

Statens Planteavlslaboratorium (Aage Henriksen)

Jordbundskemisk afdeling (Jens Jensen)

Planters optagelse af kalium og kaliumanalyser af jord

The potassium uptake of plants and potassium analyses of soil

Anne-Margrethe Lind

Resumé

For at undersøge sammenhængen mellem kaliumanalyser af jorden og den plantetilgængelige kaliummængde er der gennemført et dyrkningsforsøg i kar med 19 forskellige jorder.

I jorderne er der før og efter dyrkning blevet bestemt ombytteligt kalium (ekstraktion med 1 M ammoniumacetat), saltsyreopløseligt kalium (ekstraktion med 2 N HCl) og salpetersyreopløseligt kalium (ekstraktion med 1 N HNO₃). I afgrøderne er bestemt den kaliummængde, der er optaget af planterne.

En statistisk undersøgelse af jord- og afgrødeanalyser har resulteret i følgende:

1. Alle tre kaliumfraktioner gav en god korrelation med den optagne kaliummængde.
2. Ombytteligt kalium gav den bedste korrelation med den optagne kaliummængde.
3. Salpetersyreopløseligt kalium var bedre korreleret med den optagne kaliummængde end saltsyreopløseligt kalium.

Den optagne, ikke-ombyttelige kaliummængde (forskellen mellem den samlede, optagne kaliummængde og ændringen i ombytteligt kalium under dyrkning) gav en god korrelation med saltsyreopløseligt og salpetersyreopløseligt kalium, men en dårlig korrelation med det ombyttelige kalium.

Indledning

Til vurdering af en jords kaliumindhold benyttes her i landet en bestemmelse af det ombyttelige

kalium, d.v.s. den kaliummængde, der kan ekstraheres med 0,5 M ammoniumacetat. Resultatet, udtrykt i mg K/100 g jord, benævnes kaliumtallet (Kt).

Denne metode har undertiden vist sig at være utilstrækkelig til bestemmelse af den kaliummængde, der under dyrkning af jorden er tilgængelig for planterne, idet det gentagne gange, såvel i danske som udenlandske forsøg, har vist sig, at planterne er i stand til at optage en betydelig større kaliummængde end den ombyttelige.

Årsagen hertil må dels søges i den forskydning af kaliumbalancen i jorden, der foregår, når det let tilgængelige (= ombyttelige) kalium fjernes af afgrøden, hvorved tungere opløselige kaliumreserver kan overgå til en plantetilgængelig tilstand, og dels i den optagelse af kalium, der sker fra de underliggende jordlag.

Herefter opstår spørgsmålet: Findes der en metode, egnet til rutineanalyse, der alene eller eventuelt sammen med bestemmelsen af det ombyttelige kalium giver et bedre udtryk for den kaliummængde, der vil være tilgængelig for planterne under dyrkning af jorden, end bestemmelsen af det ombyttelige kalium alene?

De nævnte udtryk, let tilgængeligt og tungere opløseligt, der her er benyttet om jordens kaliumindhold, hænger nøje sammen med kaliums binding til jordkolloiderne.

Det let tilgængelige kalium omfatter det vandopløselige, der findes i jorden som kaliumsalte, og det ombyttelige kalium, der dels er elektrostatisk bundet til jordkolloidernes overflade og dels

til en vis grad findes mellem de elastiske lerminer-
ralers gentagelseslag (montmorillonit-gruppen),
mens det tungere opløselige (ikke-ombyttelige)
og dermed ikke umiddelbart tilgængelige kalium
er placeret mellem de ikke-elastiske lerminer-
ralers gentagelseslag (illit-gruppen), og de resterende,
uopløselige kaliumfraktioner forefindes som git-
terbundet kalium. Den sidstnævnte fraktion ud-
gør langt den største del af jordbundens kalium-
indhold.

For en detaljeret beskrivelse af jordkolloider-
nes, specielt lermineraleernes opbygning i relation
til jordens kaliumindhold kan henvises til *Scheffer*
og *Schachtschabel* (9).

