34.7	13.4	18.8	0	0	13.7	13.2	16.3	12.5	43	27
Average	38.3	46.6	28.5	29.6	20.1	26.6	31.3	30.7	39.9	33.8	79	70
Rate by soil	100	100	74	63	52	57	81	65	78	72		

A l : sefalfa or : Orchardgrass

沖積土壌を100とした場合でみると、アルファルファが52.5、オーチャードグラスが57.1と半分程度となっていた。

3) 土壌種類別による植物体中のカルシウム (Ca) 含有率

Table 7. Calcium concentration forages grown on different soils. (%) n=112

	Diluvial soil	Volcanic soil	Peat soil	Alluvial soil
Alfalfa	2.00 ±0.63	1.89 ±0.40	1.66 ±0.37	21.1 ±1.08
Orchaedgrass	0.48 ±0.18	0.48 ±0.20	0.44 ±0.13	0.57 ±0.48

洪積性土壌、粗粒火山性土壌、泥炭土壌および沖積土壌に生育したアルファルファのカルシウム含有率はTable 7のようであった。すなわち平均2.00、1.89、1.66、並びに2.12%でこれらの土壌では差異は見られなかった。オーチャードグラスは0.48、0.48、0.44および0.57%でアルファルファ同様差異は見られなかった。

4) 施肥処理区別による植物体中のカルシウム (Ca) 含有率

Table 8. Calcium concentration in plants grown with different fertilization (%)

	Manure and complete fertilizer n=53	Complete fertilizer n=53	Sulfur n=53	Chlorine n=53	Non nitrogen n=53	Non phosphate n=53	Non phosphate n=53	Non fertilizer n=42	Average S. D.
Alfalfa	1.80 ±0.72	1.83 ±0.74	1.84 ±0.77	1.87 ±0.63	1.84 ±0.70	1.81 ±0.43	2.28 ±0.62	1.51 ±1.04	1.85 ±0.20
Orchaedgrass	0.51 ±0.35	0.49 ±0.27	0.51 ±0.37	0.46 ±0.28	0.46 ±0.17	0.45 ±0.23	0.56 ±0.25	0.35 ±0.26	0.47 ±0.06

施肥処理の相違によるアルファルファおよびオーチャードグラスのCa含有率はTable 8のようであった。アルファルファのCa含有率の平均は1.85±0.20%でNF区が1%レベルで有意に低く1.51%である。オーチャードグラスの平均は0.47±

0.06%でアルファルファ同様-P区及びNF区で低かった。

両植物でNF区の含有率が低かったCaの供給すなわち施用がなされていないため、植物の吸収により低下したものと考えられた。

5) 刈り取り時期による植物体中カルシウム (Ca) 含有率

Table 9. Calcium concentration in different cutting forages.(ppm)

	1st cutting plants n=155	2nd cutting plants n=155	3rd cutting plants n=124
Alfalfa	2.05±0.92	1.74±0.52	1.95±0.45
Orchaedgrass	0.46±0.40	0.50±0.20	0.51±0.14

アルファルファとオーチャードグラスの刈り取り時期別Ca含有率はTable 9のようであった。アルファルファの植物体中Ca含有率は1番草で2.05±0.92、2番草で1.74±0.32、3番草で1.95±0.45でオーチャードグラスでは0.46±0.40、0.50±0.20そして0.51±0.14%であった。これらの結果から両牧草共、刈り取り時期による差

異は見い出せなかった。

6) 植物体中のカルシウム (Ca) 含有率の草種間差

5年間の各土壌に生育したすべての植物体のCa含有率の平均はTable 10のようであった。すなわちアルファルファで

Table 10. Interspecific different calcium absorption by plants.(%)

	Alfalfa n=434	Orchardgrass n=433
Average	1.91±0.69	0.49±0.28

1.91±0.69%でオーチャードグラスでは0.49±0.28%であり明らかにアルファルファのCa含有率が高く、オーチャードグラスのおよそ4倍であった。

Table 11. Contents of Exchangeable Ca (CaO) on Different Fertilizers and

Plots	Diluvial	Volcanic	Alluvial	Peat Soil
Manure and Complete	157±19 (75)	68±9 (43)	256±13 (92)	123±59 (11)
Barnyard Fertilizer	230±66 (112)	175±18 (110)	277±23 (100)	1009±210 (87)
Complerte Fertilizer	209±35 (100)	159±14 (100)	278±14 (100)	1159±143 (100)
So. Fertilizer	167±48 (80)	143±49 (90)	242±30 (87)	945±317 (82)
Cl Fertilizer	136±53 (65)	167±36 (105)	244±40 (88)	1031±276 (89)

*Cao mg/100g dry soll. "() number is ratio as 100 for fertilizers value.

