Wpływ mechanicznego układu podłoża na wzrost roślin.

(L'influence de la structure mécanique du substratum (du sol) sur la croissance des plantes).

Napisał

KAZIMIERZ BASSALIK.

(Tablica XXX).

Wstęp.

Struktura fizyczna gleby, w znaczeniu jej czysto mechanicznem, będąc czynnikiem stanowiącym o rozmiarze oporu, jaki korzenie rośliny przy wzroście swym przemóc muszą, nie stanowiła potąd przedmiotu dokładniejszych badań. Pokonywanie oporu przez korzenie objawia się coprawda niekiedy bardzo imponująco, zwłaszcza w tych wypadkach, kiedy dochodzi do rozsadzania głazów lub nawet skał. Już Pfeffer w licznych a dokładnych doświadczeniach starał się poznać bliżej mechanizm tej pracy korzeni, sprowadzając ją na działanie turgoru, przyczem stwierdził, iż np. zagipsowany korzeń bobu podniósł swój turgor, mierzony metodą plasmolityczną, o $9^1/_2$ atmosfer. Poza tem Pfeffer starał się zbadać opór, jaki przezwycięża korzeń przy wnikaniu do jakiegoś podłoża. Jako podłoże używał albo plastyczną glinkę lub żelatynę. Stożkowaty drut żelazny, naśladujący rozmiarem (1·8 *mm* średnicy) i kształtem korzeń bobu, wnikał do użytej glinki dopiero przy obciążeniu 100—140 *g*, do $13^0/_0$ żelatyny przy obciążeniu > 25 *g* (2, 235). Korzeń zatem rośliny doświadczalnej musiał wywierać na dane środowisko conajmniej takież parcie (2, 324—326, 460—463). Pozatem stwierdził, iż przezwyciężanie oporu stawianego przez glinkę objawiało się już w wyraźnem, bo około $30^0/_0$ zwolnieniu wzrostu. Na podstawie swych doświadczeń wyraża Pfeffer pogląd, że opór, dający się jeszcze przezwyciężyć

przez korzeń bobu lub kukurydzy, wynosi nie więcej jak 8 do 10 atmosfer (2, 328).

Jednakże doświadczenia Pfeffera, jakkolwiek niezmiernie cenne, jako krótkotrwałe nie pozwalają nam na zorjentowanie się, w jaki sposób energja, zużyta przez rośliny na przezwyciężenie oporu stawianego przez glebę, odbija się na całości wzrostu, a mówiąc rolniczo, na plonie rośliny. Wszak sam wzrost turgoru w korzeniu pokonywującym opór niekoniecznie musi być zjawiskiem pochłaniającem energję; bardzo znaczny wzrost turgoru może nastąpić np. przez przekształcenie cukru na substancję o mniejszej cząsteczce lub na ciało dyssocjujące. To też późniejsi autorzy starali się liczbowo wyjaśnić zależność wzrostu roślin od struktury mechanicznej gleby, tem więcej, że zdawiendawna rolnicy i ogrodnicy uważali spulchnienie gleby za nieodzowny warunek dobrego rozwoju roślin. To spulchnienie gleby starano się osiągnąć przez stosowanie odpowiedniej uprawy mechanicznej, której celem jest stan gruzełkowaty (Krümmelstruktur) gleby, w który gleba przechodzi ze struktury „jednoziarnkowej" (Einzelkonstruktur) przez osiągnięcie „sprawności" („Bodengare").

E. Wollny starał się ująć ilościowo wpływ spulchnienia gleby na wzrost różnych roślin, uprawiając je w wazonach, z których jedna grupa zawierała glebę spulchnioną, druga zaś taką samą glebę, ale ubitą. Średnia zwyżka plonów na glebie spulchnionej wynosiła w jego doświadczeniach około 60%, przekraczając u łubinu nawet 1000%.

Prócz Wollnego jeszcze kilku późniejszych badaczów starało się liczbowo ująć wpływ struktury gleby na rozwój roślin, jak Th. Pfeiffer, A. Hepner i L. Frank, jak P. Ehrenberg lub A. Mitscherlich, jednakże wysiłki te nie dały jasnego obrazu, gdyż wyniki otrzymano albo przy pomocy stosowania metod pośrednich lub w tak skomplikowanych warunkach, że można je było interpretować inaczej, niż to czynili dani autorzy.

Poniżej przedstawię krótko wyniki własnych doświadczeń, prowadzonych od roku 1923, których celem było wyjaśnienie liczbowe wpływu mechanicznego układu gleby na wzrost wzgl. plon roślin.

Metodyka.

Doświadczenia należało przeprowadzić w ten sposób, aby wszystkie czynniki wpływające na wzrost roślin doświadczalnych były równe z wyjątkiem czynnika badanego, w tym wypadku więc układu mechanicznego gleby, stanowiącego o oporze napotykanym przez rosnące korzenie. Przedewszystkiem więc podłoże, samo w sobie, powinno

było być jak najbardziej jałowe tak, aby rośliny czerpały niezbędne im składniki mineralne i azot wyłącznie z podanej im pożywki, aby procesy absorbcji podanych soli jako pożywki przez składniki gleby były jak najrównomierniejsze i t. d.

Niestety jednak zupełnego zrównania wszystkich czynników nie da się osiągnąć na skutek zależności rozmieszczenia wody od mechanicznej struktury podłoża. Ze zmianą wielkości ziarn, z których gleba się składa, zmienia się pojemność tych gleb dla wody, zmienia się dostęp powietrza do korzeni, zmienia się temperatura. Możnaby coprawda zastosować całkowite nasycenie gleby wodą, jak to czyni np. niekiedy A. Mitscherlich, ale wówczas powstaje niebezpieczeństwo schorzeń korzeni na skutek niedostatku powietrza. Wobec tego zdecydowałem się początkowo na podawanie roślinom coprawda równych ilości wody, przyczem jednak stan nasycenia gleby wodą był nierówny na skutek nierównej pojemności dla wody różnych frakcyj użytego do doświadczeń piasku.

Jako podłoża użyłem tego samego starannie przepłukanego białego piasku krzemionkowego, odsianego przez 2 *mm* sito. Piasek ten podzielono przez sita na 3 frakcje o różnej wielkości ziarn; wobec tego, że piasek ten zawierał stosunkowo małe ilości ziarn b. drobnych, trzeba było uzupełnić wymaganą ilość najdrobniejszego piasku przez zmielenie go i odpowiednie odsianie. Dla porównania użyto ponadto piasku naturalnego („wyjściowego"), nieodsiewanego, o znacznej różnicy w wielkości ziarn, ale odsianego przez sito o średnicy oczek 2 *mm*.

