

草地農業における無機 balance に関する研究 (第3報)

土壌の加里, 石灰および苦土 condition が牧草体内の
無機 balance におよぼす影響

篠 原 功*・原 田 勇*
(土壌肥科学研究室)

Studies on the Balance of Inorganic Elements in the Grassland Agriculture (Part 3)

On the balance of inorganic elements in the forage
on the quantitative condition of potassium,
calcium and magnesium in the soil.

Isao SHINOHARA* and Isamu HARADA*
(April, 1977)

I 結 論

草地農業において土壌, 飼料および家畜の栄養 balance はその農業が集約化され, 各種栄養素の循環が量的にも速度的にも増大するにしたがって次第に崩れてゆく恐れがある^{2,3,10,18)}。そこで, われわれはこの栄養 balance を制御するため, 無機 balance の研究に着手してきた。そしてこれまで, 第1報その¹⁴⁾, その²⁵⁾においては土壌の無機養分環境条件が牧草体内の無機 balance におよぼす影響について検討した。その結果オーチャードグラスおよびアルファルファにおける無機要素含量の変動範囲は土壌の無機養分環境に関連することを明らかにした。また第2報¹⁴⁾では牧草体内の無機 balance の変動と土壌および家畜の関連についての考察を試みた。その結果, 家畜をミネラルの過不足あるいは無機 balance の乱れによる佝僂病, あるいは骨軟症および grass tetany などの疾病から守るための土壌管理が必要であることを明らかにした。

また, 近年 grass tetany 発生の兆がみられるようになってきた¹¹⁾。Kemp ら¹⁰⁾によれば, これが grass tetany 発生の有力な要因の一つは牧草体内の $K/Ca + Mg(me)ratio$ の増大にあるとし, 1.40 以下の ratio が望ましいとしている。これに対し, われわれは, これまでの検討から, この ratio はオーチャードグラスの値が高く, 土壌の加里量の増大に伴い著し

* Lab. of Soil Science and Plant Nutrition, The College of Dairying, Ebetsu, Hokkaido, Japan.

く増大し最高 5.28 にも達し、また土壌の石灰および苦土の増大に伴ってこの ratio はやや低下することを明らかにした。しかし一方アルファルファのこの ratio は土壌の加里が増大しても最高 1.12 にとどまることを明らかにしてきた。しかしながら、この ratio を構成する加里、石灰および苦土の土壌中における要素相互間の量的関係がアルファルファやオーチャードグラスのそれらの含量におよぼす影響については未解決である。

そこで今回は、土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition と牧草体内の無機 balance の関係について検討した。そして牧草体内の無機 balance を家畜にとって安全な値とするための土壌管理法を明らかにしようと試みた。以下にその概要を記述する。

II 材料および実験方法

1) 供試土壌および牧草栽培法

供試土壌は酪農学園大学実験圃場の野幌重粘性洪積土壌である。この土壌の化学的特性は Table 1 に示すごとく、pH は H₂O で 5.85、N-KCl で 4.98 の酸性土壌である。そして土壌の窒素含量は total-N として 0.22%、土壌磷酸は Bray's No.1 の方法による有効態磷酸で

Table 1 Chemical characteristics of material soil

Kind of soil	pH		Total N in dry soil (%)	Available P ₂ O ₅ (mg/100g dry soil)	Exchangeable bases (mg/100g dry soil)			C.E.C (me)
	H ₂ O	N-KCl			K ₂ O	CaO	MgO	
Nopporo diluvial heavy clay soil	5.85	4.98	0.22	2.4	5.3	216	13.2	28.5

Table 2 Amount of fertilizer added to the soil

Basal fertilizer (g/0.25m ²)				treatments	
Total-N		5	}	Ammonium phosphate	
Available-P ₂ O ₅		7.5			
Exchangeable-K ₂ O	Control	0		Potassium sulfate	} 27 prots by cross level of Exchangeable bases
	Middle	2.5			
	High	7.5			
Exchangeable-CaO	Control	0	}	Calcium sulfate Calcium carbonate	
	Middle	50			
	High	100			
Exchangeable-MgO	Control	0	}	Magnesium sulfate Magnesium carbonate	
	Middle	7.5			
	High	20			

P_2O_5 として 2.4 mg/100 g 乾土であり、磷酸のやや少ない土壌である。また土壌の置換性塩基含量は 1 N-酢酸アンモニウム抽出で加里は K_2O として 5.3 mg/100 g 乾土で少ないが、石灰は CaO として 216 mg/100 g 乾土を含み中庸である。しかし苦土は MgO として 13.2 mg/100 g 乾土しかなく、やや少ない。

この圃場に 50 cm×50 cm の 0.25 m² 枠の 27 試験区を設けた。この土壌に Table 2 に示した施肥処理を行なった。すなわち施肥することによって土壌の加里、石灰および苦土の含量を 3 段階の相互組み合わせで変化させた。そして同年の 1970 年 5 月 24 日アルファルファを 2 条に播種して栽培し、同年 8 月 2 日地際から 5 cm を残して牧草の地上部を収穫した。また、オーチャードグラスは 1972 年春、同じ枠土壌からアルファルファを取り除き、Table 2 の施肥量のうち窒素と磷酸は前回と同量とし、加里、石灰および苦土は前の 1/2 量を施用して 5 月 14 日オーチャードグラスを 2 条に播種して栽培し、同年 7 月 29 日に地際から 5 cm を残して牧草の地上部を収穫した。収穫したいずれの牧草も 80°C で通風乾燥を行ない粉碎して化学分析に供した。

2) 分析法

本実験における土壌の分析は以下の方法によった。

- (1) pH の測定はガラス電極 pH メーター法¹⁷⁾。
- (2) Total-N の測定はマイクロケルダール法^{1,7)}。
- (3) 有効態磷酸の測定は Bray's No. 1 の方法および Fiske-SubbaRow の比色法^{8,16)}。
- (4) 置換性加里の測定は 1 N-酢酸アンモニウム (pH 7.0) 置換抽出法および炎光分析法^{1,9)}。
- (5) 置換性石灰および苦土の測定は 1 N-酢酸アンモニウム (pH 7.0) 置換抽出法および EDTA 法^{1,6)}。

また、牧草中の加里、石灰および苦土の測定は常法により灰化し、その珪酸分離液について加里は炎光分析法、石灰および苦土は EDTA 法により分析した^{1,15)}。

