

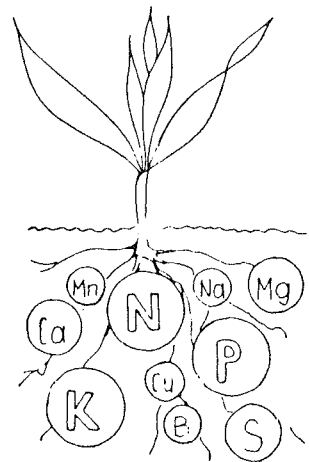
**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

ÅKERMARKENS FÖRSURNING OCH KALKNING

Erfarenheter från de skånska bördighetsförsöken

Acidification and liming of arable soils. Experiences from the long-term soil fertility experiments in Malmöhus county

Sven L. Jansson



**Institutionen för markvetenskap
Avd. för växtnäringslära
Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Soil Fertility**

**Rapport 152
Report
Uppsala 1983
ISSN 0348-3541
ISBN 91-576-1624-8**

ÅKERMARKENS FÖRSURNING OCH KALKNING

Erfarenheter från de skånska bördighetsförsöken

Sven L. Jansson

- o Optimalt pH-värde för de flesta grödor ligger omkring värdet 6,5 (H_2O). I relation till optimalt reaktionstal är de svenska odlingsmarkerna till övervägande del för sura.
- o Försurningsprocessen, som har pågått sedan inlandsisen avsmälte, är en ofrånkomlig företeelse, som långsamt fortskrider, och för vilken klimatet och ursprungsmaterialet spelar huvudrollen.
- o Odlingsmarkens försurning anses även ha ökat genom stegrad syranedfall samt ändrad och ökad handelsgödselanvändning.
- o Odlingsåtgärder som exempelvis kvävegödslingens intensitet och utformning spelar en större roll för åkermarkernas försurning än det sura nedfallet.
- o När försurningen gått för långt börjar markens odlingssegenskaper att försämrats, vilket gäller såväl de fysikaliska egenskaperna - struktur, vattenhållande förmåga, brukbarhet - som förmåga att leverera växtnäring och den mikrobiella aktiviteten.
- o Grödornas kalciumupptagande och kalciumtillförsel med skörderester och stallgödsel utgör marginella poster i kalciumbalansen.
- o Det optimala pH-värdet i marken - omkring 6,5 - motsvarar en basmättnadsgrad på kolloidkomplexet på 75-85% och en kalciummättnadsgrad på 65-70%. Helt vätemättad jord har ett pH-värde omkring 4,0 och full basmättnad (100%) har 7,0.
- o Enligt våra riktvärden erfordras det ca 150 kg CaO per ha och år för att underhålla det optimala kalktillståndet - omkring pH-värde 6,5. Allmänt gäller att ju högre markens kalciummättnadsgrad är, desto större blir förlusterna av utbytbar kalcium. Underhållskalkningen blir därmed beroende av den kalciummättnadsgrad, som man vill upprätthålla.
- o Jordarna i bördighetsförsöken har påtagligt försurats sedan anläggningen 1957. Nedgången i pH-värdet fram till 1977 har varit omkring en halv enhet. Huvuddelen av försurningen har varit oberoende av gödslingen och växtföljdsutformningen. Det sura atmosfäriska nedfallet har sannolikt starkt bidragit härtill.
- o Även kalciummättnadsgraden har genomgående sjunkit och den ursprungliga mättnadsgraden hos jordarna har varit mer utslagsgivande än växtföljden härför. Minskning har varit betydligt större på de alkaliska och neutrala jordarna än på de sura.
- o I medeltal för alla sex jordarna har den årliga förlusten av utbytbar Ca uppgått till 108 kg per ha, vilket motsvarar 151 kg CaO per ha och år. Överensstämmelsen med riktvärdet 150 kg CaO per ha och år får betecknas som synnerligen god.
- o Ett utökat referensmaterial för ytterligare prövning av giltigheten och för differentiering av riktlinjerna är önskvärt.

ÅKERMARKENS FÖRSURNING OCH KALKNING

Erfarenheter från de skånska bördighetsförsöken

Sven L. Jansson

Allmänt om åkermarkens försurning och kalkning

För att kunna utvecklas normalt har våra grödor vissa krav på reaktionstalet i marken. Mer eller mindre normal utveckling kan ske inom reaktionsintervallet pH 4 - pH 9. Optimum på pH-skalan för växtodlingen ligger i regel omkring pH-värdet 6.5. Detta gäller när reaktionstalet bestämts i en vattenuppslamning av jorden.

I relation till det optimala reaktionstalet är svensk odlingsmark till övervägande delen för sur. Regionala skillnader föreligger dock. De betingas framförallt av det geologiska ursprungsmaterialets beskaffenhet, av klimatets humiditet, av jordartsförhållandena samt av vegetations- och odlingshistorien.

Under senare tid - efterkrigstiden - har försurningen av vår externa miljö tilltagit, framförallt genom ökade internationella och nationella antropogena - inte minst industriella - utsläpp av surgörande ämnen till atmosfären, marken och vattensystemen. Också odlingsmarkens försurning anses ha ökat, framförallt genom stegrad syranedfall samt ändrad och ökad handelsgödsel användning.

Allmänt sett är en långsamt fortskridande försurning av svensk mark och svenska vatten en generell och ofrånkomlig företeelse. Försurningsprocessen har pågått alltsedan inlandsisen avsmälte och har sin grundorsak i de markbildande faktorernas utformning. Vi brukar räkna med att fem huvudfaktorer bestämmer markbildningen (tab. 1), av vilka två (klimatet och organismvärlden) är aktiva och tre (ursprungsmaterialet, topografin och tiden) passiva.

För försurningsprocessens fortskridande har klimatet och ursprungsmaterialet spelat huvudrollerna. Vårt klimat är fuktigt och svalt, vilket främjar syrabildning och utlakning. Ursprungsmaterialet för markbildningen - de geologiska avlagringarna - har i stor utsträckning varit basfattiga och därmed gjort svagt motstånd mot de försurande processerna.

Även organismvärlden spelar en viktig roll för jordmänsbildningen och därmed för försurningen. Det är främst vegetationen och dess samspel med mikroblivet i marken, som bidrar till jordmänsbildningen och påverkar försurningen.

Den organismvärld, som påverkar odlingsmarken och bidrar till dess utveckling, styrs och domineras av människan-odlaren. Bland annat gäller detta vegetationstypen (genom valet av grödor), användningen och behandlingen av skördeprodukter och skörderester samt skördenivån. Vissa odlingsåtgärder verkar generellt försurande på marken, t ex torrläggning och jordbearbetning, som främjar utlakningen och den biologiska aktiviteten och därmed syrabildningen i marken. Andra odlingsåtgärder har mera varierande effekter med avseende på försurningen; detta gäller t ex produktionsinriktningen, produktionsnivån och gödslingen.

Oavsett om marken är odlad eller inte medför de jordmånsbildande processerna under våra förhållanden syrabildning och utlakning, vilket resulterar i försurning.

De surgörande utsläppen från våra samhällen förstärker jordmånsbildningens försurande verkan. Att utsläppen ökat har sin orsak i den ökade industrialiseringen och urbaniseringen, vilka medfört en starkt tilltagande förbränning av fossila bränslen, främst olja. Bränslena i fråga är alltid mer eller mindre svavelhaltiga; vid förbränningen sprids svavlet - till övervägande delen som SO_2 - i atmosfären för att sedan deponeras på marken eller i vattensystemen, där det oxideras till svavelsyra. Förbränningen medför också att kväveoxider bildas. Därjämte innehåller flera fossila bränslen - dock ej oljan - organiskt bundet N, som vid förbränningen delvis övergår i ammoniak, som hamnar i atmosfären. Såväl kväveoxiderna som ammoniaken övergår sedan i atmosfären eller i marken till salpetersyra. Det antropogena nedfallets försurande effekt är därmed i huvudsak en effekt av de starka syrorna svavel- och salpetersyra.

Vad odlingsmarken beträffar måste odlaren motverka försurningen - kalka - och därmed eftersträva det inledningsvis nämnda, för växtodlingen optimala pH-värdet hos densamma.

Våra miljövårdsorgan arbetar nu intensivt såväl internationellt som inom landet på att begränsa de försurande utsläppen. Kunde vi slippa dem, skulle naturligtvis försurningen minska men försurningsproblematiken skulle dock i allt väsentligt finnas kvar. Inte minst gäller detta odlingsmarken, där nedfallsförsurningen visserligen gör sig gällande men dock endast är en post av marginell betydelse. Flera av odlingsåtgärderna har större inflytande på försurningens förlopp och omfattning än nedfallet. Detta gäller exempelvis kvävegödslingens utformning och intensitet.

Nedfallets dominerande surgörande ämnen - svavel och kväve - är ju också makronäringsämnen för såväl växterna som djuren och människan. Stryper vi nedfallet, får vi för odlingsmarkens vidkommande tänka oss en ökad gödsling med svavel och kväve.

Kalkningens kolloidkemiska bakgrund

Markens kolloider - lermaterialet och mullämnena - har till övervägande delen syraegenskaper. De fungerar som fasta syrapartiklar med negativa laddningar. Dessa laddningar neutraliseras av katjoner, som binds (adsorberas) till partiklarna men samtidigt står i kontakt med markvätskan. I denna befinner sig andra katjoner, som inte är bundna till kolloiderna utan neutraliseras av anjoner lösta i markvätskan och därför rörliga i densamma. Markvätskan med sina lösta joner (kat- och anjoner som balanserar varandra) står också i kontakt med markens alla övriga beståndsdelar; markluften,

oladdade partiklar av många olika slag, kemiska utfällningar, levande mikroorganismer, växternas rotsystem.

