

## Anionbytter-resin metoden til ekstraktion af jord-fosfat

*The anion-exchange resin method for soil phosphate extraction*

Erik Sibbesen

*Afdelingen for Planternes Ernæring  
Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole<sup>1)</sup>*

### Resumé

Artiklen beskriver anvendelsen af anionbytter-resiner til ekstraktion af fosfat fra jord. Princippet i metoden ligger nær op ad planterøddernes virkemåde, idet anionbytteren ved rystning i en jord-vand opløsning optager fosfationer og andre anioner fra jordvæsken under afgivelse af bicarbonationer. Der gøres rede for udviklingen af metoden, og der gives en procedure for dens udførelse.

**Nøgleord:** Jord-fosfat, anionbytter-resin.

### Summary

The article deals with the anion-exchange resin method for extraction of phosphate from soil. The principle of the method is close to the function of plant roots, as the resin, when shaken in a soil-water suspension, takes up phosphate ions and other anions from the soil solution in exchange for bicarbonate ions. The method of procedure is given.

**Key words:** Soil phosphate, anion-exchange resin.

### Historie

Udarbejdelsen af kemiske metoder til bestemmelse af jordens indhold af dette eller hint plantenæringsstof har haft jordbundskemikernes interesse i mere end 100 år. I 1845 anvendte *Daubeney* destilleret vand mættet med kulsyre til ekstraktion af plantenæringsstofferne fosfor og kalium. Kulsyre opløser imidlertid kun en ringe del af jordens næringsstofreserve. I 1894 introducerede *Dyer* derfor en stærkere syre til samme formål, citronsyre, der i styrke svarer nær til blandingen af syrer i rodsaften. Siden *Dyers* forslag er en række organiske og uorganiske syrer blevet taget i anvendelse. Her i landet udviklede *Bondorff* og *Steenbjerg* i 1932 salpetersyre-metoden til bestemmelse af jordens fosforsyretil. Metoden afløstes senere af svovlsyre-metoden (*Bondorff*, 1950), der stadigvæk anvendes.

I modsætning til kulsyre opløser disse syrer betydelige mængder fosfat, der er utilgængelig

for planter. *Møller*, der allerede i 1935 påpegede dette, foreslog derfor anvendelsen af kationbyttere til mobilisering af det plantetilgængelige jordfosfat, hvilket resulterede i Hedeselskabets zeolith-metode til bestemmelse af jordens fosfattal (*Møller & Mogensen*, 1951). Ved en kationbytning optager zeolithen calcium og andre fosfatfældende kationer fra jorden under afgivelse af natrium, hvorved fosfat går i opløsning.

Hvis man vil efterligne planternes fosfatoptagelse fra jord, bør man som fremhævet af *Bondorff* og *Damsgård-Sørensen* i 1942 anvende en anionbytter og ikke en kationbytter til udtrækning af anionen fosfat fra jord. På det tidspunkt fandtes der imidlertid ingen egnede syntetisk fremstillede anionbyttere på markedet. Først i begyndelsen af halvtredserne fremkom der en række fabriks-

<sup>1)</sup> Adresse: Thorvaldsensvej 40, 1871 København V.

mæssigt fremstillede anionbyttere, de såkaldte resiner (syntetisk harpiks), der nu i vidt omfang anvendes til afsaltning af vand. Dette førte til, at Amer et al. i 1955 som de første præsenterede anionbytter-metoden til ekstraktion af fosfat fra jord. Inden metoden beskrives nærmere, skal der kort gøres rede for, hvorledes jorden forsyner planterne med fosfat af hensyn til en sammenligning med princippet i anionbytter-metoden.

### Jord som fosfatkilde for planter

Jord er et materiale, der varierer meget i sammensætning og dermed i kemiske og fysiske egenskaber. Fosfatet i jorden findes fordelt på mange forskellige forbindelser i både de organiske og uorganiske jordbestanddele. I jordvæsken findes kun en meget lille del af jordens fosfat, sjældent mere end 0,4 kg P pr. ha i pløjelaget. Planterne kan kun optage fosfat fra jordvæsken, men en almindelig afgrøde optager alligevel mellem 20–40 kg P/ha i løbet af vækstperioden. Dette er kun muligt, fordi jordvæske-fosfatet helt eller delvist erstattes af fosfat fra jordens faste fase, efterhånden som planterne fjerner det fra jordvæsken.