III 実験結果ならびに考察

1) 土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition が牧草の生育量におよぼす影響

木枠栽培における牧草の生育量は、アルファルファで、はじめ干ばつを受けたが、その後はおおむね良好な生育を示した。またオーチャードグラスの生育も順調に推移した。これら牧草の 1 番草の地上部乾物重は Table 3 および 4 のようである。

アルファルファの乾物重は土壌中加里量の増加に伴い一般に増大している。しかしこれが牧草生育土壌の石灰および苦土量が増加すると一定 level まで著しい乾物重の増大が認

められるが、さらに土壌の加里、石灰および苦土量が増加するとアルファルファの乾物重はやや減少する傾向を示している。このことはオーチャードグラスでもほぼ同様の傾向が認められた。そして、これらの土壌条件と牧草生育量の関係は前報の結果^{4,5)}を支持していた。

そこで、つぎに、このような生育量の変化を示した牧草の無機要素含量について検討する。

2) 土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition が牧草体内の無機要素含量におよぼす影響

Table 3. Influence of the cross level of exchangeable bases plus fertilizer in the soil at the seeding for dry matter and content of nutrient in the forage (alfalfa)

Content of exchangeable bases plus fertilizer added in the soil			Dry matter yield of forage (g/0.25m ²) alfalfa (1969)	Content of mineral nutrient in the forage		
K ₂ O	CaO (mg/100g dry soil)	MgO		K ₂ O (percent in dry matter)	CaO	MgO
5.3	216	13.2	19.7	0.80	3.42	0.54
5.3	216	43.2	29.4	1.20	3.19	0.66
5.3	216	93.2	32.5	1.50	2.97	0.60
5.3	416	13.2	43.0	1.63	3.47	0.36
5.3	416	43.2	34.2	1.15	3.75	0.54
5.3	416	93.2	19.0	1.35	2.72	0.66
5.3	616	13.2	22.0	0.95	3.30	0.48
5.3	616	43.2	36.1	1.03	3.47	0.54
5.3	616	93.2	27.8	1.23	2.97	0.48
15.3	216	13.2	44.4	1.65	4.26	0.24
15.3	216	43.2	92.2	1.50	3.47	0.14
15.3	216	93.2	93.5	1.88	2.88	0.70
15.3	416	13.2	98.7	1.58	4.12	0.24
15.3	416	43.2	86.5	1.38	3.98	0.42
15.3	416	93.2	75.0	1.48	3.56	0.62
15.3	616	13.2	87.5	1.55	4.06	0.18
15.3	616	43.2	82.5	1.50	3.70	0.52
15.3	616	93.2	80.3	1.40	3.53	0.56
35.3	216	13.2	48.0	2.80	3.25	0.32
35.3	216	43.2	104.0	2.18	2.66	0.42
35.3	216	93.2	103.0	2.80	2.63	0.80
35.3	416	13.2	101.0	2.65	3.47	0.24
35.3	416	43.2	100.0	2.40	3.33	0.52
35.3	416	93.2	97.5	2.40	3.00	0.58
35.3	616	13.2	71.0	2.50	3.50	0.16
35.3	616	43.2	59.5	2.50	3.08	0.40
35.3	616	93.2	70.4	2.40	3.28	0.46

木柵栽培における牧草播種時における土壌の加里, 石灰および苦土含量と牧草体内の加里, 石灰および苦土含量は Table 3 および 4 のようである。

すなわち, アルファルファ播種時における土壌中の置換性塩基と添加肥料における加里の含量は K_2O として $5.3 \sim 35.3 \text{ mg/100 g 乾土}$, これが石灰の含量は CaO として $216 \sim 616 \text{ mg/100 g 乾土}$ およびこれが苦土の含量は $13.2 \sim 93.2 \text{ mg/100 g 乾土}$ である。これら土壌の要素 level は本研究のために有効に推移していると考えられた。そこで, つぎに, このような量的 condition の土壌に生育したアルファルファの加里, 石灰および苦土含量

Table 4. Influence of the cross level of exchangeable bases plus fertilizer in the soil at the seeding for dry matter and content of nutrient in the forage (orchard grass)

Content of exchangeable bases plus fertilizer added in the soil			Dry matter yield of forage (g/0.25m ²) orchard grass (1972)	Content of mineral nutrient in the forage		
K ₂ O (mg/100g dry soil)	CaO	MgO		K ₂ O (percent in dry matter)	CaO	MgO
8.3	194	16.0	54.2	2.28	1.01	0.44
9.3	190.2	76.0	78.0	2.30	0.73	0.64
16.3	270.3	66.7	65.0	3.39	0.67	0.64
12.7	740.7	18.7	70.2	2.75	0.95	0.40
6.7	656.6	38.7	78.6	1.40	0.84	0.78
8.7	619.3	102.7	72.0	1.95	0.84	0.60
14.3	1144.0	22.0	42.0	2.65	1.18	0.32
18.3	748.6	23.0	62.5	2.98	1.23	0.36
18.3	840.0	79.3	54.6	3.58	0.95	0.52
21.7	175.3	48.0	84.5	2.78	0.95	0.36
27.0	216.3	96.0	72.0	3.43	0.76	0.66
43.0	210.6	158.7	99.8	4.35	0.56	0.68
28.7	513.0	18.7	77.5	4.23	0.95	0.48
30.0	608.3	41.3	96.5	3.15	1.06	0.52
26.0	585.0	96.0	88.7	3.18	0.95	0.64
29.3	823.0	24.0	92.3	3.73	0.84	0.48
27.0	587.7	46.7	93.5	3.33	0.84	0.50
23.0	875.0	48.0	88.0	2.85	1.12	0.42
70.7	184.7	69.3	140.5	4.85	0.95	0.28
61.0	227.3	65.3	114.0	4.01	1.01	0.24
71.0	242.7	189.3	103.0	3.95	0.95	0.28
62.7	758.0	22.7	60.0	4.45	0.95	0.28
64.0	638.3	77.3	95.0	3.70	0.95	0.32
61.3	664.3	113.3	98.5	3.78	0.87	0.52
47.3	894.0	12.0	93.0	2.53	1.01	0.16
45.3	797.0	52.0	69.5	3.85	0.95	0.80
55.0	592.9	138.7	89.0	3.38	1.40	0.20