Der er gjort mange forsøg på at finde en metode
til kemisk bestemmelse af de dele af det ikke-
ombyttelige kalium, der er plantetilgængeligt, og
blandt disse metoder har nedenstående ifølge litte-
raturen vist sig mest velegnede:

1. Ekstraktion med fortyndede mineralsyrer.
2. Behandling med kationbytter. Beskrevet af
bl.a. *Schmitz og Pratt* (10) samt af *Waddy og*
Vimpany (13).
3. »Ekstraktion« med kalignost (natriumtetra-
phenylborat). Beskrevet af bl.a. *Conyers og*
Mc. Lean (1), *Schulte og Corey* (11).

De under 2 og 3 nævnte metoder giver tilsyne-
ladende en god korrelation med det plantetilgæn-
gelige kalium, men da de er ret omstændelige og
kostbare og følgelig ikke velegnede til rutineana-
lyser, er kun metoder, der er omfattet af pkt. 1,
valgt som grundlag for nærværende undersøgelse.

Semb og Øien (12) har beskrevet anvendelsen
af 1 N HNO₃ som ekstraktionsmiddel (efter *Reite-
meier* (8)), og fundet en god korrelation mellem
denne metode og den kaliummængde, der kan
optages ved gentagne dyrkninger af en afgrøde.
Forsøget strakte sig over 5 år. Den samme gode
korrelation har de fundet mellem den optagne
kaliummængde og den mængde, der frigøres ved
behandling med kationbytter.

Ekstraktion med 1 N HNO₃ benyttes nu i Nor-
ge som supplement til bestemmelsen af ombytteligt
kalium.

I Sverige benyttes på tilsvarende måde en ek-

straktion med 2 N HCl efter *Egnér* (2). *Conyers og*
Mc. Lean (1) har beskrevet anvendelsen af 0,5 N
HCl tillige med en række andre ekstraktionsmid-
ler, og denne metode har givet samme korrela-
tionskoefficient som bestemmelsen af ombytte-
ligt kalium og bestemmelsen ved HNO₃-ekstrak-
tion. Dyrkningstiden var 7-24 uger.

Scheffer og Schachtschabel (9) angiver, at værdis-
erne for de ekstraherede kaliummængder ved be-
nyttelse af HCl og HNO₃ er godt korrelerede, men
tillige at HCl er lettere at arbejde med og giver
bedre reproducerbare resultater. Endvidere frem-
hæves, at der foreligger en del modstridende for-
søgsresultater over bestemmelser af syreopløse-
ligt og ombytteligt kalium i relation til den plante-
tilgængelige kaliummængde.

For at belyse de skitserede problemer i relation
til danske jorder, er der gennemført et karforsøg,
hvor man ved dyrkning af rajgræs har søgt at ud-
pine jorderne for plantetilgængeligt kalium.

Karforsøg

De anvendte jorder

De jorder, der er benyttet til karforsøget, er hen-
tet fra et jordarkiv, oprettet i 1965 (6). Arkivets
jorder er udtaget på 53 forskellige steder, fordelt
over hele landet, og i 3 dybder. Af dette arkiv er
der til det foreliggende forsøg udvalgt 19 jorder,
alle fra pløjelaget (0-20 cm), og der er tilstræbt en
ligelig fordeling af lettere og sværere jorder (på
basis af lerindhold).

Jordarkivets oprindelige numre er bibeholdt i
nærværende beretning, og deres oprindelsessted
er anført i tabel 1 tillige med analyser, der er
foretaget af jorderne før dyrkning.

Analyser af jord og afgrøder

Der er før dyrkning foretaget følgende analyser
af jorderne:

Teksturanalyse efter hydrometermetoden (*L. Han-
sen* (4)).

Ombytningskapacitet efter ammoniumacetatme-
toden ved pH 7 (*M. Peech* (7)).

Ombytteligt kalium, Kt, ifølge Fælles arbejdsme-
toder for jordbundsanalyser (3).

Saltsyreopløseligt kalium, K-HCl.

Salpetersyreopløseligt kalium, K-HNO₃.