En fuldstændig analyse af en given jords evne til at forsyne planter med fosfat må omfatte følgende fem jordfaktorer:

1. Fosfatkoncentrationen i jordvæsken (intensitetsfaktoren, I).
2. Fosfatmængden, der kan opløses ved fjernelse af fosfat fra jordvæsken (kvantitetsfaktoren, Q).
3. Jordens stødpudeevne med hensyn til at opretholde fosfatkoncentrationen ved fjernelse af fosfat fra jordvæsken (kapacitetsfaktoren, C).
4. Opløselighedshastigheden af fosfatet i den faste fase.
5. Transporthastigheden for fosfatet fra jordpartiklernes overflade til rodoverfladen.

Ingen af de almindelige rutine-metoder, der verden over anvendes til bestemmelse af jordens »plantetilgængelige« fosfat, omfatter alle fem faktorer. Med de fleste metoder bestemmes kun en enkelt faktor oftest kvantitetsfaktoren, og mange af metoderne f.eks. syremetoderne virker tilligemed destruktive på jorden.

### Anionbytter-metoden

Anionbytter-metoden har siden introduktionen i 1955 været genstand for en del opmærksomhed, fordi den i princippet simulerer planterøddernes virkemåde. Metoden praktiseres på følgende måde: En passende blanding af jord, vand og anionbytter på f.eks. chloridform rystes i et givet tidsrum. Under rystningen optager anionbytteren fosfationer og andre anioner fra væskefasen under afgivelse af chloridioner. Hvis anionbytteren er tilsat i tilstrækkelig mængde, holdes en konstant meget lav fosfatkoncentration i væskefasen under rystningen. Fosfatmængden, der optages af anionbytteren i løbet af en vis rystetid, er derfor bestemt af jordens evne til at afgive fosfat til væskefasen, den optagne fosfatmængde er således resultatanten af de første fire af ovennævnte fem jordfaktorer.

Efter rystningen adskilles anionbytteren, der foreligger som små kugler, fra jorden, og fosfatet, der er optaget af anionbytteren fra jorden, frigøres og bestemmes.

Siden metodens fremkomst har den været genstand for en række sammenlignende undersøgelser og har som regel fået en gunstig bedømmelse (Lathwell et al., 1958, Moser et al., 1959, Gunnary & Sutton, 1967, Özbek, 1967, Bache & Rogers, 1970, Walmsley & Cornforth, 1973, og Metwally et al., 1975). Til trods herfor har metoden ikke fået nogen nævneværdig udbredelse; antagelig fordi den rent praktiske udførelse af metoden tidligere var ret omstændelig. Jorden skulle inden analysen finformales af hensyn til bortsiningen af jorden fra anionbytteren efter rystningen, og anionbytteren skulle overføres til en ionbyttersøjle, før det optagne P kunne frigøres ved gennemledning af f.eks. en natriumsulfat-opløsning (Hislop & Cooke, 1968).

Nu praktiseres metoden ved hjælp af en simpel poseteknik (Sibbesen, 1977). Anionbytteren indsys i aflange, tetraederformede polyester-net poser inden placeringen i jordsuspensionen (se fig. 1). Adskillelsen af anionbytteren fra jorden efter rystningen udføres så ved blot at hælde jordsuspensionen ud af flasken og udvaske den resterende jord med deioniseret vand. Posens størrelse forhindrer den i at falde ud af flasken. Fosfatet,

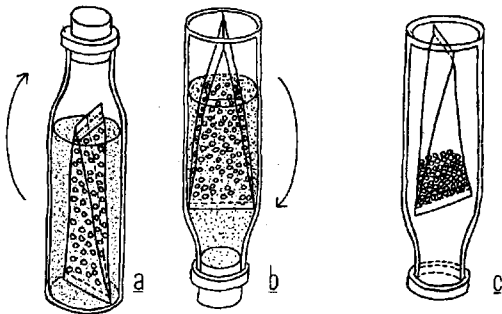


Fig. 1. Ekstraktion af fosfat fra en jord-vand opløsning med en anionbytter indsyet i en polyester-net pose. a. og b. Rystning, c. Anionbytter-posen skyllet fri for jord.

