

草地農業における無機 balance に関する研究 (第1報)

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

その1. オーチャードグラス**

原田 勇*・篠原 功*

(土壌肥料学研究室)

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 1: Orchard grass (*Dactylis glomerata* L.)

Isamu HARADA* and Isao SHINOHARA*

(March, 1970)

I. 緒 論

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失われる恐れがある。なぜなら草地農業は土壌、植物、家畜およびその生産物間の有機的関連における収益追求の営みであるから^{1),5),7),15),18)}、この農業における栄養集約化の方向は、まず草地の牧草生産増大のために多量の肥料を草地へ投下することから始まる。このとき土壌の無機養分環境についての考慮をおろそかにすると牧草に対する無機栄養環境の乱れが引き起される^{3),25)}。ついでこのような草地に生育した牧草はその体内の無機栄養 balance が乱される恐れがある^{4),6),26)}。このような牧草は、それを飼料として給与すれば、それを摂取した家畜の体内における無機栄養 balance を乱し、ひいてはこの無機栄養 balance の乱れに起因する家畜の栄養障害を多発する可能性がある^{8),13),16),22),23)}。そしてさらにその生産物の無機栄養 balance をも乱す結果となる^{10),17)}。草地農業における無機栄養 balance はこのように波及連鎖し次第に失われてゆく恐れがある。

* Lab. of Soil Science and Plant Nutrition.

College of Dairy Agriculture, Nopporo, Hokkaido, Japan.

** 本報告の要旨は 1967 年 10 月土壌肥料学会において発表した。

そこでわれわれは草地農業における栄養 balance を重要視して、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ようとしたのである。

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つぎの実験を試みた。すなわち土壌の一要素以外の無機養分環境条件は一定とし、単一要素の Level を変化せしめて牧草体内の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。そのうち今回はイネ科牧草の代表としてオーチャードグラスを供試して検討したのでその概要を記述する。

II. 材料および実験方法

1) 供試土壌および供試牧草栽培法

供試土壌は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。その化学的特性は Table 1 に示すごとくである。すなわちこの土壌は全窒素 0.28%，有効態磷酸は少なく，pH は水浸出で 5.9，N-KCl のそれでは 5.1 の酸性土壌である。また置換性塩基についてみると，石灰は 274.4 mg/100 g 乾土で少なくはないが，加里は 11.2 mg/100 g 乾土で少ない，苦土は 30.5 mg/100 g 乾土でやや多い。この土壌を 50 cm×50 cm×50 cm の 0.25 m² 木枠に充てんし圃場状態として牧草栽培に供試した。

Table 1. Chemical characteristics of material soil

Kind of soil	pH		total N in dry soil	available P ₂ O ₅ (mg/100 g dry soil)	exchangeable bases (mg/100g dry soil)				C, E, C (m.e)
	H ₂ O	N-KCl			K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	
Nopporo diluvial heavy clay soil	5.9	5.1	(%) 0.28	2.2	11.2	274.4	30.5	7.2	25.4

つぎに牧草の栽培法を示すと下記の通りである。まず土壌の無機養分環境条件を人為的に変動させるため Table 2 に示すような施肥を行なった。すなわち，0.25 m² あたり基肥として窒素環境では N として 0～12.5 g の範囲を 5 段階に分け，磷酸環境では P₂O₅ として 0～30.0 g の範囲を 6 段階に分け，加里環境では K₂O として 0～42.5 g の範囲を 7 段階に分け，石灰環境では CaO として 0～50.0 g の範囲を 5 段階に分け，また苦土環境も MgO として 0～35.0 g の範囲を 5 段階に分けて施用した。各要素環境における指定外要素は各々 3.8 g/0.25 m² を施用し，合計 28 区の木枠を設定した。供試肥料は硫酸アンモニウム，尿素，過磷酸石灰，熔成磷肥，硫酸加里，炭酸カルシウムおよび硫酸マグネシウムである。また追肥は生育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基肥料の 2 分の 1 とした。供試牧草にはオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L.) を用い，1965 年 5 月 11 日その種子 1.0 g を二条播きとした。

Table 2. Amount of fertilizer added to change the soil condition

Treatment (g/0.25 m ²)	Ammonium sulfate	Urea	Basal fertilizer (0.25 g/m ²)				
			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	6.8	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 ₂ O ₅)-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 ₂ 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.

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 8 月 2 日 1 番草, 9 月 2 日 2 番草, 10 月 15 日 3 番草および 2 年目は 6 月 28 日 1 番草, 7 月 30 日 2 番草を収穫し, 植物体は 70°C で通風乾燥を行ない粉碎し分析に供した。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

植物体の化学分析は粉末試料につき, つぎの方法によりそれぞれ分析した¹⁹⁾。

窒素: Semi-Micro Kjeldahl 法^{2),11)}

磷酸, 加里, 石灰および苦土については粉末試料の一定量を乾式灰化し SiO₂ 分離液についてつぎの方法を適用した^{2),19)}。

磷酸: Fiske-SubbaRow 法^{2),20)}

加里: Flame Photometry²⁾

石灰: EDTA 法^{2),19)}

苦土: EDTA 法^{2),19)}

土壌の化学分析にはすべて 2 mm のふるいを通過した風乾細土としてつぎの方法によりそれぞれ分析した。

pH: ガラス電極法²¹⁾

窒素: Kjeldahl 法^{2),11),14)}

磷酸: Bray's No. 1 の方法による土壌抽出液について Fiske-SubbaRow 法を適用した^{12),20)}。

加里: 1 規定酢酸アンモニウムによる土壌抽出液について Flame Photometry を適用した^{2),9)}。

石灰および苦土: 1 規定酢酸アンモニウムによる土壌抽出液について EDTA 法を適用した^{2),9)}。

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

木柵栽培におけるオーチャードグラスは播種後 2 週間を経た 5 月 26 日には全区に発芽を見た。その後の生育は窒素環境無 N 区, 磷酸環境無 P 区および加里環境無 K 区において不良であったが, その他の区においてはおおむね順調な生育を示した。これら牧草栽培 2 カ年間の 5 回にわたるオーチャードグラス地上部刈り取りごとの乾物重は Table 3 のようである。

