

## 草地農業における無機 balance に関する研究 (第1報)

土壤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

その2 アルファルファ\*\*

原田 勇\*・篠原 功\*

(土壤肥科学研究室)

### Studies on the Balance of Inorganic Elements in the Grassland Agriculture (Part 1)

On the balance of inorganic elements in pasture plants  
on the variation of available elements in the soil

Section 2: Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Isamu HARADA\* and Isao SHINOHARA\*

(March, 1973)

#### I. 緒 論

草地農業において土壤、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ゆく恐れがある<sup>1)~4), 6), 7), 9)</sup>。そこでわれわれはこの農業における無機要素間の balance を中心に、この問題を組織的に解明し、それによって土壤、飼料および家畜の合理的管理体系を確立する一助として本研究に着手したものである。

まず、土壤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するため、前報<sup>4)</sup>ではイネ科牧草の代表としてオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L.) を供試して検討した。その結果、オーチャードグラスの多くの無機要素含量の変動範囲がその生育土壤の無機成分のそれに対応して関連することが明らかとなった。

今回はマメ科牧草について検討するため、その代表にアルファルファ (*Medicago sativa* L.) を供試して次の実験を試みた。すなわち、土壤は前報<sup>4)</sup>のオーチャードグラスの栽培に供試した土壤を引き続いて用い、その土壤の一要素以外の無機栄養環境条件を一定と

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

\*\* 本報告の要旨は 1969 年 10 月土壤肥科学会において発表した。

し、この単一要素 level の変化が牧草体内の指定無機要素含量の変動範囲にどのような影響を与えるかを中心に検討した。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

供試土壌は既に報告<sup>4)</sup>したオーチャードグラスの栽培に用いた土壌を引き続いて供試するもので、酪農学園大学実験圃場（北海道江別市西野幌 582）の野幌重粘性洪積土壌である。その土壌のオーチャードグラス栽培まえの化学的特性は Table 1 に示すごとくである。また、本実験開始時における各処理区の指定要素含量は Table 2 のようである。すなわち、窒素環境区における土壌の窒素含量は N として 270 mg から 490 mg/100 g 乾土まではほぼ段階的に変化している。リン酸環境区における土壌のリン酸含量は、Bray's No. 1 の方法による有効態リン酸で  $P_2O_5$  として 1.6 mg から 26.0 mg/100 g 乾土まで、加里環境区における土壌の加里含量は置換性加里量で  $K_2O$  として 17.2 mg から 88.0 mg/100 g 乾土まで、石灰環境区における土壌の石灰含量は置換性石灰量で  $CaO$  として 175.2 mg から 818.8 mg/100 g 乾土および苦土環境区における土壌の苦土含量は置換性苦土量で  $MgO$  として 15.6 mg か

Table 1. Chemical characteristics of material soil

Kind of soil	pH		Total N in dry soil (%)	Available $P_2O_5$ (mg/100 g dry soil)	Exchangeable bases (mg/100 g dry soil)				C.E.C. (m.e.)
	H <sub>2</sub> O	N-KCl			K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	
Nopporo diluvial heavy clay soil	5.9	5.1	0.28	2.2	11.2	274.4	30.5	7.2	25.4

Table 2. The content of appointive elements in the soil at the seeding

Treatment (Each elements level)	Contents of element in soil (mg/100 g dry soil)				
	Total-N on the Nitrogen (N)-level	Available- $P_2O_5$ on the Phosphate ( $P_2O_5$ )-level	Exchangeable- $K_2O$ on the Potassium ( $K_2O$ )-level	Exchangeable- $CaO$ on the Calcium ( $CaO$ )-level	Exchangeable- $MgO$ on the Magnesium ( $MgO$ )-level
Control	270	1.6	17.2	175.2	15.6
1.9	380				
3.8	430	3.1	25.8	234.6	54.8
7.5	490	7.3	44.0		
12.5	440	12.5	48.5	688.8	140.8
20.0		18.1	54.4		158.2
30.0		26.0	72.0	768.4	
35.0					174.0
42.5			88.0		
50.0				818.8	

ら 174.0 mg/100 g 乾土までそれぞれ段階的に変化していた。これらのことから、この土壌の無機養分含量は本実験の目的達成のための条件を充分備えているものと考え、50 cm × 50 cm の 0.25 m<sup>2</sup> 木枠の圃場状態のままでアルファルファの栽培に供試した。

次に牧草の栽培法を示すと下記の通りである。すなわち、土壌の無機栄養環境条件を

**Table 3.** Amount of fertilizer added to change the soil condition

Treatment (g/0.25 m <sup>2</sup> )	Basal fertilizer (g/0.25 m <sup>2</sup> )*						
	Ammonium sulfate	Urea	Fused phosphate	Super- phosphate	Potassium sulfate	Calcium carbonate	Magnesium sulfate
Nitrogen (N)-level							
N control	0	0	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
N 1.9	4.8	2.1	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
N 3.8	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.3	18.1
N 7.5	18.8	8.3	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
N 12.5	31.3	13.8	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
Phosphate (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-level							
P control	9.5	4.2	0	0	7.6	6.8	18.1
P 3.8	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
P 7.5	9.5	4.2	22.5	22.5	7.6	6.8	18.1
P 12.5	9.5	4.2	37.5	37.5	7.6	6.8	18.1
P 20.0	9.5	4.2	60.0	60.0	7.6	6.8	18.1
P 30.0	9.5	4.2	90.0	90.0	7.6	6.8	18.1
Potassium (K <sub>2</sub> O)-level							
K control	9.5	4.2	11.4	11.4	0	6.8	18.1
K 3.8	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
K 7.5	9.5	4.2	11.4	11.4	15.0	6.8	18.1
K 12.5	9.5	4.2	11.4	11.4	25.0	6.8	18.1
K 20.0	9.5	4.2	11.4	11.4	40.0	6.8	18.1
K 30.0	9.5	4.2	11.4	11.4	60.0	6.8	18.1
K 42.5	9.5	4.2	11.4	11.4	90.0	6.8	18.1
Calcium (CaO)-level							
Ca control	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	0	18.1
Ca 3.8	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
Ca 12.5	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	22.5	18.1
Ca 30.0	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	54.0	18.1
Ca 50.0	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	85.0	18.1
Magnesium (MgO)-level							
Mg control	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	0
Mg 3.8	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	18.1
Mg 12.5	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	82.5
Mg 20.0	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	132.0
Mg 35.0	9.5	4.2	11.4	11.4	7.6	6.8	247.5

\* Amount of fertilizer applied after every cutting of the pasture was 1/2 amount of the basal fertilizer.