Tabel 1. Jordanalyser

| Lokalitet | Nr. i jordarkiv | pH(H ₂ O) | Teksturanalyse | | | | | Ombytningskapacitet mækv/100 g jord |
|-----------------------|-----------------|----------------------|----------------|-----------|--------------|---------------|------------|-------------------------------------|
| | | | pct. ler | pct. silt | pct. finsand | pct. grovsand | pct. humus | |
| Aarslev | 1a | 6,5 | 9,3 | 15,2 | 38,9 | 33,5 | 3,1 | 12,8 |
| Abed | 5a | 8,0 | 15,2 | 20,0 | 42,8 | 20,1 | 1,9 | 13,3 |
| Blangstedgaard . . . | 6a | 5,9 | 12,3 | 14,5 | 41,5 | 28,2 | 3,5 | 10,3 |
| Borris | 10a | 6,4 | 4,1 | 10,0 | 56,0 | 27,3 | 2,6 | 8,3 |
| Hornum | 16a | 6,0 | 4,6 | 7,8 | 48,0 | 37,1 | 2,5 | 8,5 |
| Højer | 17a | 7,7 | 17,7 | 18,9 | 59,1 | 1,2 | 3,1 | 19,0 |
| St. Jynde vad | 19a | 6,0 | 2,9 | 4,1 | 14,3 | 76,5 | 2,2 | 5,5 |
| Roskilde | 20a | 6,6 | 11,4 | 18,1 | 43,5 | 24,6 | 2,4 | 11,1 |
| Spangsbjerg | 21a | 6,2 | 7,6 | 10,6 | 47,4 | 32,2 | 2,2 | 9,0 |
| Studsgaard | 29a | 5,5 | 5,4 | 7,9 | 38,6 | 44,5 | 3,6 | 11,1 |
| Tylstrup | 33a | 6,0 | 2,8 | 4,7 | 75,1 | 15,3 | 2,1 | 6,7 |
| Tystofte | 34a | 6,4 | 11,1 | 13,2 | 44,8 | 29,0 | 1,9 | 10,0 |
| Silstrup | 37a | 6,5 | 15,5 | 15,9 | 41,8 | 23,9 | 2,9 | 17,0 |
| Virumgaard | 39a | 6,8 | 10,7 | 18,8 | 46,2 | 22,1 | 2,2 | 10,2 |
| Ødum | 40a | 7,0 | 12,2 | 19,9 | 47,5 | 17,9 | 2,5 | 13,6 |
| Ribe | 46a | 7,1 | 34,4 | 40,2 | 17,7 | 3,8 | 3,9 | 28,0 |
| Askov lermark . . . | 49a | 5,9 | 11,5 | 12,1 | 37,4 | 35,7 | 3,3 | 13,5 |
| Askov sandmark . . | 51a | 6,8 | 4,1 | 4,1 | 33,9 | 56,5 | 1,4 | 4,1 |
| Lundgaard | 52a | 6,4 | 2,4 | 4,2 | 26,1 | 65,2 | 2,1 | 5,1 |

Til bestemmelse af syreopløseligt kalium er følgende forskrifter benyttet:

Saltsyreopløseligt kalium: (efter Egnér (2)).

2 g tørret og sigtet jord overføres i en 100 ml målekolbe. Der tilsættes 50 ml 2 N HCl, og kolben koges i vandbad i 2 timer. I halsen anbringes en glaskugle med stilk. Der omrystes ca. hver 20. minut. Efter afkøling af kolberne fyldes op til mærket med deioniseret vand, blandes og filtreres. Af filtratet udtages 20 ml, der tilsættes 20 ml 1 M ammoniumacetat og blandes, hvorpå opløsningens kaliumindhold bestemmes ved måling på flammefotometer.

Salpetersyreopløseligt kalium: (efter Reitemeier (8)).

2 g tørret og sigtet jord overføres i en 100 ml målekolbe og tilsættes 25 ml 1 N HNO₃; kolben forsynes med en glaskugle med stilk og koges på varmeplade eller sandbad (termostatregulering).

Opvarmningen skal ske således, at der går 5-7 minutter før den egentlige kogning. Selve kogningen skal vare 10 minutter (stopur).

Efter afkøling fyldes kolberne op til mærket med deioniseret vand, blandes og filtreres.

Af filtratet udtages 20 ml, der tilsættes 20 ml ammoniumacetat, blandes og opløsningens kaliumindhold bestemmes ved måling på flammefotometer.

Kaliumanalyser af jorderne er opstillet i tabel 3.

