



Title	牧草三要素試験跡地のトウモロコシ生育と土壌の化学性について
Author(s)	岡島, 秀夫; 今井, 弘樹
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 10(3), 206-218
Issue Date	1977-05-31
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/11892">http://hdl.handle.net/2115/11892</a>
Type	bulletin (article)
File Information	10(3)_p206-218.pdf



[Instructions for use](#)

# 牧草三要素試験跡地のトウモロコシ生育と 土壌の化学性について

岡島秀夫・今井弘樹

(北海道大学農学部土壌学研究室)

(昭和51年5月17日受理)

## Corn growth and soil properties in plots used for long term experiments with fertilizer application

Hideo OKAJIMA and Hiroki IMAI

(Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

(Received May 17, 1976)

一般に農業上価値の低い土壌に変化することが、土壌の退化であると考えられている<sup>1)</sup>。耕地の管理は、土壌が利用価値の低い状態になることを避け、それをより積極的に価値の高いものにすることであろう。ただし、ここでの価値とは、作物栽培上格別の欠陥をもたぬ土壌が価値が高いという程度の意味である。土壌の酸性化がその代表例であることから、土壌退化の意味は理解されよう。

土壌の酸性化は溶脱条件の発達などに対応して進行するものであるが、作物の栽培による養分の不均衡な収奪や、化学肥料由来の酸根の蓄積などによって加速されることがある。もちろん、作物栽培による土壌の理化学性の変化は、この酸性化にとどまらず、生物相までふくめた多岐にわたるものである。したがって、その変化を調節して、つねに農作物の栽培に適した土壌条件をつくっておくことが、耕地管理上重要である。

しかし、耕作の土壌に対する影響は、気象、土壌、栽培体系などの要因によってこととなり、また耕作年数も大きな要因となる。そのため、化学肥料の土壌への影響なども、長年月の試験が必要であり、すでに古くはロータムステッドの100年以上にわたる長期試験をはじめ<sup>2)</sup>、アメリカなどにも数10年にわたる試験例が数多く報告されている。しかし、それらの多くは、50年以上の化学肥料の連用でも、土壌の退化を認めた例はきわめて少ない。一方日本においては、集約農業による土壌の退化を懸念して調査研究されているが、その例は少なく、今後化学肥料連用と土壌の関係を論ずる上で事例を多くする

ことが望まれている。

本報告はこれらの事例を加えるとともに、化学肥料連用の土壌に対する影響を検討する目的で、北海道大学農学部圃場において長年にわたりおこなわれてきた三要素試験区について調査した土壌の諸性質、および若干の栽培試験の結果を報告したい。

### 1. 実験方法

**試験圃場：**北海道大学農学部付属農場において1914年(大正3年)以来継続されてきた三要素試験区を対象圃場とした。土壌は褐色低地土である。試験区は1区13.0×6.6 mのコンクリート・ブロックで区画された無肥料区、無窒素区、無リン酸区、無カリ区および隣接の完全区からなる。完全区のみは他区より遅れて1920年に設置された。1966年から1972年までは各区にオーチャードグラス、チモシー、アルファルファ、ラジノクローバの4草種を単播栽培した。1966年6月に播種。オーチャードグラス、チモシー、アルファルファは30 cm幅に条播し、ラジノクローバは散播した。硫安、過石、硫加をN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oとしてそれぞれ5.0 kg/10 a施用した。1966年は刈り取りをおこなわず、各草種の充分な生育を促した。1967、1968、1969年の3年間は4月から11月まで各5回の刈り取りをおこない、そのつど施肥したがマメ科牧草の窒素施用については、1967年は4月、6月に、1968年は4月、10月に、1969年は4月、6月にのみおこない、イネ科牧草の施与量より少なくした。1970年4月に更新し、同一試験区に再び同じ草種を栽培

した。1970, 1971, 1972年には窒素肥料として尿素をもちいた。1973年4月に各区を再び耕起し、牧草のかわりにトウモロコシ(ゴールデン・クロス・パンタム)を1973, 1974年の両年にわたり栽培した。栽植密度は40 cm×40 cmで1本立として栽培した。肥料は硫安、過石、硫

加をN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oとしてそれぞれ10 kg/10 aを全量基肥として施与した。各要素欠除区には該当する肥料は施与されていない。牧草およびトウモロコシ栽培中の施肥量をTable 1に示した。硫酸量は硫安、硫加と過石中に含まれる硫酸態硫黄量から算出した。

Table 1. Total amounts of fertilizer applied during the cultivation of forage crops (7 years) and corn (2 years)

Treatment		Forage crops* grown					Corn** grown					Cumulative amounts of fertilizer*** applied for 9 years (kg/10 a)				
		1966-1972 (kg/10 a)					1973-1974 (kg/10 a)									
		N	P	K	Ca	SO <sub>4</sub> -S	N	P	K	Ca	SO <sub>4</sub> -S	N	P	K	Ca	SO <sub>4</sub> -S
C**** (N, P, K)	Grass	159	54.8	117	62.1	220	20	8.84	16.6	10.8	34.0	179	63.6	134	73	254
	Legume	22.7	54.8	117	62.1	96						43	63.6	134	73	130
O***** (O)	Grass	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Legume	—	—	—	—	—						—	—	—	—	—
-N (P, K)	Grass	—	54.8	117	62.1	70	—	8.84	16.6	10.8	11.0	—	63.6	134	73	81
	Legume	—	54.8	117	62.1	70						—	63.6	134	73	81
-P (N, K)	Grass	159	—	117	—	198	20	—	16.6	—	29.8	179	—	134	—	228
	Legume	22.7	—	117	—	74						43	—	134	—	104
-K (N, P)	Grass	159	54.8	—	62.1	172	20	8.84	—	10.8	27.2	179	63.6	—	73	199
	Legume	22.7	54.8	—	62.1	48						43	63.6	—	73	75

\* Forage crops [grass: orchardgrass (O), timothy (T) legume: alfalfa (A), ladino clover (L)]

\*\* Corn (G.C.B.)

\*\*\* Fertilizers used: N, P, and K as ammonium sulfate, superphosphate and potassium sulfate, respectively. Urea was also used partly for only forage crops.