Utmärkande för de till kolloidytorna adsorberade jonerna är att de låter sig bytas ut mot joner med samma slag av laddning (katjoner) i markvätskan samt att det inställer sig en rörlig jämvikt mellan jonerna på kolloidytorna och jonerna i markvätskan. Påverkas markvätskans sammansättning av någon annan faktor - t ex växternas eller markmikrobernas näringsupptagning, syratillförsel, utlakning, tillförsel av salter genom gödsling eller nedfall - störs jämvikten med kolloidkomplexets adsorberade joner och en del av dem byts ut mot joner i markvätskan tills jämvikten blivit återställd.

Kolloidkomplexets adsorberade joner sägs därmed vara utbytbara eller utbytbart bundna. Dessa utbytbara joner har stor betydelse som förråd av växtnäringsämnen och som regulatorer av markvätskans sammansättning. De buffrar mot förändringar i markvätskans joninnehåll och stabiliserar därmed markens odlingsegenskaper, t ex växtnäringsleveransen och reaktionstalet. Samtidigt påverkar de kolloidmaterialets egenskaper, inte minst de fysikaliska; är kolloidkomplexet mättat med vätejoner, får det andra egenskaper än om det är mättat med natriumjoner eller med kalciumjoner.

Kolloidkomplexets förmåga att utbytbart binda katjoner, som kallas för katjon- eller basutbyteskapaciteten, är beroende av dess storlek och egenskaper, hur många de negativa laddningarna är, hur tätt de sitter och hur lätt de aktiveras. Mycket kolloider finns i ler- och muljordar - de har hög utbyteskapacitet. Kapaciteten bestäms i övrigt av vilka lermineral det rör sig om samt av mulämnens sammansättning och humifieringsgrad.

Katjonutbyteskapaciteten uttrycks vanligen i milliekvivalenter (me, mval) pr 100 g torr jord och bestäms vid pH 7. Detta senare därför att kapaciteten är beroende av pH-värdet och vanligen ökar med detsamma. Ju högre pH-värdet är, desto större blir utbyteskapaciteten. Detta hänger samman med att de svagare negativa laddningarna på kolloidytorna aktiveras i och med att pH-värdet stiger.

Grundläggande för jordbrukets kalkfråga är att såväl markens kolloider som markorganismerna och växtrötterna fungerar bäst i en miljö rik på kalciumjoner. Kolloidkomplexets negativa laddningar skall till stor del vara balanserade med utbytbara kalciumjoner. Kalciummättnadsgraden skall vara hög. Försurningen är ett fortlöpande hot mot detta. Genom den tillförs markvätskan vätejoner, som gör den sur. Den sura markvätskan byter till sig utbytbara kalciumjoner från kolloiderna och ersätter dem med vätejoner. Kolloidernas kalciummättnad minskar och vätemättnaden ökar. När detta gått för långt, börjar markens odlingsegenskaper försämrats, vilket gäller såväl de fysikaliska egenskaperna - struktur, vattenhållande förmåga, brukbarhet - som förmågan att leverera växtnäring och den mikrobiella aktiviteten.

Förhållandena illustreras schematiskt i fig. 1, som visar odlingsmarkens kalciumbalans. Problemen är centrerade kring markens utbytbara kalcium. Syrabildning och syratillförsel tar på den utbytbara kalciummängden, kalciumjonerna ersätts av vätejoner, de utbytta kalciumjonerna bildar kalciumföreningar utan kalkverkan med de tillförda syrornas anjoner och dessa kalciumföreningar lakas bort eller fälls ut.

Kolloidkomplexets förluster av utbytbart kalcium måste ersättas genom kalkning med de särskilda kalkningsmedlen eller genom användning av gödsel med

kalkverkan. Grödornas kalciumupotagande och kalciumtillförsel med skörderester och stallgödsel utgör marginella poster i kalciumbalansen.

Det optimala pH-värdet i marken - pH omkring 6.5 - motsvarar en basmättnadsgrad hos jordens kolloidkomplex på 75-85 % och en kalciummättnadsgrad på 65-70 %. Helt vätemättad jord har ett pH-värde omkring 4.0 och full basmättnad (100 %) har vi definitionsmässigt bestämt till att föreligga vid pH 7.0. Det hela betyder att vid det optimala pH-värdet är markens kolloider till 65-70 % mättade med utbytbara kalciumjoner, till 10-15 % med andra metallkationer än kalcium (bland vilka magnesium dominerar men även kalium, natrium och i någon mån ammonium är av betydelse) samt till 15-25 % med vätejoner.

De mängder av de nämnda ämnena, som finns i utbytbar form, beror på kolloidkomplexets utbyteskapacitet. Denna kan för matjordslagret i våra fastmarksjordar växla mellan 2 (mullfattig sandjord) och 40 mval (mullrik styv lera) pr 100 g jord, varvid 1 mval motsvarar ca 500 kg kalcium, 300 kg magnesium, 1 000 kg kalium, 600 kg natrium eller 25 kg väte pr ha. Fig. 2 ger en schematiserad bild av markkolloidernas mättnadsförhållanden.

Håller vi oss till fastmarksjordarna bör vi alltså ha 1 till 20 ton utbytbart kalcium i deras matjordslager, de minsta mängderna i de mullfattiga sandjordarna och de största i de mullrika styva lerjordarna.

Är de befintliga mängderna för små, bör de fyllas upp genom grundkalkning. Är de ungefär de rätta, bör de vidmakthållas genom underhållskalkning.

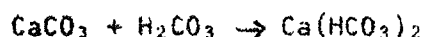
Underhållskalkningens uppgift är sålunda att balansera den fortlöpande försurningen genom att leverera de utbytbara kalciumjoner, som försurningsprocessen berövar kolloidkomplexet.

I det stora hela har vi inte något stort försöksmaterial för att belysa behovet av underhållskalkning under olika förhållanden. Vi har riktvärden för underhållskalkningens storlek men grunden för dem utgörs i huvudsak av danska kalkningsförsök utförda före andra världskriget.

Enligt våra riktvärden erfordras det ca 150 kg CaO pr ha och år för att underhålla det optimala kalktillståndet i marker med pH-värdet omkring 6.5.

Allmänt gäller att ju högre markens kalciummättnadsgrad är, desto större blir förlusterna av utbytbart kalcium. Underhållskalkningens storlek blir därmed beroende av den kalciummättnadsgrad, som man vill upprätthålla.

Särskilt stora blir de löpande förlusterna då marken är övermättad med kalcium. Reaktionstalet ligger då över 7.0 och marken innehåller större eller mindre mängder fritt kalciumkarbonat. Under sådana förhållanden får koldioxiden, som alltid finns i markluften och löst i markvätskan och som fortlöpande produceras i samband med den biologiska aktiviteten i marken, stor betydelse som kalciumutlösande faktor. Den i markvätskan lösta koldioxiden - kolsyran - angriper kalciumkarbonatet enligt formeln



varvid kalciumvätekarbonat bildas. Detta är lösligt i markvätskan och utsätts lätt för utlakningsförluster. Följden blir att de alkaliska jordarna kan uppvisa kalciumförluster, som är flera gånger större än vad som gäller vid pH-värden omkring 6.5 och en kalciummättnadsgrad omkring 70 %. Ur kalciumhushållningssynpunkt är det ekonomiskt att kalka för mycket, att upprätthålla en för hög kalciummättnadsgrad.

Många andra faktorer än kalciummättnadsgraden inverkar på markens förluster av utbytbar kalcium och därmed på behovet av underhållskalkning. Till dessa faktorer hör klimatets humiditet, jordarten, växtodlingens inriktning, skörderestbehandlingen, gödslingens utformning, det sura nedfallets beskaffenhet och mängd. Kring det angivna riktvärdet för underhållskalkningens storlek - 100-150 kg CaO pr ha och år - finns det sålunda stora lokala variationer. Dessa är försöksmässigt föga klarlagda.

I vilken utsträckning våra riktvärden för underhållskalkningens storlek är riktiga och tillämpbara vet vi alltså inte säkert. Inte heller vet vi om de borde uppräknas med hänsyn till det ökade sura nedfallet.

Vi har alltså behov av att bättre klarlägga behovet av underhållskalkning, inte minst med hänsyn till de olika faktorer, som orsakar att behovet varierar. Allmänt gäller att de erforderliga försöken måste vara långvariga och att de måste möjliggöra en fullgod analys av odlingsmarkens kalciumbalans.

Vårt speciella referensmaterial i kalkfrågan omfattar för närvarande dels de s k permanenta kalkningsförsöken, en serie, som omfattar sju försök anlagda under 1960-talet och spridda över landet, dels de på 1930-talet anlagda kalk-fosforförsöken på Lanna i Skaraborgs län. Härtill kommer att praktiskt taget alla långliggande försök mer eller mindre effektivt torde kunna utnyttjas för att belysa försurningsprocessens fortgång och för att beräkna behovet av underhållskalkning. I synnerhet blir detta fallet om försöken är försedda med anordningar för bestämning av utlakningens storlek. Ett fåtal nyanlagda s k systemförsök är försedda med sådana anordningar och kan i framtiden bli till stor nytta även i vad gäller att få fram ett säkrare underlag för bestämning av underhållskalkningens storlek.

I det följande skall i enlighet med den här förda diskussionen M-serien av de fastliggande bördighetsförsöken för markvård utnyttjas för belysning av den fortskridande försurningen av odlingsmarken samt för beräkning av behovet av underhållskalkning.

Undersökningen har genomförts med stöd från Skogs- och jordbrukets Forskningsråd, vilket härmed med tacksamhet omnämns.

Vad säger bördighetsförsökens M-serie om försurningen och behovet av underhållskalkning?

Bördighetsförsöken är inga kalkningsförsök men eftersom de legat länge - sedan 1957 - måste de avspegla den fortlöpande försurningen av åkermarken. När de tydligt försurats, är avsikten att detta skall avhjälpas genom kalkning och försöksjordarnas ursprungliga pH-värden återställas.