人為的に変化させるための施肥設計は前報<sup>4)</sup>のオーチャードグラスの場合と同じ基準で行ない、その概要は Table 3 のようである。しかし、この土壌の無機栄養環境条件は既に Table 2 に示したごとく、充分変化しているので基肥としては指定要素以外の要素のみ施用した。また追肥は牧草の地上部収穫ごとに施用し、その肥料量は各区各要素を基肥の 2 分の 1 とした。供試牧草はアルファルファ (*Medicago sativa* L.) を用い、1968 年 4 月 18 日根粒菌を接種した種子 2 g を木枠に二条播きとして栽培した。

生育牧草は地際から 5 cm の株部を残して、地上部を 2 カ年間で 5 回にわたって収穫した。すなわち、初年目 7 月 31 日 1 番草、9 月 2 日 2 番草、10 月 13 日 3 番草および 2 年目は 6 月 23 日 1 番草、8 月 2 日 2 番草をそれぞれ収穫し、植物体は 70°C で通風乾燥を行ない粉碎して分析に供した。また土壌も牧草収穫ごとに採取し、風乾細土として分析に供した。

## 2) 分 析 法

植物体および土壌の化学分析は前報<sup>4)</sup>のオーチャードグラスと同様の方法によった。

# III. 実験結果ならびに考察

## 1) 土壌の指定要素環境の変化が牧草の生育量におよぼす影響

木枠栽培におけるアルファルファは、播種後 1 週間を経た 4 月 25 日には全区に発芽を見た。その後の生育は窒素環境 N 7.5 区および N 12.5 区において著しい生育不良を、また苦土環境無 Mg 区および Mg 35.0 区、石灰環境無 Ca 区および加里環境無 K 区においてそれぞれ生育不良を示したが、その他の区においてはおおむね順調な生育を示した。これらのアルファルファの 2 カ年間にわたる 5 回の刈り取りごとの乾物重は Table 4 のようである。

これらの Table 4 の数値を基礎に、まず乾物生産に対する指定要素欠除の影響を見ると Fig. 1 のようである。すなわち、標準として全 5 要素各 3.8 g/0.25 m<sup>2</sup> 木枠施用区 (各環境区の指定要素 3.8 区) における 2 カ年間の合計平均乾物重 384.8 g を 100 として比較すると、窒素環境無 N 区の指数は 62 となり、低い乾物生産にとどまった。また磷酸環境無 P 区のそれは 97 となり、磷酸欠除の影響はほとんど受けなかった。ところが加里環境無 K 区のそれは 68 となり、加里欠除の影響を受け、これが石灰環境無 Ca 区のそれは 52 であり、苦土環境無 Mg 区のそれは 43 であった。換言すれば、窒素の欠除はおよそ 4 割の乾物生産を減少させたが、磷酸の欠除はほとんど影響せず、加里の欠除は 3 割の減少にとどまったが、石灰および苦土の欠除はそれぞれ 5 割、6 割の減少におよんだ。

次に土壌の指定要素の変化が牧草の乾物生産におよぼす影響について検討する。その

結果は Fig. 2 のようである。すなわち、窒素環境の変化に伴う牧草乾物重の変化は、無 N 区の 275.3 g から施肥窒素の増大に伴って N 3.8 区の 384.8 g/0.25 m<sup>2</sup> 木枠区まで増加するが、それ以上の窒素施肥、N 7.5 区と N 12.5 区のそれは 41.7 g と 24.6 g/0.25 m<sup>2</sup> 木枠区と激減した。また無 N 区を 100 とした指数で見ると 100 から 140 をへて 9 まで変動した。

**Table 4.** Influence of the nutrient levels in the soil for alfalfa yield (dry matter g/0.25 m<sup>2</sup>)

Treatment		1968			1969		Total	Index
		First cutting	Second cutting	Third cutting	First cutting	Second cutting		
Nitrogen (N)-level								
N	control	36.8	31.2	23.6	61.2	122.5	275.3	100
N	1.9	34.6	36.1	24.7	60.5	127.1	283.0	103
N	3.8	44.1	61.4	53.0	82.5	143.8	384.8	140
N	7.5	1.3	2.3	4.7	9.3	24.1	41.7	15
N	12.5	0.6	6.1	4.8	7.7	5.4	24.6	9
Phosphate (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-level								
P	control	31.0	58.3	48.5	69.3	168.0	375.1	100
P	2.8	44.1	61.4	53.0	82.5	143.8	384.8	103
P	7.5	42.9	63.1	51.9	85.0	156.1	399.0	106
P	12.5	58.3	80.9	62.2	96.1	156.5	454.0	121
P	20.0	102.6	88.9	65.9	80.9	111.0	449.3	120
P	30.0	73.0	78.8	60.9	82.3	82.5	377.5	101
Potassium (K <sub>2</sub> O)-level								
K	control	37.4	49.1	31.9	47.9	94.8	261.1	100
K	3.8	44.1	61.4	53.0	82.5	143.8	384.8	147
K	7.5	43.9	64.9	62.5	103.3	178.2	452.8	173
K	12.5	46.5	68.0	57.2	78.2	195.5	445.4	171
K	20.0	46.9	71.0	55.6	125.0	265.1	563.6	216
K	30.0	42.0	41.3	61.6	75.5	160.0	380.4	146
K	42.5	43.2	70.1	50.5	101.1	175.1	440.0	169
Calcium (CaO)-level								
Ca	control	14.4	28.2	20.3	41.0	96.3	200.2	100
Ca	3.8	44.1	61.4	53.0	82.5	143.8	384.8	192
Ca	12.5	77.2	70.7	55.9	69.6	160.1	433.5	216
Ca	30.5	79.8	89.0	61.0	60.6	162.9	453.3	226
Ca	50.0	79.6	79.8	29.8	94.5	121.1	404.8	206
Magnesium (MgO)-level								
Mg	control	15.6	22.2	14.3	39.4	73.6	165.1	100
Mg	3.8	44.1	61.4	53.0	82.5	143.8	384.8	233
Mg	12.5	26.3	32.6	61.4	65.5	105.0	290.8	176
Mg	20.0	29.3	41.4	43.8	55.7	92.5	262.7	159
Mg	35.0	9.4	22.4	38.4	28.9	64.7	163.8	99

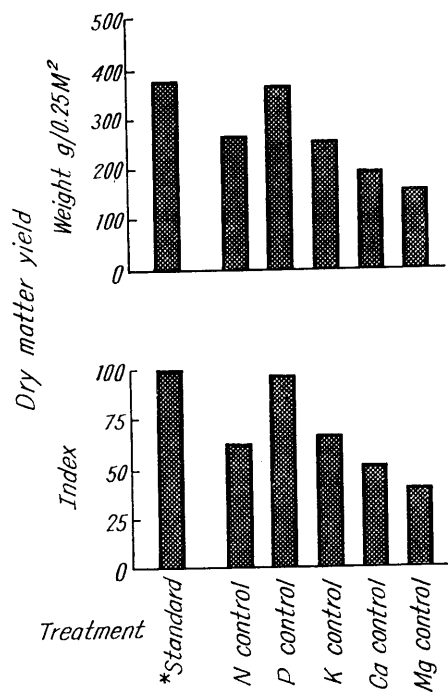


Fig. 1. Influcne of nutrient elements in soil on the dry matter yields of alfalfa.

\* The standard fertilizer is consisted of N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CaO and MgO 3.8 g/0.25 m<sup>2</sup> respectively.

