

problemy agrofizyki

POLSKA AKADEMIA NAUK · ZAKŁAD AGROFIZYKI



Ossolineum

zeszyt 4

rok 1972

**MIKROBIOLOGICZNE
ASPEKTY TWORZENIA SIĘ AGREGATÓW
GLEBOWYCH**

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
ZAKŁAD AGROFIZYKI W LUBLINIE

PROBLEMY AGROFIZYKI

4

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

PROBLEMY AGROFIZYKI

4

MAŁGORZATA DĄBEK-SZRENIAWSKA

MIKROBIOLOGICZNE ASPEKTY TWORZENIA SIĘ AGREGATÓW GLEBOWYCH

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

1972

Komitet Redakcyjny:
BOHDAN DOBRZAŃSKI (przewodniczący),
JAN GLIŃSKI, BOGUSŁAW SZOT

Okladkę projektował: ZYGMUNT ZIEMKA
Redaktor Wydawnictwa: MARIA STANISZEWSKA

Wszelkie prawa zastrzeżone. Printed in Poland

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1973.
Nakład: 500 + 120 egz. Objętość: ark. wyd. 3, ark. druk. 3,75.
Papier offset. kl. III, 70 g, 61 × 86. Oddano do druku 25 I 1973.
Druk ukończono w lutym 1973. Wrocławska Drukarnia Naukowa.
Zam. 1545/73 — N-11. Cena zł 15.—

WSTĘP

Struktura gleby jest jednym z podstawowych elementów jej żyzności. Podlega ona działaniu wielu czynników mechanicznych, fizykochemicznych i biologicznych, w związku z czym może ulegać dużym zmianom. Tworzenie się wodoodpornych, trwałych agregatów glebowych jest procesem złożonym. Na liczbę i jakość tych agregatów wpływa wiele czynników, jak np.: nawożenie, wegetacja roślin, działanie czynników atmosferycznych w kolejnych porach roku, działanie drobnoustrojów oraz organizmów wyższych bytujących w glebie.

Jak wiadomo, mikroflora jest ważnym czynnikiem biorącym udział w przebiegu procesów biochemicznych w glebie. W związku z chemizacją rolnictwa należy wziąć pod uwagę możliwość zakłóceń w normalnym przebiegu procesów życiowych mikroflory glebowej. Dlatego też zastąpienie syntetycznych substancji strukturotwórczych metabolitami wytwarzanymi przez drobnoustroje glebowe stanowi ważny problem badawczy.

W pracy niniejszej dokonano przeglądu literatury omawiającej naturalny charakter tworzenia się agregatów glebowych. Zwrócono szczególną uwagę na czynniki wpływające na mikrobiologiczny charakter tworzenia się agregatów glebowych i ich trwałość, a więc omówiono: wpływ substancji organicznych, nieorganicznych, temperatury, pH, nawietrzania i nawilżania. Omówiono rolę polisacharydów pochodzenia drobnoustrojowego odgrywających rolę lepiszcza w tworzeniu agregatów glebowych, a także mechaniczny charakter tworzenia agregatów. Opisano również niektóre poglądy na mechanizmy tworzenia się agregatów glebowych przy udziale mikroorganizmów.

SUBSTANCJE ORGANICZNE

Wyraźny wpływ na tworzenie się agregatów glebowych mają substancje organiczne. Dostają się one do gleby m.in. w postaci resztek roślinnych. W ścisłym związku z mikrobiologicznym rozkładem resztek roślinnych i równocześnie z tworzeniem agregatów glebowych pozostaje wegetacja roślin. Resztki roślinne znajdujące się w glebie służą mikroorganizmom glebowym jako źródło energii do namnażania się i do procesów metabolicznych. W wyniku rozkładu przez mikroorganizmy resztek roślinnych powstają substancje biorące udział w sklejanii cząstek gleby w agregaty. Resztki roślinne nie ulegające uprzednio rozkładowi mają bardzo znikome zdolności wiązania gleby w wodoodporne agregaty lub są ich pozbawione zupełnie. Pod wpływem działania mikroorganizmów wykazują natomiast właściwości sklejące. W związku z tym wpływ resztek roślinnych na tworzenie się agregatów glebowych znalazł swoje odbicie w wielu pracach [36, 37, 41]. Mc Calla [37] badał wpływ mikroorganizmów na strukturę gleby w obecności wielu substancji organicznych. Stwierdził on, że wiele substancji organicznych służy jako źródło energii mikroorganizmów glebowych, które w ten sposób budują elementy własnych komórek bądź wytwarzają substancje mające wpływ na polepszenie struktury gleby. Autor inkubował glebę z dodatkiem zmielonej słomy pszennej i koniczyny i zanotował wzrost agregowania cząstek gleby. Stan ten utrzymywał się przez dłuższy czas dzięki zapasowi źródła energii. Stabilność agregatów jest według autora zjawiskiem tymczasowym i ma miejsce tylko do czasu, gdy istnieją produkty metabolizmu drobnoustrojów w postaci lepiszcza łączącego drobne cząsteczki gleby w agregaty. Na podstawie swych badań autor również wnioskuje, że jeżeli substancja sklejąca zmniejsza szybkość nawilżania oraz nadmiernego pęcznienia agregatów zwiększa tym samym ich stabilność i wodoodporność.

Na uwagę zasługują także i inne prace, w których autorzy zwrócili również uwagę, że dodatek substancji organicznej do gleby powoduje zwiększenie agregacji, Martin i współprac. [28] przeprowadzali badania nad porów-

naniem szybkości rozkładu i efektu agregującego w glebie różnorodnych resztek roślinnych, obumarłych szczątków drobnoustrojów, takich jak grzyby i bakterie oraz obserwowali ich wpływ na wodoodporność agregatów glebowych. Badania swe oparli na obserwacji intensywności wydzielania CO_2 podczas inkubacji w glebie resztek roślinnych i obumarłych grzybów. Wykazali oni, że resztki roślinne i obumarłe grzyby rozkładane były przez mikroorganizmy z różnorodną szybkością, jak również zaobserwowali, że niektóre substancje powstałe podczas procesu rozkładu oddziaływały dodatnio na agregację gleby. Składniki rozkładu obumarłych grzybów i resztek roślinnych wywierały dużo większy wpływ na agregację aniżeli nierozłożone resztki grzybni i roślin.