Försöksplanen för bördighetsstudiernas M-serie (tab. 2) möjliggör vad försurningen beträffar jämförelser mellan sex försöksplatser, två fyraåriga växtföljder (en kreatursbetonad med vall och stallgödsel, en kreaturslös med nedbrukning av alla skörderester) samt sexton gödslingkombinationer (4 PK-gödslingar x 4 N-givor). Vad valet av gödselmedel beträffar, ingår sådana gödselmedel i försöksplanen, som har minsta möjliga inverkan på kalktillståndet. Detta betyder att kalkammonsalpeter (N 26, N 28) är det enda använda kvävegödselmedlet, att superfosfat (P 9) används som enda fosforgödselmedel och kalisalt (K 50) som enda kaliumgödselmedel.

pH-mätningar

För närmare undersökning av försurningsförloppet har dels de pH-bestämningar använts, som görs på de jordprover från de sex försökens samtliga led, vilka uttages vid vegetationsperiodens slut varje höst, dels specialanalyser utförts på de prover, som uttagits på höstarna 1957, 1967 och 1977, alltså vid försökens början samt efter 10 och 20 års försökstid.

I fig. 3 redovisas de årliga pH-bestämningarna i vattensuspension av jorden. Figuren visar en pH-kurva för vardera växtföljden. Punkterna på kurvorna utgör medeltal för gödslingsleden A₀, B₁, C₂ och D₃ inom vardera växtföljden på alla sex försöksplatserna. Av dessa hade tre (Fjärdingslöv, Västraby och Örja) från början alkalisk reaktion under det att de övriga tre hade sur reaktion, pH 6.3-6.5.

Kurvorna för pH-värdena har ett "taggigt" förlopp. I båda växtföljderna är variationerna avsevärda från det ena året till det andra men en nedåtgående huvudtendens är dock tydlig. Under perioden 1957-80 har pH-värdena hos de sex försöksjordarna i medeltal sjunkit med drygt en halv pH-enhet, från 7.2 till 6.5.

Som komplement till fig. 3 med medeltalen för de sex försöksjordarna visas i fig. 4 pH-värdena för jorden med det från början högsta pH-värdet (Fjärdingslöv) och i fig. 5 pH-värdena från den från början suraste försöksjorden (Orup). Ph-värdena i fig. 4-5 är medeltal för de båda växtföljderna och för gödslingsleden A₀, B₁, C₂ och D₃.

Kurvorna för de båda enskilda jordarna skiljer sig inte mycket från medeltalskurvorna i fig. 3 vad huvudtendenserna och årsvariationerna beträffar. Den sura jorden Orup visar dock en något mindre pH-sänkning än vad som gäller för de sex jordarna i genomsnitt.

Till pH-kurvornas starkt "taggiga" förlopp finns det inte några goda förklaringar. Dock är det välkänt att pH-värdena i vattensuspension kan variera starkt - ± 0.5 pH-enheter - såväl inom ett och samma år som mellan år som följer på varandra. Huvudorsaken härtill anses vara att det uppträder tillfälliga variationer i markvätskans salthalt; är den tillfälliga salthalten relativt hög, blir pH-värdet lågt och vice versa.

För att komma ifrån dessa variationer mäter man pH-värdet i en saltlösning, som skall vara relativt stark i förhållande till de i marken uppträdande salthaltsvariationerna. Den klassiska saltlösningen, som används för pH-bestämning är 1-molar KCl. I förhållande till normal markvätska är det en mycket stark saltlösning. Det betyder att lösningens talrika K-joner byter ut en del av de vätejoner, som normalt är bundna till kolloiderna i jordprovet. Lösningen blir därmed surare och pH-värdet lägre men också stabblare än vid en pH-bestämning i vattensuspension. Skillnaden i pH-värde brukar ligga omkring en enhet men också den kan variera avsevärt. Man har sagt sig att KCl-lösningen medför så onormala förhållanden i jordprovet (jfr Jansson 1979, den allmänna diskussionen) att den inte bör användas men därom kan meningarna vara delade; i varje fall kommer man ifrån mycket av de tillfälliga variationerna hos pH-värdet.

I stället för KCl-lösningen har man under senare år använt en annan saltlösning, nämligen 0.01-molar CaCl₂. Den är ju mycket svagare än KCl-lösningen och ger därmed såväl en mindre utbytesaciditet i jordprovet - pH-värdet skiljer sig mindre från pH-värdet i vattensuspension - som en

mindre utjämnning av pH-värdets tillfälliga variationer. CaCl_2 -lösningens koncentration anses vara jämförbar med saltkoncentrationen hos normal markvätska och därför med hänsyn till sin "naturlighet" acceptabel. Fördelarna med pH-mätning i 0.01-m CaCl_2 är dock oklara; mätningar har under några år gjorts på provmaterialet från bördighetsförsöken men någon reguljär övergång till metodiken har inte ansetts befogad.

I tab. 3 visas pH-mätningar i 1-m KCl utförda på jordprover uttagna åren 1957, 1967 och 1977. Värdena är medeltal för gödslingsleden A_0 , B_1 , C_2 och D_3 . De båda växtföljderna och de sex försökslokalerna redovisas individuellt.

Frånsett att pH-värdena ligger ca en pH-enhet lägre än pH i vatten - vilket är det normala - visar de samma allmänna nedgång och samma skillnad mellan växtföljderna som pH-värdena i vatten.

Växtföljd I med vall och stallgödsel har varit något mera försurande än Växtföljd II, den kreaturslösa. Skillnaden är inte stor men genomgående och säker. Två orsaker är tänkbara, nämligen dels vallens - i synnerhet klöverns stora kalciumupptagande i jämförelse med oljeväxtgrödans i Växtföljd II, dels nitrifikationen av en del av det i vallskörderesterna befintliga, fixerade luftkvävet.

Materialet i tab. 4 har sammanställts för att visa hur försurningen kan ha påverkats av gödslingen med handelsgödsel. Tabellvärdena är medeltal för de sex försökslokalerna. De visar utgångsläget 1957 samt pH-värdena vid slutet av vart och ett av de under tiden 1957-1980 fullbordade växtföljdsomloppen. De båda växtföljderna redovisas var för sig. De fyra i tabellen redovisade gödslingsarna är helt ogödslat (A_0), svag (50-procentig) gödsling med NPK (B_1), normal NPK-gödsling (C_2) och stark NPK-gödsling (150-procentig, D_3).

Liksom det övriga materialet visar tabellen att försurningen med tiden är påfallande och tydlig liksom också att en mindre skillnad mellan växtföljderna föreligger.

Något inflytande av gödslingen går däremot knappast att spåra. Avsikten att utforma gödslingen så att den inte skulle vara reaktionspåverkande har sålunda realiserats på ett tillfredsställande sätt. Den tendens till försurande gödslingsinverkan, som är antydd av 1980 års värden för Växtföljd II, kan dock vara reell; för några år sedan utbyttes kalkkammonsalpeter N 26 mot N 28. Gödselmedlet blev därmed något försurande.

Denna förändring av kalkkammonsalpetern kan inte ha påverkat reaktionsförhållandena i marken fram till 1977, då de senaste redovisade proverna uttogs. Någon anledning att i de följande tabellerna redovisa de olika gödslingsarna har därmed inte ansetts föreligga.

De redovisade pH-mätningarna har klart visat att försöksjordarna påtagligt försurats sedan försöken anlades 1957, att gödslingen i försöken inte varit någon märkbar orsak till försurningen samt att växtföljdens utformning haft en begränsad inverkan. Huvuddelen av den konstaterade försurningen har varit oberoende av gödslingen och växtföljdsutformningen. Den har framkallats av andra försurande faktorer, däribland det sura atmosfäriska nedfallet.

Ca-mättnadsgraden

Den uppkomna försurningen ansågs så betydande att den borde avhjälpas genom att försöken vid början av sjunde växtföljdsomloppet våren 1981 kalkades i sådan omfattning att 1957 års utgångsläge därmed återställdes. Det föreföll därvid riktigtast att grunda beräkningen av kalkgivornas storlek på analysdata rörande kalciummättnadsgradens förändringar.

För detta ändamål utfördes bestämningar av kalciummättnadsgraden på jordprover uttagna 1957, 1967 och 1977. Bestämningen av kalciummättnadsgraden omfattar två delbestämningar, nämligen av mängden utbytbar kalcium i jorden uttryckt i mval pr 100 g jord samt av jordens katjonutbyteskapacitet vid pH 7, likaledes uttryckt i mval pr 100 g jord. Kalciummättnadsgraden erhålles därefter genom att mängden utbytbar kalcium uttrycks i procent av utbyteskapaciteten.

För bestämningarna invägs en liten mängd - 1.0 - 1.5 g - av de väl sönderdelade och homogeniserade jordproverna. Bestämningarna utförs därefter i tre steg:

- a. Bestämning av jordens utbytbara Ca efter förträngning med 1-molar, neutral ammoniumacetatlösning
- b. Full Ca-mättnad av jorden genom behandling med 1-molar, neutral Ca-acetatlösning
- c. Bestämning av den utbytbara Ca-mängden vid full Ca-mättnad efter förträngning med 1-molar, neutral ammoniumacetatlösning.

I tab. 5 har bestämningarna av Ca-mättnadsgraden hos försöksjordarna sammanställts. För vart och ett av de tre åren 1957, 1967 och 1977 redovisas bestämningar för de båda växtföljderna på var och en av de sex försöksjordarna. Medeltal redovisas för samtliga sex jordar samt för gruppen av alkalisk-neutrala jordar (Fjärdingslöv, Västraby, Örja) och gruppen av sura jordar (Örup, Ugglarp, Ekebo).