*Extraction of phosphate from a soil-water suspension by use of an anion-exchange resin contained in a polyester-netting bag. a and b. Shaking. c. Bag of resin washed free of soil.*

der er optaget af anionbytteren, frigøres ved til-sætning af fortyndet saltsyre (portionseluering). Frigørelsen er næsten 100 pct, fordi fosfatet ved det lave pH optræder som udissocieret fosforsyre, der ikke kan bindes til anionbytteren. Der bruges kun én flaske til hele proceduren, og den voldsomme formaling af jorden undgås. Poserne med anionbytter kan bruges igen og igen, idet anionbytteren regenereres.

En gennemgang af litteraturen viser, at brugerne af metoden ikke har holdt sig til den oprindelige procedure givet af Amer et al. (1955). Foruden forskellige anionbyttertyper har man anvendt forskellige mængdeforhold mellem jord, vand og anionbytter tillige med varierende rystetid. Metodens påvirkelighed af varierende eksperimentelle betingelser er blevet undersøgt af Amer et al. (1955), Cooke og Hislop (1963) og Sibbesen (1978). Resultaterne af undersøgelserne kan summeres i følgende punkter. Det er forudsat, at anionbytteren er til stede i overskud.

1. Den ekstraherede fosfatmængde stiger med rystetiden. Typiske tids-ekstraktions kurver ses i fig. 2.
2. Den ekstraherede fosfatmængde stiger med temperaturen.
3. For anionbyttere på chloridform varierer den ekstraherede fosfatmængde med den anvendte anionbyttertype. Med stigende jord-vand for-

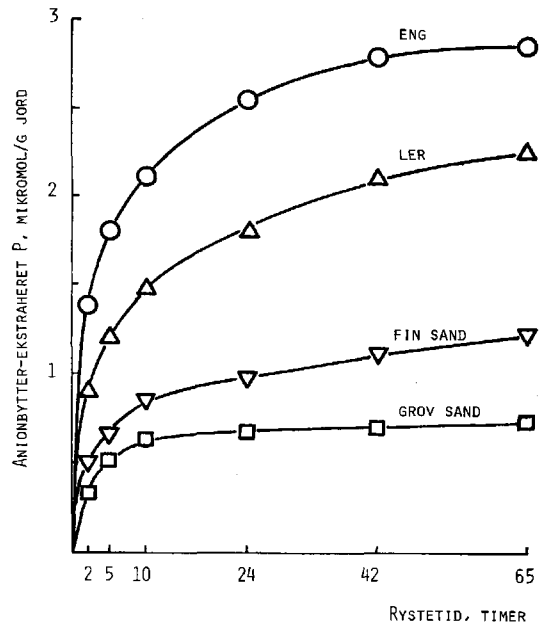


Fig. 2. Fosfat ekstraheret fra fire danske jorde med en anionbytter, Dowex 1×8 på chloridform ved rystning i henholdsvis 2, 5, 10, 24, 42 og 65 timer. Anionbyttermængde: 6,0 meq. Jordmængde: 2,00 g. Vandmængde: 100 ml.

*Phosphate extracted from four Danish soils by an anion-exchange resin, Dowex 1×8 used in the chloride form. Shaking time: 2, 5, 10, 24, 42 and 65 hours. Resin amount: 6.0 meq. Soil amount: 2.00 g. Water amount: 100 ml.*

hold ekstraheres en faldende mængde fosfat pr. jordenhed.