Również Griffith i Jones /13/ badając tworzenie się gruzełkowej struktury gleby z punktu widzenia działalności drobnoustrojów glebowych, stwierdzili, że drobnoustroje rozkładają znajdującą się w glebie substancję organiczną zmieniając jej strukturę tak, że może ona być czynnikiem ułatwiającym sklepanie cząsteczek gleby w agregaty. Autorzy badali gruzełki glebowe na obecność drobnoustrojów takich, jak grzyby, drożdże i promieniewce. Gruzełki glebowe z dodatkiem glukozy charakteryzowały się wzrostem pewnych gatunków drożdży, głównie *Lipomyces* sp., gruzełki z dodatkiem chityny odznaczały się natomiast obfitym wzrostem *Actinomyces*. Zarówno dodatek glukozy, jak i celulozy zwiększał stabilność gruzełków, ale następowało to w różnym czasie inkubacji. Dodatek glukozy wywierał dodatni wpływ wcześniej /po upływie od 0 do 3 tygodni/, celuloza natomiast oddziaływała efektywnie w późniejszym terminie /po 36 tygodniach/. Pomimo tej różnicy w obydwu tych przypadkach obserwowano bardzo duże podobieństwo organizmów kolonizujących w okresach zwiększonej stałości gruzełków. Podobnie Acton i współprac. /2/ dodawali do dwóch rodzajów gleb: słońca /Trossachs/ i gleby glejowej /Oxbow/ drobno zmieloną słomę, co poprawiło ich agregację. Zwiększyła się znacznie zawartość procentowa agregatów o średnicy większej niż 0,1 i 0,5 mm. Procent agregatów o średnicy powyżej 0,5 mm osiągał największą wartość po tygodniu inkubacji; następnie obser-

wowano spadek ich zawartości. Warto zaznaczyć, że równocześnie zawartość substancji śluzowych pochodzenia drobnoustrojowego osiągnęła maksimum w ciągu tygodnia od dodania słomy; po upływie tego czasu liczba ich zmniejszała się.

Ciekawe obserwacje zanotował Webber /53/, który badał wpływ polisacharydów z resztek roślinnych, takich jak żyto, owies, pszenica ozima i inne. Stwierdził on brak równoległości między trwałością polisacharydów podczas okresu wegetacyjnego, a także zauważył, że wpływ uprawianych roślin był większy na stabilność agregatów aniżeli na zawartość polisacharydów.

Smith i współprac. /47/ poddawali resztki roślin i substancji organicznych modyfikacjom chemicznym, takim jak: acetylacja, metylacja, fosforylacja, oksydacja, następnie badali ich wpływ na szybkość tworzenia się agregatów glebowych i ich trwałość. Stwierdzili oni, że wpływ resztek roślinnych na polepszenie struktury gleby zależny był od zawartej w nich frakcji celulozowej. W oparciu o podobne metody Schwartz i współprac. /45/ badali resztki roślinne i ich pochodne pod względem odporności na rozkład mikrobiologiczny i wpływ na stabilność agregatów przez okres 6 miesięcy w warunkach stałej wilgotności. Pszenica dodana w postaci zmielonej w koncentracji 0,5% miała większy wpływ na stabilność agregatów przez pierwszy miesiąc inkubacji w temperaturze 28°C aniżeli zmielone łodygi bawełny i resztki soi. Zmielone włókna bawełny dodane w koncentracji 0,5% zwiększały agregację do 93% podczas pierwszych 3 miesięcy inkubacji w glebie. Chemicznie oksydowana celuloza i skrobia kukurydzy charakteryzowały się długotrwałym dodatnim wpływem na stabilność agregatów, mianowicie przez okres 6 miesięcy.

Martin /24/ badał wpływ innych organicznych źródeł energii na produkcję substancji agregujących glebę. Jak wynika z jego badań, obecność asparaginy i kazeiny powodowała najsilniejszą agregację. Mocznik i pepton były mniej efektywne. Najszybsza produkcja substancji cementujących agregaty następowała w obecności asparaginy. Badano także wpływ innych związków

na wytwarzanie substancji agregujących przez drobnoustroje. *Bacillus subtilis* sp. wytwarzał te substancje w obecności dekstrozy, maltozy, ksylozy, arabinozy i sacharozy. Najsilniejszy wpływ wywierała sacharoza. Substancja produkowana przez *Bacillus* była polisacharydem podobnym do homocelulozy. Substancja ta była łatwo rozkładana przez pewne bakterie i promieniotwórcę glebowe, a w mniejszym stopniu przez grzyby.

Dąbek-Szreniawska /6/ badała wpływ różnych źródeł węgla na wytwarzanie substancji śluzowych przez kilka szczepów *Azotobacter*, zwracając szczególną uwagę na ich lepkość i zdolność sklejanie agregatów glebowych. Z przeprowadzonych badań wynikało, że rodzaj źródła węgla w podłożu wpływał wyraźnie na liczebność komórek i produkcję śluzów wybranych szczepów z rodzaju *Azotobacter*. Zależnie od rodzaju źródła węgla otrzymywano biomasy drobnoustroju o różnej lepkości. Wartości lepkości biomasy badane wiskozymetrycznie według Hortona i Kee /20/ przedstawia tab. 2. Za biomasę uważano komórki drobnoustroju wraz ze śluzem.

Mc Calla /37/ dodawał do gleby takie substancje organiczne, jak: białka, tłuszcze, woski, kalafonię i parafinę, przez co zwiększał wodoodporność agregatów glebowych. Natomiast Stefanson /48/ donosi, że woski i tłuszcze nie zwiększały stabilności agregatów. Geoghegan i Brian /9/ zanotowali, że albumina jaj, trypsyna, pepsyna i pankreatyna są zdolne do agregowania cząstek gleby.

Niektórzy autorzy stwierdzili także zmiany w tworzeniu się agregatów zależnie od pory roku, jak również od rodzaju uprawianej rośliny. Rennie i współprac. /44/ obserwowali mianowicie, że stopniowe zwiększanie się liczby wodoodpornych agregatów następowało wiosną i latem, jesienią natomiast zanotowano spadek ich liczby. Podobne zjawisko zauważył Stefanson /48/, mianowicie stabilność agregatów w glebie zmniejszała się jesienią, spadając do minimum w zimie, natomiast wzrost jej miał miejsce na wiosnę, osiągając maksimum w lecie. W glebie słonej zawierającej CaCO_3 zmiany w stabilności agregatów podczas pór roku były znikome. Przy rozważaniu tego tematu należy wziąć pod uwagę udział mikroorganizmów. Optymalne wa-

runki klimatyczne tworzenia substancji śluzowych przez mikroorganizmy występują wiosną i latem, co równocześnie znajduje swoje odbicie w zwiększeniu liczby wodoodpornych gruzełków, gdy tymczasem pozostałe pory roku sprzyjają ich rozkładowi.

Toogood i Lynch /52/ obserwowali wpływ uprawianych roślin na tworzenie się agregatów glebowych oraz na ich wagę i średnicę. Po pięcioletniej uprawie zbóż i roślin motylkowych waga i średnica agregatów były prawie dwukrotnie większe aniżeli w glebach pod ugiem.