Skład mechaniczny piasku i trzech jego odsianych frakcyj przedstawiał się według analizy podług J. Kopecky'ego i w stosunku do wody następująco:

Średnica ziarn	frakcja I (drobny)	frakcja II (średni)	frakcja III (gruby)	frakcja IV (naturalny)
> 0·1 *mm*	45·08%	87·04%	98·2 %	96·94%
0·05—0·1 „	39 86 „	7·52 „	0 „	2·36 „
0·01—0·5 „	9·40 „	2·40 „	0 „	0·16 „
< 0·01 „	5·66 „	3·04 „	1·80 „	0·54 „
pojemność dla wody:	27·7 %	24·0 %	18·1 %	18·4 %
Stan nasycenia wodą wynosił w stosunku do pojemności:	36·8 %	42·5 %	56·3 %	55·4 %

Do doświadczeń użyto wazonów cynkowych, pociągniętych wewnątrz kopalem, o powierzchni 300 cm^2. Po wytarowaniu starannie

przemytemi krzemykami dodano do każdego wazonu po 9·8 *kg* suchego piasku zaprawionego pożywką na każdy wazon:

2·86 *g* NH_4NO_3
1·32 *g* KH_2PO_4
1·20 *g* KCl
3·05 *g* $MgSO_4(+ 7\ aq.)$
2·50 *g* $CaCO_3$ i po 10 *mg* $FeSO_4$, $MnSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$, $ZnSO_4$, a po 50 *mg* Na_2SiO_3.

Wody destylowanej dodano do każdego wazonu po 1000 *g*, utrzymując ten stan nasycenia wodą przez cały czas trwania doświadczenia przez codzienne ważenie i uzupełnianie wyparowanej wody. Tak przygotowane wazony obsiano wybranem i zakiełkowanem ziarnem owsa odmiany „Duppauer", na każdy wazon po 15 ziaren, dnia 5 maja 1923, i umieszczono je na wózku w domku wegetacyjnym, wysuwając i pozostawiając go, o ile na to pogoda pozwalała, przez cały dzień od wschodu do zachodu słońca na wolnem powietrzu. W różnych odstępach czasu zmieniano pozycję wazonów na wózku tak, aby przebywały w możliwie najrówniejszych warunkach ogrzania i oświetlenia.

Każda grupa składała się z trzech wazonów, a mianowicie: wazony 600—603 napełniono drobnym piaskiem, 604—606 średnim, 607—609 grubym, a 610—612 naturalnym.

Doświadczenia te wykonałem w P. Nauk. Roln. Instytucie w Bydgoszczy.

Przebieg wegetacji.

Wschody nastąpiły po dwóch dniach, poczem usunięto nadmiar wyrosłych roślinek tak, aby w każdym wazonie pozostało tylko po 10 roślin. Rozwój roślin odbywał się normalnie, nie wystąpiły żadne szkodniki ani choroby. Z postępem wegetacji zaczęły się ujawniać coraz większe różnice między poszczególnemi grupami. Kłoszenie np. nastąpiło w grupie I (drobny piasek) o 11 dni wcześniej niż w grupie II (średni); w tej zaś grupie o 5 dni wcześniej niż w grupie III (gruby), a o 3 dni wcześniej niż w grupie IV („naturalny" piasek). Kwitnięcie nastąpiło wszędzie w 4 dni po wykłoszeniu. Rośliny w grupie I miały wygląd blady, były karłowate, jak gdyby cierpiały na brak składników zawartych w pożywce, a zwłaszcza azotu. Lepszy rozwój i wygląd wykazywały rośliny grupy II, najbujniej rozwijały się rośliny grupy III, niewiele przewyższając rośliny grupy IV.

Dnia 18 lipca, wobec tego, że rośliny grupy I dojrzały, nastąpiło zlikwidowanie całego doświadczenia, mimo, iż rośliny pozostałych grup nie były dojrzałe, a rośliny grupy III i IV nawet jeszcze zupełnie zielone. Na zlikwidowanie równoczesne wszystkich wazonów zdecydowałem się jednak i dlatego, że w ostatnich dniach przed likwidacją zaczęły pojawiać się mszyce; wobec możliwości liczniejszego ich wystąpienia należałoby było zastosować zabiegi dla ich zwalczania, co w skutkach swych

mogłoby zakwestjonować wynik całego, a sądząc po przebiegu, bardzo udanego doświadczenia. Wobec nierównego stanu rozwoju roślin w poszczególnych grupach należało niestety zrezygnować z oddzielnego ustalania plonu ziarna, plew i słomy. a trzeba było określić plon jako substancję nadziemną, wycinając rośliny „tuż przy samej ziemi", a korzenie przez staranne ich wypłukanie. Suchą substancją, dla każdego wazonu oddzielnie, oznaczano przy 106° (w suszarce autoklawowej).

Wyniki.

Do poniższych (str. 636) tabelarycznie zestawionych wyników wypada dodać, że doświadczenie, jak wynika zwłaszcza z rubryk, w których podany jest błąd średni (*r*), należy do bardzo udanych i wyniki jego do pewnych. W porównaniu z plonem, otrzymanym na piasku „naturalnym" (wazony 610—612), plon z wazonów (601—603) na drobnym piasku wynosił mniej niż $^1/_3$, na grubym piasku (607—609) przekroczył zaś plon na piasku „naturalnym". Przytem rozwój masy korzeni był stosunkowo przez drobny i średni piasek mniej zahamowany niż rozwój substancji nadziemnej. Coprawda stosunkowo słabszy wzrost na wagę korzeni w wazonach z grubszym piaskiem powetowany był grubością i długością korzeni, sięgających do dna wazonów, kiedy w wazonach z drobniejszym piaskiem korzenie były coprawda liczniejsze, ale znacznie krótsze. Stosunek rozwoju korzeni w porównaniu z substancją nadziemną wybitnie ilustruje rubryka 8, która podaje, że korzenie na drobnym piasku stanowiły blisko $^1/_3$ całej substancji roślinnej, na piasku zaś grubym około $^1/_5$. Przy doprowadzeniu roślin we wszystkich grupach do stanu dojrzałości, tak, jak to miało miejsce na piasku drobnym, niewątpliwie ten stosunek jeszcze znacznie rozszerzyłby się na korzyść substancji nadziemnej.

Rośliny na piasku drobnym, jak to już wspomniałem, posiadały wygląd karłowy, jak gdyby cierpiały na brak mineralnej pożywki, a szczególnie azotu. Każdy obserwator, nie znający założeń doświadczenia, wskazywał na te wazony jako niezasilone wogóle albo conajmniej nie zasilone związkami azotu. Nie mogąc przeprowadzić całkowitej analizy plonu, starałem się o oznaczenie conajmniej zawartości popiołu i azotu w zebranych roślinach. Cyfry w rubrykach 13 i 14 wyraźnie wskazują na to, że nie niedostatek składników pokarmowych pobieranych z gleby był przyczyną słabego rozwoju roślin na piasku drobnym. Coprawda zawartość procentowa azotu jest tu znacznie mniejsza, ale jest to zjawisko normalne, o ile uprzytomnimy sobie, że jedynie rośliny z drobnego piasku osiągnęły stan zupełnej dojrzałości. Coprawda duża rozpiętość w zawartości składników mineralnych a azotu u roślin dojrzałych mogłaby być i tak interpreto-

Tabela I.

Owies (Avoine) 1923.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nr. wazonów	Sucha substancja średnio z wazonu						Stosunek such. subst. nadziemnej do korzeni	% całk. plonu	% nadziemnego plonu	Zużycie H_2O na 1 *g* s. subst. całk. plonu		Zawartość w całk. such. subst.	
	Nadziemny plon		Korzenie		Cały plon							popiołu	N
	g	*r*	*g*	*r*	*g*	*r*				*g*	%	%	%
601/03	2·10	0·096	0·98	0·09	3·08	0·186	2·15	29·7	24·7	1481	301·0	14·01	1·78
604/06	6·42	0·072	2·43	0·138	8·85	0·157	2·64	85·5	75·6	611	124·2	10·42	2·84
607/09	10·08	0·030	2·16	0·056	12·24	0·085	4·67	118·3	118·8	489	99·4	12·66	3·08
610/12	8·48	0·201	1·86	0·042	10·35	0·133	4·55	100·0	100·0	492	100·0	11·85	3·41

Tabela III.

