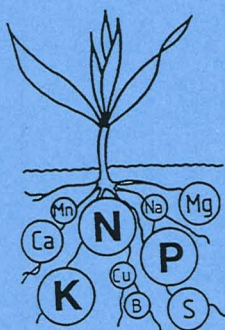




Effekter av kalkning och NPK-gödsling i sju långvariga försök i fält, 1962-92

**Effects of liming and NPK-fertilization in
seven long term field experiments, 1962-92**

Enok Haak och Gyula Simán



**Institutionen för markvetenskap
Avd. för växtnäringslära**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Soil Fertility**

**Rapport 198
Report**

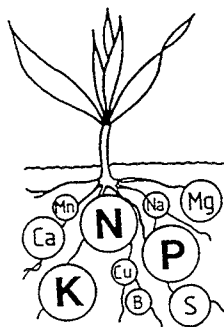
Uppsala 1997
ISSN 0348-3541
ISRN SLU-VNL-R-198-SE



Effekter av kalkning och NPK-gödsling i sju långvariga försök i fält, 1962-92

**Effects of liming and NPK-fertilization in
seven long term field experiments, 1962-92**

Enok Haak och Gyula Simán



**Institutionen för markvetenskap
Avd. för växtnäringslära**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Soil Fertility**

**Rapport 198
Report**

Uppsala 1997
ISSN 0348-3541
ISRN SLU-VNL-R-198-SE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT	5
SAMMANFATTNING	7
INLEDNING	8
MATERIAL OCH METODER	9
Försöksplatser	9
Försöksplan	12
Kalknivåer	13
Växtnäringsnivåer	13
Mullrämningsnivåer	14
Försöksgrödor	14
Redovisning	15
RESULTAT OCH DISKUSSION	15
Markeffekter av kalkning och gödsling	15
pH, Ca-AL och T-värde	15
P-AL, K-AL och Mg-AL	16
Organiskt C och N	18
Skördeffekter av kalkning och gödsling	19
Grundskördar och absoluta merskördar	19
Grundskördar och relativa merskördar	22
ALLMÄN DISKUSSION	24
GENERAL DISCUSSION	27
LITTERATUR	29

ABSTRACT

During 1962-92 seven field experiments were carried out with the aim to investigate the effects on soil and yield of liming and NPK-fertilization, combined with two crop residue regimes; ploughing-down and removal of straw. The soils were unlimed and limed to 70 and 100 V% or base saturation at the start of the experiments and relimed to these levels every fourth year. The soils were NPK-fertilized with three increased doses, for PK corresponding to half, equal and double P- and K-removal by cropping.

Chemical effects of increased liming were evident in the plough layer of the experiment. pH and Ca-AL increased with liming. P-AL and T-values tended to increase as well. The increase in P-AL and K-AL values with increased PK-fertilization relative to PK-removal at harvest varied from soil to soil. The effects of liming and of PK-fertilization on nutrient status were less in the subsoil than in the plough layer, as shown by slightly increased values of Ca-AL, P-AL and K-AL, respectively.

The yield response for liming varied with crop and site. It usually increased from initial base saturation to 70 V% but very little from 70 till 100 V%. The yield response for increased NPK-fertilization was usually about the same from half to equal as from equal to double level of PK-compensation. The crop residue regimes slightly affected the C/N-ratio in soil but did not affect the yield response. Based on the experimental results, the increase in soil fertility caused by liming and fertilization is discussed in more general terms.

SAMMANFATTNING

- * Under 1962-92 utfördes sju fältförsök med syfte att undersöka effekter av kalkning och stigande NPK-gödsling i kombination med två multrämmesbehandlingar, nedplöjning respektive bortförsel av skörderester.
- * Försöksjordarna, tre mojordar och fyra lerjordar, lämnades okalkade respektive grundkalkades till 70 respektive 100 % basmättnad (V%) vid start och underhållskalkades sedan till dessa nivåer, som regel vart fjärde år.
- * Varje år gavs tre stigande N-givor till vart och ett av de kalkade leden, anpassade till aktuell gröda, samt vart annat år P- och K-givor, motsvarande halvt, helt och dubbelt underhåll av P och K.
- * Kemiska markeffekter av kalkning och PK-gödsling var tydliga i matjorden. Såväl pH som Ca-AL-tal ökade entydigt med stigande kalkgivor. Även P-AL-talen och T-värden tenderade att öka.
- * Ökningen i P-AL- och K-AL-talen vid stigande PK-gödsling, relativt P- och K-bortförselein varierade från försökspats till försöksplats.
- * Kemiska markeffekter av kalkning och PK-gödsling var mindre tydliga i alven än i matjorden men något förhöjda Ca-AL- respektive P-AL- och K-AL-tal registrerades.
- * Skörderesponsen för kalkning varierade med gröda och försöksplats. Den var som regel klart positiv vid en ökning av basmättnaden till 70 V% men inte från 70 till 100 V%.
- * Skörderesponsen för NPK-gödsling var som regel lika stor vid ökning från halvt till helt som från helt till dubbelt PK-underhåll.
- * Halmnedplöjning ökade C/N-kvoten något i marken. Den gav emellertid ingen säker skörderespons.
- * Sammantaget visar resultaten från denna försöksserie att såväl kalkning som NPK-gödsling ökat jordarnas bördighet och produktionförmåga. Markeffekterna varierade med matjordens och alvens ursprungliga kalk- och växtnäringstillstånd.
- * I både kalkade och gödslade led var skördeeffekterna av kalkning och gödsling i stort sett adderbara. Den viktiga slutsatsen av detta är att gödsling inte kan ersätta kalkning och kalkning inte heller gödsling.
- * Behovet av underhållskalkning för att bibehålla 70 procent basmättnad var i genomsnitt 104 kg CaO, för 100 procent basmättnad 374 kg ha⁻¹ år⁻¹.

INLEDNING

Från andra världskrigets slut fram till början av 60-talet sjönk kalkförbrukningen betydligt i svenskt jordbruk. Samtidigt befann sig en stor andel jordbruksföretag i en radikal omvandlingsprocess. Den stabila kreatursstarka växtodlingen ersattes av mer specialiserade och ensidiga driftsformer. Ensidig stråsädesodling, med avsaknad av stallgödsel och vall samt halmbränning introducerades på många brukningsenheter.

Man befarade att nedgången i kalkförbrukning och ändrade driftsformer liksom ändrad jordbearbetning genom övergång till användning av traktorer som dragkraft och därmed överfart med tunga maskiner skulle försämra markstrukturen. Grödornas möjlighet att utnyttja markprofilen till större djup skulle kunna försvåras. De två allmänna önskemålen att bevara och vid behov förbättra såväl odlingsmarkens bördighet som produktionsförmåga kunde äventyras på längre sikt.

En traditionell grundförbättringsåtgärd som kalkning, för att höja pH-värde och basmättnadsgrad, borde åter få en mera framskjuten plats. Det ansågs angeläget att starta en ny försöksserie, med syfte att klarlägga kalkens markkemiska och markfysikaliska effekter under fältbetingelser. I dessa försök, som kom att kallas de permanenta kalkningsförsöken, ansågs det samtidigt angeläget att studera långtidseffekterna av stigande NPK-gödsling och att kombinera dessa åtgärder med olika mullråmnesbehandlingar eller mullråmnesregimer, i detta fall nedplöjning respektive bortförsl av skörderester.

Preliminära rapporter från denna försöksserie, R3-1002, har tidigare lämnats för 1962-77 (Siman, 1979), 1962-82 (Siman, 1985) och översiktliga för 1962-1991 (Haak, 1993; Siman et al. 1994). Syftet var att belysa kalkningens bördighetsuppbyggande effekter och eventuella samspel med gödslings- och mullråmnesregimer. Här lämnas en detaljerad rapport för tidsperioden 1962-92. Den omfattar redovisning och diskussion av förändringar i näringsstatus i matjord och alv samt deras inverkan på skörderespons i olika grödor. Skördedata redovisas för 190 försöksår. Kalknings och gödslingsstrategier diskuteras för enskilda försöksplatser.

MATERIAL OCH METODER

Försöksplatser

Före försökens start uttogs generalprov från matjord och alv på ett flertal lokaler med varierande kalkbehov. Sju av dessa lokaler utvaldes för långtidsförsök i olika delar av landet, från Skåne i söder till Västerbotten i norr, se figur 1. Analyser av mullhalt och textur från dessa generalprov anges i tabell 1.