SUBSTANCJE NIEORGANICZNE, TEMPERATURA, pH, NAWIETRZANIE I NAWILŻANIE

Jak można oczekiwać, substancje nieorganiczne, zawartość wody, temperatura, nawietrzanie i pH wpływają na tworzenie się i rozkład agregatów glebowych. Czynniki te działają na aktywność mikroorganizmów glebowych, należy się więc spodziewać, że oddziałują również na mikrobiologiczny charakter tworzenia się agregatów, a także na ich rozkład przy udziale mikroorganizmów.

Acton i współprac. /1, 2/ dodawali razem z substancją organiczną związki azotowe w postaci NH_4NO_3 , w celu określenia ich wpływu na agregację gleby, wytwarzanie śluzów przez drobnoustroje oraz zawartość polisacharydów w glebie. Dodatek związków azotowych, szczególnie w większych dawkach, zmniejszał znacznie procent agregatów o średnicy większej od 0,5 i 0,1 mm w porównaniu z liczbą agregatów w glebie, do której dodano słomę. Natomiast nawóz fosforowy dodany w postaci KH_2PO_4 nie zmieniał poziomu agregacji. Pod wpływem dodania związków azotowych do gleby nastąpił równocześnie spadek zawartości śluzów bakteryjnych w porównaniu z ich zawartością w obecności słomy. Spostrzeżenia te potwierdzone zostały przez Harrisa i współprac. /15/, którzy zauważyli, że zawartość związków azotowych w nawozach organicznych skracala okres trwałości agregatów gle-

bowych. Spadek ten przypisywano niższemu stosunkowi węgla do azotu, który sprzyjał szybkiemu rozkładowi materiałów wiążących agregaty, syntetyzowanych przez mikroorganizmy. McNelly /38/ donosi, że o ile źródło azotu jest konieczne dla rozwoju komórek, to nadmiar azotu na ogół zmniejsza zdolność bakterii do przeprowadzania substratu węglowodanowego w polisacharyd. Niektórzy autorzy podają, że dodatek fosforu i potasu zwiększa znacznie poziom agregacji gleby. Rennie i współprac. /44/ nawozili glebę związkami fosforu i potasu w dwu dawkach. Autorzy stwierdzili korzystny wpływ zwiększonego nawożenia na agregację gleby.

Nieco inne obserwacje poczynił McNelly /38/, który donosi, że zwiększenie wytwarzania substancji śluzowych przez mikroorganizmy następuje w warunkach zmniejszonego poziomu fosforanów. Mc Calla /37/ badał natomiast wpływ soli nieorganicznych, takich jak: NaCl , KNO_3 , CaCO_3 , MgSO_4 , FeCl_3 . Autor stwierdził, że nie zwiększały one stabilności agregatów.

Rennie i współprac. /44/ podają nieco inne wyniki odnośnie do wapnowania. Obecność wapna razem ze związkami organicznymi działała sprzyjająco na wytwarzanie się agregatów glebowych. Największy wzrost agregacji miał miejsce w glebach z dodatkiem 4,5 i 6,0 ton wapna na akr ziemi. Przy wyższym nawożeniu zanotowano obniżenie się poziomu agregacji.

Obecność jonów Cu , Zn , Fe wpływała na zahamowanie rozkładu substancji śluzowych o charakterze polisacharydów wytworzonych przez mikroorganizmy glebowe, poprzez powstawanie soli lub kompleksów metali z tymi polisacharydami /30, 34/. Problem ten omawiany będzie w rozdziale poświęconym polisacharydom glebowym. Przedłużenie trwałości polisacharydowych substancji śluzowych, mających zdolność sklejanie agregatów glebowych, łączy się z trwałością agregatów.

Aldrich i Martin /3/ badali wpływ wymiennych kationów na tworzenie się agregatów glebowych. Obserwowali oni wpływ związków sodu. W glebach o dużej zawartości sodu tworzenie się agregatów glebowych było dużo niższe mimo dodania substancji organicznej. Autorzy wyciągają wnioski, że sód

dodany do gleby dysperguje koloidy nieorganiczne oraz substancje, które powodują zlepianie się agregatów, m.in. substancje wytworzone przez mikroorganizmy.

Wpływ temperatury na stabilizowanie się agregatów badali Martin i Craggs /27/ oraz Harris i współprac. /16/. Martin i Craggs /27/ użyli glebę rozmaitymi resztkami organicznymi i inkubowali ją przez 100 dni w temperaturze 10, 25, 40 i 55°C, przy wilgotności średnio 55%. We wszystkich doświadczeniach maksymalne wartości agregacji uzyskano szybciej w wyższych temperaturach; przy zakończeniu doświadczenia zanotowano natomiast, że najwyższa liczba trwałych agregatów utrzymywała się najdłużej w niskich temperaturach. Należałoby z tego wnioskować, iż w wyższych temperaturach nastąpiło szybsze namnożenie się drobnoustrojów wytwarzających substancje wiążące agregaty, lecz po wyczerpaniu innego dostępnego źródła energii następował szybszy rozkład tych substancji, a co za tym idzie – rozkład agregatów. Odwrotnie w temperaturach niższych, w których mogła nastąpić wolniejsza synteza substancji sklejających agregaty, oraz wolniejszy ich rozkład przez inne drobnoustroje.

Harris i współprac. /16/ zaobserwowali, że w zakresie temperatury 15–35°C wzrastała szybkość powstawania agregatów pod wpływem użytych do badań grzybów. Drobnoustroje glebowe tworzące spory rozpoczynały proces stabilizacji agregatów tym wcześniej, im wyższa była temperatura inkubacji, lecz w wyższej temperaturze stabilność agregatów była krótkotrwała, co potwierdzają badania Martina i Craggsa. W niskich temperaturach, takich jak 15 i 25°C, maksimum stabilności agregatów było dwukrotnie wyższe aniżeli w temperaturze 35°C. Czas potrzebny do osiągnięcia maksymalnej trwałości agregatów posiadających odpowiednią mikroflorę w temperaturze 15, 25 i 35°C był podobny. Przy dłuższej inkubacji im wyższa była temperatura, tym szybszy był spadek trwałości agregatów. W temperaturze 15°C trwałość agregatów utrzymywała się przez 84 dni, w temperaturze 25°C – przez 14 dni, a w temperaturze 35°C – przez 4 dni. Trwałość agregatów zależna była od działania mikroflory rozwijającej się w agregatach w zakresie danej temperatury.

Wpływ warunków tlenowych i wilgotności na mikroorganizmy glebowe jest znamieny i wiąże się wyraźnie z tworzeniem struktury gleby. Problem ten przedstawiono w kilku pracach.

