

Undersøgelser over jordens nitratindhold i frugtplantager

Ved SVEN DALBRO og GUNNAR NIELSEN

552. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Ved Blangstedgaard er der i årene 1954 og 1955 udført undersøgelser over jordens nitratindhold i frugtplantager, drevet under forskellige gødnings- og jordbehandlingsforhold. Analysearbejdet er udført ved forsøgsstationens laboratorium, og det er resultaterne af disse undersøgelser, som forelægges i denne beretning.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

	side
Indledning	1
Jordprovernes udtagning og analysering	4
Vurdering af analysemetoder	5
Nitratindhold i renholdt jord	7
» i jord med vedvarende græs	10
» i jord med dækafgrøde	12
» i jord med kvælstofforsøg	14
Diskussion og oversigt	17
Summary	23

Indledning

I de senere år er der ved hjælp af den stabile kvælstofisotop N-15 foretaget en række undersøgelser over kvælstofforbindelsers omsætning i jordbunden, der på afgørende måde har udvidet og underbygget kendskabet til det mineraliserede kvælstofs skæbne i jorden.

Uden nogen detaljeret litteraturgennemgang skal der her — væsentlig støttet til *Russell* (1950), *Jansson* (1954—56), *Wijler*

&Delwiche (1954) og Nömmik (1956) — gives en oversigt over nyere resultater på det område, hvortil foreliggende beretning har relation.

En meget vigtig omstændighed er det, som fremhævet af Jansson (1956), at kvælstofkredsløbet i jorden foregår gennem ammoniumfasen, og at nitrat i jorden indgår i en passiv opsamlingsfase og kun under særlige omstændigheder bringes tilbage i kredsløbet.

Som en konsekvens af denne opdagelse kan nitrattets forhold i jorden inddeles i tre hovedtilfælde:

1. Hvis mængden af letomsætteligt kulhydrat er stor i forhold til kvælstofindholdet, sker der en biologisk fastlægning af tilført mineralsk kvælstof, hvad enten dette er ammoniak eller nitrat.

2. Kvælstofkredsløbet i jorden går rundt uden biologisk fastlægning og uden nettomineralisering. Hvis jorden i denne fase tilføres nitrat, vil dette ikke indgå i kredsløbet, og dets forbliven i jorden vil være bestemt af faktorerne udvaskning, nitrataassimilation m. v.

Tilførsel af ammoniakgødning vil derimod straks forskyde tilstanden til følgende fase:

3. Når kulstof-kvælstofindholdet er tilstrækkelig snævert, vil der ved mikrobiel aktivitet udskilles mere ammoniak, end der forbruges. Overskudet vil i de fleste jorder blive nitrificeret til nitrat. Ved en fortløbende nettomineralisering, som er den almindelige tilstand i agerjord, vil nitrattet ophobes i jorden, med mindre det fjernes på een eller anden måde.

Tilføres jorden i denne tilstand ammoniakgødning, vil det indgå i kvælstofkredsløbet, og — når betingelserne derfor er til stede — nitrificeres, hvorved nitrattbeholdningen øges. Nitratgødning vil med det samme øge jordens nitrattbeholdning med hele den tilførte mængde.

Medens ammoniakindholdet i en nitrificerende jord vil holde sig ret konstant, fordi det først og fremmest vil afhænge af den hastighed, hvormed det mobiliseres og derefter nitrificeres eller assimileres ved mikrobiel aktivitet (eller evt. optages af planterødderne som ammonium), vil nitrattindholdet variere meget stærkt, fordi det er under påvirkning af en række andre faktorer.

Akkumulering af nitrat vil foregå så længe, der sker en netto-mineralisering; men akkumuleringen modvirkes ved planternes nitratassimilation, ved denitrifikation og ved udvaskning.

Af disse vil de to første faktorer formentlig dominere i vækstsæsonen; medens udvaskning bliver afgørende, så snart der løber vand i drænrørene.

Denitrifikation, d. v. s. dissimilatorisk reduktion af nitrat til kvælstofforilte eller elementært kvælstof — en proces, hvori nitrat optræder som hydrogen akceptor — har gennem årene været tillagt vekslende betydning. *Arnold* (1954) har dog ved hjælp af infrarød spektrofotometer kunnet påvise en ikke ubetydelig reduktion af nitrat til kvælstofforilte (N_2O) i agerjord ved forhøjet vandindhold, ved normalt vandindhold kunne ikke påvises dannelse af N_2O udfra nitrat. Desuden var der en svag, men umiskendelig N_2O -produktion udfra ammoniak i agerjord med normalt vandindhold.

Wijler & Delwiche (1954) og *Nömmik* (1956) har ved hjælp af kvælstof-15 studeret dinitrifikationsprocessen og de faktorer, der påvirker denne, i enkeltheder, og det er nu sandsynliggjort, at det må være en almindelig forekommende proces i agerjord, omend i meget forskellig omfang.

Danske undersøgelser over jordens nitratindhold er forholdsvis sparsomme. Ved Askov forsøgsstation, hvor der i en periode fra 1914 til 1927 blev foretaget undersøgelser over kvælstofomsætningen i agerjord, *Hansen* (1926, 28 og 29), kunne det vises, at jordens nitratindhold var stærkt påvirket af plantevæksten, at temperaturen havde indflydelse på nitratindholdet — det største indhold fandtes i juli—august — at kvælstofgødskning påvirkede nitratindholdet i jorden gennem lange perioder og endelig, at nitratindholdet i pløjelaget på grund af nedbørens indflydelse varierede meget stærkt. I modsætning til de store variationer i nitratindholdet var ammoniakindholdet ret konstant og kun forbigående påvirket af gødskning med ammoniumgødning. Der blev endvidere påvist en kraftig bortførsel af nitrat med drænvandet.

I enge, som havde ligget i naturtilstand gennem lange tider uden andet indgreb end slåning, fandt *Olsen* (1921) meget varierende nitratindhold i jordprøver udtaget til 10 cm's dybde i

juli—september. Indholdet svingede fra 0—42 mg nitrat-N pr. kg tør jord. På meget sure højmoeseenge pH 3,6 og 3,8 forekom overhovedet ingen nitratdannelse, men ellers fandtes ingen klar sammenhæng mellem brintionkoncentration og nitratindhold på enge med pH-variation fra 3,8—7,7. Dette var heller ikke tilfældet i skovbundsjord, hvor nitratindhold varierede fra 0—15 mg nitrat-N pr. kg jord, i de fleste tilfælde dog med nitratindhold lavere end 5 mg nitrat-N pr. kg jord. I typiske morbunde forekom nitrifikation dog slet ikke. På nylig afdrevne skovarealer, hvor morbunden var i kraftig omsætning, blev høje nitratindhold — op til 47 mg nitrat-N pr. kg jord — konstateret.

Bornebusch (1925) udførte i sine omfattende studier over skovbunden også adskillige analyser af skovjordens nitratindhold og fandt meget varierende værdier. Største indhold fandtes gennemgående i sommermånederne.

I en nitrificerende jord indgår nitrat ikke i det almindelige kvælstofkredsløb, det forekommer desuden kun i vandopløselig form i jorden, og ved valg af en passende fremgangsmåde vil det totale nitratindhold, som er til rådighed for planterne, blive omfattet af en nitratanalyse. Det skulle derfor ved analyser af jordprøver udtaget i hele den dybde, hvorfra planterne kan optage nitrat, være muligt at holde rede på hvor meget nitrat, der til ethvert tidspunkt er til planternes rådighed i jorden. Jordens nitratindhold vil nemlig til enhver tid være differencen mellem den mængde, der er tilført ved nitrifikation og gødskning og den mængde, der er forbrugt ved udvaskning, denitrifikation og planternes nitratassimilation.

