

Studier over jordens fosforsyreindhold.

V. En ny fremgangsmåde ved undersøgelsen af jordens fosforsyreindhold.

Ved K. A. Bondorff.

426. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Nærværende beretning omhandler undersøgelser, udført ved Statens Planteavlslaboratorium som led i de undersøgelser over jordens indhold af plantenæringsstoffer og disses opløselighedsforhold, der stadig udføres ved laboratoriet.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Den metode til bestemmelse af jordens indhold af »tilgængelig« fosforsyre, som Statens Planteavlslaboratorium har anvendt siden 1932, går som bekendt ud på at bestemme, hvor megen fosforsyre, der går i opløsning, når jorden ekstraheres med fortyndet salpetersyre. Analyseresultatet, fosforsyretallet Ft, angiver den mængde fosforsyre, udtrykt i mg PO₄, der går i opløsning, når 40 g jord rystes 3 timer ved 20° C med salpetersyre af en sådan styrke, at opløsningens pH efter endt rystning er 2,5.

En enhed af fosforsyretallet er, udtrykt på anden måde:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ft} &= 1 \text{ mg PO}_4/40 \text{ g jord} \\ &= 18,68 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{kg jord} \\ &= 46,7 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha (2500 t jord)}. \end{aligned}$$

Skønt fosforsyretallet hviler på rent empirisk basis og der ikke kan anføres nogen teoretisk motivering for, at jorden netop skal ekstraheres på den valgte måde for at afgive den »tilgængelige« fosforsyre, har sammenligning mellem fosforsyretal og resultaterne af markforsøg vist, at fosforsyretal og superfosfatvirkning er stærkt korreleret. Den størrelsesorden, man finder for fosforsyretallet, kan også i nogen grad støtte formodningen om, at fosforsyretallet nogenlunde angiver den fosforsyremængde, planterne kan udnytte. Gennemsnitligt finder man i danske jorder et fos-

forsyretal på ca. 6, modsvarende ca. 280 kg P_2O_5 pr. ha, og da vore almindelige kulturplanter efter erfaringer fra markforsøg kun optager omkring 10 pct. af fosforsyre, tilført som superfosfat, må et indhold af »tilgængelig« fosforsyre på 280 kg P_2O_5 siges at være af en rimelig størrelsesorden.

Imidlertid har sammenligningen mellem fosforsyretal og superfosfatvirkning også vist, at i en række tilfælde er overensstemmelsen dårlig, og det er naturligt, at opmærksomheden fortrinsvis har samlet sig om disse tilfælde, skønt deres antal er forholdsvis lille.

Det skal ikke her nærmere diskuteres, hvorfor fosforsyretal og superfosfatvirkning ikke kan forventes at stemme overens i alle tilfælde. Der vil i en senere beretning være anledning til at komme nærmere ind på dette meget komplicerede spørgsmål. Ej heller skal det omtales nærmere, at en funden uoverensstemmelse mellem forsøgsresultat og fosforsyretal *kan* skyldes forsøgsresultatet og ikke fosforsyretallet. Det vil her være tilstrækkeligt at anføre, at der utvivlsomt forekommer »korrelationsbrydere« og at erfaringerne efterhånden har vist, at disse navnlig findes blandt to jordtyper, nemlig lerjorder med højt reaktionstal, hvor fosforsyretallet overvurderer jordens indhold af »tilgængelig« fosforsyre, og okkerholdige humusjorder, hvor fosforsyretallet undervurderer jordens evne til at kunne afgive fosforsyre.

Der har gennem årene til stadighed været arbejdet med at finde andre analysemetoder, hvis resultat stemte bedre med forsøgsresultaterne end fosforsyretallet. Man har dels prøvet metoder, foreslået fra anden side, således bl. a. den svenske laktatmetode, og Hedeselskabets zeolithmetode, dels søgt selv at udarbejde andre og bedre metoder. Resultaterne af en del af dette arbejde foreligger i den på N. J. F.'s kongres i Oslo i 1947 afgivne foreløbige beretning fra foreningens udvalg for jordbundsanalyser (1). Den endelige beretning om arbejdet vil foreligge ved kongressen 1950.

Af de fremgangsmåder, der i årenes løb er blevet prøvet, har hidtil kun een frembudt interesse, en metode, der i det efterfølgende for kortheds skyld skal benævnes svovlsyremetoden.

