

アルファルファおよびオーチャードグラスの 銅 (Cu) 吸収特性

原田 勇*・篠原 功*・岡田聖子*

The Absorption Characteristics of Copper by Alfalfa and Orchardgrass

Isamu HARADA*, Isao SHINOHARA* and Seiko OKADA*
(December, 1989)

緒 論

銅 (Cu) の土壌中の含量は土壌の異なる地域により、かなりの幅で変化することが認められ、また土壌中の粘土鉱物および有機物の量や質が銅吸着母体の特性に対し変動することが明らかにされている。さらに銅による植物の生育阻害も研究され、塩化カリ、硫酸アンモニウムなどの肥料形態において特に銅障害を促進するという傾向が見られ、その原因は共存陰イオンが銅イオンの行動に影響すると考えられている。すなわち、土壌溶液の Cl^- , SO_4^{2-} および HPO_4^{2-} 等の増減が土壌の銅イオンの吸着・脱着に影響を与え、特に Cl^- , SO_4^{2-} は土壌溶液中の銅濃度を高め、生育阻害を助長する要因であることが明らかにされている。また土壌中の銅の溶解度は pH の変化によっても影響される。すなわち pH 7 前後で最小となり、pH の上昇ないしは低下によって溶出率は高まり、特に酸性側で著しい溶出が見られる。土壌の種類別の溶出率は酸性側では、沖積土>洪積土>火山灰土で、アルカリ側では反対に火山灰土>洪積土>沖積

土の順で土壌の種類によって溶出率が異なることが明らかにされている²⁾。

近年ではコムギの栽培面積が増大し、これに伴い銅欠乏が発生する地域も見られている³⁾。植物により銅要素の要求性・耐性は異なるが、このような欠乏あるいは過剰症はそれを摂食する動物にも影響を与えると考えられる。

そこで本研究では、土壌の種類と長期にわたる施肥処理の相違がアルファルファ (*Medicago sativa* L.) とオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L.) の銅吸収特性にどのように影響するかを検討した。以下にその概要を記述する。

材料および方法

1) 供試土壌および供試植物

供試土壌は野幌洪積性重粘土、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 (Manure and Complete Fertilizer: MCF区)、完全化

Table 1. Chemical characteristics of soil

Nitrogen (N)	Phosphate (P_2O_5)	Potassium (K_2O)	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	150 t/ha

* 酪農学科, 土壌植物栄養学研究室 原田 勇, 篠原 功, 岡田聖子
Department of Dairy Science (Soil and Plant Nutrition), Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069, Japan

学肥料区 (Complete Fertilizer: CF 区), 硫酸系完全化学肥料区 (SO₄ 区), 塩素系完全化学肥料区 (Cl 区), 無窒素区 (-N 区), 無リン酸区 (-P 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) 処理区当たり 3.0×3.3 m, 畦間 30 cm 11 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: デュピー 2~3 kg/10 a) とオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L. 品種名: フィロックス 1.5~2 kg/10 a) を用い, 5 カ年間栽培した。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 640 kg/ha とした。微量要素肥料の FET は 40 kg/ha, 堆肥は 15 t/ha である。

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 5 cm 以上のところで刈り取り, 酵素活性を止めるため 90°C で 1 時間処理した後, 70°C 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, 供試土壌は 100~120 cm まで, 2 年目以降は表層 10 cm の深さで採取, 風乾したものを 2 mm 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, セミミ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ものである。乾燥試料をマッフル炉で灰化し, 水: 塩酸 (1:1) で硫酸分離後の濾液を, リン酸, カリ, 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

1) 供試土壌の特性

供試土壌の特性は, Table 2~5 のとおりである。洪

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

Horizon	pH		EC μS/cm	T-N %	Avai- lable P ₂ O ₅ mg/100g soil	Exchangeable bases				Trace elements			Fluo- rine F ppm
	H ₂ O	KCl				K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	
1st (0- 20 cm)	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- 40 cm)	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- 60 cm)	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- 80 cm)	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(80-100 cm)	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 %	Avai- lable P ₂ O ₅ mg/100g soil	Exchangeable bases				Trace elements			Fluo- rine F ppm
	H ₂ O	KCl				K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	
1st (0- 43 cm)	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- 80 cm)	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(80-100 cm)	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(100-120 cm)	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	T-N	Avail- able P ₂ O ₅	Exchangeable bases				Trace elements			Fluo- rine F
	H ₂ O	KCl	μ S/cm	%	mg/100g soil	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	ppm
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	—

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

Horizon	pH		EC	T-N	Avail- able P ₂ O ₅	Exchangeable bases				Trace elements			Fluo- rine F
	H ₂ O	KCl	μ S/cm	%	mg/100g soil	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	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

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、微重要素では第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カリが少ないが、pHは良好である。またリン酸が第1層を除いて少なく、カルシウムも第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 6. Dry matter yield of forages.