の変化について検討する。

アルファルファ乾物中の加里含量は K_2O として最低 0.80 から最高 2.80% の範囲で変動した。それは、一般に土壌の加里量の少ない条件では土壌の苦土の増加に伴って増大したが、土壌の加里の十分な条件あるいはそれ以上の条件では土壌の石灰および苦土量の増加に伴い牧草乾物中の加里含量は一般にやや低下する傾向が認められた。またアルファルファ乾物中の石灰含量は CaO として最低 2.63～最高 4.26% の範囲で変動した。しかしそれは土壌中の石灰含量の増加に伴って増大するという強い傾向は認められなかった。このことは本実験に用いた土壌の石灰 level が最低でも CaO として 216 mg/100 g 乾土という良好な条件にあることによるものであろうと推定された。しかしながら、このような良好な石灰 level にあっても土壌の苦土含量の増加に伴い牧草の石灰含量は低下した。しかし一方土壌の加里量の増加に伴う影響は小さかった。アルファルファ乾物中の苦土含量は MgO とし最低 0.14 から最高 0.80% の範囲で変動した。これが牧草の苦土含量は土壌の苦土含量の増加に伴って増大した。そしてまた土壌の加里量および石灰量の増加に伴い牧草の苦土含量はかなり低下する傾向が認められた。

これが土壌と牧草の関係をオーチャードグラスについて検討するとつぎのようである。すなわち、オーチャードグラス播種時における土壌中の置換性塩基と添加肥料による加里の含量は K_2O として 6.7～71.0 mg/100 g 乾土、これが石灰の含量は 175～1144 mg/100 g 乾土およびこれが苦土の含量は 12.0～189.3 mg/100 g 乾土である。これら土壌の要素 level は前述のアルファルファ栽培跡地土壌にアルファルファとほぼ同様の処理を行ったものであるが、有効に推移している。そこで、つぎに、このような condition の土壌に生育したオーチャードグラスの加里、石灰および苦土含量の変化について検討する。

オーチャードグラス乾物中の加里含量は K_2O として最低 1.40 から最高 4.85% の範囲で変動した。それは一般に土壌の加里量の増加に伴い増大した。しかし土壌の石灰含量の増加が加わることによってやや減少し、また土壌の苦土の増加に伴って土壌の加里量の少ない条件ではやや増大した。しかしながら土壌の加里量の多い条件では土壌の苦土量の増加に伴って牧草の加里含量は低下するものが多く認められた。またオーチャードグラスの乾物中の石灰含量は CaO として最低 0.67 から最高 1.40% の範囲で変動した。それは既報の値よりかなり高い値を示した。そして、それは全般的には土壌の石灰含量の増加に伴ってわずかではあるが増大する傾向が認められた。しかし土壌の苦土量の増加でやや減少した。しかしながら土壌の加里量の増加に伴う牧草の石灰含量の変化は明らかでなかった。オーチャードグラス乾物中の苦土含量は MgO として最低 0.16 から 0.80% の範囲で変動した。それは全般的には土壌の苦土量の増加に伴って増大したが、土壌の苦土量が増加す

る条件にあっても土壌の加里量の増加に伴いおおむね減少する傾向が認められた。しかし土壌の石灰量の増大に伴う牧草中の苦土含量の変化には明らかな傾向は認められなかったが、加里と石灰量のいずれもがすこぶる多い土壌条件では牧草中の苦土含量は著しく低いことが認められた。

以上のことからアルファルファおよびオーチャードグラスともに牧草体内の加里、石灰および苦土含量は、土壌中のこれら要素の相互変動、すなわち土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition の影響を受けることが明らかとなった。

つぎに、これらの結果を基礎として土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition が牧草体内の無機 balance におよぼす影響について検討することとする。

3) 土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition が牧草体内の無機 balance におよぼす影響の検討

Kemp ら¹⁰⁾は grass tetany 発生の有力な要因の一つは牧草体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio の増大にあるとしていることはすでに述べた。ここでは、土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition が牧草体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio, $K/Ca(me)$ ratio, $K/Mg(me)$ ratio, $K+Mg/Ca(me)$ ratio, $K+Ca/Mg(me)$ ratio および $Ca/Mg(me)$ ratio におよぼす影響について検討する。また、これらの検討にあたって、土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition は、供

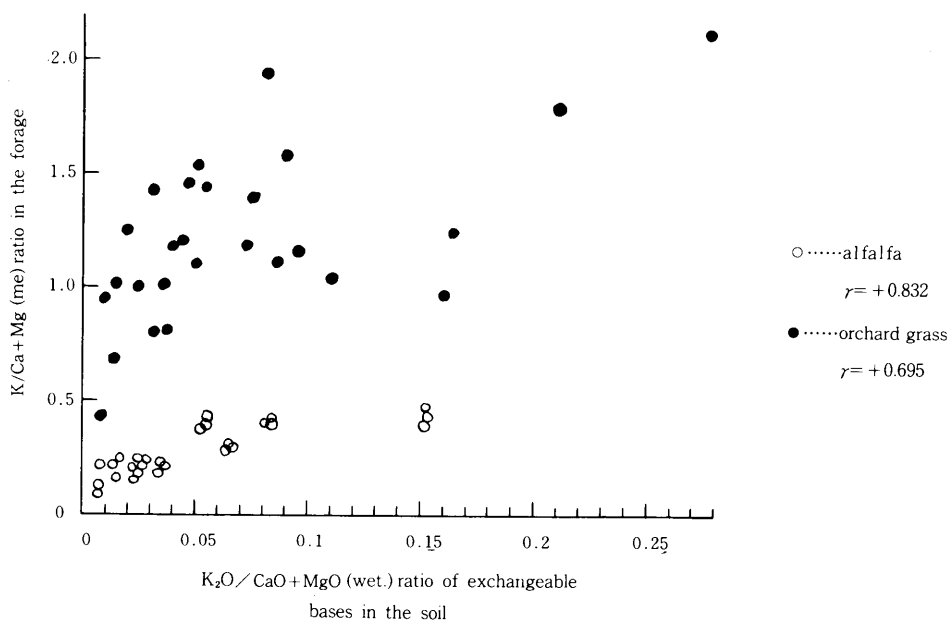


Fig. 1 The relationship between $K_2O/CaO+MgO$ (wet.) ratio of exchangeable bases in the soil and $K/Ca+Mg$ (me) ratio in the forage.

