

LABORATORIUM
VOOR LANDBOUWPLANTENTEELT DER LANDBOUWHOGESCHOOL
WAGENINGEN

DE BEWORTELING
VAN
EEN AANTAL LANDBOUWGEWASSEN

WITH A SUMMARY
ROOT DEVELOPMENT OF SOME FIELD CROPS

J. W. VAN LIESHOUT



STAATSDRUKKERIJ

UITGEVERIJBEDRIJF

VERSL. LANDBOUWK, ONDERZ. No. 62.16 — 'S-GRAVENHAGE — 1956

INHOUD¹

	Blz.
I. INLEIDING	5
II. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	6
III. BETEKENIS VAN KWANTITATIEVE CIJFERS BIJ HET WORTELONDERZOEK	8
IV. BESPREKING DER RESULTATEN	10
1. Groeisnelheid en diepteontwikkeling der wortels	10
2. Wortelproduktie	24
3. Loof/wortel-verhouding	30
4. Wortelconcurrentie	34
SAMENVATTING	42
SUMMARY	43
LITERATUUR.	45

¹ De auteur, ir. J. W. VAN LIESHOUT, is als wetenschappelijk ambtenaar verbonden aan het Laboratorium voor Landbouwplantenteelt der Landbouwhogeschool te Wageningen.

I. INLEIDING

Het wortelstelsel speelt in de betrekking plant-milieu een belangrijke rol. Toch wordt aan de wortelontwikkeling van een gewas over het algemeen veel minder aandacht geschonken dan aan de bovengrondse delen. Vanwege de moeilijke toegankelijkheid en de onopvallendheid van het wortelstelsel enerzijds en het directe doel van de plantenteelt: de oogstresultaten anderzijds, is dit begrijpelijk, doch niet helemaal terecht.

De ontwikkeling en opbrengst der bovengrondse delen is grotendeels afhankelijk van het wortelstelsel en omgekeerd. Zo bestaat er een nauwe wisselwerking tussen de boven- en ondergrondse plantendelen. Als voornaamste functies van de wortel zijn te noemen:

- a. Opname en transport van water en voedingszouten;
- b. Verankering van de plant in de bodem;
- c. Eventueel opslaan van reservevoedsel;
- d. Organische-stofvoorziening van de bodem.

Het is dus alleszins verantwoord het wortelstelsel nader te bestuderen. Naast het fysiologisch onderzoek is het vooral voor de praktijk van belang inlichtingen te verkrijgen over de morfologie van het wortelstelsel: habitus (pen- of bijworteltype), groeisnelheid, diepte-ontwikkeling, horizontale verbreiding, dichtheid, mate en wijze van vertakking der wortels. Met dit doel is gedurende enige jaren de wortelontwikkeling van een aantal gewassen tijdens hun groeiperiode nagegaan. Zodoende werd een inzicht verkregen in de typische verschillen in beworteling tussen de gewassen onderling en tussen groepen van gewassen. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de resultaten van dit onderzoek alleen geldig zijn voor de ter plaatse heersende omstandigheden van bodem en klimaat. Het is derhalve niet juist deze gegevens zonder meer te betrekken op andere milieu-omstandigheden. Deze studie beoogt echter een bijdrage te leveren tot het verkrijgen van een beter inzicht in en meer kennis over de morfologische eigenschappen van het wortelstelsel van onze landbouwgewassen.

II. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek werd gedurende de jaren 1950 t/m 1952 uitgevoerd op een hoge zandgrond met een bruin-zwarte matig humushoudende bovengrond (humusgehalte plm. 3 %), naar de diepte geleidelijk lichter wordend (op 40 cm humusgehalte plm. 1,5 %) en op 90 cm overgaande in fijn los zand. Storende lagen kwamen in het profiel niet voor, zodat de wortels zich onbelemmerd in de diepte konden uitbreiden. Wel kwamen nogal wat grotere en kleine stenen in het profiel voor.

Om de resultaten van de diverse gewassen over de verschillende jaren enigszins met elkaar te kunnen vergelijken, werden de bemesting, grondbewerking en rassenkeuze niet gevarieerd. Doch vanwege de van jaar tot jaar uiteenlopende weersomstandigheden, alsmede door de niet gelijke voorvrucht wordt een vergelijking zeer moeilijk en kan men hoogstens een benaderend beeld van de morfologische bouw van het wortelstelsel krijgen.

Onderzocht werden een 18-tal gewassen, welke eenvoudigheidshalve verdeeld zijn in 4 groepen (geen families):

Eenjarige vlinderbloemige gewassen: erwt, paardeblood, lupine, serradella, mengteelt lupine + serradella en wikke.

Eenjarige niet-vlinderbloemige gewassen: gele mosterd, dedersaad, haver, maïs en aardappel; bovendien de stoppelgewassen stoppelknol en spurrie.

Overjarige vlinderbloemige gewassen: rode, witte en ondergrondse klaver; rode klaver bovendien in mengteelt met enkele grassen.

Overjarige niet-vlinderbloemige gewassen: Italiaans raaigras, kropbaar en Frans raaigras in mono- en mengcultuur met rode klaver.

Hierbij moet opgemerkt worden, dat ondergrondse klaver en Italiaans raaigras geen uitgesproken overjarige gewassen zijn; onder Nederlandse klimaatsomstandigheden zelfs vaak slechts eenjarig door uitwintering.

Rijenafstand: erwt, paardeblood, lupine en gele mosterd: 30 cm; dedersaad, serradella, mengteelt serradella + lupine, wikke en haver: 20 cm; maïs en aardappels: 40 cm, in de rij 50 cm; stoppelknol 25 cm en spurrie 12,5 cm.

Zaaitijd: op het voor de verschillende gewassen in het betreffende jaar meest gunstige tijdstip (maart, april).

Bemesting: 200 kg kas, 600 super en 300 kg K40% /ha.

Bij de bemonstering werden de planten met behulp van een spijkerplank (85 cm diep, 65 cm breed, spijkerlengte 10 cm) uitgegraven (GOEDEWAAGEN, 1948). Daartoe wordt de spijkerplank in de verticale wand van de profielkuil gedrukt en de 85 cm lange grondkolom met een bovenzijde van plm. 650 cm² ongestoord uitgegraven. Vervolgens wordt de vrijgekomen grondkolom op een rooster gelegd, de spijkerplank weggenomen, het uitgegraven profiel met behulp van stalen veren tussen twee roosters geklemd en de grond door middel van een T-vormige sproeier weggespoeld. Tenslotte worden steentjes, onkruidwortels en eventuele stoppelresten van de voorvrucht verwijderd. Men heeft dan een 10 cm dikke doorsnede van het wortelstelsel.

De profielen zijn steeds loodrecht op de plantrijen genomen, zodat naargelang de rijenafstand 1, 2, 3 of 5 plantrijen in het profiel voorkomen. Het uitgespoelde en schoongemaakte wortelstelsel werd gefotografeerd, gedroogd bij 105° C en vervolgens gewogen. Vanwege het aanklevende zand werden wortels en loof gegloeid, zodat tenslotte de asvrije droge stof verkregen is.

Het voornemen om alle gewassen periodiek om de twee weken te bemonsteren kon niet geheel verwezenlijkt worden vanwege de tijdrovende werkzaamheden aan het uitgraven en schoonmaken van deze uitgebreide reeks van gewassen verbonden. Toch werden alle gewassen minstens 5 maal uitgegraven, grassen en klavers zelfs 6 maal, maïs 9 maal en stoppelknol en spurrie 8 maal. Hierdoor werd een vrij goed beeld verkregen van de habitus, groeisnelheid en dichtheid van het wortelstelsel.

Alvorens tot bespreking van de resultaten over te gaan nog de volgende opmerking. Daar de resultaten over de verschillende jaren van jaar tot jaar een overeenkomstig beeld vertoonden, leek het ons overbodig het volledige cijfer- en fotomateriaal in dit verslag op te nemen. Op een enkele uitzondering na is derhalve volstaan met de vermelding van de gegevens van één jaar en wel van 1952. Deze beperking heeft bovendien het voordeel, dat de voor alle gewassen uniforme weersomstandigheden een vergelijking van de weergegeven cijfers en figuren toelaten.

III. BETEKENIS VAN KWANTITATIEVE CIJFERS BIJ HET WORTELONDERZOEK

Alvorens de resultaten te bespreken, is het gewenst te wijzen op de grote moeilijkheden, die zich bij het kwantitatief wortelonderzoek voordoen (SIMON en EICH, 1955). Bij vergelijking van cijfermateriaal van verschillende onderzoekers valt meestal een grote variatie waar te nemen. Deze is aan verschillende oorzaken toe te schrijven, waarop o.a. door GOEDEWAAGEN en SCHURMAN (1950) en KÖHNLEIN en VETTER (1953) is gewezen.

Oude wortelresten en onkruidwortels vormen vooral bij de boormonsters vaak ernstige fouten. KÖHNLEIN en VETTER stelden door voorvruchtresten een 35 % en door onkruid een 10 % hoger wortelgewicht vast.

Monstername. De worteldichtheid varieert van plek tot plek zeer sterk en men moet dus een groot aantal monsters nemen om een betrouwbare gemiddelde wortelopbrengst te krijgen. Dit is met de spijkerplank bezwaarlijk (verstoring van het profiel, beschadiging van het gewas, zeer tijdrovend). Bovendien is men beperkt t.a.v. de te onderzoeken worteldiepte (grondkolom is onhandelbaar zwaar). De wortelboor heeft echter het bezwaar dat ze op veengrond en grond met veel stenen niet bruikbaar is. Bovendien kleven aan elke monstername steeds grotere of kleine niet te vermijden onnauwkeurigheden.

Spoeltechniek. Van belang is de maaswijdte der zeven en de nauwgezetheid waarmee gespoeld wordt om het verlies aan fijne worteltjes zoveel mogelijk te voorkomen. Ook de aan de wortels klevende grond kan een grote fout geven.

Bemonsteringsdiepte. Deze heeft grote invloed op de wortelopbrengst. Dikwijls wordt slechts tot 20 of 30 cm diepte bemonsterd of wordt zelfs helemaal geen bemonsteringsdiepte opgegeven. Wel is het wortelgewicht in diepere bodemlagen t.o.v. de totale wortelmassa gering, doch deze wortels vormen de enige bron van organische stof in de ondergrond en hebben ongetwijfeld ook betekenis voor de water- en eventueel voor de voedselopname. Daarom mogen de maximale worteldiepte en de worteldichtheid in diepere lagen niet buiten beschouwing worden gelaten.

Gewicht der stoppels en stoppelhoogte. Hierover wordt in de literatuur vaak te weinig uitsluitend gegeven, terwijl hierdoor het gewicht toch aanzienlijk beïnvloed wordt. Volgens GOEDEWAAGEN is bij granen het zuivere wortelgewicht ongeveer 1/3 van het gewicht wortels + stoppels.

Maximale wortelproductie. Het tijdstip van het maximale wortelgewicht is voor verschillende gewassen niet gelijk. Bij granen ligt dit bv. lang vóór het afrijpen van het gewas. Om dit tijdstip vast te stellen moet men dus vaak bemonsteren. Bovendien wordt de wortelontwikkeling door bodem- en weersomstandigheden sterk beïnvloed.

In het algemeen zal men de beste kwantitatieve resultaten bij het morfologisch wortelonderzoek verkrijgen door een combinatie van spijkerplank- en boormethode, terwijl bovendien terdege rekening moet worden gehouden met bovengenoemde foutenbronnen.

Een moeilijkheid van andere aard bij het wortelonderzoek in het veld vormt het natuurlijke milieu, de bodem. Deze vormt nl. een veel gecompliceerder geheel dan het groeimilieu in een pot of bak. De wortels reageren uiterst gevoelig op allerlei storende invloeden van het milieu (GOEDEWAAGEN, 1942). Wij noemen slechts: structuur in boven- en ondergrond, waarmee de lucht- en waterhuishouding ten nauwste samenhangt; ondoorlatende lagen in het bodemprofiel, temperatuur, humusgehalte, zuurgraad en vruchtbaarheidstoestand van de bodem. Ook de gezondheidstoestand van het gewas heeft invloed op de wortelgroei. Immers een gedeelte van de door de bovengrondse delen gevormde koolhydraten wordt naar de wortels getransporteerd en aangewend voor de wortelgroei. Vandaar dat een sterke wortelgroei de bovengrondse ontwikkeling enigszins vertraagt. Hieruit volgt, dat de wortelgroei praktisch stilstaat tijdens de periode, waarin de bovengrondse delen al hun assimilaten nodig hebben voor de zaadvorming. Zo bestaat er een nauw verband tussen bodem, klimaat en wortelontwikkeling en het is vaak uiterst moeilijk vast te stellen, welke van de vele factoren het wortelbeeld in het natuurlijk milieu bepalen. Daar komt nog bij dat het wortelstelsel een zeker aanpassingsvermogen bezit. Van een plantensoort kunnen verschillende vormen van wortelstelsels voorkomen, afhankelijk van het groeimilieu. De verschillende vormen kunnen veroorzaakt zijn door erfelijke aanleg (natuurlijke selectie) of door modificatie of plasticiteit (fenotypische aanpassing). De maximale variatiebreedte van het aanpassingsvermogen van het wortelstelsel geeft inlichtingen over de teeltmogelijkheden van het gewas (vgl. CLEVERINGA, 1943).

Ondanks deze grotere of geringere plasticiteit van het wortelstelsel bezit elke plantensoort een min of meer karakteristiek wortelstelsel. Dit geldt zeker voor cultuurgewassen, die door selectie tot op zekere hoogte al aan engere milieu-grenzen zijn aangepast. Hoe gering echter de aanpassing ook zijn moge, uit bovenstaande summier besproken problemen t.a.v. het morfologisch wortelonderzoek in het veld zal het evenwel duidelijk zijn, dat elk waargenomen wortelbeeld slechts representatief is voor het milieu, waarin het tot ontwikkeling is gekomen. Het was onze bedoeling dit te onderstrepen en erop te wijzen, dat de hierna te bespreken resultaten geen algemene en absolute geldigheid bezitten, doch slechts een bescheiden bijdrage vormen tot een betere kennis van de morfologie van het wortelstelsel onzer cultuurgewassen.

IV. BESPREKING DER RESULTATEN

Achtereenvolgens zullen thans besproken worden: groeisnelheid en worteldiepte, wortelproductie, loof/wortel-verhouding en wortelconcurrentie.

1. GROEISNELHEID EN DIEPTEONTWIKKELING DER WORTELS

In tabel 1 zijn de eenjarige vlinderbloemige gewassen (groep 1) vergeleken wat betreft hun groeisnelheid en worteldiepte. In het jeugd stadium heeft lupine de grootste en serradella de geringste groeisnelheid.

TABEL 1. Worteldiepte van eenjarige vlinderbloemige gewassen tijdens de groeiperiode

Aantal dagen na zaaien	Worteldiepte in cm					
	Erwt	Paardeboon	Lupine	Serradella	Serradella + lupine	Wikke
45	45	40	55	25	50	35
68	75	50	75	70	70	60
80	75	70	80	80	75	80
103	70	75	85	85	80	85
124	60	55	80	> 85	80	75

Days after sowing	Rooting depth in cm					
	Pea	Bean	Lupin	Serradella	Serradella + lupin	Vetch

TABEL 1. Root depth of annual leguminous crops in different stages of growth

Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de krachtige, dikke penwortel van lupine, die volgens FRUWIRTH (1921) gemakkelijker hindernissen overwint dan serradella en wikke. FRUWIRTH onderscheidt nl. bij de leguminosen 3 worteltypen:

- a. krachtige, dikke penwortel; dringt diep in de grond door en overwint vrij gemakkelijk hindernissen in de grond. Zijwortels van de eerste orde vooral op grotere diepte gering in aantal, kort en vrij dik: geringe zijwaartse uitbreiding b.v. lupine (fig. 1).
- b. dunne penwortel, overwint hindernissen in het profiel moeilijker; vooral bovenaan meer zijwortels, waardoor ook grotere zijwaartse uitbreiding b.v. serradella (fig. 2).
- c. stevige, vrij dikke penwortel, overwint moeilijk hindernissen; zeer veel zijwortels: grote zijwaartse uitbreiding b.v. paardeboon (fig. 3) (vgl. TORNAU u. STÖLTING, 1944).

Ook KRAUS (1914) wijst op de geringe worteldichtheid van lupine in vergelijking met veldbonen en erwten.