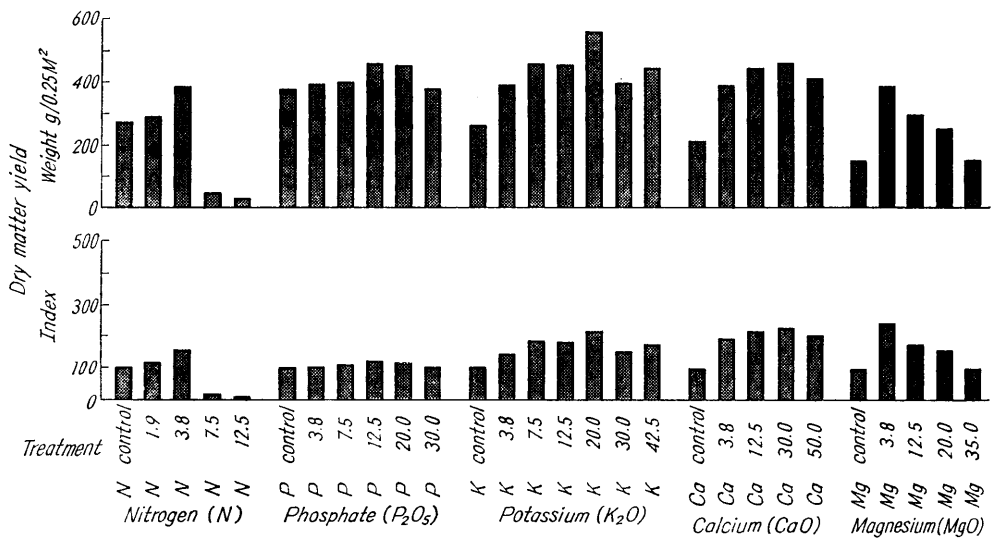


Fig. 2. The relationship between the dry matter yields and amounts of nutrients in soil.

磷酸環境の変化に伴う牧草乾物重の変化は、無 P 区の 375.1 g から施肥磷酸の増大に伴って P 12.5 区の 454.1 g までやや増加するが、それ以上の磷酸施肥、P 30.0 区では 377.5 g と減少した。また無 P 区を 100 とした指数で見ると、100 から 121 まで変動した。加里環境の変化に伴う牧草乾物重の変化は無 K 区の 261.1 g から施肥加里の増大に伴って K 20.0 区の 563.6 g まで増加するが、それ以上の加里施肥では減少した。またその無 K 区を 100 とした指数で見ると、100 から 216 まで変動した。石灰環境におけるそれらの変化は無 Ca 区の 200.2 g から Ca 30.0 区の 453.3 g まで牧草乾物重は増加するが、それ以上の石灰施肥、

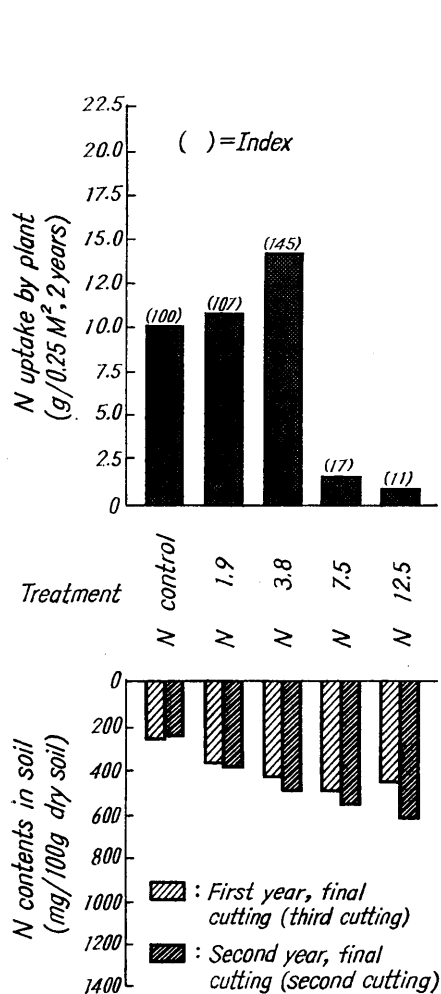


Fig. 3. The relationship between total N in soil and uptake of N by alfalfa plants.

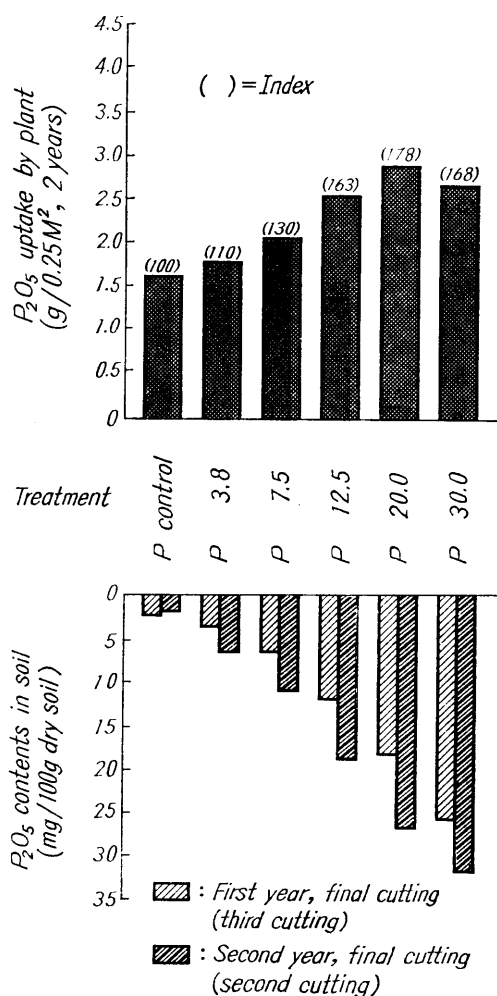


Fig. 4. The relationship between available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in soil and uptake of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> by alfalfa plants.

Ca 50.0 区ではやや減少した。そしてその指数は 100 から 226 まで変動した。また苦土環境におけるそれらの変化は、無 Mg 区の牧草乾物重 165.1 g から Mg 3.8 区の 384.8 g と急増するが、それ以上の苦土施肥では漸減し、Mg 35.0 区では 163.8 g/0.25 m<sup>2</sup> となり、その指数は 100 から 233 を経て再び 99 まで変動した。

これらのことから、土壌の指定要素環境の変化がアルファルファの乾物生産におよぼす影響は窒素が N として 3.8 g/0.25 m<sup>2</sup> 木枠区を越えると阻害的であったが、磷酸はほとんど影響をおよぼさなかった。しかし加里、石灰および苦土の牧草乾物生産におよぼす影響は大であった。

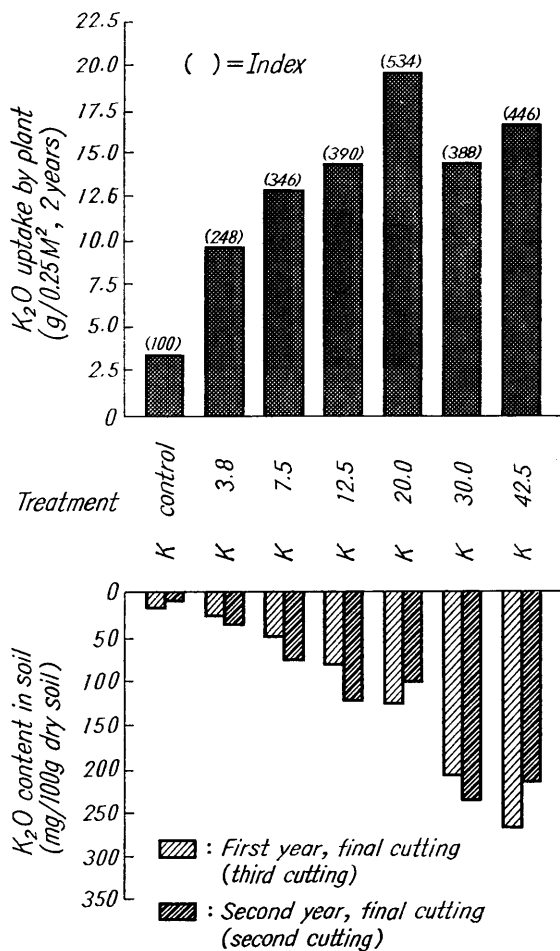


Fig. 5. The relationship between exchangeable  $K_2O$  in soil and uptake of  $K_2O$  by alfalfa plants.