試土壌の置換性加里，石灰および苦土含量と施肥によって添加された加里，石灰および苦土量の含量を乾土 100 g 当りの含有重量，加里は K_2O mg/100 g 乾土，石灰は CaO mg/100 g 乾土および苦土は MgO mg/100 g 乾土として、これら要素の量的 condition ratio を算出した。すなわち， $K_2O/CaO+MgO(wet.)ratio$ ， $K_2O/CaO(wet.)ratio$ ， $K_2O/MgO(wet.)ratio$ ， $K_2O+MgO/CaO(wet.)ratio$ ， $K_2O+CaO/MgO(wet.)ratio$ および $CaO/MgO(wet.)ratio$ としたのである。これらの土壌の condition ratio と牧草体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio などの関係は Fig 1, 2, 3, 4, 5, 6, および Fig 7, に示すようである。

(1) 土壌の加里，石灰および苦土の condition ratio と牧草体内の無機 balance の関係

アルファルファ栽培土壌の $K_2O/CaO+MgO(wet.)ratio$ は 0.010~0.154 の範囲で変動し，ここに生育したアルファルファ体内の $K/Ca+Mg(me)ratio$ は 0.13~0.50 まで変化した。これが両 ratio 間の相関係数は $r = +0.832$ (1%水準で有意) の関係が得られた。これらと同様にして土壌の $K_2O/CaO(wet.)ratio$ は 0.049~0.163 の範囲で変動し，これに対してアルファルファ体内の $K/Ca(me)ratio$ は 0.14~0.64 まで変化した。これが両 ratio の間には相関係数 $r = +0.824$ (1%水準で有意) の関係が得られた。土壌の $K_2O/MgO(wet.)ratio$ は 0.057~2.674 の範囲で変動した。これに対しアルファルファ体内の K/Mg

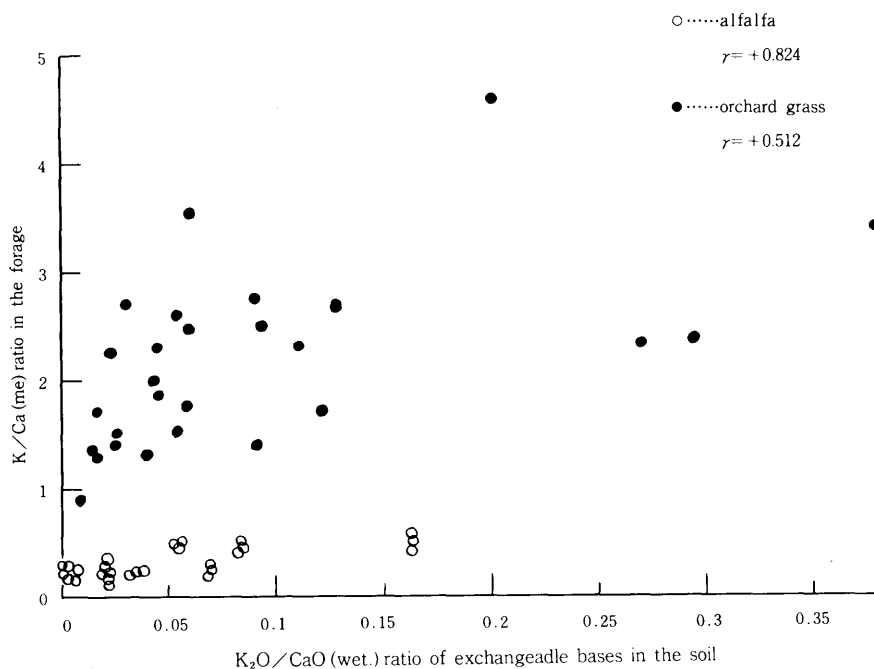


Fig. 2 The relationship between $K_2O/CaO(wet.)ratio$ of exchangeable bases in the soil and $K/Ca(me)$ ratio in the forage.

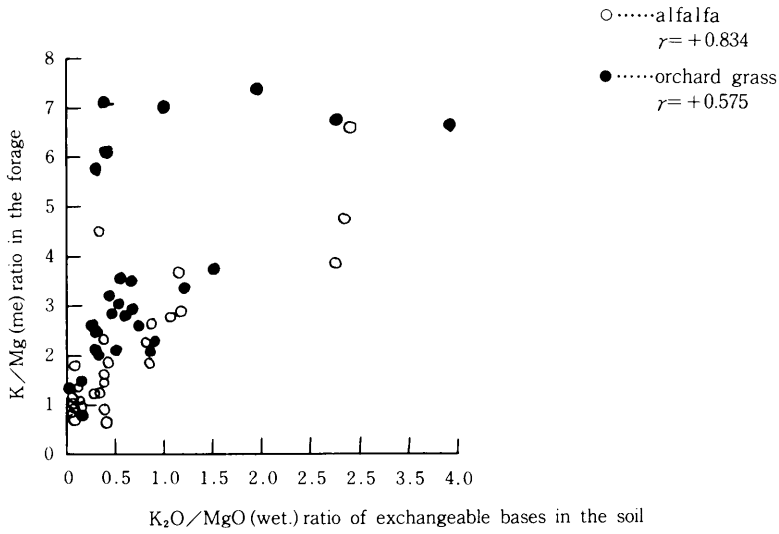


Fig. 3 The relationship between K_2O/MgO (wet.) ratio of exchangeable bases in the soil and K/Mg (me) ratio in the forage.

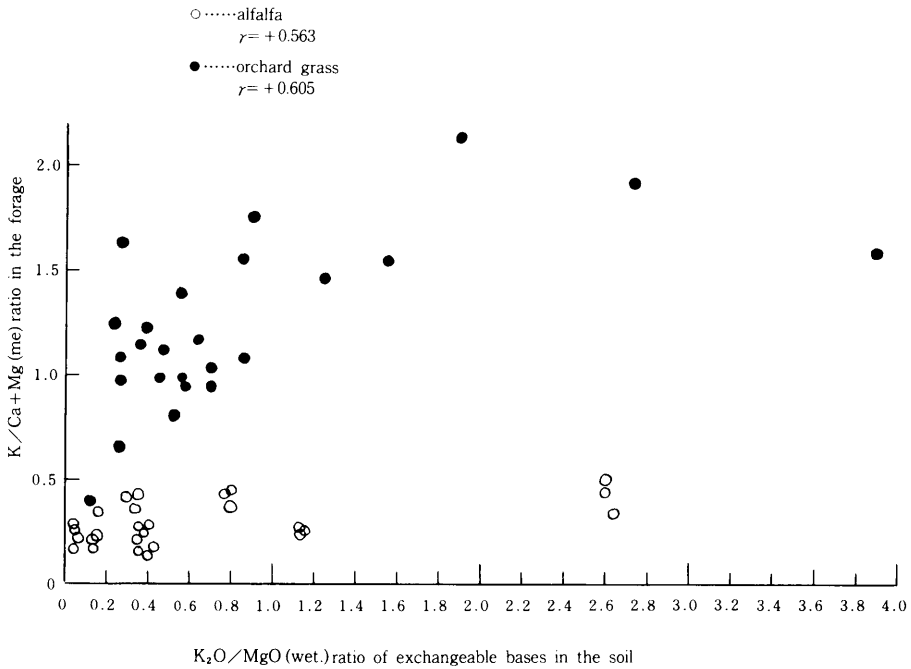


Fig. 4 The relationship between K_2O/MgO (wet.) ratio of exchangeable bases in the soil and K/Ca+Mg (me) ratio in the forage.