\*\*\*\* C: complete (N, P, and K applied)

\*\*\*\*\* O: no fertilizers applied

1966年以前については、1936年(昭和11年)に森口<sup>3)</sup>によって取りまとめられた報告がある。

#### 調査項目:

**牧草:** 各刈り取り時に一定面積(1 m<sup>2</sup>)の牧草を刈り取り、通風乾燥させ乾物重測定後粉碎し、常法により窒素、リン、カリ、カルシウム、マグネシウム、ナトリウムの各含有率を測定し養分吸収量をもとめた。

**トウモロコシ:** 収穫期に各区の前作4種の牧草跡地からそれぞれ20株採取し、穂、茎、葉の部分にわけ水洗い後、通風乾燥した。乾物重を測定した後粉碎し、牧草同様に養分吸収量をもとめた。

**土壌:** 1973年には6月20日、7月10日、7月30日、9月4日に各区のチモン跡地および無窒素区のアルファルファ跡地の表層0~10 cmより土壌1~2 kgを採取した。土壌は水分を含水率40%に脱塩水で調節し30

分後に遠心法によりpF 3.8までの土壌溶液を採取した。土壌溶液についてはpH、電気伝導度(EC mmho/cm)、アンモニウム態および硝酸態窒素、リン、カリ、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、マンガン、アルミニウム、硫酸、塩素をこれまでの報告<sup>4)</sup>と同様の方法で分析した。

1974年9月にトウモロコシ収穫後各区の前作牧草跡地ごとに土壌を表層0~10 cmより採取し、風乾後以下の分析をおこなった。pH(水およびN-KCl, 1:2.5)、CHENG, KURTZ法<sup>5)</sup>による各形態別窒素含量、TYURIN法による炭素含量、N-酢酸アンモニウム法による塩基置換容量(C.E.C.)、および置換性塩基量、またCHANG, JACKSON法<sup>6)</sup>による形態別無機リン含量、および焙焼法による有機態リン量をもとめた。

2. 実験結果

(1) 牧草栽培: Fig. 1 に7年間の牧草の乾物収量を示した。図中の数字は各牧草の完全区を100とした時

の、各区の指数である。7年間の牧草生育は完全区ではイネ科牧草が良好で、オーチャードグラスはラジノクローバのほぼ倍の収量が得られた。無肥料、無窒素区ではイネ科牧草の生育が不良で収量は完全区の3割程度であ

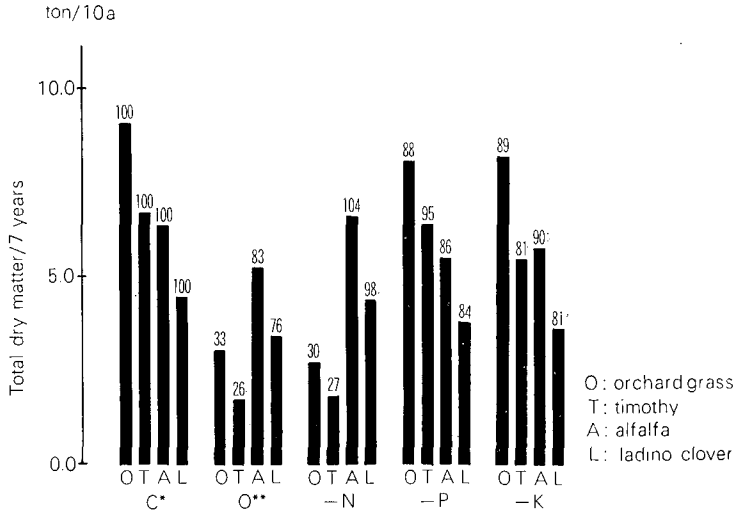


Fig. 1. Total yields of forage crops for 7 years.

(Notes, figures show the relative values with the complete plot equaling 100.  
\* complete \*\* no fertilizers applied)

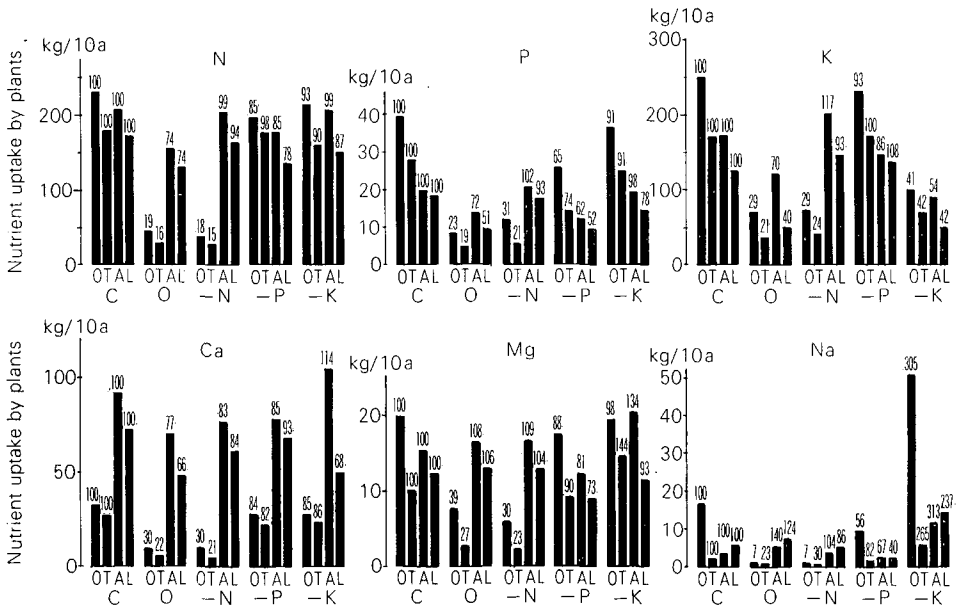


Fig. 2. Total cumulative amounts of nutrient removed by forage crops for 7 years.

(Note, figures show the relative values with the complete plot equaling 100)

るが、マメ科牧草は無肥料区でも完全区の8割程度の収量を得、カリ、およびリン酸肥料を与えた無窒素区においては完全区とほぼ同量の収量が得られた。無リン酸、無カリ区ではイネ科、マメ科牧草とも完全区の8割から9割の収量を得た。

牧草栽培7年間の養分吸収量を Fig. 2 に示した。完全区では各牧草とも 200 kg 内外の窒素を吸収している。無肥料、無窒素区ではイネ科は2割以下であるが、マメ科は無窒素区では完全区とほぼ同量吸収している。リン酸は無肥料、無窒素区ではマメ科牧草の吸収量がイネ科より多く、無リン酸区ではイネ科の吸収量がやや多いが、完全区の各牧草のリン酸吸収量はほぼ5割から7割の吸収を示した。7年間にオーチャードグラスがもっとも多くリン酸を吸収して、25 kg/10 a、ラジノクローバは約 10 kg/10 a 吸収している。

カリの吸収量は無カリ区では各牧草とも完全区の5割

から4割の 100 kg/10 a 前後であるが、無肥料、無窒素区のイネ科牧草は完全区の3割から2割と少ない。無窒素区のマメ科牧草は完全区とほぼ同量であるが、無肥料区ではアルファルファが 120 kg/10 a の吸収量を示し、それは完全区の7割に相当している。カルシウムはいずれの区においてもマメ科牧草の吸収量がイネ科牧草より多く、無カリ区のアルファルファは 106 kg/10 a と最大の吸収量を示し、無窒素区のチモシーは 6 kg ともっとも少ない。