Tabell 1. Mullhalt och textur i matjord (matj) samt textur i alv vid försökens start

Table 1. Organic matter (O.M.) and texture in plough layer (matj) and texture in subsoil (alv) at experimental start

Förs.plats <i>Site</i>	Skikt <i>Layer</i>	Mullh <i>O.M.</i>	Sand <i>Sand</i>	Mjåla <i>Silt</i>	Ler <i>Clay</i>
Amaliatorp AMA	matj alv	6,3 -	52,9 80,9	27,7 13,9	11,7 5,2
Tönnersa TÖN	matj alv	1,5 -	83,2 98,1	7,8 1,5	7,2 0,4
Ulfstorp ULF	matj alv	3,5 -	20,9 17,9	49,3 48,2	25,7 33,9
Eckerud ECR	matj alv	10,6 -	18,8 7,0	45,2 48,9	25,9 44,1
V:a Eknö VEK	matj alv	3,2 -	3,8 5,4	44,0 36,3	48,9 58,3
Säby SÄB	matj alv	5,7 -	7,3 13,0	53,7 53,3	33,7 33,7
Röbäcksdalen RBD	matj alv	3,6 -	54,6 40,3	36,5 55,7	5,3 4,0

Amaliatorp (AMA) ligger ca 10 km söder om Hörby i Malmöhus län. Matjorden är en mullrik svagt lerig sandig mo (Sandy loam) och alven en sand. Platsen representerar mellersta Skånes skifferurbergsmorän, som har lägre bördighet än de baltiska moränerna i andra delar av Skåne. Matjorden utmärks av hög mullhalt och alven av tät struktur med relativt små möjligheter till rotpenetration.

Tönnersa (TÖN) ligger ca 5 km nordväst om Halmstad i Hallands län. Matjorden är en mullfattigt svagt lerig sandig mo (Loamy sand). Alven är en nästan ren sand. Platsen representerar mojordar i Halland. Även här torde förutsättningarna för rotpenetration av alven vara begränsad.

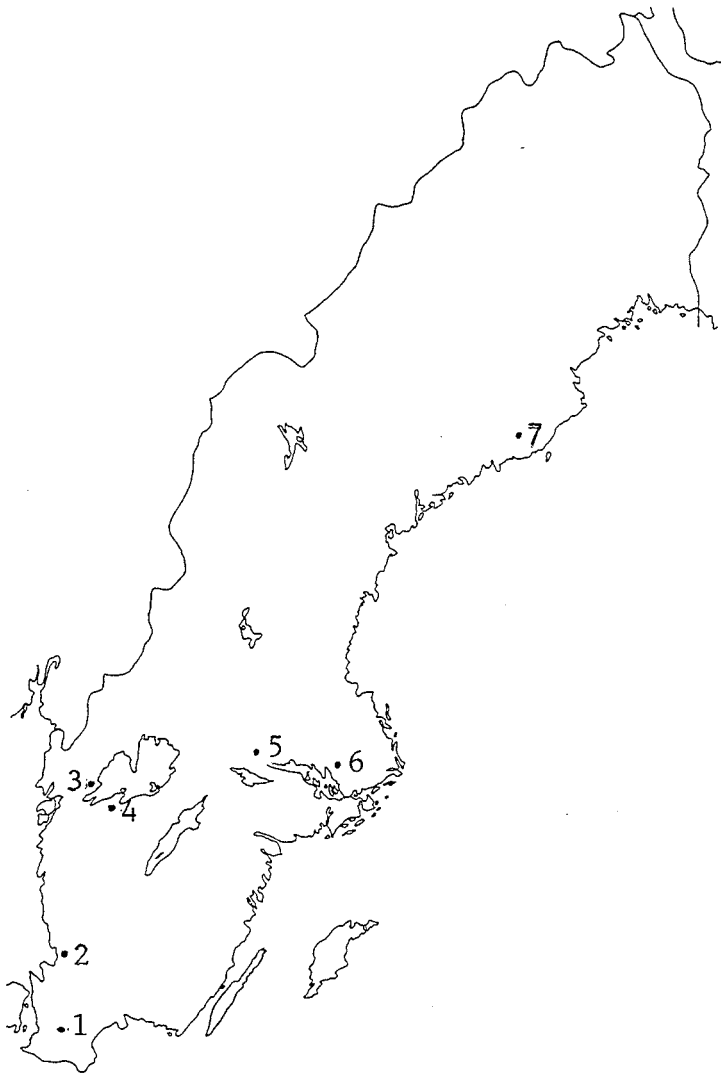


Fig. 1. Försöksfältens placering i olika delar av Sverige. 1. Amalietorp, 2. Tönnersa, 3. Eckerud, 4. Ulfstorp, 5. V.Eknö, 6. Säby, 7. Röbäcksdalen.
 Fig. 1. Location of field experiments in different parts of Sweden. 1. Amalietorp, 2. Tönnersa, 3. Eckerud, 4. Ulfstorp, 5. V.Eknö, 6. Säby, 7. Röbäcksdalen.

Ulfstorp (ULF) ligger ca 10 km nordväst om Vara i Skaraborgs län. Matjorden är en måttligt mullhaltig mjällig lättlera (Silty clay loam), alven en mellanlera. Förutsättningarna för rotpenetration av alven får bedömas vara relativt goda.

Eckerud (ECR) ligger strax söder om Mellerud i Elfsborgs län. Matjorden är en mullrik gyttjig lättlera (Silty clay loam), alven en styv lera. Platsen representerar Dalboslättens sulfatjordar som utmärks av hög mjälåhalt och hög vattenhållande förmåga. Särskilt alven är mycket sur, vilket begränsar rotutvecklingen.

Västra Eknö (VEK) ligger ca 10 km söder om Köping i Västmanlands län. Matjorden är en måttligt mullhaltig styv lera (Silty clay), alven en något styvare lera, vilket är vanligt inom det mellansvenska heterogena lerjordsområdet. Rötterna kan lätt genomtränga alven ca en och en halv meters djup.

Säby (SÄB) ligger ca 5 km söder om Uppsala stadsbebyggelse i Uppsala län på mark som tillhör SLU. Matjorden är en mullrik mellanlera (Silty clay loam), alven en styvare mellanlera. Platsen representerar Mälardalens lerjordsområden. Liksom på Eknö är alven lätt penetrerbar för rotutveckling.

Röbäcksdalen (RBD) ligger ca 4 km väster om Umeå stadsbebyggelse i Västerbottens län. Matjorden är en måttligt mullhaltig svagt lerig mo (Sandy loam). Alven är en mjällig svagt lerig mo. Den är väl sur för rotpenetration av kalkbehövande grödor som korn och klöver. Gräsvallar och havre är mindre känsliga.

I tabell 2 återges kemiska analysresultat för jord provtagna från matjorden före försökens start. Som framgår varierar pH 4,7-5,8, K-HCl 46-260, P-AL 1,8-7,2, K-AL 4,3-28,3. Beroende på mullhalt och lerhalt varierade basutbyteskapaciteten (T) från 6 till 24 m.e. per 100 g jord. Längst till höger har kalciummättnaden, Ca%, beräknats som kvoten mellan halten Ca-AL, m.e. per 100 g jord, i procent av T. Den varierar från 10 % på Eckerud till 65 % på Säby.

Tabell 2. Kemiska analysresultat av matjorden vid försökens start
Table 2. Chemical soil analyses of the plough layer at experimental start

F.pl. Site	pH- H ₂ O	<u>K-HCl</u>	<u>P-AL</u>	<u>K-AL</u>	<u>Ca-AL</u>	T CEC	Ca-mättn. Ca%
		mg per 100 g soil					
AMA	5,4	46	6,2	9,0	187	17	55
TÖN	5,5	82	7,2	9,0	60	6	50
ULF	5,7	180	3,9	10,5	240	20	60
ECR	4,7	145	1,8	13,7	48	24	10
VEK	5,2	175	3,0	28,3	200	20	50
SÄB	5,8	260	2,4	14,0	300	23	65
RBD	5,0	86	4,8	4,3	88	11	40

På basis av Ca% och T beräknades det teoretiska kalkbehovet vid grundkalkning upp till 70 och 100 Ca% för 20 cm matjordsdjup och volymvikten 1,25 kg per liter jord. Ignaberga kalksten med 50 % CaO har genomgående använts.

I tabell 3 återges resultaten av kemiska analys för jordprov tagna från matjord och alv i det okalkade ledet fyra år efter försökens start. De har uttagits systematiskt från varje okalkad parcell och karakteriserar på ett noggrannare sätt näringstillstånd samt pH och bastillstånd på de sju olika försöksplatserna än tabell 1.

I de tre kolumnerna längst till höger jämförs tre olika slags basmättnadsgrader, $Ca\% = Ca/T \cdot 100$, $V\% = S/T \cdot 100$ och $M\% = M/T \cdot 100$. M utgör summan av Ca-AL, Mg-AL och K-AL uttryckt i m.e. per 100 g jord. Större skillnader mellan Ca% och M% för lerjordarna beror på bidragen av Mg-AL i M%.