Från 1957 till 1977 har kalciummättnadsgraderna ganska genomgående sjunkit, vilket är i överensstämmelse med den konstaterade försurningen. Några klara växtföljdsskillnader kan inte konstateras; variationen i ursprunglig mättnadsgrad hos jordarna har varit mera utslagsgivande än växtföljden. Kalciummättnadsgraden har avtagit betydligt mera i de alkalisk-neutrala jordarna än i de sura. I de förra var avtagandet särskilt markerat under första delperioden 1957-1967. Hos dessa tre jordar låg mättnadsgraden 1957 över 100 %. Detta innebär att de hade alkalisk reaktion och innehöll åtminstone något fritt kalciumkarbonat. Ca-utlakningen blir då - som tidigare diskuterats - stor genom att kolsyra upplöser karbonatet under bildning av lösligt kalciumvätekarbonat, som utlakas. I två av jordarna (Västraby och Örja) har karbonatinnehållet uppenbarligen tagit slut under första delperioden så att de under den andra uppvisat Ca-mättnadsgrader omkring eller under 100 % samt måttliga minskningar av mättnadsgraderna. Jorden Fjärdingslöv är däremot klart övermättad även vid sista provtagningstillfället 1977.

De tre från början sura jordarna, i vilka vätekarbonatbildning knappast kunnat förekomma, uppvisar små förändringar av Ca-mättnadsgraden, jorden Ekebo t o m ingen alls.

Stödundersökningar grundade på sambandet mellan pH-värdet och Ca-mättnadsgraden utfördes även, varvid såväl pH-värdena i vattensuspension som pH-värdena i 1-m KCl kom till användning. Dessa stödundersökningar bekräftade de i tab. 5 redovisade resultaten.

På grund av dessa beräknades de för återställande av de ursprungliga pH-värdena hos jordarna erforderliga kalkmängderna till 2 ton CaO pr ha för den alkalisk-neutrala gruppen av jordar samt till 1 ton CaO pr ha för den sura gruppen. Någon anledning att differentiera kalkgivan inom grupperna eller med hänsyn till växtföljden förelåg inte.

Kalkning med de nämnda CaO-givorna i form av finmalet kalciumkarbonat, s k industrialk, utfördes på våren 1981. Kalkningen fick enligt 1981 års pH-värden (pH i H₂O, fig. 3-5) endast en liten pH-höjande effekt.

Den utförda kalkningen motsvarade i genomsnitt för de sex jordarna inte stort mer än hälften av riktvärdet för underhållskalkningens storlek. Det kunde betvivlas att kalkningen varit tillräckligt stor och att kalciummättnadsgradens förändringar hos jordarna utgjorde ett tillförlitligt mått på kalkbehovet.

Först och främst föreligger anledning att granska grundvärdena för Ca-mättnadsgraden; katjonutbyteskapaciteten vid pH 7 och jordarnas innehåll av utbytbart kalcium.

Katjonutbyteskapaciteten och mängden utbytbart Ca

I tab. 6 redovisas de utförda bestämningarna av utbyteskapaciteten. Tabellen är en direkt motsvarighet till tab. 5 och ger bestämningar i de båda växtföljderna för de enskilda jordarna vid de tre tidpunkterna 1957, 1967 och 1977 samt medeltal för växtföljderna, för samtliga jordar samt för den alkalisk-neutrala och den sura gruppen av jordar.

Genomgående kan iakttas att katjonutbyteskapaciteten inte varit konstant utan minskat med tiden. Minskningen är mera markerad i de sura jordarna än i de alkalisk-neutrala. I synnerhet är minskningen markerad på försöksplatsen Ekebo. Några växtföljdsskillnader är inte säkerställda. Minskningen i utbyteskapacitet är förbryllande och låter sig inte förklaras med kända förhållanden. Att närmare undersöka orsakerna till minskningen - eller överhuvud taget till förändringar i utbyteskapaciteten - utgör en aktuell och angelägen ny forskningsuppgift!

De utförda bestämningarna av mängden utbytbart Ca i försöksjordarna redovisas i tab. 7, vilken är uppställd på samma sätt som tab. 5 och 6.

Mängden utbytbart Ca har under perioden 1957-77 klart minskat i alla jordarna och detta i stort sett oberoende av växtföljden. De uppträdande skillnaderna mellan växtföljderna torde mera bero på jordojämnheter än på växtodlingens inverkan. Helt naturligt uppvisar den alkalisk-neutrala gruppen av jordar större Ca-mängder och större tillbakagång i mängderna än gruppen av sura jordar. I de senare får förlusterna anses verkligen ha gällt utbytbart Ca, i de förra är det även karbonatkalk, som förlorats genom upplösning till vätekarbonat och utlakning. I synnerhet gäller detta den första delen av undersökningsperioden (1957-67), då jordarnas karbonatinnehåll varit större än under den andra delen, 1967-77. Till detta kommer, som

också inledningsvis diskuterats, att storleken av förlusterna av utbytbart Ca är beroende av mättnadsgraden. Då denna sjunker, avtar förlusterna i storlek.

Försurningen av jordarna - nedgången i deras pH-värden - har alltså åtföljts av en motsvarande nedgång i deras innehåll av utbytbart (+ karbonatbundet) Ca. Materialet i tab. 7 uppvisar inte några överraskningar.

Det kan nu konstateras att siffrorna för Ca-mättnadsgraden i tab. 5 uppvisar en relativt liten minskning under försökstiden därför att såväl utbyteskapaciteten som mängden utbytbart Ca minskat. Hade utbyteskapaciteten i stället hållit sig konstant - vilket den enligt våra förhärskande åsikter om marken som kolloidalt system borde ha gjort - skulle de redovisade mättnadsgraderna blivit klart lägre. Ett större kalkningsbehov skulle därmed ha framkommit.

I detta läge med ovisshet rörande katjonutbyteskapacitetens konstans och därmed värde som parameter för marken som jonbytarsystem är det kanske mest rekommendabelt att vid beräkningen av behovet av underhållskalkning helt förlita sig på förändringarna i mängden utbytbart Ca. Dessa förändringar avspeglar i vilket fall som helst Ca-mängder, som verkligen förlorats från marken.

Räknar vi sålunda med att de mängder utbytbart Ca, som förlorats genom försurningsprocessen, skall ersättas genom underhållskalkning och lägger de i tab. 7 redovisade värdena till grund för beräkningen, får vi de i tab. 8 redovisade Ca- och kalkmängderna, vilka där uttryckts i kg pr ha och år. Siffrorna avser matjordslagret och utgör medeltal för de båda växtföljderna.

Tab. 8 visar att förlusterna av utbytbart Ca varit betydligt större än vad som kunnat beräknas med hjälp av mättnadsgraderna i tab. 5. Orsaken till skillnaden är - som tidigare angetts - att jordarnas katjonutbyteskapacitet avtagit samtidigt med mängden utbytbart Ca. Gruppen av alkalisk-neutrala jordar uppvisar mer än dubbelt så stora förluster som gruppen av sura jordar. Jorden med högsta pH-värdet och största innehållet av kalciumkarbonat (Fjärdingslöv) har lidit de största förlusterna. Förlustsiffrorna för de tre sura jordarna är mycket jämna.

Sammanfattande slutord

I medeltal för alla sex jordarna har den årliga förlusten av utbytbart Ca uppgått till 108 kg pr ha. Den kompenserande kalkgivan bör därmed uppgå till 151 kg CaO pr ha och år. Överensstämmelsen mellan dessa siffror och riktvärdena för det praktiska jordbruket beträffande förlusterna av utbytbart Ca och underhållskalkningens storlek är nästan skrämmande god. I vilket fall som helst ger inte det här redovisade materialet från bördighetsstudiernas M-serie någon anledning till revision av riktvärdena; de förefaller alltjämt godtagbara även med hänsyn tagen till den senaste tidens sura nedfall.

Däremot framstår den på våren 1981 företagna underhållskalkningen i bördighetsförsöken som alltför knapp. Den torde snart behöva upprepas. På längre sikt kan även en ökad differentiering av kalkningen med avseende på försöksplatserna och en differentiering mellan växtföljderna framstå som befogade. Också den olikartade gödslingen i försöksleden (sedan kalk-

ammonsalpeter N 26 inte längre är tillgänglig) kan på lång sikt tänkas kräva en differentierad underhållskalkning.

Allmänt och avslutningsvis må framhållas att våra normer för åkermarkens underhållskalkning ingalunda framstår som undermåliga. Ett utökat referensmaterial för prövning av deras giltighet är emellertid välkommet och bör anskaffas. Det är angeläget att alla våra långliggande fältförsök utnyttjas för studium av försurningsprocessen och för bestämning av behovet av underhållskalkning. Lika angeläget är det att snabba och tillförlitliga analysmetoder tas fram för att kvantifiera försurningen och underhållskalkningen.

I stället för att försöka piska upp en katastrofstämning beträffande åkermarkens försurning borde vi allmänt kalka med ledning av de riktvärden, som vi i dag har tillgång till. Det har vi hittills aldrig gjort; kalkningen har alltid varit mindre än vad som riktvärdena anger. Samtidigt bör vi naturligtvis arbeta på att få fram säkrare och mera differentierade riktlinjer.

SUMMARY

The optimum pH-value for most crops lies about the value 6.5 (H₂O).

In relation to optimum value the Swedish cultivated areas are to their greater part too acid.

The soil acidification process, which has been going on since the inland-ice melted, is a ineluctable phenomena which is slowly proceeding and for the cause of which climate and parent material play the principal role.

The acidification of cultivated areas is also considered to have increased by raised acid precipitation, changed and increased fertilizer application.

Cultivation practice, as for example the intensity and design of N fertilization, plays a greater role for the acidification of arable land than the acid precipitation.

When the acidification has advanced too far, the cultivation properties of the soil begin to depreciate and this concerns both the physical properties - structure, water holding property, tillage properties - and the capacity to supply plant nutrients and the microbial activity.

The calcium absorption by the plants and the calcium recovery to the soil with crop residues and farm manure are marginal entries in the calcium balance of the soil.