En nærmere redegørelse for de undersøgelser, der førte til denne metode, vil blive givet i en senere beretning, omhandlende

en række teoretiske spørgsmål vedrørende jordens fosforsyreindhold, og kun selve metoden skal her omtales.

Fremgangsmåden er følgende: 10 g tørret og sigtet (2 mm) jord rystes i 2 timer med 250 ml 0,2 normal svovlsyre i en 300 ml erlenmeyerkolbe. Der filtreres. Af filtratet afpipetteres 20 ml i en 100 ml målekolbe. Der tilsættes 10 ml ammoniummolybdatopløsning og efter 5 minutters forløb 5 ml metolopløsning. Kolben henstår derpå 10 minutter, hvorefter der fyldes op til mærket med destilleret vand. Efter yderligere 10 minutters henstand kolorimetreres opløsningen.

De anvendte opløsninger har følgende sammensætning:

Ammoniummolybdatopløsningen: 25 g ammoniummolybdat opløst i 1 liter 4 n svovlsyre.

Metolopløsningen: 100 g vandfrit natriumsulfit, 20 g natriumbisulfit og 4 g metol opløst i 1 l destilleret vand.

Den kolorimetriske bestemmelse foretages ved sammenligning med prøver af kendt fosforsyreindhold.

Der fremstilles en række standardopløsninger ved opløsning af varierede mængder primært kaliumfosfat efter Sørensen i 0,2 n svovlsyre. Af disse standarder afpipetteres 20 ml, der behandles på samme måde som jordekstrakterne.

På laboratoriet foretages den kolorimetriske bestemmelse ved hjælp af et specielt konstrueret fotoelektrisk kolorimeter, der kan tilsluttes lysnettet. Der anvendes en cæsiumfotocelle og rødfilter med optimal transmittance ved 700 m μ .

Jordekstrakterne er ofte stærkt gulfarvede og man får da i stedet for rent blå, grønlig, i ekstreme tilfælde næsten heit grønne, opløsninger. Ved benyttelse af cæsiumcelle og rødfilter spiller dette forhold ingen rolle, idet man da kun måler farvens blå komponent og undgår at skulle foretage en affarvning, som dels kræver tid og arbejde, men navnlig kan medføre en ret betydelig fejl, idet en fjernelse af gulfarvningen gennem iltningsmidler kan ilte organiske fosforforbindelser og derved bevirke, at man finder et højere fosforsyreindhold end der svarer til jordens indhold af fosfater, som man alene ønsker at bestemme.

Analyseresultatet angives som mg PO₄ pr. liter jordekstrakt, hvilket jo svarer til mg PO₄ pr. 40 g jord og skal foreløbig benævnes svovlsyretallet, St, for at adskille det fra det gamle fosforsyretal, Ft.

For at sammenligne svovlsyretallet med fosforsyretallet, analyseredes godt 4000 jordprøver efter begge metoder. Jordprøverne var dels ca. 800 prøver fra forsøg med superfosfat, dels stikprøver af de til fosforsyreundersøgelser indsendte jorder, idet gennem nogen tid hver 10. prøve analyseredes efter begge metoder. Denne sidste undersøgelse udførtes både i Lyngby og i Vejle, medens forsøgsprøverne alle analyseredes i Lyngby.

En nærmere betragtning af det fremkomne talmateriale viste nu for det første, at svovlsyretallene var større end fosforsyretallene, rundt regnet 4 gange så store. Men dernæst, at der var et meget udpræget sammenhæng mellem fosforsyretal og svovlsyretal. Regressionskurven var imidlertid ikke retlinet, idet der til høje fosforsyretal svarede *relativt* lave svovlsyretal, et forhold, man ud fra rent teoretiske overvejelser vel også måtte vente.

Der beregnedes for det foreliggende talmateriale 3 regressionsligninger (2. grads polynomier), idet materialet deltes i I forsøgsprøverne (766), II stikprøverne fra Lyngby (760) og III stikprøver fra Vejle (1884), medens man så bort fra en del af Vejlematerialet, der måske ikke kunne betragtes som et tilfældigt udvalg, idet jordprøver fra nogle enkelte store ejendomme kunne siges at dominere dette materiale.