I det følgende forelægges resultatet af en række fortløbende undersøgelser udført ved Blangstedgaard, hvor nitratindholdet i jorden er undersøgt til en dybde af 60 cm i 1954 og til 90 cm i 1955.

Jordprøvernes udtagning og analysering m. v.

Alle prøverne er udtaget med et jordbor, der havde en lysning på 2,7 cm. De blev udtaget til forskellig dybde, således at der først bores 20 cm ned, hvorefter boret blev trukket op, og jor-

den skrabet ud. Dernæst boredes videre i samme hul til næste dybde. Ved hver gang at trykke siden af borehullet lidt ud med boret, kunne det hindres, at jord fra overliggende lag dryssede ned og blandede sig med jord fra underliggende lag.

Straks efter udtagningen blev jorden fra hver prøveflade blandet grundigt, og en æske jord udtaget til analyse og straks overhældt med 5 ml toluol pr. 500 g jord. Efter hjemtagning til laboratoriet tørredes prøverne ved 70—80° og blev derefter pulveriseret og sigtet gennem en 2 mm sigte.

Til nitratbestemmelse anvendtes den af *Blom & Treschow* (1929) udarbejdede xylenol-metode i *Treschow & Gabrielsen's* (1932) modifikation, hvor nitrering af xylenol foretages med selve jorden uden forudgående ekstraktion.

Foruden nitrat blev der i jordprøverne bestemt vandindhold ved tørring af prøverne ved 100°C. Ved forsøgsstationens meteorologiske station blev jordtemperaturen målt i 10 cm's dybde i åben jord og i græsdekke jord, og resultaterne er gengivet i fig. 9 som gennemsnit af 3 daglige aflæsninger, kl. 8, 14 og 21 i tidsrummet fra den ene prøveudtagning til den næste.

Nitratindholdet i de enkelte jordlag er udtrykt som mg nitrat-N pr. kg tør jord. Som udtryk for nitratindholdet i hele det undersøgte jordlag er benyttet kg nitrat-N pr. hektar. Ved omregning til kg nitrat-N pr. hektar er jordens litervægt regnet til 1,5 kg.

Vurdering af analysemetode

Alle analyserne blev udført som dobbeltbestemmelse, og for at få et indtryk af med hvilken sikkerhed de mange analyser er udført, er der på fem tilfældige steder i analyseprotokollen udtaget 10 på hinanden følgende bestemmelser og beregnet middelfejlen M på dobbeltbestemmelserne efter formlen $M = \pm \sqrt{\Sigma d^2 : 4p}$, hvor p er antal prøver, og d er differencen mellem dobbeltbestemmelserne.

Middelfejlen på gennemsnit af 2 analyser var $\pm 0,22$ mg nitrat-N. Det gennemsnitlige nitratindhold i prøverne var 4,6 mg.

De fleste prøveflader var 9 kvadratmeter store, og her blev taget eet stik pr. kvadratmeter. For at få et indblik i, hvor stor variation i nitratindhold der forekom mellem de enkelte stik,

blev der i et enkelt tilfælde foretaget en undersøgelse af hvert enkelt stik for sig. Disse analyser er vist i følgende tabel.

Analyser af 9 enkelt-stik, mg nitrat-N kg pr. tør jord

dybde	gensn.	middelfejl M	M. i pct. af gensn.	laveste værdi	højeste værdi
0—20 cm	1.34	± 0.13	10.5	0.94	1.94
20—40 «	4.11	« 0.45	10.9	2.12	5.33
40—60 «	4.33	« 0.19	4.3	3.63	5.51
60—90 «	3.70	« 0.08	0.8	3.73	4.72

Middelfejlen, som således omfatter både prøveudtagnings- og analysefejl, er her beregnet efter formlen $M = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n(n-1)}}$.

Den procentiske variation i enkeltstikkernes nitratindhold var således størst i øverste jordlag og aftog stærkt med dybden.

Ved beregning af gennemsnitsindholdet af nitrat for hele jordprofilen i hvert enkelt stik viste det sig, at variationen beregnet på hele profildybden mellem de 9 enkelte stik ikke var særlig stor, gennemsnit var 3,8 mg pr. kg jord $\pm 0,09$ mg. Laveste værdi 3,3 mg, højeste 4,0 mg.

Jordprøver blev udtaget i to plantager, de vil i det følgende blive kaldt A og B.

JORDBEHANDLINGENS INDFLYDELSE PÅ JORDENS NITRATINDHOLD, PLANTAGE A

Prøveflader

I denne afdeling placeredes — mellem trærækkerne og i 1 meters afstand fra stammerne — fire prøveflader hver på ni kvadratmeter. Disse prøveflader blev udlagt for at følge jordbehandlingens indflydelse på jordens nitratindhold og var følgende:

1. *Renholdt jord.* I 1953 var fladen tilplantet med rosenkål, som blev fjernet foråret 1954. Derefter holdtes fladen fri for plantevækst ved skufning.

2. *Gammel græsdækket jord.* Fladen blev tilsået med græs i 1949 og holdt kortklippet siden. Det afslæede græs blev ikke fjernet.

Græsset var en blanding af rød svingel og engrapgræs og praktisk taget fri for bælplanter.

3. *Ny græsdækket jord.* Dyrket med rosenkål i 1953, denne fjernedes foråret 1954, hvorefter fladen blev renholdt indtil maj 1954, hvor den tilsåedes med græs, som siden blev holdt kortklippet, uden at det afslåede græs fjernedes.

4. *Renholdt jord med dækafgrøde.* Jorden var siden 1949 renholdt til midsommer, hvorefter en dækafgrøde af humleagtig sneglebælg blev sået i. Dækafgrøden nedpløjedes om efteråret. Udsæden af sneglebælg sidst i juni 1954 slog imidlertid fejl, og dækafgrøden domineredes denne sommer og efterår af hyrde-taske og eenårig rapgræs. Prøvefladen flyttedes derefter til et sted, hvor sneglebælgen groede kraftigt og tæt, og jordprøverne blev udtaget fra denne prøveflade fra 11/11 1954.

Gødskning

Prøvefladerne 2 og 4 fik den 23/3 1954 tilført 300 kg kalksalpeter pr. hektar, derudover er der ikke tilført gødning i undersøgelsesperioden. Jorden er en noget stiv lerjord, muldindhold ca. 2,5 pct., og de almindelige jordbundsanalyser gav følgende resultater:

dybde	Rt	Tk	Ft
0—20 cm	7.0	18	7
20—40 «	6.9	12	4
40—60 «	6.5	9	3
60—90 «	6.6	4	5

Resultater

Jordens nitratindhold i de forskellige prøveflader er gengivet grafisk i fig. 1—5. I figur 1 vises det totale nitratindhold i jordlaget 0—60 cm for hver af de fire prøveflader, og i de følgende figurer angives for hver prøveflade nitratindholdet i de enkelte jordlag.

Renholdt jord

Totalmængden steg fra 20 kg nitrat-N pr. hektar den 20. marts til omkring 60 kg sidst i juni, på dette niveau holdt nitratindhol-

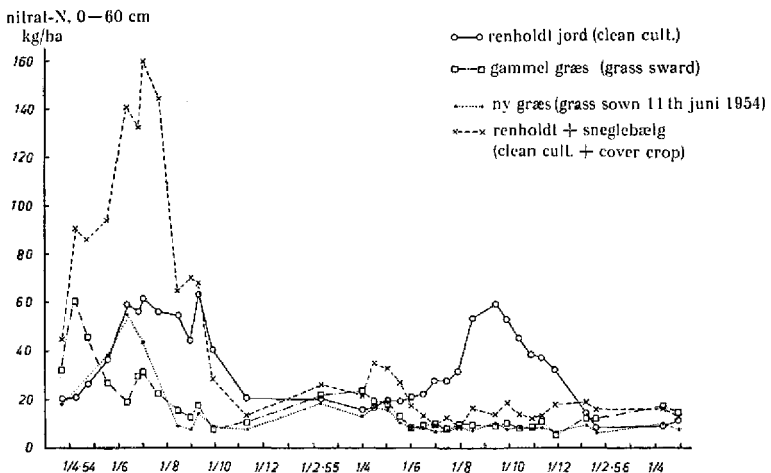


Fig. 1. Jordbehandlingsens virkning på jordens nitratinhold til en dybde af 60 cm. Prøvefladerne med sneglebælg og gammelt græs tilført 300 kg salpeter 25/3 1954. Prøvefladen med nyt græs tilsået 11/6 1954.