(me)ratio は 0.63~6.65 まで変化した。これが両 ratio の間には相関係数 $r = +0.834$ (1%水準で有意) の関係が得られた。また土壌の $K_2O/MgO(wet.)ratio$ とアルファルファ体内の $K/Ca+Mg(me)ratio$ の間には相関係数 $r = +0.563$ (1%水準で有意) の関係が得られた。このほか土壌の $K_2O+MgO/CaO(wet.)ratio$ は 0.300~0.594 の範囲で変動した。これに対してアルファルファ体内の $K+Mg/Ca(me)ratio$ は 3.81~22.28 まで変化した。これが両 ratio 間の相関係数 $r = +0.764$ (1%水準で有意) の関係が得られた。土壌の $K_2O+CaO/MgO(wet.)ratio$ は 2.37~49.34 の範囲で変動した。これに対しアルファルファ体内の $K+Ca/Mg(me)ratio$ は 3.84~22.28 まで変化した。これが両 ratio 間の相関係数は $r = +0.605$ (1%水準で有意) の関係が得られた。土壌の $CaO/MgO(wet.)ratio$ は 2.32~46.67 の

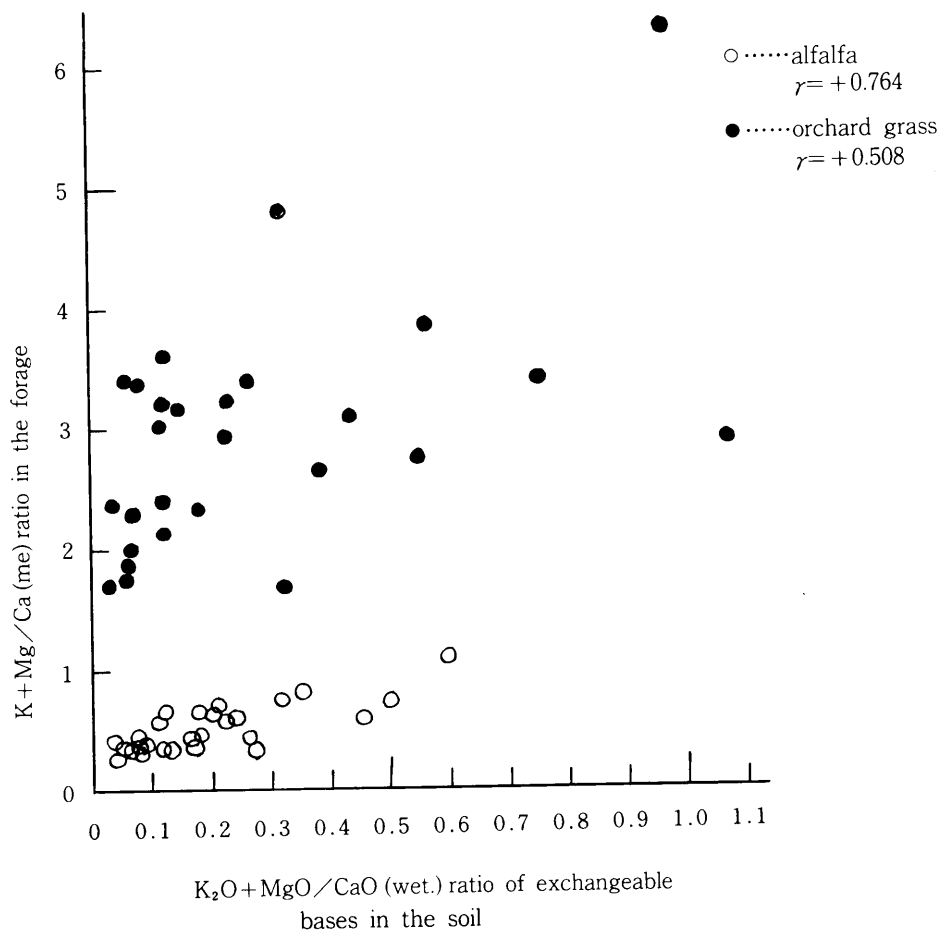


Fig. 5 The relationship between $K_2O+MgO/CaO (wet.) ratio of exchangeable bases in the soil$ and $K+Mg/Ca (me) ratio in the forage$.

範囲で変動した。これに対しアルファルファ体内の Ca/Mg(me)ratio は 2.35~16.11 まで変化した。これが両 ratio の間には $r = +0.901$ (1%水準で有意) の関係が得られた。これら土壌の condition ratio とアルファルファ体内の無機 balance の間には、いずれも高い正の相関があることが明らかとなった。