The optimum pH-value in the soil - about 6.5 - corresponds to a base saturation degree of the colloid complex of 75-80% and a calcium saturation degree of 65-70%. A wholly hydrogen saturated soil has a pH-value of 4.0 and a fully base-saturated soil (100%) has 7.0.

According to our standard value a quantity of 150 kg CaO a hectare and year is required to maintain the optimal lime state - about pH-value 6,5.

Generally, the higher the calcium saturation degree of the soil, the greater the losses of exchangeable calcium. The maintenance liming calcium will therefore be depending of the intended degree of calcium saturation.

The soils of the long-term soil fertility experiments in Sweden have markedly been acidified since the start in 1957. The decrease in pH-value towards 1977 has been about half a unit. The principal part of the acidification has appeared independently of fertilization and crop rotation. Also the acid atmospherical fallout probably has contributed.

The calcium saturation degree has thoroughly diminished as well and the size of the original saturation degree in the soils has been of more importance for this case than the type of crop rotation. The decrease is considerably greater on the alkaline and neutral soils compared with the acid soils.

In average, for all the six soils, the annual loss of exchangeable calcium is 108 kg per hectar which corresponds to 151 kg CaO per hectar and year. Its coincidence with the standard value of 150 kg CaO per hectar and year is markedly good.

An enlarged reference material to be able to make further examination of the validity and further differentiation of the standard values is desired.

Referens

Jansson, S.L. 1979. Kalkens roll i dagens och morgondagens jordbruk. KSLAT, Suppl. 13, sid. 6-16 och 66-73.

Tabell 1. Jordmånsbildande faktorer

Table 1. Main factors of soilformation

Klimat /Climate/	} aktiva /active/
Levande organismer/Living organisms/	
Ursprungsmaterial /Parent material/	} passiva /passive/
Topografi /Topography/	
Tid /Time/	

Tabell 2. Plan för M-serien av bördighetsstudierna

6 studiefält x 2 växtföljder x 4 PK-nivåer x 4 N-gödslingar = 192 försöksled x 2 samparceller = 384 försöksparceller

Studiefält	1 Fjärdingslövsgården 2 Orupsgården 3 Västraby	4 Örja 5 S Ugglarp 6 Ekebo
Växtföljder	I (med kreatur) Korn Vall Höstvete Sockerbetor (Stråsädeshalm och bet- blast bortförs. Stall- gödsel till sockerbetorna)	II (kreaturlös) Korn Oljeväxter Höstvete Sockerbetor (All halm och blast nedbrukas. Ingen ställgödsel).
PK-nivåer	A Ingen PK-gödsling B Underhåll (Tillförsel=bortförsel) C Långsam uppgödsling (Underhåll + 15 kg P och 40 kg K/ha och år) D Snabb uppgödsling (Underhåll + 33 kg P + 80 kg K/ha och år)	

N-gödslingsintensiteter 0, 1, 2 och 3

Siffrorna nedan avser kg N pr ha.

Gröda	Växtföljd I och II			
	0	1	2	3
Korn med insädd (I), Korn (II)	-	30	60	90
Vall (I), Oljeväxter (II)	-	50	100	150
Höstvete	-	50	100	150
Sockerbetor	-	70	140	210
Summa kg N pr ha och växtföljd	-	200	400	600

Table 2. Experimental design for the M series of the Long-term soil fertility studies

6 localities x 2 crop rotations x 4 PK levels x 4 N fertilizing intensities = 192 treatments x 2 parallels = 384 individual plots

Localities: Fjärdingslöv. Old arable land of high quality. Moraine loam, low humus content. Parent material: Baltic moraine of south-western Scania.

Orup. Poor land with regard to soil and climate. Sandy moraine, moderate humus content. Parent material: Slate-bedrock moraine of central Scania.

Västraby. Favourable land with regard to soil climate. Sandy clay, moderate humus content. Parent material: Clay plain, north-western Scania.

Örja. Old arable land of good quality. Moraine loam, low humus content. Parent material: Baltic moraine of western Scania.

Ugglarp. Poor land with regard to soil and climate. Sandy moraine, moderate humus content. Parent material Bedrock moraine of the Romele ridge, south-western Scania.

Ekebo. Young arable land of moderate quality with regard to soil and climate. Moraine loam. Parent material Mixed Baltic and bedrock moraine in western Scania.

Crop rotations:

I. Cattle production

Barley
Clover-grass
Winter wheat
Sugar beet

Cereal straw and
beet tops removed.
FYM: 20 tons/ha to
the sugar beet

II. No cattle

Barley
White mustard
Winter wheat
Sugar beet

All straw and
tops ploughed
in. No FYM

PK levels:

A. No PK fertilization

B. PK replacement

C. PK replacement + 15 kg P and 40 kg K per ha and year

D. PK replacement + 30 kg P and 80 kg per ha and year

N fertilizing intensities: (figures in kg N per ha)

	Barley	Clover-grass White mustard	Winter wheat	Sugar beet
0	0	0	0	0
1	30	50	50	70
2	60	100	100	140
3	90	150	150	210

Tabell 3. Bördighetsförsöken, M-serien. pH-KCl 1957, 1967, 1977. Medeltal för gödslingsleden
 Table 3. *ph-KCl changes in the M-series of the long-term soil fertility experiments 1957, 1967, 1977. Averages for fertilized treatments*

År Year	Växtföljd I /Rotation I/							Växtföljd II /Rotation II/						
	F	O	V	Ö	U	E	M	F	O	V	Ö	U	E	M
1957	7.25	5.33	6.70	7.18	5.65	5.63	6.29	7.20	5.30	6.78	7.15	5.60	5.78	6.29
1967	6.98	5.25	6.03	6.50	5.18	5.38	5.88	6.98	5.43	6.28	6.55	5.30	5.53	6.01
1977	6.90	4.78	5.73	5.65	4.70	5.15	5.48	6.73	5.07	5.70	6.30	4.98	5.33	5.68

Tabell 4. Bördighetsförsöken, M-serien. Gödslings inverkan på pH-värdet (i vatten) vid försökens början samt vid slutet av varje omlopp under perioden 1957-1980. Medeltal för 6 lokaler

Table 4. The M series of the long-term soil fertility experiments. Influence of fertilization on the pH-value. pH-value (H₂O) at the start of the experiments and at the end of every rotation during the period 1957-1980. Averages for 6 sites

År Year	Växtföljd I Rotation I				Växtföljd II Rotation II			
	A ₀	B ₁	C ₂	D ₃	A ₀	B ₁	C ₂	D ₃
1957	7.2	7.2	7.2	7.2	7.3	7.2	7.2	7.2
1960	6.9	7.0	7.0	7.1	7.1	7.0	7.1	7.1
1964	6.5	6.4	6.4	6.5	6.7	6.6	6.5	6.6
1968	6.6	6.7	6.5	6.7	6.8	6.7	6.7	6.8
1972	6.5	6.5	6.5	6.6	6.8	6.7	6.6	6.7
1976	6.2	6.2	6.1	6.2	6.4	6.3	6.3	6.3
1980	6.4	6.4	6.3	6.4	6.7	6.6	6.5	6.4

Tabell 5. Bördighetsförsöken, M-serien. Jordens Ca-mättnadsgrad 1957, 1967, 1977, % av utbyteskapaciteten vid pH 7,0

Table 5. The long-term soil fertility experiments, the M-series. The stages of Ca saturation in the soils 1957, 1967, 1977 in per cent of CEC pH 7

Jord Soil	Växtföljd I /Rotation I/			Växtföljd II /Rotation II/			M /Average/		
	1957	1967	1977	1957	1967	1977	1957	1967	1977
F	167	137	134	140	119	105	154	128	120
O	83	78	75	83	86	75	83	82	75
V	108	89	89	111	92	89	110	91	89
Ö	136	101	89	129	101	92	133	101	91
U	91	76	73	94	88	78	93	82	76
E	72	74	71	75	78	77	74	76	74
M	110	93	89	106	94	86	108	94	88
F,V,Ö	137	109	104	127	104	95	132	107	100
O,U,E	82	76	73	84	84	77	83	80	75

Tabell 6. Bördighetsförsöken, M-serien. Jordens utbyteskapacitet vid pH 7 åren 1957, 1967, 1977. Mval/100 g jord

Table 6. The long-term soil fertility experiments, the M-series. The CEC pH 7 of the soils 1957, 1967, 1977 (me/100 g soil)

Jord Soil	Växtföljd I <i>Rotation I</i>			Växtföljd II <i>Rotation II</i>			M <i>Average</i>		
	1957	1967	1977	1957	1967	1977	1957	1967	1977
F	16.8	15.4	16.4	16.6	14.5	15.0	16.7	15.0	15.7
O	11.9	11.0	10.6	13.3	12.2	10.4	12.6	11.6	10.5
V	15.4	15.5	14.5	16.9	16.6	12.6	16.2	16.1	13.6
Ö	12.8	13.1	12.4	13.0	13.8	13.8	12.9	13.5	13.1
U	9.6	9.8	8.6	11.3	10.4	10.4	10.5	10.1	9.5
E	17.0	14.8	14.0	17.0	14.6	12.8	17.0	14.7	13.4
M	13.9	13.3	12.8	14.7	13.7	12.5	14.3	13.5	12.7
F,V,Ö	15.0	14.7	14.4	15.5	15.0	13.8	15.3	14.9	14.1
O,U,E	12.8	11.9	11.1	13.9	12.4	11.2	13.4	12.1	11.1

Tabell 7. Bördighetsförsöken, M-serien. Utbytbar Ca 1957, 1967, 1977. Mval/100 g jord

Table 7. The M-series of the long-term soil fertility experiments Exchangeable Ca 1957, 1967, 1977 (me/100 g soil)