(Influence of different soil-management system on the nitrate content of soil, measured to a depth of 60 cm. The plots with clean cultivation + cover crop and grass sward were added 300 kgs. nitrate of lime per hectare in march 25, 1954. The plot with new grass was sown june 11, 1954).

det sig derefter til midt i august, hvor indholdet faldt til 45 kg, formentlig som følge af de usædvanligt store nedbørsmængder denne sommer. I en mere tør periode i begyndelsen af september øgedes nitratinholdet atter og nåede maksimum for året den 10. september med 63 kg pr. hektar, men derefter aftog det hurtigt og var midt i november af samme størrelse som ved undersøgelsens begyndelse. 1. april 1955 var indholdet 15 kg pr. hektar og steg derefter jævnt til 1. august, hvor det nåede op på 32 kg; men her indtraf en hastig stigning samtidig med, at sommervarmen rigtig satte ind, og maksimum nåedes i begyndelsen af september med 60 kg pr. hektar. Derefter aftog indholdet stærkt, men langsommere end i 1954, formentlig på grund af de ulige meteorologiske forhold de to år. Til gengæld nåede indholdet længere ned, end tilfældet var i 1954, og 1. april 1956 var indholdet kun 9 kg pr. hektar.

I pløjelaget 0—20 cm (fig. 2) steg nitratinholdet fra 3 mg

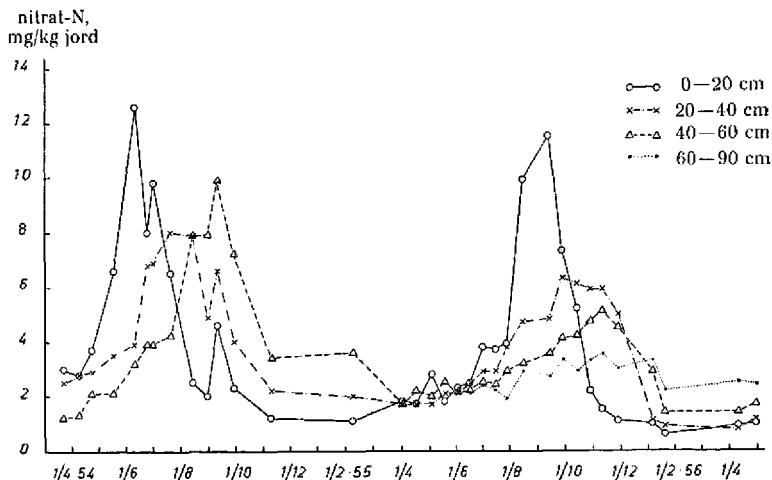


Fig 2. Renholdt jord. Nitratindhold i forskellig dybde.
(Clean cultivation. Nitrate content in different layers).

nitrat-N pr. kg jord i marts til 13,3 mg først i juni, derefter aftog det brat og nåede et foreløbigt minimum 1. september, siden var der en kortvarig stigning; men derefter aftog indholdet igen og nåede minimum med 1,2 mg nitrat i midten af november, og på dette niveau holdt indholdet sig vinteren over.

I jordlaget fra 20—40 cm nitratindholdet ret jævnt og nåede maksimum den 20. august, godt en måned senere end maksimum nåedes i øverste jordlag.

40—60 cm. Her steg indholdet af nitrat støt sommeren igennem og nåede maksimum den 10. september, tre måneder senere end maksimum i øverste jordlag. Senere aftog nitratindholdet stærkt, men endnu i februar var det her 3 gange højere end i pløjelaget.

Denne trinvis forsinkede indstilling af maksimumindholdet i de forskellige jordlag afspejler nedvaskningen af det i pløjelaget dannede nitrat, som sætter ind med den regnrige periode, der begynder omkring 1. juli.

I april 1955 var nitratindholdet ens i alle tre jordlag; men derefter udviklede nitratindholdet i de forskellige jordlag sig efter de samme linier som i 1954. Formentlig på grund af andre

temperaturer og nedbørsforhold nåedes maksimumindholdet af nitrat i de forskellige lag dog først 2 til 3 måneder senere.

Græsklædt jord

Gammelt græs. De 300 kg salpeter tilført sidst i marts 1954 satte nitratindholdet stærkt op (fig. 1).

Hvis der regnes med samme nitratproduktion som i renholdt jord, svarede stigningen dog kun til, at 60 pct. af den tilførte mængde blev genfundet ved analyser. Efter den kortvarige stigning aftog nitratindholdet hastigt og nåede et foreløbigt minimum i midten af juni. Jorden var på dette tidspunkt meget tør, og græsvæksten indstillet. Samtidig med, at en nedbørsperiode satte ind, steg nitratindholdet en kort tid, men aftog derefter atter i takt med græssets tilvækst, og resten af året var indholdet lavt. I løbet af vinteren steg nitratindholdet lidt og nåede op på godt 20 kg nitrat-N pr. hektar i begyndelsen af april; men samtidig med, at græsset atter voksede til, faldt nitratindholdet igen og

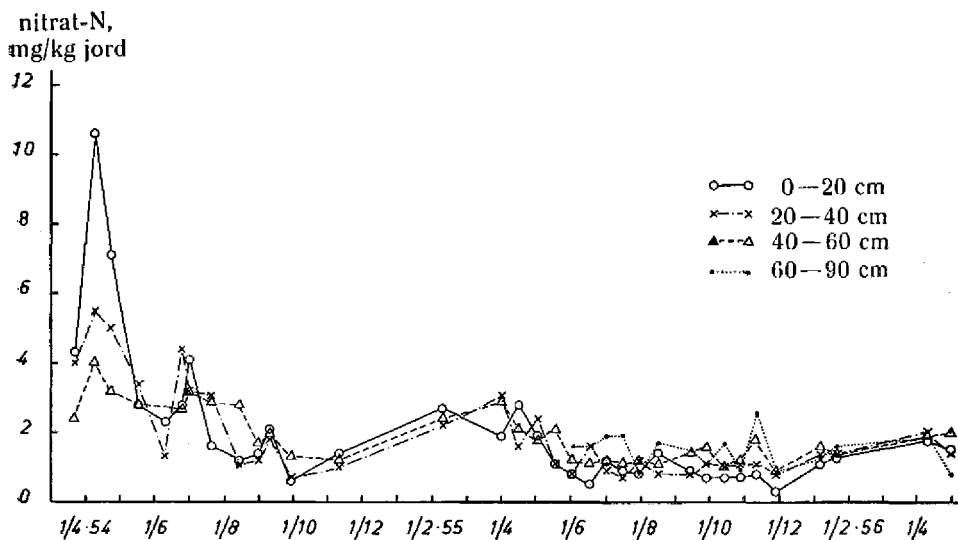


Fig. 3. Gammelt græs. Nitratindholdet i forskellig dybde. 300 kg kalksalpeter pr. hektar tilført 25/3 1954.

(Grass sward sown 1949. Nitrate content in different layers. 300 kgs. nitrate of lime per hectare was applied march 25, 1954).