Dyrkningsbetingelser

Til dyrkningen er benyttet 2-liters plastkar, der under hele forsøget var placeret i drivhus med kunstig belysning om natten, idet dyrkningsperioden har været januar-maj.

Der har været 4 fælleskar med hver jord, og der er benyttet en blanding af jord og sand i 2 blandingsforhold, 1:9 for lerbjergenes vedkommende og 1:4 for de lettere jorders vedkommende. Den samlede jord/sand-mængde i et kar udgjorde 3000 g. Alle de anvendte jorder var lufttørrede og sigtede (2 mm).

Disse ret kraftige »fortyndinger« med sand blev foretaget for at sikre, at afgrøderne i det mindste ville være i stand til at udpine karrets

jord for dens indhold af ombytteligt og dermed direkte tilgængeligt kalium.

Til korrektion for sandets indhold af kalium, er der også dyrket i kar med 3000 g af det sand, der er benyttet til »fortynding«.

Ved blandingen af jord og sand til påfyldning af karret er der samtidig iblandet 2 g CaHPO_4 pr. kar.

Ved tilsåningen blev der anvendt 200 mg græsfrø pr. kar. Græsfrøet var almindeligt rajgræs, Øtofte. Efter tilsåning vandedes karrene op til 60% af vandkapaciteten, og denne vandmængde er suppleret op hver 2.-3. dag. Der er benyttet deioniseret vand.

Da græsfrøet efter nogle dages forløb var spiret, blev karrene gødet med 5 ml af følgende alsidige gødningsblanding, der ikke indeholder kalium:

16 g NH_4NO_3 , 20 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{aq}$, 10 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{aq}$, 10 g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{aq}$, 0,5 g H_3BO_3 , 0,5 g $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{aq}$, 0,5 g $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{aq}$ og 0,2 g $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{aq}$, opløst i deioniseret vand ad 1 liter.

En vækstperiode har været af ca. 1 måneds varighed, og der er høstet i alt 5 slæt. Efter hver

høst tilførtes karrene atter gødning, dog i aftagende mængder efterhånden som væksten på grund af kaliummangel svækkedes, og efter høst af 4. slæt ophørte gødningstilførselen helt.

Dyrkningsforløb

Selv om tørstofudbyttet viste nogen afhængighed af jordtype, gav alle jorderne dog normale afgrøder i de to første slæt. Men i 3. slæt begyndte kaliummangelen at ytre sig ved de lettere jorder, og efter 4. slæt var væksten meget ringe, enkelte jorder gav praktisk taget intet udbytte.

Jordanalyser efter dyrkning

Efter dyrkningen blev der igen bestemt ombytteligt, saltsyreopløseligt og salpetersyreopløseligt kalium i jorderne, idet der dog på grund af fortyndingen med sand blev taget 4 gange så stor en mængde jord/sand-blanding i arbejde som ved analyse af jorderne før dyrkning.

Afgrødeanalyser

I de høstede afgrøder bestemtes foruden tørstofindhold også optaget kaliummængde ved tørforaskning af plantematerialet. Den detaljerede fremgangsmåde er beskrevet af *Henriksen* (5).