そこでまず, 乾物生産量に対する指定要素欠除の影響をみると Fig. 1 のようである。

Table 3. Influence of the nutrient levels in the soil on dry matter of pasture plants (Dry weight g/0.25 m²)

Treatment	1966			1967		Total	Index
	First cutting	Second cutting	Third cutting	First cutting	Second cutting		
Nitrogen (N)-level							
N control	16.2	24.8	14.6	53.7	23.8	133.1	100
N 1.9	48.5	58.5	44.8	137.7	86.0	375.5	282
N 3.8	66.3	74.9	52.7	173.6	109.8	477.3	359
N 7.5	78.4	108.7	74.2	189.3	139.3	589.9	443
N 12.5	67.5	89.5	69.2	169.0	150.0	545.2	410
Phosphate (P ₂ O ₅)-level							
P control	23.3	69.3	35.6	90.2	114.4	332.8	100
P 3.8	66.3	74.9	52.7	173.6	109.8	477.3	143
P 7.5	60.2	59.1	49.3	169.8	121.3	459.7	139
P 12.5	49.5	65.4	43.2	164.0	107.4	429.5	129
P 20.0	89.1	86.2	63.8	141.7	121.8	502.6	151
P 30.0	47.4	54.3	51.3	139.0	89.9	381.9	115
Potassium (K ₂ O)-level							
K control	24.2	44.7	41.1	118.6	143.0	371.6	100
K 3.8	66.3	74.9	52.7	173.6	109.8	477.3	128
K 7.5	84.3	73.3	59.4	153.0	130.1	500.1	135
K 12.5	59.7	71.1	59.2	158.2	128.1	476.3	128
K 20.0	75.1	84.0	54.6	125.1	112.0	451.7	122
K 30.0	61.8	77.8	52.6	159.6	103.3	455.1	122
K 42.5	70.0	60.5	44.3	142.3	149.0	466.1	125
Calcium (CaO)-level							
Ca control	71.8	82.9	55.4	119.7	138.2	468.0	100
Ca 3.8	66.3	74.9	52.7	173.6	109.8	477.3	102
Ca 12.5	74.6	75.6	49.9	129.5	116.2	445.8	95
Ca 30.0	62.5	71.2	59.9	111.8	106.7	412.1	88
Ca 50.0	46.0	64.8	56.7	158.2	125.3	451.0	96
Magnesium (MgO)-level							
Mg control	55.0	74.2	55.3	121.7	124.0	430.2	100
Mg 3.8	66.3	74.9	52.7	173.6	109.8	477.3	111
Mg 12.5	47.4	50.0	52.7	130.0	108.0	388.1	90
Mg 20.0	50.0	61.2	51.1	132.5	124.9	419.7	98
Mg 35.0	37.9	64.7	53.4	119.4	87.9	363.3	84

標準に全5要素各3.8 g/0.25 m² 枠 (各環境区の指定要素3.8 g 区) の2カ年間の合計平均乾物重477.3 gをとり、これを100として比較すると、窒素環境無N区の指数は28となり最低の乾物生産である。また磷酸環境無P区のそれは70であり、加里環境無K区のそれは78である。石灰環境無Ca区のそれは98であり、苦土環境無Mg区のそれは90であった。すなわち窒素の欠除はおおよそ7割の乾物生産を減少させたが、磷酸の欠除は3割、加里の欠除では2割の減少にとどまった。また苦土の欠除による乾物生産の減少は1割以下であり、石灰の欠除では乾物生産がほとんど減少しなかった。

つぎ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133.1 gから施肥窒素の増大に伴ってN7.5区の589.9 g/0.25 m²まで増加し、それ以上の施用窒素N12.5区では545.2 gとやや減少した。また無N区を100とした指数でみると100から443まで変動した。磷酸環境の変化に伴う牧草乾物重の変化は無P区332.8 gから施肥磷酸の増

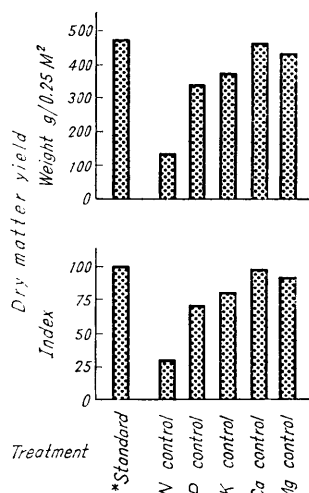


Fig. 1. Influence of nutrient elements in soil on the dry matter yields of orchard grass.

* The standard fertilizer is consisted of N, P₂O₅, K₂O, CaO and MgO 3.8 g/0.25 m² respectively.

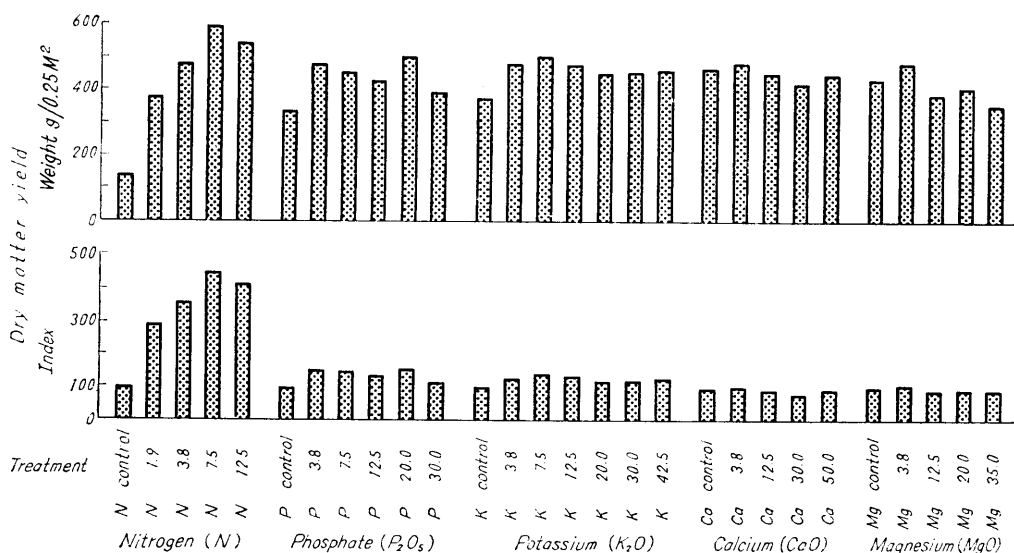


Fig. 2. The relationship between the dry matter yields and change of nutrients in soil condition.