Jord Soil	Växtföljd I <i>Rotation I</i>			Växtföljd II <i>Rotation II</i>			M <i>Average</i>		
	1957	1967	1977	1957	1967	1977	1957	1967	1977
Fjärd.	28.1	21.1	22.0	23.2	17.3	15.8	25.7	19.2	18.8
Orup	9.9	8.6	8.0	11.0	10.5	7.8	10.5	9.5	7.9
Västr.	16.6	13.8	12.0	18.8	15.3	11.2	17.8	14.6	11.6
Örja	17.4	13.2	11.0	16.8	13.9	12.7	17.2	13.6	11.9
Uggl.	8.7	7.4	6.3	10.6	9.2	8.1	9.7	8.3	7.2
Ekebo	12.2	11.0	9.9	12.8	11.4	9.9	12.5	11.2	9.9
M	15.5	12.5	11.5	15.5	12.9	10.9	15.5	12.7	11.2
F,V,Ö	20.7	16.0	15.0	19.6	15.5	13.2	20.2	15.8	14.1
O,U,E	10.3	9.0	8.1	11.5	10.4	8.6	10.9	9.7	8.3

Tabell 8. Bördighetsförsöken, M-serien. Förluster av utbytbart Ca under perioden 1957-1977 kg/ha och är från matjordslagret

Table 1. The long-term soil fertility experiments, the M-series. Losses of exchangeable Ca during 1957-1977 kg/ha and wear from the top soil

Jord Soil	Förlorat Ca Loss Ca	Kalkningsbehov CaO Need of liming CaO
F	170	238
V	153	214
Ö	130	182
M(F,V,Ö)	151	211
O	65	91
U	63	88
E	65	91
M(O,U,E)	64	90
M(6 jordar)	108	151

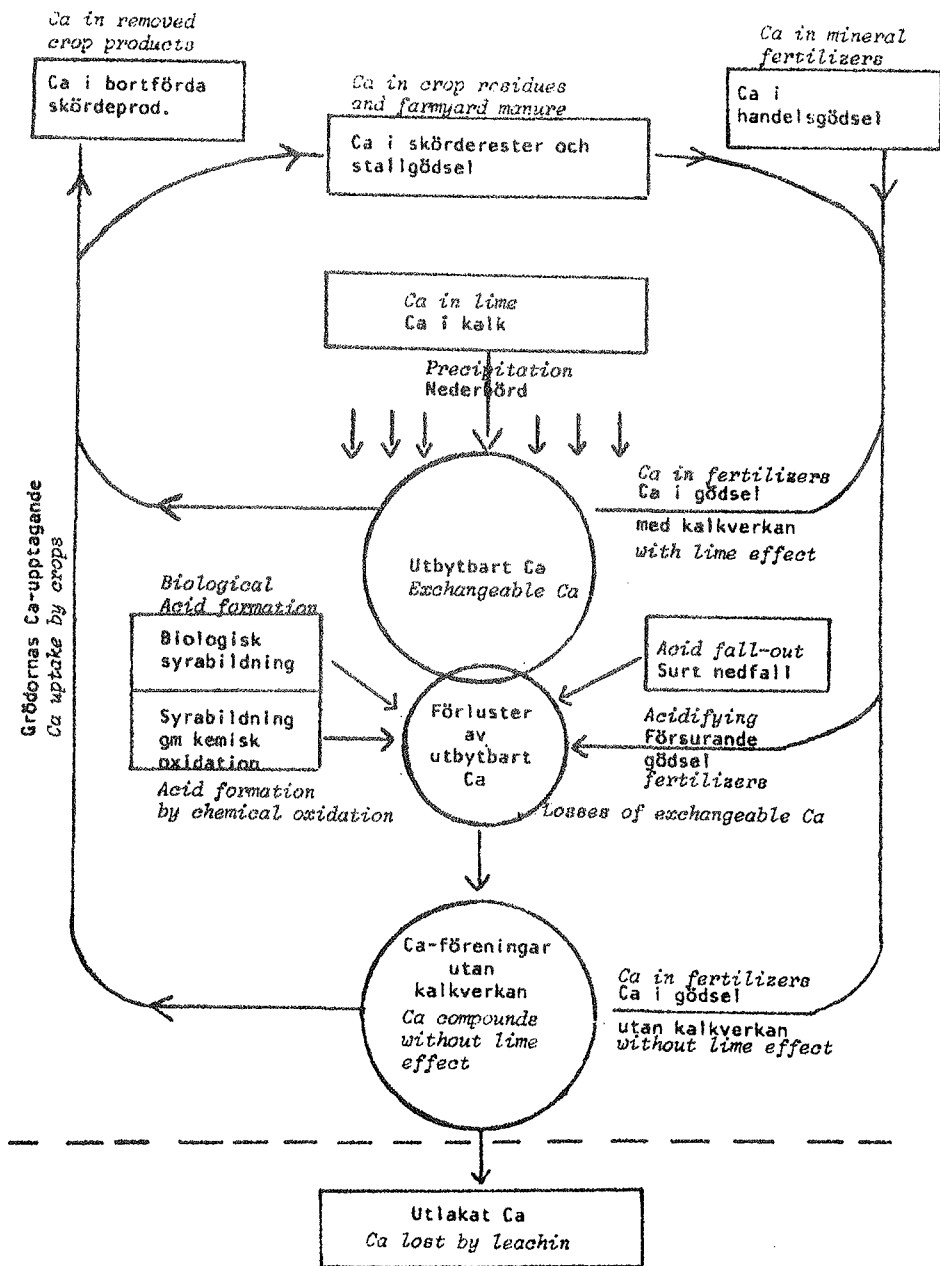
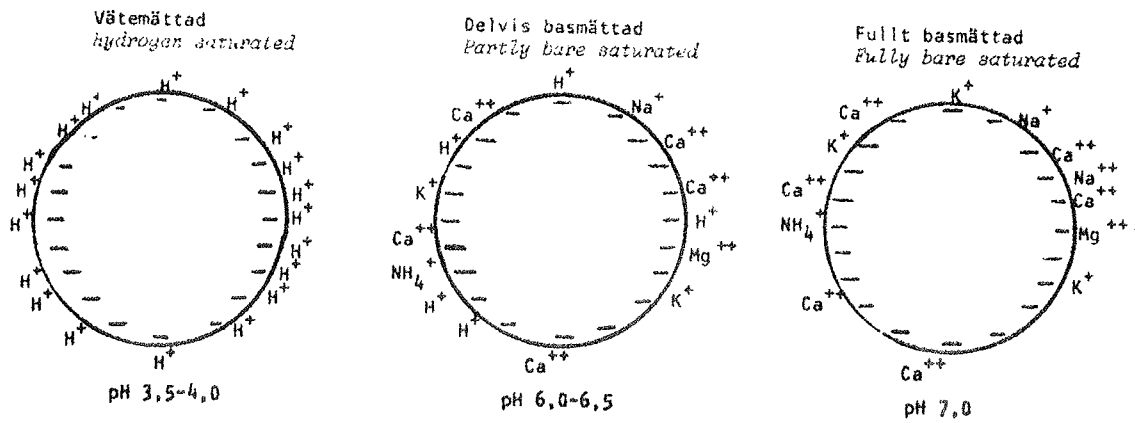
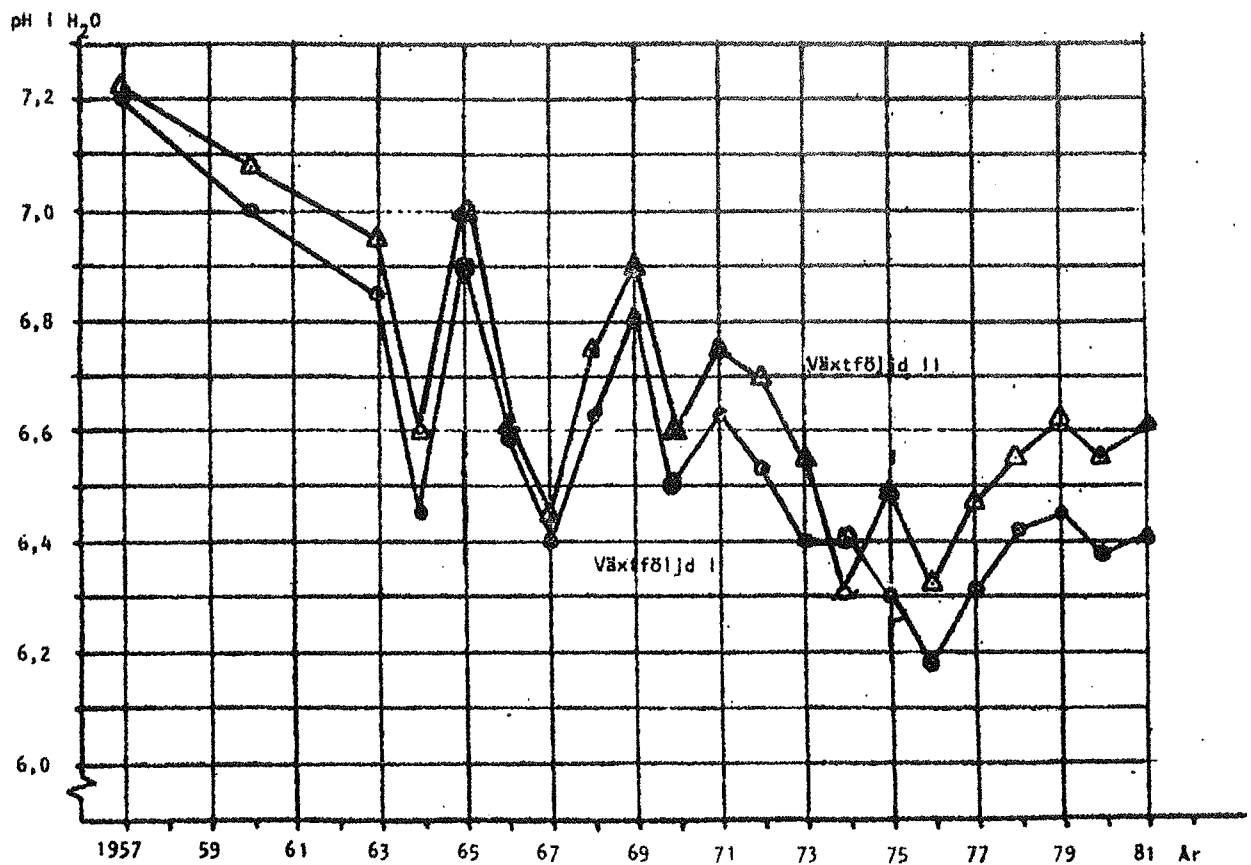