4. For anionbyttere på bicarbonatform er den ekstraherede fosfatmængde næsten uafhængig af såvel den anvendte anionbyttertype som jord-vand forholdet.
5. Det hastighedsbegrænsende trin i transporten af fosfat fra jordfasen gennem vandfasen til resinfasen er fosfatdesorptionen fra jordfasen til vandfasen. Hastigheden af dette trin afhænger af vandfasens kemiske sammensætning, der igen bestemmes af jordtypen, rystetiden og anionbyttrens anionform.

I analysemessig henseende er det en fordel at anvende anionbytteren på bicarbonatformen frem for chloridformen på grund af den førstnævntes stabiliserende virkning på systemet.

Men dertil kommer, at anionbytterens afgivelse af bicarbonationer til jordsuspensionen simulerer planterøddernes afgivelse af bicarbonationer til den omgivende jord.

Metzger (1928) og Riley og Barber (1969) har nemlig vist, at planterne ophober bicarbonat i jorden i rhizosfæren, og Nagarajah et al. (1968) samt Nye (1968) har påpeget, at bicarbonatophobningen påvirker planternes fosfatoptagelse. Dette støttes indirekte af resultaterne fra et forsøg, hvor anionbyttermetoden på henholdsvis bicarbonatform og chloridform sammenlignedes med planters fosfatoptagelse.

Til forsøget brugtes 34 jorde, som tidligere var

anvendt og beskrevet af Andersen og Mogensen (1962). Jordene var dels almindeligt udbredte danske jordtyper og dels jordtyper som lavmo-sejorde, kalkholdige jorde og inddæmmede hav-bund. Andersen og Mogensen (1962) bestemte fosforoptagelsen i rajgræs fra disse jorde i et kar-forsøg af 8 ugers varighed.

Tabel 1 angiver sammenhængen mellem raj-græssets fosfatoptagelse og analysetallene fra både de to anionbytter-resin metoder og 8 andre laboriemetoder, som Andersen og Mogensen anvendte på de 34 jorde. Det ses, at anionbytteren på bicarbonatformen gav den højeste korrelationskoefficient.

**Tabel 1.** Sammenhængen mellem fosfatoptagelsen i rajgræs, målt i karforsøg af Andersen og Mogensen (1962), og »plantetilgængeligt« fosfat bestemt ved forskellige laboriemetoder. 34 jorde, almindelige og specielle typer.

$$P\text{-opt. (mmol P/kg jord)} = a \times \text{analysetal (mmol P/kg jord)} + b.$$

The interrelation between the phosphate uptake of ryegrass determined in a pot experiment by Andersen and Mogensen (1962) and »plant available« phosphate determined by means of different laboratory methods. The 34 soils used included special types.  $P\text{-upt. (mmol P/kg soil)} = a \times \text{data of analyses (mmol P/kg soil)} + b.$

| Metode  | a    | b     | r <sup>2</sup> |
|---|------|-------|----------------|
| Resin, HCO <sub>3</sub> -form .....                   | 0,35 | 0,01  | 0,90           |
| Resin, Cl-form .....                                  | 0,37 | 0,05  | 0,88           |
| NaHCO <sub>3</sub> , 0,5 M (Olsen et al., 1954) ..... | 0,50 | -0,06 | 0,86           |
| L-værdi (Larsen, 1952) .....                          | 0,18 | -0,02 | 0,81           |
| E-værdi (Russel et al., 1957) .....                   | 0,18 | 0,08  | 0,75           |
| Ammonium lactat (Egner et al., 1960) .....            | 0,15 | 0,11  | 0,67           |
| Fosfattal (Møller & Mogensen, 1951) .....             | 0,14 | 0,10  | 0,63           |
| CaCl <sub>2</sub> , 0,01 M .....                      | -    | -     | 0,51           |
| Fosfatpotentialet (Aslyng, 1954) .....                | -    | -     | 0,48           |
| Fosforsyretil (Bondorff, 1950) .....                  | 0,05 | 0,14  | 0,39           |

Det må derfor konkluderes, at denne metode er velegnet til analysering af både almindelige og specielle jordes evne til at forsyne planter med fosfat. En procedure for analysen gives i næste afsnit.