Tatarka (Sarrasin) 1923.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nr. wazonów	Sucha substancja średnio z wazonu							Stosunek such. subst. nadziemnej do korzeni	% całk. plonu	% nadziemnego plonu	Zużycie H_2O na 1 *g* s. subst. całk. plonu	
	Słoma	Ziarno	Nadziemny plon		Korzenie		Całkowity plon					
	g	*g*	*g*	*r*	*g*	*r*	*g*	*r*			*g*	%
601/03	0·30	0·10	0·40	0·062	0·19	0·089	0·59	0·029	2·07	10·6	9·0	3938	1138
604/06	2·66	1·24	3·90	0·090	1·85	0·064	5·75	0·168	2·11	103·7	97·0	397	114·7
607/09	2·99	1·55	4·54	0·207	1·58	0·020	6·12	0·221	2·85	110·5	112·9	349	100·8
610/12	2·70	1·32	4·02	0·166	1·52	0·029	5·54	0·159	2·65	100·0	100·0	346	100·0

wana, że rośliny na drobnym piasku cierpiały jednak na brak wody. Ilość podanej wody we wszystkich grupach była jednakowa, jednakże stan nasycenia piasku, uzależniony od różnej pojemności piasku dla wody, był nierówny, a istotnie wynosił, jak podano poprzednio, tylko 37% tej pojemności, kiedy nasycenie piasku naturalnego wzgl. grubego wynosiło 55 wzgl. 56%. Nie ulega wątpliwości, że wspomniane różnice w stopniu nasycenia wodą mogły były być jedyną albo główną przyczyną skrócenia okresu wegetacji i tak znacznie zmniejszonego plonu roślin na piasku drobnym. Te wątpliwości należało więc w następnych doświadczeniach rozwiać.

Zanim jednak przejdziemy do podania wyników późniejszych doświadczeń, należy wspomnieć i o niektórych różnicach anatomicznych, jakie wystąpiły w roślinach z drobnego i grubego piasku. Rośliny z drobnego piasku posiadały przedewszystkiem większą „zbitość" tkanek, a zwłaszcza system tkanek mechanicznych był znacznie lepiej wykształcony, niż u roślin z piasku grubego. Korzeni przybyszowych posiadały znacznie więcej, niż rośliny z grubego piasku, jakkolwiek te ostatnie posiadały korzenie kilkakrotnie dłuższe. Jednakże i te cechy nie wskazują wyraźnie na przyczyny wywoławcze, gdyż taki stan rzeczy mógłby być równie dobrze spowodowany brakiem wody, jak większym oporem podłoża wobec wnikających weń korzeni.

Dla uzupełnienia obrazu, przedstawionego w tabeli I, załączam wyniki pomiarów ciepła spalania zebranej z wazonów substancji owsa (tab. II str. 638) [1]). Dają one nam ostateczne a prawie identyczne cyfry (por. rubr. 9 wzgl. 10 tab. I i rubr. 12 tab. II); odbiega od wyników tabeli I jedynie wynik wazonów 604—606, który wykazuje wyższe ciepło spalania, niż plony z pozostałych wazonów. Tłumaczę sobie jednak ten wynik mniejszą zawartością popiołu roślin tej grupy (por. rubr. 13 tab. I), co oczywista podnosi wartość kaloryczną substancji. Gdyby nie należało robić zastrzeżeń z poprzednio wyłuszczonych powodów co do właściwości interpretacji energetycznej, wyniki tej (II) tabeli wykazywałyby, że pokonywanie oporu stawianego przez drobny, a więc więcej zbity piasek wnikającym weń korzeniom w porównaniu z piaskiem grubym równa się energji, odpowiadającej 48 056 — 12.060 = 36.006 kal., a zatem pracy (426·36) = 15.336 *kgmtr!* zaiste, ilość to pracy wykonanej przez dziesięć roślin owsa w ciągu okresu wegetacyjnego bardzo duża!

---

[1]) Pomiary te zawdzięczam łaskawej uprzejmości biegłej w takich pomiarach p. Dr. Heleny Rychlewskiej, której i na tem miejscu składam jak najserdeczniejsze podziękowanie.

Tabela II.

Pomiary ciepła spalania substancji. Stała K kalorymetru = 1208.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nr. wazonu	Ilość substancji spalonej	Δt °C	Całkowite ciepło reakcji	Ciepło tworzenia się HNO_3	Ciepło spalania kollodjum	Ciepło spalania drucika nikelinowego	Ciepło przypadające na spaloną substancję	Ciepło obliczone na 1 g substancji	Ciepło obliczone na 1 g substancji średnia	Ciepło obliczone na całą substancję w plonie	
	g		g kal.	g kal.	g kal.	g kal.	g kal.	g kal.	g kal.	g kal.	stos. %
601/03	0·6374	2·1346	2578·59	17·16	62·10	4·65	2494·68	3912·25	3912·45	12050	29·5
	0·5942	2·0097	2427·71	17·16	81·00	4·65	2324 90	3912·65			
604/06	0·4132	1·4491	1750·40	14·30	40·05	2·25	1693·88	4100·28	4102·47	36307	89·1
	0·5752	2·0571	2484·97	17·16	102·15	4·65	2361·01	4104·67			
607/09	0·4824	1·6798	2029·21	14·30	119·70	2·25	1892·96	3924·25	3926·18	48056	118
	0·5764	1·9988	2414·55	17·16	121·05	2·17	2264·17	3928·12			
610/12	0·6134	2·1030	2540·42	14·30	112·50	2·32	2411·30	3931·20	3934·59	40723	100
	0·6178	2·0826	2515·78	17·16	63·00	2·32	2433 30	3937·99			

Wilgotność substancji 3·65% H_2O

Doświadczenie z gryką.

Wobec wątpliwości, jak należy tłumaczyć wynik poprzedniego doświadczenia z owsem wobec nierównego nasycenia wodą piasku, postawiłem w tych samych wazonach doświadczenie nowe. Ze względu na spóźnioną porę roku, należało wybrać roślinę, której dojrzenia możnaby się jeszcze przed zimą spodziewać. Wybór mój padł na grykę, która posiada stosunkowo krótki okres wegetacyjny i która znosi stosunkowo najlepiej zpośród wszystkich jednorocznych roślin uprawnych późny wysiew. Doświadczenie przeprowadzono podobnie jak poprzednie, z tą różnicą, że do przepłukanego piasku dodano $^1/_3$ ilość wszystkich soli poprzednio owsu podanych i każdy wazon napełniono 9·5 *kg* piasku, a co najważniejsze, nie dodawano tych samych ilości wody (destylowanej), a ilości wody takie, aby odpowiadały 60% nasyceniu całkowitej danego piasku pojemności dla wody.