(t/ha/5 years)

Treatment of fertilizer	Diluvial soil		Volcanic soil		Peat soil		Alluvial soil		Average		Rate by treatment of fertilization	
	Al	Or	Al	Or	Al	Or	Al	Or	Al	Or	Al	Or
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
Chlorine	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		

Al: Alfalfa Or: Orchardgrass

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で, 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, アルファルファで 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, 泥炭土壌の 20.1, 26.6 t/ha/5 年であった。

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 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銅 (Cu) 含有率

洪積性土壌, 粗粒火山性土壌および沖積土壌に生育したアルファルファの Cu 含有率は Table 7 のようであった。すなわち平均 8.25, 8.24, ならびに 8.52 ppm でこれらの土壌では差異は見られなかったが, 泥炭土壌で 1% レベルで有意に低く 4.35 ppm であった。オーチャードグラスは 6.86, 7.46, 7.36 ppm で洪積性土壌で若干低下が見られた。泥炭土壌ではアルファルファ同様低く

4.85 ppm であった。これは地上部のみの Cu 含量であるが, Cu は根系に多く吸収される要素である。岩崎ら⁹⁾はレッドクローバおよびイタリアンライグラスを用いて水耕試験を行い, その培養液中に CuCl_2 , CuHA および CuEDTA の各々を添加した試験を行った。その結果からも, 根部から地上部への Cu の移行は時間および Cu の存在形態の違いにより, 地上部と地下部の Cu 含量の差異となっていたが, 根部の Cu 含有率は常に地上部をほぼ十倍程度上回り, 地上部の Cu 含量を反映することを認めている。

Table 7. Copper concentration in forages grown on different soils. (ppm)

	Diluvial soil n=112	Volcanic soil n=112	Peat soil n=98	Alluvial soil n=112
Alfalfa	8.25 ±2.71	8.24 ±2.47	4.35 ±3.19	8.52 ±1.81
Orchardgrass	6.86 ±2.11*	7.64 ±2.46	4.85 ±2.46	7.36 ±2.31

* n=111

4) 施肥処理区別による植物体中の銅 (Cu) 含有率

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 Cu 含有率は Table 8 のようであった。アルファルファの Cu 含有率の平均は 7.49 ± 1.11 で, -P 区および NF 区で無肥料区に比較して 1% レベルで有意に高く 9.18 および 9.50 ppm で -N 区, MCF 区および CF 区で低く 6.48, 6.65 および 6.68 ppm であった。オーチャードグラスの平均は 6.75 ± 0.58 ppm でアルファルファ同様 -P 区及び NF 区で低く 7.51, 7.77 ppm で -N 区, MCF 区及び完全区が低く *6.34, 6.34 及び 6.02 ppm であった。

両植物で -P 区及び無肥区の吸収率が高かったのはリン酸やその他の肥料養分が不足することによって, 相対的に植物生育が不良となり, そのため一定重量の植物体当たりの Cu 吸収量が多くなったためと考えられる。ま

Table 8. Copper concentration in plants grown with different fertilization. (ppm)

	Manure and complete fertilizer n=56	Complete fertilizer n=56	Sulfur n=56	Chlorine n=56	Non nitrogen n=56	Non phosphate n=56	Non potassium n=56	Non fertilizer n=42	Average S. D.
Alfalfa	6.65 ±2.32	6.68 ±2.69	7.01 ±3.17	7.61 ±3.21	6.48 ±2.43	9.18 ±3.49	6.84 ±2.41	9.50 ±3.09	7.49 ±1.11
Orchardgrass	6.02 ±2.39	6.34* ±2.29	6.53 ±2.50	6.98 ±3.28	6.34 ±2.08	7.51 ±2.37	6.48 ±2.28	7.77 ±2.68	6.75 ±0.58

* n=55

たこれと反対に MCF 区や CF 区では生育が良好となったため一定重量当たりの Cu 吸収量が少なくなり、濃度が低下したものと考えられる。また、含有率の低い区では厩肥すなわち有機物の施用が Cu の吸収を妨げたためとも思われる。

5) 刈取り時期による植物体中銅 (Cu) 含有率

アルファルファとオーチャードグラスの刈取り時期別 Cu 含量は Table 9 のようであった。アルファルファの植物体中 Cu 含量は 1 番草で 7.16 ± 3.28 , 2 番草で 8.00 ± 3.32 , 3 番草で 7.13 ± 2.17 でオーチャードグラスでは 5.92 ± 2.86 , 7.80 ± 2.44 , 6.19 ± 1.61 ppm で両牧草とも 2 番草までは 1% レベルで有意に増加の傾向を示し, 3 番草で低下していた。