Regressionsligningerne fandtes til

$$\text{I Ft} = 1,3 + 0,03905 \text{ St} + 0,006073 \text{ St}^2$$

$$\text{II Ft} = 0,77 + 0,08099 \text{ St} + 0,007257 \text{ St}^2$$

$$\text{III Ft} = 1,1 + 0,03263 \text{ St} + 0,006906 \text{ St}^2$$

Nedenfor er anført de fosforsyretal, der efter disse ligninger svarer til et fundet svovlsyretal.

St	Ft (Pv)			Ny Ft
	I	II	III	
0	1.3	0.8	1.1	0
1	1.3	0.9	1.1	0.3
5	1.6	1.4	1.4	1.2
10	2.3	2.3	2.1	2.3
15	3.3	3.6	3.1	3.5
20	4.5	5.3	4.5	4.7
25	6.1	7.3	6.2	5.8
30	7.9	9.7	8.3	7.0
35	10.1	12.5	10.7	8.2

Mellem de — efter foranstående ligninger — beregnede fosforsyretal og de analytisk bestemte fosforsyretal var en god overensstemmelse. Det kan således anføres, at for gruppe II (stikprøverne fra Lyngby) fandtes korrelationskoefficienten efter Bravais mellem beregnede og fundne fosforsyretal til + 0,95.

Da svovlsyremetoden rent analytisk var langt lettere end den hidtil anvendte metode, og da undersøgelserne havde vist, at der var et stærkt sammenhæng mellem resultaterne af de to analysemetoder, var det nærliggende at lade svovlsyretallene afløse de gamle fosforsyretal.

Man måtte imidlertid nære betænkelighed ved — til brug i det praktiske vejledningsarbejde — at fremkomme med nogle nye tal, der i størrelse afveg væsentligt fra de siden 1932 indsendte fosforsyretal og man mente det derfor hensigtsmæssigt at foretage en »nedskrivning« af svovlsyretallene, så de blev af samme størrelsesorden som de hidtidige fosforsyretal.

En nedskrivning kunne f. eks. foretages på den måde, at man ved hjælp af en af de forannævnte regressionsligninger — eller en tilsvarende — beregnede det fosforsyretal, der svarede til et fundet svovlsyretal. En sådan nedskrivning foretoges faktisk et stykke tid. De således beregnede fosforsyretal betegnedes — for at adskille dem fra de rigtige, analytisk bestemte fosforsyretal — med Pv, og til de konsulenter, der indsendte jordprøver fra superfosfatforsøg, udsendtes såvel Pv som Ft.

Nærmere overvejelser førte imidlertid til, at nedskrivningen foretoges på anden måde, idet man simpelthen multiplicerede svovlsyretallene med 0,2336 og kaldte det således fremkomne resultat for fosforsyretal.

Når man valgte denne fremgangsmåde, der fører til de i tabelens sidste kolonne anførte værdier, var een årsag, at man ved rutinearbejdet kunne afpasse standardopløsningerne således, at det nye fosforsyretal direkte aflæstes, medens Pv medførte brug af omregningstabeller med deraf følgende risiko for fejl aflæsning. En anden årsag var, at man ved at vælge denne omregningsmåde — og omregningsfaktor — opnåede, at 1 eenhed af de nye fosforsyretal nøjagtigt svarede til 200 kg P_2O_5 pr. ha (2500 t).

Det fundne svovlsyretal er mg PO_4 pr. 40 g jord, således at eenheden for svovlsyretallet svarer til 62,5 kg (opløst) PO_4 eller

46,71 kg P_2O_5 pr. 2500 t. Et svovlsyretal på 4,28 svarer altså til 200 kg P_2O_5 pr. 2500 t. Multipliceres svovlsyretallene nu med $1:4,28 = 0,2336$, fås (de nye) fosforsyretal, hvor eenheden altså svarer til 200 kg P_2O_5 pr. 2500 t (= 1 ha).

Fra 1. juni 1948 er alle rutineanalyser ved Statens Planteavlslaboratorium udført efter svovlsyremetoden og resultaterne fortsat kaldt fosforsyretal. Men der er altså fra den nævnte dato en principiel forskel.

Ved de gamle fosforsyretal svarer 1 eenhed til 46,7 kg P_2O_5 pr. ha, opløselig i salpetersyre ved pH 2,5.

Ved de nye fosforsyretal svarer 1 eenhed til 200 kg P_2O_5 pr. ha, opløselig i 0,2 normal svovlsyre.