Tak więc wazony 601—603, z drobnym piaskiem o pojemności jego 27·73%, otrzymały każdy po 1579 *g* wody, wazony 604—606, a średnim piaskiem o pojemności jego 24·04% otrzymały każdy po 1369 *g*, wazony 607—609 z grubym piaskiem o pojemności 18·1% otrzymały po 1032 *g* wody, a wazony 610—613 z piaskiem „naturalnym“ o pojemności 18·36% otrzymały każdy po 1046 *g* wody. Ten stan nasycenia wody kontrolowano codziennie, jak poprzednio, przez ważenie i uzupełnianie wyparowanej wody.

Wazony obsiano 2 sierpnia 1923 wybranym ziarnem gryki, pozostawiając, po wzejściu, które nastąpiło dopiero 11 sierpnia, w każdym wazonie po 10 roślin. Wzrost roślin był normalny, równomierny, ale naogół słaby, prawdopodobnie z powodu dość niskiej, zwłaszcza we wrześniu temperatury i stosunkowo słabej insolacji. Sprzęt nastąpił 7 października wszystkich wazonów równocześnie, w stanie zupełnie dojrzałym. Ziarno, łodygi i korzenie zebrano oddzielnie, przyczem łodygi w znacznej mierze pozbawione były już zeschłych liści, tak, że cyfry odnoszące się do ilości plonu łodyg są wszędzie za niskie. Suszenie substancji zebranej odbyło się, jak poprzednio, w suszarce autoklawowej (przy 105° C).

Tablica III (str. 636) zawiera zestawienie wyników, podanych, jak w tablicy I, jako średnie dla każdego wazonu.

Wynik doświadczenia powyższego potwierdza całkowicie wyniki doświadczenia z owsem. Znacznie jaskrawiej tylko wystąpił w tem doświadczeniu wpływ drobnego piasku na wzrost wzgl. plon gryki, wynoszącego tylko $^1/_{10}$ plonu uzyskanego na piasku „naturalnym“. Najlepszy plon dał piasek odsiany gruby, zwłaszcza pod względem ziarna. Stosunek korzeni do nadziemnej substancji, na piasku najdrobniejszym prawie identyczny jak u owsa, jest i na grubszych piaskach niekorzystny, co może jednak dałoby się wytłomaczyć częściową utratą liści przez dojrzałe rośliny. System korzeniowy w tem

doświadczeniu wykazywał jeszcze znaczniejsze różnice na poszczególnych piaskach niż u owsa. Na grubszym i „naturalnym“ piasku korzenie były słabo rozgałęzione, ale silne i bardzo długie. Na piasku drobnym natomiast b. cienkie, krótkie i z ogromną ilością bocznych korzeni. Obserwacyj anatomicznych nie poczyniłem. Wynik tego doświadczenia wyraźnie wskazuje na to, że główną, jeżeli nie jedyną i wyłączną przyczyną słabego rozwoju roślin na drobnym piasku jest opór, jaki podłoże to stawia wnikającym weń korzeniom. Niedostateczne zaopatrzenie w wodę należy tutaj całkowicie wykluczyć, gdyż wszędzie nasycenie podłoża wodą odpowiadało 60% jego pojemności. Ten stan nasycenia, jakby można wnosić z wyglądu i z wczesnego żółknięcia liści, raczej przekraczał optimum zaopatrzenia w wodę i należy żałować, że nie dano mniejszego nasycenia wodą. Na podstawie tych wyników należy, sądzę, tłómaczyć również słabszy rozwój owsa na drobnym piasku w poprzednim doświadczeniu głównie warunkami wynikającemi z oporu stawianego korzeniom przez drobnoziarniste, a zatem więcej zbite podłoże.

Chcąc zdobyć pełniejszy obraz wpływu mechanicznego stanu podłoża na rozwój roślin, postanowiłem kontynuowanie tych doświadczeń po powrocie do Warszawy. Tutaj coprawda w wysokim stopniu utrudniają warunki, w jakich się mój Zakład znajmuje, tego rodzaju doświadczenia. Toteż w latach 1924 i 1925 postawione doświadczenia w zmniejszonym rozmiarze z jęczmieniem, owsem, gorczycą i jarą pszenicą nie dały żadnych wyników, gdyż z powodu nieodpowiednich warunków wegetacyjnych (na oknach laboratoryjnych lub w zbyt silnie insolowanej szklarence) rośliny ginęły przedwcześnie albo na skutek zatrucia gazem świetlnym, albo przez mączniak lub mszyce. Przytoczę zatem tylko wyniki kilku lepiej udanych doświadczeń z lat 1926—1928.

We wszystkich w tabl. IV zestawionych doświadczeniach używałem tylko dwie frakcje piasku, drobniejszego i grubszego, dając każdą frakcję do 3-ch wazonów, tak, że doświadczenie z każdą rośliną obejmowało tylko 6 wazoników. (Zaopatrzenie w wodę normowałem zawsze tylko wedle pojemności użytego piasku, dając i utrzymując we wszystkich doświadczeniach stan nasycenia wodą równy 60% pojemności dla wody danego piasku; w ten sposób ilościowo wazony z drobniejszym piaskiem otrzymywały więcej wody niż z piaskiem grubszym).

Wodę podawano wyłącznie jako destylowaną ze szkła. Uzupełnienie wyparowanej wody odbywało się codziennie z wyjątkiem niedziel. Jako naczynia do doświadczeń służyły 1- lub 2-litrowe wazony

szklane, a zatem wazony znacznie mniejsze niż użyte do doświadczeń przeprowadzonych w 1923 r. w Bydgoszczy.

Doświadczenie z 1926 r.

Postawiono 2 doświadczenia, z owsem i gryką, z których tabl. IV zawiera tylko wyniki z owsem, gdyż gryka, z powodu prawdopodobnie zbyt wysokiej temperatury w szklarence, gdzie umieszczone były wazony, rozwinęła się zbyt słabo, jakkolwiek dojrzała całkowicie, co — zresztą — powtarzało się i w następnych latach. Piasek drobniejszy (wazony 1—3) posiadał pojemność dla wody 20·38%, piasek grubszy (wazony 4—6) 18·91%. Na każdy 1-litrowy szklany wazon dano 1500 *g* piasku i 150 *cm*^{3} pożywki, która zawierała w 1000 *cm*^{3}

1·0 *g* NH_4NO_3
0·5 *g* KH_2PO_4
0 1 *g* $MgSO_4$
0·1 *g* NaCl
0·1 *g* $CaSO_4$
0·1 *g* Na_2SiO_3 i po 3 krople 1% rozczynu $FeSO_4$, $MnSO_4$, $ZnSO_4$ i $Al_2(SO_4)_3$.

Tę samą dawkę pożywki podano wazonom w toku wegetacji jeszcze trzykrotnie. Wazony obsiano 21 marca 1926 wybranym ziarnem owsa odmiany „żółty Lochowa", a po wzejściu usunięto nadliczbowe roślinki, pozostawiając w każdym wazonie po 5 roślin. Rozwój owsa miał przebieg normalny, po okwitnięciu pojawiły się dopiero mszyce, które zbierano, tak że nie zdołały wyrządzić szkód. Przebieg wegetacji na wazonach z drobniejszym piaskiem był przyśpieszony, kłoszenie się i kwitnięcie owsa odbyło się o 4 dni wcześniej, również dojrzał on o kilka dni wcześniej.