Tabell 3. pH-värde och bastillstånd i matjord och alv fyra år efter försökens utläggning i okalkat led
Table 3. pH-value and lime status in plough layer and subsoil four years after experimental start in unlimed treatment

F.pl. Site	Skikt Layer	pH- H ₂ O	K-AL mg/100	Mg-AL g jord/soil	Ca-AL	S m.e./100 g	T	Ca %	M %	V %
AMA	matj	5,7	10,0	3,8	147	8,5	14,3	51	55	59
	alv	5,6	2,1	2,3	105	4,6	8,9	59	61	52
TÖN	matj	5,5	6,8	3,4	65	2,9	5,4	60	68	54
	alv	5,3	2,0	1,2	12	0,8	1,3	65	48	21
ULF	matj	5,9	10,8	19,9	190	9,8	17,3	55	64	57
	alv	6,1	8,6	37,7	135	9,5	14,1	48	70	67
ECR	matj	5,1	11,8	13,4	58	4,3	15,6	19	22	28
	alv	5,4	14,2	81,2	139	13,2	19,4	36	72	68
VEK	matj	5,9	25,4	28,8	200	10,6	19,0	53	68	63
	alv	4,8	20,0	67,2	91					
SÄB	matj	5,8	15,4	26,9	215	12,9	24,8	56	70	68
	alv	6,6	10,2	67,9	184	14,6	21,7	42	68	67
RBD	matj	5,7	5,6	3,1	66	3,2	7,2	44	51	44
	alv	4,6	2,9	4,4	38	2,8	5,9	32	40	47

Försöksplan

I försöken ingick tre kalknivåer, tre växtnäringsnivåer och två mullråämneshnivåer. Detta gav $3 \times 3 \times 2 = 18$ försöksled utlagda som split-split-plot-design. På Röbbäcksdalen ingick tre block och på de sex övriga platserna två block.

I. Utan kalk

II. Uppkalkning till 70 V% (Ca%) och sedan underhåll

III. Uppkalkning till 100 V% (Ca%) och sedan underhåll

1. 30 kg/ha N, halvt underhåll av P och K
2. 60 kg/ha N, helt underhåll av P och K
3. 120 kg/ha N, dubbelt underhåll av P och K

A. Skörderester nedplöjs

B. Skörderester bortförs

Kalknivåer

Vid försökens start etablerades två nya kalknivåer, II och III, vilka sedan underhölls, som regel vart fjärde år, tabell 4. Fram till 1972 baserades dessa på kalciummättnadsgrad (Ca%), därefter på basmättnadsgrad (V%). Detta berodde på ändrat analysförfarande i samband med att de kemiska analyserna överflyttades från växtnärlära till SLL. På SLL användes imidazol-ammoniumkloridbuffert enligt Nömmik (1973).

Tabell 4. Kompletterande kalkgivor, ton CaO per hektar
Table 4. Supplemental lime doses ton CaO per hectare

F.pl. Försöksled/Treatments

Site	II	III	II	III	II	III	II	III
	Start		1968		1973		1978	
AMA	3,0	7,4	-	-	-	1,7	0,9	2,3
TÖN	1,3	3,0	0,5	1,6	0,1	0,3	0,5	1,2
ULF	3,3	9,2	-	-	-	1,6	-	1,5
ECR	9,0	18,0	2,4	4,5	0,3	-	2,5	5,5
VEK	3,7	8,0	0,6	4,7	-	1,7	-	2,5
SÄB	2,1	10,6	-	-	1,4	0,5	3,2	3,2
RBD	2,6	7,9	-	-	-	-	0,8	0,8
	1982		1986		1990		1962-90	
AMA	1,8	4,4	0,6	2,4	1,5	3,6	7,8	21,8
TÖN	1,2	1,3	-	0,7	1,4	1,3	5,0	9,4
ULF	-	-	-	0,8	1,3	3,0	4,6	16,4
ECR	1,3	1,0	-	-	2,8	4,3	18,3	33,3
VEK	2,0	3,4	-	1,5	1,3	4,1	7,6	21,8
SÄB	0,5	1,9	-	-	3,1	4,4	10,3	20,6
RBD	0,6	1,5	-	0,5	4,0	5,0	8,0	15,7

Växtnäringsnivåer

Gödslingsregimen var något annorlunda i de tre NPK-leden fram till och med 1968. Under denna period tillfördes varje år fasta givor av N, P och K, respektive 20, 6 och 20 kg/ha i led 1, 40, 12 och 40 kg/ha i led 2 samt 80, 24 och 80 kg/ha i led 3. Från och med 1969 och som framgår av försöksplanen ökades de årliga N-givorna med 50 %.

Under efterföljande fyraårsperioder bestämdes P- och K-givorna på basis av uppmätt bortförsel under närmast föregående fyraåriga omlopp. Givor motsvarande halv, hel och dubbel P- och K-bortförsel eller P- och K-underhåll tillfördes i respektive led 1, 2 och 3. N-givorna ökades med 50 % till de givor som anges i försöksplanen ovan.

Kvävet tillfördes som kalkammonsalpeter. Fosfor och kalium gavs vartannat år.

Fram till 1980 tillfördes fosfor som trippelsuperfosfat (20-22 % P), därefter som superfosfat (9 % P), kalium hela tiden som kaliumsulfat.

Mullråämnescivåer

Med de två mullråämnescivåerna avsågs att med tiden etablera två olika mullnivåer och att registrera detta med hjälp av kolhaltsbestämningar. I led A inbrukades och nedplöjdes halm och blast, i led B bortfördes dessa skörderestprodukter.

Försöksgrödor

I försöken ingick våra vanligaste lanbruksgrödor. Som framgår av tabell 5 och tabell 6 dominerade stråsåd med 128 försöksår, varav vårsåd 107 och höstsåd 21. Vall odlades 34, oljeväxter 14, potatis 8, foderraps (F.raps) 3, sockerbetor (S.betor) 2 och ärter 1 försöksår. Totalt redovisas 190 försöksår för tiden 1962-92. Några skördeår saknas beroende på att försöken i vissa fall legat i träda eller att grödorna inte blivit försöksmässigt skördade.

Tabell 5. Grödföljd 1962-92/Crop sequence 1962-92

ÅR	AMA	TÖN	ULF	ECR	VEK	SÄB	RBD
1962	-	-	Havre	-	-	-	Korn
1963	-	-	Ärter	Havre	Korn	-	Vall
1964	Vsenap	Sbet	Hvete	Vall 1	Havre	-	Korn
1965	Korn	Korn	Korn	-	Vraps	-	Havre
1966	Korn	Potatis	Havre	Havre	Korn	-	Korn
1967	Vall 1	Korn	Korn	-	Fraps	-	Fraps
1968	Vall 2	Vall 1	(Träda)	Havre	Havre	Vsenap	Korn
1969	Hraps	Korn	Hraps	Vall 1	Korn	Korn	Vall
1970	Korn	Potatis	Hvete	Vall 2	Havre	Vall 1	Vall
1971	Potatis	Korn	Hvete	Korn	Korn	Vall 1	Korn
1972	Korn	Vall 1	Havre	Havre	Vall 1	Vvete	Havre
1973	Korn	Potatis	Havre	Korn	Vall 2	Havre	Potatis
1974	Vall 1	Korn	Hvete	Vraps	Vall 3	Korn	Korn
1975	Vall 2	Korn	Korn	(Korn)	Vall 4	Vall 1	-
1976	Hraps	Råg	Havre	Vall 1	Vall 5	Vall 2	Vall
1977	Råg	Korn	Hvete	Vall 2	Vall 6	Hvete	Vall
1978	Potatis	Korn	(K-ärt)	Vall 3	Hvete	Havre	Korn
1979	Korn	Vraps	Hvete	Hvete	Havre	Korn	Korn
1980	Korn	Korn	Havre	Havre	Korn	Vvete	Fraps
1981	Vall 1	Korn	Havre	Havre	Havre	(Träda)	Korn
1982	Vall 2	Råg	Hvete	Havre	Vvete	Korn	Vall
1983	Hraps	Korn	Havre	Hvete	Korn	Vvete	Korn
1984	Råg	Korn	Vraps	-	Vvete	Korn	Korn
1985	Sbet	Havre	Havre	Korn	Korn	Havre	Havre
1986	Korn	Korn	Hvete	Vrybs	Havre	Korn	Korn
1987	Korn	Korn	Havre	Hvete	Hvete	Vvete	(Hels)
1988	Vall 1	Korn	Korn	Havre	Vraps	Korn	Potat
1989	Vall 2	Korn	(Träda)	Korn	Havre	Havre	Fraps
1990	Hraps	Potatis	Hraps	Korn	Korn	Korn	Korn
1991	Hvete	Korn	Hvete	Råg	Havre	Vvete	Vall
1992	(Ärter)	Korn	-	(K-ärt)	Korn	-	Vall

Korn = Barley; Havre = Oats; Vvete = Spring wheat; Hvete = Winter wheat;
Råg = Winter rye; Ärter = Peas; Vraps = Summer rape; Vrybs = Summer turnip rape;
Hraps = Winter rape; Potatis = Potatoes; Sbetor = Sugar beets; Fraps = Fodder rape