## Procedure

### Anionbytter poserne

De aflange tetraederformede poser fremstilles af polyester-net med varebetegnelsen Estal Mono PE, 400  $\mu$ . Leverandør: Axel Madsen, Ørehøj Allé 4, 2900 Hellerup, tlf. (01) 61 11 55.

Posernes dimensioner afpasses efter den anvendte flaske. Mælkeprøveflasker med et volu-

men på 135 ml fra De Danske Mejeriers Fælles-indkøb er fundet velegnede til formålet. Posen skal sidde fast i flasken under rystningen, derfor skal den være et par millimeter længere end den indre parallelle del af flasken og 0,5 mm bredere end flaskens indre diameter. Til mælkeprøveflaskerne passer målene 100×37 mm. Poserne sys sammen med polyestertråd (Mölnlycke, Goliath) som vist på fig. 3, eller man hjemtager nettet som lange rundvævede pølser med en omkreds på 74 mm, hvorfra man afklipper poserne i passende længder. For at undgå optrævling af kanterne, skal de holdes imod en varm loddekolbe el. lign. et par sekunder.

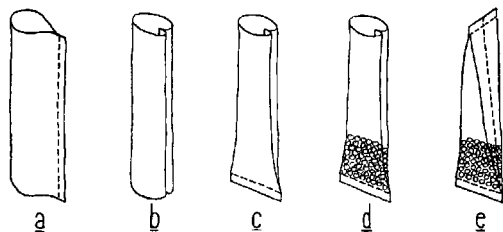


Fig. 3. Fremstilling af en polyester-nett pose med anionbytter: a. Fold nettet, sy op langs siden og svejs kanten med varme. b. Vend indersiden ud. c. Sy bunden sammen og svejs kanten. d. Placer anionbytteren i posen. e. Sy toppen sammen vinkelret på bunden og svejs kanten.

*How to prepare a polyester-netting bag of resin: a. Fold the netting, sew the side together, and seal the edge with heat. b. Turn the netting inside out. c. Sew up the bottom end, and seal the edge. d. Place the resin in the bag. e. Sew up the top end at right angle to the bottom edge, and seal the edge.*

#### Anionbytteren

Anionbytteren skal være stærkt basisk af geltype og type I med en kuglestørrelse på 20–50 mesh svarende til en diameter på 0,84–0,30 mm. (Dowex 1×4, Dowex 1×8, Amberlite IRA 400, eller tilsvarende). Anionbytteren behøver ikke at være af analyserenhed.

Efter en skylning i deioniseret vand bredes anionbytteren ud på vandsugende papir og lufttørres, indtil de enkelte kugler netop ikke hænger sammen. Hvis de bliver tørre, knækker de. Herefter bortsies omhyggeligt de kugler, der har en diameter på under 0,400 mm. Efter blanding overføres anionbytteren til en beholder, og der udtages nogle prøver til bestemmelse af vandindholdet. Prøverne tørres i en ovn ved 65°C natten over. På grundlag af vandindholdet og leverandørens angivelse af anionbyttens anionbytningskapacitet i meq. pr. g tørstof beregnes vægtmængden af den lufttørrede anionbytter, der svarer til en anionbytningsmængde på ialt 10 meq.

Anionbytteren fyldes herefter på de fremstillede poser i en mængde svarende til de 10 meq. Poserne lukkes umiddelbart efter og anbringes i deioniseret vand, hvorved kuglerne udvider sig, så de herefter ikke kan passere maskeåbningerne i netposen.

#### Overførsel til bicarbonatformen

Den følgende procedure ændrer anionbytteren fra 100 pct. chloridform til ca. 75 pct. bicarbonatform og 25 pct. chloridform. En fuldstændig ændring til bicarbonatformen ved portionseluering er vanskelig og bekostelig, men også unødvendig (Sibbesen, 1978).