7年間の施肥量と牧草の養分吸収量の関係を Fig. 3 に示した。ここで養分の損失量(Loss)と蓄積量(gain)は施肥量と吸収量の差を示すものであり、見掛け上の施肥量と牧草の養分吸収量のバランスをみるものである。窒素はいずれの牧草とも、すべての区において吸収量は施肥量より多く、とくにマメ科牧草は肥料窒素以外に 100~200 kg/10 a の窒素を利用していることになる。リ

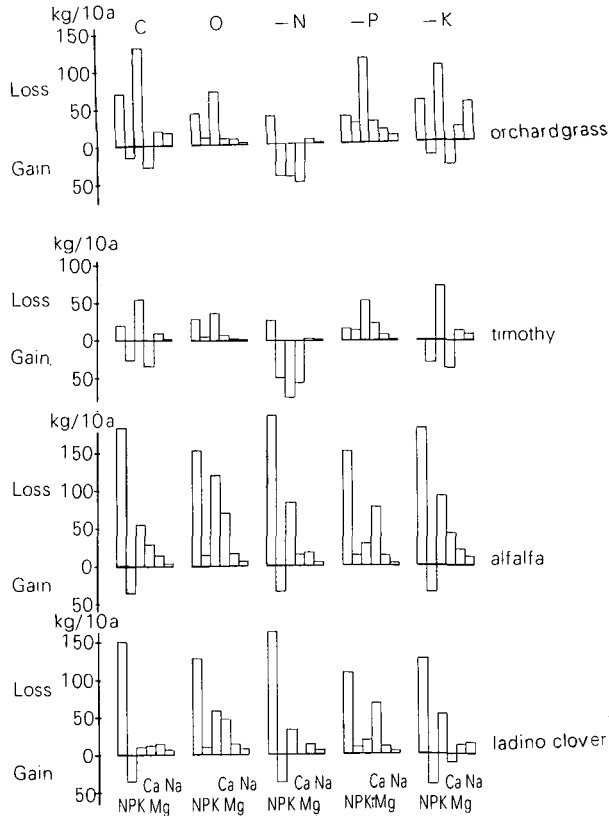


Fig. 3. Gain and loss of plant nutrients in the soils, during 7 years of forage crop cultivation.

(Note, calculated from the total amounts of nutrients removed by plants and those of supplied by fertilization)

ン酸は無肥料，無リン酸区以外いずれも蓄積型であり，牧草栽培の間に牧草の吸収量以上に施肥され，土壌に残存していると思われる。とくに無窒素区のイネ科牧草では50 kg/10 aほどが土壌に蓄積されたと思われる。カリは無窒素区のイネ科牧草の吸収量が少なく，オーチャードグラスで50 kg/10 a，チモシーは75 kg/10 aが蓄積されたことになる。その他の区ではすべて吸収量が施肥量を上まわり，最高の完全区チモシーでは130 kg/10 aを土壌から収奪している。

カルシウムは無肥料，無リン酸区以外では過石中にリン酸カルシウムと石膏の形で投入されており，リン酸施与区のイネ科牧草では土壌に蓄積したことになるが，マメ科牧草では無カリ区のラジノクローパ以外はカルシウムの吸収量が施与量よりも多くなっている。肥料としては投入されていないマグネシウム，ナトリウムはそれぞれ20~10 kg/10 aが期間中に土壌から牧草によりとり去られたことになる。無カリ区ではナトリウムの収奪量が他の区より多く，オーチャードグラスは50 kg/10 a程度を土壌から吸収している。

以上の施肥量，吸収量の関係からみると，7年間の牧草栽培期間中窒素はいずれの区でも損失型であり，リン

酸は施与区では蓄積型となり，カリウムは無窒素区のイネ科牧草をのぞいて損失型である。カルシウムはリン酸施与区のイネ科牧草では蓄積型，マメ科牧草では損失型である。また，無肥料，無リン酸区はいずれも損失型であり，無窒素区のイネ科牧草ではリン酸，カリ，カルシウムを，無カリ区ではリン酸とカルシウムをそれぞれ土壌に蓄積したと思われる。

(2) トウモロコシ栽培：1973, 1974年の2年間のトウモロコシ生育量を乾物重で Fig. 4 に示した。完全区では兩年ともマメ科牧草跡地がイネ科牧草跡地より，わずかであるが生育は良好であった。無肥料，無窒素区ではとくに1年目にマメ科跡地での生育が旺盛であり，生育後期にはじめて下葉が枯れ上がり肥え切れ症状を呈する程度であった。これに対してイネ科牧草跡地では生育初期より葉色が淡緑になり窒素欠乏症状が認められた。無リン酸区においては各跡地間の差は少なく，完全区の6割から7割の乾物重を示した。無カリ区ではイネ科牧草跡地で生育が劣り，とくにチモシー跡地では生育不良となり，草丈は低く，初期から下葉の周辺から枯死し，カリ欠乏特有の症状を呈した。マメ科跡地ではイネ科跡地より生育はやや良好であった。

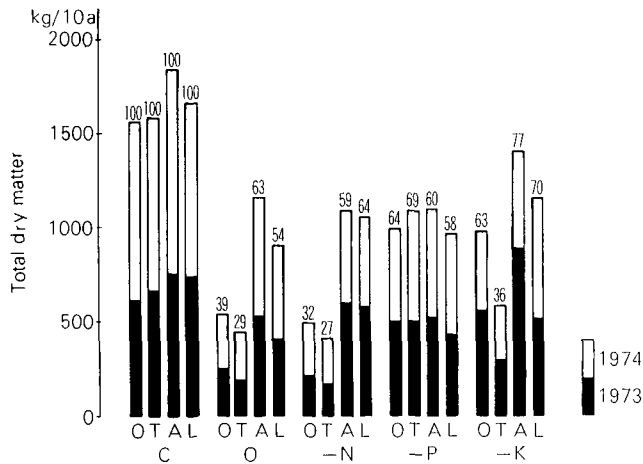


Fig. 4. Total dry matter productions in corn.