Forskellen kommer ikke — eller praktisk ikke — til syne i fosforsyretallenes talværdi og navnlig ikke for »gennemsnitsjorder«. Disse vil nu som før have et fosforsyretal på ca. 6. Meget fosforsyrefattige jorder vil efter svovlsyremetoden have endnu lavere fosforsyretal. Deres fattigdom fremhæves altså stærkere, end salpetersyremetoden gjorde. Meget fosforsyrerige jorder vil derimod efter svovlsyremetoden møde med relativt lave tal. For landbrugsjorder spiller forholdet ikke nogen rolle, men ved havebrugsjorder, navnlig drivhusjorder, der er undersøgt efter begge metoder, kan forskellen mellem de nye og gamle fosforsyretal være ret stor.

Da de nye fosforsyretal er stærkt korrelerede med de gamle fosforsyretal og — i alt fald når det gælder landbrugsjord — er af samme størrelse som disse, er de nye fosforsyretal som vejledning for gødskning så at sige identiske med de gamle.

Kun for 2 grupper af landbrugsjorder kan der siges at være en væsentlig forskel på de gamle og de nye fosforsyretals talværdi.

Stærkt kalkholdige jorder vil kunne neutralisere en væsentlig del af den anvendte svovlsyre, og fosforsyremængden, der går i opløsning, bliver derfor forholdsvis lille. Det nye fosforsyretal vil ofte findes væsentligt lavere end det gamle. Men da de gamle fosforsyretal — i henhold til markforsøgene — synes at overvurdere disse jorder, skulle de nye, lavere tal for så vidt være rigtigere.

Okkerholdige humusjorder undervurderedes af den gamle metode, der kunne give fosforsyretal på 0,1, selv om jorden efter markforsøget ikke var særlig fosforsyretrængende. Svovlsyre-

toden giver for disse jorders vedkommende væsentligt højere fosforsyretal og skulle altså vurdere disse jorder rigtigere. Det kan nævnes, at ved en okkerholdig humusjord fra Rejsby fandtes det gamle fosforsyretal til 0,1, det nye til 8,2. Der er ved (flerårigt) forsøg i græs fundet et merudbytte på 220 f. e. eller 5 pct. for anvendelse af 1000 kg superfosfat. Det er kun okkerholdige humusjorder, hvor de nye fosforsyretal er højere end de gamle. Ved alm. humusjorder synes de nye fosforsyretal snarere lidt lavere end de gamle.

Spørgsmålet om de nye fosforsyretals relation til markforsøgenes resultater skal iøvrigt ikke behandles i nærværende beretning. De nye fosforsyretal er i deres relation til markforsøget ikke principielt forskellige fra de gamle — og empiriske lige som disse. Og i visse henseender kan man måske nære større betænkeligheder overfor de nye tal end overfor de gamle. Man kan sige, at 0,2 normal svovlsyre er langt stærkere syre, end planterne har til rådighed for at kunne påvirke jordens fosfater og den mængde fosforsyre, man får opløst, må være meget mere end den for planterne umiddelbart tilgængelige. En »gennemsnitsjord« med fosforsyretal 6 indeholder 1200 kg P_2O_5 pr. ha, opløselig i 0,2 n. svovlsyre. En kornafgrøde skulle derfor kun optage 2—3 pct. af denne fosforsyremængde, en meget lille udnyttelsesprocent.

De nye fosforsyretal viser — så lidt som de gamle — en fuldstændig overensstemmelse med markforsøgene. En sådan overensstemmelse vil man vel aldrig kunne nå frem til, thi hertil kræves ikke blot den absolut »rigtige« laboratoriemetode, men også absolut rigtige markforsøg. Men hertil kommer, at et ettals udtryk som fosforsyretallet, et udtryk for jordens *indhold* af fosforsyre, ikke kan angive et forhold, der åbenbart også spiller en stor rolle nemlig jordens binding af fosforsyren, et forhold, om hvilket undersøgelserne på Statens Planteavlslaboratorium i øjeblikket er koncentreret. Svovlsyremetoden og de nye fosforsyretal må betragtes som blot en etape på udviklingens vej.

1. K. A. Bondorff: Jordbundsanalyser og markforsøg. Beretning om N. J. F.'s kongres i Oslo 1947, side 749.