大に伴って P 3.8 区の 477.3 g まで増加したが、それ以上の施肥磷酸 P 30.0 区では 381.9 g と減少した。また 無 P 区を 100 とした指数でみると 100 から 151 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 371.6 g から施肥加里の増大に伴って K 7.5 区の 500.1 g まで増加するが、それ以上の加里施肥では横這いまたはやや減少ぎみで K 42.5 区では 466.1 g であった。またその無 K 区を 100 とした指数でみると 100 から 135 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 468.0 g から Ca 3.8 g 区で牧草乾物重は増加するが、それ以上の石灰施肥では減少し Ca 30.0 区では 412.1 g であった。そしてその指数は 102 から 88 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 区の乾物重 430.2 g から Mg 3.8 区でやや増加するが、それ以上の苦土施肥では減少し、Mg 35.0 区で 363.3 g/0.25 m² となり、その指数は 111 から 84 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オーチャードグラスの乾物生産におよぼす影響は窒素が最大であり、磷酸および加里がこれにつぎかなりの影響をおよぼした。しかし石灰および苦土は牧草乾物生産にほとんど影響をおよぼさなかった。

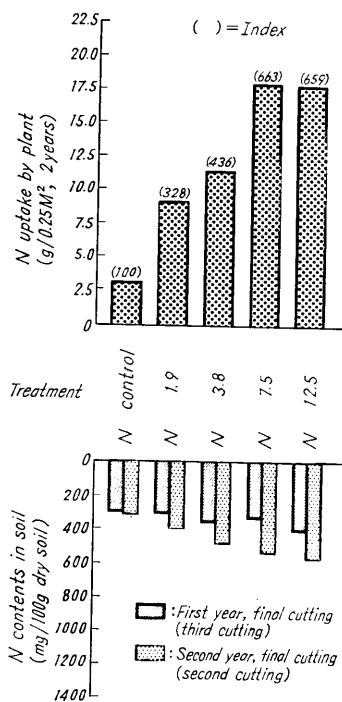


Fig. 3. The relationship between total N in soil and uptake of N by pasture plants.

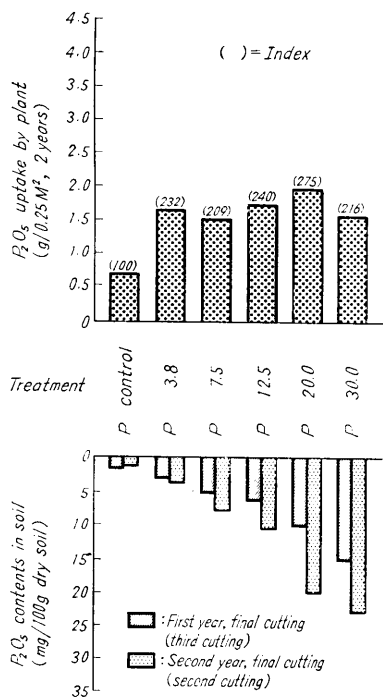


Fig. 4. The relationship between available P₂O₅ in soil and uptake of P₂O₅ by pasture plants.

2) 土壌の指定要素環境の変化がオーチャードグラスの指定要素吸収量におよぼす影響

オーチャードグラスの乾物生産量は土壌の指定要素の変化とかなり高い関連を示したが、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検討すると Fig. 3, 4, 5, 6 および 7 のようである。すなわち1年目3番草および2年目2番草ともに収穫直後の土壌中全窒素含量は N として 300 mg から 600 mg/100 g 乾土と無 N 区から N 12.5 区に向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い牧草の窒素吸収量は増加している。これ無 N 区を 100 とした指数で示すと N 7.5 区では 663 と大きく増大しており、土壌の窒素環境の変化と牧草の窒素吸収量との間にはかなり高い関連が認められる (Fig. 3)。次に同一時期における 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 mg から P 30.0 区の 23 mg/100 g 乾土へと増大している。このように磷酸環境の変化に伴い牧草の磷酸吸収量は増加しており、これを無 P 区を 100 とした指数で示すと P 20.0 区では 275 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 12 mg から K 42.5 区の 249 mg/100 g 乾土へと増大してい

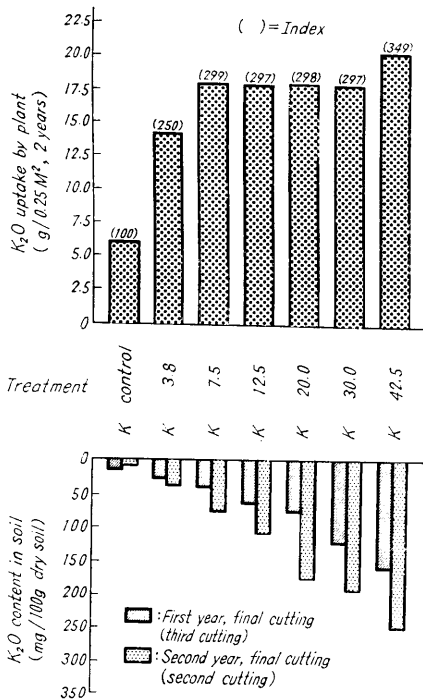


Fig. 5. The relationship between exchangeable K_2O in soil and uptake of K_2O by pasture plants.

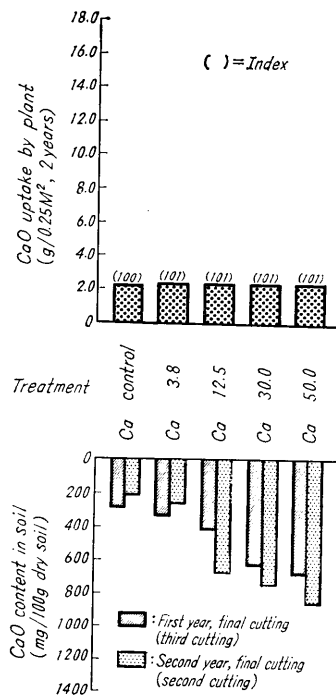


Fig. 6. The relationship between exchangeable CaO in soil and uptake of CaO by pasture plants.

