

KATIOONUITRUILING TUSSEN  
MIELIEWORTELS EN KLEISUSPENSIES

Verhandeling voorgelê ter gedeeltelike  
nakoming van die vereistes vir  
die graad Magister Scientiae  
aan die

POTCHEFSTROOMSE UNIVERSITEIT

vir

CHRISTELIKE HOËR ONDERWYS

deur

CARL LUDWIG SANDER

Februarie 1963

|             |                                                                                                                               |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Hoofstuk 1: | Inleidings                                                                                                                    |    |
|             | A. Algemeen                                                                                                                   | 1  |
|             | B. Die adsorpsiekompleks van gronde                                                                                           | 2  |
|             | C. Kleimineraie                                                                                                               | 3  |
|             | D. Katioonuitruiling en uitruilingskapasiteit                                                                                 | 5  |
|             | E. Die verspreide dubbellaag van klei                                                                                         | 7  |
|             | F. Die belangrikheid van kleimineraie en<br>katioonuitruiling in grond                                                        | 12 |
|             | G. Omvang van ondersoek                                                                                                       | 13 |
| Hoofstuk 2: | Eksperimentele besonderhede                                                                                                   |    |
|             | A. Materiaal                                                                                                                  | 15 |
|             | B. Apparaat                                                                                                                   | 18 |
|             | C. Ontleding van plantwortels, oplossings<br>en suspensies                                                                    | 18 |
|             | D. Voorbereiding van kleisuspensies                                                                                           | 23 |
| Hoofstuk 3: | Die ontkioming en groei van mielies in<br>verskillende konsentrasies van twee tipes klei<br>versadig met verskillende katione |    |
|             | A. Metode                                                                                                                     | 27 |
|             | B. Resultate                                                                                                                  | 28 |
|             | C. Bespreking van resultate                                                                                                   | 36 |
| Hoofstuk 4: | Katioonuitruiling in kleisuspensies in<br>teenwoordigheid van afgesnyde mieliewortels                                         |    |
|             | A. Metode                                                                                                                     | 40 |
|             | B. Resultate                                                                                                                  | 41 |
|             | C. Bespreking van resultate                                                                                                   | 46 |
| Hoofstuk 5: | Algemene bespreking van resultate                                                                                             | 51 |
| Hoofstuk 6: | Opsomming                                                                                                                     | 56 |
|             | Bedankings                                                                                                                    | 58 |
|             | Literatuurverwysings                                                                                                          | 59 |
|             | Bylae                                                                                                                         | 63 |

## HOOFSTUK 1

### Inleiding

#### A. Algemeen

"Soils are mixtures of mineral and organic matter that are capable of supporting plant life!" So beskryf Thompson (1957) die boonste verweerde gedeelte van die aarkors waarin plante kan groei. In die landbou is dit van groot belang om die grond, as medium waarop gewasse verbou word, saam met die gewas te bestudeer sodat 'n beter begrip van die reaksies van die lewende plante op die dinamiese grondsisteem verkry kan word.

Een van die belangrikste funksies van grond is die verskaffing van water en voedingstowwe aan plante. 'n Studie van grondvrugbaarheid het dan ook hoofsaaklik te doen met die mineraalvoeding van plante, dit wil sê die hoeveelheid en beskikbaarheid van die minerale wat die plant nodig het. Alhoewel al die makro- en mikro-elemente wat plante vir groei nodig het, dikwels in voldoende hoeveelhede in die grond voorkom, is sommige elemente net gedeeltelik vir plante beskikbaar of selfs glad nie. Voor- dat 'n bevredigende oplossing vir grondvrugbaarheidsprobleme gevind kan word, moet die reaksies tussen plante en die verskillende samestellende dele van grond ondersoek word.

Grond is 'n komplekse sisteem met 'n vaste en 'n vloeibare fase wat in 'n gedurige wisselwerking met mekaar is. Die vaste fase het 'n relatief groot soortlike oppervlak, sodat die vloeibare fase binne bereik is van die adsorpsiekrigte van 'n groot gedeelte van die vaste fase. Die chemiese ewewig in die grond word dus bepaal deur die grondoplossing en die adsorpsiekompleks.

Plante neem hulle voedingstowwe uit die grondoplossing op. Die samestelling van die grondoplossing word beïnvloed deur die adsorpsiekompleks. Die voeding van die plant hang dus nie net af van die samestelling van die grondoplossing nie maar ook van die relatiewe verhouding van voedingstowwe in geadsorbeerde toestand

(Stout/

(Stout & Overstreet, 1950).

Onder gewasverbouwing word die ewewig in die grond versteur deur die ione wat groeiende plante uit die grondoplossing opneem. Die sisteem grond - grondoplossing - plant kan as volg voorgestel word: Adsorpsiekompleks  $\rightleftharpoons$  Grondoplossing  $\longrightarrow$  Plant.

Deur die toediening van kunsmis as aanvullende plantvoedingstowwe word die konsentrasie van die grondoplossing en die verhouding van geadsorbeerde ione op die adsorpsiekompleks verander om die beskikbaarheid van die voedingstowwe te verbeter (Stout & Overstreet, 1950). Dit is duidelik dat die hele probleem van beskikbare plantvoedingstowwe en voedselopname deur plante baie nou saamhang met die aard van die adsorpsiekompleks. Om 'n indruk te kry van die vrugbaarheids-toestand van grond, is dit dus nodig om die invloed van die adsorpsiekompleks op die groei van plante te bestudeer.

#### B. Die adsorpsiekompleks van grond

Die vaste fase van 'n grond bestaan uit anorganiese en organiese materiaal. In 'n verteenwoordigende mineraal-bogrand is die organiese materiaalinhoud slegs sowat 2 - 5% per gewig (Lyon & Buckman, 1937). Dit bestaan hoofsaaklik uit makro-molekulêre humienverbindings. Die anorganiese materiaal kan volgens grootte van die mineraaldeeltjies in sand, slied en klei onderverdeel word.

Die sand- en sliedfraksies is oorblyfsels van primêre minerale (kwarts, veldspaat e.a.) in fyn verdeelde toestand. Hierdie fraksies is relatief onaktief. Shive (1920) het aangetoon dat adsorpsie deur sand onvoldoende is om die reaksie of totale soutkonsentrasie van ione in oplossing te verander. Die kleifraksie bestaan hoofsaaklik uit sekondêre minerale wat ontstaan het uit die verwerking van primêre minerale. Deur fisiese verwerking word die primêre minerale opgebreek in fyn fragmente wat daarna deur chemiese verwerking verander en weer tot nuwe minerale deur rekristallasie van sekere van die ontbindingsprodukte opgebou kan word. Hierdie sekondêre minerale word klei-

minerale/

minerale genoem. Dit is meer weerstandbiedend teen verwerking as primêre minerale van vergelykbare grootte, en kom nooit in onverweerde gesteentes voor nie (Russell, 1950).

Alle mineraaldeeltjies kleiner as  $2\mu$  word by die kleifraksie ingesluit. Die growwer fraksie ( $0.5 - 2\mu$ ) kan kwarts en ander nie-kleimineraaldeeltjies insluit, maar die fyner fraksie, wat die grootste persentasie uitmaak, is net kleiminerale. Toth (1955) wys daarop dat die meeste kleiminerale binne die gebied van kolloïdale deeltjies ( $0.5\mu - 1.0\mu$ ) val, sodat baie van die eienskappe van kleiminerale toe te skryf is aan die kolloïdale aard daarvan.

Die adsorpsiekompleks van grond bestaan uit die klei- en humusfraksies. Aandag sal egter net gegee word aan kleiminerale as die aktiewe gedeelte van die anorganiese materiaal.

### C. Kleiminerale

Grim (1953) gee 'n baie goeie beskrywing van die struktuur en eienskappe van kleiminerale.

Kleiminerale is aluminiumsilikate waarvan die atoomtralie opgebou is uit twee strukturele eenhede. Een eenheid bestaan uit twee plate diggepakte suurstof- en hidroksielione waartussen aluminium in oktaedriese koördinasie geleë is. Die aluminiumioon is dus ewe ver van ses suurstof- of hidroksielione. Die ander eenheid bestaan uit silikatetraeders wat gerangskik is om 'n heksagonale netwerk te gee. In die tetraeders, waarvan die punte almal in dieselfde rigting wys, is die silikonatome ewe ver van vier suurstof- of hidroksielione.

Die kleiminerale kan in twee hoofgroepe ingedeel word:

(i) Tweelaagtipe: Dit het 'n plaatstruktuur bestaande uit een laag aluminiumoktaeders en een laag silikatetraeders wat so verbind is dat die toppe van die tetraeders en een van die oktaedrale plate gemeenskaplike suurstofione het. Die kaolinitminerale het hierdie struktuur met teoretiese formule  $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ .

(ii)/

(ii) Drielaagtype: Montmorilloniet is 'n voorbeeld hiervan. Dit bestaan uit een laag aluminiumoktaeders wat aan weerskante met silikatetraeders verbind is op dieselfde manier as in die geval van kaolinite. Die teoretiese formule is  $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Aangesien kleiminerale kolloïdaal is, het dit die volgende eienskappe van kolloïdale deeltjies (Lyon & Buckman, 1937):

- (i) Groot effektiewe oppervlak;
- (ii) Kapasiteit om vaste stowwe, soute in oplossing en gasse vas te hou;
- (iii) Katalise, dit is die neiging om 'n chemiese reaksie te versnel of te vertraag.

'n Paar eienskappe wat in kaolinite en montmorilloniet verskil, word kortliks vergelyk (Grim, 1953):

- (i) Water en ander polêre molekules kan tussen die strukturele eenhede van montmorilloniet ingaan sodat die eenhede vanmekaar gedruk word. Hierdie swelling kom nie by kaolinite voor nie.
- (ii) Isomorfe substitusie kan in die verskillende eenhede van die kristaltralie plaasvind.  $\text{Al}^{3+}$  kan vervang word met bv.  $\text{Fe}^{3+}$  of  $\text{Mg}^{2+}$  en  $\text{Si}^{4+}$  kan vervang word met bv.  $\text{Al}^{3+}$ . Kaolinite toon selde substitusie, maar in montmorilloniet kom dit so baie voor dat die samestelling volgens die teoretiese formule nooit in die praktyk voorkom nie.
- (iii) Montmorilloniet breek af tot deeltjies met feitlik eenheidselgrootte. Kaolinite word baie moeilik in klein deeltjies opgebreek.
- (iv) As gevolg van die struktuur is die effektiewe oppervlak van montmorilloniet baie groter as dié van kaolinite. Die adsorpsievermoë van montmorilloniet, soos weergegee deur die katioonuitruilingskapasiteit, is dus heelwat groter as dié van kaolinite.

#### D. Katïoonuitruiling en uitruilingskapasiteit

Die katione wat deur kleiminerale geadsorbeer word, word in 'n uitruilbare toestand buite die strukturele eenhede gehou. Die uitruilingsreaksie affekteer gewoonlik nie die struktuur nie. Volgens Stout & Overstreet (1950) is katïoonuitruiling die vaslegging of adsorpsie van anorganiese katione uit die grondoplossing op die oppervlak van die kolloïdale kleideeltjies, en die vrylating daarvan aan die grondoplossing.

Kelley (1948) gee 'n goeie oorsig van die historiese ontwikkeling van katïoonuitruiling. Grobler (1956) beskryf dit ook kortliks en haal die volgende empiriese reëls van Kunin & Myers (1950) vir ionuitruiling aan:

- (i) By lae konsentrasies in waterige oplossings neem die uitruiling met stygende valensie van die uitruilende ion toe, bv.  $\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Al}^{3+}$ .
- (ii) By lae konsentrasies in waterige oplossings neem die uitruiling met atoomnommer toe indien die temperatuur en valenstoestand konstant bly, bv.  $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$  en  $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Ba}^{2+}$ .
- (iii) By hoë konsentrasies word die verskille in uitruilingspotensiale van ione met verskillende valensie kleiner, sodat die orde selfs kan omkeer.
- (iv) By hoë temperatuur en konsentrasies word die verskil in uitruilpotensiale tussen ione met dieselfde valensie, maar groter atoomnommer, nie groter nie, maar bly dieselfde en kan selfs verminder.
- (v) Die uitruilingspotensiaal van die waterstof- (oksonium) en hidroksielione varieer aansienlik volgens die aard van die teë-ion. Hoe sterker die suur of basis, hoe laer die potensiaal.

'n Omvattende ondersoek na ionuitruiling met spesiale verwysing na die toestande in die grond is deur Wiklander (1946) onderneem. Met betrekking tot kleiminerale wys Wiklander (1946, 1955) en Marshall

(1949) daarop dat dit dikwels gevind is dat die vervangings<sup>3</sup>krag van katione in dieselfde orde as die liotroopreeks toeneem en dat valensie en hidrasie die twee belangrikste faktore is. Dit stem ooreen met die empiriese reëls van Kunin & Myers. Die orde van vervanging hang egter af van 'n hele aantal ander faktore soos eksperimentele kondisies, katioonuitruilingskapasiteit, aard en konsentrasie van vervangende katione en katione wat uitruilposisies beset, aard van die anioon in oplossing en die tipe kleimineraal. Bogenoemde skrywers kom dan ook tot die gevolgtrekking dat daar geen definitiewe orde vir die vervanging van katione op kleiminerale is nie.

Die katioonuitruilingskapasiteit is die maksimum aantal geadsorbeerde katione wat deur kleiminerale van 'n gegewe gewig gehou kan word. Dit word gewoonlik uitgedruk as milli-ekwivalente per 100 gram. Die katioonuitruilingskapasiteit het nie 'n vaste waarde nie, behalwe onder konstante kondisies. Dit word gewoonlik bepaal by  $pH \approx 7$ . Behalwe die pH kan ander faktore soos deeltjiegrootte, traliedistorsie, belemmering van uitruilposisies en die aard van die katione die uitruilingskapasiteit laat varieer. As gevolg van hierdie variasie word die katioonuitruilingskapasiteit van kleiminerale oor 'n sekere gebied aangegee, bv. dié van kaolinite is 3-15 me per 100 gram, en die van montmorilloniet 80-150 me per 100 gram (Grim, 1953).

Die vernaamste oorsake vir die uitruilingskapasiteit van kleiminerale is die volgende:

- (i) Gebreke bande rondom die kante van strukturele eenhede veroorsaak negatiewe ladings wat deur uitruilbare katione gebalanseer moet word. Dit is die vernaamste oorsake vir die katioonuitruilingskapasiteit van kaolinite, maar slegs 20% van dié van montmorilloniet. Die grootte van die deeltjies speel hier 'n baie belangrike rol.
- (ii) Substitusies in die kristaltralie met ione van laer valensies, bv.  $Al^{3+}$  vir  $Si^{4+}$  of  $Mg^{2+}$  vir  $Al^{3+}$ , veroorsaak ongebalanseerde ladings. Soms word hierdie substitusies gebalanseer/

gebalanseer deur ander tralieveranderinge, bv.  $\text{OH}^-$  vir  $\text{O}^{2-}$ , maar gewoonlik word dit gebalanseer deur geadsorbeerde katione. Sowat 80% van die totale katioonuitruilingskapasiteit van montmorilloniet word hierdeur veroorsaak.

- (iii) Die waterstof van blootgestelde hidroksielione kan vervang word deur 'n kation wat uitruilbaar is. Dit kom veral by kaolieniet voor.

#### E. Die verspreide dubbellaag van klei

Vir elektriese neutraliteit is dit nodig dat die negatiewe ladinge op die kleideeltjies deur 'n ekwivalente hoeveelheid van die teenoorgestelde gelaaide ione, die uitruilbare katione, geneutraliseer moet word. Die uitruilbare katione word op die kleioppervlak deur Coulombkragte vasgehou. 'n Elektriese dubbellaag word dus gevorm.

In 'n kleisuspensie is die uitruilbare katione as gevolg van termiese beweging versprei in die vloeibare fase wat die vaste fase omring. Die aantrekkende Coulombkragte veroorsaak egter dat die katione net oor 'n sekere afstand rondom die kleideeltjies versprei is. In werklikheid bestaan daar dus 'n verspreide dubbellaag rondom die kleideeltjies. Daar bestaan ook 'n definitiewe verwantskap tussen die relatiewe hoeveelhede katione wat op die oppervlak van die kleideeltjies geadsorbeer is, en die samestelling van die oplossing wat die kleideeltjies omring.

Die struktuur van die dubbellaag is van groot belang as 'n mens die kolloïdale gedrag van kleisuspensies wil verstaan. Die vernaamste twee teorieë waarmee geprobeer word om die dubbellaagstruktuur te verklaar, is die teorieë van Donnan en Gouy.

#### (i) Die Donnan-ewewig

In hulle studies van die kolloïdale gedrag van grond het veral Mattson (1931), Mattson & Wiklander (1940) en Wiklander (1946) die aandag op die Donnan-ewewig gevestig. In werklikheid is daar geen Donnan-ewewig tussen die kolloïdale kleideeltjies en die/

die grondoplossing nie, omdat daar geen membraan tussenin is nie. Deur die toepassing van die beginsels van hierdie ewewig kan verskeie kolloïdale reaksies, soos bv. die verspreiding van mono- en divalente ione tussen die oplossing en die kolloïedkompleks, egter verklaar word.

'n Toestand van ewewig vir 'n stelsel met 'n membraan wat vir een ioonspesie ondeurdringbaar is, is in 1911 deur Donnan geformuleer. In so 'n toestand word 'n binne- en buite-oplossing wat deur 'n membraan vanmekaar geskei word, beskou. Alle ione behalwe die nie-diffundeerbare ioon, kan vry deur die membraan beweeg, sodat die chemiese potensiaal van die stowwe aan weerskante van die membraan by ewewig dieselfde is.

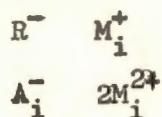
Ons het reeds gesien dat 'n kolloïdale kleideeltjie in 'n kleisuspensie bestaan uit 'n negatief gelaaide kern wat deur 'n ioonswarm van uitruilbare katione omring is. Die uitruilbare ione is oor 'n kort afstand versprei, maar dit word direk deur die negatiewe kleikolloïed aangetrek. Dit word die binne-oplossing genoem. Verder weg is die ewewigoplossing (buite-oplossing) wat 'n konstante samestelling het en waarin die katione vry beweeg, omdat dit buite die gebied van aantrekking deur die kleikolloïed is. Hoewel daar geen werklike membraan is nie, tree die ione van die binne-oplossing en die buite-oplossing op asof hulle deur 'n membraan geskei word, met die kleikolloïed as die nie-diffundeerbare ioon. Die reëls van die Donnan-ewewig kan dus op die verspreiding van die ione om die kleikolloïede toegepas word.