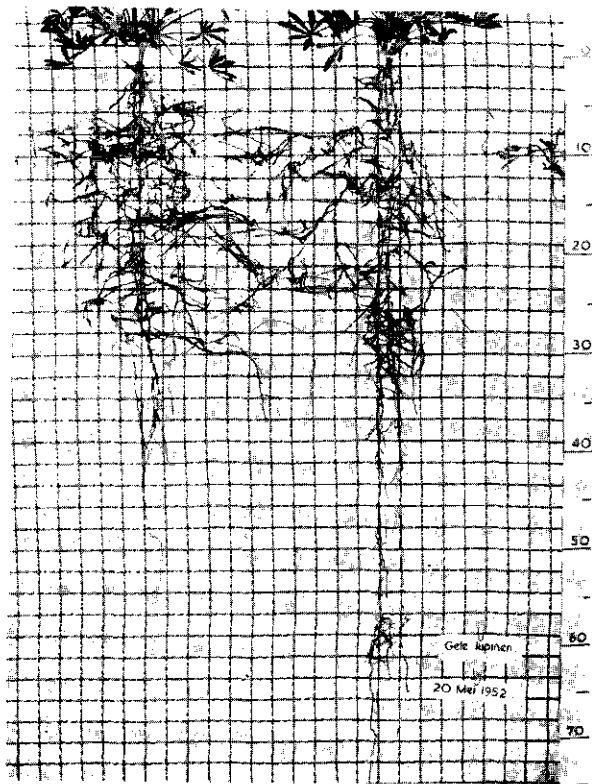


FIG. 1.

Lupine; dikke penwortel, weinig doch korte en vrij dikke zijwortels

FIG. 1.

Lupin, 45 days old; thick taproot, the short fairly thick laterals are not numerous

FIG. 2. Serradella; dunne penwortel, meer en langere zijwortels

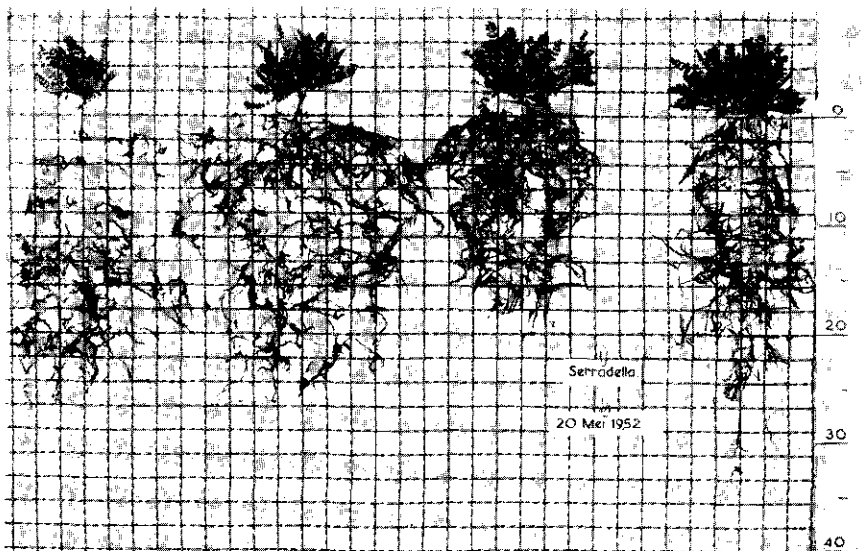


FIG. 2. *Serradella, 45 days old; thin taproot, more and longer branched laterals*

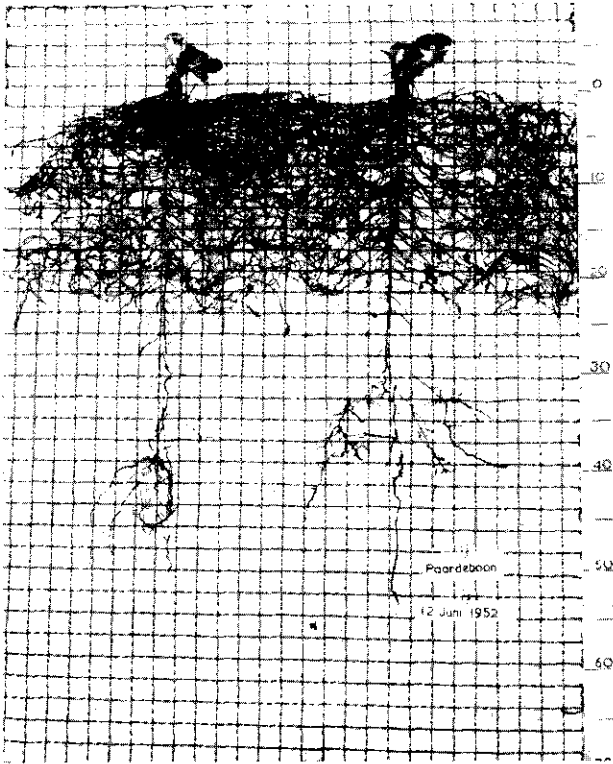
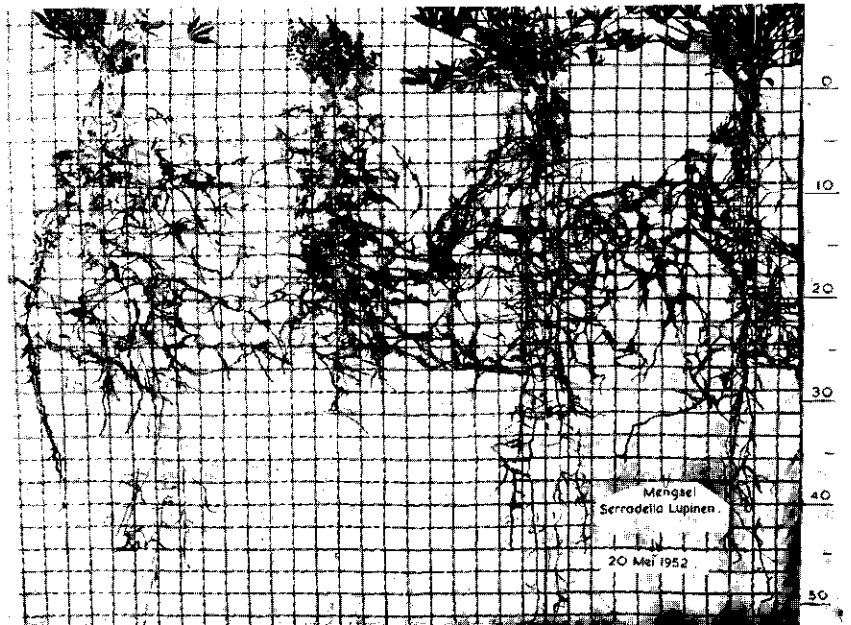


FIG. 3.
Paardeboon; vrij dikke penwortel, zeer veel zij-
wortels

FIG. 3.
*Bean, 68 days old; taproot rather thick, laterals
numerous, especially in the 0-20 cm layer*

FIG. 4.
Serradella + lupine-meng-
teelt; dichtere doorworteling
t.g.v. verschil in worteltype
van serradella en lupine:
wortelstelsels vullen elkaar
aan

FIG. 4.
*Serradella + lupin mixture,
45 days old; a greater root
density as a result of the dif-
ferent root habit of the two
crops: complementary root
systems*



Na 68 dagen is de worteldiepte van paardebouen beduidend achtergebleven, hetgeen FRUWIRTH'S opvatting bevestigt. Serradella daarentegen bereikt een diepte van 70 cm en heeft de aanvankelijke achterstand in worteldiepte geheel ingehaald. De gemiddelde groeisnelheid neemt bij alle gewassen geleidelijk af en na 80 dagen worden de verschillen in worteldiepte ook steeds minder. Na 103 dagen is de worteldiepte weinig of niets meer toegenomen; de meeste gewassen beginnen af te rijpen. Na 124 dagen zijn de wortels reeds aan het afsterven, vooral bij erwt, paardebouen en wikke. Bij serradella neemt de dieptegroei nog toe, waarschijnlijk tengevolge van de ongelijke afrijping. Lupine en serradella wekten de indruk aanzienlijk dieper te wortelen dan met de gebruikte spijkerplank kon worden nagegaan. Deze mening wordt versterkt door een onderzoek van KÖNEKAMP (1935/36), die o.a. voor gele lupine en serradella een bewortelingsdiepte waarnam van resp. 240 en 160 cm. Doch hij ging de wortelgroei na in bakken met grond, waardoor de condities voor wortelgroei gunstiger zijn.

STEPHAN (1937) vond op lichte zandgrond in het veld voor serradella een veel geringere diepte. Wel spreekt hij van een aanvankelijk zeer snelle wortelgroei, die na 20 dagen meestal geringer wordt, hetgeen niet met onze resultaten overeenstemt.

De worteldiepte van de gewassen van groep 2, die slechts gemeen hebben, dat zij eenjarig en niet-vlinderbloemig zijn, is weergegeven in tabel 2.

TABEL 2. Worteldiepte van eenjarige niet-vlinderbloemige gewassen tijdens de groeiperiode

Aantal dagen na zaaien	Worteldiepte in cm						
	Stoppelknol	Spurrie	Dederzaad	Gele mosterd	Haver	Mais	Aardappel
15	20	10					
27	25	30					
40	30	35				25	30
45			35	50	50		
50	50	50				30	35
62	60	65					60
71	70	75	50	70	75	70	
83	75	80	65	75	80		65
96	75	80				85	
105			70	70	> 85		55
120			50	65	75	> 85	
138						> 85	
159						> 85	
171						> 85	
186						> 85	
Days after sowing	Turnip	Spurry	Camelina sativa	White mustard	Oats	Maize	Potato
	Rooting depth in cm						

TABEL 2. Root depth of annual non-leguminous crops in different stages of growth

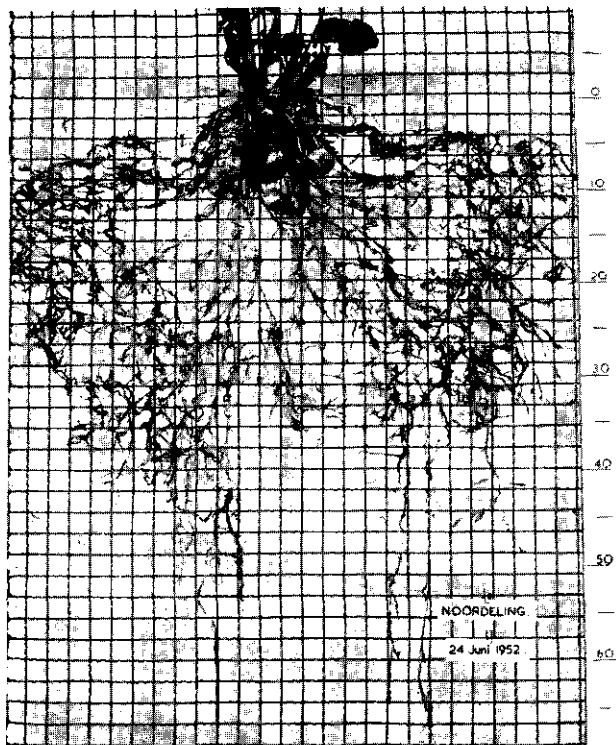


FIG. 5.

Aardappel in jeugd stadium; sterke horizontale wortelgroei

Potato, 62 days old; in early stage, root growth nearly horizontal parallel with surface of soil

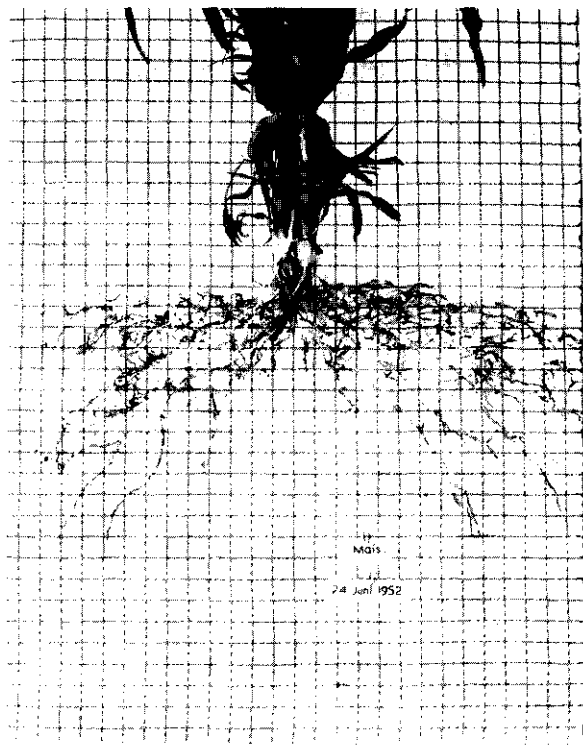


FIG. 6.

Maïs in jeugd stadium; zeer vlak wortelend gewas

Maize in early stage, 50 days old: root system very shallow

De groeisnelheid van de stoppelknol- en spurriewortels is aanvankelijk groter (plm. 1 cm per dag) dan van de overige gewassen. **WEAVER** en **BRUNER** (1927) stelden bij stoppelknol op lemige grond een wortelgroei van 3 cm per dag vast, terwijl de uiteindelijke diepte ook veel groter was. Op meer zandige grond was de diepgang geringer, doch wel steeds een uitgebreid wortelstelsel. Volgens **BECKER-DILLINGEN** (1929) heeft spurrie wel een rijk vertakt, doch minder diepgaand wortelstelsel. Wij constateerden voor beide gewassen een ongeveer gelijke worteldiepte. Hieruit blijkt nog weer hoe moeilijk het is om resultaten van verschillende onderzoeken te vergelijken, daar de steeds afwijkende milieu-omstandigheden grote invloed hebben.

De aanvankelijk geringe worteldiepte bij aardappel en maïs is te verklaren uit de sterke horizontale wortelgroei in het jeugd stadium (fig. 5 en 6). Pas na 50 dagen treedt er een flinke dieptegroei op. De aardappelwortels bereiken een opvallend geringe diepte, hetgeen waarschijnlijk een kwestie is van de ondergrond; zij kunnen veel dieper gaan.

Maïs blijkt de grootste diepte en horizontale wortelgroei te bezitten (fig. 7). Zij heeft echter ook de langste groeiperiode en de grootste loofmassa.

Haver, die evenals de maïs tot de gramineeën behoort, wortelt minder horizontaal, wat mede door de dichtere stand veroorzaakt wordt (fig. 8). De diepte kan aanzienlijk zijn, doch de uitzonderlijke diepte, die SCHULZE (1911 en 1914) opgeeft, is een gevolg van de onderzoekmethode (in betonnen bakken). SCHNEIDER (1912) wijst op de grote verschillen in wortelstelsel bij diverse haverrassen. ROTMISTROFF (1926) constateerde bij haver een eindpunt in wortelgroei in het begin van de bloei, terwijl deze bij wintergranen tot aan de rijping doorging. Behalve dit onderscheid blijken wintergranen ook dieper te wortelen dan zomergranen als gevolg van de langere vegetatieperiode. Volgens BALAZS (1954) neemt bij granen zowel de worteldiepte als de wortelmassa toe tot de afrijping.

Dederzaad blijft tijdens de gehele groeiperiode in worteldiepte achter. De maximale diepte wordt bereikt na 80 à 90 dagen, waarna vele fijne wortels afsterven. Volgens KRAUS heeft men bij dederzaad en gele mosterd een typische cruciferenbeworteling; de bovenste zijwortels van de penwortel zijn veel sterker vertakt dan de zijwortels op grotere diepte. ROTH (1926) deelde mosterd en dederzaad in bij het type met sterke zijwortel-ontwikkeling en minder duidelijke penwortel (fig. 9 en 10).

Het wortelbeeld van deze gewassen vertoont enige overeenkomst met haver, hoewel deze een aanzienlijk grotere worteldichtheid, gramineeën eigen, bezit (vergelijk fig. 8).

FIG. 7.