る。このような窒素環境の変化に伴い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 42.5 区では 349 となり、土壌の加里環境の変化と牧草の加里吸収量の間にはかなり高い関連が認められた。ところが同一時期における土壌中置換性石灰含量は CaO として無 Ca 区の 210 mg から Ca 50.0 区の 880 mg/100 g 乾土へと増大しているにもかかわらず牧草の石灰吸収量は変化しておらず、土壌の石灰環境と牧草の石灰吸収量の関係は Fig. 6 のようであり、その関連は認められない。しかし同一時期における土壌中置換性苦土含量は MgO として無 Mg 区の 24 mg から Mg 35.0 区の 310 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 35.0 区では 176 となり、土壌の苦土環境の変化と牧草の苦土吸収量の関係は Fig. 7 に示すごとく関連している。

3) オーチャードグラス乾物中の無機要素含量とその変動範囲の検討

土壌の指定要素環境の変化がオーチャードグラスの一要素含量におよぼす影響の結果は Table 4 のようである。すなわちこれら土壌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つぎのようである。

a) 窒素含量の変動

牧草乾物中窒素含量は N として全 28 処理区において最低 1.45% から最高 4.00% の範囲で変動し、その平均窒素含量は 2.57% であった。そのうち土壌の窒素環境の変化に伴う牧草乾物中窒素含量の変動は 1.60~4.00% であるが、これを詳細に検討すると Table 5 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窒素施肥により変動することが少ないが、2 年目草においてはその影響が顕著であった。このことは土壌の草地化過程の進行に伴い、窒素施肥の重要性と窒素養分環境の変化が大きいことを示すものであり、草地土壌を初期生育段階から維持管理段階へと、とらえなければならない具体例が示されたことといえよう。これが土壌の磷酸環境の変化では牧草乾物中窒素含量の変動は 1.45~3.95% であるが、それは土壌の磷酸量の増大に伴っておおむね減少の傾向を示した。

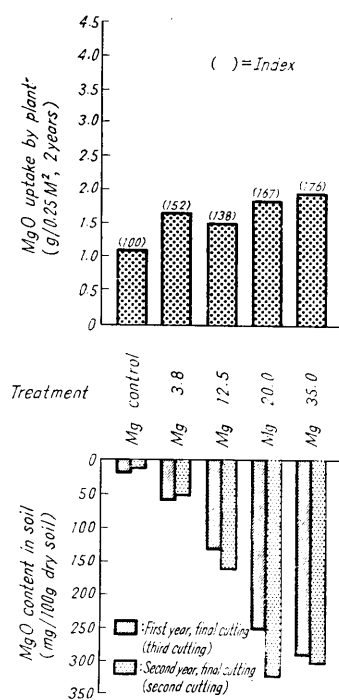


Fig. 7. The relationship between exchangeable MgO in soil and uptake of MgO by pasture plants.

Table 4. Contents of nutrient elements in dry matter of orchard grass

Treatment	1966			1967	
	First cutting	Second cutting	Third cutting	First cutting	Second cutting
Nitrogen (N)-level		N percentage in dry matter			
N control	2.26	2.65	2.95	1.65	1.60
N 1.9	3.11	2.90	3.60	1.90	1.63
N 3.8	3.26	3.07	3.72	1.95	1.75
N 7.5	3.55	3.61	4.00	2.50	2.30
N 12.5	3.74	3.62	3.90	3.05	2.75
Phosphate (P ₂ O ₅)-level		P ₂ O ₅ percentage in dry matter			
P control	0.08	0.16	0.29	0.32	0.18
P 3.8	0.16	0.35	0.49	0.39	0.35
P 7.5	0.13	0.33	0.42	0.40	0.30
P 12.5	0.19	0.42	0.54	0.39	0.47
P 20.0	0.18	0.44	0.57	0.38	0.46
P 30.0	0.09	0.29	0.68	0.40	0.52
Potassium (K ₂ O)-level		K ₂ O percentage in dry matter			
K control	1.28	1.50	1.40	1.51	1.78
K 3.8	2.83	3.03	3.38	2.80	3.05
K 7.5	3.55	3.83	3.83	3.12	3.67
K 12.5	3.25	4.00	3.40	3.76	3.73
K 20.0	3.55	4.30	3.78	3.84	3.95
K 30.0	3.63	4.35	3.78	3.64	3.97
K 42.5	4.63	4.43	4.35	4.10	4.63
Calcium (CaO)-level		CaO percentage in dry matter			
Ca control	0.70	0.52	0.51	0.37	0.49
Ca 3.8	0.51	0.52	0.49	0.41	0.62
Ca 12.5	0.59	0.48	0.46	0.44	0.63
Ca 30.0	0.60	0.52	0.53	0.44	0.71
Ca 50.0	0.77	0.59	0.49	0.39	0.58
Magnesium (MgO)-level		MgO percentage in dry matter			
Mg control	0.18	0.19	0.19	0.31	0.33
Mg 3.8	0.34	0.32	0.25	0.36	0.40
Mg 12.5	0.25	0.20	0.37	0.36	0.63
Mg 20.0	0.38	0.19	0.36	0.42	0.67
Mg 35.0	0.53	0.53	0.45	0.48	0.72

Table 5. Variation of the nitrogen contents in dry matter from the average of 2.57%

Treatment	1966			1967	
	First cutting	Second cutting	Third cutting	First cutting	Second cutting
Nitrogen (N)-level					
N control	-0.31	-0.08	+0.38	-0.92	-1.17
N 1.9	+0.54	+0.33	+1.03	-0.67	-1.14
N 3.8	+0.69	+0.50	+1.15	-0.62	-0.82
N 7.5	+0.98	+1.04	+1.43	-0.07	-0.27
N 12.5	+1.17	+1.05	+1.33	+0.48	-0.18