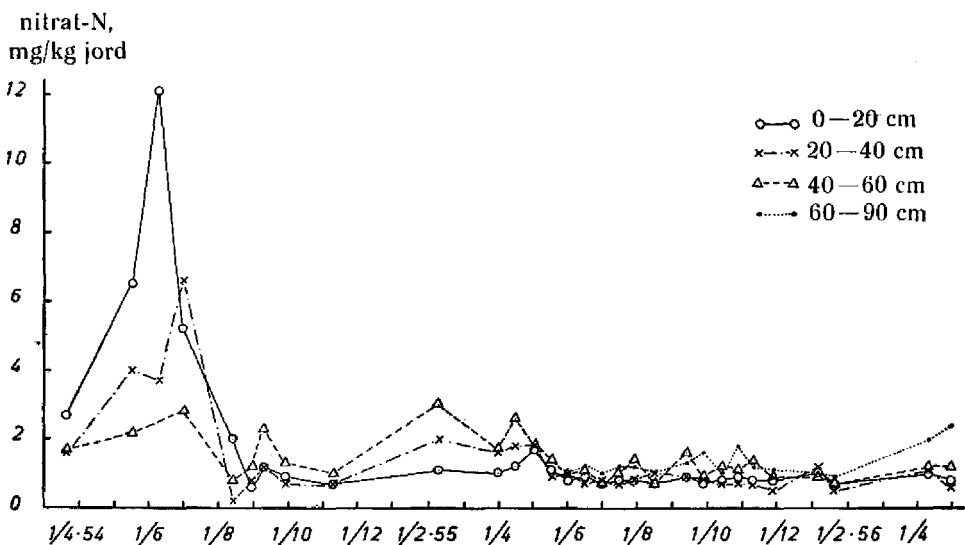


Fig. 4. Nyt græs. Nitratindhold i forskellige dybder.
(Grass sown June 11, 1954. Nitrate content in different layers).

holdt sig resten af året på et meget lavt niveau omkring 10 kg nitrat-N pr. hektar. I foråret 1956 var der atter en tendens til stigning.

I fig. 3, hvor nitratindholdet i de enkelte jordlag vises, ses det, at salpetertilførslen især gjorde sig gældende i øverste jordlag; men efterhånden udlignedes forskellene, og fra 1. september og resten af undersøgelsesperioden var nitratindholdet praktisk taget ens i alle jordlagene.

Nyt græs. I fig. 1 ses det, at prøvefladens nitratindhold inden såningen af græsset var meget nær det samme som i renholdt jord. Efter såning af græsset den 11. juni 1954 aftog nitratindholdet meget hurtigt og var resten af undersøgelsesperioden ret nær det samme som i fladen med gammelt græs, dog hele tiden med en tendens til et noget lavere indhold end i denne. Tendensen var særlig udpræget i foråret 1955 og foråret 1956.

I figur 4 ses det, at efter, at græsset var groet til, eller fra omkring 1. september 1954, var der ikke stor forskel på nitratindholdet i de forskellige jordlag.

Renholdt jord med dækafgrøde

I figur 1 ses det, at salpetertilskud øgede jordens nitratindhold meget. Hvis hele stigningen fremkaldtes af gødningen, blev 97 pct. af det tilførte genfundet ved analysen.

I tiden fra midt i april til midt i maj var nitratindholdet nærmest uforandret, men steg derefter overordentlig voldsomt og nåede et maksimum på 160 kg nitrat-N pr. hektar den 1. juli. Der må fra maj til juli være foregået en kraftig mineralisering og nitrifikation af det året i forvejen bundne kvælstof.

Men i de næste måneder aftog indholdet meget brat og nåede i begyndelsen af september ned under indholdet i renholdt jord. Det kraftigste fald skete samtidig med, at den nye dækafgrøde voksede til og må forklares ved, at den nye afgrøde har forbrugt forrådet af nitrat, og måske er der samtidig med afgrødens forbrug sket en denitrifikation. Midt i november var nitratindholdet lavere end i renholdt jord og kun lidt højere end i græsfladen. Fra dette tidspunkt blev prøverne udtaget fra en ny prøveflade, hvor bestanden af sneglebælg var meget kraftig. I løbet af vinteren steg nitratindholdet, og i april 1955 frigjordes atter noget nitrat, men totalindholdet nåede kun op på 35 kg nitrat-N pr. hektar. Samtidig med, at den overvintrede sneglebælg atter voksede til, aftog nitratindholdet hurtigt og holdt sig derefter på et ret konstant niveau noget over græsfladernes indhold resten af tiden.

I figur 5 vises nitratindholdet i de enkelte jordlag. I pløjelaget 0—20 cm gav salpetertilførsel en kraftig stigning. Sidst i april satte en kraftig nitrifikation ind, og maksimumindholdet 28,5 mg pr. kg jord nåedes midt i juni. Fra først i juli til midt i august aftog nitratindholdet voldsomt fra 27 mg til 0,6 mg pr. kg jord. Samtidig med dette voldsomme fald aftog nitratindholdet i 20—40 cm laget fra maksimum på 19 mg den 1. juli til 6 mg. Der må i dette tidsrum være foregået en kraftig nedvaskning af nitrat samtidig med, at den voksende dækafgrøde har haft storforbrug, og måske foregik der også en denitrifikation. I samme periode, d. v. s. fra 1. juli til 15. august steg nitratindholdet i laget fra 40—60 cm med godt 8 mg nitrat-N pr. kg jord.

Også i denne prøveflade kan udvaskningen af nitrat følges

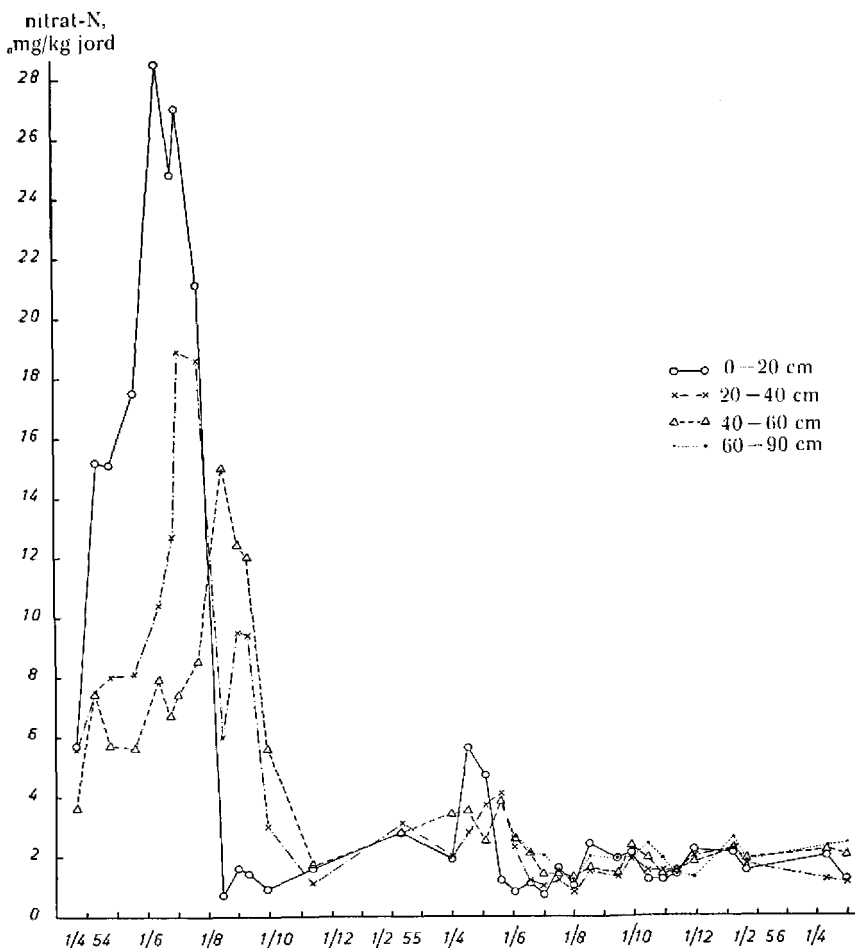


Fig. 5. Renholdt jord + sneglebælg. Nitratindhold i forskellige dybder. 300 kg kalksalpeter pr. ha tilført 25/3 1954. Den nye dækafgrøde sået 28/6 1954. (Clean cultivation + cover crops (medicago lupulina). Nitrate content in different layers. Cover crop turned in autumn 1953. 300 kgs. nitrate of lime per hectare applicated march 25, 1954. New cover crop sown June 28, 1954. Not turned in autumn 1954. Due to poor growth of the medicago lupulina the plot was moved to a place with better growth November 11, 1954).

ved den trinvis indstilling af maksimumindhold i de forskellige jordlag; men den voksende afgrøde gør, at billedet er noget anderledes end for den renholdte jord, og forskellen er især udpræget for jordlaget 20—40 cm.