Schuffelen (Schuffelen & Middelburg, 1953) het die volgende matematiese vergelykings opgestel om die teoretiese begrip van die Donnan-ewewig in die grond te ondersteun.

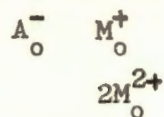
Veronderstel 'n stelsel van mono- en divalente katione ( $M^+$  en  $M^{2+}$ ) en monovalente anione ( $A^-$ ) met die kolloïdale  
kleikompleks/

kleikompleks  $R^-$ . Die katione en anione word in mole per liter uitgedruk en die kompleks in ekwivalente per liter. Die volgende toestand word dan verkry:

Binne-oplossing



Buite-oplossing



Vir elektriese neutraliteit geld die volgende:

$$\text{Binne-oplossing: } M_i^+ + 2M_i^{2+} = A_i^- + R^- \quad (1)$$

$$\text{Buite-oplossing: } M_o^+ + 2M_o^{2+} = A_o^- \quad (2)$$

As aanvaar word dat die oplossings verdun is, kan aktiwiteit deur konsentrasie vervang word, sodat die verhouding van ione in die binne-oplossing en buite-oplossing as volg voorgestel kan word:

$$\frac{M_i^+}{M_o^+} = \frac{\sqrt{M_i^{2+}}}{\sqrt{M_o^{2+}}} = \frac{A_o^-}{A_i^-} = K \quad (3)$$

Uit (3) kry ons die volgende:

$$M_i^{2+} = K^2 M_o^{2+} \quad ; \quad M_i^+ = K M_o^+$$

$$\text{en } A_i^- = \frac{A_o^-}{K} \quad (4)$$

Uit vergelykings (1), (2) en (4) kan die volgende afgelei word:

$$\begin{aligned} K M_o^+ + 2K^2 M_o^{2+} &= \frac{A_o^-}{K} + R^- \\ &= \frac{M_o^+ + 2M_o^{2+}}{K} + R^- \\ R^- &= K M_o^+ - \frac{M_o^+}{K} + 2K^2 M_o^{2+} - \frac{2M_o^{2+}}{K} \\ &= \left(K - \frac{1}{K}\right) M_o^+ + 2\left(K^2 - \frac{1}{K}\right) M_o^{2+} \end{aligned} \quad (5)$$

(Die konsentrasie van  $R^-$  gee die uitruilingskapasiteit van die klei aan, want die kleikolloïed is die nie-diffundeerbare ioon).

Deur middel van matematiese en grafiese berekenings het Schuffelen 'n grafiek opgestel waaruit dit duidelik blyk dat die verhouding van  $R^-$  tot die konsentrasie van katione in die buite-oplossing,  $R^-/(M_0^+ + 2M_0^{2+})$ , 'n groot invloed het op die verhouding van mono- en divalente katione in die buite-oplossing.

Mattson & Wiklander (1940) en Mattson & Larsson (1946) het met behulp van eksperimentele gegewens die toepassing van die Donnan-ewewig bewys. Hulle het ook aangetoon dat die gevolgtrekkings uit die toepassing van die Donnan-ewewig op grondtoestande deur analitiese gegewens van verskillende oorspronge ondersteun word. Davis (1942) het 'n kritiese ondersoek na die toepassing van die Donnan-ewewig in kleisisteme ingestel en tot die gevolgtrekking gekom dat die belangrikheid daarvan dikwels oorbeklemtoon word, maar dat dit by die studie van sekere kolloïdale eienskappe van groot waarde is.

#### (ii) Die Gouy-teorie

Gouy het in 1910 die teorie van 'n verspreide dubbellaag op 'n plat vlak ontwikkel. Onafhanklik van Gouy het Chapman later dieselfde teorie ontwikkel. Die teorie word ook dikwels as die Gouy-Chapman-teorie beskryf. Die konsentrasie van teë-ione is die hoogste in die onmiddellike omgewing van die vlak, maar dit verminder aanvanklik vinnig en later asimtoties met vermeerdering van die afstand tussen die ione en die vlak.

Bolt & Peck (1953) het aangetoon hoe die Gouy-teorie gebruik kan word om die eienskappe van grond- en kleisuspensies te beskryf. Die volumeladingsdigtheid en die potensiaalverspreiding vir 'n enkele laag kleideeltjies kan bereken word as die ladingsdigtheid op die kleideeltjies en die konsentrasie van vry elektroliet bekend is. Dit is ook moontlik om meetbare groot-

hede/

hede soos negatiewe adsorpsie, osmotiese druk en membraanpotensiaal deur die toepassing van hierdie teorie te bereken. Negatiewe adsorpsie kan bereken word, want beide katione en anione kom volgens hierdie teorie in die verspreide dubbellaag voor. Hierin lê juis een van die vernaamste verskille tussen Gouy en Donnan se teorieë.

Net soos in die vorige geval ondersteun eksperimentele bewyse die teorie (Schofield, 1947; Bolt, 1955).

(iii) Vergelyking van die teorieë

Die vernaamste verskil tussen die teorieë van Donnan en Gouy lê in die struktuur van die dubbellaag. In die Donnan-teorie word 'n homogene ladingsverspreiding in die dubbellaag voorgestel, terwyl die Gouy-teorie 'n heterogene ladingsverspreiding aanneem. In laasgenoemde geval word negatiewe adsorpsie ook in ag geneem. Dit beteken dat anione wat met die uitruilbare katione geassosieer is, ook in die dubbellaag voorkom. Die anione word egter deur die negatief gelaaide kleikolloïed afgestoot, sodat die adsorpsie tot nul op die oppervlak van die kleikolloïed afneem. Die ioonverspreiding in die verspreide dubbellaag kan volgens die twee teorieë skematies as volg voorgestel word:

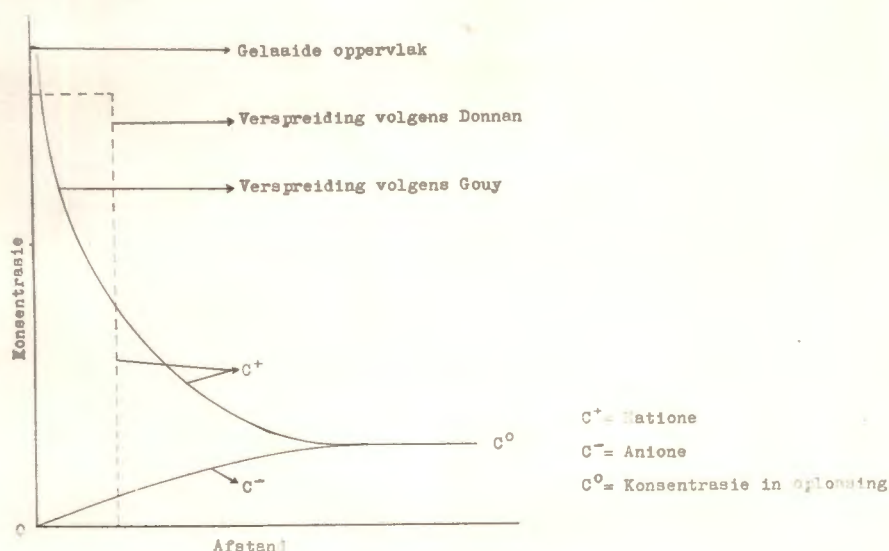
Figuur 1 op bladsy 12

Sekere fundamentele aannames moet in albei gevalle gemaak word om die vergelykings te kan aflei. Al twee teorieë sal dus sekere tekortkomings hê. Die Donnan-teorie aanvaar bv. 'n homogene dubbellaag, maar maak geen aanname oor die struktuur van die uitruiler nie. Die Gouy-teorie se heterogene dubbellaag is nader aan die werklikheid, maar dit aanvaar 'n uitruiler met 'n groot plat vlak. In 'n baie verdunde kleisuspensie is die Gouy-teorie meer akkuraat, terwyl die Donnan-teorie in 'n gekonsentreerde kleisuspensie waarskynlik betroubaarder sal wees.

Albei teorieë voorspel sekere verwantskappe tussen verskillende/

lende eienskappe van die stelsels. Die noukeurigheid van die voorspellings, gestaaf deur eksperimentele bewyse, toets die toepasbaarheid van elke teorie. In hulle artikel het Bolt & Peech (1953) 'n kritiese vergelyking van die twee teorieë gemaak. In die stelsel wat hulle bestudeer het, het die Gouy-teorie die beste resultate gelever. In daardie geval was dit dus verkieslik bo die Donnan-teorie.

FIGUUR 1



#### F. Die belangrikheid van kleimineraal en katioonuitruiling in grond

Daar is reeds op gelot dat kleimineraal een van die belangrikste dele van die adsorpsiekompleks in die grond is omdat die kleifraksie hoofsaaklik uit kleimineraal bestaan. Behalwe die tipe kleimineraal wat tot groot hoogte die uitruilingskapasiteit en dus die adsorpsievermoë van die grond bepaal, word die eienskappe van grond ook deur die uitruilbare ione bepaal.

Die vernaamste uitruilbare ione op natuurlike kleimineralen is  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{Na}^+$ , gewoonlik in hierdie orde van hoeveelheid (Grim, 1953). Dit sluit van die vernaamste plantvoedingstowwe in. Die uitruilbare katione word deur bv.  $\text{H}^+$  van biologiese oorsprong uitgeruil en dit stel dan die voedingsione aan die grondoplossing vir opname deur plante beskikbaar (Stout & Overstreet, 1950).

Grond is suur as daar 'n oormaat geadsorbeerde  $\text{H}^+$ -ione in die grond is. Kleimineralen as deel van die adsorpsiekompleks kom hier dus ook in die gedrang. Grondsuurheid kan verbeter word deur  $\text{H}^+$  met  $\text{Ca}^{2+}$  deur middel van kalktoedienings te vervang. Die veranderinge in die verhouding van geadsorbeerde katione veroorsaak groot veranderinge in die plantsamestelling (Van Itallie, 1938). Die oorsaak van die onbesikbaarheid van plantvoedingstowwe lê ook by sekere kleimineralen wat katione adsorbeer in nie-uitruilbare of moeilik uitruilbare toestand.

Uit die voorgaande besprekings is dit duidelik dat kleimineralen en katioonuitruiling in 'n studie van grondvrugbaarheid baie belangrik is. Marshall (1935) het tereg gesê dat katioonuitruiling, naas fotosintese, beskou moet word as "the most important chemical reaction in the whole domain of agriculture".

#### G. Omvang van ondersoek

Die doel van hierdie ondersoek was om 'n studie te maak van die invloed van natuurlike uitruilers soos kleimineralen op die ontkieming en groei van plante. Op hierdie gebied is nog betreklik min navorsing gedoen.

Suiwer kleimineralen was nie beskikbaar nie. Die kleie kaolien en bentoniet, wat hoofsaaklik uit kaolieniet en montmorilloniet bestaan, is derhalwe gebruik. Uit die gegewens van van der Merwe & Heystek (1952, 1955a, 1955b, 1956) wat die kleimineralen in Suid-Afrikaanse grongroepe ondersoek het, blyk dit dat hierdie twee tipes kleimineralen algemeen voorkom. Vanselow (1932) het ook aangetoon dat die uitruilingsreaksies van bentonietkleie en dié van grond opvallend gelyksoortig is.

Omdat/

Omdat daar so baie faktore is wat by die groei van plante 'n rol speel, is die proewe uitgevoer met soveel faktore as moontlik konstant. Die variërende faktore was die tipe klei, die konsentrasie van klei in suspensie en die geadsorbeerde katione.

Mielies, die vernaamste landbougewas in die hoëveldstreek, is vir die ondersoek gebruik.

Die eerste stel proewe is opgestel om verskille in wortelontwikkeling in kleisuspensies met verskillende katioonversadigings na te gaan. Die verskille is deur fotografering en meting van wortel- en stingellengtes vasgestel.

In die tweede stel proewe is spesifieke hoeveelhede van die twee tipes klei met verskillende katioonversadigings gebruik. Afgesnyde mieliewortels is vyf uur lank in die kleisuspensies geplaas. Die mieliewortels en ewewigsoplossings van die suspensies is daarna ontleed om die beweging van katione na te gaan en om sodoende vas te stel of dit 'n moontlike oorsaak vir die groeiverskille van die saailinge kon wees.

## HOOFSTUK 2

### Eksperimentele besonderhede

#### A. Material

##### (i) Gewas

Aanvanklik is die suiwer lyn mielie K64 as toetsgewas gebruik. Die wortelontwikkeling was baie onegalig en swambesmetting wat nie merkbaar deur behandeling met kwikchloried (1:1000) en formalien (1:3) verminder is nie, het voorgekom. Die kommersieel behandelde topkruis P.P.xK64r. wat baie meer egalige wortelontwikkeling sonder swambesmetting gegee het, is daarna vir al die proewe gebruik.

Die sade is met behulp van 'n stel siwwe uitgesoek. Slegs groot plat sade, breër as 3/8 duim met 'n dikte van net minder as 3/16 duim, en sonder barsies of letsels in die huidvliesies is gebruik.

##### (ii) Klei

In hierdie ondersoek is twee tipes klei, "Kaolin" en "Ocean Bentonite" gebruik. Die klei is verkaf deur "G. & W. Base and Industrial Minerals (Pty.) Ltd". Die uitruilingskapasiteit van die klei is as  $\pm 18$  en  $\pm 94$  me per 100 gram onderskeidelik aangegee.

##### (a) Kaolien

Kaolienklei word in die meeste gevalle gekarakteriseer deur die mineraal kaoliniet. Hierdie tipe klei bestaan in werklikheid uit drie tipes kleiminerale waarvan kaoliniet die vernaamste is. Dit het 'n lae ysterinhoud en is gewoonlik wit of feitlik wit van kleur (Grim, 1953).

Die mineraal kaoliniet kom algemeen voor in grond van warm, vogtige klimaatstreke. Dit is gewoonlik sterk verweerde, goed geloogde suur grond. Die meeste kleie bevat kaoliniet as een van die kleiminerale, maar dit kom in effens verweerde materiaal min voor. Dit word algemeen aanvaar dat alle drielaagkleiminerale uiteindelik/

uiteindelik tot kaoliniet verweer. Volgens Thompson (1957) verteenwoordig kaoliniet dikwels 'n ou stadium in 'n verweringsiklus, waar dit die enigste kleimineraal is wat saam met kwarts en vry aluminium- en ysteroksiedes voorkom. Dit beteken nie dat alle kaolinietminerale 'n ou stadium van vertering aantoon nie, want dit kan ook direk uit die rekristallisering van die verteringsprodukte van primêre minerale gevorm word.

(b) Bentoniet

Volgens Grim (1953) is die benaming bentoniet aanvanklik gebruik om 'n hoogs kolloïdale, plastiese klei te beskryf. Dit het die unieke eienskap van swelling tot verskeie kere die oorspronklike volume indien dit in water geplaas word. Selfs 'n klein hoeveelheid van die klei in water vorm 'n tiksotrope jel.

Bentoniet word gevorm deur die verandering van vulkaniese as in sit<sup>u</sup>. Dit bestaan hoofsaaklik uit montmorilloniet, hoewel klein hoeveelhede van ander kleiminerale ook teenwoordig kan wees. Die kleur varieer van wit tot grys, geel, groen, blou en swart. Die ligter kleure is meer algemeen en die bentoniet wat in hierdie geval gebruik is, was effens grys van kleur.

Die aanduidings is dat bentoniet net gevorm word indien die vulkaniese as in mere of see afgeset word. Die aard van die montmorilloniet waaruit bentoniet bestaan, word bepaal deur die water waarin die asafsettings plaasgevind het. Die verandering vind blykbaar gelyktydig of kort na afsetting plaas.

Dit is dus nie 'n gewone verteringsproses nie.

(iii) Water

Gedistilleerde water is deurgaans gebruik vir alle bepalinge en as kontrole in al die proewe.

(iv) Reagense

Slegs die analitiese reagense Analar of Riedel de Haën is gebruik./

gebruik.

B. Apparaat

(i) Glasware

Pyrex-glasware is deurgaans gebruik met Technico-pipette en -burette. Die maatflesse, pipette en burette was almal graad B.

(ii) Sentrifuge

Vir sentrifugering is gebruik gemaak van 'n MSE Super-Medium-sentrifuge met plastiese houers wat elk 250 ml kan hou. Al die monsters is teen 3000 omwentelinge per minuut uitgeswaai.

(iii) Skudapparaat

'n Gyrotory Shaker met 'n termostatiese waterbad is as skudapparaat gebruik. Dit het 'n egalige draaibeweging in die rondte en kan gestel word om teen verskillende snelhede te draai.

(iv) PH-meter

'n Beckman pH-meter model G, met glas- en kalomel-olektrodes is vir die pH-bepalings gebruik.

(v) Spektrofotometer

'n Zeiss-spektrofotometer met bykomstige vlamtoebehore is vir die spektrofotometriese en vlamfotometriese bepalinge van die katione gebruik.

(vi) Broeikas

Al die proewe is uitgevoer in 'n Heraeus-broeikas by 'n temperatuur van  $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Die broeikas het nie 'n ingeboude verkoelingstelsel nie, maar die temperatuur was nooit bokant  $28^{\circ}\text{C}$  nie.

C. Ontleding van die plantwortels, oplossings en suspensies

(i) Droëgewigbepalings

Die wortels wat vir die verskillende behandelings gebruik is, is in lengtes van ongeveer een duim gesny. Na behandeling is die wortels in geweegde 150 ml-kegelflesse met ingeslypte nekke geplaas en by  $95^{\circ}\text{C}$

tot/

tot konstante gewig gedroog.