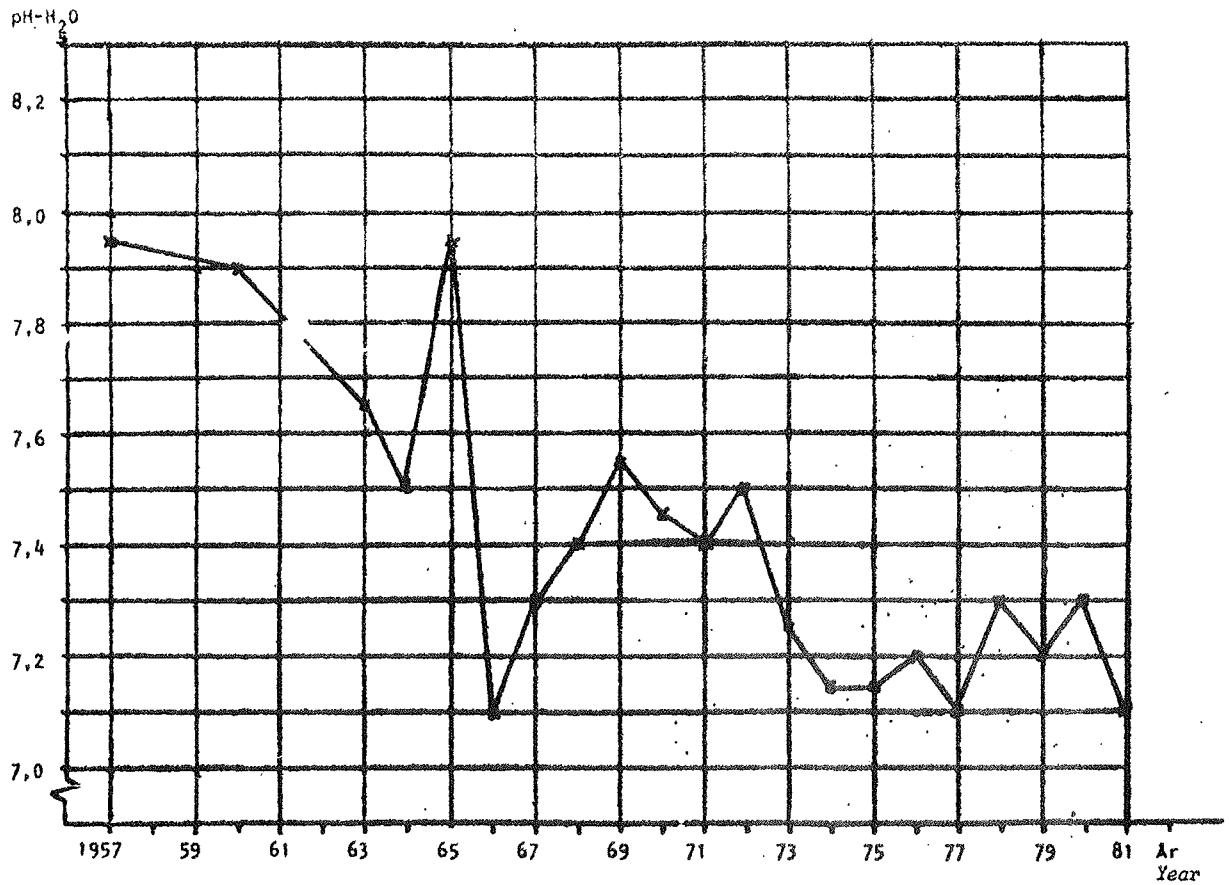
Fig. 1. Odlingsmarkens Ca-balans
 Fig. 1. The calcium balance of arable soil



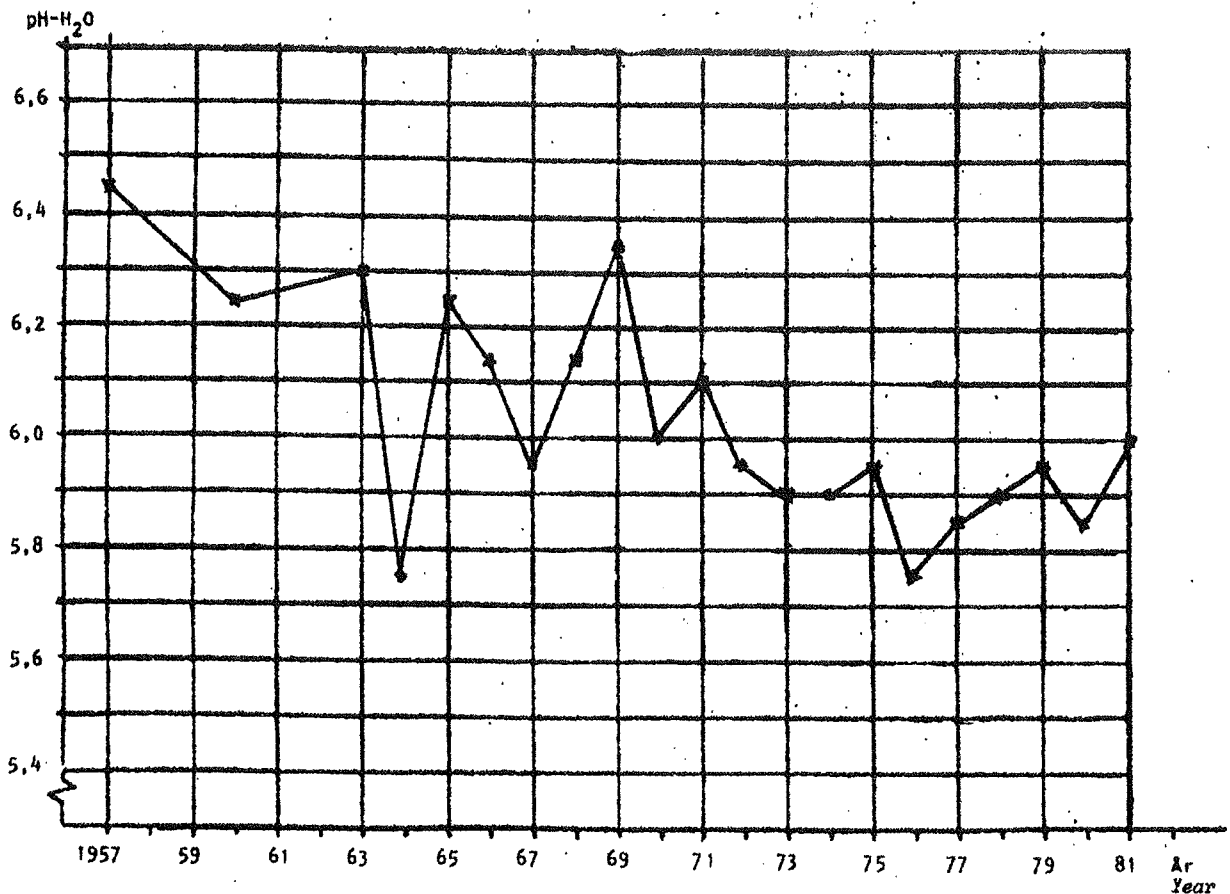
Figur 2. Schematiserad bild av negativt laddad kolloidpartikel i olika stadier av basmättnad
 Figure 2. Schematic illustration of a negatively charged colloid particle in different stages of bare saturation



Figur 3. pH-värdenas förändring med tiden i de skånska bördighetsförsöken. Medeltal av 6 försöksplatser
 Figure 3. pH changes with time in the M series of the long term soil fertility experiments. Means of 6 experimental sites



Figur 4. pH-värdenas förändring med tiden i de skånska bördighetsförsöken. Fjärdingslöv 1957-1981. Medeltal för V I och V II
 Figure 4. pH changes with time in the M series of the long term soil fertility experiments. Site of Fjärdingslöv. Means of rotation I and II



Figur 5. pH-värdenas förändring med tiden i de skånska bördighetsförsöken. Orup 1957-1981. Medeltal för V I och V II
 Figure 5. pH changes with time in the M series of the long term soil fertility Site of Orup 1957-1981. Means of rotation I and II

RAPPORTER FRÅN AVDELNINGEN FÖR VÄXTNÄRINGSLÄRA

Komplett serieförteckning, författar- och ämnesreglster återfinns i rapport nr 100.