Tabell 6. Antal försöksår av de odlade grödorna
Table 6. Number of experimental years of the crops grown

F.pl. <i>Site</i>	Strå- säd <i>Cere- als</i>	Ärt <i>Peas</i>	Vall <i>Ley</i>	Olje- växter <i>Oil. crops</i>	Pota- tis <i>Pota- -toes</i>	Foder- raps <i>F. rape</i>	S- betor <i>S. beets</i>	Totalt <i>Total</i>
AMA	12	-	8	5	2	-	1	28
TÖN	21	-	2	1	4	-	1	29
ULF	23	1	-	3	-	-	-	27
ECR	17	-	6	2	-	-	-	25
VEK	21	-	6	2	-	-	-	29
SÄB	18	-	4	1	-	-	-	23
RBD	16	-	8	-	2	3	-	29
Totalt	128	1	34	14	8	3	2	190

Redovisning

Kemiska markeffekter av kalkning och gödsling redovisas från ledvis provtagning av matjord och alv utförda på hösten 1988. Effekter på skördeutbyte av ekonomiskt viktiga produkter redovisas, dels grödvis som kärnskörd av stråsåd och fröskörd av oljeväxter (båda 15 % vattenhalt) samt som torrsbstansskörd av vall och foderraps, dels försöksvis. I det senare fallet har avkastningen av olika skördeprodukter omräknats till nivellerade skördar, dvs till skördeenheter per hektar (1 kg torrsbstans av havrekärna). Det senare har gjorts genom att multiplicera torrsbstansskördar med koncentrationsfaktorer för olika grödor enligt Helmenius m. fl. (1957). Vid variansanalysen har statistiskt säkra skillnader, för olika jämförelser, anges med asterisker: *, **, *** för respektive 0.05-, 0.01- och 0,001-nivån.

RESULTAT OCH DISKUSSION

Markeffekter av gödsling och kalkning

pH, Ca-AL och T-värde

Tabell 7 visar den förändring i pH-värde, Ca-AL-tal och T-värde, som grundkalkning och återkommande underhållskalkning åstadkom från försökens utläggning fram till 1988. pH-värdet i led I, som ej kalkats på 26 år, har förändrats obetydligt om vi jämför med tabell 2. Jordarna har av naturliga skäl förblivit kalkbehövande. I led II och led III har såväl pH-värde som Ca-AL ökat betydligt vid stigande kalkning till 70 och 100 V%.

Som väntat blev förändringen av analysstal större i matjorden än i alven. Förbättringen av kalktillståndet i alven är värd att notera. Den är att betrakta som en gynnsam långtidseffekt, särskilt på jordar med sur alv. I matjorden har T-värdet jämfört med okalkat led ökat vid kalkning och mer i led II än led III. Även ökningen i basutbyteskapacitet är gynnsam. Kalkningen har på dessa sätt ökat bördigheten i hela markprofilen och underlättat en djupare rotpenetration.

Tabell 7. Effekt av kalkning på pH-H₂O, Ca-AL och T-värde. Medeltal över kalk- och mullråämneshöjder vid jordprovtagning 1988
 Table 7. Effect of liming on pH-H₂O, Ca-AL and CEC. Means over lime and crop residue levels at soil sampling 1988

F.pl Site	Skikt Layer	pH-H ₂ O			Ca-AL			T-värde/CEC		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
AMA	matj	5,4	5,9	6,6	110	173	257	16,6	16,6	18,2
	alv	5,8	6,1	6,5	70	78	114			
TÖN	matj	5,4	5,9	6,4	22	42	61	4,3	4,6	4,6
	alv	5,9	6,2	6,7	8	13	16			
ULF	matj	5,6	6,2	7,0	176	226	403	19,8	20,2	20,8
	alv	6,3	6,4	6,9	174	169	215			
ECR	matj	5,1	6,3	7,0	72	255	400	23,4	23,9	24,3
	alv	6,6	6,6	6,8	185	195	203			
VEK	matj	5,8	6,2	6,9	174	221	340	23,5	23,9	24,0
	alv	5,4	5,6	6,2	139	163	195			
SÄB	matj	6,0	6,3	7,0	197	240	342	23,9	24,7	24,7
	alv	6,6	6,7	6,8	214	218	230			
RBD	matj	5,4	6,0	6,8	43	84	144	9,2	9,6	10,0
	alv	5,3	5,2	5,6	3	36	39			
M-tal	matj	5,5	6,1	6,8	113	177	278	17,2	17,6	18,1
	alv	6,0	6,1	6,5	113	125	115			

P-AL, K-AL och Mg-AL

Tabell 8 visar den förändring som stigande NPK-gödsling i form av halvt, helt och dubbelt underhåll av P och K åstadkom på P-AL-, K-AL- och Mg-AL-tal i respektive led 1, 2 och 3. Effekterna varierar med försöksplatsen. Av naturliga skäl är förändringarna små för Mg, som ej tillförts, fränsett små mängder med kvävegödselmedlet N28.

Hur gödslingen påverkat P- och K-tillstånden i matjorden är av stor betydelse för bestämning av den tillförsel relativt bortförseln man bör eftersträva för att uppnå klass III, dvs P-AL-talen 4,1-8,0 och K-AL-talen 8,1-16,0. Som diskuteras senare bör klass III som regel eftersträvas i ett uthålligt jordbruk.

Jordarna reagerade olika för P-gödsling. På de tre mojordarna var P-AL vid försökets start i klass III. Här sjönk P-AL i led 1 och var i led 2 fortfarande lägre 1988 jämfört med utgångsläget. På lerjordarna var P-AL vid försökets

start i klass II. Här ökade P-AL redan i led 2 fram till 1988. På samtliga sju jordar blev P-AL klart högre i led 3. På Tönnersa och Ulfstorp ökade P-AL till klass IV och på övriga jordar till eller inom klass III.

Tabell 8. Effekt av NPK-gödsling på P-AL, K-AL och Mg-AL, 1988
Table 8. Effect of NPK-fertilization on P-AL, K-AL and Mg-AL, 1988

F.pl. Site	Skikt Layer	P-AL			K-AL			Mg-AL		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
AMA	matj	4,4	4,9	6,7	6,8	9,0	16,9	3,4	3,5	4,2
	alv	1,5	1,7	2,0	2,2	3,1	4,4	1,6	2,5	1,9
TÖN	matj	5,5	6,2	9,1	3,7	4,3	6,6	2,6	2,2	2,6
	alv	1,7	1,7	2,2	1,8	1,7	2,0	0,6	0,6	0,6
ULF	matj	6,1	7,2	9,9	10,8	14,2	23,8	16,8	16,6	15,3
	alv	3,5	3,8	4,2	10,9	10,2	9,5	45,1	42,1	39,4
ECR	matj	2,4	3,5	7,1	13,6	18,9	34,6	16,9	15,2	14,8
	alv	10,6	10,6	9,5	13,2	12,8	13,1	85,5	84,5	85,6
VEK	matj	3,0	4,1	5,7	22,9	27,5	38,8	27,8	26,0	25,0
	alv	1,7	1,3	1,4	19,2	18,9	19,6	49,2	47,2	49,3
SÄB	matj	2,6	3,2	4,8	12,7	13,5	17,4	19,4	19,3	20,1
	alv	0,9	0,8	1,0	14,1	13,6	14,4	59,1	57,9	59,1
RBD	matj	3,6	4,4	7,2	4,9	6,1	15,3	4,1	3,8	4,7
	alv	3,6	3,8	3,6	3,6	4,1	6,4	4,7	4,2	4,3

Det bör framhållas att alven var fattig på fosfor på fyra av de sju försöksplatserna, särskilt på Säby men även på Amaliatorp, Tönnersa och V:a Eknö. P-AL låg däremot i klass IV i Eckerudsalven. Ulfstorps- och Röbäcksdalsalven intog en mellanställning. En tendens till positiv effekt av P- och K-gödsling kan skönjas i alven på flertalet försöksplatser. I led 3 är denna tydligare för K-AL än för P-AL. Detta visar att tillförd gödsel-K rört sig lättare neråt i mark-profilen än tillförd gödsel-P.

K-tillståndet var från början bra i matjorden på de fyra lerjordarna. K-AL ökade betydligt vid stigande K-givor utom på Säby. K-gödsling. Vid dubbelt underhåll i led 3 på Ulfstorp, Eckerud och V. Eknö ökade K-AL till klass V år 1988. Mojordarna reagerade olika. På Tönnersa där K-AL sjönk som mest i led 1 räckte K-gödslingen i led 3 knappt till för att hålla K-AL-talet kvar i klass III. På Amaliatorp sjönk K-AL till klass II i led 1, förändrades ej i led 2 och ökade till klassgränsen III/IV i led 3. På Röbäcksdalen räckte inte enkelt underhåll för att höja K-AL till klass III i led 2 men väl dubbelt underhåll i led 3. K-AL-talet är lågt i alven på mojordarna, däremot högt på lerjordarna.