(ii) Natverassing van plantwortels

Die wortels is, met effense wysigings, veras volgens die metode soos beskryf deur Lagerwerff (1956). Vyf ml gekonsentreerde  $\text{HNO}_3$  is by die gedroogde wortels in die kegelflesse gevoeg en op 'n sandbak op 'n matige warmplaat geplaas. Nadat die vrystelling van bruin dampe opgehou het, is 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  in hoeveelhede van 1 ml bygevoeg totdat die oplossing heeltemal kleurloos was. Gewoonlik was 3 ml voldoende. Daarna is die fles binne goed met water afgespoel. Die oplossing is drooggedamp, opgeneem in 1 ml verdunde  $\text{HCl}$  en tot 100 ml in 'n maatfles verdun.

(iii) Was van wortels

(a) Wortels in suiwer oplossings

Die wortels en oplossings is op 'n filtreerpapier in 'n Buchner-tregter wat met 'n waterstraalsuigpomp verbind was, gegooi en met 100 ml water afgespoel. Die oplossing en waswater is behou. Die wortels is in 'n beker met 100 ml water geplaas en vir drie minute geskud. Daarna is dit op die filtreerpapier in die Buchner-tregter teruggegooi en weer met 100 ml water gewas.

Die oplossing en eerste 100 ml waswater is op 'n matige warmplaat ingedamp en tot 100 ml in 'n maatfles verdun.

Die wortels is vir droging in 'n kegelfles van 150 ml geplaas en veras soos reeds beskryf.

(b) Wortels in kleisuspensies

'n Buchner-tregter met fyn gaatjies is hier gebruik. Die wortels en suspensies is sonder filtreerpapier daarop gegooi en met 100 ml water gewas. Die wortels is daarna in 'n beker met 100 ml water geplaas, verder gewas, gedroog en veras soos in die vorige geval.

Die suspensie plus 100 ml waswater is gesentrifugeer,  
die/

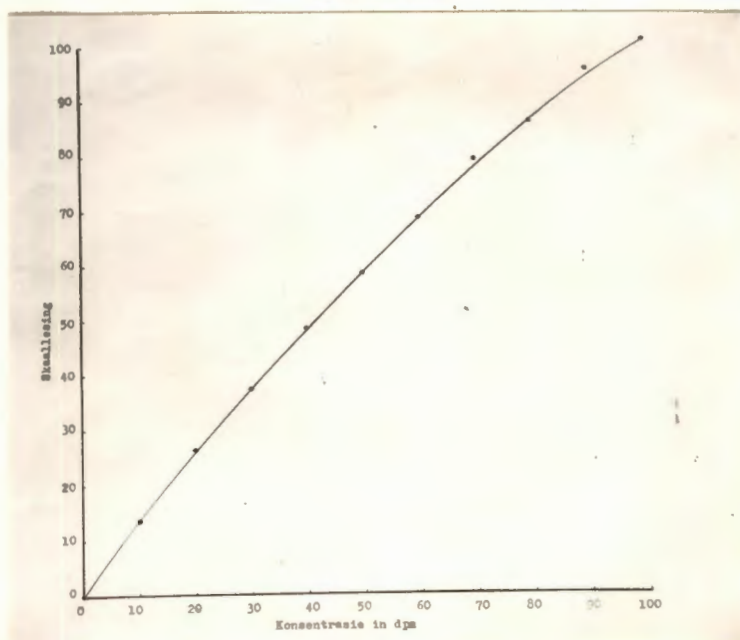
die bovloeistof ingedamp, in die suspensie teruggewas en tot 100 ml verdun. Dit het dan weer 'n suspensie met die oorspronklike kleikonsentrasie gegee. Die ewewigsoplossing van hierdie suspensies is vir die bepaling van die katione gebruik.

(iv) Bepaling van katione

(a) Kalium

Kalium is vlamfotometries bepaal volgens die metode soos beskryf in Analytical Methods van die Afdeling Skeikundige Dienste. 'n Oplossing met 1000 dpm K is berei deur 1.9068 gm KCl in een liter water op te los. Hiermee is oplossings bevattende 10 - 100 dpm K berei en die emissie by 'n golflengte van 770 m $\mu$  gemeet. Met suiwer water as blanko is die apparaat ingestel om 'n skaallesing van 100 met 'n oplossing van 100 dpm K te gee. Teenoor die 100 dpm K as standaard is die uitwyking by die ander konsentrasie verkry. Uit hierdie gegewens is die standaardkromme (Figuur 2) saamgestel.

FIGUUR 2



Kalium standaardkromme

Uit die standaardkromme is die kaliumkonsentrasie in die verskillende monsters direk afgelees nadat die skaallesing verkry is.

(b) Kalsium

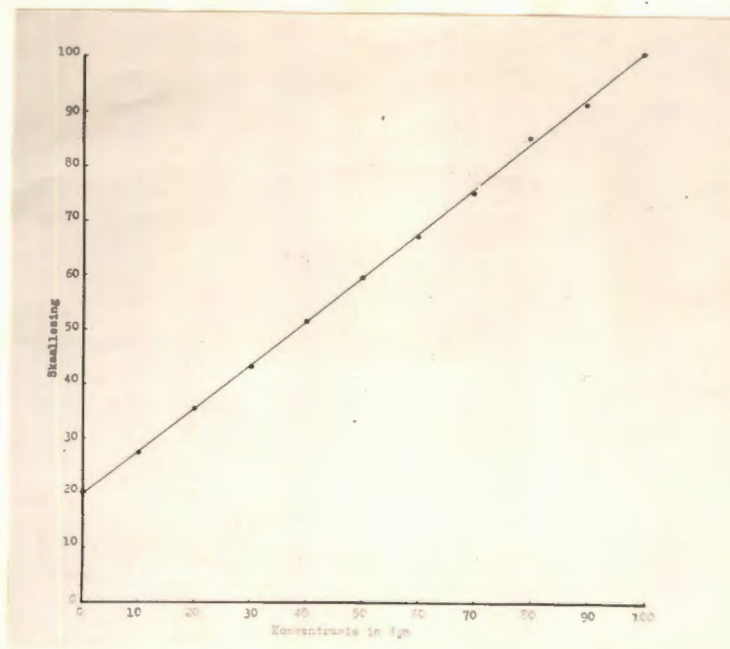
Kalsium is ook vlamfotometries bepaal en die kalsium-konsentrasie van die monsters van 'n standaardkromme net soos in die geval van kalium verkry. Pratt & Bradford (1960) het 'n metode vir die uitskakeling van die steurende invloed van magnesiumkonsentrasies op kalsiumbepalings beskryf. Daarin is aangetoon dat 'n magnesiumkonsentrasie van ongeveer 1700 dpm die steurende invloed uitskakel, want klein verskille in magnesiumkonsentrasie veroorsaak dan nie meer variërende kalsiumlesings nie. Die oormaat magnesium skakel ook die steurende invloed van fosfaat in plantmateriaal uit indien die kalsium-konsentrasie minder as 100 dpm is (Van Schouwenburg, 1961).

'n Oplossing met 1000 dpm Ca is berei deur 2.4973 gm  $\text{CaCO}_3$  in 'n biotjie HCl op te los en tot 1 liter te verdun. 'n Oplossing met 1700 dpm Mg is berei deur 34.13 gm  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  in 1 liter water op te los. Hieruit is oplossings met 10 - 100 dpm Ca en 1700 dpm Mg berei. Die emissie is by 'n golflengte van 423 m $\mu$  gemeet en die standaardkromme wat konsentrasie teenoor skaallesing aantoon, is hieruit saamgestel (Figuur 3).

Met water wat ook 1700 dpm Mg bevat het, as kontrole is die apparaat ingestel om 'n skaallesing van 100 vir 'n oplossing met 100 dpm Ca te gee. Aangesien die spleetopening by genoemde golflengte groot is, is 'n groot agtergrondlesing verkry wat verhoed het dat die kontrole op nul ingestel kon word. Die kontrole is dus ingestel op 'n skaallesing van 20. Teenoor die 100 dpm Ca as standaard is die uitwyking by die ander konsentrasies verkry.

Figuur 3 op bladsy 21

FIGUUR 3



Kalsium standaardkromme

(c) Magnesium

Magnesium is spektrofotometries bepaal volgens die titaangeelmetode. Dit is 'n effense wysiging van die metode soos beskryf deur Sandell (1950). By die monsters is die volgende reagentse in volgorde bygevoeg:

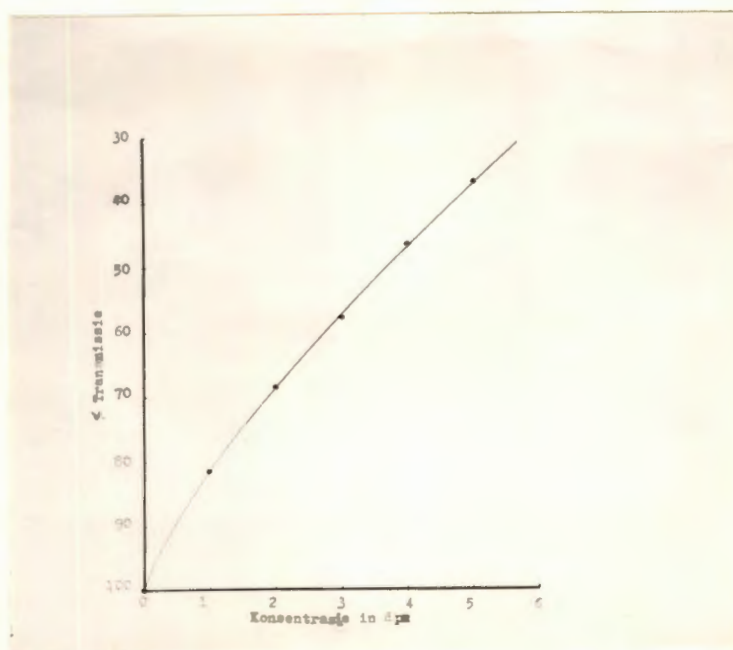
- 2 ml 5% hidroksielamienhidrochloried;
- 2 ml 0.15% titaangeel (daaglik vars berei);
- 10 ml 1% gelatienoplossing (daaglik vars berei);
- 10 ml 1 N NaOH.

Die NaOH veroorsaak die kleurontwikkeling en gedurende byvoeging is die flessie goed geskud. Na verdunning tot 100 ml is die transmissie teenoor 'n blanko monster by 525 m $\mu$  gemeet. Die blanko het slegs die reagentse, verdun tot 100 ml, bevat. Die bepaling is binne 1½ uur nadat die kleur ontwikkel is, gedoen.

Die/

Die magnesiumkonsentrasies van die onbekende monsters is van 'n standaardkromme wat konsentrasie teenoor transmissie aantoon, verkry. 'n Oplossing met 500 dpm Mg is berei deur 0.5gm magnesiummetaal in 'n bietjie HCl op te los en tot 1 liter te verdun. Hieruit is verdunnings van 1 - 5 dpm Mg berei en 'n standaardkromme opgestel uit die transmissie van die oplossings van verskillende magnesiumkonsentrasies (Figuur 4).

FIGUUR 4



#### Magnesium standaardkromme

##### (v) Bepaling van die katioonuitruilingskapasiteit van klei

Piper (1942) het 'n goeie oorsig van die verskillende metodes wat gebruik kan word vir die bepaling van die katioonuitruilingskapasiteit van grond en klei gegee. Een van die metodes wat redelik algemeen gebruik word, is die vervanging van uitruilbare katione met  $\text{NH}_4^+$  deur loging met neutrale  $\text{NH}_4\text{Ac}$  en die bepaling van  $\text{NH}_4^+$  in die grond of klei volgens die Kjeldahlmetode.

In genoemde metode word 'n pap van filtreerpapier onder in 'n  
filtreer-/

filtreertregter geplaas met suiwer gewaste sand en die monster bo-op. Die monster word dan met  $\text{NH}_4\text{Ac}$  uitgeloog. Hierdie metode is ongeskik vir die klei wat hier gebruik word, omdat die kolloïdale deeltjies ook deur die filtreerpapier gaan. Die metode is gewysig deur gebruik te maak van 'n sentrifuge. Die  $\text{NH}_4\text{Ac}$  is by die klei in 'n sentrifugeerbuis gevoeg, deeglik geskud en uitgeswaai. Hierdie proses is 'n paar keer herhaal. Daarna is die vry  $\text{NH}_4^+$  tussen die kleideeltjies met alkohol uitgewas voordat die geadsorbeerde  $\text{NH}_4^+$  bepaal is.

Geen werklik konstante waardes kon met hierdie metode verkry word nie, hoewel die waardes gewoonlik in die omgewing van 18 en 94 me per 100 gm was. Die vernaamste oorsaak vir die variasie lê waarskynlik by die wasproses. Indien al die vry  $\text{NH}_4^+$  nie verwyder is nie, word hoër waardes verkry, aangesien daar dan nie net geadsorbeerde  $\text{NH}_4^+$  bepaal word nie. Met al die vry ione verwyder, deflokkuleer die klei weer as gevolg van die afwesigheid daarvan, en dit veroorsaak kolloïdale deeltjies wat saam met die waswater verwyder word omdat dit nie gedurende sentrifugering uitsak nie. 'n Gewigsfout word dus veroorsaak.

Die gebruik van ander metodes wat die wasproses uitskakel of waar groter hoeveelhede klei gebruik word, sal waarskynlik meer akkurate waardes lewer. Aangesien die presiese uitruilingskapasiteit van die klei nie in hierdie geval van groot belang is nie, is die waardes soos deur die firma verskaf, aanvaar.

#### D. Voorbereiding van kleisuspensies

Kleisuspensies is volgens gewigspersentasie berei deur bv. 10 gm klei by 90 ml water te voeg teneinde 'n 10% suspensie te verkry. Die kleisuspensies bevat vry katione en anione wat verwyder moes word voordat enige invloed van geadsorbeerde ione ondersoek kon word.

##### (i) Verwydering van vry ione

Slegs kaolien is gebruik om metodes vir die verwydering van  
vry/

vry ione te ondersoek.

Met baie vry ione in die suspensie sak die klei volledig binne 'n paar uur uit. Sodra die konsentrasie van die vry ione afneem, neem dit 'n paar dae of selfs weke vir die klei om volledig uit te sak.

Sellofaanpapier is vir ione deurdringbaar, maar nie vir die kolloïdale klei nie. Daar is dus geprobeer om die vry ione te verwyder deur die klei in sakkies van sellofaanpapier te plaas en die sakkies in skoon water te hou. Die sellofaansakkies met klei daarin is in bekere met water in 'n skudapparaat geplaas en die water gereeld vervars. Die metode was onprakties as gevolg van die tydsduur voordat die vry ione verwyder is, en baie sakkies het gebreek as gevolg van die langdurige skudproses.

Die verwydering van vry ione is die maklikste en vinnigste deur middel van 'n sentrifuge gedoen. Ongeveer 100 ml kleisuspensie is in 'n sentrifugeerbuis gegooi, 'n verdere 100 ml water bygevoeg om die verdunningsinvloed te vergroot en die klei uitgeswaai. Na ongeveer 'n halfuur is die bovloeistof afgegooi en met gedistilleerde water vervang. Die proses is herhaal totdat alle vry ione verwyder was. Om dit vas te stel, is die bovloeistof vir die afwesigheid van anione getoets.

(ii) Bepaling van anione

Die twee tipes klei wat gebruik is, is getoets vir halogene, sulfaat, nitraat en fosfaat.

Die enigste anioon in die kaoliensuspensie was chloried. Met byvoeging van  $\text{AgNO}_3$  het 'n geskifte wit neerslag ontstaan wat oplosbaar was in  $\text{NH}_4\text{OH}$ , maar onoplosbaar in  $\text{HNO}_3$ .

Die bentonietsuspensie het net 'n positiewe toets vir sulfaat gegee. Met byvoeging van  $\text{BaCl}_2$  het 'n wit neerslag ontstaan wat in  $\text{HCl}$  onoplosbaar was.

Solank daar nog vry ione in die suspensie was, was die bovloeistof/

vloeistof ná sentrifugering heeltemal helder. Dit was egter nie die geval wanneer die vry ione verminder het nie. In daardie geval was daar nog kolloïdale kleideeltjies wat nie met sentrifugering uitgesak het nie. Die anione kon gevolglik nie direk bepaal word nie, want enige toetsoplossing wat bygevoeg is, het flokkulasie van die kolloïdale kleideeltjies veroorsaak.

Hierdie probleem is opgelos deur 'n paar druppels verdunde  $\text{HNO}_3$  by die ewewigoplossing te voeg. Dit het flokkulasie van die kleideeltjies veroorsaak sodat dié uitgeswaai kon word. Die bovloei-stof is dan vir chloried of sulfaat onderskeidelik getoets. Nadat die laaste spore van hierdie anione verdwyn het, is aangeneem dat die vry ione uit die kleisuspensie verwyder is.

### (iii) Kleikonsentrasies

Kaoliensuspensies van 5%, 10%, 20% en 30% is vir die ondersoek gebruik. Die kaolien meng maklik met water en swel nie as dit in water kom nie. Enige konsentrasie daarvan kan dus berei word.

In die geval van bentoniet is net drie konsentrasies gebruik, naamlik 1%, 2½% en 5%. Die rede hiervoor is dat bentoniet feitlik nie in hoër konsentrasies gebruik kan word nie, aangesien dit te veel swel as dit in water kom. Met vry ione teenwoordig, is 'n kleikonsentrasie van 5% reeds effens jellie-agtig. Die klei sak glad nie vanself uit nie en met sentrifugering gee dit 'n jellie-agtige uitsaksel. Omdat die klei so baie swel, meng dit moeilik met water. Die eerste kleilagie wat met water in aanraking kom, swel tot 'n ondeurdringbare laag. Die orige klei kom dan nie met water in aanraking nie. Voor gebruik moet die klei dus eers deeglik met 'n roerder gemeng word om klonte uit te skakel.

Omdat van die kolloïdale kleideeltjies nie met sentrifugering uitgesak het nie, is dit saam met die bovloei-stof afgegooi. Die uiteindelijke konsentrasies was dus effens minder as die persentasies wat aangegee is. Slegs 30% konsentrasies van kaolien en 5% van

bentoniet/

bentoniet is berei en hieruit is die laer konsentrasies deur verdunning verkry.