Maeda /23/ badał wpływ zawartości wody na tworzenie się agregatów glebowych. Gleba, w której zawartość wody wynosiła 100% pojemności wodnej, nie wykazywała obecności agregatów glebowych. Gleba o zawartości wody od 70 do 40% pojemności wodnej zawierała natomiast więcej agregatów. Przy 70% zawartości wody stwierdzono 7% wodoodpornych agregatów, przy pojemności wodnej 40% stwierdzono 21% wodoodpornych agregatów. Również Harris i współprac. /15/ stwierdzili niekorzystny wpływ zbyt wysokiej zawartości wody na tworzenie się agregatów glebowych. Badali oni również wpływ warunków tlenowych na agregację i zaobserwowali, że stała inkubacja z dostępem tlenu powodowała zmniejszenie trwałości agregatów glebowych /ryc. 1/. Wysoką stabilność agregatów zauważyli oni podczas beztlenowej inkubacji gleby. Utrzymywała się ona przez 8 tygodni. Z chwilą wprowadzenia gleby do warunków tlenowych liczba wodoodpornych agregatów bardzo szybko uległa obniżeniu. Badania przeprowadzono przy dostępie sacharozy jako źródła energii, a także bez dostępu sacharozy. Autorzy przypuszczają, że mikroorganizmy beztlenowe przy dostępie sacharozy wytwarzały substancje sklejące i powodujące powstawanie gruzełków glebowych. Po wyczerpaniu sacharozy mikroorganizmy te nie posiadały zdolności wykorzystywania wytworzonych przez siebie substancji w braku innego dostępnego źródła energii. Mikroorganizmy tlenowe szybko natomiast wykorzystywały sacharozę, syntetyzowały substancje m.in. biorące udział w sklejanu agregatów, a następnie w braku innego źródła energii rozkładały te substancje, powodując tym samym zmniejszenie trwałości agregatów. Greszin /12/ natomiast przytacza nieco inne spostrzeżenie, mianowicie w obecności substancji organicznej liczba powstałych makroagregatów była większa w warunkach tlenowych aniżeli beztlenowych.

Wpływ pH na tworzenie się agregatów glebowych za pośrednictwem mikroorganizmów rozważa Harris i współprac. /17/ stwierdzając, że tworzenie

się agregatów glebowych może być uzależnione od warunków pH gleby. Warunki pH niepomysłne dla rozwoju mikroflory biorącej udział w tworzeniu agregatów glebowych są tym samym niekorzystne dla powstawania agregatów.

POLISACHARYDY POCHODZENIA DROBNOUSTROJOWEGO

Głównym bodźcem do badania polisacharydów glebowych zarówno pochodzenia bakteryjnego, jak i roślinnego były wielokrotne doniesienia co do ich wpływu na strukturę gleby /5, 10, 15, 17, 18, 24, 25, 29, 30, 32, 33, 52/. Polisacharydy wywierają wpływ na właściwości gleby takie, jak: właściwości jonowymienne, przemiany węgla, aktywność biologiczną /51/. Zainteresowanie poznaniem związku między właściwościami fizycznymi i zawartością polisacharydów w glebach wzrosło dzięki kilku doniesieniom, które wskazywały, że śluzы produkowane przez mikroorganizmy mogą wiązać cząstki glebowe w stabilne agregaty /15, 24, 25, 29, 32, 33, 54/. Substancje śluzowe wytwarzane pozakomórkowo przez mikroorganizmy glebowe mają w większości charakter polisacharydowy. Powstały one w wyniku rozkładu resztek organicznych znajdujących się w glebie. Wytwarzanie pozakomórkowe polisacharydów przez drobnoustroje ma znaczenie jako czynnik pomagający przetrwać niekorzystne warunki życiowe. Niektóre polisacharydy posiadają zdolność zatrzymywania wody nawet przez dłuższy okres suszy. Wytwarzanie przez bakterie otoczki, w której składzie w większości znajdują się polisacharydy, stanowi także bardzo ważną barierę ochronną przeciwko bakteriofagom. Substancje śluzowe oddziałują korzystnie na wytwarzanie agregatów glebowych, stanowiąc rodzaj lepiszcza. Charakteryzują się mniejszą lub większą trwałością. Ich trwałość – oporność na rozkład przez inne drobnoustroje, wpływa na trwałość agregatów glebowych.

Polisacharydy glebowe poddano dosyć szczegółowym badaniom pod względem ich składu i właściwości fizykochemicznych. Większa część polisacha-

rydów w glebie niewątpliwie pochodzi z pierwotnych substancji roślinnych. Materiał roślinny dodany do gleby natychmiast zostaje rozkładany przez mikroorganizmy glebowe. Nawet tak złożony substrat, jak celuloza, dość szybko ulega degradacji dzięki wspólnej działalności endo- i egzoenzymów grzybów, bakterii i promieniowców. Inne polisacharydy roślinne, takie jak skrobia, hemiceluloza, substancje pektynowe i śluzy, są jeszcze mniej trwałe /51/. Dlatego słusznie można przyjąć, że substancje polisacharydowe obecne w glebach są w znacznym stopniu produktem metabolizmu mikroorganizmów.

Niektórzy autorzy, jak Swincer i współprac. /51/, sądzą, że polisacharydy, które zostały wyizolowane z gleb, są pochodzenia drobnoustrojowego. Obecność takich cukrów, jak mannoza, ramnoza i heksozoamina przemawia za mikrobiologicznym charakterem polisacharydów z tego względu, że wymienione cukry rzadko spotykane są w materiale roślinnym. Organizmy glebowe zdolne są do syntetyzowania polisacharydów zawierających następujące cukry: glukozę, arabinozę, galaktozę, fukozę, mannozę, ramnozę, ksylozę i kwasy uronowe.

Złożone substancje polisacharydowe pozakomórkowe i otoczkowe syntetyzowane przez wiele bakterii glebowych często mogą wiązać cząsteczki gleby w stabilne agregaty. Istnieje jednak niewiele wiadomości odnoszących się do bardziej szczegółowego poznania struktur tych substancji. Natomiast badania z czystymi hodowlami prawdopodobnie nie będą dostatecznym źródłem wiadomości co do ich obrazu w samej glebie. Złożoność naturalnego środowiska, jakim jest gleba, przyczynia się z całą pewnością do tego, że pozakomórkowe polisacharydy wytworzone przez mikroorganizmy w glebie różnią się znacznie od tych, które otrzymuje się w laboratorium.

W jednej z pierwszych prac Whistler i Kirby /54/ podają skład i opisują zachowanie się polisacharydów glebowych z gleby z Brookston. Badane materiały zawierały D-galaktozę, D-glukozę, D-mannozę, D-arabinozę, D-ksylozę, L-ramnozę i kwas glukuronowy. Sugerowano również obecność rybozy i glukozaminy. Substancje te okazały się bardziej odporne na rozkład niż wiele innych

polisacharydów roślinnych. Badania wykazały, że jest to mieszanina polisacharydów przypuszczalnie wchodzących w skład otoczek lub śluzów, wytwarzanych pozakomórkowo przez mikroorganizmy. Stwierdzono, że materiał ten charakteryzuje się dużą zdolnością zlepiania cząstek glebowych w agregaty. Podobnie Bernier /4/ charakteryzował polisacharydy z kilku gleb leśnych. Izolat oczyszczał metodami chemicznymi, poddawał następnie frakcjonowaniu za pomocą precypitacji, elektroforezy bibułowej i acetylacji. Wszystkie polisacharydy zawierały następujące składniki: kwas glukuronowy, galaktozę, glukozę, mannozę, arabinozę, ksylozę, fukozę, i ramnozę. Różnice polegały na procentowej zawartości powyższych składników.