Poserne med anionbytter overføres til et kar, der indeholder 0,5 M  $\text{NaHCO}_3$  i en mængde svarende til 100 ml pr. pose (50 meq.  $\text{HCO}_3^-$  pr. 10 meq. anionbytter). Der røres rundt i poserne fra tid til anden den følgende halve time, hvorefter behandlingen gentages i en frisk 0,5 M  $\text{NaHCO}_3$ -opløsning. Dette efterfølges af 2 vaskninger med deioniseret vand, der fjerner overskud af  $\text{NaHCO}_3$ . Lad poserne stå i sidste hold skyllevand indtil brugen.  $\text{NaHCO}_3$ -opløsningen fra behandling nr. 2 gemmes og anvendes til 1. gangsbehandling af et efterfølgende hold poser.

#### Analysens udførelse

En jordmængde på 4,00 g, 100 ml deioniseret vand og en pose med anionbytter på bicarbonatform overføres til en mælkeprøveflaske. Efter tilpropning rystes flasken end-over-end med en hastighed på ca. 30 omdrejninger pr. minut i 17 timer ved stuetemperatur.

Jordsuspensionen hældes ud, og posen med anionbytter samt flaskens indre skylles omhyggeligt fri for resterende jord med deioniseret vand, hvorefter flasken henstilles til afdræning i 10 min. med åbningen nedad. Een gang for alle bestemmes, hvor meget vand der forbliver i flasken og posen efter de 10 minutters afdræning. Nogle flasker med indhold tørres ved 65°C natten over; vægttabet svarer til vandindholdet.

60 ml 0,5 M HCl tilføres, hvorved det bicarbonat, der rester i anionbytteren, bobler af som  $\text{CO}_2$ , og det optagne fosfat går ud i opløsningen. Når  $\text{CO}_2$ -udviklingen er stilnet af, tilpropes, og flasken rystes en halv time. Herefter bestemmes fosfatkoncentrationen i eluatet, og den ekstraherede mængde fosfat beregnes, idet man husker, at eluatets volumen udgør summen af de tilsatte 60 ml 0,5 M HCl og det vand, der tilbageholdtes i flasken og posen efter de 10 min. afdræning. Re-

sultatet udtrykkes på basis af en vægtenhed eller eventuelt en volumenenhed jord.

#### Regenerering af anionbytteren

Anionbytter-poserne tages op af flaskerne og overføres til en beholder, hvor overskud af saltsyre fjernes ved omrøring i 2 hold deioniseret vand. Herefter overføres anionbytteren til bicarbonatformen som tidligere beskrevet.

#### Opbevaring

Ved opbevaring i længere tid bør anionbytter-poserne placeres et køligt sted i en fortyndet saltsyreopløsning.

#### Kommentarer

Den valgte anionbyttermængde (10 meq.) kan nemt optage den mængde fosfat, som selv meget fosfatrige jorde kan afgive. En halvering af anionbyttermængden indvirker næsten ikke på analyseresultatet.

Jordmængden, 4,00 g, er valgt størst mulig for at mindske fejlen ved prøveudtagningen. Anvendelse af en mindre jordmængde, f.eks. 2,00 g kan medføre en lille stigning i resultatet for nogle jordtyper.

Rystetiden på 17 timer er valgt 1. for at give en hensigtsmæssig arbejdsangang med rystning natten over, og 2. fordi den stejle del af tidsekstraktionskurven er passeret efter 17 timer (se fig. 2).

Reproducerbarheden af metodens resultater er tilfredsstillende til formålet. For jorde med et middelhold af anionbytterekstraheret fosfat (0,8–1,3 mmol/kg jord) findes op til 5 procents forskel mellem gentagelserne.

#### Erkendtlighed

Jeg takker professor S. Larsen for igangsættningen af arbejdet, dr. agro. A. J. Andersen, Risø, for leveringen af jorde og analyseresultater, frøken A. M. Hansen for hjælpen med laboratoriarbejdet og »Fondet til støtte for landbrugets planteavlsvforskning«, Superfos A/S for financieret støtte.