岩崎⁴⁾は Cu の濃度を土壌 1 kg あたり 0.001 mmol ~ 1 mol まで変化させ牧草を 2 回に分けて採取する実験を行ったが, 2 回目に刈取った植物体中の Cu 濃度は低下しており, これを植物根の活性低下によるものではなく, 栽培期間中の土壌有機物による Cu の吸着が進行し植物に対する可給度が低下したためと推定している。

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

	1st cutting plants n=155	2nd cutting plants n=155	3rd cutting plants n=124
Alfalfa	7.16 ± 3.28	8.00 ± 3.32	7.13 ± 2.17
Orchardgrass	$5.92 \pm 2.86^*$	7.80 ± 2.44	6.19 ± 1.61

* n=154

6) 植物体中の銅 (Cu) 含有率における草種間差

5年間の各土壌に生育したすべての植物体の Cu 含有率の平均は, アルファルファで 7.43 ± 3.06 ppm でオーチャードグラスでは 6.69 ± 2.55 ppm であった。明瞭な差異は見られなかったものの統計的にはアルファルファの方が有意に高い結果となった。

先に述べた岩崎⁴⁾の実験はイタリアンライグラスとレッドクローバを用いたものであったが, レッドクローバが特に Cu 含有率が高かったと述べている。この分析

Table 12. Copper content in soil by fertilizer treatment. (ppm)

Manure and complete fertilizer n=40	Complete fertilizer n=40	Sulfur n=40	Chlorine n=40	Non nitrogen n=40	Non phosphate n=40	Non potassium n=40	Non fertilizer n=40	Average S. D.
1.32	1.56	1.67	1.70	1.49	1.54	1.48	1.69	1.56 ± 0.12

Table 10. Interspecific different copper absorption by plants. (ppm)

	Alfalfa n=434	Orchardgrass n=433
Average	7.43 ± 3.06	6.69 ± 2.55

結果でアルファルファが若干高い傾向となったのも, マメ科牧草とイネ科牧草との草種間差を示唆していると言える。

7) 跡地土壌における銅 (Cu) 含有率

4種の跡地土壌の銅含有率は Table 11 のようであった。4種の土壌の平均は 1.55 ± 1.01 ppm に対し粗粒火山性土壌, 沖積土壌で有意に高く 2.63 および 2.47 ppm であった。洪積および泥炭土壌では 0.33 および 0.78 ppm と有意に低く, これ等の土壌中では土壌の腐植による Cu の固定化, また洪積性重粘土壌では土壌中の粘土鉱物に吸着, 固定化されたためと思われる。和田⁹⁾によれば Pb^{2+} , Cu^{2+} 等の2価の重金属イオンの選択係数を Ca^{2+} を基準として比較すると著しく高い選択吸着が認められる場合があり, このような場合には Ca^{2+} 濃度を高めても一度吸着された重金属イオンの脱着・交換は実際には殆ど認められないことも起こりうるとしている。また各種の粘土鉱物を含む土壌に重金属を添加し, その選択吸着の序列を調査した結果からも, 常に Cu は高い吸着性を示した結果となり, 本実験の分析結果にもこれらの作用が働いていることがうかがえる。

Table 11. Copper content in soil after cutting. (ppm)

Diluvial soil n=80	Volcanic soil n=80	Peat soil n=80	Alluvial soil n=80	Average S. D.
0.33	2.63	0.78	2.47	1.55 ± 1.10

8) 施肥処理区別土壌の銅含有率

施肥処理区別跡地土壌の銅含有率は Table 12 のようであった。各土壌の銅含有率の平均は 1.56 ± 0.12 で

MCF区で有意に低く1.49 ppm, SO₄区, Cl区およびNF区で有意に高く1.67, 1.70 および1.69 ppmであった。これらの数値は堆肥等の有機物によるCuの吸着現象で0.1N-HClの可溶性が低下したための含有率低下, またSO₄, Cl系肥料による土壤酸度の上昇による溶出率の増加が考えられるが明瞭な傾向は認め難かった。

謝 辞

本稿の取りまとめに当り, 有益なご助言とご協力をいただいた, 本学土橋慶吉教授並びに海野芳太郎助教授に厚く感謝申し上げる。またこれらの分析結果は1980~1985年までの土壤植物栄養学研究室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る次第である。