Fra midten af november var nitratindholdet ret ens i de tre jordlag. I april 1955 foregik en tydelig nitrifikation i øverste jordlag, men da sneglebælgen igen voksede til, aftog nitratindholdet atter, og fra midten af juni og undersøgelsesperioden ud var der ikke større forskel på nitratindholdet i de fire jordlag.

KVÆLSTOFGØDNINGENS VIRKNING PÅ JORDENS NITRATINDHOLD, PLANTAGE B

To prøveflader blev her lagt i et kvælstofforsøg med æbletræer. Træerne var plantet i 1926 og stod nu med en afstand af 10 meter mellem rækkerne og 8 m mellem træerne. Sorten var Cox's Orange på grundstammen MV. Fladerne blev lagt mellem rækkerne i 2 meters afstand fra stammerne, de var 72 kvadratmeter store. I hver flade blev taget 15 stik. De to flader var grundgødet ens med kalium og superfosfat, men fik forskellig kvælstofgødskning. Kvælstofforsøget havde løbet siden 1939. Fladerne var følgende:

- a. uden kvælstofgødskning.
- b. 600 kg kalksalpeter pr. hektar.

Kvælstofgødning blev i 1955 tilført den 25. marts.

Jordbehandlingen havde gennem årene bestået i renholdelse til midsommer, isåning af spergel og nedpløjning af denne dækafgrøde om efteråret; men i 1954 var dækafgrøden italiensk rajgræs, som voksede meget kraftigt til i den kvælstofgødede flade, men mere moderat i fladen uden kvælstofgødskning.

I 1955 blev jorden renholdt til 11. juli, hvor der igen såedes italiensk rajgræs. På grund af tørken var spiringen meget langsom, og først langt hen i september måned var der nogen vækst af betydning.

De almindelige jordbundsanalyser var følgende:

	Prøveflade a			Prøveflade b		
	Rt	T _K	Ft	Rt	T _K	Ft
0—20 cm	6.6	18	7	6.5	15	8
20—40 «	7.6	6	5	7.6	5	7
40—60 «	8.1	3	7	8.3	3	9
60—90 «	8.2	3	10	8.3	3	6

Resultater

I figur 6 gengives de to prøvefladers nitratindhold ned til en dybde af 90 cm.

I fladen uden kvælstofgødning var nitratindholdet i begyndelsen af maj 1955 knapt 25 kg pr. ha, derefter steg det i sommerens løb og nåede maksimum den 15. august med godt 75 kg. Derefter aftog indholdet hele efteråret igennem og var lavest den 20. januar 1956.

I den kvælstofgødede flade var nitratindholdet højt ved undersøgelsens begyndelse, og forskellen mellem de to flader svarede til 550 kg kalksalpeter. I maj foregik en meget kraftig nitrifikation, og nitratindholdet nåede et foreløbigt maksimum den 2. juni med 206 kg nitrat-N pr. ha. I de følgende to måneder aftog nitratindholdet derefter med 57 kg nitrat-N pr. hektar. Til forklaring af dette tab er der følgende tre muligheder: udvaskning, træernes forbrug og denitrifikation.

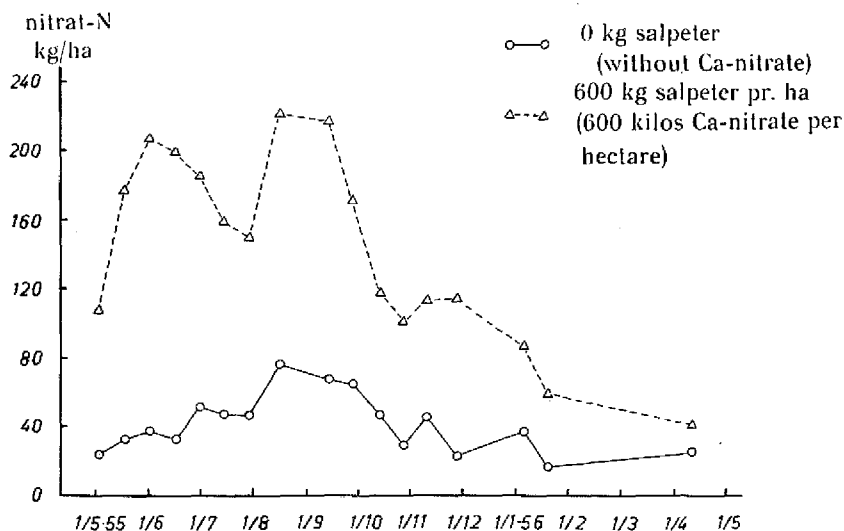


Fig. 6. Virkning af salpetergødskning på jordens nitratindhold til 90 cm dybde. Dækafgrøde (italiensk rajgræs) sået 11/7 1955.

(The influence of ca-nitrate application on the nitrate content in soil measured to a depth of 90 cm. Cover crops (italian ryegrass) sown on July 11, but not growing before medio september owing to dry weather condition).

nitrat-N
mg/kg jord

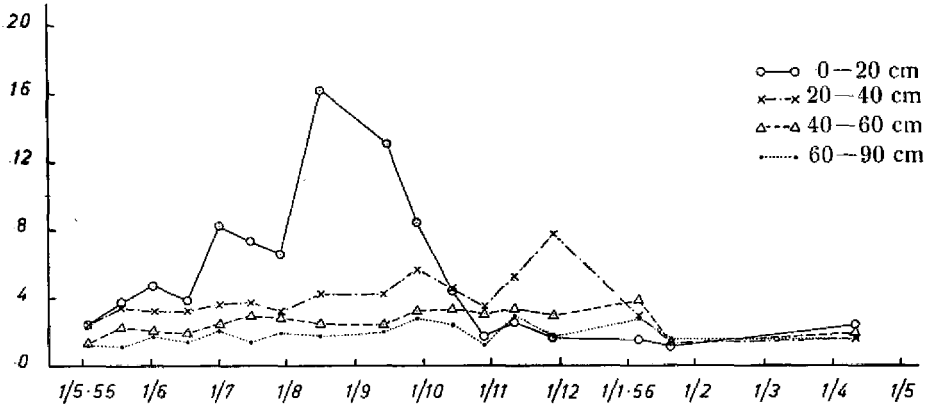


Fig. 7. Prøvefladen uden salpetertilskud, afd. B. a. Nitratindhold i forskellig dybde.

(Plot without application of nitrate. Nitrate content in different layers).