Tabel 2. Tørstofudbytte og kaliumindhold i afgrøder

| Nr. | g jord i kar | Tørstofudbytte (g/kar) | | | | | totalt | mgK/kar | | | | | totalt |
|-----|-----------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | 1. slæt | 2. slæt | 3. slæt | 4. slæt | 5. slæt | | 1. slæt | 2. slæt | 3. slæt | 4. slæt | 5. slæt | |
| 1a | 600 | 2,32 | 3,59 | 2,54 | 1,55 | 0,63 | 10,63 | 89,2 | 26,0 | 13,8 | 6,1 | 2,1 | 137,2 |
| 5a | 300 | 1,59 | 2,39 | 1,95 | 1,11 | 0,43 | 7,47 | 23,9 | 15,5 | 9,9 | 4,9 | 1,9 | 56,1 |
| 6a | 300 | 1,53 | 1,82 | 0,93 | 0,27 | 0,03 | 4,58 | 22,9 | 9,8 | 4,6 | 1,2 | 0,3 | 38,8 |
| 10a | 600 | 1,83 | 1,56 | 0,75 | 0,29 | 0,08 | 4,51 | 18,9 | 7,5 | 3,2 | 1,2 | 0,3 | 31,1 |
| 16a | 600 | 1,90 | 2,83 | 1,94 | 1,05 | 0,32 | 8,04 | 67,3 | 22,0 | 9,9 | 4,7 | 1,5 | 105,4 |
| 17a | 300 | 1,76 | 2,57 | 1,84 | 1,00 | 0,33 | 7,50 | 38,6 | 17,4 | 8,0 | 4,3 | 1,3 | 69,6 |
| 19a | 600 | 2,06 | 2,35 | 1,02 | 0,47 | 0,12 | 6,02 | 45,6 | 12,5 | 4,9 | 2,0 | 0,5 | 65,5 |
| 20a | 300 | 2,10 | 2,22 | 1,00 | 0,52 | 0,16 | 6,00 | 42,4 | 11,6 | 4,9 | 2,2 | 0,5 | 61,6 |
| 21a | 600 | 2,42 | 3,29 | 2,03 | 1,25 | 0,45 | 9,44 | 74,9 | 21,1 | 10,7 | 5,5 | 1,7 | 113,9 |
| 29a | 600 | 2,56 | 3,52 | 1,75 | 1,03 | 0,35 | 9,21 | 97,9 | 22,1 | 8,9 | 3,8 | 1,1 | 133,8 |
| 33a | 600 | 1,84 | 1,74 | 0,77 | 0,30 | 0,13 | 4,78 | 23,0 | 8,4 | 3,1 | 1,2 | 0,5 | 36,2 |
| 34a | 300 | 1,78 | 2,08 | 0,99 | 0,28 | 0,09 | 5,22 | 28,2 | 10,3 | 4,3 | 1,2 | 0,4 | 44,4 |
| 37a | 300 | 1,97 | 2,91 | 1,74 | 0,76 | 0,36 | 7,74 | 46,8 | 16,7 | 7,3 | 3,8 | 1,2 | 75,8 |
| 39a | 300 | 2,07 | 2,24 | 1,01 | 0,56 | 0,15 | 6,03 | 33,5 | 12,0 | 5,1 | 2,5 | 0,5 | 53,6 |
| 40a | 300 | 1,98 | 2,43 | 1,26 | 0,70 | 0,30 | 6,67 | 32,3 | 12,0 | 5,6 | 3,0 | 1,0 | 53,9 |
| 46a | 300 | 2,42 | 3,75 | 2,33 | 1,52 | 0,72 | 10,74 | 32,1 | 15,4 | 8,9 | 5,5 | 2,5 | 64,4 |
| 49a | 600 | 2,0 | 2,65 | 1,50 | 0,99 | 0,35 | 7,49 | 33,9 | 15,0 | 6,8 | 4,7 | 1,3 | 61,7 |
| 51a | 600 | 1,72 | 1,97 | 0,92 | 0,28 | 0,11 | 5,00 | 21,7 | 9,6 | 3,9 | 1,2 | 0,4 | 36,8 |
| 52a | 600 | 1,92 | 2,38 | 1,07 | 0,55 | 0,16 | 6,08 | 32,7 | 12,3 | 5,0 | 2,3 | 0,6 | 52,9 |