Ponadto badano skład i właściwości fizykochemiczne substancji śluzowych wytwarzanych przez drobnoustroje glebowe w warunkach laboratoryjnych. Humphrey i Vincent /21/ metodą chromatografii badali pozakomórkowe substancje śluzowe o charakterze polisacharydowym wytwarzane przez szesnaście szczepów *Rhizobium*. Siedem szczepów wyizolowanych z lucerny /*R. meliloti*/ wytwarzało polisacharydy zawierające glukozę, nie stwierdzono natomiast kwasu galakturonowego. Pozostałe szczepy izolowane z grochu /*R. leguminosarum*/, koniczyny /*R. trifolii*/ i fasoli /*R. phaseoli*/ wytwarzały polisacharydy, w których stwierdzono obecność glukozy i kwasu galakturonowego.

Mc Neely /38/ badał skład i właściwości substancji śluzowej wytwarzanej przez bakterię glebową *Arthrobacter* sp. B-1973. Jest to substancja polisacharydowa zawierająca D-glukozę, D-galaktozę, kwas D-mannuronowy w postaci soli w stosunku cząsteczkowym 1 : 1 : 1. Polisacharyd ten w postaci linearnej jest silnie acetylowany w położeniu grupy COOH grupami ortoacetylowymi, jeżeli są obecne w środowisku. Budowa tego polisacharydu jest bardzo ciekawa z tego względu, iż kwas D-mannuronowy bardzo rzadko występuje w polisacharydach. Poza tym polisacharyd ten charakteryzuje się dużą lepkością i jest dosyć plastyczny. Jest wrażliwy na stężenia niektórych soli, a ogrzewanie lub autoklawowanie powoduje początkowo wzrost jego lepkości, a następnie jego rozkład.

Opublikowano wiele prac dotyczących wpływu polisacharydów produkowanych przez drobnoustroje glebowe na strukturę gleby oraz badano ich trwałość w warunkach laboratoryjnych i w środowisku glebowym.

Martin i Richards /32/ badali szybkość rozkładu i wpływ agregujący polisacharydów z *Chromobacterium violaceum* i różnorodnych polisacharydów bakteryjnych i roślinnych, a także resztek roślinnych. Polisacharyd z *C. violaceum* był trwalszy w ciągu jednego miesiąca aniżeli resztki roślinne użyte do badań /ryc. 2/. Równocześnie polisacharyd z *C. violaceum* był bardziej afektywny w działaniu sklejającym agregaty glebowe aniżeli wszystkie inne substancje, takie jak: dekstran z *Leuconostoc dextranicum*, fruktozan z *Bacillus subtilis* i fruktozan z *Azotobacter indicum*. Po upływie 60 dni działanie polisacharydów dodanych do gleby w ilości 0,5% w dużej mierze ulegało zanikowi, natomiast polisacharyd z *Chromobacterium violaceum* był stale efektywny. Jego trwałość porównują autorzy z trwałością syntetycznego środka strukturotwórczego VAMA. Trwałość substancji wprowadzanych wiązała się z trwałością agregatów glebowych, w których substancje te stanowiły rodzaj lepiszcza. Potwierdzenie tych doświadczeń dostarczają autorzy w następnej pracy /33/. Na podstawie badań w glebie gliniastej stwierdzili oni, że najbardziej odporny na rozkład był torf mszysty, następnie bardzo trwały był polisacharyd *A. indicum* i *C. violaceum*. Najbardziej podatny na rozkład okazał się polisacharyd *A. chroococcum*. /rys. 3/.

Rennie i współprac. /44/ wprowadzili do gleby polisacharydy bakteryjne syntetyzowane przez *Agrobacterium radiobacter*, który namnażano w postaci czystej kultury w warunkach laboratoryjnych. Polisacharydy odznaczały się wyraźną zdolnością agregowania gliny pylastej z Miami. Wpływ śluzów bakteryjnych porównywano z działalnością strukturotwórczą znanej syntetycznej substancji Krilium /poliakrylonitryl/, a także z wyciągiem substancji śluzowych z gleby. Zarówno śluzы bakteryjne, jak i Krilium wywierały natychmiastowy wpływ na polepszenie struktury gleby. Już dodatek tych substancji w ilości 0,02 g na 100 g gleby spowodował zwiększenie liczby agregatów o średnicy powyżej 0,1 mm o 50%. Dodatek wyekstrahowanych z gleby substan-

cji śluzowych do słabogruzelkowatej gleby zwiększał wyraźnie stopień agregacji.

Clapp i współprac. /5/ badali 16 polisacharydów z *Rhizobium* i ich wpływ na stabilność agregatów glebowych w 10 glebach różniących się właściwościami. Kilka spośród badanych polisacharydów *Rhizobium* było bardziej efektywnych jako czynniki strukturotwórcze w glebach, aniżeli syntetyczne związki strukturotwórcze.

Molska /41/ badając wpływ drobnoustrojów na wodoodporność agregatów glebowych wprowadzała do gleby uprzednio namnożone drobnoustroje wytwarzające substancje śluzowe, jak: *Azotobacter chroococcum*, *Rhizobium leguminosarum*, *Rhizobium meliloti*, *Beijerinckia indica* /szczep brazylijski/, szczep Ao bliżej nie zidentyfikowany, przypominający właściwościami tzw. bakterie krzemionkowe, i inne. Badaniom poddano następujące gleby: czarną ziemię z Duchnic, glebę bielicową z Duchnic, glebę bielicową z Wolicy. Drobnoustroje dodawane były do gleby w ilościach odpowiadających mniej więcej dawkom sztucznych substancji strukturotwórczych /0,1 i 0,5%/ oraz w ilościach większych /1%/. Gleba mieszana z drobnoustrojami inkubowana była w ciągu 90 dni w temperaturze pokojowej 16–18°C przy utrzymywaniu wilgotności na poziomie 60%. Próbkę do oznaczania wodoodporności pobierano po 3, 6, 15, 30, 60 i 90 dniach inkubacji. Na rycinie 4 przedstawiony jest wpływ śluzów bakteryjnych *A. chroococcum*, *R. leguminosarum* i *R. meliloti* na wodoodporność agregatów czarnej ziemi z Duchnic. Wodoodporność zwiększała się w sposób trwały pod wpływem najwyższej dawki śluzu. Najniższa dawka śluzu 0,1% spowodowała nieznaczny wzrost wodoodporności agregatów. Najlepsze właściwości plastyczne po dodaniu najwyższych dawek śluzów nadawał glebom śluz *A. chroococcum*. Gruzelki były niezbyt drobne, o średnicy 2–5 mm, pulchne i nielepkie, przy mieszaniu nie sklejały się w bryły. Śluz *Rhizobium* i szczepu Ao powodował powstawanie /szczególnie w czarnej ziemi/ dużych lepkich grudek, sklejających się przy mieszaniu w duże bryły. Śluz *B. indica* po zmieszaniu z glebami nadawał im drobnogruzelkowatą strukturę, a gruzelki były kruche i sypkie. Doświadczenia prowadzone przez Molską w hali wegetacyjnej potwierdziły wyniki uzyskane w warunkach