つぎにオーチャードグラス栽培土壌の $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}+\text{MgO(wet.)ratio}$ は 0.010~0.278 の範囲で変動した。ここに生育したオーチャードグラス体内の $\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg(me)ratio}$ は高く 0.43~2.15 まで変化した。これが両 ratio 間には相関係数 $r = +0.695$ (1%水準で有意) の関係が得られた。これらと同様にして土壌の $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO(wet.)ratio}$ は 0.10~0.38 の範囲で変動した。これに対しオーチャードグラス体内の $\text{K}/\text{Ca(me)ratio}$ は 0.99~4.63 まで変化した。これが両 ratio の間には相関係数 $r = +0.512$ (1%水準で有意) の関係が得られた。土壌の $\text{K}_2\text{O}/\text{MgO(wet.)ratio}$ は 0.09~3.94 の範囲で変動した。これに対しオーチャードグラスの $\text{K}/\text{Mg(me)ratio}$ は 0.76~7.34 まで変化した。これが両 ratio の間には相関係数 $r = +0.575$ (1%水準で有意) の関係が得られた。また土壌の $\text{K}_2\text{O}/\text{MgO(wet.)ratio}$ とオーチャードグラス体内の $\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg(me)ratio}$ の間には相関係数 $r = +0.605$ (1%水準で有意) の関係が得られた。このほか土壌の $\text{K}_2\text{O}+\text{MgO}/\text{CaO(wet.)ratio}$ は 0.03~1.07 の範囲で変動した。これに対しオーチャードグラス体内の $\text{K}+\text{Mg}/\text{Ca(me)ratio}$ は 1.64~6.33 まで変化した。これが両 ratio の間には相関係数 $r = +0.508$ (1%水準で有意) の関係が得られた。しかし土壌の $\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}/\text{MgO(wet.)ratio}$ が 1.60~78.4 の範囲で変動したのに対し、オーチャードグラス体内の $\text{K}+\text{Ca}/\text{Mg(me)ratio}$ は 1.53~12.19 まで変化した。これが両 ratio の間には相関係数 $r = +0.191$ で有効な関係は得られなかった。また土壌の $\text{CaO}/\text{MgO(wet.)ratio}$ が 1.28~74.80 の範囲で変動したのに対しオーチャードグラス体内の $\text{Ca}/\text{Mg(me)ratio}$ は 0.59~5.00 まで変化した。これが両 ratio の間には相関係数 $r = +0.400$ (5%水準で有意) のやや弱い相関にとどまった。これは前報¹⁴⁾で明らかにしたようにオーチャードグラスの石灰に対する反応が弱いことを反映しているものと考えられる。

しかしながら、以上のことから、全般的にはオーチャードグラスにおいてもアルファルファと同様に土壌塩基の量的 condition の ratio と牧草体内の無機 balance の間にはかなり強い関連が認められた。

そこでつぎに、以上の牧草体内の無機 balance を指標として、土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition ratio を検討して家畜にとって安全であるといわれる牧草体内の無機 balance を保持するための土壌管理法を明らかにすることとする。

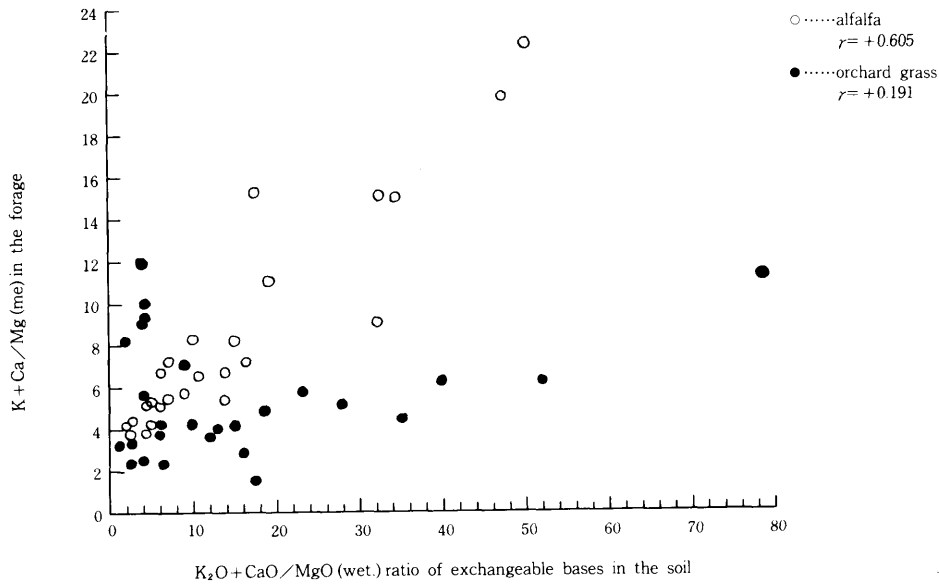


Fig. 6 The relationship between K_2O+CaO/MgO (wet.) ratio of exchangeable bases in the soil and $K+Ca/Mg$ (me) ratio in the forage.

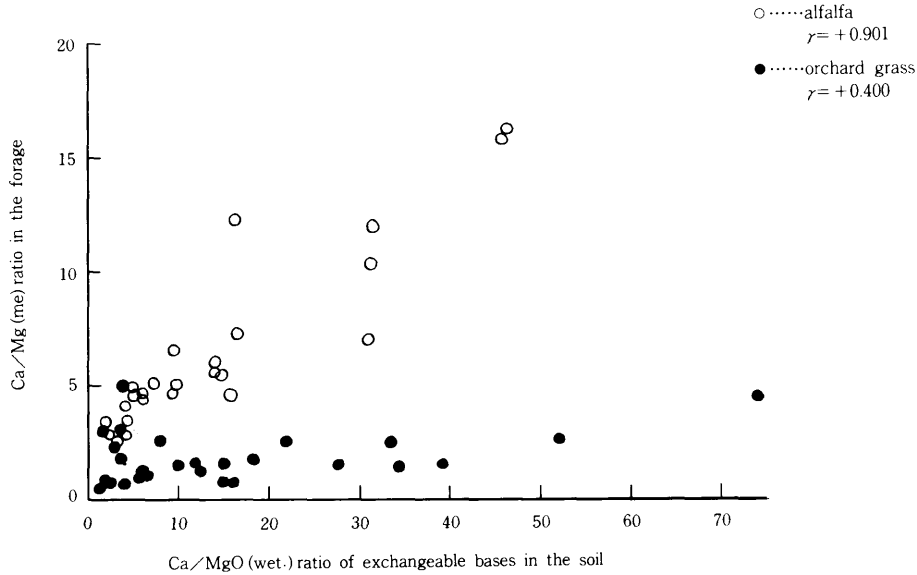


Fig. 7 The relationship between CaO/MgO (wet.) ratio of exchangeable bases in the soil and Ca/Mg (me) ratio in the forage.