Tabel 3. Kaliumanalyser af jorderne og optaget kalium

| Nr. | mg K/100 g jord | | | | | | Optaget | |
|-----|-----------------|--------------------|------|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| | før dyrkning | | | efter dyrkning | | | Optaget K i 5 slæt | ikke-ombytteligt K |
| Kt | K-HCl | K-HNO ₃ | Kt | K-HCl | K-HNO ₃ | mg K/100 g jord | mg/100 g jord | |
| 1a | 21,0 | 68,0 | 34,0 | 2,1 | 32,5 | 11,0 | 22,3 | 3,4 |
| 5a | 8,0 | 112,0 | 41,5 | 3,5 | 62,5 | 20,0 | 17,4 | 12,9 |
| 6a | 7,8 | 89,0 | 34,0 | 2,0 | 77,5 | 20,0 | 11,6 | 5,8 |
| 10a | 4,8 | 41,0 | 14,5 | 1,1 | 40,0 | 4,0 | 4,6 | 0,9 |
| 16a | 16,0 | 45,0 | 28,0 | 1,1 | 36,3 | 6,0 | 17,0 | 2,1 |
| 17a | 17,2 | 176,0 | 71,0 | 4,6 | 172,5 | 25,0 | 21,8 | 9,2 |
| 19a | 11,2 | 24,5 | 14,5 | 1,2 | 16,3 | 4,0 | 10,3 | 0,3 |
| 20a | 18,1 | 89,5 | 52,5 | 2,0 | 50,0 | 8,0 | 19,2 | 3,1 |
| 21a | 17,5 | 59,5 | 28,0 | 1,1 | 48,8 | 4,0 | 18,4 | 1,9 |
| 29a | 24,6 | 34,0 | 28,0 | 1,3 | 12,5 | 4,0 | 21,7 | ÷1,6 |
| 33a | 5,2 | 25,0 | 13,0 | 1,3 | 11,0 | 7,5 | 5,4 | 1,5 |
| 34a | 9,0 | 87,0 | 44,5 | 2,5 | 35,0 | 25,0 | 13,4 | 6,9 |
| 37a | 17,7 | 99,0 | 49,0 | 2,3 | 56,0 | 35,0 | 23,9 | 8,5 |
| 39a | 17,0 | 78,0 | 39,0 | 2,0 | 75,0 | 25,0 | 16,5 | 1,5 |
| 40a | 13,0 | 87,0 | 44,0 | 2,2 | 86,5 | 25,0 | 16,6 | 5,8 |
| 46a | 20,0 | 236,0 | 84,5 | 4,9 | 161,0 | 49,0 | 20,1 | 5,0 |
| 49a | 8,4 | 62,0 | 23,0 | 1,3 | 40,0 | 12,5 | 9,7 | 2,6 |
| 51a | 4,8 | 30,0 | 14,5 | 1,0 | 23,0 | 10,0 | 5,6 | 1,7 |
| 52a | 8,4 | 26,5 | 13,5 | 1,1 | 12,5 | 4,0 | 8,2 | 0,9 |

Resultaterne af afgrødeanalyserne er opstillet i tabel 2, og kaliumindhold, omregnet til 100 g jord, i tabel 3 sammen med kaliumanalyser af jorderne.

Der er forsøgt en fraskillelse af rødderne fra jorden efter høst af sidste slæt for at bestemme deres indhold af kalium. Men denne fraskillelse har ikke kunnet gennemføres på tilfredsstillende måde, og kaliumbestemmelserne i rødderne har derfor været meget usikre. Da de fundne kaliummængder tillige er meget små (1-5 pct. af den totale kaliummængde), er der set bort fra røddernes andel i den totale mængde kalium, der er optaget.

Forsøgsresultater

Forsøgsresultaterne blev underkastet en statistisk undersøgelse for at bestemme sammenhængen mellem kaliumoptagelsen og de forskellige analysedata. Resultatet heraf ses i tabel 4, der viser regressionsligninger og korrelationskoefficienter. I tabel 5 er desuden vist korrelationskoefficienter for de vigtigste analysedata i afhængighed af kaliumoptagelsen efter hvert slæt.

Af tabel 4 over korrelationsværdierne fremgår,

at Kt er den bestemmelse, der er bedst korreleret med den samlede mængde optaget kalium, og endvidere at ekstraktion med 1 N HNO₃ giver en bedre korrelation med den optagne kaliummængde end ekstraktion med 2 N HCl. Alle tre analysemetoder må dog siges at være godt korreleret med kaliumoptagelsen.

De syreopløselige kaliummængder, korrigeret for ombytteligt kalium, d.v.s. $K-HCl \div Kt$ og $K-HNO_3 \div Kt$, samt ændringerne i analysedata fra før dyrkning til efter dyrkning synes alle at være dårligere korreleret med kaliumoptagelsen end de tilsvarende, oprindelige analysedata, Kt, K-HCl og K-HNO₃, bestemt i jorderne før dyrkning. Kaliumoptagelsen er tillige godt korreleret med pct. ler, pct. ler + silt og ombytningskapacitet.