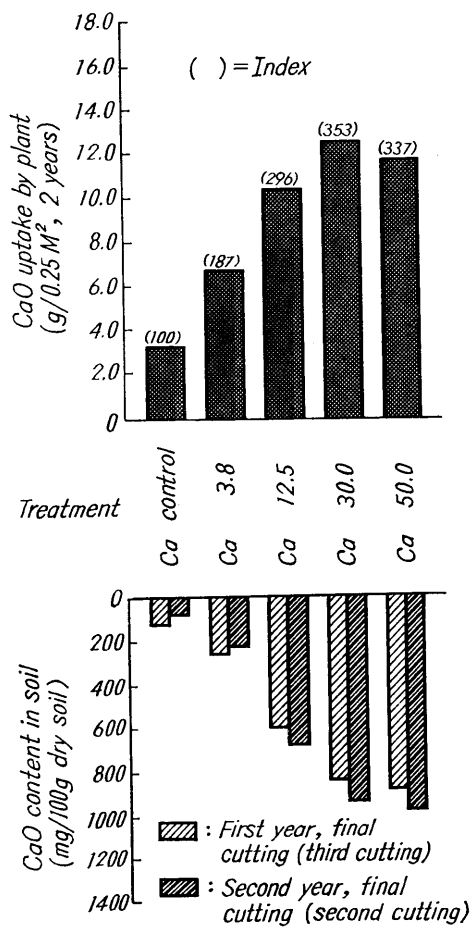


Fig. 6. The relationship between exchangeable  $CaO$  in soil and uptake of  $CaO$  by alfalfa plants.



## 2) 土壌の指定要素環境の変化がアルファルファの指定要素吸収量におよぼす影響

アルファルファの乾物生産量は、土壌中の指定要素環境の変化とかなり高い関連を示した。そこで、これらの牧草の指定要素吸収量とその土壌の指定要素環境の変化との関連についてさらに検討すると Fig. 3, 4, 5, 6 および 7 のようである。すなわち、初年目 3 番草および 2 年目 2 番草収穫直後の土壌中窒素含量は 245 mg から 620 mg/100 g 乾土と無 N 区から N 12.5 区に向かって次第に増大している。このような窒素環境の変化に伴う牧草の窒素吸収量は、無 N 区から N 3.8 区まで増大するが、それ以上の窒素環境の変化では激減

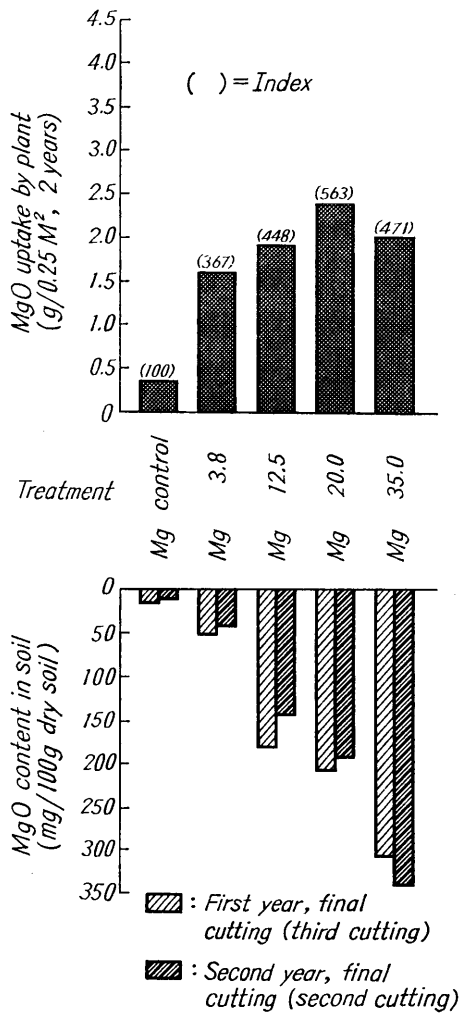


Fig. 7. The relationship between exchangeable MgO in soil and uptake of MgO by alfalfa plants.

している。これを無 N 区を 100 とした指数で示すと、N 3.8 区では 145 と増大するが、N 12.5 区では 11 となり、土壌の窒素 level の上昇は牧草の窒素吸収量に対して阻害的に働くものと考えられた (Fig. 3)。次に、窒素の検討と同一時期における Bray's No. 1 の方法による土壌中有効態磷酸含量は  $P_2O_5$  として無 P 区の 2.7 mg から P 30.0 区の 34 mg/100 g 乾土へと増大している。この磷酸環境の変化に伴う牧草の磷酸吸収量はおおむね増加しており、これを無 P 区を 100 とした指数で示すと P 20.0 区では 178 となり、土壌の磷酸環境の変化と牧草の磷酸吸収量の間には高い関連が認められた (Fig. 4)。また、同一時期における土壌中置換性加里含量は  $K_2O$  として無 K 区の 11 mg から K 42.5 区の 271 mg/100 g 乾土へと増大している。このような加里環境の変化に伴う牧草の加里吸収量は Fig. 5 に示すごとく変化し、無 K 区を 100 とした指数で示すと K 20.0 区では 534 となり、K 42.5 区では 446 とやや低下している。土壌の加里環境の変化と牧草の加里吸収量との間にはかなり高い関連が認められた。また土壌中置換性石灰含量は  $CaO$  として無 Ca 区の 157 mg から Ca 50.0 区の 970 mg/100 g 乾土へと増大してい

る。このような石灰環境の変化に伴う牧草の石灰吸収量は Fig. 6 のごとく変化し、無 Ca 区を 100 とした指数で示すと Ca 30.0 区の 353 まで増大し、土壤の石灰環境の変化と牧草の石灰吸収量との間には高い関連が認められた。これが、同一時期における土壤中置換性苦土含量は MgO として無 Mg 区の 17 mg から Mg 35.0 区の 345 mg/100 g 乾土へと増大しており、このような苦土環境の変化に伴い、牧草の苦土吸収量は増加している。これを無 Mg 区を 100 とした指数で示すと Mg 20.0 区で 563, Mg 35.0 区では 471 となり、土壤の苦土環境の変化と牧草の苦土吸収量との関係は Fig. 7 に示すごとく高い関連がある。

### 3) アルファルファ乾物中の無機要素含量とその変動範囲の検討

土壤の指定要素環境の変化が、アルファルファの同一要素含量におよぼす影響の結果は Table 5 のようである。すなわち、これら土壤の無機養分環境の変化に伴う牧草乾物中の無機要素含量の変動範囲は次のようである。