(2) 家畜にとって安全な牧草体内の無機 balance と土壌の加里, 石灰および苦土の量的 condition の関係

牧草体内の無機 balance のうち, Kemp ら¹⁰⁾は $K/Ca+Mg(me)$ ratio が 1.40 を越えると家畜の grass tetany が発生しはじめるとしている。

アルファルファの $K/Ca+Mg(me)$ ratio は Fig. 1 のように土壌の $K_2O/CaO+MgO(wet.)$ ratio のかなり大きな変動においても, 最高 0.50 にとどまっている。このことからアルファルファは前報⁹⁾同様に grass tetany 非発生要因的牧草であるといえよう。これに対しオーチャードグラスのそれは, 土壌の $K_2O/CaO+MgO(wet.)$ ratio の増大に伴いおおむね増大し, 2.15 にも達しており, これは前報⁵⁾の 5.28 にはおよばないにしても, やはり grass tetany 発生要因的牧草であるといえよう。そこで, これがオーチャードグラス体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio を 1.40 以下に保つためには Fig. 1 の関係からみて, 土壌の加里, 石灰および苦土の $K_2O/CaO+MgO(wet.)$ ratio を, およそ 0.15 以下にする必要がある。すなわち, 具体的には土壌の置換性塩基および施肥による塩基の含量で, 加里を K_2O として 15 mg/100 g 乾土程度とすれば, 石灰および苦土は $CaO+MgO$ の含量で 220 mg/100 g 乾土程度にすることがよいといえる。このうち土壌の苦土量は Fig. 4 に示した牧草体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio の関係からオーチャードグラス体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio を 1.40 以下に保つためには土壌の $K_2O/MgO(wet.)$ ratio を, およそ 0.80 程度以下にすることがよいと考えられる。すなわち, 具体的には土壌中の加里を K_2O として 15 mg/100 g 乾土程度とすると苦土は MgO として 20 mg/100 g 乾土前後以上とすることがよいと考えられる。

これらのことから, 家畜を grass tetany から守るためには土壌の置換性あるいは施肥量との含量で, 土壌の加里, 石灰および苦土の比を $K_2O:CaO:MgO$ として 15:200:20(mg) または 1:10:1 程度に保つことが必要である。しかしこれが 0.5:10:2 のような場合は牧草体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio は著しく低下するものがみられ, 家畜にとっては安全であるが, 牧草は加里欠乏のため乾物生産が制限される恐れがある。また, これが 2:10:0.5 のような場合には牧草体内の $K/Ca+Mg(me)$ ratio が増大し, 家畜にとって危険な ratio となるばかりでなく, 牧草は苦土欠乏のため乾物生産が制限される恐れがある。これらの土壌と牧草および家畜の関係を総括すると Table 5 のようである。

このほかの, 加里, 石灰および苦土の関連する牧草体内の無機 balance は家畜との関係においてその基準は明らかでない。しかし, すでに示したように, これら牧草の無機 balance と土壌の加里, 石灰および苦土の各種の量的 condition ratio の間にはかなり高い相関が認められた。ここでは, これらの土壌と牧草の高い相関が家畜に対してどのような可能性あるいは危険性を示唆しているのかについて述べるにとどめる。

すなわち、アルファルファおよびオーチャードグラスともに牧草体内のK/Ca(me) ratio,K/Mg(me)ratio,K+Mg/Ca(me)ratio および Ca/Mg(me)ratio は土壌の加里, 石灰および苦土の量的 condition の変化を大きく受けている。このことは土壌の加里, 石灰および苦土含量を制御することによって、これら牧草体内の無機 balance をかなり改善できる可能性を示唆している。それと同時に、これら土壌の要素含量をそれぞれ十分満たしていたとしても、その要素間相互の量的 condition が崩れると、そこに生育する牧草体内の無機栄養素は相対的に過不足をきたすことを意味している。したがって、このような牧草を摂取した家畜は何らかの影響を受けると考えられる。現場の具体的現象を想定して考察するとつぎようになる。すなわち、現場で牧草体内のK/Ca+Mg(me)ratio を低下させるためあるいは苦土の不足を改善するため苦土肥料のみを追加すれば、土壌のCaO/MgO(wet.)ratio は低下し、これが過ぎれば牧草体内の石灰(CaO)の相対的不足をきたすと考えられる。また石灰のみを多量に追加すれば、土壌のCaO/MgO(wet.)ratio を増大させ、これが過ぎれば牧草体内の苦土(MgO)の相対的不足を引き起こす危険性のあることを、これらのratio は示唆しているのである。しかしこれが家畜におよぼす具体的影響は今後の検討にまたなければならない。

以上のことから、grass tetany の発生を防止するためには土壌の置換性加里, 石灰および苦土の比を $K_2O:CaO:MgO$ として 15:200:20 (mg/100 g 乾土) または 1:10:1 程度に保つことが必要であると考えられた。

Table 5. The relationships between balance of mineral in the forage and quantative condition of potassium, calcium and magnesium in the soil.

Quantative condition	Range of mineral contents in the forage						K/Ca+ Mg(me)ratio	
of bases in the soil	Potassium (K ₂ O)		Calcium (CaO)		Magnesium (MgO)		in the forage	
K ₂ O : CaO : MgO	A	O	A	O	A	O	A	O
—————percentage in dry matter—————								
$\frac{1}{(20)} : \frac{10}{(200)} : \frac{3}{(60)}$	*** 0.80~1.63	*** 1.40~3.39	2.72~3.42	0.67~0.84	0.48~0.66	0.52~0.64	under 0.5 Safety *	under 1.4 Safety *
$\frac{1}{(20)} : \frac{10}{(200)} : \frac{1}{(20)}$	1.55~1.58	2.78~4.85	4.06~4.02	0.84~1.06	0.18~0.52	0.24~0.80	under 0.5 Safety *	under 1.4 Safety *
$\frac{3}{(60)} : \frac{10}{(200)} : \frac{1}{(20)}$	2.50~2.80	2.53~4.53	2.43~3.25	0.95~1.01	**** 0.16~0.32	**** 0.16~0.28	under 0.5 Safety *	over 1.4 Danger **

A.....alfalfa, O.....orchard grass, ()=content of bases mg/100g dry soil

- *Safety for animal,
- **Danger for animal as grass tetany.
- ***Potassium deficiency
- ****Magnesium deficiency

IV 摘 要

土壌の加里、石灰および苦土の量的 condition が牧草体内の無機 balance におよぼす影響について明らかにするため、オーチャードグラスとアルファルファを用いて検討し、合せて家畜との関連についても考察した。その結果は以下のようである。

1) 土壌の加里の増大に伴って牧草の乾物生産量は増大した。また石灰の増大はアルファルファの乾物生産量を増大させたが、土壌の苦土の増大はアルファルファの乾物生産量を低下させた。そしてさらに土壌の加里、石灰および苦土のいずれもが高い含量のときには牧草の乾物生産量は低下した。