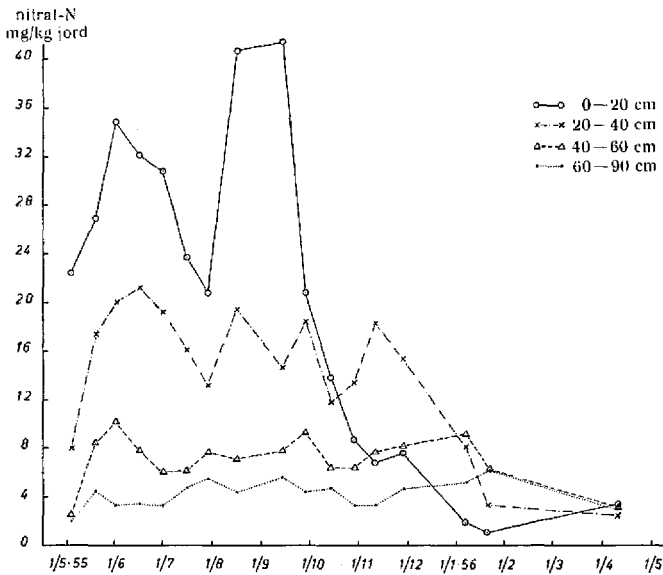


Fig. 8. Prøveflade tilført 600 kg salpeter pr. hektar årligt, afd. B. a. Nitratindhold i forskellig dybde.

(The plot with application of 600 kgs. nitrate of lime per hectare. Nitrate content in different layers).

I naboprøvefladen var nitratindholdet i samme periode svagt stigende, og da man må antage, at træernes forbrug af nitrat og udvaskningen må have gjort sig lige stærkt gældende i begge prøveflader, ledes man til den mulighed, at tabet skyldes denitrifikation. Det konstaterede tab svarer til 370 kg kalksalpeter pr. hektar.

Omkring 1. august var der atter en kraftig nitrifikation, og nitratindholdet steg til maksimum for året med 220 kg nitrat-N pr. hektar. I løbet af september og oktober faldt nitratindholdet meget stærkt, formentlig som følge af en ikke ubetydelig græsvækst, men muligheden for en samtidig denitrifikation og udvaskning står åben.

Selv om nitratindholdet i vinterens løb stadig aftog meget, lå det i begyndelsen af april 1956 15 kg pr. hektar over den ugødede flade. I fig. 7 og 8 vises nitratindholdet i de enkelte jordlag for de to prøveflader. Det vil ses, at nitratindholdet fra slutningen af oktober ikke længere er højest i øverste jordlag, og udvaskningens forløb ytrer sig også her ved den trinvise, forsinkede indstilling af maksimumindholdet i de forskellige jordlag.

DISKUSSION OG OVERSIGT

Undersøgelser, som de her foretagne, kan naturligvis ikke sige noget om, hvor stor, den totale nitratproduktion i jorden er, fordi der ikke er ført regnskab med, hvor meget der fjernes med afgrødernes forbrug og med drænvandet, men de kan give et godt indtryk af variationerne i jordens nettoindhold af nitrat, og hvorledes det påvirkes af en række faktorer.

Temperaturens indflydelse

Nitratdannelsen i jorden er meget afhængig af temperaturen, under 4° og over 40° foregår den meget langsomt, optimum skulle ligge ved 30° (*Russell* 1950). Ved at sammenligne kurven for nitratindhold og kurven for temperaturen målt i 10 cm dybde (fig. 9), finder man da også en udpræget parallellitet mellem de to kurver. Nogen absolut korrelation kan der dog ikke være tale om, da jordens nitratindhold også er bestemt af andre faktorer end nitratproduktionen.

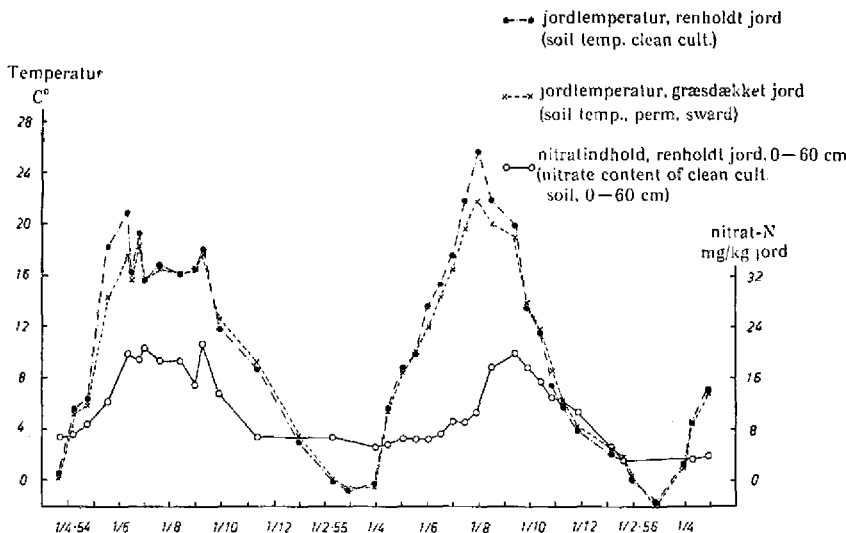


Fig. 9. Middeltemperatur i 10 cm dybde, og nitratindhold i renholdt jord (0—60 cm).

(Average soil temperatures in a depth of 10 cm, and nitrate content of clean cultivated soil (0—60 cm). The temperatures are average of three daily measurements in the period between two sampling dates).

Vandindholdets indflydelse

Et vist vandindhold i jorden er nødvendigt for den bakterielle virksomhed og dermed for nitrifikationen, men, som det er vist i fig. 10, er nitratindholdet i øverste jordlag gennemgående højest, når vandindholdet er mindst. Det aktuelle nitratindhold synes således nok så meget at være bestemt af i hvor høj grad, jorden gennemstrømmes af nedbør.

Nitratproduktionens størrelse

Som før nævnt kan den absolutte nitratproduktion ikke bestemmes i dette forsøg, men der kan fås et mål for minimumsproduktionen, idet enhver stigning i nitratindhold må skyldes produktion, der ses her væk fra en eventuel øgning af nitratindhold gennem kapillær vandhævning fra undergrunden. I afdeling A. prøveflade 1 — renholdt jord — var minimumsproduktionen i

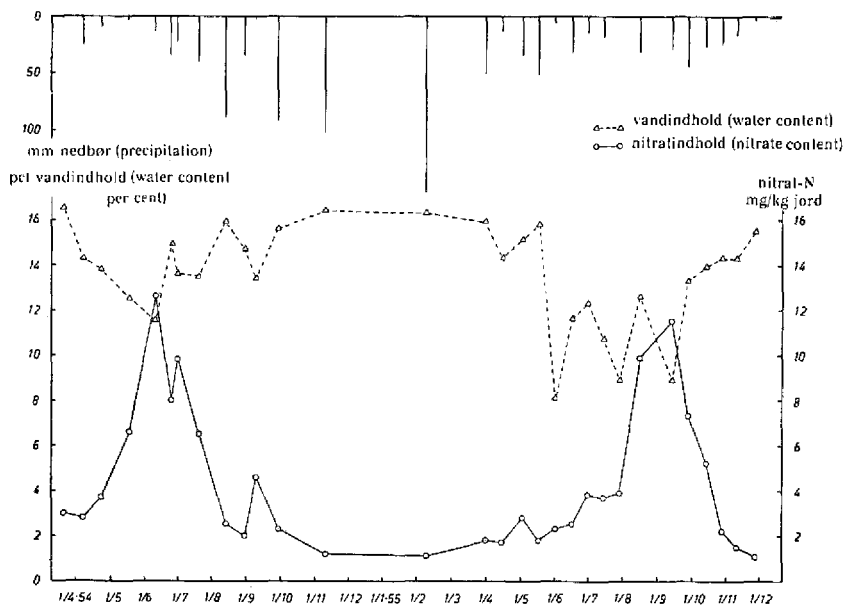


Fig. 10. Jordens vandindhold i procent, og nitratindhold i renholdt jord i 0—20 cm dybde. Foroven på figuren er vist den samlede nedbørsmængde i perioden fra eet udtagningstidspunkt til det foregående.