#### a) 窒素含量の変動

牧草乾物窒素含量は N として全 28 処理区において、最低 2.05% から最高 4.56% の範囲で変動し、その平均窒素含量は 3.19% であった。そのうち土壤の窒素環境の変化に伴う牧草乾物中窒素含量の変動は 2.75~4.56% まで変動した。それは窒素施用量の増大に伴っておおむね増大する傾向にあったが、窒素施用量の一定量以上の増大は既に述べたように牧草の乾物生産を著しく阻害していることから、生育のため有効関係にあるということとはできなかった。これが土壤の磷酸環境の変化では 2.73~3.75% まで変動するが、磷酸施用量との関連は認められない。また土壤の加里環境の変化では 2.53~3.86% まで変動する。そして、加里施用量との関連は認められない。土壤の石灰環境では 2.05~3.89% まで変動した。それは初年目 1 番草 2 番草で石灰施用量の増加に伴って牧草乾物中窒素含量は増大しており、また 2 年目 2 番草では石灰施用量の増大に伴って牧草乾物中の窒素含量が低下している。これが土壤の苦土環境の変化では 2.51~3.90% まで変動したが、苦土施用量との関連は認められない。また全般にわたる牧草中、窒素含量は石灰環境区の一部を除いてアルファルファの生育期が進むにつれてその変動範囲は小さくなる傾向が認められた。

#### b) 磷酸含量の変動

乾物中の磷酸含量は、 $P_2O_5$  として全 28 処理区において最低 0.21% から最高 0.78% の範囲で変動し、その平均磷酸含量は 0.48% であった。土壤の磷酸環境の変化に伴い 0.28~0.78% まで変動した。それは土壤磷酸量の増加に伴い、牧草中磷酸含量は増大した。これが土壤の窒素環境の変化では 0.21~0.75% まで変動したが、窒素環境の変化に伴う牧草中磷酸含量の変動には一定の傾向は認められない。しかしながら、初年目 1 番草、3 番草および 2 年目 1 番草の磷酸含量は低く、初年目 2 番草および 2 年目 2 番草で高い磷酸含量が

認められた。また土壌の加里環境の変化では 0.28~0.61% まで変動したが、加里環境の変化に伴う牧草中磷酸含量の変動には一定の傾向は認められない。土壌の石灰環境の変化では 0.28~0.67% まで変動したが、石灰環境の変化に伴う牧草中磷酸含量の変動は認められない。しかし苦土環境のそれは 0.31~0.66% まで変動し、それは苦土施用量の増加に伴って牧草中磷酸含量はやや増大する傾向がある。

Table 5. Contents of nutrients in dry matter of alfalfa

Treatment	1968			1969	
	First cutting	Second cutting	Third cutting	First cutting	Second cutting
Nitrogen (N)-level	N percentage in dry matter				
N control	3.51	2.87	3.41	2.75	2.84
N 1.9	3.27	3.15	3.77	2.80	3.00
N 3.8	3.02	2.90	3.67	3.05	2.95
N 7.5	4.24	3.75	4.26	2.81	3.40
N 12.5	4.56	4.00	3.72	3.19	3.20
Phosphate (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-level	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> percentage in dry matter				
P control	0.41	0.49	0.40	0.28	0.52
P 3.8	0.46	0.53	0.46	0.34	0.52
P 7.5	0.66	0.54	0.48	0.33	0.62
P 12.5	0.74	0.60	0.54	0.39	0.65
P 20.0	0.70	0.67	0.60	0.52	0.70
P 30.0	0.78	0.77	0.77	0.59	0.76
Potassium (K <sub>2</sub> O)-level	K <sub>2</sub> O percentage in dry matter				
K control	1.30	1.18	1.17	1.44	1.47
K 3.8	2.10	2.30	2.32	2.51	2.45
K 7.5	3.15	2.84	2.70	2.84	2.75
K 12.5	3.05	3.00	3.06	3.02	3.21
K 20.0	3.30	3.40	3.51	3.35	3.62
K 30.0	3.45	3.70	3.60	4.05	3.80
K 42.5	3.95	3.80	3.78	3.65	3.70
Calcium (CaO)-level	CaO percentage in dry matter				
Ca control	2.98	1.70	2.16	1.57	1.62
Ca 3.8	3.61	2.90	2.41	2.03	1.75
Ca 12.5	3.75	2.01	2.41	1.90	2.20
Ca 30.0	3.98	2.40	2.72	2.16	2.50
Ca 50.0	4.03	2.60	2.83	2.50	2.88
Magnesium (MgO)-level	MgO percentage in dry matter				
Mg control	0.14	0.32	0.44	0.32	0.20
Mg 3.8	0.56	0.58	0.54	0.46	0.53
Mg 12.5	0.66	0.62	0.76	0.48	0.72
Mg 20.0	0.98	0.85	0.96	0.84	0.95
Mg 35.0	1.48	1.20	1.16	1.10	1.31

### c) 加里含量の変動

牧草乾物中の加里含量は  $K_2O$  として全 28 処理区において最低 1.17% から最高 4.05% の範囲で変動し、その平均加里含量は 2.43% であった。そのうち土壌の加里環境の変化では 1.17~4.05% まで変動し、それは無 K 区から K 12.5 区までは加里施用量の増加に伴って牧草中加里含量は急激に増大する。しかし K 12.5 区以上の加里施用量では、牧草中加里含量の増大はゆるやかである。これが土壌の窒素環境の変化では 1.67~3.73% まで変動し、窒素施用量の増加に伴ってその加里含量は減少する傾向が認められる。しかしこの傾向は草地化過程の進行に伴い小さくなっている。土壌の磷酸環境の変化では 1.30~2.77% まで変動し、それは磷酸施用量の増大に伴って牧草中加里含量はやや減少した。そして土壌の石灰環境の変化では 1.40~3.00% まで変動し、それは石灰施用量の増加に伴って減少する傾向が認められた。また土壌の苦土環境の変化では 1.60~2.79% まで変動し、それは苦土施用量の増加に伴って牧草中加里含量は減少した。

### d) 石灰含量の変動

牧草乾物中の石灰含量は  $CaO$  として全 28 処理区において最低 1.30% から最高 4.03% の範囲で変動し、その平均石灰含量は 2.35% であった。そのうち土壌の石灰環境の変化に伴う牧草乾物中石灰含量の変動は 1.30~4.03% であるが、これを詳細に検討すると Table 6 のようである。すなわち、初年目 1 番草では平均値からのへだたりが石灰施用によって大きく変動しているが、その傾向はアルファルファの維持管理が初年目 2 番草から 3 番草および 2 年目草へと進むに伴って小さくなっている。これは、アルファルファの養分吸収機構が次第に充実することにより、土壌環境の影響を緩和する傾向であると考えられる。土壌の窒素環境の変化では 1.62~3.61% まで変動し、それは窒素施用量の増加に伴ってやや減少の傾向が認められるが、土壌の磷酸環境の変化では 1.75~3.70% まで変動したが、磷酸環境の変化に伴う変動は認められない。ところが、土壌の加里環境の変化では 1.40~