Tabell 9 visar kalkningens inverkan på markens P-, K- och Mg-tillstånd. Effekterna var som regel små. De var ofta svagt positiva för P-AL i matjorden, och ibland även för K-AL, vilket givetvis är gynnsamt. Någon trend till påverkan i alv för P-AL och K-AL samt i matjord och alv för Mg-AL kan knappast skönjas. Eventuell nedtransport av näring till alven kan ha motverkats av rotupptag av odlade grödor.

Tabell 9. Effekt av kalkning på P-AL, K-AL och Mg-AL. Medeltal över multrämmes- och näringsnivåer 1988
Table 9. Effect of liming on P-AL, K-AL and Mg-AL. Means over crop residue and nutrient levels in 1988

F.pl. Site		P-AL			K-AL			Mg-AL		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
AMA	matj	5,2	5,3	5,4	10,4	10,7	11,6	3,7	4,1	3,3
	alv	1,4	1,4	2,0	3,0	3,4	3,3	1,8	2,4	1,8
TÖN	matj	7,1	7,3	4,6	4,9	5,1	2,4	2,4	2,6	2,5
	alv	1,8	1,8	2,0	1,7	2,0	1,9	0,6	0,6	0,6
ULF	matj	5,4	6,8	10,0	14,8	15,9	18,2	17,5	16,6	14,6
	alv	3,3	3,8	3,8	11,0	9,8	9,9	42,9	42,6	41,4
ECR	matj	3,6	4,3	5,2	19,7	19,6	27,7	13,7	18,5	14,8
	alv	10,3	10,7	9,6	13,4	13,0	12,7	86,9	84,9	83,9
VEK	matj	3,6	4,2	5,1	27,1	27,2	34,8	28,7	26,6	23,5
	alv	1,5	1,5	1,4	19,4	20,0	18,4	47,6	49,8	48,4
SÄB	matj	3,0	3,6	4,0	15,0	13,8	14,8	20,3	20,0	18,4
	alv	0,8	1,0	0,9	13,5	14,0	14,5	58,5	58,6	58,9
RBD	matj	3,6	5,3	6,4	9,2	7,8	9,4	4,0	4,7	3,9
	alv	4,6	3,5	2,9	5,5	5,0	3,6	6,4	4,3	2,4

Organiskt C och N

Tabell 10. Effekt av multrämmesnivå (A = Skörderester nedplöjs; B = Skörderester bortförs) på halt av organiskt C och N och på C/N-kvot. Medeltal över kalknivåer vid helt PK-underhåll (2)
Table 10. Effect of crop residue level (A = Crop residues ploughed; B = Crop residues removed) on content of organic C and N and on C/N-ratio. Means over lime levels at equal PK-compensation (2)

F.pl. Site	C-halt, %			N-halt %			C/N		
	Start	A-88	B-88	Start	A-88	B-88	Start	A-88	B-88
AMA	3,62	2,98	3,61	0,32	0,26	0,28	11,28	11,59	11,16
TÖN	0,88	0,58	0,55	0,12	0,06	0,06	7,67	9,00	8,88
ULT	1,96	2,09	1,97	0,19	0,19	0,18	10,20	10,93	10,81
ECK	6,05	3,40	3,43	0,47	0,24	0,24	12,83	14,14	14,62
VEK	1,82	1,62	1,61	0,20	0,17	0,17	9,32	9,51	9,56
SÄB	3,28	2,94	2,55	0,28	0,26	0,24	11,51	11,32	10,82
RBD	2,01	1,67	1,59	0,16	0,13	0,12	13,37	13,09	12,91
M-tal	2,81	2,18	2,12	0,25	0,19	0,18	10,88	11,37	11,25

I tabell 10 återges halten av organiskt kol och kväve i matjorden vid försökens utläggning och vid provtagning på hösten 1988, och då som jämförelse mellan nedplöjning av skörderester, A-88, och borttagning av skörderester, B-88. Endast jordprov från led som PK-gödslats med helt underhåll (2) är analyserade.

Som framgår i tabell 10 förändrades matjordarnas C- och N-halt betydligt under denna tid. Med undantag av Ulfstorp är förändringarna stora, särskilt på Eckerud. Mycket kol och kväve har tydligen mineraliserats. Jämfört med dessa förändringar är skillnaderna mellan de två multräämneregimerna små. Om halmen nedplöjts eller inte har haft liten effekt på C- och N-halten. Däremot är C/N-kvoten högre om halmen nedplöjts i led A än om den bortförts i led B.

Skördeffekter av kalkning och NPK-gödsling

Grundskördar och absoluta merskördar

I tabell 11 återges skörderespons av kalkning för enskilda grödor. Säkra merskördar erhöles för stråsäd och vall i led II och III. I genomsnitt för dessa växtslag och försöksled var merskördarna 436 och 541 kg kärna respektive 745 och 657 kg torrsbstans. Av stråsådesslagen uppvisade korn och höstvetete större och signifikant säkrare skillnader än havre och värvete.

Tabell 11. Effekt av kalkning på skörd av odlade grödor. Medeltal över försöksplatser samt växtnäings- och multräämnesnivåer, kg/ha (potatis/sockerbeter, t/ha)

Table 11. Effect of liming on yield of cultivated crops. Means over sites, and over nutrient and crop residue levels, kg/ha (potatoes/sugar beets, t/ha)

Gröda <i>Crop</i>	Grundskörd och kalkrespons <i>Basic yield and yield response</i>				Antal år <i>Years</i>
	I	II-I	III-I	III-II	
Stråsäd	3145	409***	526***	117n	128
Korn	2523	525***	620***	95n	66
Havre	3726	254*	333**	79n	34
V.vete	4031	112n	300n	188n	7
H.vete	3647	540**	864***	328n	16
Råg	3669	-82n	-176n	-94n	5
Vall	4532	745***	657***	-88n	34
Oljev.	1428	187n	70n	-117n	14
Potatis	29,1	0,7n	-0,2n	-0,9n	8
F.raps	3711	547*	-593**	-1140***	3
S.beter	21,9	3,3n	8,7*	5,4n	2
Ärter	3399	-346*	-687**	-341*	1

I tabell 12 återges skörderespons av kalkning på enskilda försöksplatser för nivellerade skördar, dvs sammanvägda skördar för olika grödor omräknade till skörde/havreenheter. Som framgår varierade skörderesponsen för kalkning betydligt från försöksplats till försöksplats även om den som regel var positiv. I genomsnitt var merskördarna 398 och 457 ske/ha i respektive led II och III.

Säkra merskördar för kalkning erhöles på Tönnersa och Eckerud i såväl led II som III, på V:a Eknö i led III, på Röbbäcksdalen i led II men inte på de tre övriga försöksplatserna. Ingen plats visade positiv säker respons av ökad kalkning från 70 till 100 V%. Röbbäcksdalen visade negativ skörderespons.

Tabell 12. Effekt av kalkning på nivellerade skördar. Medeltal över kalk- och mullrämningsnivåer på enskilda försöksplatser, ske/ha
Table 12. Effect of liming on leveled yields. Means over liming and crop residue levels on different sites, ske/ha

F.pl. Site	Grundskörd och kalkrespons <i>Basic yield and yield response</i>				Antal år Years
	I	II-I	III-I	III-II	
AMA	3244	190n	283n	93n	2
TÖN	2664	404**	512***	108n	29
ULF	4217	62n	347n	285n	27
ECR	2134	885***	1179***	294n	25
VEK	3217	244n	437*	193n	29
SÄB	3967	120n	196n	76n	23
RBD	2634	491***	257*	-234*	29
M	3138	398***	457***	59n	171

I tabell 13 och tabell 14 anges effekter av stigande NPK-gödsling på skörden, som ovan angivna i kg per hektar för olika grödor respektive som nivellerade skördar i skördenheter per hektar för enskilda försöksplatser. Skördar för helt PK-underhåll i led 2 och dubbelt PK-underhåll i led 3 jämförs med skördar för halvt PK-underhåll i led 1, (2-1) respektive (3-1). Även dubbelt och helt PK-underhåll jämförs (3-2).

Som framgår av tabell 14 var effekterna av stigande NPK-gödsling säkra på alla försöksplatserna, som regel såväl vid ökning från halvt till helt PK-underhåll, 2-1, som från helt till dubbelt PK-underhåll, 3-2. På Säby erhöles endast säker effekt vid ökning från halvt till dubbelt underhåll. På Eckerud och Säby var skördestegringen från helt till dubbelt underhåll inte säker.

I genomsnitt ökade skörden med 490 och 562 ske per hektar vid stigande NPK-gödsling från halvt till helt respektive från helt till dubbelt underhåll. Den kombinerade effekten av stigande NPK-gödsling var således i genomsnitt av samma storleksordning för varje steg.