(Nitrate content and percentage of water in clean cultivated soil 0—20 cm. On the top of the figure is shown the amount of precipitation measured between a sampling day and the preceding).

1954 63 kg og i 1955 48 kg nitrat-N pr. hektar. I afdeling B. a — fladen uden kvælstofgødning — nåede nitratproduktionen op på ialt 78 kg nitrat-N i 1955, dette er en bemærkelsesværdig mængde i betragtning af, at fladen ingen kvælstofgødning havde fået i 16 år. Omregnet til kg kalksalpeter svarer nitratproduktionen til henholdsvis 400 og 300 kg kalksalpeter i afdeling A, og til 500 kg i afdeling B. a.

De frigjorte mængder nitratkvælstof er betydeligt større end de mængder, der efter hidtidige undersøgelser kan forventes tilført med regnvand og ved ikke symbiotisk kvælstofbinding, og det er sandsynligt, at en væsentlig del af det frigjorte nitratkvælstof stammer fra mineralisering af jordens beholdning af organisk bundet kvælstof og medfører en formindskelse af denne, d. v. s. rovdrift.

Hvorvidt der i frugtplantager med renholdt jord + dækafgrøde faktisk sker rovdrift, kan dog kun afgøres med sikkerhed ved undersøgelser gennem en årrække.

Ompløjning af en dækafgrøde om efteråret kan allerede tidligt om foråret medføre et større nitratindhold end i jord, der blot har været renholdt. I løbet af foråret og forsommeren vil mineraliseringen af det organiske bundne kvælstof sætte voldsomt ind. I 1954 frigjorde den ompløjede sneglebælg en nitratmængde på 87 kg nitrat-N pr. hektar. I afdeling B. b — den kvælstofgødede flade — frigjordes en nitratmængde på 184 kg nitrat-N pr. hektar.

Mængden af og kvælstofindholdet i en dækafgrøde til ompløjning er således meget afgørende for den nitratmængde, der dannes i jorden det følgende år.

Etablering af en dækafgrøde og nedpløjning af denne om efteråret er således bl. a. en metode til konservering af nitrat fra det ene år til det andet, hvorved urimelige kvælstoftab ved udvaskning undgås.

Årsvariation og dybdevariation

Det er bemærkelsesværdigt, at alle prøvefladerne udvaskes ned på et lavt og stort set ensartet nitratniveau på mellem 15—40 kg nitrat-N pr. hektar i løbet af vinteren, og at nitratindholdet i vinterens løb bliver ensartet i alle jordlagene, uanset hvor højt nitratindholdet har været i sommerens løb. Det skal dog ikke nægtes, at selv om det absolutte nitratindhold er lavt, kan det ikke udelukkes, at forskelle i nitratindhold af størrelsesordenen 20—40 kg kan være udslagsgivende for æbletræernes kvælstoforsyning.

I renholdt jord øges det totale nitratindhold i den undersøgte jordmasse sommeren igennem og er størst et stykke ind i september måned. I modsætning hertil er nitratindholdet i vedvarende bevokset jord størst i april—maj måned.

I renholdt jord nås det største indhold i pløjelaget 0—20 cm een til to måneder tidligere end i de dybere lag. Hvis jordlaget 20—60 cm betragtes som træernes vigtigste rodzone, viser det sig, at træerne havde den bedste nitratforsyning midt i september 1954 og midt i november 1955.

I jord, der dækkes af vedvarende plantevækst, er nitratindholdet ret ensartet i hele den undersøgte jorddybde.

Det synes tydeligt, at nitrifikationen foregår i øverste jordlag, og det er også i dette jordlag, de store variationer i nitratindholdet forekommer. Nitratindholdet i de dybere jordlag er afhængig af nitrattilførsel fra oven, og udsvingene i nitratindholdet er mere dæmpede jo dybere, lagene ligger.

Planternes indflydelse på jordens nitratindhold

Prøvefladerne var ens stillede med hensyn til trævækst, og der er ikke mulighed for at undersøge, hvorledes trævæksten har påvirket fladernes nitratindhold; men det kan måske påpeges, at man i kurvernes forløb forgæves leder efter udsving, der kan tydes som virkning af træernes nitratforbrug.

Så meget desto tydeligere var dækafgrødernes indflydelse på jordens nitratindhold.

Med vedvarende græsdekke eller sneglebælg var nitratindholdet lavt gennem hele vækstsæsonen, nogen ophobning af nitrat som i renholdt jord forekom ikke. Af figur 3, 4 og 5 vil det fremgå, at hovedårsagen hertil må søges i, at nitratindholdet i de øverste 0—20 cm gennem hele vækstsæsonen holder sig lavt. Der kan være flere årsager hertil.

1. Afgrøden forbruger nitrat så hurtigt, som dette dannes.

2. Nettomineraliseringen er — på grund af stadig tilførsel af energirigt materiale fra dækafgrøden — nul eller lav. Kvælstoffet vil i så tilfælde holde sig svævende i kredsløbet i mikrobiel bundet tilstand.

3. Afgrøden kan undertrykke selve nitrifikationsprocessen. Såfremt dette skulle være eneste årsag, måtte der i stedet for ophobning af nitrat foregå en ophobning af ammoniak. Dette synes ifølge *Richardson* (1936) ikke at være almindeligt forekommende.

4. Afgrøden kan forårsage, at der sker en denitrifikation af det dannede nitrat. Denne mulighed skulle især kunne tænkes at være realiseret umiddelbart ved rødderne, hvor der udskilles organisk stof og forbruges ilt (*Russell* 1950). Iøvrigt skal nævnes den mulighed, som er påpeget af *Wilson* (1943), at der i planterne eller fortrinsvis i guttationsvandet, som udskilles fra planterne, kan ske tab af N_2O eller N_2 ved reaktion mellem nitrit og amino-

syre eller ammoniak. Hvilken af de nævnte muligheder, der er ansvarlige for det lave indhold i prøvefladerne med vedvarende plantedække, enten alene eller i samvirke med de andre muligheder, kan dog ikke afgøres af de her foreliggende undersøgelser.

Denitrifikation

Der er intet i vejen for, at de to processer, nitrifikation og denitrifikation, kan foregå samtidig i en jord, blot de er forskelligt lokaliseret. Almindeligvis er det ikke muligt i undersøgelser af den her gennemførte art at skille de to ting, fordi det nitratindehold, man måler i jorden, bl. a. er resultatet af de to modsat rettede processers virksomhed; men forsøgsbetingelserne har i denne undersøgelse været således, at det i prøvefladen afdeling B. b konstaterede tab på 57 kg nitrat-N pr. hektar (s. 15) ikke synes at kunne forklares på anden måde, end at der er sket et kvælstoftab forårsaget ved denitrifikation.

De betingelser, hvorunder der i lysimeterforsøg især er sket tab af kvælstof, nemlig et stort indhold af letomsætteligt materiale og nitrat, *Bizzell* (1944), *Chapman, Liebig og Rayner* (1949), er da også realiseret i denne prøveflade.

Jordens nitratindehold og træernes vækst

I afdeling B. er prøvefladerne lagt i et kvælstofforsøg, som havde løbet i 16 år. I disse år var der intet udbyttømæssigt udslag for kvælstoftilførsel, selv om denne nok gav sig til kende i en mørkere løvfarve og en svagere farvet frugt. Hvis prøvefladernes nitratindehold dette ene år forudsættes at være repræsentativ for hele forsøgsperioden, må det siges, at æbletræerne kan klare sig med et forholdsvis lavt nitratindehold i jorden.