(iv) Versadiging van kleisuspensies met verskillende katione

Behalwe die kleisuspensies waaruit net die vry ione verwyder is, is die verskillende kleie ook met enkele katione versadig. Die katione kalium, kalsium en magnesium is gebruik omdat dit drie van die belangrikste plantvoedingsione is.

Eenpersent oplossings van  $KCl$ ,  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  en  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  is by 20% kaolien- en 5% bentonietsuspensies gevoeg. Die suspensies is herhaaldelik goed geskud en oornag gelaat, sodat die klei kon uitsak. Daadliks is die bovloei-stowwe afgesuig en met vars oplossings vervang. Die proses is herhaal totdat die oplossings wat by die kleisuspensies gevoeg is, geen konsentrasieveranderings ondergaan het nie.

Na versadiging met die verskillende katione is die vry ione in die suspensie verwyder op dieselfde manier as wat reeds beskryf is. Uit die versadigde kaolien- en bentonietsuspensies is die verskillende konsentrasies wat gebruik is, deur verdunnings verkry.

Elektrodialise is 'n doeltreffende metode vir die bereiding van kleisuspensies as media vir plantegroei. Dit is reeds deur Albrecht (1946) beskryf. Bostaande metode moes egter gebruik word omdat 'n elektrodialisator nie beskikbaar was nie.

Dit is hoogs waarskynlik dat sommige van die geadsorbeerde katione gedurende die wasproses weer deur  $H^+$  uitgeruil is. Die mate van hierdie uitruiling is onbekend, want die uitruilingspotensiaal van katione varieer aansienlik na gelang van die aard van die teë-ioon en die uitruilmateriaal soos deur Wiklander (1946) aangetoon. Die klei is egter beskou as versadig met die verskillende katione.

### HOOFSTUK 3

#### Die ontkieming en groei van mielies in verskillende konsentrasies van twee tipes klei versadig met verskillende katione

Albrecht & McCalla (1938) het begin om die kolloïdale kleifraksie van die grond as kultuurmedium te gebruik. Dit bied geleentheid om 'n beter begrip van die grond as faktor in plantegroei te verkry. Die belangrikheid van die katioonbesetting van die kolloïdale kleifraksie is reeds beklemtoon.

Reeds in 1919 het Jennings die invloed van kolloïdale stowwe op die groei van koringsaailinge nagegaan en bevind dat agar en kolloïdale silikon die groei beïnvloed. Papadakis (1941) het aangetoon dat die opbrengs van mielies en koring aansienlik vermeerder wanneer die hoeveelheid fyn materiaal vermeerder. Hy wys daarop dat dit nie te wyte is aan plantvoedingstowwe nie, maar eerder aan die vermeerdering van beskikbare ruimte vir wortelontwikkeling. Die invloed van die kleiminerale strek dus selfs verder as die beskikbaarheid of nie-beskikbaarheid van plantvoedingstowwe.

Hierdie stel proewe is opgestel om die invloed van twee tipes klei van verskillende konsentrasies en die faktore wat daarmee saamhang, op die ontkieming en wortelontwikkeling van jong mielieplantjies na te gaan. Deur die vermeerdering van die kleikonsentrasie word die hoeveelheid katione en die totale uitruilingskapasiteit van die stelsel vermeerder. Die gebruik van twee tipes klei bied geleentheid om vas te stel of die klei self 'n invloed het as die totale hoeveelheid katione en uitruilingskapasiteit van twee tipes kleisuspensies ongeveer dieselfde is.

#### A. Metode

Petribakkies met deursneë van 13.5 cm is vir die proewe gebruik. In elke bakkie is 50 ml suspensie of water (as kontrole) gevoeg met tien sade per bakkie. Drie herhalings per behandeling is in 'n brocikas by 27°C gedoen.

Voorlopige/

Voorlopige proewe het aangetoon dat daar geen groot verskil is in die ontkieming en wortelontwikkeling van jong mielieplantjies wat vir 24 uur geïmbibeer is, en dié wat direk in water geplaas is nie. Die saadjies is in die water geplaas met kiemplantjies na bo en die hoeveelheid water is so gekies dat die saadjies nie heeltemal bedek is nie. In die proewe is die saadjies dan ook dadelik in die suspensies geplaas sodat enige voordelige of nadelige invloed vanaf die begin waargeneem kon word.

Na drie dae is die saadjies uitgehaal, gefotografeer en die wortel- en stingellengtes gemeet.

Nota: Weens gebrek aan ruimte is net ses saailinge vir fotografering gebruik. Die opgawe van wortel- en stingellengtes toon ook net dié aan van die ses saailinge wat die beste wortelontwikkeling gegee het.

Die kleikonsentrasies in die suspensies word bv. as 5% aangedui, terwyl  $K^+$  aandui dat die klei met kalium versadig is. Die klei wat nie met spesifieke katione versadig is nie, word as  $M^+$ ,  $M^{2+}$  aangedui omdat hulle  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  en waarskynlik  $Na^+$  bevat. Die konsentrasies van die verskillende katione op die klei of in die ewewigsoplossings is nie in hierdie proef bepaal nie.

## B. Resultate

Die kleisuspensies is volgens gewigpersentasies saamgestel. Vir elke behandeling is 50 ml gebruik. Tabel 1 toon die gewig klei en die totale katioonuitruilingskapasiteit (KUK) van die suspensies by die verskillende kleikonsentrasies aan.

Tabel 1 op bladsy 29

Uit hierdie tabel is dit duidelik dat die totale katioonuitruilingskapasiteite van 50 ml 5% kaolien suspensies en 50 ml 1% bentonietsuspensies gelyk is, terwyl dié van 10% kaolien en 2½% bentonietsuspensies nie té ver verskil nie. Dit is dus moontlik om

uit/

uit 'n vergelyking van die wortelontwikkeling van jong mielie-plantjies in genoemde suspensies 'n aanduiding te kry of die klei self enige invloed het.

TABEL 1

Gewig klei in en KUK van 50 ml suspensies

| Tipe klei                            | % Klei in suspensie<br>(Volgens gewig) | Gewig klei in 50 ml suspensies | KUK van 50 ml suspensies |
|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Kaolien<br><br>KUK<br>18 mc/100 gm   | 5%                                     | 2.72                           | 0.5                      |
|                                      | 10%                                    | 5.44                           | 1.0                      |
|                                      | 20%                                    | 10.87                          | 2.0                      |
|                                      | 30%                                    | 16.31                          | 3.0                      |
| Bentoniet<br><br>KUK<br>94 mc/100 gm | 1%                                     | 0.52                           | 0.5                      |
|                                      | 2½%                                    | 1.30                           | 1.2                      |
|                                      | 5%                                     | 2.60                           | 2.4                      |

Geen verskille in ontkieming is waargeneem nie.

Die wortel- en stingellengtes van die saailinge wat in die verskillende konsentrasies van kaoliensuspensies, versadig met verskillende katione, ontkiem en begin groei het, word in tabel 2 aangegee.

Tabel 2 op bladsye 30 en 31

Tabel 3 gee die wortel- en stingellengtes van die saailinge in die verskillende bentonietsuspensies aan.

Tabel 3 op bladsye 32 en 33

Die groei van saailinge in water is as kontrole gebruik. Die kontrole is by alle behandelings gedoen, dit wil sê altesaam agt keer. Slegs twee stelle kontrolewaardes word egter weergegee.

Tabel 4 op bladsy 33

TABEL 2

Saailinge in kaoliensuspensies

Wortel- en stingellengtes in cm

| Katioon-<br>versadigings | % Klei | Wortels                 |                                  | Stingels                |                                  |
|--------------------------|--------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                          |        | Totaal<br>per<br>bakkie | Gemiddelde<br>per<br>behandeling | Totaal<br>per<br>bakkie | Gemiddelde<br>per<br>behandeling |
| $K^+$                    | 5%     | 59.8                    | 10.1                             | 18.6                    | 2.9                              |
|                          |        | 54.0                    |                                  | 14.2                    |                                  |
|                          |        | 67.9                    |                                  | 19.1                    |                                  |
|                          | 10%    | 52.8                    | 9.8                              | 14.0                    | 2.8                              |
|                          |        | 59.2                    |                                  | 21.0                    |                                  |
|                          |        | 64.0                    |                                  | 14.8                    |                                  |
|                          | 20%    | 70.0                    | 9.9                              | 17.5                    | 2.8                              |
|                          |        | 51.8                    |                                  | 16.5                    |                                  |
|                          |        | 57.2                    |                                  | 17.6                    |                                  |
|                          | 30%    | 37.8                    | 8.5                              | 15.4                    | 2.6                              |
|                          |        | 61.9                    |                                  | 17.4                    |                                  |
|                          |        | 53.5                    |                                  | 14.4                    |                                  |
| $Ca^{2+}$                | 5%     | 71.1                    | 13.6                             | 13.6                    | 2.5                              |
|                          |        | 86.0                    |                                  | 14.6                    |                                  |
|                          |        | 87.8                    |                                  | 16.5                    |                                  |
|                          | 10%    | 90.5                    | 15.3                             | 19.6                    | 2.9                              |
|                          |        | 89.2                    |                                  | 15.5                    |                                  |
|                          |        | 95.1                    |                                  | 16.0                    |                                  |
|                          | 20%    | 76.1                    | 12.2                             | 16.5                    | 2.5                              |
|                          |        | 60.4                    |                                  | 11.6                    |                                  |
|                          |        | 82.9                    |                                  | 16.8                    |                                  |
|                          | 30%    | 86.8                    | 14.9                             | 16.8                    | 2.8                              |
|                          |        | 78.0                    |                                  | 13.7                    |                                  |
|                          |        | 103.6                   |                                  | 19.4                    |                                  |
| $Mg^{2+}$                | 5%     | 73.3                    | 12.0                             | 14.4                    | 2.3                              |
|                          |        | 72.1                    |                                  | 13.4                    |                                  |
|                          |        | 71.2                    |                                  | 13.9                    |                                  |

(vervolg op bladsy 31)

TABEL 2 (vervolg)

| Kation-<br>versadigings           | % Klei | Wortels                 |                                  | Stingels               |                                  |
|-----------------------------------|--------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|                                   |        | Totaal<br>per<br>bakke  | Gemiddelde<br>per<br>behandeling | Totaal<br>per<br>bakke | Gemiddelde<br>per<br>behandeling |
|                                   | 10%    | 82.7<br>66.7<br>86.5    | 13.1                             | 20.1<br>16.8<br>19.4   | 3.1                              |
|                                   | 20%    | 75.0<br>81.6<br>74.6    | 12.8                             | 18.4<br>18.7<br>16.6   | 3.0                              |
|                                   | 30%    | 85.7<br>66.7<br>85.2    | 13.2                             | 18.5<br>15.7<br>21.8   | 3.1                              |
| M <sup>+</sup><br>M <sup>++</sup> | 5%     | 121.1<br>141.3<br>146.8 | 22.7                             | 21.1<br>26.2<br>25.0   | 4.0                              |
|                                   | 10%    | 118.6<br>150.5<br>120.2 | 21.6                             | 27.4<br>25.9<br>20.4   | 4.1                              |
|                                   | 20%    | 119.1<br>139.8<br>107.6 | 20.3                             | 28.4<br>32.7<br>25.1   | 4.8                              |
|                                   | 30%    | 108.1<br>102.1<br>128.6 | 18.8                             | 23.1<br>19.2<br>24.3   | 3.7                              |

TABEL 3

Saailinge in bentonietsuspensies

Wortel- en Stingellengtes in cm

| Katioon-<br>versadigings | % Klei | Wortels                 |                                  | Stingels                |                                  |
|--------------------------|--------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                          |        | Totaal<br>per<br>bakkie | Gemiddelde<br>per<br>behandeling | Totaal<br>per<br>bakkie | Gemiddelde<br>per<br>behandeling |
| $K^+$                    | 1%     | 83.2                    | 14.7                             | 18.5                    | 3.1                              |
|                          |        | 91.5                    |                                  | 19.4                    |                                  |
|                          |        | 89.2                    |                                  | 18.7                    |                                  |
|                          | 2½%    | 110.4                   | 18.2                             | 20.1                    | 3.4                              |
|                          |        | 101.9                   |                                  | 19.7                    |                                  |
|                          |        | 114.4                   |                                  | 22.1                    |                                  |
|                          | 5%     | 99.3                    | 16.0                             | 22.0                    | 3.6                              |
|                          |        | 88.9                    |                                  | 21.7                    |                                  |
|                          |        | 101.0                   |                                  | 20.7                    |                                  |
| $Ca^{2+}$                | 1%     | 98.9                    | 15.0                             | 19.1                    | 3.0                              |
|                          |        | 75.2                    |                                  | 17.8                    |                                  |
|                          |        | 95.9                    |                                  | 17.2                    |                                  |
|                          | 2½%    | 64.3                    | 13.0                             | 12.7                    | 2.8                              |
|                          |        | 74.8                    |                                  | 16.7                    |                                  |
|                          |        | 94.6                    |                                  | 20.6                    |                                  |
|                          | 5%     | 67.2                    | 13.2                             | 13.0                    | 2.7                              |
|                          |        | 78.7                    |                                  | 16.6                    |                                  |
|                          |        | 91.0                    |                                  | 18.0                    |                                  |
| $Mg^{2+}$                | 1%     | 83.7                    | 14.1                             | 17.5                    | 3.2                              |
|                          |        | 88.4                    |                                  | 22.1                    |                                  |
|                          |        | 83.1                    |                                  | 18.1                    |                                  |
|                          | 2½%    | 91.7                    | 16.5                             | 17.4                    | 3.4                              |
|                          |        | 117.5                   |                                  | 24.6                    |                                  |
|                          |        | 88.5                    |                                  | 19.0                    |                                  |
|                          | 5%     | 91.6                    | 13.8                             | 18.2                    | 3.0                              |
|                          |        | 89.6                    |                                  | 22.8                    |                                  |
|                          |        | 67.7                    |                                  | 13.1                    |                                  |

(vervolg op bladsy 33)

TABEL 3 (vervolg)

| Katioon-<br>versadigings              | % Klei | Wortels                |                                  | Stingels               |                                  |
|---------------------------------------|--------|------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|                                       |        | Totaal<br>per<br>bakke | Gemiddelde<br>per<br>behandeling | Totaal<br>per<br>bakke | Gemiddelde<br>per<br>behandeling |
| M <sup>+</sup><br><br>M <sup>++</sup> | 1%     | 109.0                  | 17.9                             | 28.1                   | 4.1                              |
|                                       |        | 110.4                  |                                  | 23.1                   |                                  |
|                                       |        | 102.9                  |                                  | 23.4                   |                                  |
|                                       | 2½%    | 101.8                  | 18.7                             | 24.0                   | 4.5                              |
|                                       |        | 82.8                   |                                  | 30.1                   |                                  |
|                                       |        | 151.3                  |                                  | 26.3                   |                                  |
|                                       | 5%     | 135.4                  | 18.8                             | 28.7                   | 4.4                              |
|                                       |        | 96.5                   |                                  | 25.2                   |                                  |
|                                       |        | 106.4                  |                                  | 25.7                   |                                  |

TABEL 4

Saailinge in water

Wortel- en stingellengtes in cm

| Bakke No                                    |   | Wortels |            | Stingels |            |
|---------------------------------------------|---|---------|------------|----------|------------|
|                                             |   | Totaal  | Gemiddelde | Totaal   | Gemiddelde |
| A.                                          | 1 | 69.9    | 11.6       | 17.8     | 3.0        |
|                                             | 2 | 67.8    | 11.3       | 16.2     | 2.7        |
|                                             | 3 | 63.9    | 10.6       | 17.4     | 2.9        |
| B.                                          | 1 | 62.0    | 10.3       | 16.3     | 2.7        |
|                                             | 2 | 66.8    | 11.1       | 16.5     | 2.7        |
|                                             | 3 | 65.5    | 10.9       | 13.9     | 2.3        |
| Gemiddelde waardes van kontrolebehandeling: |   |         |            |          |            |
| Wortels: 10.9 cm                            |   |         |            |          |            |
| Stingels: 2.7 cm                            |   |         |            |          |            |

Die voorgaande tabelle toon aan dat daar soms 'n aansienlike variasie in die waardes van die verskillende herhalings van elke behandeling bestaan. Tog is daar merkbare verskille tussen die behandlings,

soos/

soos ook uit die foto's opgemerk kan word (sien bylae 1-9).

'n Vergelyking van die wortelontwikkeling in verskillende konsentrasies van dieselfde soort klei met dieselfde katioonversadigings toon geen groot verskille nie. Betekenisvolle verskille kon ook nie met 'n statistiese ontleding verkry word nie. Uit hierdie gegewens kan dus afgelei word dat die hoeveelheid katione in die suspensies wat gebruik is, nie die wortelontwikkeling beïnvloed het nie.

Die wortelontwikkeling van die saailinge in die verskillende katioonversadigde kleisuspensies toon duidelike verskille. 'n Statistiese ontleding is gedoen om die kleinste betekenisvolle verskil (K.B.V.) waarmee die gemiddelde wortellengtes vir die verskillende katioonbehandelings vergelyk kan word, vas te stel. Die K.B.V. is bepaal met 'n waarskynlikheid van 5%, dit wil sê die waarde sal 95 keer uit 100 korrek wees.

Die gemiddelde wortellengtes per saad vir die verskillende kleikonsentrasies met verskillende katioonversadigings word in tabelle 5 en 6 aangegee.

Tabelle 5 en 6 op bladsy 35

Uit bostaande tabelle is dit veral opmerklik dat die wortelontwikkeling in die kaliumversadigde kaoliensuspensies swakker was as in die kalsium- en magnesiumversadigde suspensies en die kontrole, terwyl die kaliumversadigde bentonietsuspensies beter resultate opgelower het. Aangesien die uitruilingskapasiteite van die twee tipes kleisuspensies nie te veel verskil nie en die hoeveelheid katione waarskynlik ook nie, moet die oorsake vir die verskille in wortelontwikkeling in die kaliumversadigde kleisuspensies in spesifieke eienskappe van die klei gesoek word.