(Note, figures show the relative values with the complete plot equaling 100)

トウモロコシの2年間の養分吸収量を Fig. 5 に示した。無肥料，無窒素区ではマメ科跡地での窒素の吸収量が多く，1年目はイネ科跡地の2~3倍吸収利用している。無リン酸区においては，同年とも10アールあたり1~1.5 kgのリン酸を吸収している。無カリ区におけるカリの吸収量は1年目で多く，アルファルファ跡地では吸収量が12 kg/10 aに達するのに対し，チモシー跡地で

は2.5 kg/10 aと少ない。

牧草の場合と同様に，2年間のトウモロコシ栽培期間の施肥量と吸収量の関係を Fig. 6 に示した。窒素は無リン酸，無カリ区をのぞけばいずれもトウモロコシの吸収量が施肥量を大きく上まわっている。また，無肥料，無窒素区のマメ科跡地で窒素の吸収量が多いことは，マメ科牧草により土壌窒素が富化されたものと考えられ

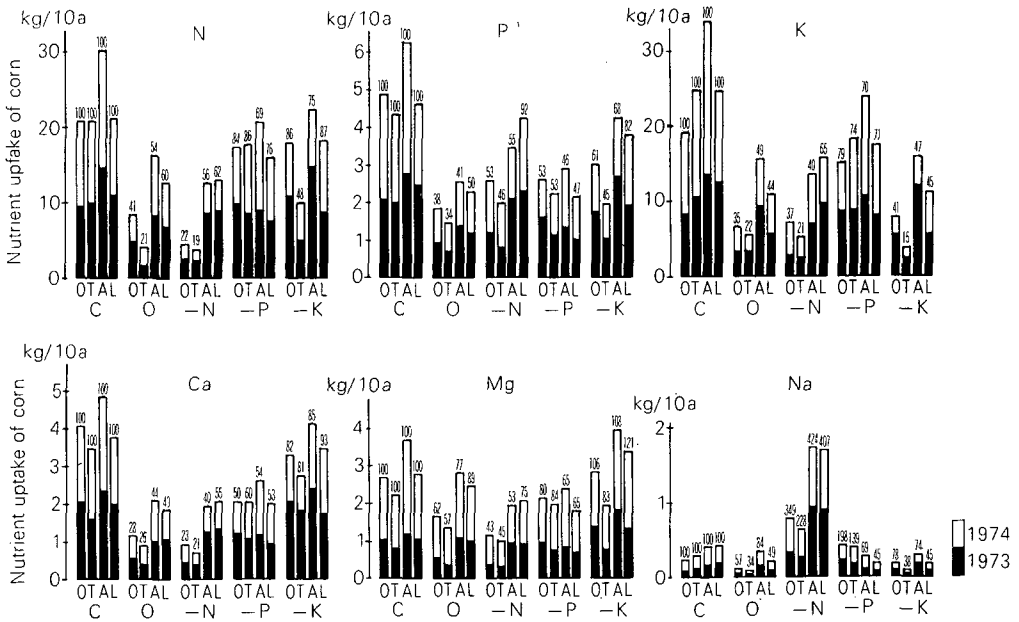


Fig. 5. Nutrient uptake of corn for 2 years.

(Note, figures show the relative values with the complete plot equaling 100)

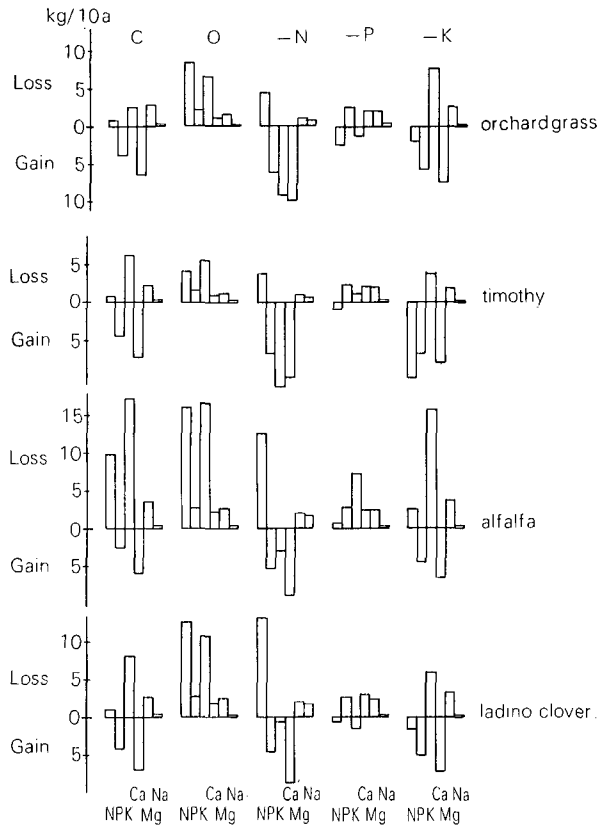


Fig. 6. Gain and loss of plant nutrients in the soils, during 2 years of corn cultivation.

る。一方、無リン酸や無カリ区のイネ科跡地では窒素の吸収量が施肥量より少なくなっており、蓄積型になっている。リン酸はリン酸施与区においてはいずれも吸収量が施肥量より少なく、土壤に蓄積していることを示している。生育の悪い無窒素、無カリのイネ科跡地ではとくに吸収量が少なく、それだけ土壤に多く残留していることになる。

カリは完全区においては各跡地とも吸収量が施肥量より多く、とくにアルファルファ跡地では損失量が多い。このことは無肥料、無カリ区においても同様であり、前作アルファルファにより窒素同様カリもまた富化されている可能性がある。これに対し無窒素区では吸収量が少なく土壤に残留していることになる。カルシウムはリン酸を与えている区ではすべて施与量が吸収量より多く、無窒素区では2年間に10 kg/10 a 近く蓄積したことになる。

以上のことから、前作の牧草栽培によってマメ科跡地では土壤に窒素とカリが富化され、トウモロコシはその吸収、利用が容易になったと思われる。また牧草とトウモロコシの栽培を通して窒素は損失型となり、リン酸は施与区では蓄積型となり、カリウムは無窒素区のイネ科跡地では蓄積型で、他の区では損失型となる。

(3) 1973年の土壤溶液の無機イオン濃度：各区のチモシー跡地と無窒素区のアルファルファ跡地について、1973年にしらべた土壤溶液の無機イオン濃度を Fig. 7 から Fig. 9 にわたって示した。pH (Fig. 7) は完全区、

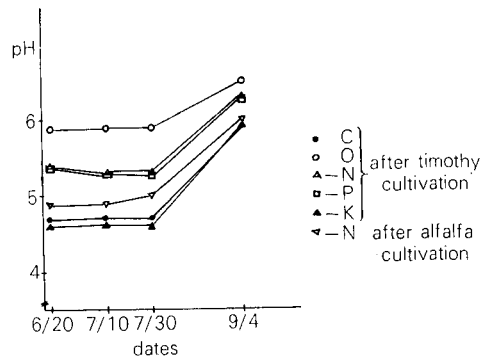


Fig. 7. pH of the soil solution.  
(Note, separated from the soil adjusted to 40% in moisture)

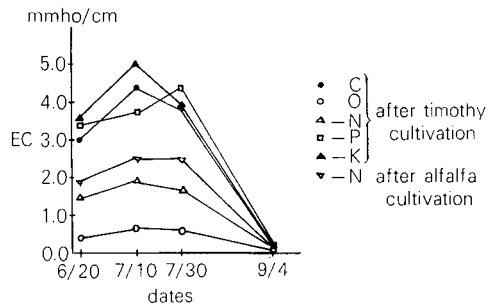


Fig. 8. Electrical conductivity of the soil solution.  
(Note, separated from the soil adjusted to 40% in moisture)