I afdeling A. er prøvefladerne ikke således placeret, at der kan udledes nogen sammenhæng mellem jordens nitratindehold og træernes trivsel. Ved sammenligning med andre forsøg på forsøgsstationen, hvor æbletræer står under samme forhold i vedvarende græs uden kvælstoftilførsel, viser det sig dog, at træerne har meget stærk kvælstofhunger og nærmest misvækst, samtidig med at nitratindeholdet i jorden er meget lavt og af samme størrelsesorden som i prøvefladerne med vedvarende græsvækst.

Der kan derfor være begrundet formodning om, at med så lavt et nitratindhold som i græsprøvefladerne vil æbletræer blive underforsynet med nitrat.

For vedvarende sneglebælg foreligger der intet sammenligningsmateriale; men den kendsgerning, at nitratindholdet i denne prøveflade nok ligger lavt, men dog umiskendeligt højere end i græsprøvefladen, er dog af betydelig interesse.

Den praktiske anvendelse af nitratanalyser

Det fremgår af de her foretagne undersøgelser, at jordens nitratindhold kan variere meget med jorddybden, årstiden, jordbehandling og gødskning. En forudsætning for nitratanalysens anvendelighed til gødskningsvejledning må derfor være kendskab til følgende forhold:

1. Fra hvilken dybde i jorden træerne kan optage nitrat.
2. Træernes behov for nitratoptagelse til forskellige årstider.
3. Hvor stort jordens nitratindhold skal være, for at træerne kan dække det i punkt 2 nævnte behov.

Punkterne 1 og 2 vil være afgørende for hvor dybt og hvor ofte, jordprøverne skal udtages. Da ingen af de nævnte forhold kan siges at være tilnærmelsesvis klarlagt, må nitratanalyser foreløbigt betragtes først og fremmest som et værdifuldt hjælpemiddel i gødningsforsøg.

SUMMARY

Soil-nitrate investigations in orchards

During two years, estimations of nitrate content in soil were performed at the state experimental station Blangstedgaard by means of the xylenol method devised by Blom & Treschow (1929). The soils were investigated to a depth of 60 cm in 1954 and to a depth of 90 cm in 1955.

Fig. 1 illustrates the nitrate content of soil in an orchard submitted to different soil treatment.

In clean cultivated soil the nitrate content reached a maximum of 60 kilograms nitrate-N per hectare in the middle of september both years and a minimum between 10—20 kg nitrate-N per hectare at the end of the winters.

In permanent sward (6 years old) a dressing of nitrate of lime at the beginning of the experiment raised the nitrate content of the soil, but generally the nitrate content was very low in the soil covered with permanent sward.

In a plot with new grass (sown June 11 on the first year) the nitrate content decreased rapidly as the grass grew and was afterward of the same order as the plot with permanent sward.

In clean cultivated soil + cover crop of *Medicago lupulina* the nitrate content raised to a considerable amount in the beginning of June the first year, but then decreased rapidly as the new cover crop grew. The next year the cover crop was not turned in, and apart from a slight liberation of nitrate in the beginning of April the nitrate content was steady on a low level this year.

The nitrate content in the different layers of the soil profile is illustrated for each soil management in figs. 2—5.

In another orchard the nitrate content of the soil in a fertilizer experiment with 600 kilogram nitrate of lime per hectare and with no nitrogen application during sixteen years was followed for one year. The soil management in this experiment was clean cultivation + cover crop. The results are illustrated in fig. 6—8. The nitrate content raised rapidly in May, due to mineralisation of the autumn ploughed in organic nitrogen in the cover crop, which was Italian ryegrass. This raising was, however, followed by a decrease in the following two months, which must be attributed to a denitrification, and amounted to a loss of at least 55 kilograms nitrate-nitrogen per hectare.

In the plot without nitrogen-application a maximum content of 75 kilograms nitrate-N hectare was reached in the middle of August.

During the sixteen years of fertilizer experiment the trees have not responded with a higher yield to the nitrogen-applications (variety was Cox's Orange on M. V).

A correlation between soil temperatures measured in a depth of 10 cm and nitrate content in the soil is illustrated in fig. 9.

The highest nitrate contents in the uppermost layer of soil were associated with the lowest water contents (fig. 10).

The minimum nitrate production was deducted from the curves in fig. 1 and 6, as every raising of the curves would mean a nitrate production. The following figures were calculated:

kgs nitrate-N per hectare and year	
clean cultivated soil (mean of two years)	56
clean cultivated soil + cover crop (<i>Medicago lupulina</i>)	87
» » » + » » (<i>italian ryegrass</i>) ..	78
» » » + » » + 600 kgs nitrate of	
lime per hectare	184

For the practical application of soil nitrate determinations in orchards it would be of importance to obtain information on the following points:

1. To what depths of soil the trees can utilize nitrate,
2. at what seasons nitrate uptake occurs, and
3. what level of soil nitrate content is required in order to provide the trees with the necessary amount of nitrogen.

LITTERATUR

- Arnold, P. W.*: Losses of nitrous oxide from soil. *Journ. Soil Sci.* vol. 5 pp 116—128, 1954.
- Bizzell, J. A.*: Lysimeter experiments VI. The effect of cropping and fertilization on the losses of Nitrogen from the soil. *N. Y. Agr. Expt. Sta. Mem.* 256 pp 1—14, 1944.
- Blom, J. & C. Treschow*: Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung kleinster Mengen von Nitraten in Böden und Pflanzen. *Zeit. Pflern. Düng. Bod.* bd. A XIII s. 159—190, 1929.
- Bornebusch, C. H.*: Skovbundsstudier I—IX. Kbhvn. 1925.
- Chapman, H. D., G. F. Liebig & D. S. Rayner*: A lysimeter investigation of nitrogen gains and losses under various systems of covercropping and fertilization, and discussion of error sources. *Hilgardia* vol. 19, pp. 57—128, 1949.
- Hansen, Frode*: Om Bestemmelse af Nitratkvælstof i Regnvand, Drænvand og Jord. 193 b. *St. F. Plk., T. f. Pl.*, bd. 32, s. 69—120, 1926.
- Hansen, Frode*: Undersøgelser over Kvælstofomsætningen i Agerjord. 220 b. *St. F. Plk., T. f. Pl.* bd. 34, s. 741—777, 1928.
- Hansen, Frode*: Undersøgelser over Kvælstofomsætningen i Agerjord II. 230 b. *St. F. Plk., T. f. Pl.* bd. 35, s. 713—753, 1929.
- Jansson, S. L.*: Kvævetts lilla Kretslopp. Växtnäringsnytt, h. 9, s. 16—20, 1952.
- Jansson, S. L.* Om det organiske markkvævetts oppbygning och nedbrytning. *Beretr. N. J. F.'s 10. kongres. Nordisk Jordbrugsforskning*, årg. 38, s. 245—56, 1956.
- Nömmik, H.*: Investigations on denitrification in soil. *Act. Agr. Scand.* vol. VI, pp 195—228, 1956.
- Olsen, Carsten*: Studier over Jordbundens Brintionkoncentration, Kbh. 1921.
- Richardson, H. L.*: The nitrogen cycle in grassland soils. *Journ. Agric. Sci.* vol. 28, pp 73—121, 1938.
- Russell, E. W.*: Soil conditions and plant growth. 8 ed., pp 286—325, Oxford 1950.
- Treschow, C. & E. K. Gabrielsen*: Bestimmung von Nitrat in Böden und Pflanzen. *Zeit. Pflern. Düng. Bod.* bd. A 32, s. 357—376, 1933.
- Wijler, J. & C. C. Delwiche*: Investigations on the denitrifying process in soil. *Plant and Soil*, vol. V, pp 155—169, 1954.
- Wilson, J. K.*: Nitrous acid and the loss of nitrogen. *Cornell Univ. Agric. Expt. Sta. Memoir* 253, 1943.