Die klei wat nie met spesifieke katione versadig is nie, maar waaruit die vry ione verwyder is, het in alle gevalle beter wortelontwikkeling van die saailinge gegee as die klei wat met spesifieke katione versadig is. Die kaoliensuspensies het 'n groter invloed

TABEL 5

Saailinge in kaoliensuspensies

Gemiddelde wortellengtes in cm

| Katione                                                      | Konsentrasies |      |      |      | Gemiddeld vir katione |
|--------------------------------------------------------------|---------------|------|------|------|-----------------------|
|                                                              | 5%            | 10%  | 20%  | 30%  |                       |
| $M^{+}, M^{++}$                                              | 22.7          | 21.6 | 20.4 | 18.8 | 20.9                  |
| $Ca^{2+}$                                                    | 13.6          | 15.3 | 12.2 | 14.9 | 14.0                  |
| $Mg^{2+}$                                                    | 12.0          | 13.1 | 12.8 | 13.2 | 12.8                  |
| $K^{+}$                                                      | 10.1          | 9.8  | 9.9  | 8.5  | 9.6                   |
| Gemiddeld vir konsentrasies                                  | 14.6          | 14.9 | 13.8 | 13.9 | 14.3                  |
| K.B.V. om katioongemiddeldes te vergelyk=1.33 cm             |               |      |      |      |                       |
| Hieruit volg: $(M^{+}, M^{++}) > Ca^{2+}, Mg^{2+} > K^{+}$ . |               |      |      |      |                       |

TABEL 6

Saailinge in bentonietsuspensies

Gemiddelde wortellengtes in cm

| Katione                                                      | Konsentrasies |      |      | Gemiddeld vir katione |
|--------------------------------------------------------------|---------------|------|------|-----------------------|
|                                                              | 1%            | 2½%  | 5%   |                       |
| $M^{+}, M^{++}$                                              | 17.9          | 18.7 | 18.8 | 18.5                  |
| $Ca^{2+}$                                                    | 15.0          | 13.0 | 13.2 | 13.7                  |
| $Mg^{2+}$                                                    | 14.2          | 16.5 | 13.8 | 14.8                  |
| $K^{+}$                                                      | 14.7          | 18.2 | 16.1 | 16.3                  |
| Gemiddeld vir konsentrasies                                  | 15.4          | 16.6 | 15.5 | 15.8                  |
| K.B.V. om katioongemiddeldes te vergelyk=1.45 cm             |               |      |      |                       |
| Hieruit volg: $(M^{+}, M^{++}) > K^{+} > Mg^{2+}, Ca^{2+}$ . |               |      |      |                       |

as die bentonietsuspensies getoon, maar die resultate is moeilik vergelykbaar omdat die konsentrasies van spesifieke geadsorbeerde katione op die klei onbekend is.

Die gemiddelde stingellengtes per saad vir die verskillende klei-konsentrasies met verskillende katioonversadigings word in tabelle 7 en 8 aangegee.

Tabelle 7 en 8 op bladsy 37

Die vernaamste afleiding uit hierdie gegewens is dat die klei wat nie met spesifieke katione versadig is nie, beter stingelontwikkeling gegee het as die ander behandelings.

Die pH-waardes van die verskillende suspensies is, met enkele uitsonderings, voor en na die groei van saailinge bepaal. Dit is gedoen om vas te stel of enige nadelige invloed aan die pH toegeskryf kan word. Die pH-waardes vir die agt kontrolebehandelings het gewissel van 5.8 tot 6.1 voor behandelings tot ongeveer 6.3 na behandelings. Dit toon 'n effense styging in pH, wat egter nie direk aan die invloed van groeiende saailinge toegeskryf kan word nie, want gedistilleerde water wat aan lug blootgestel word, toon dieselfde styging. Dit kan moontlik toegeskryf word aan spore ammoniak wat in die lug teenwoordig is.

Die pH-waardes van die kleisuspensies voor en na die groei van saailinge word in tabelle 9 en 10 aangegee.

Tabelle 9 en 10 op bladsy 38

### C. Bespreking van resultate

In tabel 1 is aangetoon dat die uitruilingskapasiteite van die 5% kaoliensuspensies en die 1% bentonietsuspensies dieselfde is, terwyl daar tussen sommige van die ander konsentrasies nie groot verskille bestaan nie. Dit kan dus aanvaar word dat die totale hoeveelhede katione in gevalle van gelyke of ongeveer gelyke katioonuitruilingskapasiteite nie té veel verskil nie.

Die/

TABEL 7

Saailinge in kaoliensuspensies  
Gemiddelde stingellengtes in cm

| Katione                                                 | Konsentrasies |     |     |     | Gemiddeld vir katione |
|---------------------------------------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----------------------|
|                                                         | 5%            | 10% | 20% | 30% |                       |
| $M^+, M^{++}$                                           | 4.0           | 4.1 | 4.8 | 3.7 | 4.2                   |
| $Ca^{2+}$                                               | 2.5           | 2.9 | 2.5 | 2.8 | 2.7                   |
| $Mg^{2+}$                                               | 2.3           | 3.1 | 3.0 | 3.1 | 2.9                   |
| $K^+$                                                   | 2.9           | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.8                   |
| Gemiddeld vir konsentrasies                             | 2.9           | 3.2 | 3.4 | 3.1 | 3.2                   |
| K.B.V. om katioongemiddeldes te vergelyk 0.32 cm.       |               |     |     |     |                       |
| Hieruit volg: $(M^+, M^{++}) > Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+$ . |               |     |     |     |                       |

TABEL 8

Saailinge in bentonietsuspensies  
Gemiddelde stingellengtes in cm

| Katione                                                  | Konsentrasies |     |     | Gemiddeld vir katione |
|----------------------------------------------------------|---------------|-----|-----|-----------------------|
|                                                          | 1%            | 2½% | 5%  |                       |
| $M^+, M^{++}$                                            | 4.1           | 4.5 | 4.4 | 4.3                   |
| $Ca^{2+}$                                                | 3.0           | 2.8 | 2.7 | 2.8                   |
| $Mg^{2+}$                                                | 3.2           | 3.4 | 3.0 | 3.2                   |
| $K^+$                                                    | 3.1           | 3.4 | 3.6 | 3.4                   |
| Gemiddeld vir konsentrasies                              | 3.4           | 3.5 | 3.4 | 3.4                   |
| K.B.V. om katioongemiddeldes te vergelyk 0.34 cm.        |               |     |     |                       |
| Hieruit volg: $(M^+, M^{++}) > K^+, Mg^{2+} = Ca^{2+}$ . |               |     |     |                       |

TABEL 9

pH-waardes van kaoliensuspensies

| Katioonversadiging | % Klei | Voor | Na    |
|--------------------|--------|------|-------|
| $K^+$              | 5%     | 5.6  | 6.45  |
|                    | 10%    | 5.9  | 6.40  |
|                    | 20%    | 6.2  | 6.50  |
|                    | 30%    | ---  | 6.60  |
| $Ca^{2+}$          | 5%     | 5.90 | 6.2 x |
|                    | 10%    | 6.25 | 6.2 x |
|                    | 20%    | 6.45 | 6.1 x |
|                    | 30%    | 6.90 | 6.2 x |
| $Mg^{2+}$          | 5%     | 5.95 | 6.4   |
|                    | 10%    | 6.25 | 6.4   |
|                    | 20%    | 6.80 | 6.5   |
|                    | 30%    | 7.20 | 6.5   |
| $M^+, M^{++}$      | 5%     | 7.00 | ---   |
|                    | 10%    | 7.25 | ---   |
|                    | 20%    | 7.55 | ---   |
|                    | 30%    | 7.85 | ---   |

x Toon aan waardes nie baie betroubaar as gevolg van defektiewe apparaat.

TABEL 10

pH-waardes van bentonietsuspensies

| Katioonversadiging | % Klei | Voor | Na  |
|--------------------|--------|------|-----|
| $K^+$              | 1%     | 9.1  | 7.8 |
|                    | 2½%    | 9.4  | 8.2 |
|                    | 5%     | 9.5  | 8.5 |
| $Ca^{2+}$          | 1%     | 9.0  | 7.8 |
|                    | 2½%    | 8.9  | 7.9 |
|                    | 5%     | 8.7  | 8.0 |
| $Mg^{2+}$          | 1%     | 9.0  | 7.9 |
|                    | 2½%    | 9.1  | 8.3 |
|                    | 5%     | 9.1  | 8.5 |
| $M^+, M^{++}$      | 1%     | 8.2  | 7.8 |
|                    | 2½%    | 8.5  | 8.3 |
|                    | 5%     | 8.5  | 8.5 |

Die beste wortel- en stingelontwikkeling het voorgekom waar die klei sonder spesifieke katioonversadigings gebruik is, Dit is ook die enigste noemenswaardige afleiding wat uit 'n vergelyking van stingellengtes gemaak kan word.

Die invloed van kalium in die twee stelsels toon duidelik aan dat daar ander faktore is, behalwe die teenwoordigheid van kalium, wat 'n rol speel. Die tweewaardige katione toon nie noemenswaardige verskille tussen die twee stelsels nie.

Die pH-waardes van die kaoliensuspensies het effense stygings of dalings ondergaan, sodat die eindwaardes in alle gevalle in die omgewing van 6.4 was. Die bentonietsuspensies het deurgaans pH-dalings ondergaan tot pH-waardes wat tussen 7.8 en 8.5 gewissel het. Die pH het blykbaar nog geen vertragende invloed gehad nie, hoewel 'n pH van agt vir die groei van mielies ongunstig begin word. Die pH-waardes van die kaoliensuspensies was gunstig vir die groei van mielies.

## HOOFSTUK 4

### Katïoonuitruiling in kleisuspensies in teenwoordigheid van afgesnyde mieliewortels

Uit die resultate van die vorige proewe blyk dit duidelik dat groeiverskille veroorsaak word as mieliesaaïinge in kleisuspensies met verskillende katïoonversadigings gekweek word. Om hierdie verskille verder te ondersoek, is die wortels en die ewewigsoplossings van die kleisuspensies vir kalium, kalsium en magnesium ontleed. Hierdie waardes is vergelyk met dié van wortels en suiwer chloriedoplossings om sodoende veranderinge as gevolg van die teenwoordigheid van kolloïdale kleideeltjies waar te neem.

By studies van ioonabsorpsie word baie gebruik gemaak van die tegniek van afgesnyde plantwortels. Dit is ook hier gebruik, sodat enige invloed wat die saadlob kan hê, uitgeskakel kan word.

#### A. Metode

Uitgesoekte sade is vir 24 uur geïmbibeer voordat dit in die petribakkies geplaas is. Na vier dae is die sade uitgehaal en die wortels in lengtes van  $\frac{1}{2}$  een duim gesny. (In hierdie stadium was daar nog geen haarworteltjies nie.) Ongeveer 4 gm van die nat wortels is in 300 ml glasbekers geplaas saam met 100 ml suspensie of oplossing. Die bekers is daarop in die skudmasjien geplaas en vir vyf uur lank by 'n konstante temperatuur van 27°C geskud. Dit verseker goeie deurlugting. Die oplossings en suspensies wat gebruik is, is altyd by 'n temperatuur van 27°C gehou. Drie herhalings van elke behandeling is weer gedoen.

Die behandelingstyd was presies vyf uur. Daarna is die afgesnyde wortels uitgehaal, gewas, gedroog, nat veras en ontleed soos in hoofstuk 2 beskryf.

Die pH's van die oplossings en suspensies voor en na behandelings, asook die katione kalium, kalsium en magnesium, is bepaal.

In/

In hierdie proewe is net een konsentrasie van elke tipe klei gebruik omdat konsentrasie nie 'n betekenisvolle invloed gehad het nie (sien vorige resultate). Die konsentrasies wat gebruik is, was 20% kaolien- en 5% bentonietsuspensies. Die klei was dieselfde as wat in die vorige proewe gebruik is, naamlik klei met kalium, kalsium en magnesium as uitruilbare katione en die oorspronklike klei waaruit slegs vry ione verwyder is.

As kontrole is wortels op die ouderdom van vier dae veras en ontleed om die katioonkonsentrasies van wortels sonder enige behandeling te bepaal. Behandlings met suiwer kalium-, kalsium- en magnesium-chloriedoplossings is ook gedoen om die beweging van katione in die afwesigheid van klei na te gaan. Die katioonkonsentrasies in die chloriedoplossings was ongeveer 100 dpm. Hierdie lae konsentrasies is gebruik om naasteby in ooreenstemming te wees met die katioonkonsentrasies in die ewewigoplossings van die suspensies. Laasgenoemde konsentrasies was almal laer as 100 dpm.

#### B. Resultate

Die katiooninhoud van die afgesnyde plantwortels wat as kontrole dien, word in tabel 11 aangegee.

TABEL 11

Katione in mgm per gm droëmateriaal

|               | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
|---------------|------------------|------------------|----------------|
|               | Spore            | 0.954            | 19.075         |
|               | "                | 0.886            | 18.881         |
|               | "                | 0.825            | 18.679         |
|               | "                | 0.794            | 17.644         |
|               | "                | 0.869            | 19.122         |
|               | "                | 0.852            | 20.756         |
| Gemiddeld     | Spore            | 0.863            | 19.026         |
| Gem. in me/gm | Spore            | 0.071            | 0.487          |

Die/

Die katiooninhoud van die wortels wat in die verskillende behandelings gebruik is; word in tabelle 12 - 14 aangegee.

TABEL 12

Behandeling met suiwer chloriedoplossings

Katione in mgm per gm droëmateriaal

| Oplossing         | Herhaling | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
|-------------------|-----------|------------------|------------------|----------------|
| KCl               | 1         | Spore            | Spore            | 17.48          |
|                   | 2         | "                | "                | 16.96          |
|                   | 3         | "                | "                | 20.12          |
| CaCl <sub>2</sub> | 1         | 0.79             | Spore            | 16.79          |
|                   | 2         | 0.96             | "                | 16.55          |
|                   | 3         | 0.87             | "                | 18.29          |
| MgCl <sub>2</sub> | 1         | Spore            | 1.86             | 13.50          |
|                   | 2         | "                | 1.70             | 13.16          |
|                   |           | "                | 2.13             | 14.72          |

TABEL 13

Behandeling met kaoliensuspensies

Katione in mgm per gm droëmateriaal

| Uitruilbare katione              | Herhaling | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
|----------------------------------|-----------|------------------|------------------|----------------|
| M <sup>+</sup> , M <sup>++</sup> | 1         | Spore            | 1.00             | 16.66          |
|                                  | 2         | "                | 0.89             | 16.98          |
|                                  | 3         | "                | 0.86             | 16.97          |
| K <sup>+</sup>                   | 1         | Spore            | 1.08             | 20.47          |
|                                  | 2         | "                | 1.23             | 20.10          |
|                                  | 3         | "                | 1.13             | 17.34          |
| Ca <sup>2+</sup>                 | 1         | 0.79             | 0.75             | 16.86          |
|                                  | 2         | 0.95             | 0.80             | 17.14          |
|                                  | 3         | 0.70             | 0.79             | 17.06          |
| Mg <sup>2+</sup>                 | 1         | Spore            | 1.42             | 18.04          |
|                                  | 2         | "                | 1.44             | 17.32          |
|                                  | 3         | "                | 1.40             | 15.74          |

Tabel 14 op bladsy 43

TABEL 14

Behandeling met bentonietsuspensies

Katione in mgm per gm droëmateriaal

| Uitruilbare Katione              | Herhaling | Ca <sup>2+</sup>  | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
|----------------------------------|-----------|-------------------|------------------|----------------|
| M <sup>+</sup> , M <sup>++</sup> | 1         | 5.17 <sup>x</sup> | 0.97             | 15.16          |
|                                  | 2         | 0.81              | 0.84             | 14.00          |
|                                  | 3         | Spore             | 0.93             | 14.86          |
| K <sup>+</sup>                   | 1         | Spore             | 1.02             | 22.28          |
|                                  | 2         | "                 | 0.90             | 20.88          |
|                                  | 3         | "                 | 1.02             | 22.57          |
| Ca <sup>2+</sup>                 | 1         | 1.49              | 0.67             | 14.71          |
|                                  | 2         | 1.23              | 0.70             | 16.41          |
|                                  | 3         | 1.09              | 0.65             | 15.03          |
| Mg <sup>2+</sup>                 | 1         | Spore             | 1.59             | 16.21          |
|                                  | 2         | "                 | 1.52             | 15.42          |
|                                  | 3         | "                 | 1.59             | 15.01          |

x toon aan dat die waarde onbetroubaar is.

("Spore" dui aan dat kalsium en magnesium in die toetsoplossings teenwoordig is, maar dat dit te min is om akkuraat te bepaal. Dit is in alle gevalle minder as 0.5 mgm per gm droëmateriaal).

TABEL 15

Katienkonsentrasies van chloriedoplossings in mgm/100 ml

| Oplossing         | Herhaling | Voor behandeling |                  |                | Na benhandeling  |                  |                |
|-------------------|-----------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
|                   |           | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
| KCl               | 1         | ---              | ---              | 10.4           | ---              | ---              | 10.9           |
|                   | 2         | ---              | ---              | 10.4           | ---              | ---              | 10.7           |
|                   | 3         | ---              | ---              | 10.4           | ---              | ---              | 10.4           |
| CaCl <sub>2</sub> | 1         | 10.7             | ---              | ---            | 10.4             | Spore            | 0.6            |
|                   | 2         | 10.7             | ---              | ---            | 10.4             | "                | 0.75           |
|                   | 3         | 10.7             | ---              | ---            | 10.4             | "                | 0.25           |
| MgCl <sub>2</sub> | 1         | ---              | 11.13            | ---            | 0.17             | 10.63            | 2.1            |
|                   | 2         | ---              | 11.13            | ---            | 0.17             | 10.13            | 1.55           |
|                   | 3         | ---              | 11.13            | ---            | 0.22             | 10.63            | 0.75           |

(Spore Mg dui aan minder as .05 mgm/100 ml).

Die katiooninhoud van die suiwer chloriedoplossings en die ewewigso oplossings van die verskillende suspensies word in tabelle 15, (op bladsy 43) 16 en 17 aangegee.