Przy sprzęcie, który odbył się równocześnie dla wszystkich wazonów 5 lipca w stanie pełnej dojrzałości, okazało się, że średnia długość wszystkich pędów owsa na drobniejszym piasku wynosiła 61 *cm*, na grubszym 84 *cm*. Pozatem nie objawiały się wogóle tak jaskrawe różnice w rozwoju roślin na piasku drobniejszym w porównaniu z roślinami piasku grubszego, jak to miało miejsce w doświadczeniu pierwszym, przeprowadzonym w r. 1923.

Rośliny po wykłoszeniu na piasku drobniejszym posiadały tutaj wygląd raczej zdrowszy, mimo że były mniejsze, liście miały stosunkowo szersze. grubsze i ciemniej zielone; rośliny zaś na grubszym piasku, mimo że źdźbła ich w tym okresie były znacznie dłuższe niż u roślin grupy I, posiadały liście wązkie i znacznie bledsze, robiły wrażenie roślin cierpiących na niedostatek azotu. Niestety — po wykłoszeniu — dawki pożywki już nie powtórzyłem, co jak się dopiero

po sprzęcie okazało, było błędem, gdyż istotnie plon z każdego wazonu zawierał średnio 191 *mg* N, a ilość azotu wszystkich dawek wynosiła na wazon tylko 210 *mg*. Jest bardzo prawdopodobnem, iż powtórzenie dawki pożywki byłoby spowodowało większy plon i większą różnicę między obydwoma grupami.

Rozwój kłosów był u roślin obu grup równy. Natomiast rozwój korzeni wykazywał znaczne różnice; przeważająca część korzeni w wazonikach na piasku drobniejszym wzrastała wzdłuż ścian naczynia, na piasku grubszym była znacznie mniejsza, a na spodzie naczyń utworzył się cały gęsty splot korzeni. Ilość korzeni przybyszowych na piasku drobniejszym była znacznie większa niż w drugiej grupie. Dzięki użyciu naczyń szklanych można było dokładnie obserwować wnikanie korzeni wzdłuż ścian do głębszych poziomów naczyń, a obserwacje te wyraźnie wykazywały utrudnione przenikanie korzeni do podłoża złożonego z piasku drobniejszego; pozatem należy jeszcze dodać, że po okwitnięciu ustał wzrost korzeni.

Doświadczenie z 1927 r.

W tym roku udało się tylko doświadczenie z jęczmieniem, które przeprowadzono w sposób identyczny jak w roku 1926. Użyto 1-litrowych szklanych wazoników napełnionych po 3 luźno nasypanym drobniejszym (wazony 1—3) i grubszym 4—6) piaskiem, w ilości po 1600 *g* na wazon, Pojemność piasku drobnego wynosiła 22·69%. grubszego 20·69%. Stan nasycenia wodą utrzymywano na 60% pojemności obydwu piasków dla wody. Wysiew wybranych ziarn jęczmienia odmiany „Hanna" nastąpił 28 marca 1927, a po wzejściu pozostawiono po 5 roślin w każdym wazoniku. Pożywkę zastosowano tą samą i w tej samej koncentracji co roku poprzedniego, dając jej na wazon po 160 cm^3 i powtarzając ją dwukrotnie. Przebieg wegetacji w obu grupach był normalny, rośliny były zdrowe, kłoszenie i kwitnięcie roślin na piasku drobniejszym nastąpiło trzy dni wcześniej niż na piasku grubszym. Wzrost roślin na piasku grubszym był bardzo znacznie bujniejszym niż roślin z piasku drobniejszego. Charakterystyczne i jeszcze jaskrawsze niż w roku poprzednim (u owsa) było zachowanie się korzeni; znaczna ich większość na piasku drobniejszym rosła wzdłuż ścian naczynia, przyczem coprawda w jednym z wazonów kilka cieniutkich korzonków dorosło do samego dna wazonu. Korzenie na piasku grubszym rozmieszczały się równomierniej w całej objętości piasku, tworząc na dnie wazonów gęsty pokład jakby z wojłoku. Objawy trudności w pokonywaniu oporu stawianego przez podłoże były tu bardzo jaskrawe. Zbiór z wszystkich

wazonów całkowicie dojrzałych roślin odbył się 2 lipca, a wyniki podaje tablica IV.

Tabela IV.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nr. wazonów	Sucha substancja średnio z wazonu					Stosunek s. substancji nadziemnej do korzeni	Stosunek ziarna : słoma	% całkowitego plonu	% nadziemnego plonu	Zużycie H_2O na 1 *g* s. substancji całk. plonu		Zawartość w s. substancji całk. plonu bez piasku	
	Słoma	Ziarno	Nadziemny plon	Korzenie	Cały plon							popiołu	N
	g	*g*	*g*	*g*	*g*					*g*	%	%	%
Owies (avoine) 1926 r.													
1/3	3·24	3·14	6·38	2·75	9·13	2·32	1·03	100	100	362	137	9·63	1·90
4/6	5·82	2·48	9·30	3·11	12·41	3·00	1·67	135	145	265	100	6·41	1·54
Jęczmień (orge) 1927 r.													
1/3	1·98	1·54	3·52	1·58	5·10	2·23	1·28	100	100	817	114	10·89	1·78
4/6	3·62	2·64	6·26	1·78	8·04	3·51	1·37	157	177	715	100	6·21	1·34
Bób (fève) 1928 r.													
1/3			3·09	0·87	3·96	3·53		100	100	780	117		
4/6			11·43	1·90	13·34	6·10		337	370	666	100		
Owies (avoine) 1928 r.													
7/9	5·53	2·30	7·83	0·77	8·60	11·1	2·40	100	100	486	117		
10/12	8·10	2·14	10·24	0·83	11·07	13·3	3·80	128	131	416	100		

Doświadczenia r. 1928.

Przytoczę wkońcu doświadczenia r. 1928 z owsem i bobem. *A priori* należy oczekiwać, że opór stawiany przez strukturę podłoża wnikającym weń korzeniom roślin, zdolnych do tworzenia licznych korzeni przybyszowych, odbije się, w równych warunkach, słabiej na wzroście a więc i plonie tych roślin, niż w wypadku roślin wytwarzających normalnie korzeń główny lub palowy. W pierwszym wypadku starają się rośliny groźne dla nich skutki niemożności głębszego wniknięcia ich korzeni w podłoże, skąd czerpią niezbędne związki mineralne, azot i wodę, zniwelować przez obfitsze wytwarzanie korzeni przybyszowych, te zaś, nie przenikając coprawda głęboko w podłoże, jednak przez swą liczebność i płytkie nawet pod powierzchnią podłoża rozmieszczenie mogą w pewnym, choć niedostatecznym stopniu, zaopatrzyć roślinę w niezbędne pokarmy. Inaczej atoli może się sprawa przedstawiać u roślin wytwarzających korzeń główny. U nich, możnaby oczekiwać, niemożność głębszego wrośnięcia w podłoże może coprawda również wywołać korelatywne obfitsze wytwarzanie korzeni bocznych w górnej części korzenia głównego, jednakże nie można przewidzieć, czy remedjum takie okaże się skutecznem i w jakim stopniu. Wynik doświadczeń r. 1928, zestawiony w tab. IV, da nam odpowiedź na to pytanie.