また加里環境におけるそれは 1.60~3.75% まで変動し、それは土壌の加里量増大に伴っておおむね減少したが、これは加里による生育量の増大に対し窒素供給が追いつかず牧草体内におけるその濃度は低下したものと考えられよう。また石灰環境の変化におけるそれは 1.60~3.49% まで変動するが一定の傾向は認められない。これがまた苦土環境では 1.45~3.72% まで変動するが一定の傾向は認められない。また全般に 2 年目草が初年目草より乾物中窒素含量が低かった。これが理由としては初年目草より 2 年目草の乾物生産が増大したことによると考えられ、オーチャードグラスの栄養生理的機能の初期生育過程と維持管理過程の相違によるものと考えられる。

b) 磷酸含量の変動

牧草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 0.08% から最高 0.68% の範囲で変動し、その平均磷酸含量は 0.33% であった。土壌の磷酸環境の変化に伴い 0.08~0.68% まで変動した。それは無 P 区と P 3.8 区間の牧草中磷酸含量に大きな格差が認められたが、それ以上の土壌磷酸量の増加ではその牧草中磷酸含量はわずかの増大にとどまった。これが土壌の窒素環境の変化では初年目 1 番草には差異が認められず、2 番草および 3 番草においては無 N 区から N 3.8 区に向って牧草中磷酸含量は増大の傾向があるがそれ以上の窒素施用ではその磷酸含量増大の傾向は見い出せない。また土壌の加里環境の変化におけるその磷酸含量は 0.08~0.58% 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が認められない。土壌の石灰環境の変化では 0.11~0.49% まで変動し、それは石灰施用量の増加にともなって Ca 12.5 区まで牧草乾物中の磷酸含量は増大を示すが、それ以上の石灰量では明らかでない。また苦土環境においてもその磷酸含量は 0.12~0.49% まで変動し、それは苦土施用量の増加に伴って増大するが、その傾向は石灰環境におけるそれとおおむね類似した。

なお全般にわたる牧草中磷酸含量は、草地化過程の進行に伴い、すなわち牧草の初期生育段階が維持管理段階に移行することにより増大の傾向が認められた。

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 1.33% から最高 4.63% の範囲で変動し、その平均加里含量は 2.88% であった。その内訳は土壌の加里環境の変化で 1.44~4.63% まで変動し、それは無 K 区から K 7.5 区までの土壌の加里量の増加に伴って牧草乾物中の加里含量は増大した。これが土壌の窒素環境の変化では初年目 1 番草では差異が少ないが、2 番草、3 番草および 2 年目 1, 2 番草と草地化過程の進行に伴い、窒素養分環境が良好であることがかえって牧草中の加里含量を低下せしめた。すなわち初年目 2, 3 番草、2 年目 1, 2 番草においては無 N 区と N 12.5 区との牧草乾物中加里含量の差異は 0.86~1.24% であった。磷酸環境の変化における牧草乾物中加里含量は 1.76~3.58% まで変動したが顕著な傾向は認められない。しかし石灰環境の変化におけるそれは 1.88~3.38% まで変動した。Ca 3.8 区から Ca 12.5 区までは土壌の石灰量の増加に伴い牧草中加里含量は増大したが、それ以上の石灰量の増加はかえって加里含量を低下せしめた。また苦土環境におけるそれは K_2O として 1.75~3.38% まで変動した。土壌中苦土量の増加と刈り取りに伴う牧草中加里含量の変化は石灰環境の場合と類似した。

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 0.23% から最高 0.77% の範囲で変動し、その平均石灰含量は 0.49% であった。そのうち土壌の石灰環境の変化におけるそれは 0.37~0.77% まで変動したが、土壌中石灰量の増加に伴う一定の傾向は認められない。また土壌の窒素環境の変化では 0.32~0.74% まで、土壌の磷酸環境の変化では 0.41~0.63% まで変動するが、これら土壌の環境要素が増加することと牧草中石灰含量の間には一定の傾向は認められない。ところが土壌の加里環境の変化では CaO として 0.23~0.76% まで変動し、それは土壌中加里量の増加に伴って牧草乾物中の石灰含量は著しく低下した。すなわち土壌中加里量最大区における牧草乾物中石灰含量は CaO として初年目 1 番草では 0.15%、2 番草では 0.26%、2 年目 1 番草では 0.21%、2 番草では 0.23% であった。また苦土環境においては CaO として 0.32~0.77% まで変動し、それは苦土施用量の増加に伴って牧草乾物中石灰含量は低下の傾向にあるが、特に 2 年目草においてその傾向は著しかった。

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 0.07% から最高 0.77% の範囲で変動し、その平均苦土含量は 0.33% であった。そのうち土壌の苦土環境の変化に

おけるそれは 0.18~0.72% まで変動し、それは土壌中苦土量の増加に伴い牧草中の苦土含量は増大した。また窒素環境の変化では 0.10~0.54% まで変化したが、一定の傾向は認められない。磷酸環境の変化では 0.10~0.56% まで変動したがこれも一定の傾向は認められない。ところが加里環境の変化では MgO として 0.13~0.77% まで変動し、土壌中加里量の増加に伴って牧草中苦土含量は著しく低下した。また石灰環境の変化では 0.07~0.45% まで変動し、それは土壌中石灰量の増加に伴って牧草中苦土含量は低下した。

以上のことから土壌の要素環境の変化に伴うオーチャードグラスの無機要素含量の変動を総括すると Table 6 のようになる。次にこのオーチャードグラス乾物中のそれぞれの無機要素の balance について検討することとする。

Table 6. The relationships between range of inorganic nutrients in plants and variation of available elements in the soil

		Contents in pasture plant				
		Nitrogen	Phosphate	Potassium	Calcium	Magnesium
Effect of increased elements in soil	Nitrogen	increase	decrease	decrease	gradual decrease	non response
	Phosphate	non response	increase	non response	increase to a certain level,	increase to a certain level, and then decrease
	Potassium	decrease	non response	increase	increase to a certain level, and then decrease	increase to a certain level, and then decrease
	Calcium	non response	non response	decrease	non response	decrease
	Magnesium	gradual increase	gradual increase	decrease	non response	increase