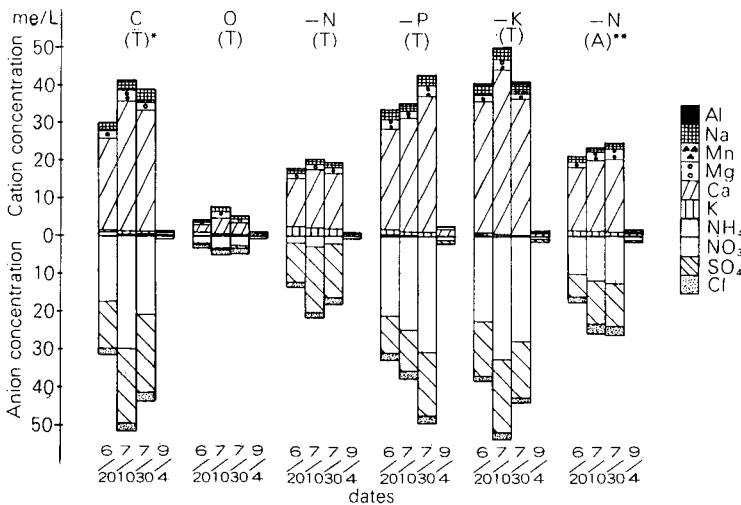


Fig. 9. Mineral ion concentration of the soil solution.

[Notes, separated from the soil adjusted to 40% in moisture. \* (T): after timothy cultivation. \*\* (A): after alfalfa cultivation]



無カリ区で低く、7月まで4.6に推移している。無肥料区では高く6.0前後であった。無窒素区、無リン酸区は上記の区の間中であるが、無窒素区ではチモン跡地よりアルファルファ跡地で低い傾向にあった。9月にはpHは一様に上昇して区間差は小さくなった。EC (Fig. 8) は完全区、無リン酸区、無カリ区で高く、無窒素区はそれより低い、アルファルファ跡地ではチモン跡地より常に高い値にある。無肥料区は1 mmho/cm以下であった。

土壌溶液のイオン組成 (Fig. 9) をみると、ECにその傾向が示されるように各区とも窒素肥料とカリ肥料の施用に対応したイオン組成を示している。すなわち無肥料区ではアニオンとして硝酸と塩素がわずかに存在し、硫酸濃度はきわめて低い。完全区、無リン酸区、無カリ区では施用した硫酸が硝酸化成作用をうけて、土壌溶液中に硝酸アニオンを生成し、それに対応してカチオン濃度が高く維持されている。硫酸イオン濃度は無肥料区が低いほかは、他の区間にはあまり差はない。

無窒素、無カリ区ではそれぞれ欠除肥料中の硫酸量だけ土壌への投入量が少ないものである。このことは別報<sup>9)</sup>でのべたように、硫酸根肥料の施用により土壌溶液が硫酸カルシウムの飽和溶液となっているために、硫酸投入量が異なるにもかかわらず土壌溶液の硫酸濃度にあまり差がないと思われる。無窒素区のチモン跡地とアルファルファ跡地では硝酸濃度に著しい差がみられる。チモン跡地では硫酸がアニオンの主体をしめ、硝酸はごく少量である。アルファルファ跡地では硝酸濃度が13 me/Lに達している。

(4) 跡地土壌の化学的性質について： 土壌窒素の存在形態とC/N比を Fig. 10 に示した。跡地土壌の窒素含量は各区ほぼ350 mg/100g土前後であり、含量の最も多い無リン酸区のチモン跡地では390 mg含まれているが、無肥料、無窒素区でも310 mg以上含まれている。全窒素のうち無機態窒素は3%程度であり、大部分が有機態である。有機態窒素のうちいずれの土壌も、30%程度は6N塩酸で加水分解されない未同定態窒素

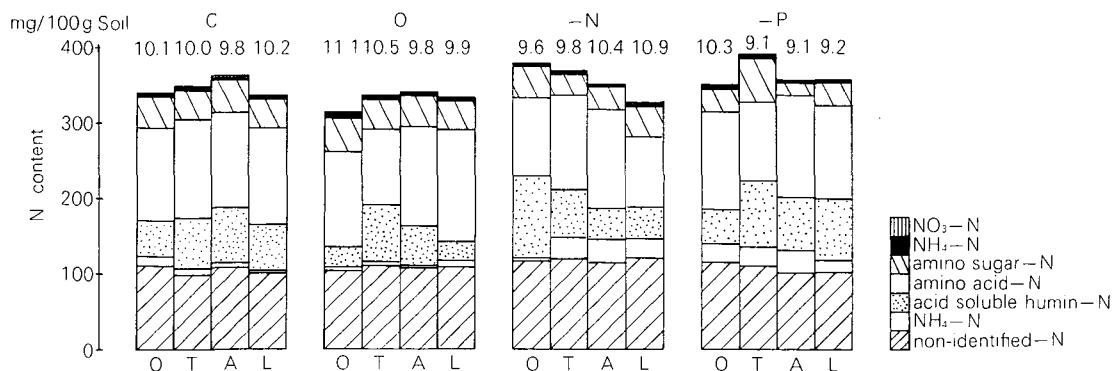


Fig. 10. Chemical composition of nitrogen in the soil of long-term experiment with fertilizer application.

(Note, figures show the C/N ratio)

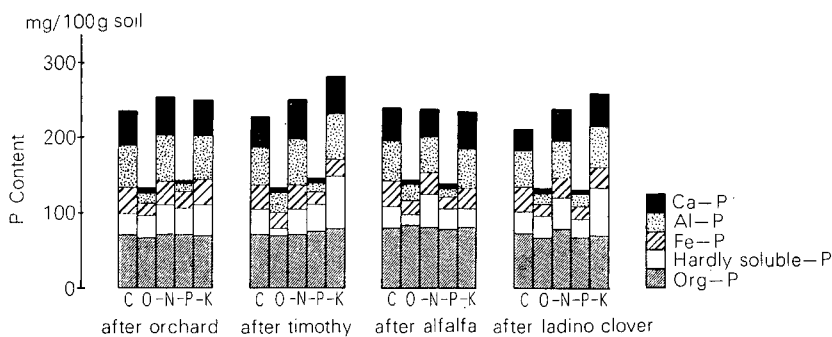


Fig. 11. Chemical composition of phosphorus in the soil of long-term experiment with fertilizer application.