Jako roślin doświadczalnych użyłem bobu i owsa. Bób należy do roślin tworzących wyraźny korzeń główny, owies do roślin z korzeniami przybyszowemi. Poza tem doświadczenia wykonano identycznie, jak w latach poprzednich. Wazony dla obu roślin szklane, dla bobu 2-litrowe, dla owsa 1-litrowe. Jakość i ilość pożywki w obu wypadkach, licząc na 1 *kg* piasku użytego, ta sama, z tą tylko różnicą, że bób otrzymał tylko po 100 *mg* NH_4NO_3 na wazon, wzamian za co był w odpowiednim czasie szczepiony świeżo wyizolowanem *Bacterium radicicola Fabae*, które też spowodowało powstanie licznych „brodawek“ na korzeniach bobu.

Ponieważ początkowo wysiane nasiona bobu, po skiełkowaniu w wazonach, podczas wnikania ich korzeni były stale z powodu znacznego oporu piasku „wysadzane“, postawienie doświadczenia opóźniło się nietylko dla bobu, a również i dla owsa, gdyż zależało na tem, aby obydwie rośliny równocześnie doprowadzić do wegetacji, aby w toku jej pozostawały w możliwie równych warunkach. Obsadzenie wszystkich wazonów, tak dla owsa jak dla bobu, nastąpiło ostatecznie dopiero 5 czerwca 1928. Posadzono wykiełkowane nasiona, a długość korzeni ich (u bobu) wynosiła już 4 *cm*. Po rozpoczęciu wegetacji usunięto zbyteczne rośliny, pozostawiając po 5 w każdym wazonie. I tutaj, jak w poprzednich doświadczeniach, utworzono tylko po 2 grupy, składająca się każda z 3 wagonów, z których wazony 1—3 napełniono luźno piaskiem drobnym, wazony 4—6 piaskiem grubszym. Wazony dla

owsa otrzymały po 1.500 *g*, dla bobu po 3.600 *g* piasku. Nasycenie wodą dla obydwu roślin to samo, 60% pojemności użytego piasku, uzupełniano codziennie. Pojemność piasku w wazonach z bobem wynosiła u drobnego 22·74%, u grubszego 19·67%; dla owsa: piasku drobnego 26·0%, grubszego 21·7%. Dnia 2 lipca 1928 wszystkie wazony sfotografowano, reprodukcję tej fotografji zawiera tab. XXX.

Bób: Trudności w rozwoju na piasku drobniejszym objawiły się dość wcześnie, jak to najlepiej wynika z Tab. XXX. Rośliny w tych wazonach znacznie słabsze. Dnia 30. VI. zaszczepiono *Bacterium radicicola Fabae* 2. VII. powtórzono dawkę pożywki mineralnej i dano na wazon 25 *mg* NH_4NO_3. 10. VII. ponownie 25 *mg* NH_4NO_3. 11. VII. rozpoczyna się kwitnięcie w wagonach z grubszym piaskiem. 16. VII. pierwsze pomiary pędów, których średnia długość wynosi u roślin na drobniejszym piasku 39 *cm*, na grubszym 81 *cm* i powtórzenie dawki pożywki mineralnej. 20. VII. zlikwidowano wazony 1—3 z powodu dłuższego już zastoju we wzroście i obumierania roślin. 23. VIII. rozpoczyna się dojrzewanie (brunatnienie) roślin w wazonach 4—6, średnia długość pędów wynosi 93·3 *cm*. Mimo obfitego kwitnięcia ilość wykształconych strąków i nasion mała z powodu trudności naturalnego zapylania w szklarni. 7. IX. następuje zbiór, przyczem nie oddziela się pędów od strąków, a korzenie wypłukuje się.

Rośliny na piasku drobniejszym posiadały bardzo słabo rozwinięty system korzeniowy. Korzeń główny w górnej części bardzo gruby, od mniej więcej 5 *cm* zwęża się bardzo silnie. Nader gęsto wyrosłe diarchiczne korzenie boczne, poniżej zgrubiałej części korzenia głównego, mało korzeni bocznych, przytem bardzo wątłe. Długość korzenia głównego 8—10 *cm*, tylko u jednej rośliny 13 *cm*. Większość korzeni jasno-brunatna, dość liczne ale drobne brodawki korzeniowe.

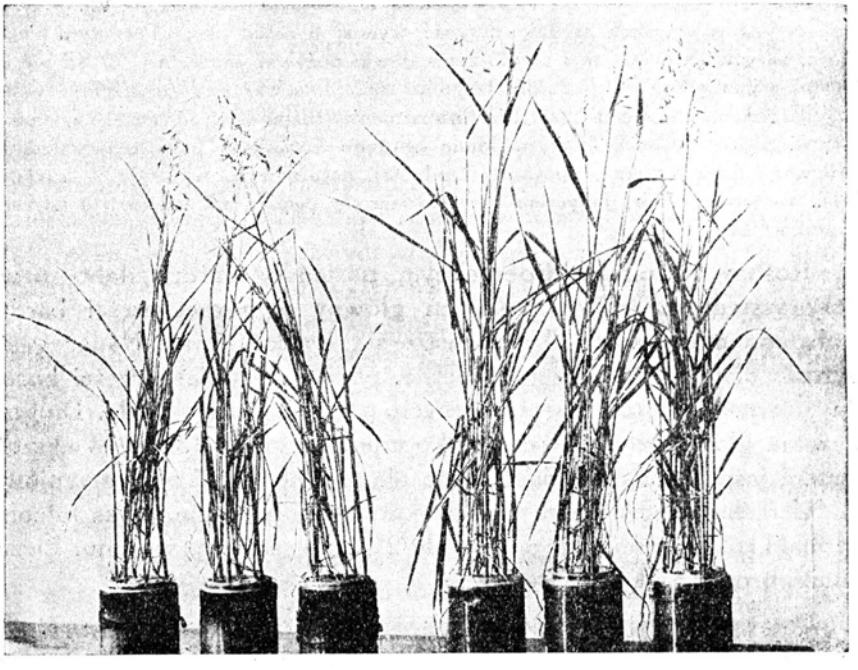
U roślin na grubszym piasku korzenie normalnie wykształcone, ale mało rozgałęzione, sięgają spodu 21 *cm* wysokiego wazonu. Liczne i duże brodawki korzeniowe.

Owies: Rozwój odbywa się normalnie; 21. VI. powtórzono dawkę pożywki, 29. VI. i 10. VII. ponowne powtórzenie dawek pożywki. 2. VII. fotografowanie (por. Ryć. 88). 12. VII. na wazonach 1—3 początek kłoszenia, w wazonach 4—6 w dwa dni później; 18. VII. kwitną rośliny w wazonach 1—3, 21. VII. w wazonach 4—6. W tym okresie średnia długość pędów w grupie I 66 *cm*, w grupie II 80 *cm*. Rozwój korzeni jak w ubiegłych latach. 7. IX. zbiór.

Różnice reagowania tych dwóch roślin na opór stawiany korzeniom przez podłoże nie uwidacznia się w całej pełni w tabeli (IV), zawierającej wyniki tego doświadczenia.