4) オーチャードグラス乾物中の無機要素の balance

オーチャードグラス乾物中の無機要素間の相互関係を、それぞれの要素環境の変化に伴い変動する要素間について図化すると Fig. 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 および 15 のようである。すなわち牧草乾物中の窒素含量と磷酸含量の相関では明瞭な関係が見い出せない。窒素含量と加里含量の間には $r = -0.563$ の相関が得られ、窒素と、加里含量とは関係が少ない。窒素含量と石灰含量の相関では明瞭な関係が見い出せない。つぎに磷酸含量に対する石灰含量の相関をみると Fig. 11 のようで、明瞭な関係はない。磷酸含量と苦土含量では苦土環境区において関連するようであるが、明瞭ではない。ところが加里含量と苦土含量ではその関係は明らかで $r = -0.771$ で負の相関となり、この要素は相互に antagonize している。これらの傾向は石灰含量との関係でも $r = -0.575$ となり、また石灰含量と苦土含量の間にも $r = -0.679$ が認められ、その傾向としては同様に考えられる。

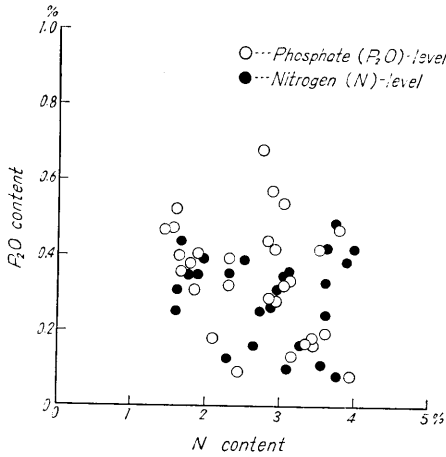


Fig. 8. The relationship between P₂O₅ and N content in the dry matter of pasture plants.

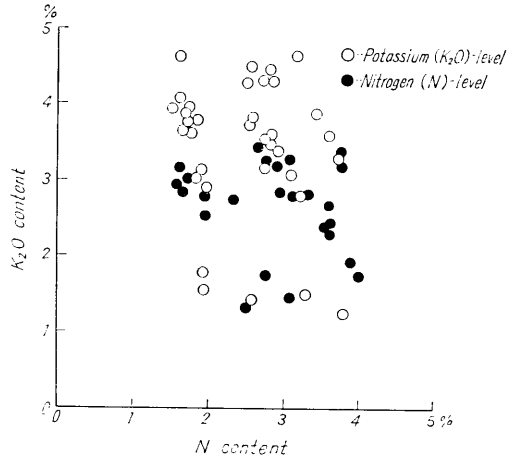


Fig. 9. The relationship between K₂O and N content in the dry matter of pasture plants.

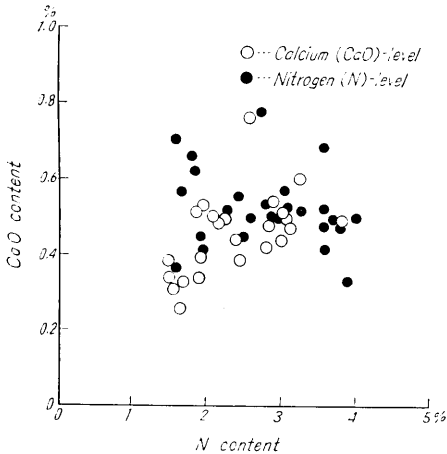


Fig. 10. The relationship between CaO and N content in the dry matter of pasture plants.

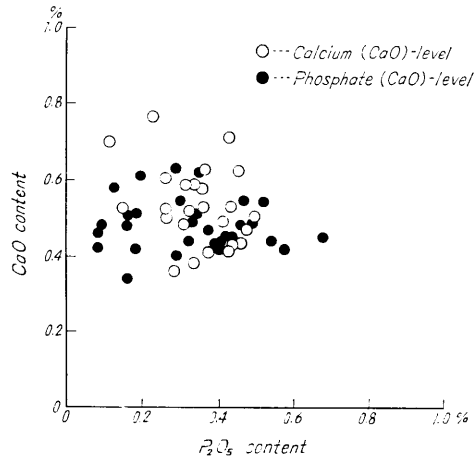


Fig. 11. The relationship between CaO and P₂O₅ content in the dry matter of pasture plants.

以上のことから、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らかとなったが、特に加里、石灰および苦土の関連が大であると考えられた。

そこでつぎに牧草が飼料として家畜に摂取されることと関連して、このオーチャードグラス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 (%), K/Ca+Mg (m.e.) および Ca/Mg (m.e.) ratio について

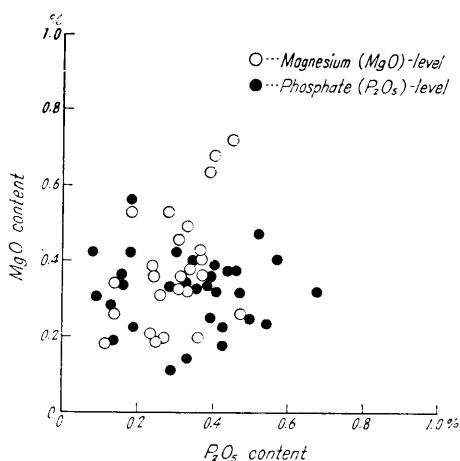


Fig. 12. The relationship between MgO and P_2O_5 content in the dry matter of pasture plants.

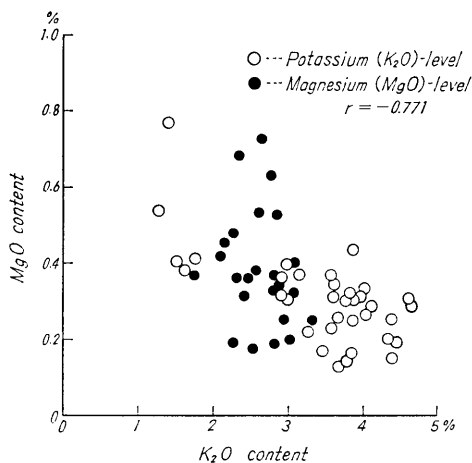


Fig. 13. The relationship between MgO and K_2O content in the dry matter of pasture plants.