**Table 6.** Variation of the calcium contents in dry matter from the average of 2.35%

Treatment	1968			1969	
	First cutting	Second cutting	Third cutting	First cutting	Second cutting
Calcium ( $CaO$ )-level					
Ca control	+0.63	-0.65	-0.19	-0.78	-0.73
Ca 3.8	+1.26	+0.55	+0.06	-0.32	-0.60
Ca 12.5	+1.40	-0.34	+0.06	-0.45	-0.15
Ca 30.0	+1.63	+0.05	+0.37	-0.19	+0.15
Ca 50.0	+1.68	+0.25	+0.48	+0.15	+0.53

3.75% まで変動し、それは加里施用量の増加に伴って牧草中石灰含量は著しく減少した。また土壌の苦土環境の変化では 1.34~3.95% まで変動し、それは苦土施用量の増加に伴って牧草中石灰含量は減少する傾向が認められた。

#### e) 苦土含量の変動

牧草乾物中の苦土含量は MgO として全 28 処理区において最低 0.14% から最高 1.48% の範囲で変動した。その平均苦土含量は 0.59% であった。その内訳は、土壌の苦土環境の変化で 0.14~1.48% まで変動し、それは土壌の苦土量の増大に伴って牧草中苦土含量は増大した。土壌の窒素環境の変化では 0.46~1.39% まで変動し、それは窒素施用量の増加に伴って、初年目草で増大するが 2 年目草に至っては一定の傾向は認められない。土壌の磷酸環境の変化では 0.35~0.77% まで変動し、磷酸施用量の増加に伴って牧草中苦土含量はやや増大したが、これは磷酸肥料中に苦土が含まれていることにも関連しているものと考えられる。また土壌の加里環境の変化では 0.24~0.78% まで変動し、それは加里施用量の増大に伴って牧草中苦土含量は著しく減少した。また、土壌の石灰環境の変化では 0.20~0.72% まで変動し、それは石灰施用量の増加に伴って牧草中苦土含量はやや減少した。

以上のことから、土壌の要素環境の変化に伴うアルファルファの無機要素含量の変動を総括すると Table 7 のようになる。次に、このアルファルファ乾物中のそれぞれの無機要素の balance について検討する。

**Table 7.** The relationships between range of inorganic nutrients in plants and variation of available elements in the soil

		Contents in alfalfa plant				
		Nitrogen	Phosphate	Potassium	Calcium	Magnesium
Effect of increased elements in soil	Nitrogen	gradual increase	non response	decrease	decrease	increase
	Phosphate	non response	increase	decrease	non response	gradual increase
	Potassium	non response	non response	increase	decrease	decrease
	Calcium	increase	gradual decrease	decrease	increase	decrease
	Magnesium	non response	gradual increase	decrease	decrease	increase

#### 4) アルファルファ乾物中の無機要素の balance

アルファルファ乾物中の無機要素間の相互関係が、それぞれの要素環境の変化に伴いどのように変動するかについて図化したものが Figs. 8, 9, 10, 11, 12, 13 および 14 である。すなわち、牧草乾物中の窒素含量と加里含量の間には Fig. 8 に示すごとく明瞭な関係が見いだせない。また、窒素含量と苦土含量の相関でも Fig. 10 に示すごとく明瞭な関係が見いだせない。次に磷酸含量と苦土含量の間には Fig. 9 に示すごとく、苦土環境におい

では僅かに相関が見いだされる。ところが、加里含量と石灰含量の間には Fig. 11 に示すごとく  $r = -0.749$  の数値が得られ、明瞭な負の相関がある。このことはアルファルファの乾物中においては、加里と石灰は相互に拮抗的に作用していると考えられる。これらの傾向は Fig. 12 に示すごとく加里含量と苦土含量との間でも  $r = -0.565$  の数値が得られ、また石灰含量と苦土含量との間にも Fig. 13 に示すごとく  $r = -0.620$  が得られ、加里、石灰および苦土の三者は互いに拮抗的に作用していると考えられる。

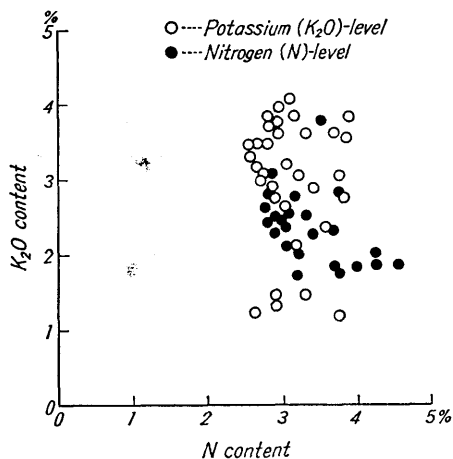


Fig. 8. The relationship between  $K_2O$  and N content in the dry matter of alfalfa plants.

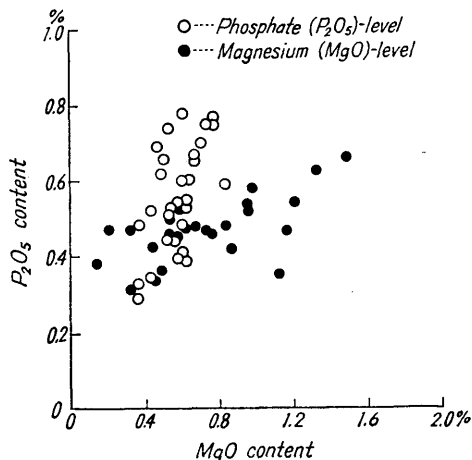


Fig. 9. The relationship between  $P_2O_5$  and MgO content in the dry matter of alfalfa plants.

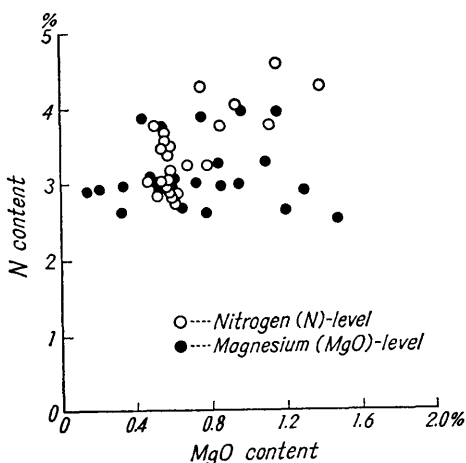


Fig. 10. The relationship between N and MgO content in the dry matter of alfalfa plants.

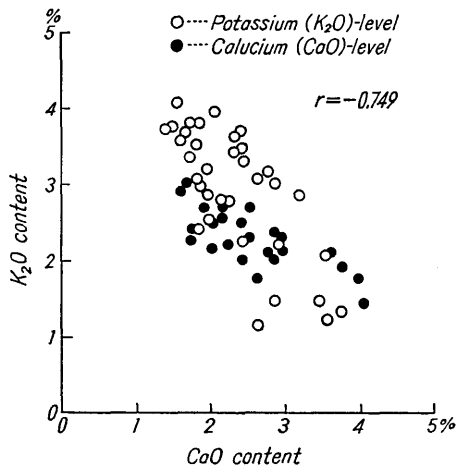


Fig. 11. The relationship between  $K_2O$  and CaO content in the dry matter of alfalfa plants.