Różnica w plonie, u owsa wynosząca na korzyść roślin wyrosłych na grubym piasku tylko ca 30%, u bobu zaś przeszło 300%, nie odtwarza tej wielkiej, a jak mniemam, zasadniczej różnicy, jaka wystąpiła w zachowaniu się bobu i owsa. Owies, nawet przy znacznie zahamowanym wzroście, jak to wykazuje tab. I, nie ginie, a rozwija się coprawda karłowato, ale o tyle zupełnie normalnie, że wykształca nasiona i skraca swój okres wegetacji. Bób natomiast bynajmniej nie

reagował na trudności wnikania swych korzeni do podłoża przyśpieszeniem wegetacji, gdyż 11. VII, kiedy wszystkie boby wyrosłe na piasku grubszym rozpoczęły kwitnięcie, nawet nie posiadał jeszcze pączków kwiatowych. Trudności napotykane przez jego korzenie przy wnikaniu do podłoża powodują zupełne zahamowanie wzrostu i kończą się wcześnie śmiercią. Sądzę, że w podobny sposób reagują i rośliny inne, wykształcające korzeń główny.



Ryć. 88.

Zakończenie.

Wyżej przytoczone doświadczenia wskazują, w jak silnym stopniu opór, stawiany korzeniom przez glebę, wpływa na wzrost roślin. Oporu tego nie możemy mierzyć bezpośrednio, jak to czynił W. Pfeffer lub A. J. van Schermbeek, przy pomocy żelaznych czy stalowych „sztyftów", gdyż istota mechanizmu wnikania korzeni w glebę jest całkowicie inna i nieporównalna z wnikaniem sztywnego, twardego sztyftu. Śliski, giętki korzeń łatwiej ominie napotykane przeszkody, niż sztywny sztyft metalowy. Chcąc jednak, mimo wszystkich zastrzeżeń, zdobyć jakiś liczbowy wyraz wielkości oporu, stawianego przez użyty do doświadczeń piasek, przeprowadziłem

pomiary z podobnym, jak go używał Pfeffer, sztyftem metalowym. Sztyft ten, z cynkowego drutu, średnicy 2 *mm* a długości 95 *mm*, wagi (z blaszką) 6·7 *gr* o końcu konicznym, więc naśladujący kształtem korzeń główny bobu, wprowadzałem w piasek na głębokość 15 *mm* poczem obciążałem go odważnikami, nakładanemi na blaszkę, do której sztyft był przymocowany, notując obciążenie, przy którem sztyft wbił się na całą swą długość w piasek lub do głębokości podanej poniżej w nawiasach. Nasmarowanie sztyftu wazeliną mało wpływało na łatwiejsze jego wnikanie w piasek. Pomiary wykonano z obydwoma piaskami, użytemi do wazonów z bobem. Poniżej zestawione są tabelarycznie wyniki.

		w stanie suchym	w st. nasycenia wodą	w st. 60% nasycenia
Piasek drobny	luźny	2 *gr*	37—40 *gr*	> 40 < 50 *gr*
	ubity	> 3500 *gr* (do 8 *cm*)	> 1700 < 2000 *gr*	2000 *gr* (do 7·2 *cm*)
Piasek gruby	luźny	19—20 *gr*	50 *gr*	> 40 < 50 *gr*
	ubity	> 150 < 200 *gr*	> 1500 < 2000 *gr*	> 1500 < 2000 *gr*

Cyfry powyższe wskazują, że ciśnienie, konieczne do przezwyciężenia oporu piasku o takim stopniu (60%) nasycenia, jaki piasek ten posiadał w doświadczeniach z bobem, wynosiłoby conajmniej $1^1/_4$ do przeszło 70 atmosfer. Jednakże, z cyfr tych nie można wyprowadzić żadnych wniosków o rozmiarze wykonywanej pracy przez wnikające w piasek korzenie, gdyż wskazują one przedewszystkiem na stan ubicia gleby jako decydujący o stawianym oporze. W doświadczeniach wegetacyjnych zaś, na skutek samego działania korzeni, niemożliwem jest utrzymanie równego stanu ubicia gleby przez cały okres wegetacji, a zatem sądzę, że wydatek energji, zużyty przez roślinę na pokonanie oporu gleby, da się w każdym wypadku ustalić tylko przez porównawczy eksperyment, z określeniem ubytku w plonie. Strata energji przy pokonywaniu oporu gleby jest, jak to wynika bezpośrednio z tab. II, bardzo znaczna, i usprawiedliwia jak najzupełniej wszystkie zabiegi ogrodnika i rolnika, zmierzające do jak najlepszego spulchnienia gleby i nadania jej stanu gruzełkowatości, z pominięciem nawet wszystkich ubocznych korzyści dla wzrostu roślin wypływających z takiego stanu glebowego, jak np. łatwiejsze ogrzanie się, zwiększenie pojemności dla wody, lepsze przewietrzenie, spotęgowane wietrzenie składników mineralnych a wzmożenie się procesów mineralizacji substancyj organicznych i t. d.

Spodziewam się przytem, że wyniki powyższych doświadczeń mogą wzbudzić zainteresowanie również geografów i socjologów roślinnych, boć należy przypuszczać, że opór gleby, stawiany korzeniom roślin dzikich, niejednokrotnie może objawić się jako czynnik decydujący w rozmieszczeniu geograficznem roślin i w układzie stosunków socjologicznych. Zwłaszcza wyniki doświadczeń z bobem i owsem z r. 1928 zdają się wskazywać na różnice, jakie zachodzą w reagowaniu roślin na strukturę mechaniczną gleby w zależności od im właściwego charakteru wykształcanego systemu korzeniowego. Pobieżne nawet porównanie lasu sosnowego, wyrastającego na głębokim piasku, z takimż lasem wegetującym na piasku z podkładem ortsztynu, dobitnie wykazuje znaczenie czynnika mechanicznego przy wnikaniu korzeni do gleby.

Opór stawiany korzeniom przez glebę objawia się nie wyłącznie w wykształceniu systemu korzeniowego, w rozwoju pędu lub liści, lub — w bardzo pobieżnie i ubocznie tylko przeze mnie potraktowanej — strukturze anatomicznej. Zaznacza się on również w wytwarzaniu ziarna, na co wskazuje rubryka 8 tab. IV. Większy opór ze strony gleby hamuje znacznie silniej rozwój wegetatywny niż generatywny, co również może nie być bez znaczenia dla hodowców roślin, jak i dla socjologów roślinnych.

Wkońcu sądzę, że powyższe doświadczenia nie są bez znaczenia i dla metodyki t. zw. doświadczeń wegetacyjnych, tak szeroko stosowanych przez uczonych rolników.

Z Zakładu Fizjologji Roślin Uniw. warsz.

Objaśnienie tablicy XXX.

Po lewej stronie wazony (1—3) z bobem na piasku drobnym, po prawej (4—6) na piasku grubym. Ten sam porządek wazonów na Ryć. 88 (str. 646).

Bibliografja.

Ehrenberg, P. Spielt der Energieverbrauch durch die Arbeit der Wurzeln eine erhebliche Rolle für die Entwickelung der Pflanze? Fühlings landw. Ztg. 1910. **59.**

Mitscherlich, A. Bodenkunde f. Land- u. Forstwirte. 1923. IV. wyd.

— Über den Vegetationsfactor Energie. Fühlings landw. Ztg. 1910. **59.**

Pfeiffer, Th., Hepner, A., Frank, L. Verminderter Energieaufwand der Wurzeln od. Nährstoffmangel? Mitt. d. landw. Inst. Breslau. 1908. **4.** 351.