Betragtes de optagne, ikke-ombyttelige kaliummængders korrelation med de tre analysemetoder, findes, at der er god korrelation med de syreopløselige kaliummængder, men yderst ringe korrelation med de ombyttelige. Lerindholdet giver samme korrelation som K-HCl og K-HNO₃.

Der synes at være en tendens til, at korrelationen mellem kaliumoptagelsen og de kaliummæng-

Tabel 4. Korrelation mellem kaliumoptagelse og kaliumanalyser af jorderne

| | Regressionsligning | Korrelationskoefficient |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Samlet kaliumoptagelse i 5 slæt pr. 100 g jord og | | |
| Kt før dyrkning | $Y = 0,31 + 0,86X$ | 0,91*** |
| K-HCl før dyrkning | $Y = 5,80 + 4,77X$ | 0,60*** |
| K-HNO ₃ før dyrkning | $Y = 2,19 + 2,22X$ | 0,75*** |
| K-HCl ÷ Kt før dyrkning | $Y = 5,49 + 3,91X$ | 0,52*** |
| K-HNO ₃ ÷ Kt før dyrkning | $Y = 1,88 + 1,36X$ | 0,54*** |
| Ler pct. | $Y = 0,53 + 0,65X$ | 0,59*** |
| Ler + silt pct. | $Y = 2,38 + 1,44X$ | 0,61*** |
| Ombytningskapacitet | $Y = 2,16 + 0,61X$ | 0,71*** |
| Ændring i Kt under dyrkning | $Y = \div 0,15 + 0,76X$ | 0,85*** |
| Ændring i K-HCl under dyrkning | $Y = \div 6,92 + 1,81X$ | 0,50*** |
| Ændring i K-HNO ₃ under dyrkning | $Y = \div 0,06 + 1,31X$ | 0,74*** |
| Ændring i (K-HCl ÷ Kt) under dyrkning .. | $Y = \div 6,77 + 1,06X$ | 0,30** |
| Ændring i (K-HNO ₃ ÷ Kt) under dyrkning | $Y = 0,09 + 0,56X$ | 0,39*** |
| Optaget ikke-ombytteligt kalium pr. 100 g jord og | | |
| Kt før dyrkning | $Y = 12,2 + 0,09X$ | 0,05 |
| K-HCl før dyrkning | $Y = 38,9 + 9,60X$ | 0,64*** |
| K-HNO ₃ før dyrkning | $Y = 21,3 + 3,44X$ | 0,62*** |
| Ler pct. | $Y = 5,27 + 1,25X$ | 0,61*** |

*** = P(99,9) R = 0,360, ** = P(99) R = 0,283, * = P(95) R = 0,217, 78 frihedsgrader.

der, der ekstraheres med HCl og HNO₃, bliver bedre med antallet af slæt, idet korrelationskoefficienten stiger, mens korrelationen mellem Kt og kaliumoptagelsen nærmest er konstant, måske med en svagt faldende tendens (tabel 5).

Tidsfaktoren spiller således en væsentlig rolle ved forsøg som disse. Længere tids dyrkning kunne antageligt have ændret billedet noget, således at de syreopløselige kaliummængder med tiden ville vise en bedre sammenhæng med kaliumoptagelsen. Men i de her gennemførte forsøg var kaliummangelen allerede efter de 5 slæt så stor, at væksten faktisk gik i stå. Antagelsen kan således

ikke bekræftes ad denne vej, men kun gennem flerårige forsøg. De betydelige mængder ud over det ombyttelige kalium, der i mange tilfælde er optaget ved etårige markforsøg, må for hovedpartens vedkommende være kommet fra underliggende jordlag. Inden for en enkelt vækstperiode er det således et spørgsmål, om frigørelsen af ikke-ombytteligt kalium forløber tilstrækkeligt hurtigt.