Tabell 13. Effekt av växtnäringstillförsel på skörd av olika grödor. Medeltal över kalk- och mullråämneshöjder, kg/ha (potatis, ton/ha)
 Table 13. Effect of NPK-fertilization on yields of different crops. Means over lime and crop residue levels, kg/ha (potatoes, ton/ha)

Gröda Crop	Grundskörd och gödslingsrespons Basic yield and yield response				Antal år Years
	1	2-1	3-1	3-2	
Stråsäd	3145	489**	995***	506***	116
Korn	2434	428***	983***	555***	59
Havre	3527	499***	805***	306***	30
Vårvete	3735	422*	878***	456*	7
Höstvete	3624	683***	1376***	693***	15
Råg	2906	681*	1366***	685*	5
Vall	4240	713***	1514***	801***	32
Oljev.	1205	270*	655***	385***	12
Potatis	24,6	3,9***	10,2***	6,3***	8
Foderraps	2793	858***	1850***	992***	3
Ş.betor	22,0	1,8n	10,0*	8,2*	2
Årter	3038	67n	-16n	-8n	1

Som framgår av tabell 13 var effekterna av stigande NPK-gödsling så gott som genomgående säkra för alla odlade grödor. De var något mindre säkra för vårvete och råg än för de andra stråsådesslagen. Bland övriga grödor var skillnaderna något mindre säkra för oljevaxter än för vall, potatis och foderraps. Årter odlades endast ett försöksår och på Ulfstorp, där kalkeffekten uteblev.

Tabell 14. Effekt av växtnäringstillförsel på nivellerade skördar. Medeltal över kalk- och mullråämneshöjder på enskilda försöksplatser, ske/ha
 Table 14. Effect of NPK-fertilization on levelled yields. Means over lime and crop residue levels on different sites, ske/ha

F.pl. Site	Grundskörd och gödslingsrespons Basic yield and yield response				Antal år Years
	1	2-1	3-1	3-2	
AMA	3949	371*	987***	616***	25
TÖN	2241	642***	1544***	902***	26
ULF	3727	629*	1249***	620***	23
ECK	2583	436**	730***	294n	24
VEK	2873	566***	1147***	581***	26
SÄB	3820	271n	485**	214n	23
RBD	2369	470***	1073***	656***	24
Medeltal	2909	490***	1052***	562***	171

Grundskördar och relativa merskördar

I tabellerna 15 och 16 anges grundskördar och relativa skördar för stigande kalkning och NPK-gödning samt för skörderestbehandling. Relativtal ges för flertalet odlade grödor respektive för enskilda försöksplatser. Tabellerna ger en samlad översikt av relativa förändringar i skördeutbyte orsakad av de tre undersökta behandlingarna.

Tabell 15. Behandlingseffekter på relativa skördar i enskilda grödorna, kg/ha
Table 15. Effects of treatments on relative yields in different crops, kg/ha

Led Treatm.	Korn	Havre	Vår- vete	Höst vete	Vall	Olje- växt	Po- tatis	F. raps
<u>Kalkning/Liming</u>								
I	2523	3766	4031	3842	4532	1428	29,1	3711
II	121	107	103	114	115	113	102	115
III	125	109	107	122	114	105	99	84
<u>NPK-gödning/NPK-fertilization</u>								
1	2434	3527	3735	3624	4240	1205	24,6	2793
2	118	114	111	119	117	122	116	131
3	140	123	124	138	136	154	141	166
<u>Mullrämningsnivåer/Crop residue treatment</u>								
A	2871	3965	4151	4350	4938	1523	29,1	3754
B	102	100	101	98	102	100	101	97
n	66	34	7	16	34	14	8	3

Tabell 16. Behandlingseffekter på nivellerade skördar på enskilda försöksplatser, ske/ha
Table 16. Effects of treatments on leveled crop yields at different sites, ske/ha

L./T.	AMA	TÖN	ULF	ECR	VEK	SÄB	RÖB	Medel
<u>Kalkning/Liming</u>								
I	3244	2664	4217	2134	3217	3967	2634	3138
II	106	115	101	141	108	103	119	113
III	109	119	108	155	114	105	110	115
<u>NPK-gödning/NPK-fertilization</u>								
1	2949	2241	3727	2583	2873	3820	2369	2909
2	113	129	117	117	120	107	120	117
3	133	169	134	128	140	113	145	136
<u>Mullrämningsnivåer/Crop residue treatment</u>								
A	3339	2799	4208	3061	3424	4072	2867	3411
B	104	105	99	95	101	100	101	101
n	28	29	27	25	29	23	29	190

Det bör här framhållas att några säkra samspel inte erhöles mellan kalkning och NPK-gödsling, samt inte heller mellan kalkning och skörderestbehandling eller mellan NPK-gödsling och skörderestbehandling. Om skörderesterna, som till övervägande del var stråsädesbalm, plöjdes ned eller inte hade ingen säker effekt på skördeutbytet. På Eckerud var dock skörden i genomsnitt ca 5 % lägre vid bortförsel än vid nedplöjning av balm.

ALLMÄN DISKUSSION

Som inledningsvis framhölls var syftet med denna försöksserie att belysa kalkningens bördighetsupbyggande effekter. I försöksplanen ingick tre kalknivåer. Dessa kombinerades med tre NPK-nivåer och två mullråämnesnivåer, nedplöjning och bortförsel av halm. Sammanlagt ingick 190 försöksår. Mot bakgrund av redovisade jordanalyser och skörderesultat sammanfattas och diskuteras effekter av dessa behandlingar liksom eventuella samspel.

De kemiska effekterna av kalkning på marken var tydliga. Ökningen av Ca-AL i matjorden visade den mest entydiga responsen. Ökningen i Ca-AL var direkt korrelerad med ökningen i basmättnad och pH-värde. Detta visar att H^+ -joner förträngdes och utbyttes mot Ca^{2+} -joner. Ca-AL och T-värden är bra bestämmningar för bedömning av kalkbehovet vid grundkalkning. Vid senare underhållskalkning räcker det sedan med att bestämma Ca-AL.

T-värdet tenderade att öka vid stigande kalkning. Detta kan man förklara med att markkolloiderna får fler negativa laddningar genom ökad syrabildning på grund av ökad omsättning av organisk substans och att humussyrornas och även lermineralens protolysgrad växer (Simán et al., 1994). Alla dessa förändringar av jonbyteskomplexet är positiva ur bördighetssynpunkt. De ökar jordarnas förmåga att buffra mot näringsbortförsel, oberoende om denna föranleds av grödupptag eller av utlakning.

De kemiska effekterna av P- och K-gödsling på marken var som regel mycket tydliga. Effekterna varierade emellertid med näringsämne och försöksplats, (se tabell 8 jämförd med tabell 2). För fosfor var tillförsel motsvarande grödbortförsel lagom för att hålla kvar Ulfstorp och Tönnersa i klass III. Vid dubbel tillförsel var dessa jordar i klass IV år 1988. För övriga fem jordar krävdes relativt sett större fosforgivor. På Säby synes dubbel giva jämfört med bortförsel ännu behöva tillämpas under några år för att uppnå P-AL-klass III.

Fosforns löslighet, mätt som P-AL, ökade i genomsnitt från 4,9 till 5,2 respektive 6,8 efter uppkalkning till 70 och 100 V%. Detta kan tolkas så att en del fosfor som varit bunden i svårlösliga Fe- och Al-föreningar övergått till lättlösligare Ca-fosfater men även att ett högre pH-värde skyddar mot fastläggning av lättlöslig gödsel-P. När det gäller förändring i P-AL erhöles således ett positivt samspel mellan kalkning och P-gödsling. Detta samspel, som visas i Figur 2, är givetvis positivt ur bördighetssynpunkt.

För kalium var effekten av K-gödsling olika på de tre mojordarna, tabell 8 jämförd med tabell 2. På Tönnersa räckte inte dubbel tillförsel jämfört med grödbortförsel till för att höja K-AL till klass III men väl på Amaliatorp och Röbbäcksdalen där K-AL ökade till klassgränsen III/IV. På lätta jordar som Tönnersa med nästan enbart sand i alven och låg rottillgänglighet är det knappast realistiskt att försöka uppnå klass III i matjorden, till skillnad från Amaliatorp och Röbbäcksdalen, som visar god respons för kaliumgödsling.

K-tillståndet var från början bra i såväl matjord som alv på de fyra lerjordarna. Utom på Säby förbättrades det betydligt vid stigande K-gödsling. Vid dubbelt

underhåll i led 3 har K-AL ökat till klass V år 1988. På samtliga lerjordar bör K-gödslingen vara lägre än grödbortförseln. Till stråsädesgrödor behövs ingen K-gödsling under en mycket lång tid, vilket är i överrensstämmelse med praxis. Stora K-HCl-reserver och djup rotpenetration i alven buffrar effektivt mot grödupptag av kalium. Dessa jordar är således utomordentligt bördiga i detta avseende.