Pfeffer, W. 1. Studien zur Energetik d. Pflanze. Abh. K. S. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. **18.** 1892. 151.

— 2. Druck- u. Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen. Abh. K. S. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. **20.** 1893. 235.

Schermbeek van, A. J. Die Bodensonde. Forstwiss. Centrbl. 1902. **46.** 115.

Wollny, E. Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik 1897/8. **20.** 66, 319.

Résumé.

Pour élucider influence de la structure du sol sur la croissance des plantes, on a exécuté des essais à pôt avec de l'avoine.

Comme substrat on a employé du sable pur. Une série de pôts fut remplie de sable naturel, trois autres séries de 3 fractions du même sable à grains de grandeur différante.

Tous les autres facteurs dont dépend la croissance étaient rigoureusement égaux dans tous les pôts, sauf pourtant le degré de saturation du sable en eau, la même quantité d'eau ayant été ajoutée à tous les pôts, malgré la différente capacité pour l'eau des trois fractions de sable. La quantité d'eau ajoutée répondait à 36·8% de la capacité totale pour l'eau du sable fin (pôts 601/3), à 42·5% du sable moyen (604/6), à 56·3% du sable le plus gros (607/9) et à 55·4% du sable naturel (610/12).

D'après les résultats réunis dans la I. Table, on voit la très grande influence du substrat sur la récolte. La récolte des pôts à sable fin comportait de 24·7 à 29·7%, celle des pôts à sable moyen de 77·6 à 85·6% et celle des pôts à gros sable 118% de la récolte obtenue dans les pôts remplis de sable naturel.

On ne saurait pourtant dire d'après ces résultats, si les grandes différences des récoltes étaient provoquées par la résistance du substrat à la pénétration des racines, ou par les variations de l'alimentation des plantes en eau, dans les différentes fractions de sable.

On exécuta donc une séconde série d'expériences avec du sarrasin, ou la quantité d'eau comportait partout pendant toute la végétation 60% de la capacité pour l'eau des différentes fractions de sable.

Dans ces nouvelles conditions, les résultats obtenus (Tabl. III) furent les mêmes que dans la première série, quoique la quantité d'eau ajoutée était inégale.

C'est donc la résistance opposée par le sol à la pénétration des racines, qui est la cause unique de la dépression des récoltes dans les sables fins.

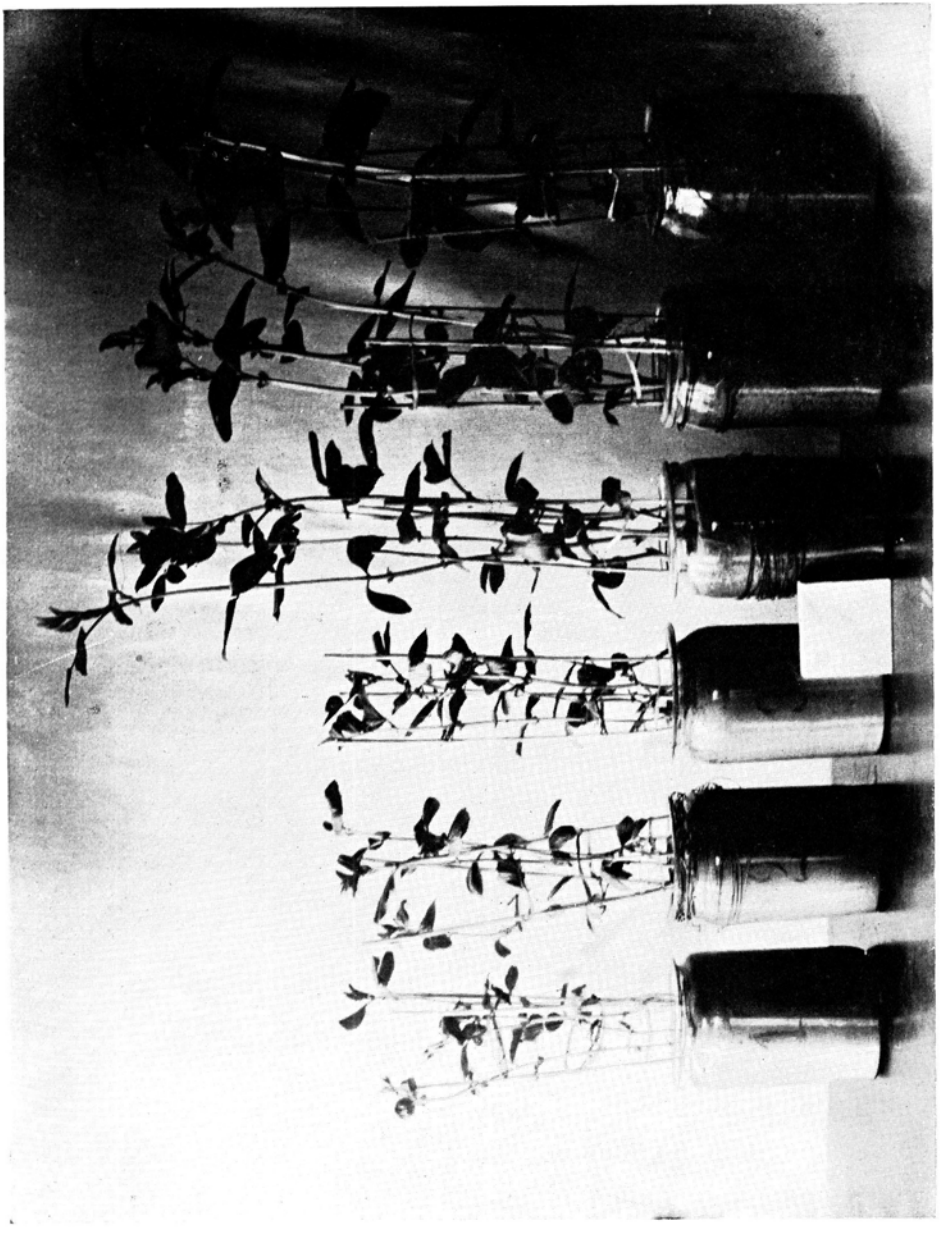
Au courant des années suivantes, on continua les expériences avec l'avoine, l'orge, le sarrasin et la fève (Tabl. IV), les résultats obtenus étaient les mêmes; mais en outre une grande difference fut demontrée entre les plantes à racines pivotantes et les plantes à racines fasciculées.

Les plantes à racines fasciculées (avoine, orge) rencontrant une forte résistance dans le substrat, racourcissent leur cycle de vége-

tation — leur développement végétatif est plus faible, mais la récolte en graines est relativement supérieure a celle des plantes croissant dans le sable naturel. Les plantes à racines pivotantes, comme la fève, par contre, ne se développent que faiblement, ou bien dépérissent après quelques semaines.

On a déterminé la chaleur de combustion dans une des éxpériences (Tab. III), les plantes croissant dans le sable fin ont donné un manque de 36.000 *kal.* en valeur calorique, soit 15.336 *kgm* en comparaison avec les plantes croissant dans le sable à gros grains.

Institut de physiologie végétale de l'université de Varsovie.



Fot. Dr. F. X. Skupieński.