であり、残りは易加水分解性の窒素画分である。各跡地土壤によって、易加水分解性窒素の各形態窒素の存在比率はややことなっている。C/N比は無リン酸区ではやや低いが、完全、無肥料、無窒素区とも10前後に維持されている。

土壤リン酸の存在形態を Fig. 11 に示した。各土壤で無機態リン酸量には区間に大きな差があるが、有機態リン酸量にはほとんど差がなく、70 mg/100 g 土前後と一定している。リン酸はすでに指摘したように、施肥の実態からみて土壤に蓄積する傾向にあるが、図のようにとくに無カリ区の各土壤や、無窒素区のイネ科跡地では無機態リン酸含量が高くなっている。リン酸肥料は過石として与えられているが、土壤中ではおもにカルシウム型リン、アルミニウム型リンとなり、一部鉄型リンの形態になっている。無肥料、無リン酸区では50 mg/100 g 土程度の無機態リン酸が含まれている。そのうち形態としてはカルシウム型リンが少なく、難溶性リン酸が比較的多く含まれている。

土壤の塩基置換容量 (C.E.C.) と置換性塩基量を Fig. 12 に示した。CEC は無肥料区をふくめ各区にほとんど差がなく、38 me/100 g 土であり、長期間の施肥の CEC

に対する影響はきわめて少ないものと考えられる。置換性塩基はカルシウムが80から90%をしめている。カルシウムの投入されていない無リン酸、無肥料区においても18から19 me/100 g 土存在している。

マグネシウムは肥料として施与されていないために、完全、無リン酸、無カリ区のように養分収奪量の多い区では無肥料、無窒素区にくらべて少なく、とくに完全区ではいずれの跡地も1 me 程度となっている。無肥料区では3 me 含まれているところから、マグネシウムは窒素、リン酸、カリの施用により減少する傾向にあると考えられる。カリは施肥量に対して作物のカリ吸収量の少ない、無窒素、無リン酸区で多く、とくに無窒素区のイネ科跡地では3 me におよんでいる。ただし無カリ区にあっても0.14 me ほど存在している。また完全区のアルファルファ跡地では、アルファルファやトウモロコシのカリ吸収量が施肥量を大きく上まわっているにもかかわらず、他の牧草跡地よりも多く1.5 me も存在している。ナトリウムについては、作物の吸収量の少ない無肥料区でやや多い傾向にあるが、区間にあまり顕著な差は認められない。

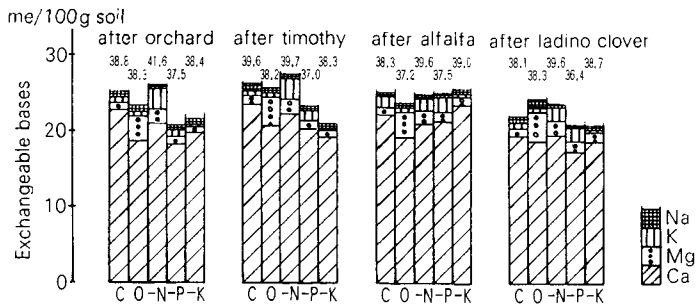


Fig. 12. Cation exchange capacities and exchangeable bases of the soils after corn cultivation  
(Note, figures show CEC, soil sampled in September, 1974)

### 3. 考 察

マメ科牧草は根粒菌による窒素の固定により、無肥料、無窒素区ではイネ科牧草より生育が良好であった。とくにリン酸とカリが施用されている無窒素区では完全区と生育にほとんど差が認められなかった。無肥料区ではリン酸、カリが制限要因となるためか、無窒素区より生育が劣った。イネ科牧草は無肥料、無窒素区で収量が著しく低く、窒素がその制限要因となっていたことはあきらかである。無リン酸、無カリ区ではイネ科、マメ科両牧

草とも完全区に対して80から90%の収量を示しているが、牧草のリン酸、カリ吸収量はこの収量指数に対して低い割合となっている。

このような牧草生育の後作トウモロコシへの影響は無窒素、無肥料区に大きくあらわれた。両区のマメ科跡地においてトウモロコシの生育が良好であったことは、土壤溶液の硝酸濃度が高いことから、前作による窒素の富化がその主要因であると思われる。佐藤、奥村<sup>7)</sup>らはマメ科とイネ科の草地の土壤溶液を比較して、マメ科草地の硝酸イオンと塩基濃度が高いことを同様に認めてお

り、その理由としてマメ科牧草根の C/N 比が小さく、分解しやすいために固定窒素を土壌溶液に放出すると指摘している。アルファルファ跡地では無カリ区の特ウモロコシの生育にみられたように、窒素のみでなくカリもまた富化されている。このカリ富化はラジノクローバでは認められなかったことから考えて、アルファルファは根長が長く養水分吸収域が広いため、下層土のカリを利用し表層に根残渣の形で蓄積したと思われる。

同じ無カリ区の特ウモロコシ跡地では、トウモロコシのカリ吸収、生育量とも他の牧草跡地より著しく劣っている。土壌溶液のカリ濃度 (Fig. 9) はきわめて低濃度であるが、牧草栽培期間の特ウモロコシのカリ吸収量はアルファルファやオーチャードグラスよりむしろ少ない。跡地土壌の置換性カリは特ウモロコシとオーチャードグラス跡地ではほとんど差がなく 0.14 me/100 g 土である。このようなことから無カリ区の特ウモロコシ跡地におけるトウモロコシの著しい生育不良は、土壌のカリ以外に他の要因にも影響されていると思われるが、その要因は不明である。無カリ区の特ウモロコシ跡地は土壌溶液の pH が低く、アルミニウムの濃度 (約 4 ppm, Fig. 9) が高いことから、トウモロコシにカリ欠乏と酸性障害<sup>8)</sup> が相乘的にあらわれている可能性もあろう。

つぎに各施肥によりあらわれた跡地土壌への影響についてみると、土壌の置換性塩基量は施肥量と作物の吸収量とに対応して考えることができる。マグネシウムのように肥料として投入されていない塩基は、収奪量の多い完全区の土壌でもっとも少なくなり、無肥料、無窒素区のような収奪量の少ない区では比較的多く土壌に保たれている。カリについても、無窒素、無リン酸区のように施肥量に対して収奪量の少ない区では、土壌に蓄積されて他の区よりも多くなっている。

しかしながらカルシウムでは、肥料として投入されていない無肥料、無リン酸区においては他の区よりわずかに少ないものの、作物の収奪量に対して土壌の存在量が多く、試験区の設置以来 60 年以上を経た現在でも影響が少なく、いまだに 20 me 前後を維持している。土壌の置換性塩基量に影響する因子としては、施肥や作物の吸収のほか降雨、降雪、地下水、下層土からの供給がかなりあると思われる。

土壌のリン酸についても同様の推論がなりたつ。一般的にリン酸は作物要求量に対して施肥量が大きく上まわることが多い。したがって完全、無窒素、無カリ区で土壌にリン酸が多量に存在しているのは、肥料リン酸の蓄積によるものと思われる。このようにカリやリン酸が蓄