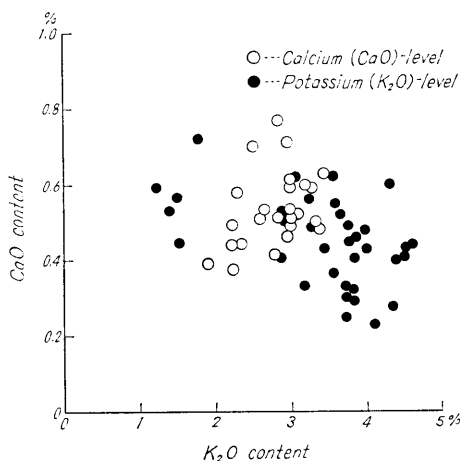


Fig. 14. The relationship between CaO and K_2O content in the dry matter of pasture plants.

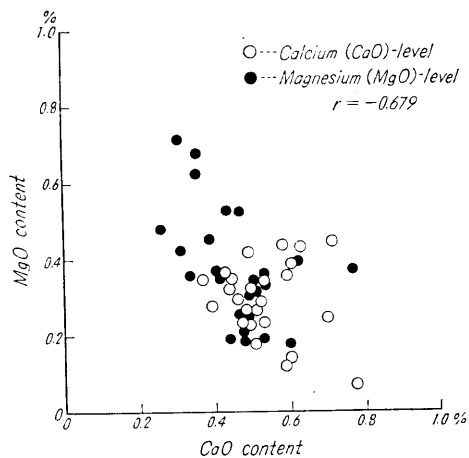


Fig. 15. The relationship between MgO and CaO content in the dry matter of pasture plants.

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⁸⁾, K/Ca+Mg (m.e.) ratio および Ca/Mg (m.e.) ratio はグラスステタニーに関連すると考えられている^{24), 26)}。本実験の結果は Table 7 のようである。すなわち、これらの数値は一般に飼料中の Ca/P (%) ratio で 1~2 が適当であるとされている⁸⁾ のに対し、このオーチャードグラス乾物中のこの ratio はそれにかかなり近い値を示しながらも、最高 14.67 に代表されるようにかなり高い値を示すものが多い。これは磷酸に対し石灰の吸収が大であったことを示

Table 7. The Balance of inorganic elements in orchard grass

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	1.37~	6.17	1.32~	2.88	0.90~	3.74
N 1.9	1.94~	10.25	1.54~	1.88	0.87~	1.28
N 3.8	1.62~	5.14	1.52~	2.38	0.82~	1.38
N 7.5	1.88~	9.80	0.78~	1.61	0.81~	3.80
N 12.5	1.35~	11.33	0.75~	2.70	0.72~	2.11
Phosphate (P ₂ O ₅)-level						
P control	2.21~	11.10	1.75~	2.03	0.71~	4.54
P 3.8	1.62~	5.14	1.52~	2.38	0.82~	1.38
P 7.5	1.82~	6.83	1.52~	3.27	0.92~	2.50
P 12.5	1.29~	5.50	1.31~	2.19	1.32~	2.00
P 20.0	1.20~	3.75	1.31~	1.71	0.54~	1.02
P 30.0	1.07~	8.50	1.32~	2.19	0.79~	1.15
Potassium (K ₂ O)-level						
K control	2.07~	7.00	0.51~	0.91	0.51~	1.26
K 3.8	1.62~	5.14	1.52~	2.38	0.82~	1.38
K 7.5	1.10~	3.71	2.04~	3.24	0.52~	1.85
K 12.0	1.40~	8.00	2.22~	3.06	0.72~	1.92
K 20.0	1.40~	14.67	2.21~	3.49	0.69~	2.49
K 30.5	0.96~	3.70	2.40~	4.32	0.60~	1.83
K 42.5	0.94~	3.88	3.16~	5.28	0.57~	1.56
Calcium (CaO)-level						
Ca control	2.00~	10.00	1.39~	2.01	0.76~	2.04
Ca 3.8	1.62~	5.14	1.52~	2.38	0.82~	1.38
Ca 12.5	1.57~	3.00	1.49~	2.42	0.90~	1.63
Ca 30.0	1.72~	3.91	1.30~	2.37	0.96~	3.09
Ca 50.0	1.94~	5.50	1.10~	2.32	0.95~	7.91
Magnesium (MgO)-level						
Mg control	2.82~	8.60	1.49~	2.19	1.13~	2.40
Mg 3.8	1.62~	5.14	1.52~	2.38	0.82~	1.38
Mg 12.5	1.53~	5.83	1.11~	2.31	0.41~	1.73
Mg 20.0	1.47~	5.55	1.05~	1.96	0.39~	2.04
Mg 35.0	0.79~	4.50	1.16~	1.40	0.31~	0.59

すものである。また他方、加里、磷酸および苦土環境の増大でこの ratio は低下し、最低は 0.79 であった。

一方 K/Ca+Mg (m.e.) ratio は 1.40 以下が望ましいとしている KENP らの報告²⁶⁾ があるが、本実験におけるオーチャードグラスの値は高く、それは加里環境の増大で大となる傾向があり、その最高 K/Ca+Mg (m.e.) ratio は 5.28 にも達している。もしこれらの牧草を単一で多量に摂取するならば、その家畜はグラスタニー発生の危険にさらされる恐れがあると考えられる。また Ca/Mg (m.e.) ratio であるが、これは石灰と苦土の相互関係で変動した。しかしオーチャードグラスの Ca/Mg (m.e.) ratio は土壌の加里環境の変化による影響を受けていないことは、牧草中加里の増大がその乾物中の石灰と苦土の含量に対し同程度に抑制的に働くものと考えられた。これらの関係は加里、石灰および苦土含量の間に拮抗関係があることを示唆するものである。なおこれらの牧草体内の無機 balance の乱れと土壌および家畜との関連についての詳細は次報で述べることとするが、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 に関連し、それは家畜にも影響するものと考えられ、Ca/P (%) ratio, K/Ca+Mg (m.e.) ratio および Ca/Mg (m.e.) ratio のうちオーチャードグラスでは K/Ca+Mg (m.e.) ratio が土壌の加里環境に支配されるなど土壌の無機養分環境条件の重要性が明らかとなった。