laboratoryjnych /ryc. 5, 6/. We wszystkich glebach użytych w tych doświadczeniach najsilniejsze było działanie 1% dawki śluzu. A chroococcum i R. leguminasarium, które obserwowano w ciągu 40 dni trwania doświadczenia. W tym okresie stwierdzono szczególnie w czarnej ziemi, najistotniejsze różnice między wskaźnikami wodoodporności struktury gleb kontrolnych i zawierających śluz. Świadczą o tym wyniki analiz wykonanych zarówno metodą Miczyńskiego /ryc. 5/, jak i metodą Tiulina /ryc. 6/. Po dłuższym okresie trwania doświadczenia różnice te stopniowo zmniejszały się wskutek wzrostu wskaźnika wodoodporności struktury wszystkich próbek kontrolnych i spadku tego wskaźnika w próbkach z dodatkiem śluzu.

Dąbek-Szreniawska /6/ obserwowała zależność między lepkością substancji śluzowych wytworzonych przez kilka szczepów *Azotobacter* a trwałością agregatów glebowych. Zależności między trwałością agregatów badaną metodą wodnoacetonową według Miczyńskiego /40/ a lepkością bakteryjnej biomasy o charakterze śluzowym badaną wiskozymetrycznie, a następnie wprowadzoną do poszczególnych gleb, przedstawia rycina 13. Z przedstawionych diagramów wynika, że istnieje zależność między lepkością biomasy śluzowej a jej wpływem na wodoodporność /wyrażoną jako trwałość agregatów glebowych/. Największa wartość lepkości wiązała się z największą zdolnością śluzów do sklejanie cząstek gleby w agregaty. Wodoodporność agregatów glebowych uzyskanych po dodaniu biomasy śluzowej zależy również od rodzaju gleby, co przedstawia tab. 3.

Martin i współprac. /29/ porównywali szybkość rozkładu i zdolność do agregowania gleby polisacharydów z *Azotobacter indicum* /*Beijerinckia*/ z innymi polisacharydami wytwarzanymi przez *Chromobacterium violaceum*, *Agrobacterium radiobacter*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus polymyxa* i innymi rodzajami substancji organicznych. W glebach kwaśnych i obojętnych średnio 19% substancji polisacharydowej z *A. indicum* rozkładane było w ciągu 8 tygodni. W porównaniu z tym inne substancje uległy rozkładowi, jak np. polisacharyd z *C. violaceum* - w 39%, łodygi zbóż - w 51%, polisacharyd z *A. chroococcum* - w 67% i glukoza - w 84%. Bardziej

oporny na rozkład aniżeli polisacharyd z *A. indicum* był jedynie torf. Wszystkie polisacharydy wywierały duży wpływ na wiązanie cząstek gleby w wodoodporne agregaty.

Wysunięto przypuszczenie, że oporność niektórych polisacharydów na rozkład może być związana z ich zdolnością do tworzenia kompleksów opornych na rozkład mikrobiologiczny /30, 34/. Okazało się, że kompleksy takie istnieją w bardzo stałej frakcji humusu glebowego. Polisacharydy, które zawierają reszty kwasu uronowego albo hydroksyle w położeniu drugiego i trzeciego węgla, jak np. mannoza, mogą tworzyć kompleksy albo sole z kationami metali. Polisacharydy występujące w glebie mogą zawierać zarówno jednostki kwasu uronowego, jak i mannozę lub podobne cukry i prawdopodobnie istnieją w postaci soli albo związków kompleksowych z metalami. Martin i współprac. /30/ określali szybkość rozkładu polisacharydów bakteryjnych i roślinnych oraz ich kompleksów lub soli z metalami, takimi jak: glin, cynk, miedź, żelazo. Rozkład tych substancji zachodził w glebie. Niektóre metale wywierały znaczny wpływ na trwałość badanych polisacharydów. Na ogół miedź wywierała najsilniejszy wpływ hamujący rozkład polisacharydów zarówno pochodzenia roślinnego, jak i bakteryjnego. Wyniki przedstawiają ryciny 7-12. Specyficzny wpływ metali był zależny także od polisacharydu. Zn i Al wywierały bardzo niewielki wpływ na rozkład polisacharydów z *Azotobacter chroococcum* /ryc. 8/, gdy tymczasem Cu i Fe zmniejszały rozkład tego polisacharydu o 50%. Natomiast niewielki dodatek Zn redukował znacznie rozkład polisacharydu Karaya /ryc. 11/. Sole miedziowe polisacharydów *A. indicum* /ryc. 9/ były znacznie odporne na rozkład. Po 8 tygodniach tylko 3% tego połączenia uległo rozkładowi w porównaniu z 29, 32, 16% polisacharydów w połączeniach kolejno z Al, Zn, Fe i 16% rozkładu oryginalnego polisacharydu. Wszystkie metale, z wyjątkiem Al, redukują rozkład polisacharydów *Arthrobacter viscosus* /ryc. 10/. Wywierają natomiast znikomy wpływ na rozkład polisacharydów *Chromobacterium violaceum* /ryc. 7/, a także fruktozanu z *Bacillus subtilis* /ryc. 12/.

Fe i Al wyraźnie zmniejszały działanie polisacharydów w czasie agregacji.

cji i przepuszczalności wodnej gleb, gdy tymczasem Cu i Zn działanie to zmniejszały tylko nieznacznie, w niektórych przypadkach zwiększając nawet agregację gleby. Polisacharydy z *A. indicum* i *Arthrobacter viscosus* wpływały dodatnio na zjawisko agregacji i przepuszczalności wodnej. Polisacharyd z *A. chroococcum* w koncentracji 0,1% polepszał przepuszczalność wodną gleby, ale nie wywierał wpływu na powstawanie agregatów glebowych, co przedstawia tab. 1 /34/.