積したために、Fig. 9 と Fig. 13 に示されるように無窒素区では土壌溶液のカリ (約 80 ppm) やリン酸濃度が高くなったものと思われる。また肥料リン酸の一部は土壌中でアルミニウムや鉄と化合した形で蓄積されているが、有機態リン酸は各処理区、各跡地間にほとんど差がなく、ほぼ 80 mg/100 g 土前後に維持されている。このほか、炭素含量や有機態窒素含量、C/N 比もほとんど区間差が認められない。

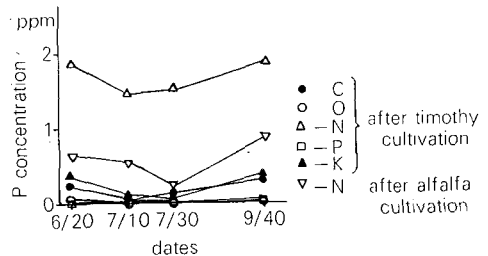


Fig. 13. Phosphorus concentration of the soil solution.

これまでの多くの長期栽培試験に関する報告によると、未墾地を開墾したり、耕作を続けると、土壌の炭素や窒素含量はある程度減少するものの、まったく消失してしまふことはなく、C/N 比などは一定に推移している例が多い<sup>9),10)</sup>。マメ科牧草跡地における窒素の富化現象は、土壌と C/N 比のことなる根残渣の土壌への混入であるが、この根残渣を混入した土壌の C/N 比が再び元の C/N 比と等しくなるまで、窒素が無機化していくものと思われる<sup>11)</sup>。土壌の有機態窒素に関してはアミノ酸態窒素や、アミノ糖態窒素画分が比較的無機化しやすいことが報告されているが<sup>12,13)</sup>、本圃場の土壌では無肥料、無窒素区のように、長年窒素肥料の投入されていない土壌でも、土壌の有機態窒素量は他区とかわりない状態であった。三木<sup>14)</sup> らも土壌の有機態窒素の組成が、土壌、管理様式によってあまり変化しないことを報告している。根残渣のような新鮮有機物や堆肥とことなり、土壌中に有機無機複合体として存在している有機態窒素や有機態リン酸は安定した状態にあり、作物にきわめて利用されにくい形態にあると考えられる。

本研究で示されるように、土壌の諸性質のうち無機質部分の推移は施肥と作物の来歴から一応その理解が得られる。しかしながら、土壌の諸性質の大枠は JENNEY<sup>15),16)</sup> が指摘しているように、本来土壌が生成した地点の気象条件等の因子に大きく律されているものであり、土壌の窒素含量も年平均降雨量などの関数として表示されているほどである。すなわち施肥管理や耕作にとまらぬ土

壤性質の変化も、長期的にみれば外部環境による変動幅を越えるものではないと思われる。試験区の跡地土壤の有機質部分に大きな差がない点は、JENNEYのいう耕地土壤の一種の平衡値として理解される。ALLISON<sup>18)</sup>も多くの長期栽培試験の成績にもとづいて、アメリカの耕地土壤の有機物は栽培法のいかんにかかわらず、その多くが増減の少ない平衡値に達していると推論している。

これまで土壤の諸性質に及ぼす、耕作等の管理方法の影響については、膨大な研究がおこなわれてきた。これらの報告や、本報告の結果から考えると、無機質肥料の連用は土壤を一方的に退化させるものではなく、土壤リン酸の増加する例にみられるように、場合によっては肥沃度を向上させているものである。無機質肥料の連用による土壤退化としては、マグネシウムの減少に代表されるように、肥料要素以外の土壤養分の減少があげられる。さらには Fig. 7 の土壤溶液の pH にみられたように土壤の酸性化が大きいことはいうまでもない。Fig. 14 に跡地土壤の pH と 9 年間の化学肥料投入量の関係を硫酸量で示した。本試験では生理的酸性肥料の硫酸根肥料を連用しているが、硫酸は WOLCOTT<sup>19)</sup> らの報告にもみられるように、他の形態の肥料にくらべ土壤酸性化の程度が大きいと指摘されている。それが完全区、無リン酸区で pH の低下が著しかった理由であろう。この pH の低下は土壤の化学性や生物性など広い範囲にわたって作物の生育に不適な条件になる。本報告でも土壤溶液のマンガンやアルミニウム濃度が高まり、Fig. 15

に示したようにマンガンは最高 9 ppm、アルミニウムは 5.6 ppm に達している。なお同図にはマメ科跡地について分析した結果も含め、調査例を多くしている。

以上のことから、開墾年次の古い土壤では、無機質肥料主体の栽培による土壤の無機成分の変化は、施肥と作物の養分吸収のバランスとして理解される。しかしこの範囲の変化による土壤の退化は、石灰中和や不足養分の補給により防止できるものであろう。

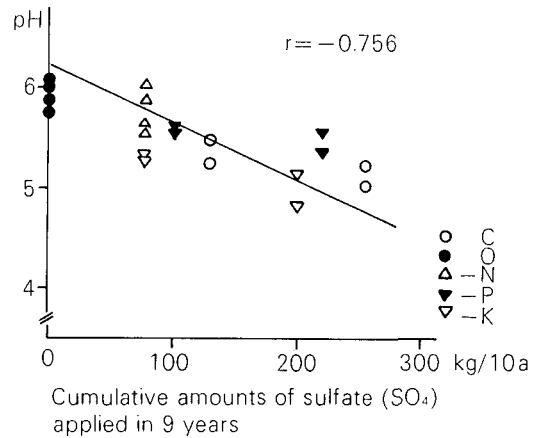


Fig. 14. Soil pH (H<sub>2</sub>O) in the long-term experiment with fertilizer application and amounts of fertilizer applied for 9 years.