Stora tillgångar på AL-lösligt magnesium i såväl matjord som alv på de fyra lerjordarna utesluter brist på detta näringsämne i någon gröda. På mojordarna är Mg-AL däremot lågt i såväl matjord som alv, särskilt på Amaliatorp och Tönnersa. Mg-gödsling kan behövas till sockerbetor och potatis. På dessa jordar är därför dolomit eller dolomithaltig kalk att föredra vid en framtida underhållskalkning.

Skörderesponsen för kalkning varierade med gröda och plats. Den var positiv vid ökning av basmättningen till 70 V% men vanligen inte från 70 till 100 V%. Att skördeökningen var liten på Säby, Ulfstorp och Amaliatorp är naturlig med hänsyn till relativt hög basmättning från början, eller respektive 65, 60 och 55 procent. Det är också naturligt att skördeökningen var stor på Röbbäcksdalen och V. Eknö med basmättning från början på 40 och 10 procent. I linje med tidigare rapporter (Síman & Haak, 1992; Haak, 1992) bör en basmättning av drygt 70 V%, motsvarande ett pH-område av 6,1-6,4, i allmänhet eftersträvas och upprätthållas. Som regel bör pH-värdet vara något högre på lerjordar än på lättare jordar.

Skörderesponsen för N- och PK-gödsling var i genomsnitt lika stor vid ökning från halvt till helt som från helt till dubbelt underhåll av P och K. Kopplingen mellan ökning i tillförsel av alla tre näringsämnena gör att man inte kan särskilja skörderesponsen för enskilda ämnen. Ökningen i P-AL och K-AL visar dock att bördigheten ökat och att den stigande N-tillförseln medfört att produktionsförmågan utnyttjats bättre.

Utebliven skörderespons för mullrämnesregim liksom dess samspel med kalkning och NPK-gödsling kan delvis bero på att C/N-kvoten i marken blivit högre vid halmnedplöjning än vid halmförsel. En ökning i C/N-kvot kan reducera N-mineraliseringen i jorden. Den som regel stora minskningen i C- och N-halt från försökens start till 1988 är värd att understryka. Den kan tänkas ha maskerat förväntad positiv effekt av halmnedplöjning. I sammanhanget bör också påpekas att plöjningsdjupet förmodligen har ökat från ca 20 till 24 cm under försökstiden, vilket i såfall har sänkt mullhalten i ploglagret.

Sammantaget visar resultaten från denna försöksserie att såväl kalkning som NPK-gödsling påverkat jordarnas bördighet och produktionsförmåga positivt. Markeffekterna varierade med ursprungligt kalk- och växtnäringstillstånd i matjord och alv. I både kalkade och gödslade led var skördeeffekterna av kalkning och gödsling adderbara. Den viktiga slutsatsen av detta är att gödsling inte kan ersätta kalkning och kalkning inte heller gödsling. Behovet av underhållskalkning för att bibehålla 70 procent basmättning var i genomsnitt 104 kg CaO, för 100 procent basmättning 374 kg ha⁻¹ år⁻¹.

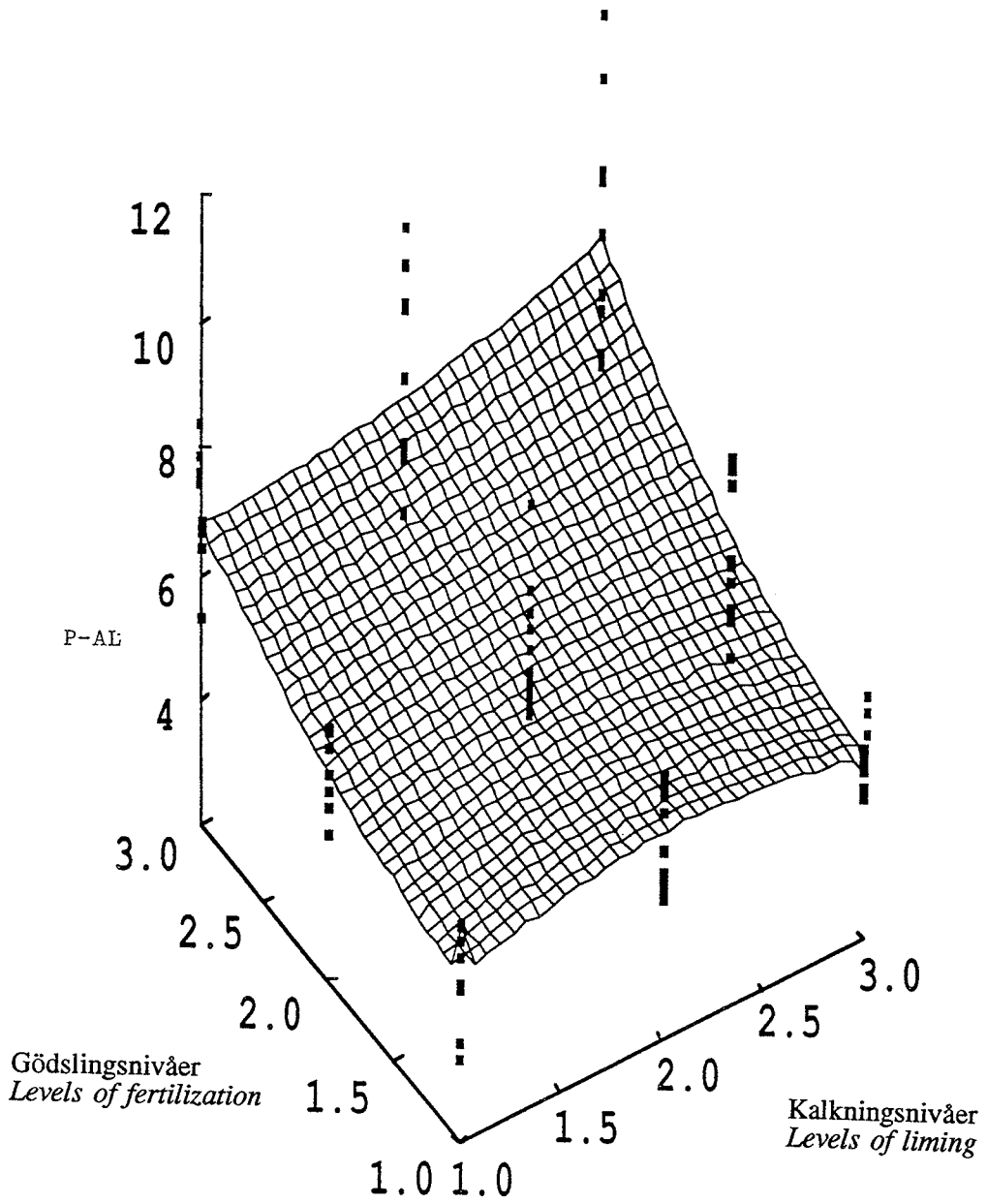


Fig. 2. Samspel mellan kalkning, gödsling och P-AL-tillstånd i de sju långliggande kalkningsförsöken.
 Fig. 2. Interaction between liming, fertilization and P status (P-AL) in the seven long term field experiments.

GENERAL DISCUSSION

As referred to in the introduction, the aim of this series of field experiments, with three sandy soils (Amalietorp, Tönnersa, Röbbäcksdalen) and four clay soils (Ulfstorp, Eckerud, V:a Eknö, Säby), was to elucidate the effect of liming on soil fertility. The experiments comprised three lime levels, which were combined with three NPK-levels and two crop residue levels. Altogether there were 190 experimental years. The soil analysis and yield data from these treatments are summarized and discussed below.

The chemical effects of liming on the soils were evident. The increase of Ca-AL in the plough layer was the most clear soil response. The increase in Ca-AL was directly correlated with the increase in base saturation and pH-value. This shows that H^+ -ions are exchanged for Ca^{2+} -ions. Ca-AL and CEC (T) are valuable for estimations of the corrective lime requirement. For recurrent maintenance liming it is enough to determine Ca-AL.

CEC tended to increase with increased liming. This can be explained by the fact that the colloids get more negative charges by increased acidification due to increased turnover of organic matter and that the protolys of humic acids and weathering of clay minerals increase. All these changes of the ion exchange complex are positive for soil fertility. They increase the capacity of the soil to buffer against nutrient removal, caused by crop uptake and leaching.

The effects of P and K fertilization on soils were as a rule very evident. The effects varied, however, with nutrient and experiment. (Compare Table 8 with Table 2). For P, a fertilizer rate corresponding to crop removal was optimal to keep the soils Ulfstorp and Tönnersa in class III. At double P-fertilizer rate these soils were in P-AL class IV in 1988. For the other five soils, relatively more P-fertilizer was required. At Säby, double P-fertilizer rate is required to reach P-AL class III.

The solubility of P, measured as P-AL, on average increased from 4.9 to 5.2 and 6.8, respectively, after corrective liming to 70 and 100 BS%. Part of the phosphorus which earlier was bound to slightly soluble Fe and Al compounds had been transformed to more easily soluble Ca compounds. As regards changes in P-AL, there was a positive interaction between liming and P-fertilization, Figure 2, which of course is favourable for the soil fertility.