Maïs, volwassen plant; zeer uitgebreid wortelstelsel ook in diepere lagen

Maize about stage of ripening; widely distributed and profusely branched network of roots even in the deeper layers of the soil

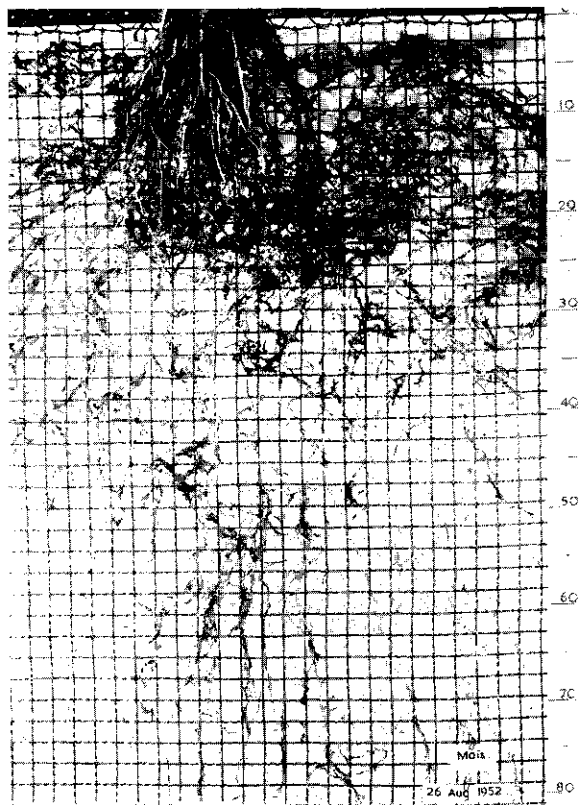
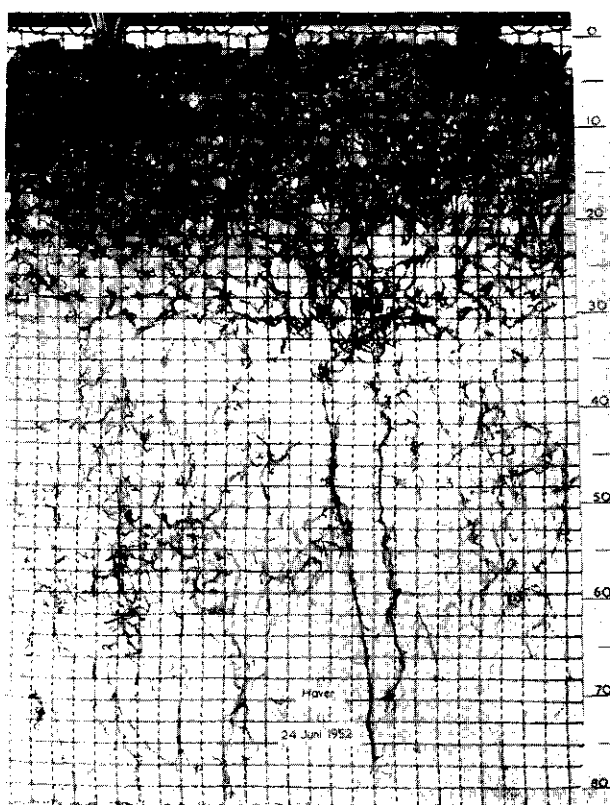


FIG. 8.

Haver; grote worteldichtheid en worteldiepte

Oats, 83 days old; profusely branched and fibrous deep root system



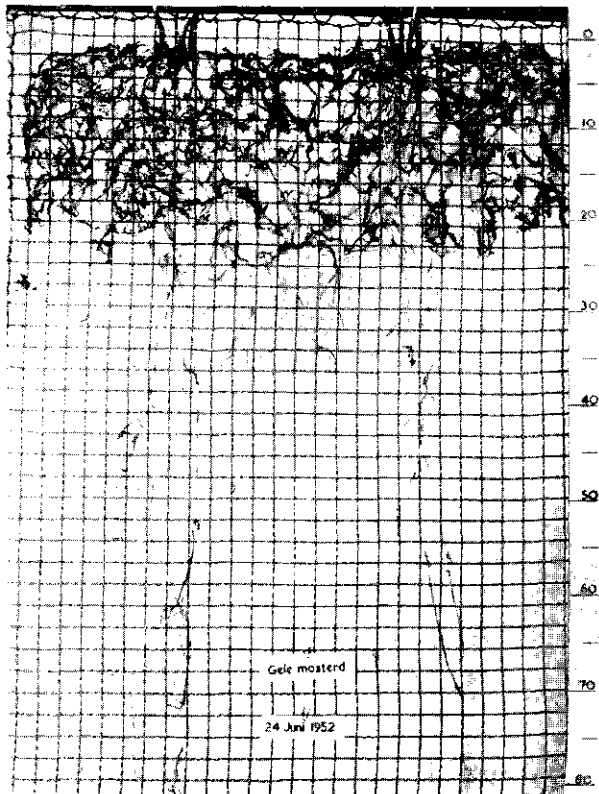


FIG. 9.
Gele mosterd; penworteltype met vooral in de bovenlaag sterke zijwortelontwikkeling

White mustard, 83 days old; tap root with many branches in the 20 cm surface layer

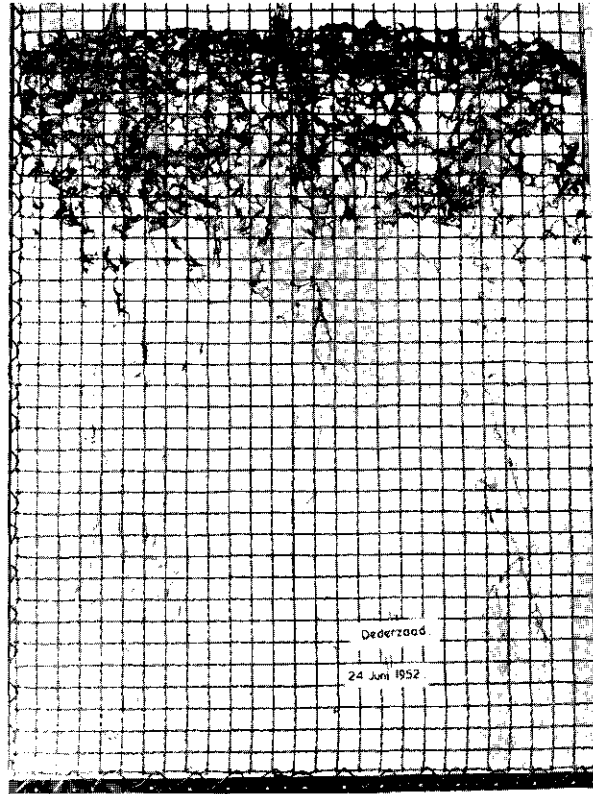


FIG. 10.
Dederzaad (als bij gele mosterd)

Camelina sativa, 83 days old; root habit similar to mustard (fig. 9)

TABEL 3. Worteldiepte van overjarige gewassen tijdens de groeiperiode

Aantal dagen na zaaien	Worteldiepte in cm								
	Ital. raai	Kropaar	Frans raai	It. raai + r. klaver	Kropaar + r. klaver	Fr. raai + r. klaver	Rode klaver	Witte klaver	Ondergr. klaver
55	40	30	30	40	30	30	35	20	45
74	65	35	40	55	35	35	45	35	70
96	70	60	60	60	60	65	70	55	85
122	80	75	80	80	65	80	75	65	85
163	> 85	> 85	> 85	> 85	> 85	> 85	80	70	> 85

Days after sowing	It. rye	Cocksf.	Tall oat-gr.	It. rye + r. clover	Cocksf. + r. clover	Tall oat-gr. + r. clover	Red clover	White clover	Subterr. clover
	Rooting depth in cm								

TABEL 3. Root depth of perennial crops during the first year of growth

Van de groeisnelheid en bereikte worteldiepte van de meerjarige gewassen (groep 3 en 4) geeft tabel 3 een indruk. Opvallend is de geringe groeisnelheid t.o.v. die der eenjarige gewassen. Vooral witte klaver wortelt langzaam en ondiep, waarbij Italiaans raaigras en ondergrondse klaver gunstig afsteken. Het feit, dat deze laatste twee gewassen geen uitgesproken overjarige gewassen zijn, komt in hun grotere snelheid van wortelgroei enigszins tot uiting. Bij de laatste oogstdatum (na 163 dagen) bleek, dat ondanks de geringe wortelgroeisnelheid alle gewassen aanmerkelijk dieper wortelden dan met de spijkerplank kon worden vastgesteld, uitgezonderd witte klaver. Dit wordt in de literatuur bevestigd. Zo vond WITTE (1929) op leemhoudende zandgrond bij 6 maanden oud Frans raaigras en kroppaar een worteldiepte van resp. 182 en 110 cm. KÖNEKAMP (1934) vermeldt in bakken nog een grotere worteldiepte. Het door KAUTER (1933), KRAUS (1911) en WEAVER (1926) vermelde feit, dat Frans raaigras niet slechts dieper, doch ook sneller wortelt dan kroppaar, werd door ons eveneens vastgesteld (fig. 11a en b en 12 a en b).

De onderzochte grassen bezitten tot op een aanzienlijke diepte een dichte wortel-massa, welke naar schatting 95-99% van de totale wortelhoeveelheid uitmaakt. RAPPAPORT (1938) vond bij Eng. raaigras meer dan 99% van de totale wortelmassa in de bovenste 40 cm. Bij Ital. raaigras ligt de grens van deze dichte wortelmassa op ongeveer 40 cm (fig. 13), bij kroppaar en Fr. raaigras bij plm. 35 cm (vgl. fig. 12a en b). Dus de zg. oppervlakkige beworteling van de grassen is zeer betrekkelijk.

Naast de ouderdom van deze overjarige gewassen heeft ook de gebruikswijze invloed op de worteldiepte en worteldichtheid. Daarom is een gedeelte van het gewas gemaaid en later tegelijk met het niet gemaaid gewas bemonsterd. In worteldiepte werd geen verschil vastgesteld; wel in worteldichtheid, welke bij het gemaaid gewas

FIG. 11. a en b. Kroppaar en Frans raaigras in jeugd stadium; Frans raaigras wortelt duidelijk dieper dan kroppaar

FIG. 11. a. *Cocksfoot* in early stage

b. *Tall Oatgrass* in early stage. The greater depth of *Tall Oatgrass* is evident



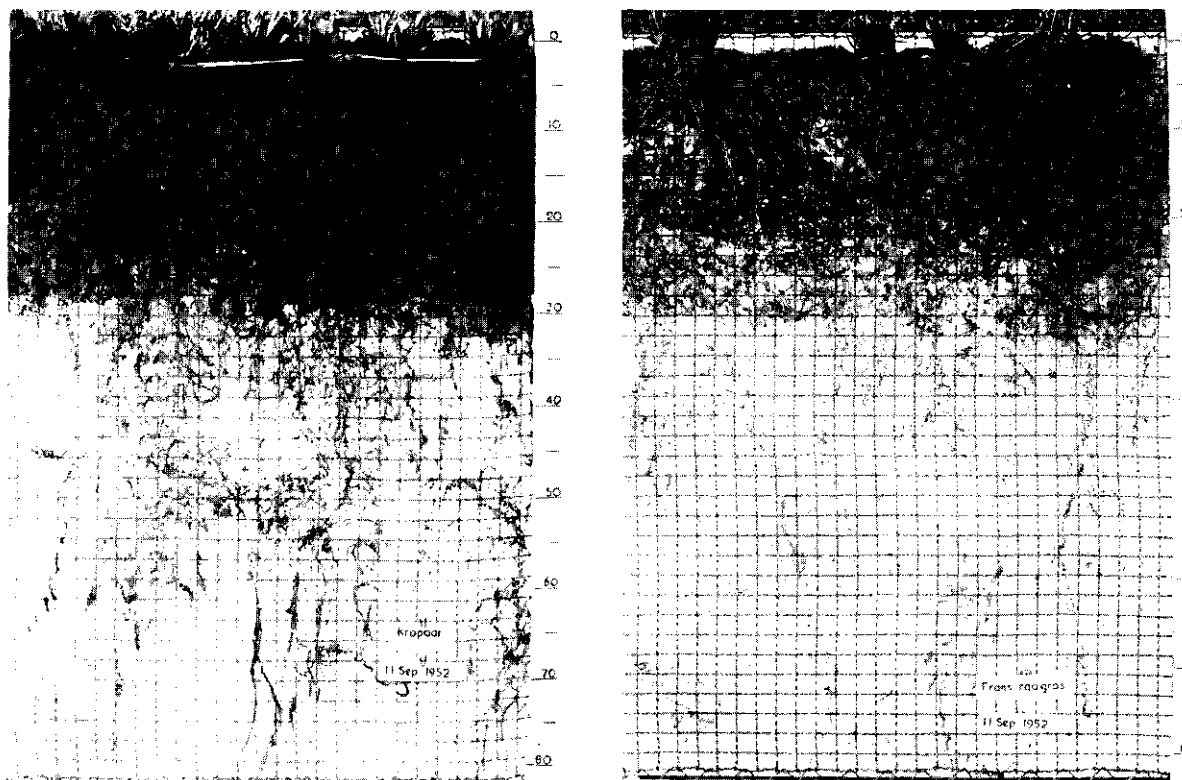


FIG. 12. a en b. Kropaar en Frans raagrass rijp; praktisch geen verschil in worteldiepte tussen kropaar en Frans raagrass meer aanwezig

FIG. 12. a and b. Cocksfoot and Tall Oatgrass respectively, mature root system; in this stage the rooting depth of the two crops is almost equal

aanzienlijk geringer was (zie § 2: Wortelproductie, pag. 24). Blijkbaar doet de in de literatuur vermelde invloed van de gebruikswijze op de worteldiepte, nl. een zich terugtrekken van de wortels naar de bovenste laag, zich pas na langere tijd gelden.

Het duidelijke verschil in bewortelingsdiepte tussen witte en rode klaver is ook uit de literatuur bekend. Zo geeft WEAVER (1926) voor rode klaver in het eerste groei-seizoen een bewortelingsdiepte op van 120–180 cm; KÖNEKAMP (1934) na 4,5 maand 190 cm. SCHULZE (1911) vermeldt een worteldiepte in het eerste jaar van 80 cm, doch in het tweede jaar van 2–3 m. Witte klaver geven alle onderzoekers op als minder diep wortelend dan rode klaver, hoewel KÖNEKAMP na 120 dagen toch nog een worteldiepte van 130 cm constateerde. Toch rekent hij witte klaver tot de ondiep wortelende en rode tot de middelmatig diep wortelende gewassen.

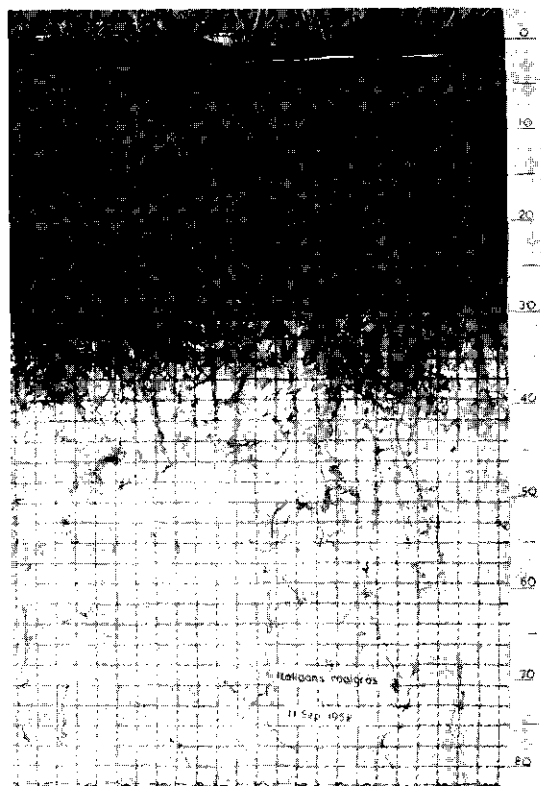


FIG. 13. Ital. raaigras; grens van dichte wortel-massa op + 40 cm diepte. Deze ligt bij kropbaar en Fr. raaigras op 30 à 35 cm (verg. fig. 12a en b)

FIG. 13. *Italian rye grass, mature plants; great mass of roots penetrated to a depth of 40 cm. Root depth of Cocksfoot and Tall Oatgrass has been restricted in this stage to the upper 30–35 cm layer (fig. 12a and b)*

Overigens is het onmogelijk uit eenjarige proeven conclusies te trekken aangaande de beworteling van meerjarige gewassen. Doch in dit onderzoek zijn alle gewassen opzettelijk gelijk behandeld om deze te kunnen vergelijken en verschillen goed tot uiting te doen komen.

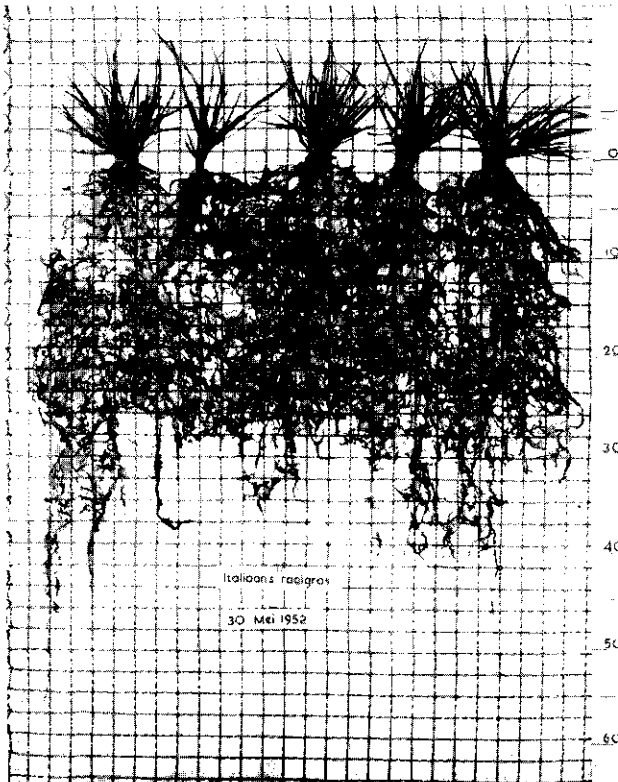
Fig. 16 (pag. 22) geeft een overzicht van de toename van worteldiepte per periode van 20 dagen van alle onderzochte gewassen. Zij geeft dus een indruk van de groeisnelheid der wortels. Hieruit blijkt de aanvankelijk veel snellere wortelgroei bij de eenjarige gewassen, terwijl de worteldiepte bij de overjarige gewassen regelmatig blijft toenemen tijdens het gehele groeiseizoen. Duidelijk komt het verschil in wortelontwikkeling tussen eenjarige en meerjarige gewassen tot uiting in de fig. 14a, b, c en 15a, b en c, welke het wortelstelsel van haver resp. Ital. raaigras in verschillende stadia weergeven. Na de bloei sterven de wortels bij haver af, terwijl bij Ital. raaigras de wortelgroei doorgaat. KAUTER (1933) nam bij Frans raaigras en kropbaar zelfs wortelgroei waar in de winter.