2) 土壌の加里量の増大に伴って牧草の加里含量は増大した。牧草の加里吸収量の増大に伴って牧草の苦土含量は低下した。土壌の石灰量の増加に伴ってアルファルファの石灰含量は増大し、オーチャードグラスのそれはわずかに増大した。しかし土壌の苦土量の増大に伴って牧草の苦土含量は増大した。牧草の苦土吸収量の増大に伴って牧草の加里含量はやや低下した。

3) 土壌の $K_2O/CaO+MgO(wet.)ratio$ の増大に伴って牧草体内の $K/Ca+Mg(me)ratio$ は増大した。それはアルファルファで $r = +0.824$ およびオーチャードグラスで $r = +0.695$ の相関を示した。grass tetany 発生要因的牧草であるオーチャードグラス体内の $K/Ca+Mg(me)ratio$ を、1.40 以下の家畜にとって安全な範囲に保つためには、土壌の $K_2O/CaO+MgO(wet.)ratio$ を 0.15 以下および $K_2O/MgO(wet.)ratio$ を 0.8 以下にすることが望ましいと考えられた。しかしアルファルファのこの ratio は低く常に安全な範囲にあった。しかしながら、土壌の $K_2O/CaO(wet.)ratio$, $K_2O/MgO(wet.)ratio$ および $CaO/MgO(wet.)ratio$ と牧草体内の $K/Ca(me)ratio$, $K/Mg(me)ratio$ および $Ca/Mg(me)ratio$ の間には関連が認められた。

4) 以上のことから、草地農業における家畜の健康を維持するためには、牧草の栄養からみて土壌の加里量を K_2O として 15 mg, 石灰量は CaO として 200 mg および苦土量は MgO として 20 mg/100 g 乾土または $K_2O : CaO : MgO$ で 1 : 10 : 1 程度に維持することが重要であると考えられた。

文 献

- 1) Barnard, J.A. and R. Chayen, 1965 Modern methods of chemical analysis. 1-19, 25-34, 101-106. Mcgraw-Hill, London.
- 2) Bommer, D.F.R., 1969 ヨーロッパにおける草地研究の課題, 日草誌, **15**: 105~111
- 3) Harlan, J.R., 1956 Theory and Dynamics of Grassland Agriculture, D.Van-Nostrand, New York.
- 4) 原田勇・篠原功, 1970 草地農業における無機 balance に関する研究 (第1報) (その1) 酪農大紀要, **3**: 262-280
- 5) 原田勇・篠原功, 1973 草地農業における無機 balance に関する研究 (第2報) (その2) 酪農大紀要, **5**: 15-33
- 6) 船引真吾・青峰重範, 1953 土壤実験法 139-144, 養賢堂, 東京
- 7) 石橋雅義, 1950 定量分析実験法, 333-339, 富山房, 東京
- 8) Jackson, M.L. 1958 Soil chemical analysis. 159-160, 183-204, Prentice-Hill, Englewood, Cliffs. N.J.
- 9) 京大農芸化学教室編, 1960 農芸化学実験書, **1**: 247-248, 産業図書, 東京
- 10) Kemp A.T., and Hart. M.L., 1957 Grass tetany in grazing milking cows. Netherland. J.Agric. Sci, **5**: 4-36
- 11) 村上大蔵・内藤善久, 1972 牛のグラステタニーに関する研究, 日獣誌, **34**: 323-331
- 12) 篠原功, 1974 牧草のミネラルバランス, 北海道土壤肥料研究通信, 第21回シンポジウム, 草地をめぐる諸問題, 特集号 33-52
- 13) 篠原功, 1976 グラステタニー症の発生要因とその対策. グラス **21** の **3**: 37-55, **21** の **4**: 13-27
- 14) 篠原功・原田勇, 1976 草地農業における無機 balance に関する研究 (第2報), 酪農大紀要 **6**: 283-303
- 15) 植物栄養学実験編集委員会編, 1961 植物栄養学実験, 99, 朝倉書店, 東京
- 16) 高橋泰常, 1958 無機リン酸の Fiske-SubbaRow 法による比色定量, 化学の領域増刊, **34**: 8-11
- 17) 東大農芸化学教室編, 1960, 実験農芸化学, **I**, 54-59 朝倉書店, 東京
- 18) Voisin, A., 1963 Grass tetany 147-153 Crosby-lockwood, London.

Summary

Because of the importance of efficient management of mineral nutrition in grassland agriculture, as a third step in our series study, we conducted a study on the balance of inorganic elements in the forage (alfalfa and orchard grass) with special regard to the quantative condition of potassium, calcium and magnesium in the soil.

A summary of the results are as follow:

1) The dry matter yield of the forage increased in proportion to the amount of potassium in the soil. And alfalfa yield increased in proportion to the amount of calcium, and the forage decreased by the increase in amount of magnesium in the soil. But, the total yield decreased with the increased triple element level in the soil.

2) The increase of ex-potassium in the soil increased the potassium content of the forage. In proportion to the increase of potassium uptake by plant, the magnesium content of the forage decreased. The calcium content of the alfalfa increased, and orchard grass showed hardly any increased in proportion to the amount of calcium in the soil. But the magnesium content of the forage increased in proportion to the amount of

magnesium in the soil. In proportion to the increase of the magnesium uptake by plant, the potassium content of the forage decreased moderately.

3) The $K/Ca+Mg(me)$ ratio of the forage increased in proportion to $K_2O/CaO+MgO(wet.)$ ratio in the soil. These ratio of the soil were correlated with alfalfa $r = +0.832$, and orchard grass $r = +0.695$. For the maintenance of a safety ratio, under 1.40 of $K/Ca+Mg(me)$ in the forage for grass tetany, it is necessary to hold the value at 0.15, and $K_2O/CaO+MgO(wet.)$ ratio under 0.15, and $K_2O/MgO(wet.)$ ratio under 0.8 in the soil for orchard grass (gramineous forage). But, it is not necessary to be concerned about the safety ratio of alfalfa (leguminous forage). Whereas the $K/Ca (me)$ ratio, $K/Mg(me)$ ratio and $Ca/Mg(me)$ ratio in the forage were correlated with $K_2O/CaO(wet.)$ ratio, $K_2O/MgO(wet.)$ ratio and $CaO/MgO(wet.)$ ratio in the soil.

4) In conclusion on grassland agriculture, the maintenance of K_2O at 15mg, CaO of 200mg and MgO at 20mg in the 100g dry soil or $K_2O:CaO:MgO$ ratio at 1:10:1 in the soil is important for nutrition of the forage, and maintenance of animal health.