以上のような加里, 石灰および苦土含量の関係を加里含量と石灰+苦土含量との関係として示すと Fig. 14 のように  $r = -0.736$  とかなり高い相関が得られる。

これらのことから, 土壌の無機養分環境条件の相違が牧草体内の無機要素の相互関係に影響をおよぼすことが明確であり, 特に加里および苦土の間には関連が大であると考えられる。

上述のような無機要素の相互関係を示す牧草が, 飼料として家畜に摂取されることと

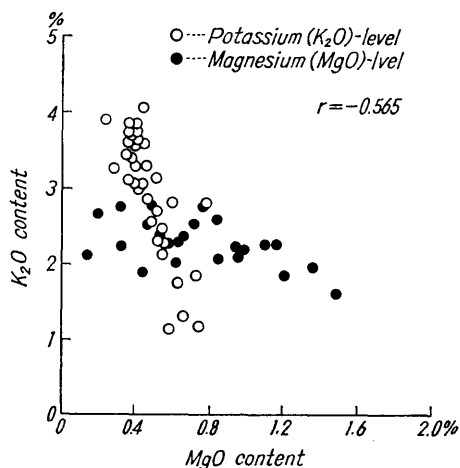


Fig. 12. The relationship between  $K_2O$  and  $MgO$  content in the dry matter of alfalfa plants.

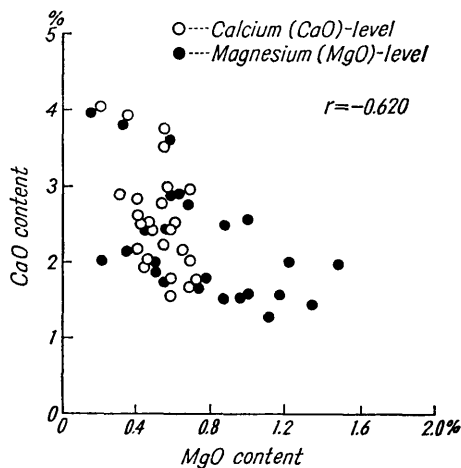


Fig. 13. The relationship between  $CaO$  and  $MgO$  content in the dry matter of alfalfa plants.

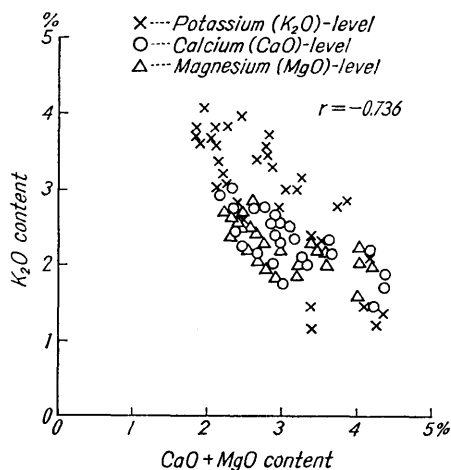


Fig. 14. The relationship between  $K_2O$  and  $CaO+MgO$  content in the dry matter of alfalfa plants.

関連して、このアルファルファ乾物中の無機要素含量の変化が、家畜に対してどのような影響を与える可能性があるかを明らかにするため、Ca/P (%) ratio, K/Ca+Mg (m.e.) および Ca/Mg (m.e.) ratio について検討することとした。Ca/P (%) ratio は、家畜の佝僂病に関連すると言われ<sup>5)</sup>、K/Ca+Mg (m.e.) および Ca/Mg (m.e.) ratio は家畜のグラスステタニーに関連すると考えられている<sup>8),10)</sup>。これらの ratio について算出した数値は Table 8 に示

**Table 8.** The balance of inorganic elements in alfalfa

Treatment	Ca/P (%) ratio		K/Ca+Mg (m.e.) ratio		Ca/Mg (m.e.) ratio	
	minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum
Nitrogen (N)-level						
N control	6.03	~ 16.80	0.45	~ 0.73	2.48	~ 3.53
N 1.9	5.11	~ 11.57	0.38	~ 0.66	1.94	~ 3.78
N 3.8	6.30	~ 12.90	0.28	~ 0.58	2.38	~ 4.64
N 7.5	4.46	~ 17.78	0.23	~ 0.53	1.58	~ 2.83
N 12.5	4.33	~ 14.00	0.26	~ 0.41	1.57	~ 2.14
Phosphate (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-level						
P control	6.35	~ 14.67	0.23	~ 0.64	3.03	~ 4.44
P 3.8	6.30	~ 12.90	0.28	~ 0.58	2.38	~ 4.64
P 7.5	5.56	~ 11.14	0.26	~ 0.51	3.09	~ 4.92
P 12.5	5.86	~ 9.53	0.22	~ 0.39	2.44	~ 4.73
P 20.0	5.65	~ 6.65	0.27	~ 0.44	2.52	~ 4.11
P 30.0	4.59	~ 6.12	0.20	~ 0.38	1.89	~ 3.49
Potassium (K <sub>2</sub> O)-level						
K control	10.94	~ 14.29	0.17	~ 0.23	2.53	~ 4.50
K 3.8	6.30	~ 12.90	0.28	~ 0.58	2.38	~ 4.64
K 7.5	7.14	~ 11.40	0.41	~ 0.64	2.95	~ 4.08
K 12.5	5.91	~ 11.06	0.49	~ 0.75	3.33	~ 4.80
K 20.0	7.18	~ 10.08	0.64	~ 0.90	3.08	~ 4.88
K 30.0	5.60	~ 8.14	0.69	~ 1.10	2.52	~ 4.82
K 42.5	5.56	~ 8.00	0.92	~ 1.12	2.58	~ 6.06
Calcium (CaO)-level						
Ca control	4.00	~ 9.68	0.32	~ 0.71	1.73	~ 3.16
Ca 3.8	6.30	~ 12.90	0.28	~ 0.58	2.38	~ 4.64
Ca 12.5	6.54	~ 11.62	0.24	~ 0.63	2.12	~ 4.82
Ca 30.0	4.97	~ 14.95	0.22	~ 0.58	3.76	~ 7.96
Ca 50.0	5.72	~ 20.57	0.19	~ 0.44	4.50	~ 14.51
Magnesium (MgO)-level						
Mg control	6.58	~ 16.59	0.30	~ 0.68	4.07	~ 20.31
Mg 3.8	6.30	~ 12.90	0.28	~ 0.56	2.38	~ 4.64
Mg 12.5	5.76	~ 9.86	0.31	~ 0.64	1.70	~ 3.37
Mg 20.0	5.04	~ 9.94	0.31	~ 0.55	1.23	~ 2.12
Mg 35.0	3.93	~ 6.40	0.23	~ 0.48	0.81	~ 1.20



すようである。すなわち、Ca/P(%) ratio については一般に1~2が適当であるとされているが、このアルファルファ乾物中 ratio は全般にその4~6倍にもおよび、最高は20.57に代表されるように、すこぶる高い値を示している。これは磷酸に対し石灰の吸収がすこぶる大であったことを示すものであるが、若し土壌の加里、磷酸および苦土環境の増大があればこの ratio は低下することを示すものである。すなわち、Table 8の数値では、最低3.93を示している。しかしながら、これらの高い ratio をもつ牧草を多量に摂取した家畜が直接的に佝僂病罹患に至るか否かは論議を異にするところである。