FIG. 14. a. b. en c.

Wortelstelsel van eenjarige graminaea (haver) in 3 verschillende groeistadia. De worteldichtheid en de worteldiepte nemen na de bloei af (afsterving)



FIG. 14. a, b and c *Root system of an annual graminaea (oats) in 3 different stages of growth. The mass and depth of the roots decrease after the flowering stage (roots dying-off and decay)*



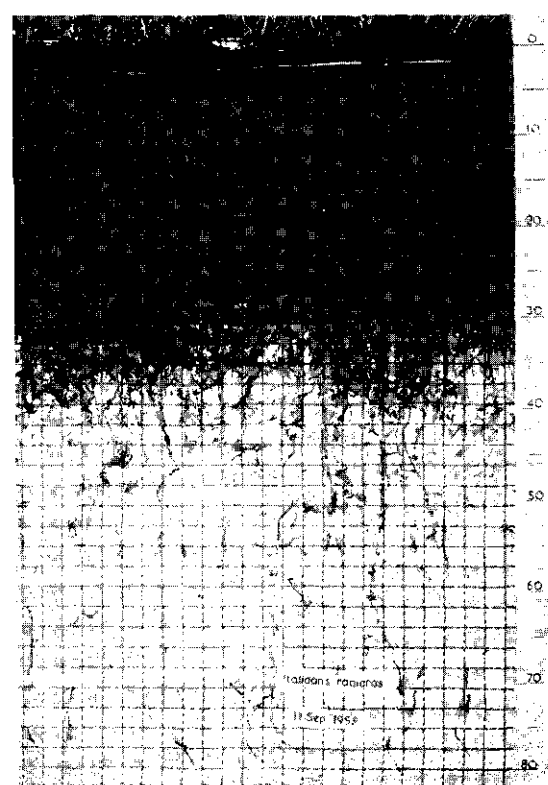
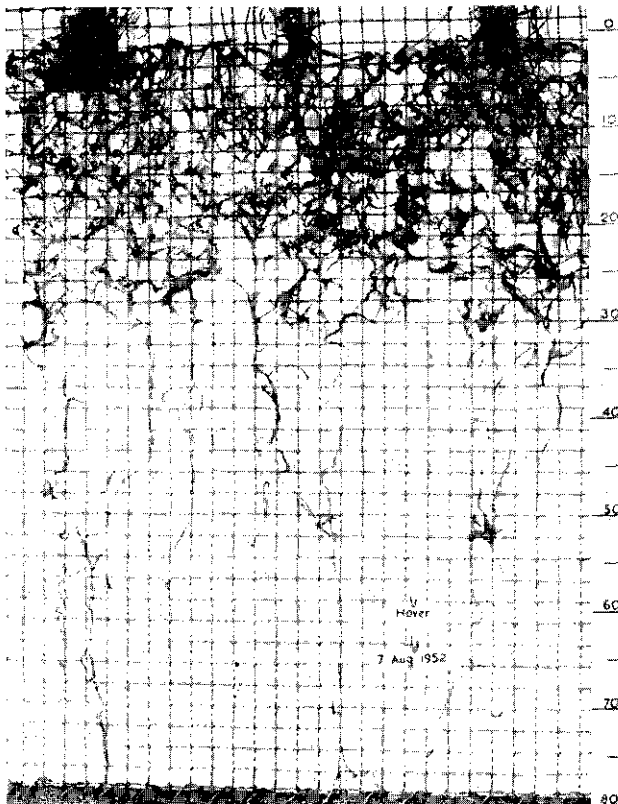
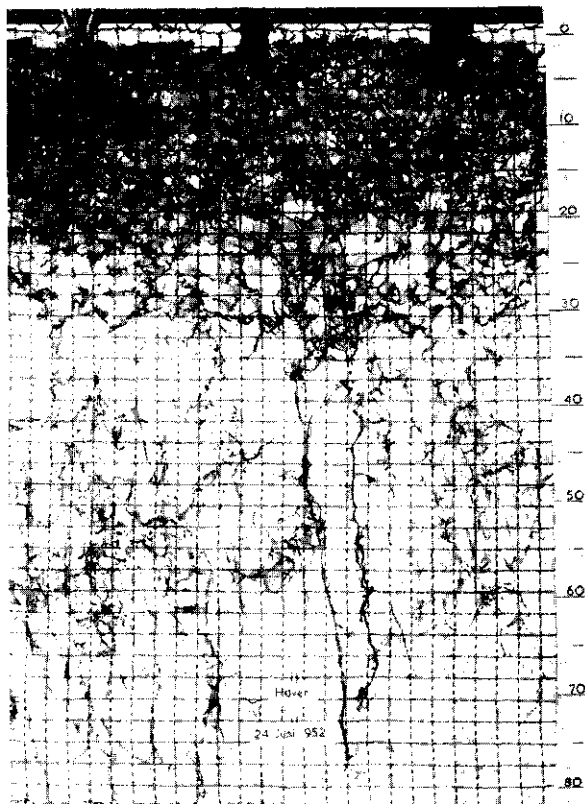


FIG. 15 a, b en c.

Wortelstelsel van meerjarige graminacea (Italiaans raaigras) op 3 overeenkomstige tijdstippen in het groeiseizoen. De wortelgroei gaat tot het einde van het groeiseizoen door en bijgevolg neemt de wortelmassa regelmatig toe

FIG. 15 a, b and c.

Root system of a perennial graminacea (Italian rye grass) at 3 adequate data of the growing season. Root growth and rootmass increase steadily till the end of the season

FIG. 16. Overzicht van de groeisnelheid en bereikte diepte der wortels van de onderzochte gewassen tijdens de groeiperiode, omgerekend in perioden van telkens 20 dagen

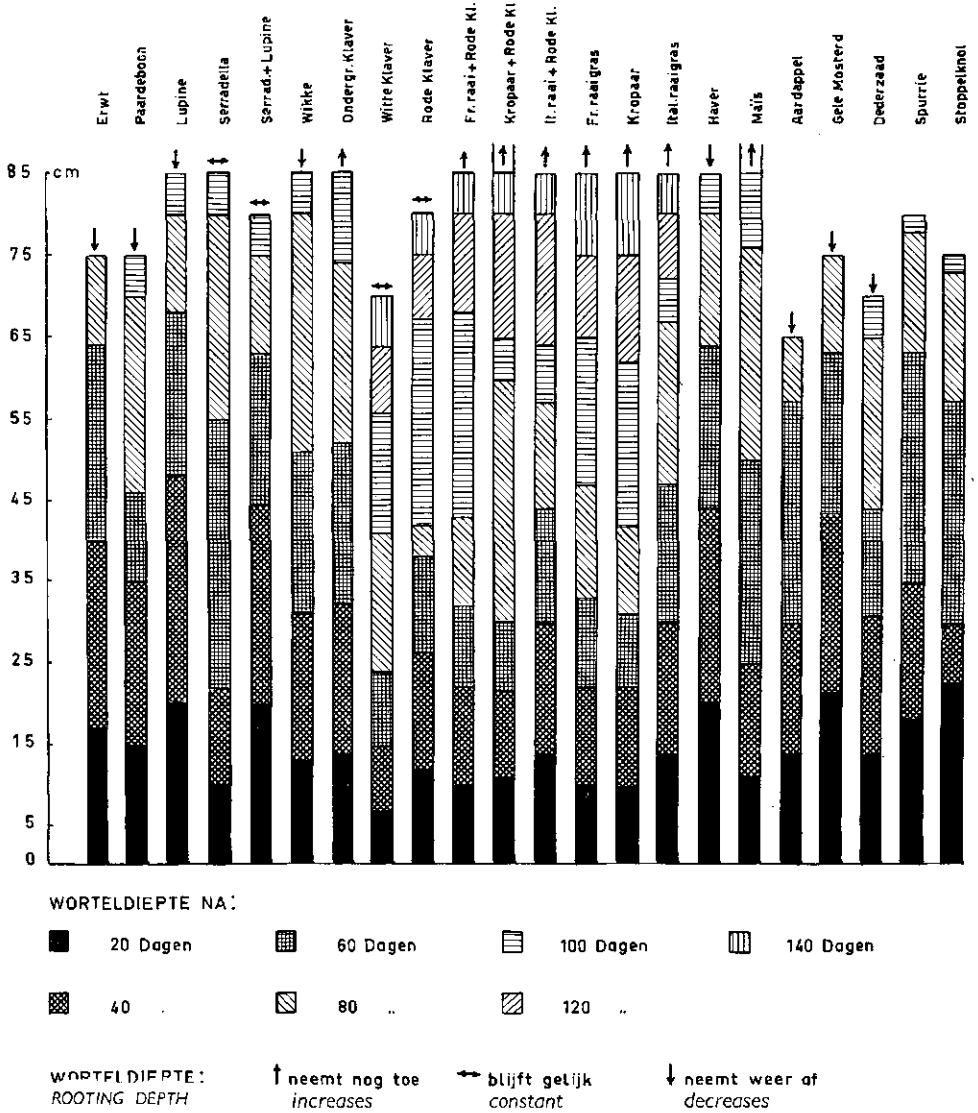


FIG. 16. Survey of the rate of root growth and penetrated depth of the crops investigated, converted to periods of 20 days (Dagen = days)

De grotere worteldiepte, in de literatuur vaak vermeld, is te verklaren, deels uit de methode van onderzoek en het groeiomgeving, deels uit de opgegeven maximale worteldiepte. In ons geval is meer gelet op de diepte, welke het merendeel der wortels (90-95 %) bereikte. De uiteindelijke diepte, welke een enkele wortel bereikt, is relatief van geringe betekenis en kan hoogstens in perioden van ernstige droogte een catastrofale verdroging van het gewas helpen voorkomen, doch kan nooit in de totale waterbehoefte van de plant voorzien.

Daarnaast verschaffen de fotografische opnamen der uitgegraven wortelstelsels ons een beeld van de bestaande verschillen in worteltype en worteldichtheid tussen de diverse gewassen.

2. WORTELPRODUKTIE

De na de oogst op het land achterblijvende wortels en stoppels vormen een belangrijke bron van organische stof in de grond. Een berekening van de hoeveelheid organische stof, die door de wortel- en stoppelresten van verschillende gewassen aan de bodem worden toegevoegd, is van grote betekenis voor het op peil houden van een goede bodemvruchtbaarheid, temeer nu door het hoge kunstmestverbruik de organische bemesting aanzienlijk is teruggelopen. Door kunstmest wordt echter indirect de hoeveelheid organische stof in de grond ook vergroot. Immers bemesting geeft een intensievere beworteling, welke op haar beurt meer organische stof in de grond achterlaat. Blijkens de uitgebreide literatuurgegevens bestaan er grote verschillen in organische-stofproductie, dus in voorvruchtwaarde tussen de verschillende gewassen (BOHNE, 1950; BOHNE u. GARVERT, 1951; BOMMER, 1955; GERICKE, 1945 en 1946; GOEDEWAAGEN en SCHURMAN, 1950; KÖHNLEIN u. VETTER, 1953; SALONEN, 1949). Bij vergelijking van de wortelopbrengstcijfers der eenjarige vlinderbloemige gewassen komt dit ook duidelijk tot uiting (tabel 4).

TABEL 4. Gewicht wortels van eenjarige vlinderbloemige gewassen tijdens de groeiperiode

Aantal dagen na zaaien	Droge stof wortel per monster (in g)					
	Erwt	Wikke	Paardeboon	Lupine	Serradella + lupine	Serradella
45	3,71	2,75	3,58	2,46	6,44	3,12
68	4,80	6,32	9,27	4,36	8,31	4,94
80	6,31	11,96	14,09	7,05	9,50	8,08
103	4,32	7,43	18,38	7,99	9,60	9,16
124	3,47	6,63	15,59	8,32	8,41	5,63
Days after sowing	Pea	Vetch	Bean	Lupin	Serradella + lupin	Serradella
<i>Dry weight of roots (gr/sample of 55 dm³)</i>						

TABLE 4. Dry weight of roots of annual leguminous crops in different stages of growth

Zo heeft de paardeboon in deze groep van gewassen duidelijk de grootste en de erwt de geringste wortelproductie. Overigens is de variatie in wortelgewicht bij deze gewassen niet zeer groot. Een ander verschilpunt is het tijdstip van de grootste wortelproductie: wikke in het begin van de bloei, erwt en serradella op het einde van de bloei, paardeboon en lupine na de bloei. Opvallend is nog, dat de maximale wortelproductie bij een lupine + serradella-mengsel slechts weinig hoger is dan bij monocultuur van serradella (lupine is niet direct vergelijkbaar: rijenafstand 30 cm; in het mengsel en bij serradella 20 cm).

TABEL 5. Gewicht wortels van eenjarige niet-vlinderbloemige gewassen tijdens de groeiperiode

Aantal dagen na zaaien	Droge stof wortel per monster (in g)						
	Stoppelknol ¹	Spurrie	Dederzaad	Gele mosterd	Haver	Maïs	Aardappel ²
15	0,07	0,07					
27	0,77	0,75					
40	1,23	1,86					
45			4,82	3,53	8,77	1,12	4,53
50	2,99	1,90				2,60	5,72
62	8,48	2,92					6,35
71	9,27	4,80	4,77	4,86	13,32	16,42	
83	8,46	4,47	5,29	7,74	16,10		4,83
96	9,91	4,94				28,66	
105			5,23	7,52	15,12		5,67
120			3,48	4,13	8,41	30,96	
138						30,31	
159						32,—	
171						27,18	
186						22,22	
Days after sowing	Turnip ¹	Spurry	Camelina sativa	White mustard	Oats	Maize	Potato ²
	Dry weight of roots (gr/sample of 55 dm ³)						

¹ Wortel = wortel + knol.

¹ Roots = roots + turnip.

² Wortel = wortels + stolonen, geen knollen.

² Roots = roots + stolons, without tubers.

TABLE 5. Dry weight of roots of annual non-leguminous crops in different stages of growth

Tussen de wortelgewichten der eenjarige niet-vlinderbloemige gewassen (tabel 5) treden grotere verschillen in wortelproductie op dan bij de vorige groep (± 5 g bij dederzaad en spurrie, 32 g bij maïs). Doch deze gewassen zijn ook moeilijk vergelijkbaar. Vooral de gramineeën maïs en haver leveren veel wortels. Het wortelgewicht der overige 5 gewassen ligt in dezelfde orde van grootte als dat van de vorige gewassengroep. Tijdstip van de maximale produktie: aardappel vóór de bloei, dederzaad en mosterd tijdens de bloei, maïs en haver nà de bloei. Spurrie en stoppelknol hadden op de laatste oogstdatum waarschijnlijk hun maximum wortelgewicht nog niet bereikt, doch vanwege de slechte weersomstandigheden (sneeuw, vorst) kon later niet meer bemonsterd worden; het gewas begon na 4 november (laatste oogst) spoedig afstervingsverschijnselen te vertonen.

TABEL 6. Gewicht wortels van overjarige gewassen tijdens de groeiperiode

Aantal dagen na zaaien	Droge stof wortel per monster (in g)					
	Rode klaver	Witte klaver	Ondergr. kl.	Ital. raai	Kropaar	Frans raai
55	2,85	1,04	6,48	8,28	9,08	3,08
74	8,84	3,74	11,60	19,22	12,14	10,09
96	12,63	5,62	14,06	36,67	22,70	19,81
122	14,47	9,65	17,89	36,16	40,91	32,67
163*	18,46	6,69	11,37	47,30	49,09	52,13
163**	15,30	5,23	7,50	33,07	34,33	27,42
<i>Days after sowing</i>	<i>Red clover</i>	<i>White clover</i>	<i>Subterr. cl.</i>	<i>It. rye</i>	<i>Cocksf.</i>	<i>Tall oat-gr.</i>
	<i>Dry weight of root (gr/sample of 55 dm³)</i>					

* = niet gemaaid.

** = gemaaid op 7/7.

* = not cut.