Konklusion

Af det foreliggende materiale kan udledes, at bestemmelse af ombytteligt kalium (Kt) giver det bedste udtryk for den kaliummængde, som jorden

Tabel 5. Korrelationskoefficienter
Kaliumanalysernes korrelation med kaliumoptagelsen efter de enkelte slæt

| | Samlet kaliumoptagelse mg/100 g jord | | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | efter 1. slæt | efter 2. slæt | efter 3. slæt | efter 4. slæt | efter 5. slæt |
| Kt..... | 0,94*** | 0,93*** | 0,92*** | 0,91*** | 0,91*** |
| K-HCl.... | 0,39*** | 0,50*** | 0,56*** | 0,59*** | 0,60*** |
| K-HNO ₃ .. | 0,59*** | 0,68*** | 0,72*** | 0,74*** | 0,75*** |

kan stille til rådighed for planterne i løbet af en enkelt vækstperiode. Metoden må derfor foretrækkes i gartnerier og lignende, hvor man én eller flere gange hvert år lader jorden analysere.

Som rutinemetode til vurdering af en jords evne til at stille ikke-ombytteligt kalium til rådighed for planterne, eller med andre ord dens kaliumleverende evne på længere sigt, må kaliumbestemmelse ved hjælp af syreekstraktion derimod foretrækkes. Rimeligvis kan bestemmelse af jordens lerindhold anvendes alternativt.

Summary

The potassium uptake of plants and potassium analyses of soil

Nineteen different soils were exhausted of their content of plant available potassium in a pot experiment in which the soils were cropped with rye grass 5 times during 5 months. No potassium was supplied to the soils during the experimental period. Before and after cropping the soils were analyzed for exchangeable potassium (extraction with 1 M ammonium acetate), hydrochloric acid soluble potassium (extraction with boiling 2 N HCl), and nitric acid soluble potassium (extraction with boiling 1 N HNO₃). Moreover the amount of potassium removed by the crops was determined by analysis of the plant material.

The results of soil and crop analysis were subjected to a statistical examination which gave the following results:

1. Exchangeable potassium showed the highest correlation with plant uptake of potassium.
2. Nitric acid soluble potassium was better correlated with plant uptake than was the hydrochloric acid soluble.
3. All three methods of analysis, however, showed a high correlation with plant uptake.

The plant uptake of non-exchangeable potassium (i.e. the difference between total amount of potassium taken up and decrease in exchangeable potassium during cropping) was well correlated with the hydrochloric acid soluble and the nitric acid soluble potassium, but poorly correlated with exchangeable potassium.

Modtaget i redaktionen den 16/12-1970.

Litteratur

1. *Conyers, E. S., E. O. McLean og R. B. Corey (1969)*: Plant uptake and chemical extractions for evaluating potassium release characteristics of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33 (2), 226-230.
2. *Egnér, H., H. Riehm og W. R. Domingo (1960)*: Untersuchungen über die chemischen Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden, II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmungen. *Kunigl. Lantbrukshögskolans Annaler* 26, 212-213.
3. *Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser III (1963)*.
4. *Hansen, L. (1961)*: Hydrometermetoden til bestemmelse af jordens tekstur. *Grundförbättring* 1961, hefte 3.
5. *Henriksen, Aa. (1960)*: Om bestemmelse af calcium, magnesium, kalium og natrium i plantemateriale. *Tidsskr. Planteavl.* 64 (3), 530.
6. *Lamm, C. G. (1968)*: Et dansk jordarkiv. *Ugeskrift for agronomer* 1968, nr. 16, 261-266.
7. *Peech, M. (1945)*: Determination of exchangeable cations and exchange capacity of soils. *Soil Sci.* 59, 25-38.
8. *Reitemeier, R. F. et al. (1948)*: Release of non-exchangeable potassium by greenhouse, Neubauer and laboratory methods. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12, 158-162.
9. *Scheffer F. og Schachtschabel, P. (1966)*: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 276-283.
10. *Schmitz, G. W. og P. F. Pratt (1953)*: Exchangeable and non-exchangeable potassium as indexes to yield increases and potassium absorption by corn in the greenhouse. *Soil Sci.* 76, 345.
11. *Schulte, E. E. og R. B. Corey (1969)*: Extraction of K from soils with sodium tetraphenylboron. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29 (1), 33-35.
12. *Semb, G., A. Sorteberg og A. Øien (1959)*: Investigations on potassium available in soils varying in texture and parent material. *Acta Agr. Scand.* 9 (3), 229-252.
13. *Waddy, J. A. og I. A. Vimpany (1970)*: Estimation of non-exchangeable potassium in soils using a cation-exchange resin. *J. Sci. Fd. Agric.* 21, 113-115.