要 約

植物による銅の吸収特性を明らかにするため, アルファルファ(品種: デュビイ)およびオーチャードグラス(品種: フィロックス)を野幌洪積性重粘土壤, 植苗粗粒火山性土壤, 美唄高位泥炭土壤ならびに篠津沖積土壤に8施肥処理区を設け5カ年間栽培し, 実験した結果は以下のものであった。

- 1) 供試土壤の0.1N-HCl可溶性銅含量は表層で粗粒火山性土壤(4.0)=沖積土壤(4.0)>洪積土壤(0.7)>泥炭土壤(0.5 ppm)の関係であった。
- 2) これらの土壤で栽培されたアルファルファの平均収量は洪積31, 粗粒火山性29, 泥炭20および沖積38 t/ha/5年で, オーチャードグラスでは30, 30, 27および47 t/ha/5年であった。
- 3) 土壤の相違による植物体中銅平均含有率は, アルファルファで沖積(8.52)>洪積(8.25)≧粗粒火山性(8.24)>泥炭(4.35 ppm)の関係であった。
- 4) 草種間差を検討するため, 用いたアルファルファ434点の銅含有率は7.43±3.06 ppmであり, オーチャードグラス433点のそれは6.69±2.55 ppmで明瞭なアルファルファにおいてオーチャードグラスより有意に高い

含有率を示した。

- 5) 施肥処理区別銅含有率ではアルファルファNF区(9.5), -P区(7.51)がその全平均7.49±1.11からみて有意に多く, オーチャードグラスMCF区(6.02), -N区(6.34)およびCF区(6.34)がその全平均6.75±0.58 ppmからみて有意に少ない傾向であった。
- 6) 施肥処理後の土壤銅含有率は平均1.56±0.12 ppmで, Cl>NF>SO₄>CF=-P>-N≧-K>MCFの順であった。

参 考 文 献

- 1) 日向 進(1983): 土壤中の銅の行動に及ぼす各種肥料塩の影響, 日本土壤肥科学雑誌, 54: 45-49.
- 2) 日向 進(1981): 土壤中における銅の行動と形態について, 日本土壤肥科学雑誌, 52: 356-361.
- 3) 水野直治・鎌田賢一・稲津 脩(1981): 三笠市丘陵地帯のコムギ銅欠乏地域と不稔発生条件, 日本土壤肥科学雑誌, 52: 334-338.
- 4) 岩崎貢三・西村和雄・高橋英一(1987): 植物の銅吸収に及ぼす土壤有機物の影響, 日本土壤肥科学雑誌, 58: 187-192.
- 5) Rousos, P. A. and H. C. Harrison (1981): Identification of differential responses of cabbage cultivars to copper toxicity in solution culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 928-931.
- 6) 和田光史(1977): 土壤粘土によるイオン吸着反応, 土壤の吸着現象, 日本土壤肥科学会編博友社, 5-57.
- 7) C. M. Preston, S. P. Mathur and B. S. Rauthan (1981): The Distribution of Copper, Amino Compounds, and Humus Fractions in Organic Soils of Different Copper Content. Soil Sci., 131: 344-352.
- 8) A. Wallace, R. T. Mueller and G. V. Alexander (1978): Influence of Phosphorus on Zinc, Iron, Manganese, and Copper Uptake Plants. Soil Sci. 126: 336-349.
- 9) 原田 勇(1985, 4~1988, 4): 土を調べる, シリーズ技術・土, 近代酪農, 酪農学園短期大学酪農学校。

Summary

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) were grown on by 8 fertilizer treatments in 4 soil types, for 5 years from 1977.

The main results were as follows;

- 1) Copper concentration in forage grown on different soils were 4.35±3.19~8.52±1.81 ppm in alfalfa and 4.85±2.46~7.46±2.46 ppm in orchardgrass.
- 2) Copper concentration in alfalfa by different fertilization was 7.49±1.11 ppm. The concen-

tration of MCF, CF and -N plots were lower than that of the average of treatment plot, also, that of -P plot and NF plot were higher than that of the average.

3) Copper concentration absorbed by plant were 7.43 ± 3.06 ppm in alfalfa and 6.69 ± 2.55 ppm in orchardgrass. Namely, alfalfa showed a higher uptake than that of orchardgrass, and inter-specific difference of copper absorption by plant was recognized. But the difference was not clear in standard deviation.

4) Copper content in alluvial soil was 2.63 ppm and was higher than other soil. Namely, the contents of copper were 2.47 in alluvial soil, 0.78 ppm in peat soil and 0.33 ppm in diluvial soil respectively.

5) Copper contents in soils under different fertilization were lower in MCF and -N plots, and higher in SO_4 , Cl and NF plots.