** = cut on 7/7.

TABLE 6. *Dry weight of roots of perennial crops during the first year of growth*

Tabel 6 geeft de wortelopbrengstcijfers van de overjarige gewassen tijdens het eerste groeiseizoen. Deze blijken een veel grotere wortelmassa te vormen dan de eenjarige gewassen. Bij de klavers steekt de witte ongunstig af door het lage wortelgewicht. Doch rode en ondergrondse klaver produceren zelfs meer wortels dan haver. De grassen leveren een zeer grote hoeveelheid wortels. Dit is wel een zeer groot verschil met de overige gewassen; zelfs maïs kan het daar lang niet bij halen.

Wat het tijdstip van de maximale produktie betreft, dit ligt bij deze gewassen vrij laat in het seizoen: voor de klavers na de bloei (begin augustus) en voor de grassen ongeveer half september. Terwijl bij de klavers daarna het wortelgewicht weer afneemt, neemt dit bij de grassen tot en met de laatste oogstdatum toe.

Om de invloed van de gebruikswijze op de wortelontwikkeling na te gaan, is een gedeelte van klaver- en grasveldjes op 7 juli gemaaid. Het blijkt dat bij het gemaaide gewas de worteldichtheid aanzienlijk terugloopt; bij de grassen nog sterker dan bij de klavers (de beworteling van witte en van ondergrondse klaver was ook op de niet gemaaide veldjes afgenomen). Hieruit kan men enigszins afleiden welk een grote invloed de gebruikswijze op de wortelontwikkeling heeft. Naast de geringere wortelmassa krijgt men ook een ondiepere beworteling (KLAPP, 1943 en 1951; KMOCH, 1952; KÖNEKAMP, 1955; SCHUURMAN, 1954). De wortels trekken zich terug naar de oppervlakkige bodemlagen. Dit blijkt uit tabel 7, die het effect van het maaien op de wortelontwikkeling van Engels raaigras weergeeft.

TABEL 7. Gewicht wortels in g van Eng. raaigras bij verschillende behandelingswijze (naar ROBERTS en HUNT, 1936)

Controle	10 dagen tussentijd			30 dagen tussentijd		
	maaihoogte			maaihoogte		
	1 inch	$\frac{1}{2}$ inch	0 inch	1 inch	$\frac{1}{2}$ inch	0 inch
0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354
0,575	0,214	0,191	0,240	0,720	0,590	0,295
1,101	0,132	0,099	0,036	1,140	0,310	0,440
4,070	0,274	0,161	0,099	5,520	1,049	0,146
2,830	0,260	0,108	0,056	1,360	0,856	0,083
4,400	0,070	0,032	0,010	2,300	0,520	0,045
12,050	0,080	0,050	afsterving <i>dying-off</i>	1,370	0,940	afsterving <i>dying-off</i>
<i>Control</i>	<i>Height of cutting after 10 days interval</i>			<i>Height of cutting after 30 days interval</i>		

TABEL 7. Dry weight of roots in grams of perennial rye grass at different heights and intervals of cutting (from ROBERTS and HUNT, 1936)

De planten werden afgeknipt op resp. 1, $\frac{1}{2}$ en 0 inch van de grond met tussenpozen van telkens 10 en 30 dagen. Een vergelijking met de controle toont duidelijk de nadelige invloed aan van het maaien op de wortelontwikkeling. Bij de zwaarste behandeling sterft het gras spoedig af. Door het herhaaldelijk afmaaien werd zowel de groei als de gewichtstoename van de wortels geremd als gevolg van de onttrekking van reservevoedsel aan de wortels. De wortels hebben als het ware al hun energie nodig om hun assimilatie-apparaat weer op te bouwen.

Het feit, dat de overjarige gewassen bij niet maaien een regelmatige toename in wortelmasa vertonen, wijst er op, dat zij een groot deel van hun voedsel en assimilaten in de ondergrondse organen opslaan. Men kan dit beschouwen als het aanleggen van een reserve welke in het volgend voorjaar dient om de bovengrondse delen weer tot de groei aan te zetten. De eenjarige gewassen daarentegen wenden al hun voedsel-reserves en assimilaten aan om in hun korte groeiperiode de bovengrondse productie zo hoog mogelijk op te voeren.

Teneinde een indruk te krijgen van de waarde van verschillende gewassen als bron van organische-stofvoorziening van de grond voor hun wortel- en stoppelresten, is in tabel 8 de maximale wortelproductie van de verschillende gewassen in drie achtereenvolgende jaren naast gegevens uit de literatuur weergegeven. Uit de grote variatie in wortelgewicht bij een en hetzelfde gewas volgt, dat deze cijfers slechts een betrekkelijke waarde bezitten. Als oorzaken van deze verschillen zijn te noemen: wijze, diepte en tijdstip van bemonstering, lengte van de stoppels, weersomstandigheden, bodemprofiel en vruchtbaarheid; kortom alle in hoofdstuk III genoemde factoren beïnvloeden in meerdere of mindere mate de uiteindelijke cijfers. Desondanks zijn in tabel 8 enige reële verschillen in wortelproductie aan te wijzen. Steeds is het wortelgewicht bij de gramineeën veel groter dan bij de overige gewassen. Duidelijk wordt

TABEL 8. Wortel- en stoppelgewicht in 100 kg/ha.
() aantal auteurs, waaraan de gemiddelde cijfers zijn ontleend.

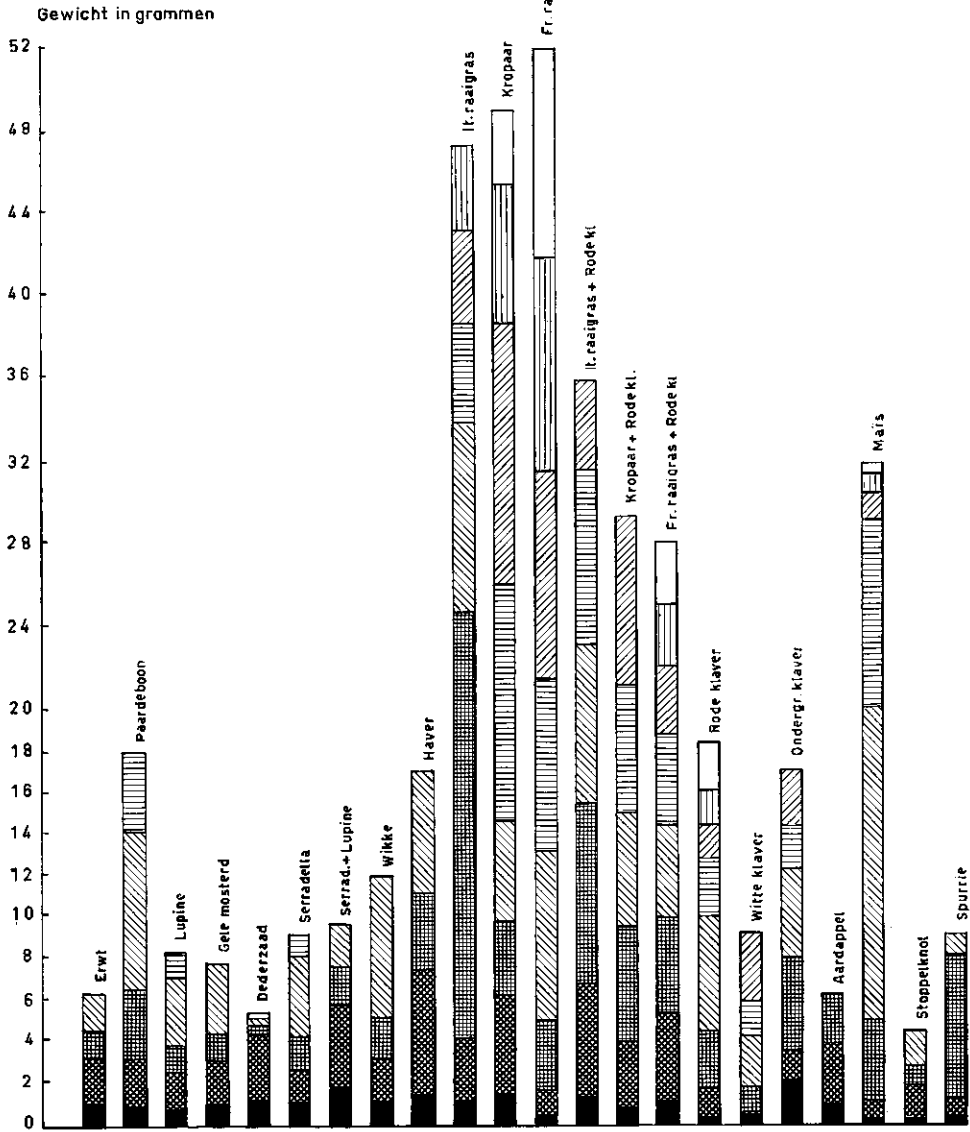
Gewas	Eigen waarnemingen 0-80 cm			Literatuurgegevens 0-20 cm	Crop
	1950	1951	1952		
Stoppelknol	5	3	5	6 (1)	Turnip
Spurrie	5	7	6	—	Spurry
Dederzaad	6	10	8	—	Camelina
Gele mosterd	14	10	11	10 (2)	White mustard
Aardappel	—	—	5	3 (3)	Potato
Haver	19	14	24	20 (12)	Oats
Mais	22	18	20	20 (2)	Maize
Ital. raaigras	57	50	55	—	Italian ryegrass
Kropaar	35	47	61	50 (5)	Cocksfoot
Frans raaigras	41	49	49	—	Tall oat-grass
It. raai + rode klaver	60	43	55	—	It. rye + red clover
Kropaar + rode klaver	50	49	46	42 (3)	Cocksfoot + red clover
Fr. raai + rode klaver	36	50	33	—	Tall oat-grass + red clover
Rode klaver	18	23	22	20 (6)	Red clover
Witte klaver	15	13	14	14 (2)	White clover
Ondergrondse klaver	32	19	21	—	Subterr. clover
Serradella	14	11	14	10 (4)	Serradella
Lupine	30	31	13	15 (5)	Lupin
Serradella + lupine	19	19	14	15 (2)	Serradella + lupin
Erwt	5	9	9	6 (6)	(Blue) pea
Paardeboon	31	14	28	18 (4)	(Horse) fieldbean
Wikke	18	15	18	10 (4)	Vetch
	<i>0-80 cm layer</i>			<i>Literature data 0-20 cm layer</i>	

TABEL 8. Dry weight of roots + stubbles in 100 kg/ha
() number of authors, from which the means have been derived

dit ook geïllustreerd in fig. 17, welke een overzicht geeft van het in 1952 maximaal bereikte wortelgewicht per gewas (in grammen per monster van $\pm 55 \text{ dm}^3$: 85 (diepte) \times 65 (breedte) \times 10 (dikte) cm). Tevens is in deze figuur de gemiddelde wortelgewichtstoename per periode van 20 dagen weergegeven.

Over het algemeen ligt het tijdstip van de grootste wortelproductie later in het seizoen, naarmate de groeiperiode langer is. Een zeer grote wortelmassa vormen: de grassen en maïs; een grote tot matig grote wortelmassa: de klavers (uitgezonderd witte), haver en paardeboon; een matige tot geringe wortelhoeveelheid: de overige eenjarige gewassen.

FIG. 17. Overzicht van het verloop van het wortelgewicht tijdens de groeiperiode, omgerekend per periode van 20 dagen
FIG. 17. Survey of the dry weight of roots (gr/sample of 55 dm^3) in several stages of growth, converted to periods of 20 days



DROGE-STOFGEWICHT WORTELS NA :

- | | | | |
|----------|----------|-----------|-----------|
| 20 dagen | 60 dagen | 100 dagen | 140 dagen |
| 40 " | 80 " | 120 " | 160 " |

DRY WEIGHT OF ROOTS AFTER:

3. LOOF/WORTEL-VERHOUDING

Bij elke bemonstering werd het loof- en wortelgewicht van de geoogste planten bepaald. De verhouding van loof/wortel-gewicht, ook wel wortelwaarde genoemd, geeft aan hoeveel droge stof per eenheid van gewicht wortels op het oogst-tijdstip is gevormd (BOONSTRA, 1931). Het begrip wortelwaarde heeft deze betekenis, dat het een eenvoudige maat is voor de vergelijking van de doelmatigheid van het wortelstelsel van verschillende gewassen of rassen op een bepaald tijdstip. Tevens wordt hierbij rekening gehouden met de bovengrondse plantendelen. Een verschil in wortelwaarde betekent een verschil in eigenschappen van de betreffende wortelstelsels (diepgang, dichtheid en activiteit t.a.v. water- en voedselopname). Men krijgt zodoende een indruk van de stofproductie van de wortels.

In tabel 9 zijn deze verhoudingsgetallen voor de verschillende oogstdata der onderzochte gewassen weergegeven. Hieruit blijkt, dat de wortelwaarde toeneemt met het ouder worden van de plant. Dit is begrijpelijk, daar de wortelgroei aan de spruitgroei voorafgaat.

Er treedt een vrij duidelijk onderscheid op tussen de eenjarige en overjarige gewassen. De eenjarige gewassen hebben tijdens de gehele groeiperiode een aanzienlijk hogere wortelwaarde dan de overjarige. Zij produceren dus in eenzelfde tijdsverloop

TABEL 9. Loof/wortel-verhouding in verschillende groeistadia

Aantal dagen na zaaien	Eenjarige vlinderbl. (groep 1)						Overjarige gewassen				
	Erwt	Paarde-boon	Lupine	Serra-della	Serrad. + lupine	Wikke	Onder-gr. klaver	Witte klaver	Rode klaver	Fr. raai + r. kl.	Kroopaar + r. kl.
15											
30											
45	1,09	1,85	1,87	0,60	0,90	0,47					
55							0,84	0,62	1,34	0,36	0,39
70	3,00	1,93	1,77	0,62	1,06	1,84	1,09	2,11	1,47	1,50	1,28
80	6,06	3,24	1,83	2,76	2,35	3,00					
100	12,93	5,62	4,49	3,21	4,09	6,65	2,50	4,18	1,74	1,40	
120	10,24	5,57	4,99	4,27	5,67	5,12	1,97	2,72	1,50	1,35	1,20
140											1,34
165											
185											
<i>Days after sowing</i>	<i>Pea</i>	<i>Bean</i>	<i>Lupin</i>	<i>Serrad.</i>	<i>Serrad. + lupin</i>	<i>Vetch</i>	<i>Subterr. clover</i>	<i>White clover</i>	<i>Red clover</i>	<i>Tall oat-gr. + red cl.</i>	<i>Cocksfoot + red cl.</i>
	<i>Annual leguminous crops</i>						<i>Perennial</i>				

¹ Wortelgewicht = wortels + stolonen, geen knollen.

¹ Root weight = roots + turnip (resulting in low shoot/root ratio).

per gram wortels veel meer bovengrondse massa. In enkele gevallen vertoont de wortelwaarde op het einde van de groeiperiode een daling. Dit is een gevolg van het afsterven van het loof (erwt, wikke), terwijl bij de overjarige gewassen bovendien de wortelgroei doorgaat. Opvallend is de zeer lage wortelwaarde van de grassen; gemiddeld minder dan 1. Blijkbaar komen hier de voedingsstoffen en assimilaten niet aan de zaadproductie ten goede, zoals bij de eenjarige gewassen het geval is. Door terugvoer naar en opslag in de ondergrondse plantendelen treedt mogelijk een daling in wortelwaarde op.

Daar de wortelwaarde louter de verhouding loofgew./wortelgew. op een gegeven moment aangeeft en geen inlichtingen verschaft over de wortel- en looftoename tijdens de groeiperiode, hebben wij in navolging van VAN DE SANDE BAKHHUYZEN (1937) het loofgewicht grafisch uitgezet tegen het wortelgewicht. De helling van de lijn in de diverse groeistadia geeft dan de verhouding weer van spruit- en wortelaanwas. Men bepaalt zodoende het differentiequotient: $\frac{dW}{dS}$. De verhouding van nieuwgevormde wortel tot nieuwgevormd loof heeft deze fysiologische betekenis, dat zij de verdeling der assimilaten tussen wortel en spruit voorstelt.