#### Litteratur

- Amer, F., Bouldin, D. R., Black, C. A. & Duke, F. R. (1955): Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and  $^{32}\text{P}$ -equilibration. *Plant and Soil* 6, 391–408.
- Andersen, A. J. & Mogensen, T. (1962): A comparison of various laboratory methods for determining the phosphate condition in soils. *Acta Agric. Scand.* 12, 315–324.
- Aslyng, H. C. (1954): The lime and phosphate potentials of soils; the solubility and availability of phosphates. Yearbook, Roy. Vet. Agric. Coll., Copenhagen, 1–50.
- Bache, B. W. & Rogers, N. E. (1970): Soil phosphate values in relation to phosphate supply to plants from some Nigerian soils. *J. Agric. Sci.* 74, 383–390.
- Bondorff, K. A. (1950): Studier over jordens fosforsyreindhold. V. En ny fremgangsmåde ved undersøgelsen af jordens fosforsyreindhold. *Tidsskr. Plan-teavl* 53, 336–342.
- Bondorff, K. A. & Damsgård-Sørensen, P. (1942): Studier over jordens fosforsyreindhold III. En sammenligning mellem forskellige kemiske metoder til bestemmelse af tilgængelige fosfater i jord. *Tidsskr. Planteavl* 46, 377–425.
- Bondorff, K. A. & Steenbjerg, F. (1932): Studier over jordens fosforsyreindhold I. Jordfosforsyrens opløselighed. *Tidsskr. Planteavl* 38, 273–306.
- Cooke, I. J., Hislop, J. (1963): Use of anion-exchange resin for the assessment of available soil phosphate. *Soil Science* 96, 308–312.
- Daubeney, C. G. B. (1845): On the distinction between dormant and active ingredients of the soil. *J. Roy. Agric. Soc. Eng.*, 7, part 1, 3–11.
- Dyer, B. (1894): On the analytical determination of probably available »mineral« plant food in soils. *J. Chem. Soc.*, 65, 115–167.
- Egnér, H., Riehm, H. & Domingo, W. R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kunigl. Landbrukshögsk. Ann.* 26, 199–215.
- Gunnary, D. & Sutton, C. D. (1967): Soil factors affecting plant uptake of phosphate. *J. Soil Science* 18, 168–173.
- Hislop, J. & Cooke, I. J. (1968): Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: A laboratory technique. *Soil Science* 105, 8–11.
- Larsen, S. (1952): The use of  $^{32}\text{P}$  in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 4, 1–10.
- Metzger, W. H. (1928): The effect of growing plants on solubility of soil nutrients. *Soil Sci.* 25, 273–280.
- Moser, U. S., Sutherland, W. H. & Black, C. A., (1959): Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil phosphorus by plants. I. *Plant and Soil* 10, 356–374.

- Møller, J.* (1935): Studier over ionbytningsprocessen. Med særligt henblik på agrikulturkemi. H. Hagerups forlag, København.
- Møller, J. & Mogensen, T.* (1951): Metode til bestemmelse af den mobiliserbare fosforsyre i jordbunden. Hedeselskabets Tidsskr. 72, 41-62.
- Nagarajah, S., Posner, A. M. & Quirk, J. P.* (1968): Desorption of phosphate from kaolinite by citrate and bicarbonate. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32, 507-510.
- Nye P. H.* (1968): Processes in the root environment. J. Soil Sci. 19, 205-215.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A.* (1954): Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dept. Agric. Circ. 939.
- Riley, D. & Barber, S. A.* (1969): Bicarbonate accumulation and pH changes at the soybean (*Glycine max.* (L) Merr.) root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33, 905-908.
- Russell, R. S., Russell, E. W. & Marais, P. G.* (1957): Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. I. The relationship between labile phosphate and absorption. J. Soil Sci. 8, 248-267.
- Sibbesen, E.* (1977): A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. Plant and Soil 46, 665-669.
- Sibbesen, E.* (1978): An investigation of the anion-exchange resin method for soil phosphate extraction. Plant and Soil 50, 305-321.
- Walmsley, D. & Cornforth, I. S.* (1973): Methods of measuring available nutrients in West Indian soils. II. Phosphorus. Plant and Soil 39, 93-101.
- Özbek, N. & Sadiq, M.* (1967): A modified anion exchange resin equilibration method for the determination of available phosphorus in soils. Yearb. Fac. Agric., Univ. Ankara 7, 95-106.

Manuskript modtaget den 16. januar 1979.