7) 跡地土壤カルシウム (Ca) 含量

4種類の跡地土壤の置換性Ca含量はTable 11のようであった。沖積土壤で有意に高くNF区でも256mgであり、MCF区では277mgであった。また洪積性土壤では157mgと230mgであった。しかしながら火山性土壤や泥炭土壤では低く、無肥区で68mg、123mgと低かったが、MCF区は175mg、1009mgとなっていた。またこれらの値を比率で見ると、洪積性土壤ではCF区100に対し

積性土壤や泥炭土壤にも認められたが、火山性土壤では認められなかった。

施肥法の相違による跡地土壤の置換性CaOはTable 12のようにMCF・-P>CF・-K・-N>SO₄>C1>NF区の関係でその全平均は391.2±382.6mg/100g乾土であった。

考 察

以上のことを総合的に考察するに、両牧草の生育は土壤のカルシウム含量に対応して、増減するかどうかは不明である。しかしながらカルシウムの施肥がなされないNF区においてはカルシウムの含有率の低下が認められる。また一定量のカルシウム施肥を行えば、その低下は認められない。これらのことから、一定量のカルシウムの補給ということは、マメ科草ばかりでなく、イネ科草においても必要であると考えられる。また刈り取り毎によるカルシウムの変化は両牧草において、殆ど認められないことから、カルシウムの施用時期を考えて補給するというよりは、土壤の中に一定量以上のカルシウムが含有している状態を作ることが大切であると考えられる。しかしこのカルシウムの含有率について、マメ科草のアルファルファとイネ科草のオーチャードグラスを比較すると両牧草に明瞭な含有率の差異が生まれてくる。このことは牧草本来のカルシウム要求量の差異であると

Table 12. Calcium content in soil by fertilizer treatment. (%)

Non-fertilizer =40	Manure complete =40	Complete fertilizer =40	Non-nitrogen =40	Non-phosphate =40	Non-potassium =40	Sulfur =40	Chlorine =40	Average S. D.
147.1	461.1	447.1	442.3	470.2	450.1	405.1	368.0	391.2±382.6

てMCF区は112、SO₄系区とC1系区はそれぞれ80、65と低下してしていた。この傾向は沖

考えられるが、アルファルファが家畜の飼料として極めて有用な植物であることと無縁ではな

いと考えられる。

またこれらの両牧草を施肥法を変えて、5ヶ年間試作した跡地土壌を採取して分析してみると、NF区はカルシウムは明らかに低下しており、またMCF区はカルシウムの量が増大している。このことは土壌に供給されたカルシウムの量がMCF区において、他の区に加えた量よりプラス堆肥成分が増加していることに原因があると考えられるが、泥炭土壌ではこの傾向が見られない。この原因は今のところ不明であるが、総合的な良質な有機質の補給によって生育量が増大したためと考えている。ちなみに、泥炭土壌のCF区とMCF区の生育量の差は94 : 106とMCF区が収量増加となっている。

要 約

アルファルファとオーチャードグラスのカルシウム(Ca)吸収特性を明らかにするため、野幌洪積性重粘土壌、植苗火山性土壌、美唄泥炭土壌および篠津沖積土壌に、堆肥完全化学肥料区、完全化学肥料区、硫酸系完全化学肥料区、塩素系完全化学肥料区、無窒素系区、無燐肥区、無カリ区および無肥区の8施肥処理を行い、5ヶ年間栽培試験した。その得られた結果は以下のものであった。

- 1) 供試土壌のCaO含量は沖積397 > 重粘192 > 火山61 > 泥炭51mg / 100 乾土であった。
- 2) 土壌の相違による牧草中CaO含有率はA1で泥炭2.12 > 重粘2.00 > 火山1.89 > 沖積1.66%、0gでそれぞれ0.57 > 0.48 = 0.48 > 0.44%であった。
- 3) 両牧草の種間差はA1で1.91 ± 0.69、0gで0.49 ± 0.128%であり、刈取別、年次別、施肥処理別では無肥料区を除き差異がな

かった。

4) 施肥法の相違による跡地土壌の置換性CaOは堆+完化・-P > 完化・-K・-N > SO₄ > C1 > NF区の関係で、その全平均は391.2 ± 382.6mg / 100 g乾土であった。

謝 辞

本研究の分析結果は1980-1985年までの酪農学園大学土壌植物栄養学研究室の卒業論文学生の協力によるところが絶大であり、心より感謝申し上げます。また同大学の篠原功氏のご協力・ご支援によるところも多い。記して衷心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 原田 勇・近代酪農 第84号 健康の源、土のカルシウム (1984)
- 2) 原田 勇・良質牛乳生産のための土壌と牧草の栄養管理 (1991)
'90年代の日本酪農 P 7-25
- 3) Kakichi, S and R. Yamazaki, Proc. Japan Acad, 46, 387 (1970)
- 4) 熊沢喜久雄、植物栄養学大要 p 149 - 150 (1990)
- 5) 御子柴田克彦・三品昌実・井村祐夫・イオンチャンネルとレセプター、実験医学増刊、Vol. 10 No.6 (1992) 羊土社
- 6) Smith, Dale : Effects of potassium topdressing a low fertility silt loam soil on alfalfa herbage yields and composition and on soil KValues. Agron. J 67. 60-64 (1975)
- 7) 高橋達児・本邦草地の無機栄養および牧草の無機品質に関する諸問題11. 亜鉛 ; 日本草地学会誌 (1) 78-82 (1978)