Zo is in fig. 18 de loof- en worteltoename van de eenjarige vlinderbloemige gewassen weergegeven. Het blijkt, dat de worteltoename alleen in het jeugd stadium van enige betekenis is t.o.v. de looftoename. Daarna overheerst de loofaanwas zeer sterk

TABLE 9. *Ratio of shoot/root weight of the crops investigated in different stages of growth*

(groep 3 en 4)				Eenjarige niet-vlinderbloemige gewassen (groep 2)						
It. raai + r. kl.	Frans raaigras	Kroopaar	Ital. raaigras	Haver	Mais	Aard- appel ¹	Gele mosterd	Deder- zaad	Spurrie	Stoppel- knol ²
									2,27	1,48
				0,70	3,75	1,45	0,94	0,61	1,87	0,58
0,62	0,41	0,23	0,43		3,75	3,70			1,87	1,44
1,01	0,90	0,56	0,44	1,40	4,64	5,72	1,42	1,84	3,54	1,65
				2,15		7,10	3,33	3,60	3,30	0,88
									3,10	0,77
1,02	1,13	0,91	0,64	4,09	6,29	7,18	3,45	4,72	5,91	0,58
1,52	1,23	0,51	0,86	6,24	6,96		5,58	8,11		
					8,03					
					8,49					
					7,49					
<i>It. rye</i> <i>+ red cl.</i>	<i>Tall</i> <i>oat-gr.</i>	<i>Cocks.</i>	<i>It. rye</i>	<i>Oats</i>	<i>Maize</i>	<i>Potato</i> ¹	<i>White</i> <i>mustard</i>	<i>Came-</i> <i>lina</i>	<i>Spurry</i>	<i>Turnip</i> ²
<i>crops</i>				<i>Annual non-leguminous crops</i>						

² Wortelgewicht = wortel + knol, waardoor de lage wortelwaarde.

² Root weight = roots + stolons, without tubers.

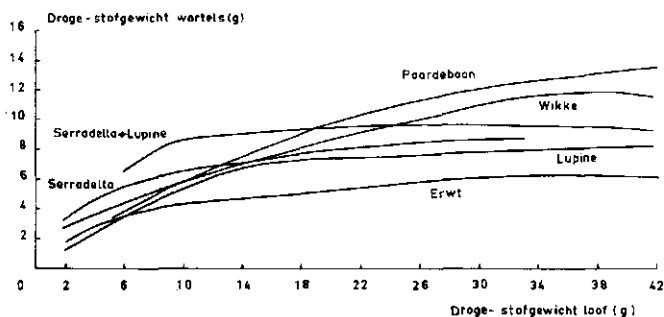


FIG. 18.

Loof- en wortelaanwas der eenjarige vlinderbloemige gewassen tijdens de groei-periode.

FIG. 18.

Ratio of shoot/root growth of annual leguminous crops.

en worden er dus per gewichtseenheid wortels zeer veel bovengrondse delen gevormd. Vooral bij de erwt is de wortelaanwas gering. Tegen de afrijpingstijd daalt meestal het wortel- en loofgewicht t.g.v. afsterving.

Opvallend is het hoge wortelgewicht van haver t.o.v. de overige gewassen.

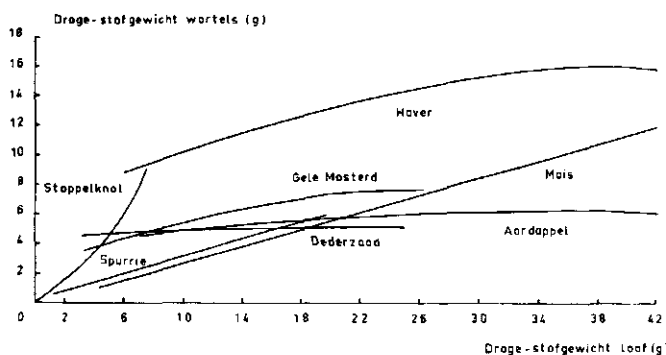


FIG. 19.

Loof- en wortelaanwas der eenjarige niet-*vlinderbloemige* gewassen.

FIG. 19.

Ratio of shoot/root growth of annual non-leguminous crops

Beschouwt men daarnaast de loof- en wortelaanwas bij de eenjarige niet-*vlinderbloemigen* (fig. 19), dan blijkt, dat deze gewassen hetzelfde groeiverloop hebben: een zeer geringe wortelaanwas tegenover een zeer sterke loofgroei.

Een uitzondering vormt de stoppelknol vanwege het knolgewicht, dat bij de wortels is gerekend. Vooral dederzaad en aardappel vertonen weinig wortelgroei t.o.v. bovengrondse ontwikkeling. De maïs vertoonde een regelmatige loof- en wortelaanwas tot eind september, daarna pas afstervingsverschijnselen. Spurrie en stoppelknol konden vanwege de slechte weersomstandigheden vanaf begin november niet gedurende de gehele groei-periode bemonsterd worden, waardoor men slechts een onvolledig beeld van de spruit- en wortelgroei krijgt. Bij de overige gewassen treedt tijdens de afrijping evenals bij de eenjarige *vlinderbloemigen* een loof- en wortelafname op door afsterven van het gewas.

Over het algemeen treden tussen de gewassen van deze groep onderling grotere verschillen in loof- en wortelaanwas tijdens de groei-periode op dan bij de groep der eenjarige *vlinderbloemige* gewassen.

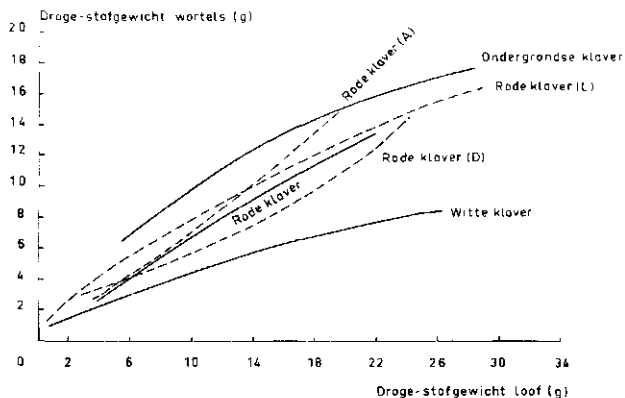


FIG. 20
Loof- en wortelaanwas der klavers; van rode klaver tevens in mengcultuur met gras

(L): rode klaver uit mengcultuur met Italiaans raaigras

(D): rode klaver uit mengcultuur met kropbaar

(A): rode klaver uit mengcultuur met Frans raaigras

FIG. 20
Ratio of shoot/root growth of clover, grown singly and in mixture with grass

Bij de klavers (fig. 20) valt meteen de grotere wortelaanwas op vergeleken bij de voorgaande groepen van gewassen. Daarentegen is de uiteindelijke loofproductie geringer dan bij de eenjarige gewassen. De witte klaver vertoont de geringste wortelgroei, terwijl ondergrondse klaver vooral in het begin der groeiperiode reeds een flinke wortelontwikkeling heeft. De rode klaver houdt wat betreft wortelgroei het midden tussen witte en ondergrondse. In dezelfde grafiek is ook de loof- en wortel-

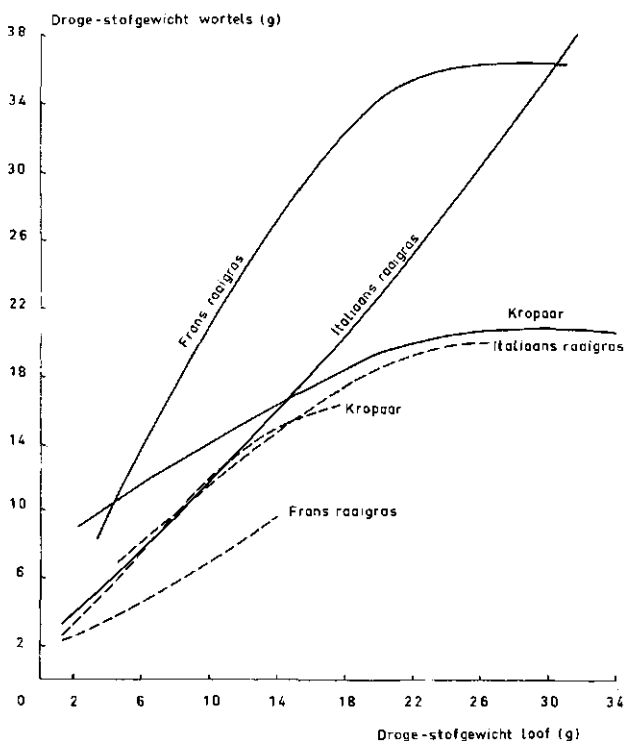


FIG. 21
Loof- en wortelaanwas van grassen in mono- en mengcultuur met rode klaver

grassen uit mengcultuur met rode klaver

FIG. 21
Ratio of shoot/root growth of grasses, grown singly and in mixture with red clover

grasses from mixture with red clover

aanwas van rode klaver uit de mengcultuur met grassen weergegeven om te zien of de klaver concurrentie heeft ondervonden van de grassen. Dit is uit de resultaten niet af te leiden. Immers in mengteelt met elk der grassen is zowel de boven- als ondergrondse ontwikkeling vrijwel gelijk aan die in monocultuur. Hoogstens is de beginontwikkeling iets trager bij de mengteelt, blijkens de lage loof- en wortelgewichten bij de eerste oogstdatum.

Een sterk afwijkend beeld vertoont de loof- en wortelgroei bij de onderzochte grassen (fig. 21). Hier is de wortelaanwas zelfs zeer groot, vooral bij Italiaans en Frans raaigras: kropbaar blijft daar vooral later in het seizoen aanzienlijk bij achter. Terwijl de loof- en worteltoename bij Italiaans raaigras en kropbaar vrijwel als een maximum-kromme verloopt, neemt de groei bij Frans raaigras regelmatig toe tot en met de laatste oogst. Nu zal dit in de praktijk nooit voorkomen, daar het gras lang voor die tijd is gemaaid of beweid en juist de gebruikswijze beïnvloedt de wortelontwikkeling zeer sterk. In tegenstelling tot de rode klaver schijnen de grassen wel nadeel te ondervinden van de mengteelt. Zowel de loof- als worteltoename blijft gedurende het gehele seizoen aanzienlijk beneden die van de grassen in monocultuur. Blijkbaar worden de zich in het beginstadium traag ontwikkelde grassen door de forse rode klaver enigszins onderdrukt (lichtconcurrentie) gedurende het eerste groeiseizoen, terwijl in een volgend seizoen of bij normaal gebruik van het grasland langzamerhand een evenwicht tussen gras en klaver bereikt wordt.

Resumerend kunnen wij zeggen, dat de eenjarige gewassen een zeer sterke loofaanwas, doch slechts een geringe, vooral tot de jeugdperiode beperkt zijnde wortelaanwas vertonen.

Ook tussen de gewassen onderling is vrij weinig verschil in wortelgroei, doch wel in looftoename, afhankelijk van de habitus van het gewas en de lengte der groei-periode (b.v. maïs, paardeboon).

Vooraf bij grassen is er een sterke wortelaanwas, terwijl de klavers in wortelgroei het midden houden tussen de eenjarige gewassen en de grassen.

In de mengteelt rode klaver – gras ondervindt de rode klaver t.a.v. de wortelgroei hoegenaamd geen hinder van het gras, terwijl omgekeerd de wortelaanwas der grassen in het eerste seizoen blijkbaar geremd wordt door de rode klaver. De loofontwikkeling is echter bij beide gewassen enigszins minder, zodat de uiteindelijke totale loofproductie op het einde van het seizoen aanmerkelijk lager is dan die der afzonderlijke monocultures.

4. WORTELCONCURRENTIE

In dit onderzoek werden ook enige mengteelten opgenomen om meer inzicht te krijgen in het vraagstuk van wortelconcurrentie. In mengteelt heeft men vaak een intensievere doorworteling van de bodem, waardoor een betere benutting van de voedsel- en vochtvoorraad mogelijk is. Deze betere doorworteling zou dan niet alleen het gevolg zijn van het verschil in worteltype der gecombineerde gewassen, doch tevens van een opheffen van een toxische werking van worteluitscheidingsstoffen. In monocultuur zouden de wortel-excreties van de ene plant een afstotende werking

uitoefenen op de wortels van de andere plant, zodat de wortels niet of veel minder door elkaar heen groeien (KASERER, 1943). De vraag rijst echter of wortels van een en dezelfde plant elkaar ook afstoten. Men mag immers aannemen, dat de wortels van dezelfde plantensoort ook dezelfde excreties afscheiden. Dit zou inhouden, dat de wortels van een plant elkaar zouden mijden, waardoor het wortelbeeld nooit een dicht netwerk zou vertonen. Het tegendeel blijkt echter vaak het geval te zijn. Zo vermeldde KRAUS reeds in 1914 het tussen en door elkaar heen lopen van korte zijwortels van buurplanten in de bovenste grondlagen. Nu is dit heel goed mogelijk, daar hoogstwaarschijnlijk niet elke plantensoort deze toxische wortelinvloed uitoefent.

Wij hebben getracht dit na te gaan voor rode klaver (met en zonder gras), serradella en lupine. Als nu de wortels in monocultuur elkaar afstoten, dan zal dat in het wortelbeeld tot uiting komen door onbenutte bodemruimte tussen de rijen, terwijl de mengteelt een dicht en gesloten wortelnet vormt.

Bij de morfologische bestudering van dit probleem doet zich echter een moeilijkheid voor. In het uitgespoelde wortelprofiel wordt de ruimtelijke, 3-dimensionale wortelgroei op het rooster teruggebracht tot een 2-dimensionaal beeld. De wortels komen in een plat vlak te liggen en vormen als het ware een projectie van de natuurlijke ruimtetroei. Ook zal de eventueel afstotende invloed zich beperken tot de naaste omgeving van de wortel, d.w.z. tot op een afstand van enkele mm van de wortel.

Tenslotte is bij de beoordeling van het wortelbeeld het soort-eigen worteltype zeer

FIG. 22.
Rode klaver in jeugd stadium; open ruimten tussen de rijen

Red clover in early stage, 55 days old; space between the plant rows is not filled with roots

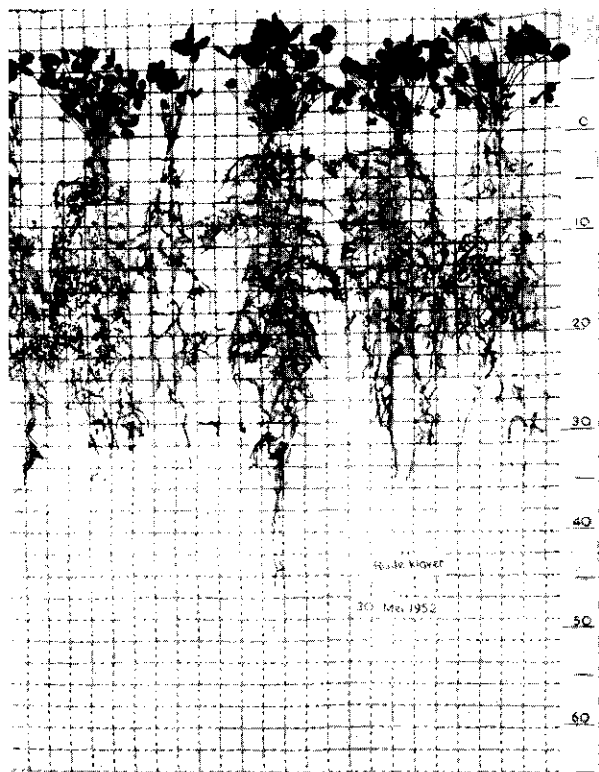
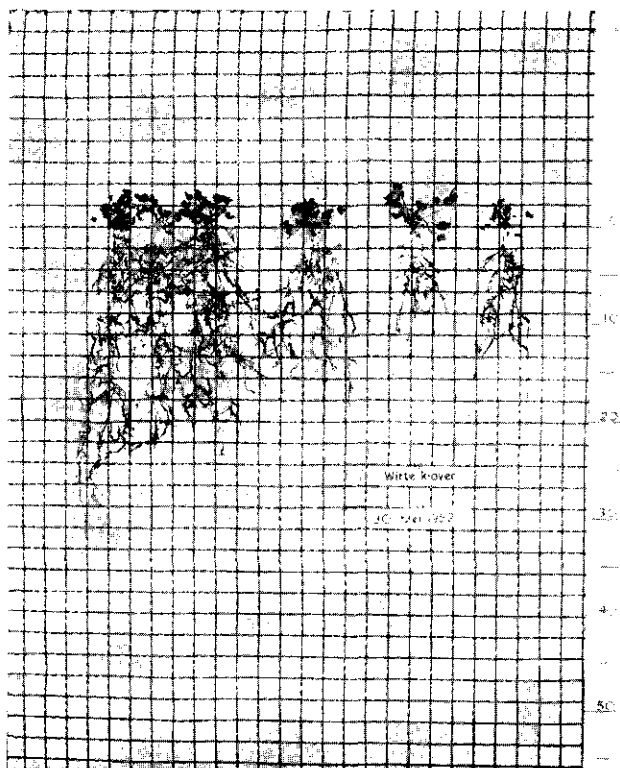


FIG. 23.
Witte klaver in jeugd stadium. Open ruimten tussen de rijen.

White clover in early stage, 55 days old; the same root habit as red clover (fig. 20): unoccupied space between rows



belangrijk, terwijl de worteldichtheid met de afstand van de plant meestal aanzienlijk afneemt.