TABEL 16

Katioonkonsentrasies in ewewigso oplossings  
van kaoliensuspensies in mgm/100 ml

| Uitruilbare<br>katione           | Herhaling | Voor behandeling |                  |                | Na behandeling   |                  |                |
|----------------------------------|-----------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
|                                  |           | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
| M <sup>+</sup> , M <sup>++</sup> | 1         | 0.89             | 1.10             | 0.15           | 0.72             | 0.70             | 0.2            |
|                                  | 2         | 0.89             | 1.10             | 0.15           | 0.72             | 0.68             | 0.2            |
|                                  | 3         | 0.89             | 1.10             | 0.15           | 0.89             | 0.78             | 0.2            |
| K <sup>+</sup>                   | 1         | ---              | 0.48             | 3.0            | ---              | 0.33             | 5.65           |
|                                  | 2         | ---              | 0.48             | 3.0            | ---              | 0.38             | 5.6            |
|                                  | 3         | ---              | 0.48             | 3.0            | ---              | 0.37             | 5.6            |
| Ca <sup>2+</sup>                 | 1         | 1.3              | 0.70             | 0.05           | 0.8              | 0.23             | 0.75           |
|                                  | 2         | 1.3              | 0.70             | 0.05           | 0.9              | 0.26             | 0.70           |
|                                  | 3         | 1.3              | 0.70             | 0.05           | 1.0              | 0.23             | 0.65           |
| Mg <sup>2+</sup>                 | 1         | ---              | 1.35             | 0.05           | ---              | 0.90             | 1.0            |
|                                  | 2         | ---              | 1.35             | 0.05           | ---              | 0.95             | 0.9            |
|                                  | 3         | ---              | 1.35             | 0.05           | ---              | 1.10             | 0.8            |

TABEL 17

Katioonkonsentrasies in ewewigso oplossings  
van bentonietsuspensies in mgm/100 ml

| Uitruilbare<br>katione           | Herhaling | Voor behandeling |                  |                | Na behandeling   |                  |                |
|----------------------------------|-----------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
|                                  |           | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
| M <sup>+</sup> , M <sup>++</sup> | 1         | 1.5              | 1.05             | 0.2            | 1.8              | 0.73             | 0.25           |
|                                  | 2         | 1.5              | 1.05             | 0.2            | 2.0              | 0.63             | 0.25           |
|                                  | 3         | 1.5              | 1.05             | 0.2            | 1.8              | 0.70             | 0.25           |
| K <sup>+</sup>                   | 1         | 0.5              | 0.65             | 9.25           | 0.67             | 0.12             | 23.75          |
|                                  | 2         | 0.5              | 0.65             | 9.25           | 0.56             | 0.11             | 22.75          |
|                                  | 3         | 0.5              | 0.65             | 9.25           | 1.11             | 0.10             | 23.50          |
| Ca <sup>2+</sup>                 | 1         | 0.9              | 0.45             | 0.05           | 7.5              | 0.13             | 0.45           |
|                                  | 2         | 0.9              | 0.45             | 0.05           | 6.1              | 0.14             | 0.30           |
|                                  | 3         | 0.9              | 0.45             | 0.05           | 7.1              | 0.15             | 0.50           |
| Mg <sup>2+</sup>                 | 1         | 0.13             | 1.75             | 0.05           | 1.56             | 4.3              | 0.50           |
|                                  | 2         | 0.13             | 1.75             | 0.05           | 1.72             | 4.75             | 0.40           |
|                                  | 3         | 0.13             | 1.75             | 0.05           | 1.67             | 4.4              | 0.50           |

TABEL 18

pH-waardes van kaoliensuspensies

| Katioonversadiging | Herhaling | Voor | Na   |
|--------------------|-----------|------|------|
| $M^+, M^{++}$      | 1         | 7.5  | 7.1  |
|                    | 2         | 7.5  | 6.95 |
|                    | 3         | 7.5  | 7.15 |
| $K^+$              | 1         | 7.8  | 7.3  |
|                    | 2         | 7.8  | 7.25 |
|                    | 3         | 7.8  | 7.1  |
| $Ca^{2+}$          | 1         | 6.9  | 7.2  |
|                    | 2         | 6.9  | 7.15 |
|                    | 3         | 6.9  | 7.15 |
| $Mg^{2+}$          | 1         | 6.95 | 7.1  |
|                    | 2         | 6.95 | 7.05 |
|                    | 3         | 6.95 | 7.1  |

TABEL 19

pH-waardes van bentonietsuspensies

| Katioonversadiging | Herhaling | Voor | Na   |
|--------------------|-----------|------|------|
| $M^+, M^{++}$      | 1         | 9.2  | 8.25 |
|                    | 2         | 9.2  | 8.25 |
|                    | 3         | 9.2  | 8.45 |
| $K^+$              | 1         | 9.5  | 7.75 |
|                    | 2         | 9.5  | 8.15 |
|                    | 3         | 9.5  | 8.1  |
| $Ca^{2+}$          | 1         | 8.65 | 7.2  |
|                    | 2         | 8.65 | 7.25 |
|                    | 3         | 8.65 | 7.1  |
| $Mg^{2+}$          | 1         | 8.1  | 7.35 |
|                    | 2         | 8.1  | 7.35 |
|                    | 3         | 8.1  | 7.2  |

Tabelle 18 en 19 gee die pH-waardes van die suspensies voor en na behandelings.

### C. Bespreking van resultate

Uit die gegewens in bostaande tabelle is dit duidelik dat daar definitiewe veranderinge in die katiooninhoud van die wortels, oplossings en suspensies na die verskillende behandelings is. Daar vind dus 'n uitruiling van katione tussen die verskillende fases plaas.

Die volgende waarnemings volg uit 'n vergelyking van die katioonkonsentrasies in tabelle 11 - 14:

(i) Die kalsiumkonsentrasies in die wortels is minder as 0.5 mgm per gm droëmateriaal, behalwe waar kalsium teenwoordig was ( $\text{CaCl}_2$  en Ca-versadigde klei). In die geval van  $\text{CaCl}_2$  en Ca-versadigde kaolionsuspensies is die vermeerdering in die kalsiumkonsentrasies van die wortels ongeveer dieselfde, maar dit is groter in die geval van Ca-versadigde bentonietsuspensies.

(ii) Die magnesiumkonsentrasies in die wortels toon 'n duidelike vermeerdering bo die gemiddelde in die teenwoordigheid van magnesium ( $\text{MgCl}_2$  en Mg-versadigde klei). In teenstelling met kalsium, is die vermeerdering die grootste in die geval van  $\text{MgCl}_2$ -oplossings. 'n Effense vermeerdering is ook merkbaar waar K-versadigde klei gebruik is.

(iii) Behalwe in die gevalle van K-versadigde klei wat vermeerderings toon, kom verminderinge in die kaliumkonsentrasies van die wortels voor. Die vermindering is die grootste waar  $\text{MgCl}_2$ -oplossings teenwoordig was. Die grootste vermeerdering is gevind waar die wortels in K-versadigde bentonietsuspensies was.

Op die oog af kom veranderinge in die katioonkonsentrasies van die chloriedoplossings en sommige van die kleisuspensies voor wat teenoorgesteld is aan die veranderinge in die wortels (tabelle 15 - 17). Daar is dus aanduidings van 'n direkte uitruiling van katione tussen die wortels en die chloriedoplossings of ewewigoplossings. Om hierdie uitruiling noukeuriger na te gaan, is die totale hoeveelheid katione van elke behandeling uitgedruk in terme van milli-ekwivalente per 100 ml

(die/

(die volume waarin die veraste wortels opgeneem is) en vergelyk met die katione in die verskillende oplossings. Uit die gemiddelde kontrolewaardes is die hoeveelheid katione wat die gewig wortels van elke behandeling onder normale omstandighede sou gehad het, bereken. Die totale hoeveelheid katione in die stelsels voor en na behandelings kan dus vergelyk word. Die resultate word in tabelle 20 - 22 aangegee.

Tabelle 20, 21 en 22 op bladsye 48, 49 en 50.

Tabel 20 toon die beweging van die katione in die wortel-chloried-oplossing-stelsel aan. Die kaliumkonsentrasies van die stelsels aan die begin en aan die einde gee baie goeie ooreenstemmende waardes. Die magnesium- en kalsiumwaardes is minder ooreenstemmend, maar dit is nogtans in 'n mate vergelykbaar. Dit is egter duidelik dat 'n vermindering van katione in die wortels 'n ooreenstemmende vermeerdering in die oplossings tot gevolg het. Die omgekeerde is ook waar. Die noue ooreenstemmende waardes, veral in die geval van kalium, is 'n aanduiding dat die metodes redelik akkuraat is.

In tabelle 21 en 22 waarin die katione in die wortels en ewewig-oplossings van die kleisuspensies aangegee word, word 'n mate van ooreenstemming net in sommige gevalle gevind. Dit is dus baie duidelik dat die klei self katione moet uitruil om die veranderinge te laat plaasvind. Groot veranderinge in die katioonkonsentrasies van die ewewig-oplossings voor en na behandelings word veral gevind by die bentoniet-suspensies wat met spesifieke katione versadig is.

Die uitruiling van katione deur die klei kan net veroorsaak word as die wortels genoeg katione, wat geadsorbeerde katione kan vervang, aan die suspensies afgee. Klein hoeveelhede van die katione onder bespreking is deur die wortels aan die suspensies afgegee of daaruit opgeneem, maar dit is onvoldoende om die veranderinge wat ontstaan het, te veroorsaak. Die vernaamste oorsaak van die uitruiling moet gesoek word in waterstofione wat uit die plantwortels afkomstig is. 'n Aanduiding hiervan word gevind in die pH-daling wat die kleisuspensies ondergaan het.

TABEL 20

Katione in wortels en chloriedoplossings (me/100 ml)

| Tyd<br>in<br>uur | Wortels          |                  |                | Oplossings       |                  |                | Totale            |                  |                |
|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------|----------------|
|                  | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup>  | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
| 0                | Spore            | .025             | .169           | ---              | ---              | .266           | Spore             | .025             | .435           |
| 5                | "                | Spore            | .155           | ---              | ---              | .279           | "                 | Spore            | .434           |
| 0                | Spore            | .021             | .144           | ---              | ---              | .266           | Spore             | .021             | .410           |
| 5                | "                | Spore            | .129           | ---              | ---              | .274           | "                 | Spore            | .403           |
| 0                | Spore            | .013             | .089           | ---              | ---              | .266           | Spore             | .013             | .355           |
| 5                | "                | Spore            | .095           | ---              | ---              | .266           | "                 | Spore            | .361           |
| 0                | Spore            | .020             | .136           | .534             | ---              | ---            | .534 <sup>x</sup> | .020             | .136           |
| 5                | .011             | Spore            | .120           | .519             | Spore            | .015           | .530              | Spore            | .135           |
| 0                | Spore            | .020             | .140           | .534             | ---              | ---            | .534 <sup>x</sup> | .020             | .140           |
| 5                | .014             | Spore            | .121           | .519             | Spore            | .019           | .533              | Spore            | .140           |
| 0                | Spore            | .009             | .063           | .534             | ---              | ---            | .534 <sup>x</sup> | .009             | .063           |
| 5                | .006             | Spore            | .060           | .519             | Spore            | .006           | .525              | Spore            | .066           |
| 0                | Spore            | .021             | .144           | ---              | .915             | ---            | Spore             | .936             | .144           |
| 5                | "                | .045             | .102           | Spore            | .874             | .054           | "                 | .919             | .156           |
| 0                | Spore            | .021             | .141           | ---              | .915             | ---            | Spore             | .936             | .141           |
| 5                | "                | .040             | .098           | Spore            | .833             | .040           | "                 | .873             | .138           |
| 0                | Spore            | .009             | .060           | ---              | .915             | ---            | Spore             | .924             | .060           |
| 5                | "                | .021             | .046           | Spore            | .874             | .019           | "                 | .895             | .065           |

(x dui aan dat die spore Ca nie bygereken is nie).

TABEL 21

Katione in wortels en kaolien-ewewigoplossings (me/100 ml)

|                                   | Tyd<br>in<br>uur | Wortels          |                  |                | Oplossings       |                  |                | Totale            |                  |                |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------|----------------|
|                                   |                  | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup>  | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
| M <sup>+</sup><br>M <sup>++</sup> | 0                | Spore            | .015             | .102           | .044             | .090             | .004           | .044 <sup>x</sup> | .105             | .106           |
|                                   | 5                | "                | .017             | .090           | .036             | .058             | .005           | .036 <sup>x</sup> | .075             | .095           |
|                                   | 0                | Spore            | .018             | .120           | .044             | .090             | .004           | .044 <sup>x</sup> | .108             | .124           |
|                                   | 5                | "                | .018             | .107           | .036             | .056             | .005           | .036 <sup>x</sup> | .074             | .112           |
|                                   | 0                | Spore            | .021             | .142           | .044             | .090             | .004           | .044 <sup>x</sup> | .111             | .146           |
|                                   | 5                | "                | .021             | .127           | .044             | .064             | .005           | .044 <sup>x</sup> | .085             | .132           |
| K <sup>+</sup>                    | 0                | Spore            | .020             | .140           | ---              | .039             | .077           | Spore             | .059             | .217           |
|                                   | 5                | "                | .025             | .151           | ---              | .027             | .145           | "                 | .052             | .296           |
|                                   | 0                | Spore            | .019             | .131           | ---              | .039             | .077           | Spore             | .058             | .208           |
|                                   | 5                | "                | .027             | .138           | ---              | .031             | .143           | "                 | .058             | .281           |
|                                   | 0                | Spore            | .019             | .129           | ---              | .039             | .077           | Spore             | .058             | .206           |
|                                   | 5                | "                | .025             | .118           | ---              | .030             | .143           | "                 | .055             | .261           |
| a <sup>2+</sup>                   | 0                | Spore            | .020             | .137           | .065             | .058             | .001           | .065 <sup>x</sup> | .078             | .138           |
|                                   | 5                | .011             | .017             | .121           | .040             | .019             | .019           | .040              | .036             | .140           |
|                                   | 0                | Spore            | .017             | .115           | .065             | .058             | .001           | .065 <sup>x</sup> | .075             | .116           |
|                                   | 5                | .011             | .016             | .104           | .045             | .021             | .018           | .045              | .037             | .122           |
|                                   | 0                | Spore            | .022             | .154           | .065             | .058             | .001           | .065 <sup>x</sup> | .080             | .155           |
|                                   | 5                | .011             | .021             | .138           | .050             | .019             | .017           | .050              | .040             | .155           |
| g <sup>2+</sup>                   | 0                | Spore            | .019             | .134           | ---              | .110             | .001           | Spore             | .129             | .135           |
|                                   | 5                | "                | .032             | .127           | ---              | .074             | .026           | "                 | .106             | .153           |
|                                   | 0                | Spore            | .020             | .139           | ---              | .110             | .001           | Spore             | .130             | .140           |
|                                   | 5                | "                | .034             | .127           | ---              | .078             | .023           | "                 | .112             | .150           |
|                                   | 0                | Spore            | .021             | .142           | ---              | .110             | .001           | Spore             | .131             | .143           |
|                                   | 5                | "                | .034             | .118           | ---              | .090             | .020           | "                 | .124             | .138           |

(x dui aan dat spore Ca nie bygereken is nie).

TABEL 22

Katione in wortels en bentoniet-ewewigsoplossings (me/100 ml)

|    | Tyd<br>in<br>uur | Wortels          |                  |                | Oplossings       |                  |                | Totale            |                  |                |
|----|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------|----------------|
|    |                  | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup>  | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> |
| +  | 0                | Spore            | .018             | .120           | .075             | .086             | .005           | .075 <sup>x</sup> | .104             | .125           |
|    | 5                | .064*            | .020             | .096           | .090             | .060             | .006           | .154              | .080             | .102           |
|    | 0                | Spore            | .020             | .134           | .075             | .086             | .005           | .075 <sup>x</sup> | .106             | .139           |
|    | 5                | .011             | .019             | .098           | .100             | .052             | .006           | .111              | .071             | .104           |
|    | 0                | Spore            | .018             | .121           | .075             | .086             | .005           | .075 <sup>x</sup> | .104             | .126           |
|    | 5                | .008             | .019             | .095           | .090             | .052             | .006           | .098              | .077             | .101           |
|    | 0                | Spore            | .022             | .148           | .025             | .053             | .237           | .025 <sup>x</sup> | .075             | .385           |
|    | 5                | "                | .025             | .173           | .033             | .010             | .607           | .033 <sup>x</sup> | .035             | .780           |
|    | 0                | Spore            | .020             | .135           | .025             | .053             | .237           | .025 <sup>x</sup> | .073             | .372           |
|    | 5                | "                | .021             | .148           | .028             | .009             | .581           | .028 <sup>x</sup> | .030             | .729           |
|    | 0                | Spore            | .021             | .144           | .025             | .053             | .237           | .025 <sup>x</sup> | .074             | .381           |
|    | 5                | "                | .025             | .170           | .055             | .008             | .601           | .055 <sup>x</sup> | .033             | .771           |
| 2+ | 0                | Spore            | .021             | .146           | .045             | .037             | .001           | .045 <sup>x</sup> | .058             | .147           |
|    | 5                | .022             | .016             | .113           | .374             | .011             | .012           | .396              | .027             | .125           |
|    | 0                | Spore            | .019             | .132           | .045             | .037             | .001           | .045 <sup>x</sup> | .056             | .133           |
|    | 5                | .017             | .016             | .114           | .304             | .012             | .008           | .321              | .028             | .122           |
|    | 0                | Spore            | .022             | .149           | .045             | .037             | .001           | .045 <sup>x</sup> | .059             | .150           |
|    | 5                | .017             | .016             | .118           | .354             | .012             | .013           | .371              | .028             | .131           |
| 2+ | 0                | Spore            | .021             | .144           | .006             | .144             | .001           | .006 <sup>x</sup> | .165             | .145           |
|    | 5                | "                | .039             | .123           | .078             | .354             | .013           | .078 <sup>x</sup> | .393             | .136           |
|    | 0                | Spore            | .020             | .134           | .006             | .144             | .001           | .006 <sup>x</sup> | .164             | .135           |
|    | 5                | "                | .035             | .109           | .086             | .391             | .010           | .086 <sup>x</sup> | .426             | .119           |
|    | 0                | Spore            | .021             | .144           | .006             | .144             | .001           | .006 <sup>x</sup> | .165             | .145           |
|    | 5                | "                | .039             | .114           | .083             | .362             | .013           | .083 <sup>x</sup> | .401             | .127           |

(x dui aan dat spore Ca nie bygereken is nie).