Martin i Richards /33/ potwierdzili poprzednie badania, wykazując ponadto, że połączenie polisacharydów z metalami takimi, jak ~~żelazo~~, miedź, cynk, aluminium, mogło znacznie wpływać nie tylko na ich trwałość, ale również na ich zdolność agregowania cząstek gleby. Jak zanotowano, żelazowa sól polisacharydu *C. violaceum* była dużo mniej efektywna w wiązaniu agregatów glebowych aniżeli oryginalny materiał polisacharydowy; żelazo również redukowało wiążące działanie polisacharydów *A. indicum*, miedź natomiast zwiększała jego wpływ na agregację.

GRZYBY, PROMIENIOWCE, DROŹDŻE I DROBNOUSTROJE BEZTLENOWE

Grzyby stanowią aktywny i ważny składnik populacji glebowej. Są one często mniej liczne aniżeli bakterie i promieniowce, ale za to są dużo większe. Wykorzystują znaczny zapas źródła energii i substancji węglowych. Po obumarciu szczątki grzybów są natomiast wykorzystywane jako źródło energii i węgla przez inne mikroorganizmy glebowe. Ze węgla na ich niezaprzeczalną rolę w tworzeniu struktury gleby poświęcono im wiele uwagi. Niektórzy autorzy /28, 48/ stawiają grzyby w czołówce drobnoustrojów biorących udział w tworzeniu agregatów glebowych. Działanie ich w tym kierunku prawdopodobnie polega przede wszystkim na mechanicznym splątywaniu nitkami mycelium cząsteczek gleby w agregaty, niemniej jednak może zależeć od zdolności tworzenia substancji sklejających agregaty.

Swaby /49/ w swym przeglądzie dotyczącym związku między drobnoustrojami a agregacją gleby podaje, że szczepy grzybów, które najlepiej wiązały cząstki gleby nitkami mycelium, charakteryzowały się szybko rosnącymi, welnistymi myceliami i tak np. takie gatunki, jak: *Absidia*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Chaetomium*, *Fusarium* i *Aspergillus*, bardzo efektywnie wiązały glebę. Gatunki grzybów wolniej rosnących, jak np. *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Rhizoctonia*, charakteryzowały się płózącym wzrostem i wykazywały mniej skuteczne działanie w kierunku tworzenia agregatów glebowych.

Martin i współprac. /28/ badali wpływ 20 szczepów grzybów na agregację gleby. Najlepsze działanie wywierał szczep *Epicoccum purpureascens*, który zwiększał agregację od 31 do 77% po 20 dniach inkubacji. Przy użyciu czystych kultur grzyba *E. purpureascens* notowano największy stan agregacji, który wiązał glebę zarówno nitkami mycelium, jak i dzięki wytwarzaniu substancji śluzowych. Inne gatunki jak np. *Aspergillus versicolor*, *Volutella* sp., *Diplodina* sp., *Pyrenochaeta* sp., *Stachybotrys atra*, *Stemphylium consortiale* i *Volutella* sp., wywierały również znaczny wpływ na agregację. Substancje powstające podczas przemiany materii szczepu *E. purpureascens*, polisacharydy z *Phaeoscopulariopsis* sp. i *Aerotheca* sp., i składniki *S. atra* rozpuszczalne w alkoholu wywierały znaczny wpływ na wiązanie agregatów. Substancja otrzymana ze szczepu *E. purpureascens* była bardzo odporna na rozkład. Ponadto autorzy zauważyli, że po dodaniu do gleby sacharozy działanie grzybów było silniejsze aniżeli po dodaniu zmielonych traw.

Grzyby wykazywały pewne różnice w zdolności wpływania na stabilność agregatów w zależności od obecności sacharozy w środowisku /15/. Obecność małych agregatów /poniżej 2 mm średnicy/ była związana z bakteryjnym charakterem procesu ich tworzenia, natomiast agregaty o średnicy powyżej 2 mm powstawały za pośrednictwem grzybów. Harris i współprac. /16/ stwierdzili obecność małych wodoodpornych agregatów, obserwując równocześnie słabo rozwiniętą grzybnię podczas pierwszych dni inkubacji, co wskazuje, że bakterie były odpowiedzialne za stabilizację agregatów w po-

czątkowym okresie. Grzyby natomiast odgrywają większą rolę w stabilizowaniu agregatów po upływie pierwszych dni inkubacji w glebie /ryc. 14, 15/. Wzrost trwałości agregatów w późniejszych dniach był związany z silniejszym rozwojem grzybni w agregatach. Takie grzyby, jak: *Alternaria*, *Sclerotium*, *Cladosporium*, *Cephalosporium* i *Pseudogymnoascus* wpływały na stabilność agregatów nawet bez obecności sacharozy, natomiast *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium variable* i *Mucor silvaticus* wiązały agregaty tylko w obecności sacharozy. Rozwój poszczególnych grzybów następował w różnym czasie, np. *Mucor silvaticus* i *Alternaria* już po 4 dniach rozwijały się wyraźnie w agregatach w temperaturze 15°C, gatunki *Cephalosporium* pojawiały się natomiast w tej temperaturze zazwyczaj licznie po upływie 22 dni.

Udział grzybów rozkładających celulozę w agregowaniu cząstek gleby badali Downs i współprac. /7/. Przeprowadzili oni 12 grzybów na glebie lessowej zawierającej rozdrobnioną słomę w ilości 0,1%. Najbardziej efektywny w tworzeniu agregatów okazał się szczep *Stachybotrys atra*. W warunkach laboratoryjnych wytwarzał on od 2 do 30 razy więcej agregatów w porównaniu z pozostałymi badanymi szczepami. Jednotygodniowa inkubacja *S. atra* w glebie była wystarczająca do otrzymania stosunkowo wysokiego stopnia agregacji. Dłuższy okres inkubacji niewiele zwiększał agregację gleby. Badano również wpływ temperatury na zdolność tego szczepu do agregowania cząstek gleby. Zastosowane temperatury w zakresie od 20 do 28°C nie powodowały znacznych różnic w tworzeniu agregatów przez *S. atra*. Jednakowy poziom agregacji osiągnąć był przy nawilżeniu do 20, 25 i 30%.

W bardzo wielu wypadkach trudno ustalić, czy wiązanie grudek gleby przy udziale grzybów należy przypisać jedynie fizycznemu splątaniu cząstek gleby nitkami mycelium, czy też wytwarzaniu przez nie substancji sklejających. Jednakże w porównaniu z komórkami bakterii oddzielonymi od śluzu, które mają wówczas bardzo niewielką zdolność agregowania, nitki mycelium mogą odgrywać ważną rolę w procesie tworzenia gruzełkowatej struktury gleby.