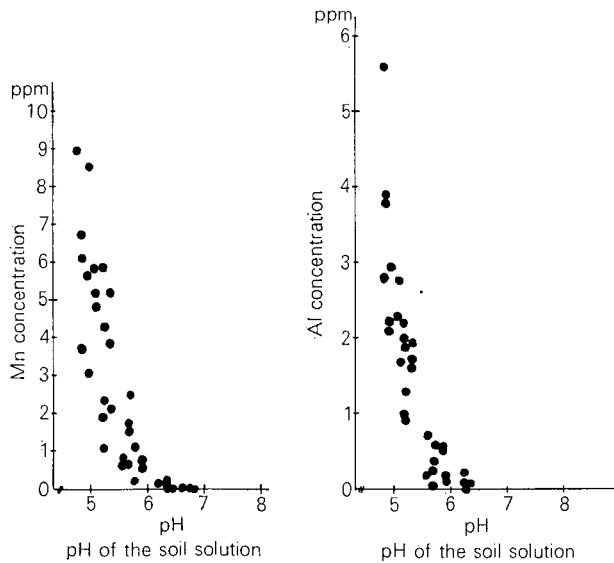


Fig. 15. Aluminium and manganese concentrations of the soil solution. (Sampled in 1973)

#### 4. 要 約

北大圃場の約50年間にわたる三要素試験区に、施肥試験区はそのままにして、1966年から7年間、オーチャードグラス、チモシー、アルファルファ、ラジノクローバの4草種を単播栽培し、試験を継続した。その後作に2年間トウモロコシを栽培した。そして施肥量、各作物の養分吸収量、跡地土壌の化学的性質を検討し、長年の施肥と栽培が土壌の諸性質におよぼす影響を論じた。得られた結果は次のとおりである。

1. マメ科牧草跡地では土壌窒素の富化が認められ、無窒素区のトウモロコシの生育は、イネ科牧草跡地より著しく良好で、土壌溶液の硝酸態窒素濃度も高かった。アルファルファ跡地ではカリの富化も認められた。

2. 長期三要素試験の土壌全窒素、炭素、CEC、および有機態リンについては区間差がほとんど認めがたい。またいずれの処理間においてもC/N比に認むべき差はなかった。

3. 土壌の置換性塩基、無機態リン量は、長年の施肥量と作物の収奪の収支とよく対応していた。

4. 土壌pHは施肥量の増大とともに低下しており、その影響はトウモロコシ栽培中の土壌溶液pHあるいは、そのアルミニウム、マンガン濃度にも認められた。

#### 謝 辞

本報告の分析の一部は本学研究生豊田好洋君の協力で得た。また牧草栽培試験は本教室の卒業生の協力を得た。記して謝意を表する。

#### 5. 引用文献

- 1) 塩入松三郎：老朽化水田の性格とその意義，土壌肥料新説，p. 16，養賢堂（1952）。
- 2) COOKE, G. W.: The control of soil fertility, p. 444, Crosby Lockwood and Son Ltd., London (1967).
- 3) 森口四郎：二十二年間大麦（燕麥）、亜麻、大豆、甜菜、輪作形式ニ依ル肥料三要素試験成績調査。並ニ当該試験区ニ栽培セル各作物生育各期ニ於ケル養分吸収状況ニ就イテ、昭和11年北大農学実科卒業論文（1936年）。
- 4) 岡島秀夫、今井弘樹：土壌の養分供給能に関する研究（第5報）、畑圃場における土壌水分と養分の可給性，土肥誌，47，563-570，1976。
- 5) CHENG, H. H. and KURTZ, L. T.: Chemical distribution of added nitrogen in soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27, 312-316, 1963.
- 6) 土壌養分分析法委員会：土壌養分分析法，p. 225，養賢堂（1970）。
- 7) 佐藤辰四郎、奥村純一：草地土壌の特性解明（第1報）。マメ科混播条件下におけるイネ科牧草の塩基含有率上昇現象，土肥要旨集，21集，II，12，1975。
- 8) 相見靈三，村上 高：作物の生育におよぼすアルミニウムの影響に関する細胞生理学的研究。農技研報 D，11，331-396，1964。
- 9) WHITE, J. W. and FOLDEN, F. J. and RICHER, A. C.: Maintenance level of nitrogen and organic matter in glassland and cultivated soils over periods of 54 and 72 years, J. Am. Soc. Agron., 37, 21-31, 1945.
- 10) YOUNG, R. A. and ZUBRISKI, J. C. and NORUM E. B.: Influence of long time fertility management practices on chemical and physical properties of Fargo clay, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 24, 124-128, 1960.
- 11) CARLSON, C. W. GRUNES, D. L. HAISE, H. R. and ALESSI, J.: Effect of alfalfa on the nitrogen and phosphorus requirements of crops, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27, 319-323, 1963.
- 12) KEENEY, D. R. and BREMNER, J. M.: Effect of cultivation on the nitrogen distribution in soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28, 653-656, 1964.
- 13) HAYASHI, R. and HARADA, T.: Characterization of the organic nitrogen becoming decomposable through the effect of drying of a soil, Soil Sci. Plant Nutr., 15, 226-234, 1969.
- 14) 三木和夫，川戸義行，森 哲郎：畑土壌の窒素供給力に関する研究（第3報）。畑土壌の有機態窒素の分布について，東海近畿農試報告，15，125-135，1966。
- 15) HARRADINE, F. and JENNY, H.: Influence of parent material and climate on texture and nitrogen and carbon contents of virgin California soils, Soil Sci., 85, 235-243, 1958.
- 16) JENNY, H.: Bodenstickstoff und seine abhangigkeit von Zustandfaktoren, Z. Pflanzenernahr. Dung. Bodenkunde, 109, 97-113, 1965.
- 17) KLEMEDSON, J. O. and JENNY, H.: Nitrogen availability in California soils in relation to precipitation and parent material, Soil Sci., 102, 215-222, 1966.
- 18) ALLISON, F. E., Soil organic matter and its role in crop production. p. 443, Elsevier Science Publishing Co., New York (1973).
- 19) WOLCOTT, A. R., FOTH, H. D. DAVIS, J. F. and SHICKLUNA, J. C.: Nitrogen Carriers: I. Soil effects, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29, 405-410, 1965.

### Summary

The balance of the mineral elements in soil and crops was investigated to study the effect of long term crop cultivation and fertilizer application on the chemical properties of experimental beds.

In 1966, orchardgrass, timothy, alfalfa, and ladino clover were sown in plots in which long term experiments on three major element (N, P, K) application had been conducted since 1914. Fertilizer application consisted of 5 treatments, namely, complete (N, P, K), -N (P, K), -P (N, K), -K (N, P), and no fertilizer applied in a similar manner to the preceding experiment. The forage crops were cultured for 7 consecutive years until 1972. After which, corn was grown in 1973 and 1974 as the test crop to examine the effect of the cropping sequence in combination with fertilizers on the soils.

The results obtained are summarized as follows.

(1) Corn in the legume grown plots of -N treatment, showed a fairly good growth and nitrogen

uptake, compared with those of the grass grown. Also the soil solution obtained from the legume grown plots was high in nitrate content, indicating an enrichment of soil nitrogen by legumes. In addition to soil nitrogen, alfalfa also enriched soil potassium.

(2) There were no appreciable differences in total nitrogen, carbon, cation exchange capacity, and organic phosphorus of the soils among all treatments including no fertilizer application. Also no appreciable differences were observed in soil C/N ratio.

(3) Exchangeable cations, inorganic phosphorus in the soils were closely correlated with the balance of fertilizer applied and elements removed by crops.

(4) Soil pH decreased with increase of total amounts of fertilizer applied. The pH of the soil solution obtained during crop growth was also low in the plots where a high amount of fertilizer was applied.