Bij vergelijking van de wortelbeelden van rode en witte klaver in monocultuur blijkt alleen in het jeugd stadium enige onbenutte bodemruimte tussen de klaverrijen voor te komen (fig. 22 en 23), terwijl de ondergrondse klaver vanaf het begin een gesloten wortelbeeld vertoont (fig. 24). In latere stadia is van deze open ruimte weinig of niets meer te zien (fig. 25 en 26). De mengteelt gras + rode klaver heeft daarentegen vanaf de jeugd ontwikkeling een dicht wortelnet (fig. 27, 28 en 29). Doch in de monocultuur van grassen heeft men hetzelfde dichte wortelbeeld (fig. 30, 31 en 32), hetgeen is toe te schrijven aan de veel dichtere stand der grassen en aan de bouw van het wortelstelsel (veel bijwortels).

Ook uit de wortelbeelden van lupine en serradella in mono- en mengcultuur blijkt de betere bodembenuiting grotendeels een gevolg van het worteltype te zijn: lupine een ijl diepgaand wortelstelsel, serradella meer horizontale beworteling en meer fijne zijwortels (vergelijk fig. 1, 2 en 4).

Naast deze visuele beoordeling hebben wij getracht een eventuele wortelconcurrentie meer exact te benaderen. Daartoe zijn van rode klaver, lupine en serradella de wortelgewichten in mono- en mengcultuur vergeleken (tabel 10 en 11, pag. 40 en 41).

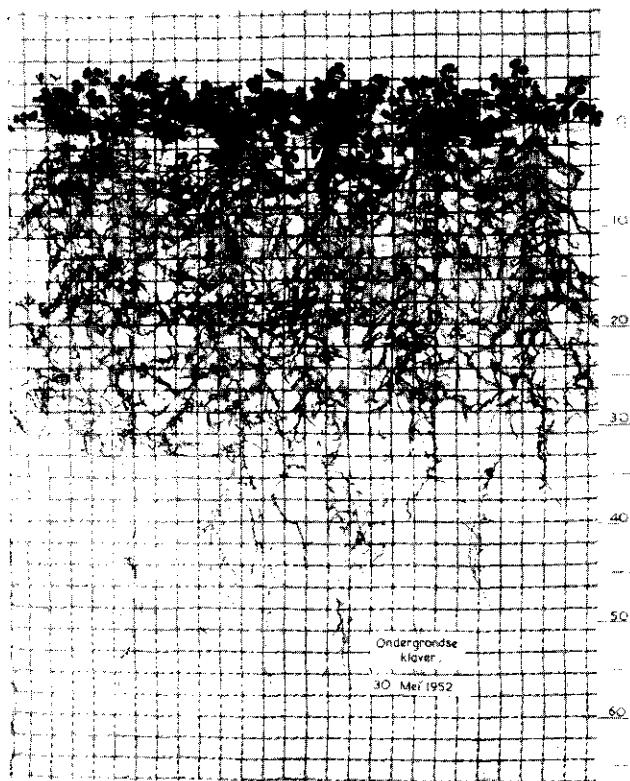


FIG. 24.

Ondergrondse klaver in jeugd stadium; gesloten wortelbeeld

FIG. 24.

Subterraneum clover in early stage, 55 days old; the soil is densely filled with roots

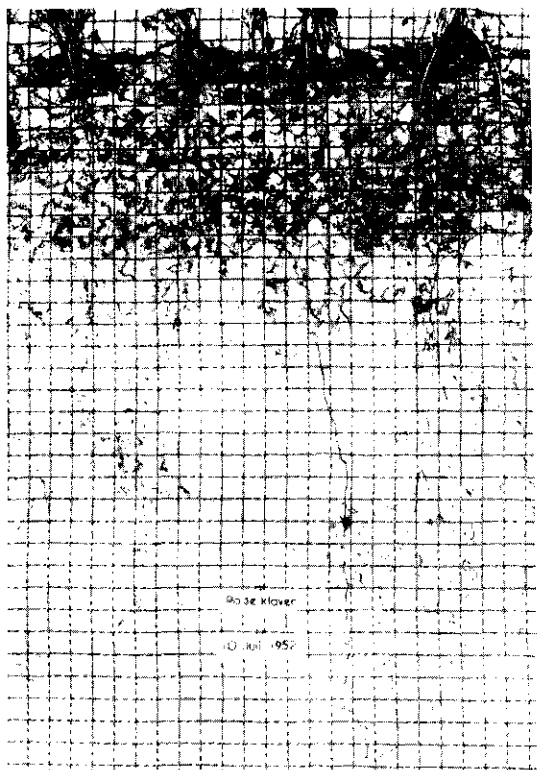


FIG. 25.

Rode klaver in later stadium; open ruimten tussen de rijen zijn praktisch geheel doorworteld

Red clover, 96 days old; the space between the rows is filled up with roots

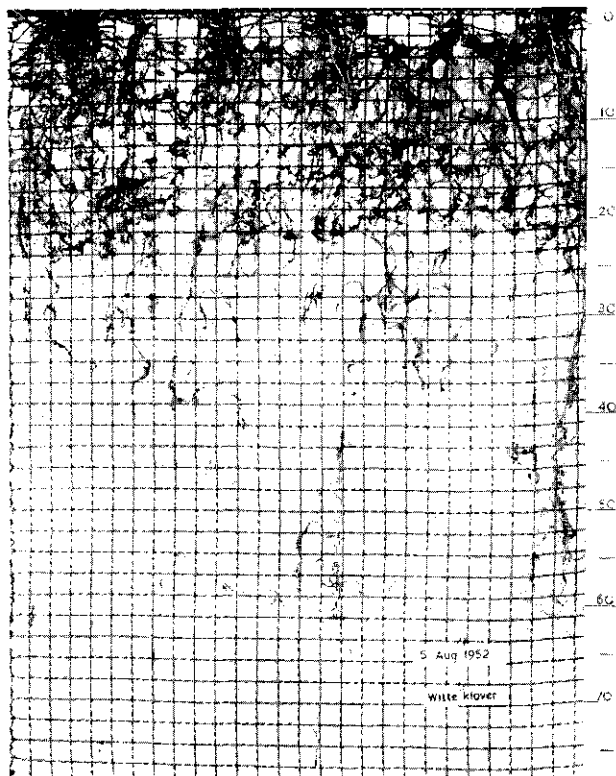


FIG. 26.

Witte klaver in later stadium; gesloten wortelnet mede t.g.v. uitlopervorming

White clover, 96 days old; network of roots as a consequence of sprouting

Uit het linker gedeelte van tabel 10 blijkt, dat het wortelgewicht van rode klaver in de monocultuur lager is dan men op grond van de cijfers uit de mengcultuur met een gras/klaver-verhouding van 1 op 1 zou verwachten. Bij de monocultuur zijn toch $2 \times$ zoveel klaverrijen geoogst, terwijl men bovendien door de dichte stand en het uitgebreide wortelstelsel der grassen nog een zekere onderdrukking van de klaver mag verwachten.

Hoe groot het aandeel van de grassen in de totale wortelmasa der gras-klavermengteelt is, blijkt uit het rechtergedeelte van tabel 10, waarin de verhouding wortelgewicht gras/klaver is weergegeven.

Het wortelgewicht van Italiaans raaigras is aanzienlijk hoger, van Frans raaigras lager dan dat van de klaver, dit laatste waarschijnlijk vanwege de dunne stand van Frans raaigras; de kropaar/klaver-verhouding ligt hier ongeveer tussenin. Gemiddeld is echter het wortelgewicht der grassen bijna $2 \times$ zo hoog als dat van rode klaver.

Dat desondanks de wortelmasa van de klaver in monocultuur relatief weinig groter is dan in de mengcultuur, wijst op veel onbenutte bodemruimte bij de klaver.

Terwijl het wortelgewicht van het gras-klavermengsel aanzienlijk hoger is dan dat van de klaver-monocultuur, is de wortelmasa van het lupine-serradellamengsel alleen in het jeugd stadium beduidend groter dan die der resp. monocultures (tabel 11).

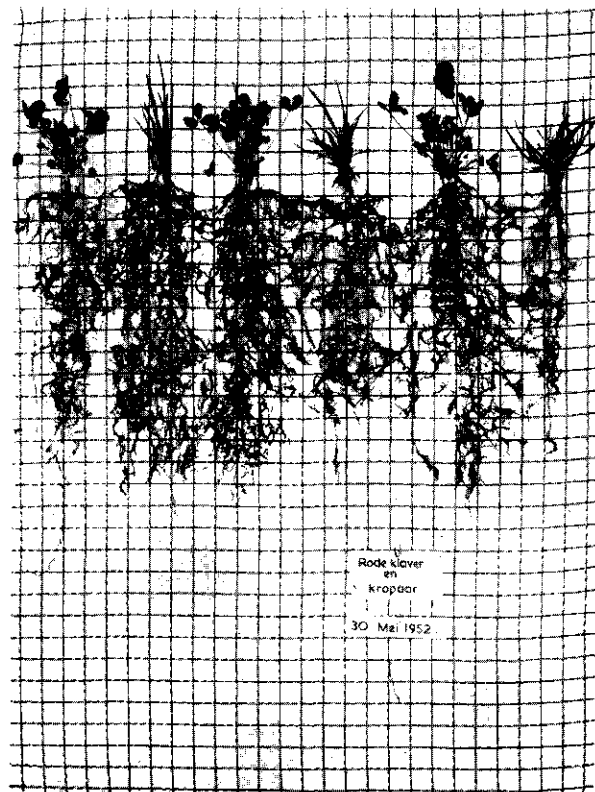
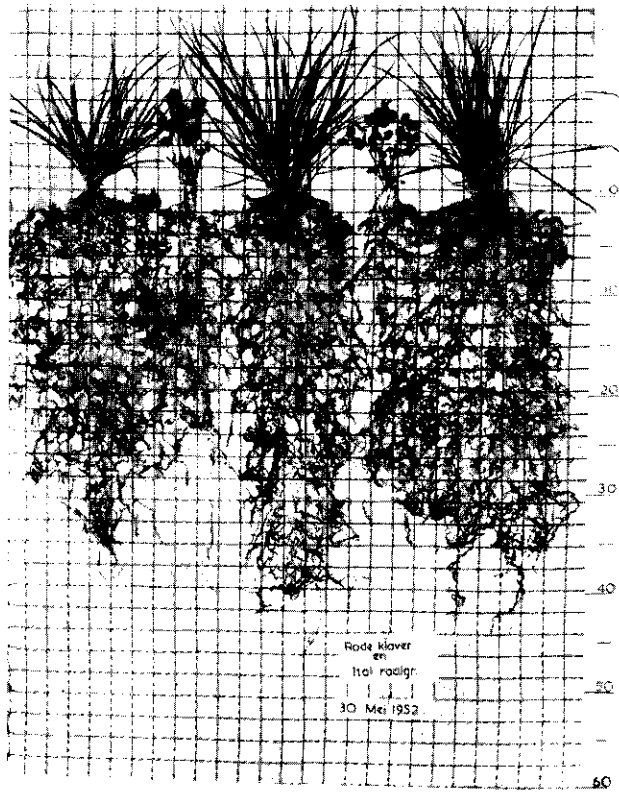


FIG. 30. (links) (left)

Italiaans raai gras in jeugd stadium; zeer dichte wortel massa t.g.v. zeer groot aantal planten

Italian rye grass in early stage, 55 days old; a great mass of branched fibrous roots

FIG. 31. (midden) (middle)

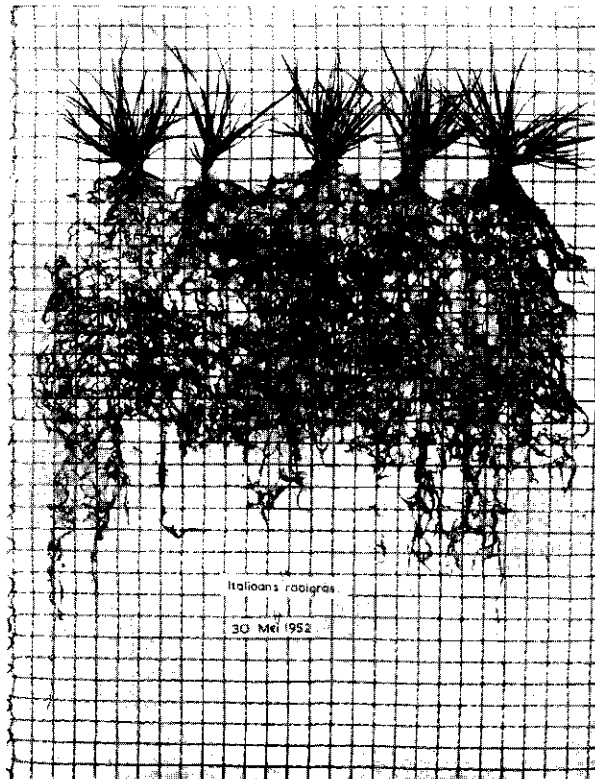
Kropaar in jeugd stadium; idem als fig. 28.

Cocksfoot, 55 days old; root habit as Ital. rye (fig. 28)

FIG. 32. (rechts) (right)

Frans raai gras in jeugd stadium, idem als fig. 28

Tall Oatgrass, 55 days old; root habit as Ital. rye (fig. 28), but not so compact because of a smaller number of plants



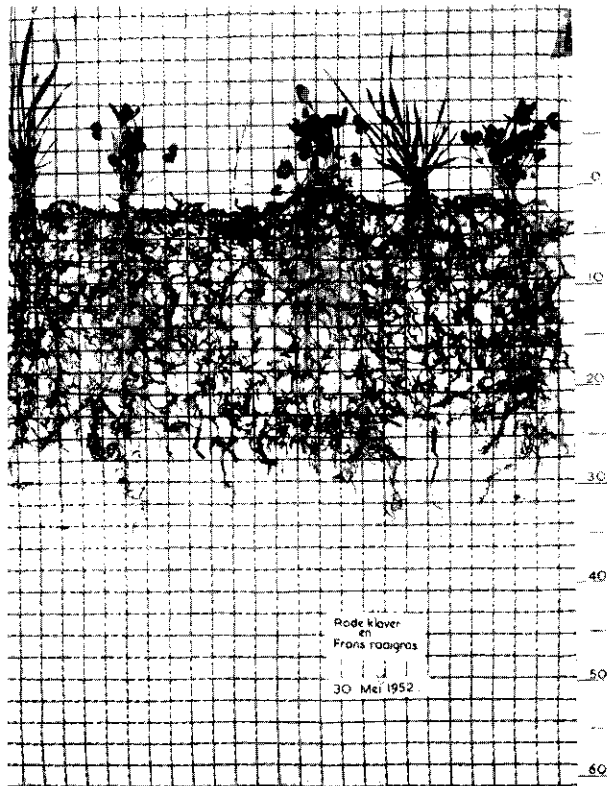


FIG. 27. (links) (left)

Ital. raaigras + rode klaver in jeugdstaadium; geen open ruimten tussen de rijen

Italian rye grass + red clover mixture in early stage, 55 days old; the soil volume is completely filled with numerous fibrous roots

FIG. 28. (midden) (middle)

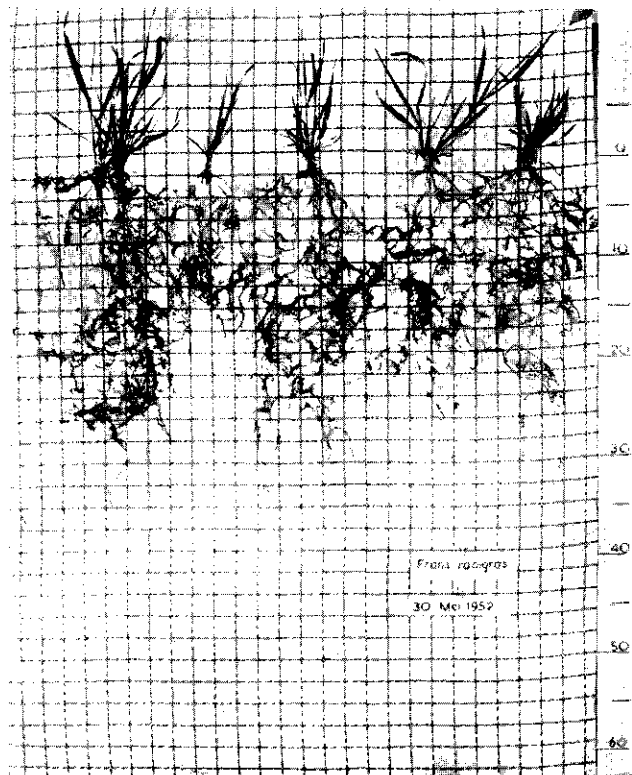
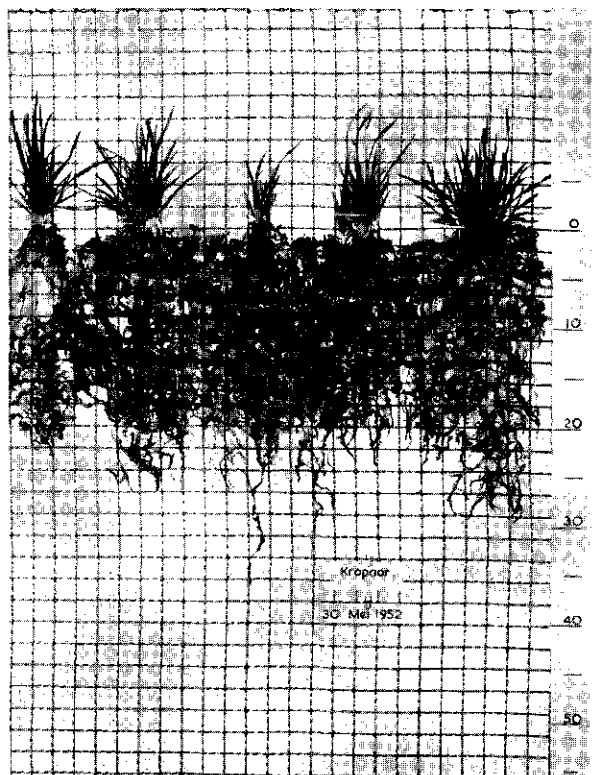
Kropaar + rode klaver in jeugdstaadium; gehele profiel doorworteld

Cocksfoot + red clover mixture, 55 days old; root habit is similar to that in fig. 25

FIG. 29. (rechts) (right).