Nr	År	
101	1976	Håkan Skoug och Jan Persson: Försök med frit-preparat (mangan, bor och kopparpreparat).
102	1976	Lars Gunnar Nilsson och Olle Johansson: Långsiktiga effekter av gödsling med olika kväveföreningar, mikro-näringsämnen och svavel.
103	1976	Kalju Valdmaa: Funktionen i förmultningsklosett Toga.
104	1976	Hans Gerhard Jerlström: Rapport från två "fullständiga fastliggande gödslingsförsök" med handelsgödsel, stallgödsel och kalk. Riksförsöksserie R3-8083.
105	1976	Olle Johansson och Lennart Mattsson: Aminosyrasammansättningen hos fyra kornsorter vid extremt varierad kvävegödsling.
106	1976	Subrata Ghoshal: Specifika tungmetaller i systemet markväxt, med särskild hänsyn tagen till riskerna för ekologisk förorening (En litteraturöversikt). (Engelsk text med svensk sammanfattning).
107	1976	Gyula Simán och Sven L. Jansson: Undersökning av proteininlagringens dynamik vid kärnbildningen hos värvete.
108	1976	Kalju Valdmaa och Ulrich Schoeps: Omsättning av hus-hållsopor vid närvaro av DDT.
109	1977	Karl Olof Nilsson: Svavelverkan av superfosfater. Fältförsök i Skåne 1957-1973.
110	1977	Lennart Mattsson: Fördelning av kväve till gräsvall.
111	1977	Kalju Valdmaa: Funktionen i förmultningstoaletten "Biolo".
112	1977	Börje Lindén: Utrustning för jordprovtagning i åkermark.
113	1977	Gyula Simán och Sven L. Jansson: Undersökning av olika kornsorters respons för kvävetillgång i jorden.
114	1978	Lennart Mattsson och Tord Eriksson: Tillförselsätt för olika kvävegödselmedel till vårstråsad. <i>Method of application for different nitrogen fertilizers to spring cereals.</i>
115	1978	Lennart Mattsson: Stigande mängder kväve till gräsvall i Mellansverige. <i>Nitrogen for grass dominated leys in central Sweden.</i>

- | Nr | År | |
|-----|------|--|
| 116 | 1978 | Lennart Mattsson: Kvävegödsling på hösten till höstvetete.
<i>Nitrogen dressing in the autumn for winter wheat.</i> |
| 117 | 1979 | Gyula Simán: De permanenta kalkningsförsöken under 1962-1977
a) Markkemiska undersökningar och skörderesultat.
<i>Long-term liming experiments 1962-1977</i>
a) <i>Soil analyses and yield responses.</i> |
| 118 | 1979 | Subrata Ghoshal: Slampelletts som växtnäringskälla
1. Utvärderingsförsök (1976-1978)
<i>Sludge-pellets as a plant nutrient source</i>
1. <i>Evaluation experiments (1976-1978).</i> |
| 119 | 1979 | Börje Lindén: Mineralkväveförrådets storlek och förändring i markprofilen vid odling av sockerbetor och korn. Studier i växtföljdsförsöken R4-001, R4-002 och R4-003 i Skåne 1978.
<i>Mineral nitrogen supply in profiles of soils cropped with sugar beets and barley.</i>
<i>Studies in crop rotation trials in Skåne, south Sweden, 1978.</i> |
| 120 | 1979 | Börje Lindén: Alvprovtagning med "Ultuna-borren" - för markkartering och framtida N-prognoser.
<i>Subsoil sampling with the "Ultuna Core Sampler".</i> |
| 121 | 1979 | Lennart Mattsson: Kväveintensitet vid olika markbördighet. Jordanalysdata vid försöksstarten.
<i>Nitrogen intensities at different soil fertilities.</i>
<i>Soil analysis data at the experimental start.</i> |
| 122 | 1979 | Börje Lindén: Kvävegödsling baserad på bestämning av mineralkväveförrådet i marken. Lägesrapport om N-prognosverksamhet i några europeiska länder och i Nordamerika.
<i>Nitrogen fertilizer recommendations based on determination of mineral nitrogen in soils.</i>
<i>Research and extension facilities for N-prognosis in some European countries and in North America.</i> |
| 123 | 1980 | Lennart Mattsson: Vinterklimatets betydelse för kväveeffekten i vårstråsäd nästkommande vegetationsperiod.
<i>Impact of winterclimate on the nitrogen effect on spring cereals nextcoming vegetation period.</i> |
| 124 | 1980 | Magnus Hahlin och Haldo Carlsson: Verkan av kväve, fosfor och kalium på avkastning och kvalitet hos några matpotatissorter.
<i>The influence of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on yield and quality of some table potatoes.</i> |

- | Nr | År | |
|-----|------|--|
| 125 | 1980 | Börje Lindén: Mineralkväve i åkerjordar i Halland och Uppland.
<i>Mineral nitrogen in cultivated soils in the Swedish provinces of Halland and Uppland.</i> |
| 126 | 1980 | Gyula Simán och Harry Linnér: Styrning av stråsådesgrödans kärnavkastning och proteinhalt genom kvävegödsling efter växtanalys och genom bevattning.
<i>Control of yield and protein in cereals by nitrogen fertilization based on plant analysis and by irrigation.</i> |
| 127 | 1980 | Karl Olof Nilsson: Skördeutveckling och omsättning av organisk substans vid användning av olika kvävegödselmedel och organiska material. Undersökningar i ett ramförsök under 20 år.
<i>Development in harvest and conversion of organic matter when using different nitrogen fertilizers and organic materials. Studies in a small-plot field trial during 20 years.</i> |
| 128 | 1980 | Jan Persson: Detaljstudium av den organiska substansens omsättning i ett fastliggande ramförsök.
<i>Detailed investigations of the soil organic matter in a long term frame trial.</i> |
| 129 | 1980 | Janne Eriksson, avd för lantbrukets hydroteknik: Inverkan på markstrukturen av olika kvävegödselmedel och organiska material.
<i>The influence on soil structure of different nitrogen fertilizers and organic materials.</i> |
| 130 | 1980 | Lennart Mattsson och Nils Brink: Gödslingsprognoser för kväve.
<i>Fertilizer forecasts.</i> |
| 131 | 1980 | Magnus Hahlin, Lennart Johansson och Lars Gunnar Nilsson: Kaliumgödslingseffektens beroende av balansen mellan kalium och magnesium. I. Kärnförsök.
<i>Effects of potassium fertilization depending on the balance between potassium and magnesium. I. Pot experiments.</i> |
| 132 | 1981 | Börje Lindén: Ammonium- och nitratkvävet rörelser och fördelning i marken. I. Litteraturöversikt.
<i>Movement and distribution of ammonium- and nitrate-N in the soil. I. Literature review.</i> |
| 133 | 1981 | Peder Waern: Spridningstidpunkt och tillförselsätt för flytande kvävegödselmedel till stråsåd.
<i>Time and method of application of nitrogen solutions for cereals.</i> |

- | Nr | År | |
|-----|------|---|
| 134 | 1981 | Lennart Mattsson: Gödslingsystem.
<i>Fertilizing systems.</i> |
| 135 | 1981 | Lennart Mattsson och Johan Biärsjö: Kvävegödsling till korn.
<i>Nitrogen fertilization to barley.</i> |
| 136 | 1981 | Karl Olof Nilsson: Allsidig växtnäringstillförsel.
<i>Balanced supply of complete plant nutrients.</i> |
| 137 | 1981 | Börje Lindén: Ammonium- och nitratkvävetts rörelser och fördelning i marken. II. Metoder för mineralkväveprovtagning och -analys.
<i>Movement and distribution of ammonium- and nitrate in the soil. II. Methods of sampling and analysing mineral nitrogen.</i> |
| 138 | 1981 | Jan Persson: Växtföljdens och skörderesternas effekt på skördeutvecklingen.
<i>Effect of crop rotations and harvest residues on the yield development.</i> |
| 139 | 1982 | Arne Gustafson och Lennart Mattsson: Tidig gödslingsprognos och grödans kväveförsörjning.
<i>Fertilizer forecasts and the nitrogen supply of the crop.</i> |
| 140 | 1982 | Peder Waern: Höst- och vårspridning av kväve till höstvete.
<i>Autumn and spring application of nitrogen to winter wheat.</i> |
| 141 | 1982 | Lars Eric Andersson: Utrustning för jordprovtagning i markprofilen.
<i>Equipment for soil sampling in the profile.</i> |
| 142 | 1982 | Lars Gunnar Nilsson: Borgödsling - små givor, kalktillstånd och till olika grödor.
<i>Boron fertilization - small rates, level of lime and to different crops.</i> |
| 143 | 1982 | Börje Lindén: Ammonium- och nitratkvävetts rörelser och fördelning i marken. III. Inverkan av nederbördsförhållanden och vattentillgång, studier i modell- och ramförsök.
<i>Movement and distribution of ammonium- and nitrate-N in the soil. III. Influence of precipitation and water supply. Studies in model and frame experiments.</i> |

Nr	År	
144	1982	Janne Ericsson och Göte Bertilsson: Regionala behov av underhållskalkning. <i>Regional needs of maintenance liming.</i>
145	1982	Börje Lindén: Ammonium- och nitratkvävet rörelser och fördelning i marken. IV. Inverkan av gödslingsätt och nederbörd. Studier i fältförsök. <i>Movement and distribution of ammonium- and nitrate-N in the soil. IV. Influence of N-application technique and precipitation. Studies in field trials.</i>
146	1982	Peder Waern och Jan Persson: Havrens kväveupptagning från olika djup i en styv lera. <i>Nitrogen uptake by oats from various depths in a heavy clay.</i>
147	1982	Under tryckning
148	1982	Under tryckning
149	1982	Lars Eric Anderson: Mineralisering och upptagning av kväve i två åkerjordar. <i>Mineralization and uptake of nitrogen in two cultivated soils</i>
150	1983	Käll Carlgren: Några analysmetoders användbarhet för uppskattning av kvävemineraliseringen i åkerjordar från Götaland och Svealand. <i>The usability of some methods for estimation of nitrogen mineralisation in arable soils from South and Middle Sweden.</i>
151	1983	S.L. Jansson: Tjugofem års bördighetsstudier i Sverige. <i>Twentyfive years of soil fertility studies in Sweden.</i>
152	1983	S.L. Jansson: Åkermarkens försurning och kalkning. Erfarenheter från de skånska bördighetsförsöken. <i>Acidification and liming of arable soils. Experiences from the long-term soil fertility experiments in Malmöhus county.</i>

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat från avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet. Serien finns tillgänglig vid avdelningen och kan i mån av tillgång erhållas därifrån.

This series contains reports of research and field experiments from the Division of Soil Fertility, Swedish University of Agricultural Sciences. The series is available at the Division and can, as far as supplies admit, be ordered from the Division of Soil Fertility.

DISTRIBUTION:

Sveriges lantbruksuniversitet
Avdelningen för växtnäringslära
750 07 UPPSALA

Tel. 018-171249, 171255