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を開始した。

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、野幌洪積土壌に N は 5 段階 (基肥) 0~12.5 g/0.25 m², P₂O₅ は 6 段階 0~30.0 g K₂O は 7 段階 0~42.5 g, CaO は 5 段階 0~50.0 g, MgO は 5 段階 0~35.0 g/0.25 m² 区の合計 28 区を設けた。追肥は各要素 1/2 量としてオーチャードグラスを栽培し、その結果について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オーチャードグラスの乾物生産におよぼす影響は窒素が大であり、また磷酸および加里もかなり影響したが、石灰および苦土は牧草の乾物生産にほとんど影響をおよぼさなかった。

2) 土壌の指定要素環境におけるオーチャードグラスの要素吸収量は窒素、磷酸、加里および苦土については土壌中の全窒素、Bray's No. 1 の方法による有効態磷酸、置換性

加里および置換性苦土については高い関連が認められた。しかし牧草中の石灰吸収量と土壌中の置換性石灰との関連は認められなかった。

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 1.45~4.00%, 磷酸は P_2O_5 として 0.08~0.68%, 加里は K_2O として 1.33~4.63%, 石灰は CaO として 0.23~0.77% および苦土は MgO として 0.07~0.77% まで変動した。

4) オーチャードグラス乾物中の無機要素含量は磷酸含量の増大に伴って苦土含量は増大した。また加里含量の増大は石灰および苦土含量を減少させた。これら加里、石灰および苦土の三つの要素は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いわれる牧草中の Ca/P (%) ratio には大きな変化がないのに対し、グラスステタニーに関連するといわれる牧草中の K/Ca+Mg (m.e.) ratio は土壌の加里量の増大に伴って 0.51~5.28 まで変化し、オーチャードグラスは土壌の無機養分環境の変化によってはグラスステタニー発生要因的牧草とな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) 赤塚 恵・上貝義運・三須 昇, 1964. 乳牛飼養における飼料中肥料成分の回収について. 日土肥誌, **35**: 351-354.
- 2) BARNARD, J. A. and R., CHAYEN, 1965. Modern methods of chemical analysis. pp. 1-19, 25-34, 101-106. McGraw-Hill, London.
- 3) BOLTON, J. L., 1962. Alfalfa, pp. 358, Leonard Hill, New York.
- 4) 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.
- 5) HARLAN, J. R., 1956. Theory and Dynamics of Grassland Agriculture, D. van-Nostrand, New York.
- 6) 原田 勇, 1967. 牧草の養分吸収過程並びにそれに基づく合理的施肥法に関する研究. 酪農学園大学紀要, **3**: 90-137.
- 7) 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.
- 8) 広瀬可恒, 1957. 乳牛の栄養と飼養. pp. 112-133, 朝倉書店, 東京.
- 9) 船引真吾・青峰重範, 1953. 土壌実験法. pp. 139-144, 養賢堂, 東京.
- 10) 今村経明, 1966. 牛乳の無機質. 日畜会報, **37**: 369-374.
- 11) 石橋雅義, 1950. 定量分析実験法. pp. 333-339, 富山房, 東京.
- 12) JACKSON, 1958. Soil chemical analysis. pp. 159-160, 183-204, Prentice-Hill, Englewood, Cliffs. N. J.
- 13) 神立 誠, 1964. 反芻家畜の栄養に関する最近10年間の進歩. 日畜会報, **35**, 特別号, pp. 27-34.
- 14) 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.
- 15) 牧野忠夫訳, 1956. ニュージーランド草地改良図説 [Grassland of New Zealand]. pp. 160-178, 高陽書院, 東京.
- 16) METSON, A. J., W. M. H. SAUNDERS, T. W. COOLLIE, and V. W. CRAHAM, 1965. Chemical composition of pastures in relation to grass tetany in beef breeding cows. N.Z. J.L., Agric., Res., **9**: 410-36.

- 17) 佐々木林治郎・津郷友吉, 1967. 乳の化学, pp. 46-53, 地球出版, 東京.
- 18) 篠原 功, 1967. 土壌中の加里溶出と牧草吸収加里の関係について. 北海道土壌肥料研究通信, **59**: 22-41.
- 19) 植物栄養学実験編集委員会編, 1961. 植物栄養学実験. pp. 19-99, 朝倉書店, 東京.
- 20) 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.
- 21) 東大農芸化学教室編, 1960. 実験農芸化学, I, pp. 54-59, 朝倉書店, 東京.
- 22) 高杉成道, 1960. 綜説「乳牛の繁殖障害と飼料作物」. 北海道農業連合会, 札幌.
- 23) 梅津元昌, 1966. 乳牛の科学. pp. 337-440, 農山漁村文化協会, 東京.
- 24) VOISIN, A. 1959. Soil, Grass and Cancer. pp. 47-53, Crosby-lockwood, London.
- 25) VOISIN, A., 1961. Grass Productivity. pp. 1-33, Crosby-lockwood, London.
- 26) 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 by an increased amount and quick circulation of nutrients.

Because of the importance of an efficiencial nutrition management system in grassland agriculture, as a first step, we conducted research on the influence of inorganic elements in pasture plants on the variation of available elements in the soil.

A summary of the results is as follows:

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

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

3) The range in content of inorganic elements in dry matter was from 1.45 to 4.00 percent for nitrogen: and 0.08 to 0.68, 1.33 to 4.63, 0.23 to 0.77, and from 0.07 to 0.77 for phosphate (as P_2O_5), potassium (as K_2O), calcium (as CaO), and magnesium (as MgO), respectively.

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

The Ca/P percentage-ratio in orchard grass varied slightly and was related to rickets in animal. However, with the treatment of nutrients for plants, and the range of $K/Ca+Mg$ mill equivalent-ratio in orchard grass, was from 0.51 to 5.28 and was related to the grass tetany of animal. Orchard grass produced an occurrence of grass tetany with variation of available elements in the soil.