一方、K/Ca+Mg (m.e.) ratio については、1.40以下が望ましいとしている KENP らの報告<sup>8),10)</sup>があるが、本実験におけるアルファルファの数値は低く、その K/Ca+Mg (m.e.) ratio の最高は1.12にとどまった。これは前報<sup>4)</sup>のオーチャードグラスが5.28にも達し、家畜のグラスタニー発生要因的牧草であったのに対し、アルファルファはグラスタニー非発生要因的牧草であるといえよう。しかし、土壌の要素環境との関連はオーチャードグラスの場合と同様に加里環境の増大で、この K/Ca+Mg (m.e.) ratio は増大し、石灰および苦土環境の増大で小さくなる傾向が認められた。また Ca/Mg (m.e.) ratio は、石灰と苦土相互関係で変動したが、土壌の加里環境の変化による影響は受けなかった。このことは、牧草中加里の増大がその乾物中の石灰と苦土含量に対して同程度に抑制的に働くためと考えられた。これらの関係は加里、石灰および苦土の間に拮抗関係があることを別の角度から改めて示唆するものであるとすることができる。以上のことから、土壌の無機養分環境条件が、牧草体内の無機 balance に大きく関連することが明らかとなったが、これが家畜におよぼす直接的悪影響については、マメ科であるアルファルファの場合少ないことが予想された。これらのことは、オーチャードグラスにおいて K/Ca+Mg (m.e.) ratio が土壌の加里量の増大と石灰や苦土の低下に関係して0.51~5.28まで変動し、グラスタニー発生要因的牧草となる可能性が高いのに対して、アルファルファは如何なる土壌環境にあっても、グラスタニー発生要因的牧草となる可能性はほとんどないといえる。すなわち、アルファルファはグラスタニー非発生的牧草であるといえる。

#### IV. 要 約

草地農業における土壌、飼料および家畜の栄養 balance はその農業が集約化されることにより、その循環速度は増大し、かつそれにかかわる物質は次第にその balance を失う恐れがある。そこでわれわれはこの栄養 balance を組織的に解明し、土壌、飼料および家畜の合理的管理体系を確立する一助として本研究に着手した。

まず、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するため、前報のオーチャードグラスの栽培に供試した野幌洪積土壌に、N は 5 段階 (基肥) 0~12.5 g/0.25 m<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は 6 段階 0~30.0 g, K<sub>2</sub>O は 7 段階 0~42.5 g, CaO は 5 段階 0~50.0 g および MgO は 5 段階 0~35.0 g/0.25 m<sup>2</sup> 木枠に施用し、合計 28 区を設けた。追肥は各要素の基肥の 1/2 量を用いた。牧草はアルファルファ (*Medicago sativa* L.) を栽培し、検討し次のことが明らかとなった。

1) 土壌の指定要素環境の変化が、アルファルファの乾物生産におよぼす影響は N 3.8 g/0.25 m<sup>2</sup> までの窒素施肥は 140% まで増大したが、それ以上の窒素は阻害的であった。磷酸はほとんど影響をおよぼさなかったが、加里、石灰および苦土は牧草の各無処理区の乾物生産に対してそれぞれ 216, 226 そして 177% まで増大せしめたが、これらの要素の土壌中での一一定以上の増加は乾物生産の低下となった。

2) 土壌の指定要素環境におけるアルファルファの要素吸収量は次のようであった。すなわち窒素については、土壌中の全窒素含量との関連は認められなかったが、牧草の磷酸、加里、石灰および苦土の吸収量については土壌の Bray's No. 1 の方法による有効態磷酸、置換性加里、石灰および苦土とそれぞれ高い関連が認められた。

3) 牧草乾物中の無機要素含量の変動範囲は、窒素が N として 2.05~4.56%, 磷酸は P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> として 0.21~0.78%, 加里は K<sub>2</sub>O として 1.17~4.05%, 石灰は CaO として 1.30~4.03% および苦土は MgO として 0.14~1.48% まで変動した。

4) アルファルファ乾物中の無機要素含量のうち、加里含量の増大は石灰および苦土含量を減少させた。これらの加里、石灰および苦土の三つの要素は互いに拮抗関係にあることが認められた。

5) 家畜の佝僂病に関連すると言われる牧草中の Ca/P (%) ratio は 3.39~20.57 まで変化し、この ratio は土壌の無機養分環境の変化によってかなり影響を受けることが明らかとなった。一方、グラスタニーに関連すると言われる牧草中 K/Ca+Mg (m.e.) ratio は、最低 0.17 から最高 1.12 まで変化した。これらのことから、アルファルファはグラスタニー非発生要因的牧草であることが明らかとなった。

6) 以上のことから、草地農業における無機 balance の重要性が指摘された。

## 文 献

- 1) 原田 勇, 1967. 牧草の養分吸収過程並びにそれに基く合理的施肥法に関する研究. 酪農大紀要, **3**: 90-137.
- 2) 原田 勇・篠原 功, 1968. 草地農業における加里輪廻に関する研究 (第 1 報). 日土肥誌, **39**: 292-299.

- 3) 原田 勇, 1970. 牧草の栄養と施肥. 畜産の研究, **24**: 2-10.
- 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) 広瀬可恒, 1957. 乳牛の栄養と飼養. pp. 112-133, 朝倉書店, 東京.
- 6) Metoson, A. J., W. M. H. Saunders, T. W. Coollie and V. W. Graham, 1965. Chemical composition of pastures in relation to grass tetany in beef breeding cows. N. Z. J. L. Agric. Res., **9**: 410-436.
- 7) 村上大蔵・内藤善久, 1972. 牛のグラスステタニーに関する研究. 日獣誌, **34**: 323-331.
- 8) Voisin, A., 1959. Soil, grass and cancer, pp. 47-53, Crosby-lockwood, London.
- 9) Voisin, A., 1961. Grass productivity, pp. 1-33, Crosby-lockwood, London.
- 10) Voisin, A., 1963. Grass tetany, pp. 147-153, Crosby-lockwood, London.

### Summary

The nutrition balance of soil, feed and animal in grassland agriculture is disturbed when an increased amount of nutrients is introduced and a quick circulation of nutrients occurs.

Because of the importance of an efficient nutrition management system in grassland agriculture, as a first step, we conducted research on the influence of inorganic elements on alfalfa plants with special regard to the variation of available elements in the soil.

A summary of the results is follows:

1) Increase of nitrogen in soil produced a low response in the dry matter yield of alfalfa, but potassium, calcium and magnesium produced a high response, while phosphate produced no response.

2) The amount of nutrient uptake by alfalfa was correlated with the amount of available elements such as phosphate, potassium, calcium and magnesium in the soil but was not correlated with nitrogen.

3) The range in content of inorganic elements in dry matter was from 2.05 to 4.56 percent for nitrogen: and 0.21 to 0.28, 1.17 to 4.05, 1.30 to 4.03 and from 0.14 to 1.48 for phosphate (as  $P_2O_5$ ), potassium (as  $K_2O$ ), calcium (as  $CaO$ ), and magnesium (as  $MgO$ ), respectively.

4) With the increase of potassium uptake, calcium and magnesium uptake by the plants decreased. Therefore, we concluded that, potassium, calcium, and magnesium in plants are in competition with one another.

The Ca/P percentage-ratio in alfalfa was from 3.93 to 20.57 and was related to rickets in animal and it varied with amount of available nutrients in soil. The range of K/Ca+Mg milliequivalent-ratio in alfalfa was from 0.17 to 1.12, and was related to grass tetany in animal, but this ratio was within the safety range.