(\* waarde onbetroubaar).

HOOFSTUK 5

Algemene bespreking van resultate

Sedert Albrecht & McCalla (1938) begin het om kleisuspensies as kultuurmedia te gebruik, is dit redelik algemeen gedoen.

Die kontakuitruilingsteorie van Jenny & Overstreet (1939) het ontstaan nadat proewe met garswortels in kleisuspensies gedoen is. Hulle het gevind dat verdunde kleisuspensies met  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{H}^+$  as geadsorbeerde katione,  $\text{K}^+$  uit garswortels onttrek. Met die wortels en die klei deur 'n semi-deurdringbare membraan geskei, is die onttrekking van kalium, wat deur die skrywers toegeskryf is aan kontakuitruiling, nie verkry nie. Jenny, Overstreet & Ayers (1939) het 'n verdere bevestiging van die teorie van kontakuitruiling verkry deur proewe met garswortels wat radio-aktiewe kalium bevat het. Die isotoop is teenoor water behou, maar dit is aan soutoplossings en kleisuspensies afgegee. Baie meer kalium is deur die plante verloor in die teenwoordigheid van kleisuspensies as in die teenwoordigheid van soutoplossings, en die verlies aan kalium het met die suspensiekonsentrasies en die tyd van kontak vermeerder,

Lagerwerff (1956) het resultate openbaar gemaak wat die teorie van genoemde skrywers weerlê. Afgesnyde garswortels is in rubidiumversadigde montmorilloniet-suspensies en hulle ewewigdialisate geplaas. Die opname van  $\text{Rb}^+$  deur die wortels was dieselfde, al was die rubidium-konsentrasie in die suspensies baie hoër as in die dialisate. Hy het dan ook tot die gevolgtrekking gekom dat die suspensie-effek geen fisiologiese betekenis het nie.

Albrecht, Graham & Ferguson (1939) het aangetoon dat plantwortels ook 'n invloed op die klei het. Ge-elektrodialiseerde klei met barium, kalsium en magnesium as geadsorbeerde ione is deur sojabone afgebreek met vrystelling van silikon, aluminium en yster. Die volledige ontleding van sojabone en klei aan die begin en einde gee 'n balansstaat van die beweging van uitruilbare en nie-uitruilbare katione in kolloïdale klei.

Die/

Die resultate en teenstrydige gevolgtrekkings van bogenoemde skrywers toon duidelik aan dat baie werk nog gedoen sal moet word op die gebied van kleisuspensies as kultuurmedium. Mieliewortels is ook nog nie deur enige ander werker in studies met kleisuspensies gebruik nie, sodat geen ander resultate waarmee resultate in hierdie werk vergelyk kan word, beskikbaar is nie,

Die spesifieke effekte van geadsorbeerde ione op die groei van mielies is deur Grobler (1956) bestudeer. Harpuisstowwe is as uitruilers gebruik en resultate wat ooreenstem met dié wat Elgabaly (1955) met garswortels verkry het, is beskryf. Spesifieke invloede van verskillende ione is waargeneem en tot die gevolgtrekking is geraak dat die opneem of afgee van ione deur plante grootliks deur die aard van die komplementêre ioon beïnvloed word.

Grobler (1956) het bevind dat die beste wortelontwikkeling verkry is waar die groei in suiwer sand sonder enige voedingstowwe plaasgevind het. Dit toon aan dat die reservevoedsel in die jong plantjie vir goeie wortelontwikkeling voldoende is. Redelik goeie wortelontwikkeling is verkry waar die uitruilmedium met 'n mengsel van die ione versadig was, maar swak wortelontwikkeling is verkry waar die uitruiler met 'n enkele ioon versadig was, behalwe in die geval van kalsium. Ioonuitruiling speel dus 'n groot rol.

Die resultate in hoofstuk 3 toon aan dat die beste wortelontwikkeling in albei suspensies verkry is waar die klei slegs gewas is om vry ione te verwyder, met ander woorde, waar 'n mengsel van katione op die klei geadsorbeer was. Dit stem ooreen met die resultate van Grobler, hoewel die tydperke waarop wortel- en stingellengtes gemeet is, verskil. Die klei wat met spesifieke ione versadig is, lewer nie resultate wat ooreenstem met dié van Grobler nie. Die effek van kalsium- en magnesiumversadigde klei is ongeveer dieselfde. Die wortelontwikkeling in die kaliumversadigde bentonietklei was egter betekenisvol beter en dié in die kaliumversadigde kaolienklei betekenisvol swakker as dié van die kalsium-

en/

en magnesiumversadigde klei. By die kleisuspensies moet egter onthou word dat al die katione nie gedurende die versadigingsprosesse verplaas is nie (tabelle 16 en 17) en dat waterstof gedurende die wasproses ook weer van die versadigingsione kon vervang het. In werklikheid is die klei wat beskou is as versadig met spesifieke katione, dus nie heeltemal versadig nie. Die verskillende invloede van die kaliumversadigde klei dui egter aan dat daar tog verskille tussen die twee stelsels is. Aangesien die uitruilingskapasiteite van die suspensies nie veel verskil nie (tabel 1), lê die oorsake van die verskille waarskynlik in een of meer van die faktore wat die uitruilingsproses beheer.

Hoofstuk 4 gee die resultate van die ontledings van die wortels, chloriedoplossings en ewewigsoplossings van die suspensies aan. Daar is geprobeer om met behulp van die Donnan-ewewig (vergelyking 5) die hoeveelheid geadsorbeerde katione te bereken. Met die uitruilingskapasiteit ( $R^-$ ) en die konsentrasie katione in die ewewigsoplossing bekend, kan die verhouding van die geadsorbeerde katione tot katione in oplossings

$$K = \frac{M_i^+}{M_o^+} = \frac{\sqrt{M_i^{2+}}}{\sqrt{M_o^{2+}}}$$

bereken word. Hieruit kan die hoeveelheid geadsorbeerde katione dan vasgestel word. Daar is egter nie genoeg gegewens beskikbaar vir die berekening nie. Die konsentrasie van al die katione in die ewewigsoplossing is nodig en die waterstofkonsentrasie is nie bekend nie. Die lae konsentrasies van kalsium en magnesium is ook nie akkuraat genoeg om in 'n derdemagsvergelyking gebruik te word nie.

Aanduidings van katioonuitruiling tussen die plant, ewewigsoplossing en geadsorbeerde katione op die klei is duidelik. Die uitruiling tussen die wortels en die chloriedoplossings is, veral in die geval van kalium, kwantitatief vasgestel. As gevolg van die lae kalsium- en magnesiumkonsentrasies in sommige gevalle, is die waardes vir kalsium en magnesium minder goed. Ontleding van die ewewigsoplossings van die kleisuspensies het ook duidelik aangetoon dat die veranderings wat

waargeneem/

waargeneem is, nie deur die wortels alleen veroorsaak is nie. Die klei speel dus 'n aktiewe rol in die uitruilingsproses.

Kalium is in alle gevalle, behalwe by kaliumversadigde klei, uit die wortels onttrek. Dit stem ooreen met die resultate van Jenny & Overstreet (1939) en Jenny et al (1939). Die opname van kalium deur die wortels in die teenwoordigheid van kaliumversadigde suspensies lê waarskynlik in die verskuiwing van die ewewig in die stelsels by die hoë kaliumkonsentrasies. Hierdie postulaat sal egter nog bewys moet word.

Verhoogde kalsium- en magnesiumopnames deur die wortels uit die kalsium- en magnesiumversadigde kleisuspensies en uit die oplossings is ook waargeneem. Waar die verhouding  $Mg^{2+}/K^{+}$  (in milli-ekwivalente) gewoonlik tussen 0.14 en 0.20 wissel, is die volgende verhoudings verkry waar die wortels in teenwoordigheid van magnesium was:

$MgCl_2$  - 0.44

Mg-kaolien - 0.27

Mg-bentoniet - 0.32

Die hoogste magnesiuminhoud en die laagste kaliuminhoud van die wortels is in die  $MgCl_2$ -oplossings gevind. 'n Verhoging in magnesiumopname het dus 'n verhoogde kaliumuitskeiding tot gevolg.

Die verhoogde kalsiumopname deur die wortels in teenwoordigheid van kalsium het ook veranderings in die kaliuminhoud tot gevolg gehad, maar die vermindering was nie so groot as in die geval van magnesium nie. Die uitruiling van kalium vir magnesium is dus groter as dié van kalium vir kalsium. Verminderings in kalium en effense vermeerderings in magnesium is ook in die wortels wat in die kleisuspensies sonder spesifieke katioonversadiging was, gevind.

Die katioonuitruiling vind moontlik in die sogenaamde "free space" (Epstein, 1960) van die wortels plaas.

[Wiklander & Elgabaly (1949)] het bevind dat meer kalsium en  
natrium/

natrium deur garswortels opgeneem word uit bentoniet- as uit kaolien-suspensies wat met dieselfde konsentrasies en verhoudings van kalsium en natrium versadig was. Die konsentrasies en verhoudings van geadsorbeerde katione op die klei in die suspensies wat deur skrywer gebruik is, is nie spesifiek bepaal nie, maar volgens die resultate is meer kalsium, magnesium en kalium deur die wortels uit die bentonietsuspensies as uit die kaoliensuspensies opgeneem (tabelle 13 en 14). Die pH-waardes toon aan dat die waterstofioonkonsentrasie na die behandelings vermeerder het. Aangesien die presiese konsentrasies voor en na behandelings nie bekend is nie, is dit ook nie moontlik om vas te stel of die buitengewoon groot vermeerderings in kation-konsentrasies in die gevalle waar die bentonietsuspensies met spesifieke katione versadig is, toegeskryf kan word aan waterstofione wat uit die plante afkomstig is nie.

Dit is duidelik dat die afgesnyde mieliewortels 'n invloed het op die kationewewig en kationuitruiling in stelsels van wortels-ewewigsoplossing-klei. Noukeuriger en vollediger metodes is egter nodig voordat die veranderings presies verklar of in verband gebring kan word met die groeiverskille van die saailinge in die verskillende kleisuspensies.

## HOOFSTUK 6

### Opsomming

Uit twee tipes klei is suspensies van verskillende konsentrasies berei. Behalwe die suspensies waaruit slegs die vry ione verwyder is, is die suspensies met kalium, kalsium en magnesium onderskeidelik versadig. Na versadiging is die vry ione weer verwyder.

Mieliesade is gebruik om na te gaan of die geadsorbeerde katione, die kleikonsentrasie of die tipe klei enige invloed op die ontkieming en wortelontwikkeling van die saailinge het. Suiwer water is as kontrole gebruik.

Geen ontkiemingsverskille is waargeneem nie en die kleikonsentrasie het geen betekenisvolle invloed gehad nie. Die wortelontwikkeling na drie dae in die magnesium- en kalsiumversadigde kleisuspensies het ook geen betekenisvolle verskille opgelower nie, hoewel dit beter was as die van die kontrole. Definitiewe verskille in wortelontwikkeling is tussen die kaliumversadigde kaolien- en bentonietsuspensies gevind. Die klei self of faktore wat die uitruilingsreaksies van die klei beheer, het dus 'n invloed op die wortelontwikkeling van die saailinge. Die beste wortelontwikkeling het plaasgevind in die klei wat nie met spesifieke katione versadig is nie.

Afgesnyde mieliewortels is vyf uur lank in die verskillende kleisuspensies en suiwer chloriedoplossings gehou. In hierdie geval is net een konsentrasie van elke klei gebruik, sodat die katioonuitruilingskapasiteite van die suspensies ongeveer dieselfde was. Die wortels, chloriedoplossings en ewewigsoplossings van die suspensies is vir kalium, kalsium en magnesium ontleed.

Duidelike aanduidings van katioonuitruiling tussen die wortels en chloriedoplossings, en die wortels en kleisuspensies is verkry. Kalium is in alle gevalle, behalwe in teenwoordigheid van kaliumversadigde kleisuspensies, deur die wortels afgegee. Kalsium en magnesium/  
magnesium/

magnesium is opgeneem uit suspensies of oplossings wat hierdie katione bevat het. Verhoogde magnesiumopname deur die wortels het met verhoogde kaliumuitskeiding gepaard gegaan. Dieselfde verskynsel is in 'n mindere mate by kalsium aangetref.

Die verlaging in die pH's van die suspensies na behandelings is 'n aanduiding van waterstofuitskeiding deur die wortels. Die waterstofione dra by tot die uitruiling van geadsorbeerde katione op die klei.

Die beskikbare gegewens is onvoldoende om die groeiverskille van die saailinge in die verskillende kleisuspensies te verklaar.

BEDANKINGS

In die eerste plek wil ek Prof. D.J. du Plessis onder wie se leiding die studie onderneem is, hartlik bedank.

Ten tweede wil ek Dr. J.H. Grobler wie se belangstelling en aanmoediging in 'n groot mate vir die vordering van hierdie werk verantwoordelik was, van harte bedank.

Graag wil ek ook die Departement Landbou-Tegniese Dienste bedank vir die toestemming om hierdie resultate vir 'n verhandeling te gebruik.

My innige dank gaan ook aan my vrou vir haar aanmoediging en ondersteuning en vir al haar moeite in verband met die tik van hierdie verhandeling.

LITERATUURVERWYSINGS

- Albrecht, W.A. & McCalla, T.M., 1938. The colloidal clay fraction of the soil as a cultural medium. *Am. J. Bot.* 25, 403-407.
- Albrecht, W.A., Graham, E.R. & Ferguson, C.E., 1939. Plant growth and the breakdown of inorganic soil colloids. *Soil Sci.* 47, 455-458.
- Albrecht, W.A., 1946. Colloidal clay cultures: Preparation of the clay and procedures in its use as a plant growth medium. *Soil Sci.* 62, 23-31.
- Bolt, G.H. & Peech, M., 1953. The application of the Gouy theory to soil-water systems. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17, 210-213.
- Bolt, G.H., 1955. Ion adsorption by clays. *Soil Sci.* 79, 267-276.
- Davis, L.E., 1942. Significance of the Donnan equilibrium for soil colloidal systems. *Soil Sci.* 54, 199-219.
- Elgabaly, M.M. & Wiklander, L., 1949. Effect of exchange capacity of clay mineral and acidoid content of plant on uptake of sodium and calcium by excised barley and pea roots. *Soil Sci.* 67, 419-424.
- Elgabaly, M.M., 1955. Specific effects of adsorbed ions on plant growth: I. Effect of different combinations of calcium, magnesium, and sodium on barley seedlings. *Soil Sci.* 80, 235-248.
- Epstein, E., 1960. Spaces, Barriers, and ion carriers: Ion absorption by plants. *Am. J. Bot.* 47, 393-399.
- Grim, R.E., 1953. Clay mineralogy. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc.
- Grobler, J.H., 1956. Invloed van uitruilbare ione in harpuiisstawe op die ontkieming en groei van mielies. M.Sc.-thesis, P.U. vir C.H.O.

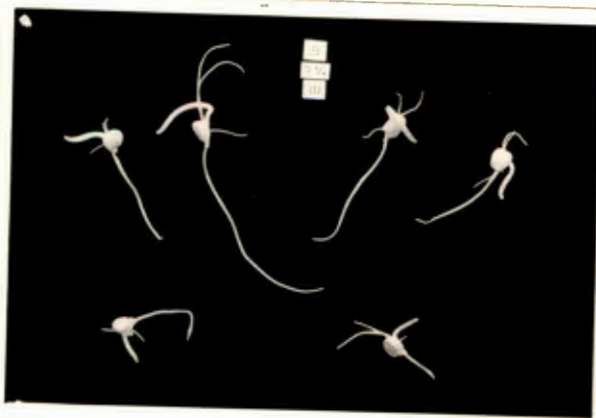
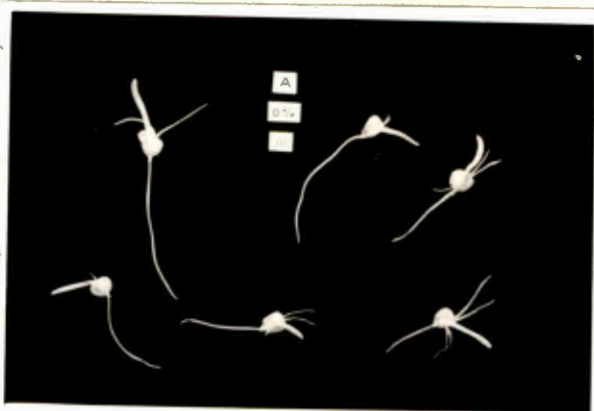
- Jennings, D.S., 1919. The effect of certain colloidal substances on the growth of wheat seedlings. Soil Sci. 7, 201-215.
- Jenny, H. & Overstreet, R., 1939. Cation interchange between plant roots and soil colloids. Soil Sci. 47, 257-272.
- Jenny, H., Overstreet, R. & Ayers, A.D., 1939. Contact depletion of barley roots as revealed by radioactive indicators. Soil Sci. 48, 9-24.
- Kelley, W.P., 1948. Cation exchange in soils. New York: Reinhold Publishing Co.
- Kunin, R. & Myers, R.J., 1950. Ion exchange resins. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lagerwerff, J.V., 1956. The uptake of ions by excised barley roots from soil-water systems. Ph.D. thesis, Cornell University.
- Lyon, T.L. & Buckman, H.O., 1937. The nature and properties of soils, 3rd ed. New York: The MacMillan Co.
- Marshall, C.E., 1935. Colloids in agriculture. London: Edward Arnold & Co.
- Marshall, C.E., 1949. The colloidal chemistry of the silicate minerals. New York: Academic Press Inc.
- Mattson, S., 1931. The laws of soil colloidal behavior: V. Ion adsorption and exchange. Soil Sci. 31, 311-331.
- Mattson, S. & Wiklander, L., 1940. The laws of soil colloidal behavior: XXI. The amphoteric points, the pH, and the Donnan equilibrium. Soil Sci. 49, 109-151.
- Mattson, S. & Larsson, K.G., 1946. The laws of soil colloidal behavior: XXIV. Donnan equilibria in soil formation. Soil Sci. 61, 313-330.
- Papadakis, J.S., 1941. An important effect of soil colloids on plant growth. Soil Sci. 52, 283-290.