The effect of K-fertilization was different on the three sandy soils, (Compare Table 8 with Table 2). At Tönnersa a double fertilizer rate compared with crop removal of K was not enough to keep K-AL in class III but was sufficient at Amalietorp and Röbbäcksdalen, where K-AL increased to classes III/IV. On sandy soils, like Tönnersa with very coarse subsoil and shallow rooting depth, it is hardly economical to try to reach K-class III in the plough layer, in contrast to Röbbäcksdalen, which show good response to K-fertilization.

On the four clay soils, the K-status was high from start both in the plough layer and subsoil. Except at Säby, the K-status increased with the K-fertilization. At double fertilizer rate compared with crop removal in treatment 2 it increased to K-class V in 1988. On all the clay soils, the K-fertilization should be less than

the crop removal. Cereals, in agreement with praxis, do not need any K-fertilization during a long period. Large reserves of K-HCl and deep rooting in the subsoil buffer effectively against crop uptake of potassium. These soils thus are extremely fertile in this respect.

Large resources of AL-soluble magnesium in both the plough layer and subsoil in the four clay soils omit crop deficiency of this nutrient. In the sandy soils Mg-AL, on the contrary, is low, especially at Amalietorp and Tönnersa. Mg-fertilization thus is required for sugarbeets and potatoes. On these soils, therefore, dolomite or dolomite-lime products should be used in the future as maintenance liming.

The yield response for liming varied with crop and experiment. It was positive for liming up to 70 BS% but usually not from 70 to 100 BS%. That the yield increase was small at Säby, Ulfstorp and Amalietorp is logical as the base saturation at start was rather high at these places. The yield response was high at Röbbäcksdalen and V:a Eknö, with a base saturation at start of 40 and 10 %, respectively. In line with earlier reports (Simán & Haak, 1992; Haak, 1992), a base saturation of 70 BS%, corresponding to a pH of 6.1-6.4 should be aimed at. Generally, the pH should be somewhat higher on clay soils than on sandy soils.

The yield response for N and PK fertilization was, on average, as large from half to equal as from equal to double compensation of crop removal of P and K.

The yield response of crop residues may partly depend on the higher C/N-ratio in treatment with the straw than in treatment with removal of straw. An increase in C/N-ratio may decrease N mineralisation in the soil. The usually large decrease in C and N content from the experimental start to 1988 is worthy of note. It should also be mentioned that the ploughing-depth probably has increased from about 20 to 24 cm during the experimental period which, in that case, has reduced the content of organic matter in the plough layer.

The results of these experiments show that liming as well as NPK-fertilization have positively influenced soil fertility and production capacity. The soil effects varied with initial liming and nutrient status of the plough layer and subsoil. In both limed and unlimed treatments the yield responses to liming and NPK-fertilization were additive. The important issue of this finding is that fertilization can not substitute liming and that liming can not substitute fertilization. The requirement of maintenance liming to 70 percent base saturation was, on average, 104 kg CaO ha⁻¹ year⁻¹, and to 100 percent base saturation it was 374 kg CaO ha⁻¹ year⁻¹.

LITTERATUR

- Haak, E. 1992. Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar i Norrland. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för markvetenskap, avd. för växtnäringslära, Rapport 192, Uppsala.
- Haak, E. 1993. Liming of Swedish mineral soils. - Demands and supply. Lecture at the conference "Rational using of arable land". Vezhaichai July, 1933, Lithuania.
- Haak, E. & Simán, G. 1992. Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för markvetenskap, avd. för växtnäringslära, Rapport 188, Uppsala.
- Helmenius, A., Rydå, K. & Woldmar, G. 1957. Husdjursskötsel.
- Simán, G. 1979. De permanenta kalkningsförsöken under 1962-1977. a) Markkemiska undersökningar och skörderesultat. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för markvetenskap, avd. för växtnäringslära, Rapport 117, Uppsala.
- Simán, G. 1985. Mark- och skördeeffekter i de permanenta kalkningsförsöken under en 20-årsperiod, 1962-1982. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för markvetenskap, avd. för växtnäringslära, Rapport 165, Uppsala.
- Simán, G., Haak, E. & Mattsson, L. 1994. Erfarenheter från de långliggande kalkningsförsöken. Konferens Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning, 10 mars 1993. Sid. 48-62. Stockholm.

Förteckning över samtliga rapporter erhålles kostnadsfritt. I mån av tillgång kan tidigare nummer köpas från avdelningen.

A list of all Reports can be obtained free of charge. If available, issues can be bought from the division.

- 181 1991 Lars Gunnar Nilsson: Nitrifikationshämmare - flytgödsel.
Nitrification inhibitors - slurry.
- 182 1991 Lennart Mattsson: Nettomineralisering och rotproduktion vid odling av några vanliga lantbruksgrödor.
Nitrogen mineralization and root production in some common arable crops.
- 183 1991 Magnus Hahlin: Kaliumgödslingseffektens beroende av balansen mellan kalium och magnesium. II. Fältförsök, serie R3-8024.
Influence of K/Mg-ratios on the effect of potassium fertilization. Field experiments R3-8024.
- 184 1991 Käll Carlgren: Skördeeffekter och pH-inverkan av fem kvävegödselmedel studerade i ett långliggande fältförsök.
Influence on yield and soil pH-value from five nitrogen fertilizers studied in a long-term field trial.
- 185 1992 Enok Haak och Gyula Simán: Fältförsök med Øyeslagg.
Field experiments with Øyeslagg.
- 186 1992 Lennart Mattsson: Effekter av halm- och kvävetillförsel på mullhalt, kvävebalans och skörd i ett långliggande fältförsök i Uppland.
Effects on soil organic matter content, N balance and yield of straw and N additions in a long term experiment in Central Sweden.
- 187 1992 Lars Gunnar Nilsson och Magnus Hahlin: Modell för beräkning av växttillgänglig fosfor-P-AL på basis av ICP-analys.
A model for calculation of plant available phosphorus in soil according to AL/standard and AL/ICP.
- 188 1992 Enok Haak och Gyula Simán: Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar till olika basmättnadsgrad.
Field experiments with liming of mineral soils to different base saturation.
- 189 1992 Lennart Mattsson och Tomas Kjellquist: Kvävegödsling till höstvetete på gårdar med och utan djurhållning.
Nitrogen fertilization of winter wheat on farms with and without animal husbandry.

- 190 1992 Christine Jakobsson och Börje Lindén: Kväveeffekter av stallgödsel på lerjordar.
Nitrogen effects of manure on clay soils.
- 191 1992 Magnus Hahlin och Erik Svensson: Radmyllning av NPK till fabrikspotatis. Resultat från försöksserie FK-1290. Samarbetsprojekt mellan Försöksavdelningen för växt-näringslära och Fabrikspotatiskommittén.
Placed application of NPK fertilizer to starch potatoes. Results from field experiment project FK-1290.
- 192 1993 Enok Haak: Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar i Norrland.
Field experiments with liming of mineral soils in North Sweden.
- 193 1994 Barbro Beck-Friis, Börje Lindén, Håkan Marstorp och Lennart Henriksson: Kväve i mark och grödor i odlings-system med fånggrödor. Undersökningar på en sandjord i södra Halland.
Nitrogen in soil and crops in cropping systems with catch crops. Studies on a sand soil in Halland in south-west Sweden.
- 194 1994 Enok Haak, Börje Lindén & Per Johan Persson: Kväveflöden i olika odlingssystem. Försök på Lanna, Skaraborgs län.
Nitrogen flow in different cultivation systems. A field experiment at Lanna Research Station in south-west Sweden.
- 195 1995 Käll Carlgren & Jan Persson: Fält-, kärl- och laboratorieundersökningar med Fosforkalk från Karlshamn.
Field, Pot and Laboratory Experiments with Phosforkalk from Karlshamn Ltd.
- 196 1995 Lennart Mattsson: Skördevariationer inom enskilda fält. Storlek och tänkbara orsaker.
Yield variations within individual fields. Magnitude and possible reasons.
- 197 1996 Käll Carlgren: Två fältförsök med jämförelse mellan konventionell och ekologisk fosforgödsling.
Two Field Experiments with Comparison between Conventional and Ecological Phosphorus Fertilization.
- 198 1997 Enok Haak & Gyula Simán: Effekter av kalkning och NPK-gödsling i sju långvariga försök i fält, 1962-92.
Effects of liming and NPK-fertilization in seven long term field experiments, 1962-92.

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat från avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet. Serien finns tillgänglig vid avdelningen och kan beställas därifrån.

This series contains reports of research and field experiments from the Division on Soil Fertility, Swedish University of Agricultural Sciences. The series can be ordered from the Division of Soil Fertility.

DISTRIBUTION:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Avd för växtnäringslära
750 07 UPPSALA

Tel. 018-671249