Frans raaigras + rode klaver in jeugdstaadium; idem

Tall Oatgrass + red clover mixture; the same as fig. 25



TABEL 10. Gewicht wortels rode klaver in mono- en mengcultuur in g en wortelgewichts-verhouding gras-klaver in mengteelt

Droge stof wortel per monster (in g)					
Aantal dagen na zaaien	Rode klaver monocult.	Rode klaver gem. van 3 mengcult.	Wortelgewicht gras		
			Wortelgewicht klaver		
			Ital. raai + rode klaver	Kropaar + rode klaver	Frans raai + rode klaver
55	2,85	2,71	5,12	0,82	0,70
74	8,84	4,08	6,30	1,43	0,51
96	12,63	8,29	2,38	1,60	1,19
122	14,47	15,19	1,26	1,13	0,47
163	18,46	11,40	1,84	2,76	0,92
Gemiddelde verhouding <i>Mean ratio</i>			3,38	1,55	0,56
Totaal gemiddelde verh. <i>Total mean ratio</i>				1,83	
Days after sowing	Red clover	Red cl. from grass + clover mixture	Root weight grass		
			Root weight clover		
			It. rye + red clover	Cocks. + red clover	Tall oat-gr. + red clover
<i>Dry weight of roots (gr/sample of 55 dm³)</i>					

TABEL 10. *Dry weight of roots of red clover grown singly and mixed with grass (left) Clover root/grass root ratio of the clover-grass mixture (right)*

In tegenstelling tot bij rode klaver is het wortelgewicht van serradella en nagenoeg ook van lupine in monocultuur ongeveer $2 \times$ zo hoog als in de mengteelt. Dit alles wijst erop, dat hier geen sprake is van wortelconcurrentie tussen individuen van dezelfde plantensoort.

Resumerend kan vastgesteld worden, dat van bovengenoemde gewassen alleen het wortelgewicht van rode klaver in monocultuur zou kunnen wijzen op een mogelijke concurrentie door wortelafscheidingen.

Het ligt o.i. echter meer voor de hand de verklaring voor een minder intensieve doorworteling van de bodem te zoeken in het worteltype en in bemonsteringsfouten.

Hoe het ook zij, wortelconcurrentie is een zeer gecompliceerd probleem, waarvan de factor toxische wortelafscheidingen wel het meest duistere punt is. Voor de oplossing hiervan zullen meer exacte, fundamentele proeven noodzakelijk zijn. Ons doel was slechts de aandacht te vestigen op een voor de landbouw belangrijk vraagstuk, waaraan nog al te vaak stilzwijgend voorbijgegaan wordt.

TABEL 11. Gewicht wortels (g/monster) van serradella en lupine in mono- en mengcultuur

Droge stof wortel per monster (in g)					
Aantal dagen na zaaien	Serradella monocult.	Serradella + lupine-mengsel			Lupine ¹ monocult.
		Serradella	Serradella + Lupine	Lupine	
45	3,12	2,68	6,44	3,76	3,28
68	4,94	3,80	8,31	4,51	5,80
80	8,08	2,73	9,60	6,87	9,40
103	9,16	3,18	9,58	6,40	10,64
124	5,63	3,48	8,41	4,94	11,08
Days after sowing	Serradella monocult.	Serradella	Serradella + Lupin	Lupin	Lupin ¹ monocult.
		Mixture of serradella + lupin			
<i>Dry weight of roots (gr/sample of 55 dm³)</i>					

¹ Lupinecijfers bij rijenafstand 30 cm omgerekend tot rijenafstand 20 cm door i.p.v. 3 rijen (30 cm) 4 rijen (20 cm) te berekenen: $\frac{4}{3} \times$ gegeven gewicht

¹ Data of lupin at row distance of 30 cm converted to distance of 20 cm

TABEL 11. Dry weight of roots of serradella and lupin grown singly and mixed with each other

SAMENVATTING

Gedurende enige jaren werd de ontwikkeling van het wortelstelsel van een aantal gewassen op zandgrond nagegaan en met elkaar vergeleken. Hieruit alsmede uit de literatuur blijkt, dat het moeilijk, zo niet onmogelijk is, uit een morfologisch wortelonderzoek tot algemene wetmatigheden te besluiten. Dit vindt zijn oorzaak enerzijds in de wisselwerking tussen milieu en plant, anderzijds in de grotere of kleinere nauwkeurigheden, die onvermijdelijk aan dergelijk onderzoek verbonden zijn.

Rekening houdende met de betrekkelijke waarde zijn de resultaten van dit onderzoek aldus samen te vatten:

1. Bij het morfologisch-ecologisch wortelonderzoek moet men behalve aan de invloed van de vele milieufactoren ook aan de plasticiteit of het aanpassingsvermogen van het wortelstelsel aandacht schenken.
2. De snelheid van de wortelgroei tijdens de jeugdontwikkeling van het gewas, was bij de eenjarige gewassen aanzienlijk groter dan bij de meerjarige gewassen, speciaal bij lupine, haver en gele mosterd. Een uitzondering vormt serradella, terwijl de aardappel- en maïswortels aanvankelijk meer horizontaal groeien.
3. De op het einde van het groeiseizoen bereikte worteldiepte was echter bij de meerjarige gewassen met uitzondering van de witte en rode klaver groter dan bij de eenjarige gewassen (uitgezonderd maïs).
4. De wortelaanwas tijdens de groeiperiode was bij de eenjarige gewassen alleen in het jeugd stadium van betekenis; bij de grassen steeds zeer groot, terwijl de wortelgroei bij de klavers ongeveer het midden hield tussen de eenjarige gewassen en grassen.
5. De loofaanwas was steeds aanzienlijk, doch varieerde afhankelijk van de habitus, plantensoort en lengte der groeiperiode.
6. De wortelproductie der onderzochte gewassen nam in grote trekken toe in de volgorde: eenjarige niet-vlinderbloemige gewassen, eenjarige vlinderbloemige, meerjarige vlinderbloemige (klavers) en meerjarige niet-vlinderbloemige (grassen).
7. Het tijdstip van de maximale wortelproductie varieerde naargelang de plantensoort, doch lag voor de gramineeën even vóór de afrijping, bij de overige gewassen vlak vóór, tijdens of direct na de bloei.
8. Maaien van grassen en klavers had een aanzienlijke daling van de totale wortel-massa tot gevolg, terwijl de worteldiepte gelijk bleef.
9. De mengcultuur gras-klaver gaf een betere bodembenutting dan de klaver-mono-cultuur; bij de serradella-lupinemengteelt was dit niet het geval.
10. De aanwijzing van een mogelijke wortelconcurrentie bij rode klaver in mono-cultuur door toxische wortelafscheidingen is ook langs morfologische weg te verklaren (worteltype).

SUMMARY

ROOT DEVELOPMENT OF SOME FIELD CROPS

During three years the root development of a number of crops was studied on a sandy soil with a deep groundwater level. Special attention was given to the rate of root growth, penetrating depth and the relation of the shoot/root growth as a measure of the distribution of the assimilates in the over and underground parts of the plant. Moreover the problem of competition between the roots of some plant species is discussed.

The method, used in this investigation, was a slight modification of the method described by GOEDEWAAGEN (1948). With the aid of a pinboard with a height of 85 cm, a width of 65 cm and pins of length of 10 cm a corresponding soil block was dug out and the soil washed away.

Each crop was sampled periodically during the season. This includes the whole growing period of the annual crops, but only the first year of growth of the perennial crops: grasses and clovers. By this a comparison in rate of root growth between annual and perennial crops was possible.

The results show that it is very difficult, if not impossible, to draw general conclusions from morphological field studies with regard to root development. This is caused partly by several factors: interaction between plant and environment (profile and fertility of the soil, adaptation of root system), partly by the unavoidable inaccuracy, connected with any root investigation in the field.

Therefore no general validity may be attributed to these results. They only suggest the difference in habit and growth rate of the root system in the case under consideration. Though the experimental data only have a relative value as a consequence of the above mentioned facts, they allow to draw some conclusions concerning the root properties of the various crops.

1. In the morphological and oecological study of the root system attention has to be paid to both the influence of several environmental conditions and the plasticity or adaptability of the root system.
2. The rate of root growth in the early period of growth of the crop was considerable greater in the case of annuals when compared with perennials, especially in the case of lupin, oats and white mustard. Serradella was an exception, whereas the roots of potato and maize in the beginning grow more horizontally: shallow root systems (tables 1, 2 and 3).
3. However, at the end of the growing season the perennial crops rooted deeper than the annual crops, with the exception of white and red clover (table 3).
4. The root growth of the annual crops was largest in the early stage, whereas the grass roots showed a vigorous root growth throughout the season. The growth rate of the clover roots kept the mean between these extremes.

The shoot growth was considerable during the whole period of growth, but varied widely and depended on the habit, kind of crop and the length of the growing period (table 9 and fig. 18, 19, 20 and 21).

5. The root production of the crops investigated decreased in broad outline in the order: annual non-leguminous crops, annual leguminous crops, perennial leguminous crops (clovers) and perennial non-leguminous crops (grasses) (tables 4, 5, 6 and 8). The time of the maximum root production varied according to the species of the crop. In this investigation the grasses showed a maximum root production just before ripening, the other crops reached their maximum shortly before, during or just after the flowering stage.
6. Cutting of the grasses and clovers decreased the total root mass considerable, whereas the root depth remained the same (table 7).
7. In the mixture of grass and red clover the root mass was larger than in the singly-grown clover; the mixture showed a better utilizing of the rooted volume of the soil. This did not apply to the mixture of serradella and lupin (tables 10 and 11). It is suggested that the indication of root competition between clover roots grown singly is not caused by toxic excretions of the roots. It should be a consequence of the morphological habit of the clover root system: a tap root with branches, which allow of some unoccupied space in the soil between the rows.

LITERATUUR

- BALAZS, F. Untersuchungen über die Wurzelentwicklung bei Getreidearten. *Acta Agronomica Academia Scientiarum Hungaricae. IV* (1954) 69.
- BECKER- DILLINGEN, J. Handbuch des gesamten Pflanzenbaues, Band III: Hülsen- und Futterbau. Berlin 1929.
- BOHNE, H. Untersuchungen über die Ernterückstände des Getreides. *Pfl. ern. Düng. u. Bodenk. 51* (1950) 147.
- BOHNE, H. und
J. GARVERT Untersuchungen über die Ernterückstände des Getreides, für die Humusversorgung. *Pfl. ern. Düng. u. Bodenk. 55* (1951) 170.
- BOMMER, D. Untersuchungen über die Ernterückstände von Feldfutterpflanzen in verschiedenen Höhenlagen. *Zeitschr. f. Acker- u. Pfl. bau 99* (1955) 239.
- BOONSTRA, A. E. H. R. Root systems of seven varieties of peas grown under similar cultural conditions. *Meded. L. H. Wageningen 35, 2* (1931) 52 pp.
- CLEVERINGA, C. J. Bewortelingsonderzoek in de Noord Oost Polder. Scriptie 1943 (bibl. Lab. v. Landbouwplantenteelt. Wag.).
- FRUWIRTH, C. Handbuch des Hülsenfruchterbaues. Berlin 1921.
- GERICKE, S. Die Bedeutung der Ernterückstände für die Humushaushalt des Bodens. *Pfl. ern. Düng. u. Bodenk. 35* (1945) 229 en 37 (1946) 46.
- GOEDEWAAGEN, M. A. J. Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Dept. v. Landb. en Visserij, 's-Gravenhage 1942, 173 pp.
- De methoden, die aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen bij het wortelonderzoek op bouw- en grasland in gebruik zijn. Landbouwproefstation Groningen (1948).
- GOEDEWAAGEN, M. A. J.
en J. J. SCHUURMAN Wortelproductie op bouw- en grasland als bron van organische stof in de grond. *Landbouwk. Tijdschr. 62* (1950) 469.
- KASERER, H. Die Vorteile des Mischlingbaues. *Mitt. f. d. Landw. 58* (1943) 267.
- KAUTER, A. Beitrage zur Kenntnis des Wurzelwachstums der Gräser. Diss. Zürich 1933.
- KLAPP, E. Über die Wurzelverbreitung der Grasnarbe bei verschiedener Nutzungsweise und Pflanzengesellschaft. *Pflanzenbau 19* (1943) 221.
- Leistung, Bewurzelung und Nachwuchs einer Grasnarbe unter verschieden häufiger Mahd und Beweidung. *Zeitschr. f. Acker- u. Pfl. bau. 93* (1951) 269.
- KMOCH, H. G. Über die Umfang und einige Gesetzmässigkeiten der Wurzelmassenbildung unter Grasnarben. *Zeitschr. f. Acker- u. Pfl. bau. 95* (1952) 24.
- KÖHNLEIN, J. und
H. VETTER Ernterückstände und Wurzelbild. Hamburg u. Berlin (1953), 138 pp.
- KÖNEKAMP, A. Beitrag zur Kenntnis des Wurzelwachstums einiger Klee- und Gräserarten. *Landw. Jahrb. 80* (1934) 571.
- Untersuchungen über die Bewurzelung von Hülsenfrüchten. *Pflanzenbau 12* (1935/36) 1.
- KÖNEKAMP, A. und
E. ZIMMER Ergebnisse der Wurzeluntersuchungen. Völknerode 1949-1953. *Pfl. ern. Düng. u. Bodenk. 66* (1955) 158.
- KRAUS, C. Zur Kenntnis der Verbreitung der Wurzeln in Beständen von Rein- und Mischsaaten. *Fühlings Landw. Ztg. 63* (1914) 337, 369 und 401.

- RAPPAPORT, J. Onderzoekingen over de ontwikkeling der wortels bij *Lolium perenne*. *Meded. L. H. Gent. 1* (1938) 6.
- ROBERTS, R. A. and
J. V. HUNT The effect of shoot cutting on the growth of root and shoot of perennial rye-grass (Lp) and timothy (Phl). *Welsh Journ. of Agric. XII* (1936) 158.
- ROTH, E. Wurzelstudien an Graminaeen und Cruciferen. Diss. München 1926.
- ROTMISTROFF, W. G. Das Wesen der Dürre. Dresden 1926.
- SALONEN, M. Investigations of the root positions of field crops in the soils of Finland. *Acta Agraria Fennica 70* (1949).
- SANDE BAKHUYZEN, H. L.
VAN DE Wetten bij de groei van tarwe en andere landbouwgewassen. *Landbouwk. Tijdschr. 49* (1937) 885.
- SCHNEIDER, G. Vegetationsversuche mit 88 Hafersorten. *Landw. Jahrb. 42* (1912) 772.
- SCHULZE, B. Wurzelatlas Teil 1 und 2. Berlin 1911 en 1914.
- SCHUURMAN, J. J. Enkele resultaten van een vergelijkend onderzoek naar de wortelontwikkeling van een aantal grassoorten. *Landbouwk. Tijdschr. 66* (1954) 27.
- SIMON, W. und D. EICH Probleme und Methoden der Wurzeluntersuchungen. *Z. f. Acker- u. Pflanzenbau 100* (1955) 179.
- STEPHAN, J. Beiträge zur Morphologie der Serradella. *Pflanzenbau 13* (1937) 241.
- TORNAU, O. und
H. STÖLTING Untersuchungen über die Bewurzelung der Ackerbohne. *Journ. f. Landw. 90* (1944) 1.
- WEAVER, J. E. Root development of field crops. McGraw Hill Book Co. New York and London, 1926.
- WEAVER, J. E. and
W. BRUNER Root development of vegetable crops. McGraw Hill Book Co. New York and London, 1927.
- WITTE, K. Beitrag zu den Grundlagen des Grasbaues. Diss. Bonn-Poppelsdorf 1929.