- Piper, J.S., 1942. Soil and plant analysis. Adelaide: University of Adelaide.
- Pratt, P.F. & Bradford, G.R., 1960. Determination of exchangeable cations in soils with the Beckman model B flame spectrophotometer. Soil Sci. 89, 342-346.
- Russell, E.J., 1950. Soil conditions and plant growth, 8th ed. London: Longmans, Green & Co.
- Sandell, E.B., 1950. Colorimetric determination of traces of metals, 2nd ed. New York: Interscience Publishers, Inc.
- Schofield, R.K., 1947. Calculations of surface areas from measurements of negative adsorption. Nature, Lond. 160, 408-410.
- Schuffelen, A.C. & Middelburg, H.A., 1953. Ionic exchange inter-relationships in soils and crops. Neth. J. Agric. Sci. 1, 97-110.
- Shive, J.W., 1920. The influence of sand upon the concentration and reaction of a nutrient solution for plants. Soil Sci. 9, 169-179.
- Stout, P.R. & Overstreet, R., 1950. Soil chemistry in relation to inorganic nutrition of plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 1, 305-342.
- Thompson, L.M., 1957. Soils and soil fertility. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc.
- Toth, S.J., 1955. Colloid chemistry of soils. In Chemistry of the soil, F.E. Bear (Ed.). New York: Reinhold Publishing Co.

- Van der Merwe, C.R. & Heystek, H., 1952. Clay minerals of South African soil groups: I. Laterites and related soils. Soil Sci. 74, 383-401.
- Van der Merwe, C.R., & Heystek, H., 1955a. Clay minerals of South African soil groups: II. Subtropical black clays and related soils. Soil Sci. 79, 145-158.
- Van der Merwe, C.R. & Heystek, H., 1955b. Clay minerals of South African soil groups: III. Soils of the desert and adjoining semi-arid regions. Soil Sci. 80, 479-494.
- Van der Merwe, C.R., & Heystek, H., 1956. Clay minerals of South African soil groups: IV. Soils of the temperate regions. Soil Sci. 81, 399-414.
- Vanselow, A.P., 1932. Equilibria of the base-exchange reactions of bentonites, permutites, soil colloids and zeolites. Soil Sci. 33, 95-115.
- Van Itallie, Th.B., 1938. Cation equilibria in plants in relation to the soil. Soil Sci. 46, 175-186.
- Van Schouwenburg, J.Ch., 1961. Comparison of methods for the determination of calcium in plant material. Neth. J. Agric. Sci. 9, 181-187.
- Wiklander, L., 1946. Studies on ionic exchange with special reference to the condition in soils. Ann. Royal Agric College, Sweden.
- Wiklander, L., 1955. Cation and anion exchange phenomena. In Chemistry of the soil, F.E. Bear (Ed). New York: Reinhold Pub. Co.

BYLAAG 1

Saailinge in water

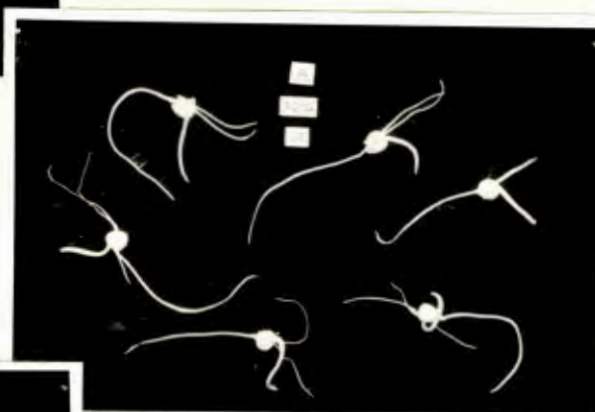


BYLAAG 2

Saailinge in kaoliensuspensies sonder spesifieke katioonversadigings



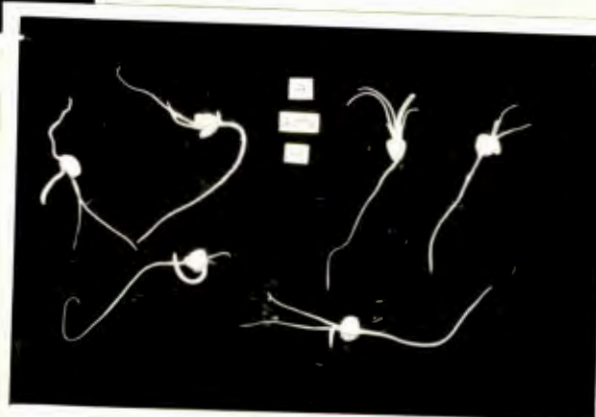
5% Klei



10% Klei



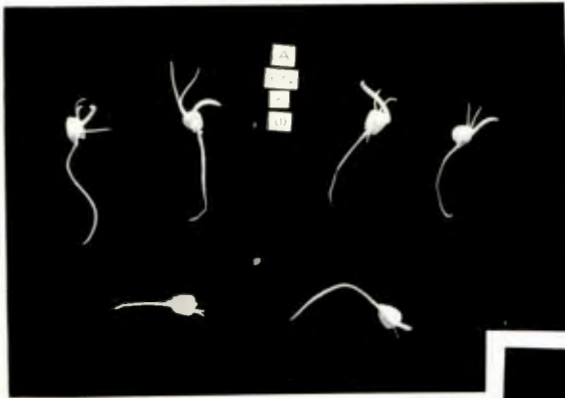
20% Klei



30% Klei

BYLAAG 3

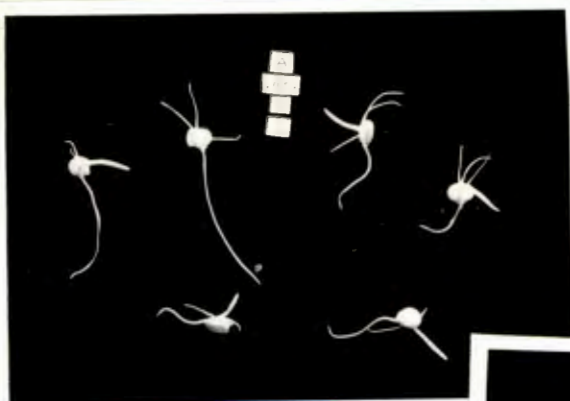
Saailinge in kaliumversadigde kaoliensuspensies



5% Klei



10% Klei



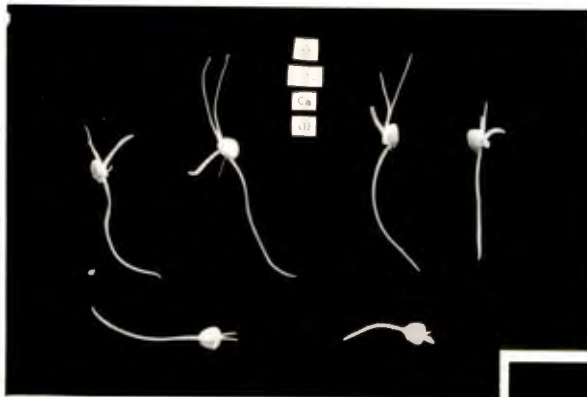
20% Klei



30% Klei

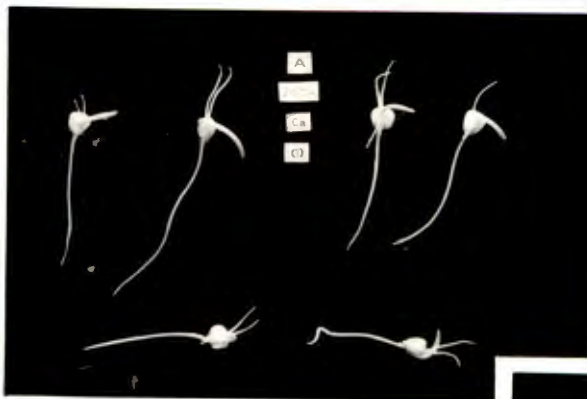
BYLAAG 4

Saailinge in kalsiumversadigde kaoliensuspensies



5% Klei

10% Klei



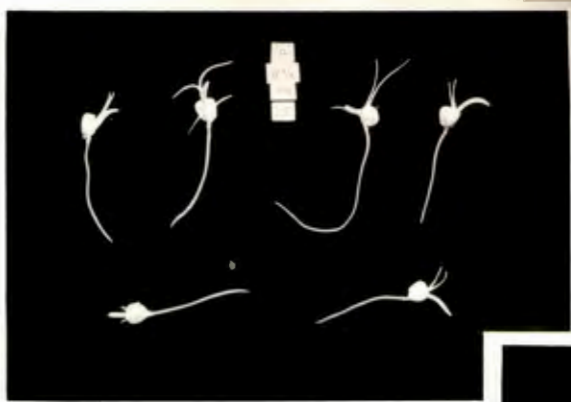
20% Klei

30% Klei

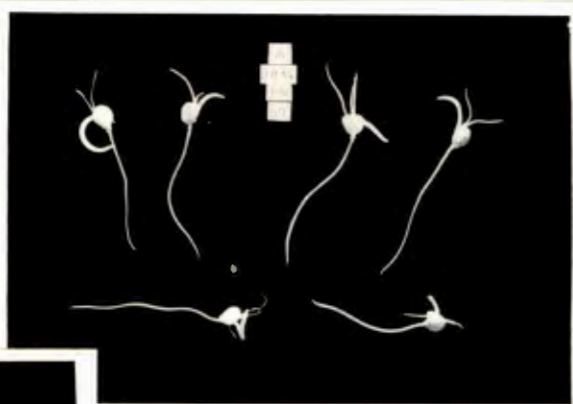


BYLAAG 5

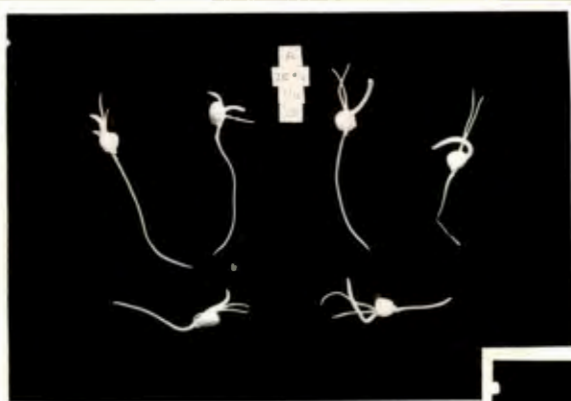
Saailinge in magnesiumversadigde kaoliensuspensies



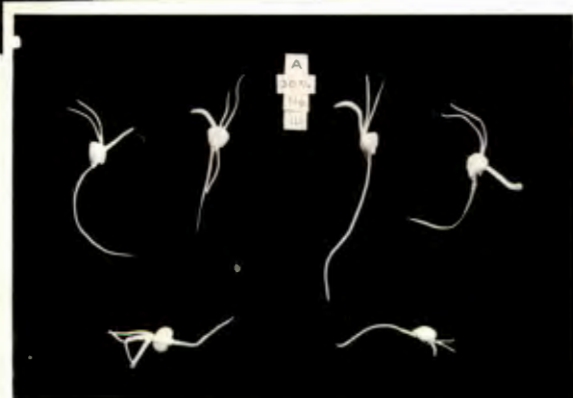
5% Klei



10% Klei



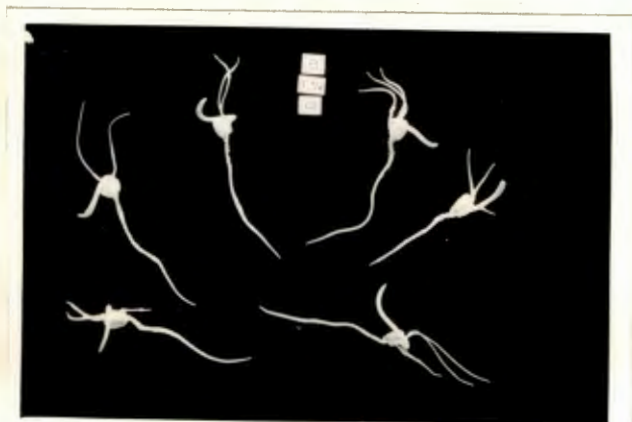
20% Klei



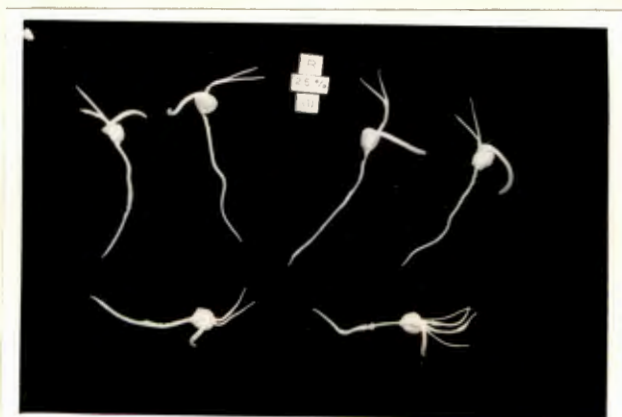
30% Klei

BYLAAG 6

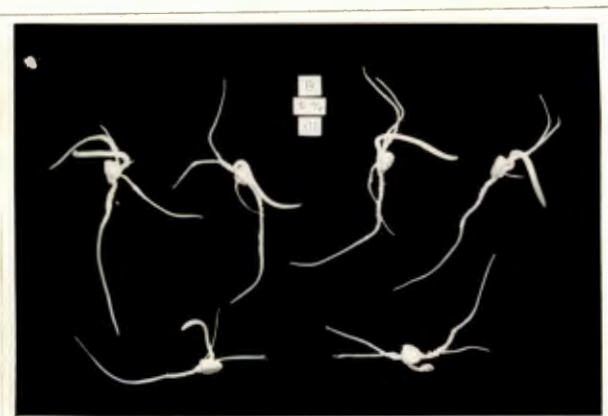
Saailinge in bentoniet suspensies sonder spesifieke katioonversadigings



1% Klei



2½% Klei



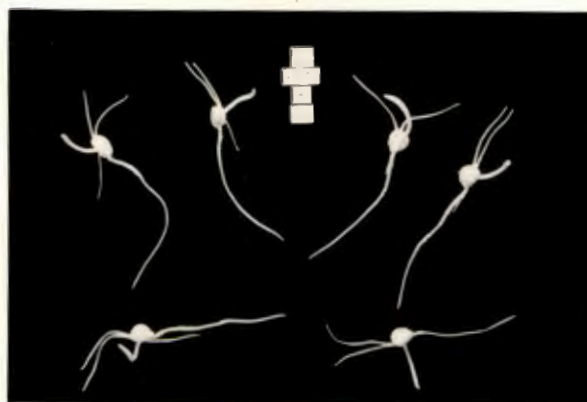
5% Klei

BYLAAG 7

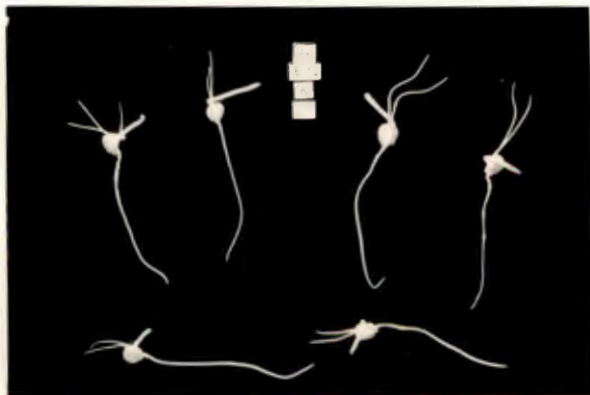
Saailinge in kaliumversadigde bentonietsuspensies



1% Klei



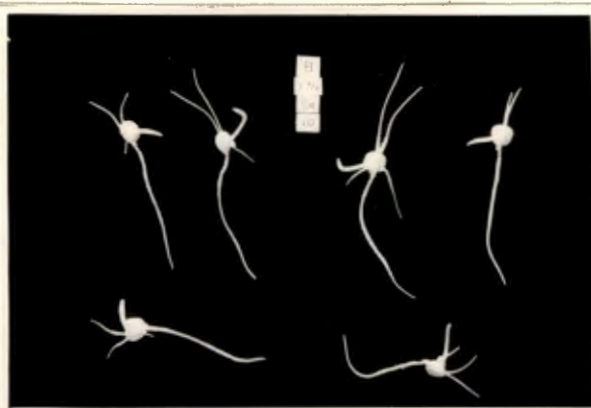
2½% Klei



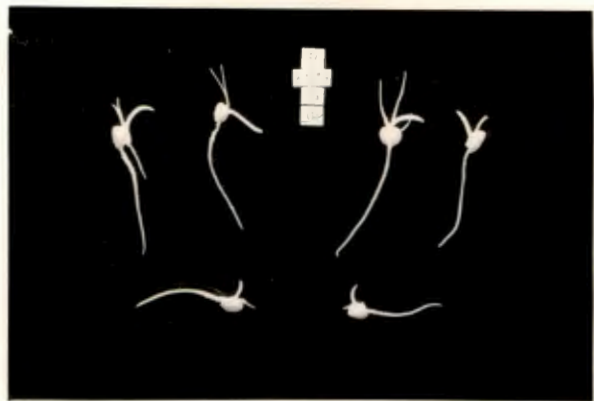
5% Klei

BYLAAG 8

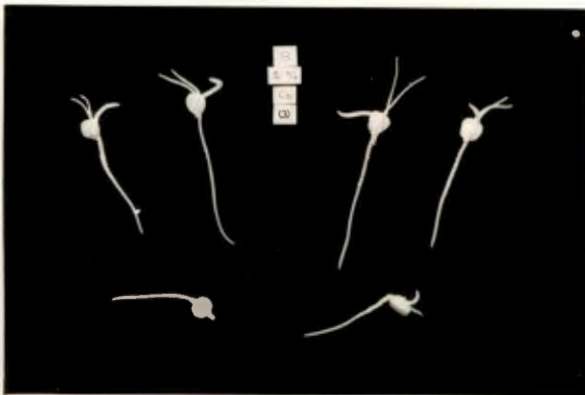
Saailinge in kalsiumversadigde bentonietsuspensies



1% Klei



2½% Klei



5% Klei

BYLAAG 9

Saailinge in magnesiumversadigde bentonietsuspensies



1% Klei



2½% Klei



5% Klei