Swaby /49/ na podstawie własnych obserwacji i literatury podał, że

drobnoustroje można uszeregować pod względem ich zdolności agregowania następująco: za najbardziej efektywne uznał grzyby, następnie promieniowce, niektóre bakterie wytwarzające śluz, wiele innych bakterii wytwarzających śluz mniej skutecznie i mniej trwale wiążące agregaty, dalej drożdże glebowe wytwarzające substancje śluzowe, *Proactinomycetes* i inne bakterie glebowe, biorące mniejszy udział w agregowaniu cząstek gleby. Ciekawego spostrzeżenia dokonał ten autor obserwując zespołowe działanie drobnoustrojów na agregację gleby. Wynik ostateczny tworzenia się agregatów glebowych uzależniony mógł być od współzawodnictwa o pokarm między drobnoustrojami. Autor zaobserwował ciekawe zjawisko inkubując w glebie hodowle grzybów i promieniowców, co w rezultacie powodowało lepsze tworzenie agregatów aniżeli czyste kultury. Mieszane hodowle drobnoustrojów, które nie wywierały antagonistycznego działania na siebie, powodować mogły lepsze spajanie gleby. Drobnoustroje działające na siebie antagonistycznie obniżały natomiast afektywność agregowania gleby.

Wzajemne oddziaływanie drobnoustrojów może mieć swój wyraz w zahamowaniu namnażania jednego lub obydwu drobnoustrojów, w zahamowaniu wytwarzania substancji /np. śluzowych/ lub ich wzmożonego wytwarzania, co może być w pewnych przypadkach wyrazem działania obronnego.

Skowrońska i Dąbek-Szreniawska /46/ obserwowały w warunkach laboratoryjnych wpływ substancji powstających podczas przemiany materii promieniowców celulolitycznych wyizolowanych z gleby na wzrost niektórych szczepów *Azotobacter chroococcum*. W niektórych przypadkach nastąpiło zwiększenie ilości substancji śluzowej w stosunku do całej biomasy drobnoustrojów *A. chroococcum*, w innych natomiast – wzrost liczby komórek. Promieniowce mogą zatem oddziaływać pośrednio na wytwarzanie substancji śluzowych przez *A. chroococcum*.

Agregacja gleby poprzez działanie mikroorganizmów beztlenowych była również przedmiotem badań. Harris i współprac. /15/ obserwowali wpływ warunków natleniania na stabilność agregatów i stwierdzili, że jest ona zależna od warunków tlenowych. W obecności sacharozy podczas inkubacji tlenowej miał miejsce wzrost trwałości agregatów w początkowym etapie.

Dalsza inkubacja tlenowa powodowała zmniejszenie trwałości agregatów. Agregaty inkubowane w warunkach tlenowych były całkowicie niestabilne po 12 dniach. W czasie inkubacji w warunkach beztlenowych następował natomiast wzrost stabilności agregatów do 100% już po 15 dniach i całkowita trwałość ich utrzymywała się po 4 tygodniach. Autorzy przeprowadzili następujący eksperyment, mianowicie trwałe agregaty, inkubowane przez 15 dni bez dostępu tlenu, przenieśli do pomieszczenia z dostępem tlenu, gdzie inkubowali je nadal w tej samej jak poprzednio temperaturze i warunkach wilgotności. Zauważyli oni, że po 9-dniowej inkubacji tlenowej agregaty stały się całkowicie niestabilne. Autorzy wysuwają wniosek, iż beztlenowa mikroflora w optymalnych dla siebie warunkach z dostępem odpowiedniego źródła energii mogła wytwarzać substancje mające zdolność sklejaną cząsteczek gleby w wodoodporne agregaty, nie wykorzystywała natomiast tych substancji jako źródła energii w przypadku braku innej dostępnej substancji odżywczej. W warunkach tlenowych zaś mikroorganizmy tlenowe szybko metabolizowały źródło energii wprowadzone do gleby, a następnie – wytworzone przez mikroorganizmy substancje sklejające agregaty, co w rezultacie powodowało ich niestabilność.

MECHANIZMY TWORZENIA SIĘ AGREGATÓW

Tworzenie się agregatów glebowych przy udziale mikroorganizmów może zachodzić w wyniku działania różnych mechanizmów. Agregaty glebowe mogą tworzyć się na zasadzie zjawiska adsorpcji i fizycznego łączenia się cząsteczek gleby, a także przez zlepianie cząsteczek gleby śluzami mikroorganizmów.

Estermann i Mc Laren /8/ stwierdzili, że frakcje gleby o małych rozmiarach cząsteczek łatwiej adsorbowały na swej powierzchni bakterie. Poza tym adsorbenty o ujemnym ładunku raczej odpychają aniżeli przyciągają bakterie o ładunku ujemnym. W wyniku tego kationy mogą powodować zwiększoną ad-

sorpcję przez obniżenie potencjału elektrokinetycznego między komórkami bakterii a grudkami gleby o ładunku ujemnym. Zwrócono również uwagę na fakt, że typ organizmu ma większe znaczenie aniżeli typ adsorbenta. Drobnoustroje Gram-dodatnie i nie mające zdolności ruchu charakteryzują się największą zdolnością przylegania do cząstek gleby.

Rolę minerałów w tworzeniu się agregatów glebowych badali również Harris i współprac. /15/. W wyniku tworzenia się kompleksów między polisacharydami wytwarzanymi przez mikroorganizmy a montmorillonitem rozkład polisacharydu jest zahamowany. Prawdopodobnie kompleks polisacharydu z montmorillonitem jest odporny na tożkład mikrobiologiczny. Tworzenie się kompleksów między komórkami *E. coli* i cząstkami ilów obserwował również Hattori /19/. Kompleksy pyrofyllitu i kaolinitu w połączeniach z komórkami *E. coli* ulegały adhezji między sobą albo z innymi cząstkami ilów i tworzyły agregaty. Kompleksy komórka - cząstka ilu traktowane jonami sodu były stałe w środowisku kwaśnym, niestałe natomiast w środowisku zasadowym. Cząstki ilu traktowane Cu^{++} , Co^{++} lub Fe^{+++} ulegały silniejszej adhezji z komórkami bakteryjnymi aniżeli ily zadawane Na^+ i kompleksy te były stałe w środowisku alkalicznym, a niestałe w środowisku kwaśnym. Hattori również wprowadził metodę badania wzrostu bakterii w agregatach glebowych /42/.

Lahav /22/ badał adsorpcję bentonitu sodowego na komórkach *Bacillus subtilis*. Wpływ bentonitu sodowego /cząsteczek mniejszych od komórek bakterii/ na elektroforetyczną ruchliwość *Bacillus subtilis* badano w roztworach chlorku sodu i fosforanu sodu przy różnych koncentracjach jonów wodorowych i siły jonowej. Jak stwierdzono, adsorpcja bentonitu sodowego na bakteriach jest procesem odwracalnym. Populacja bakterii składa się z dwu rodzajów drobnoustrojów, tzn. że pod wpływem dodania bentonitu elektroforetyczna ruchliwość jednego typu bakterii ulegała jego wpływowi, drugi typ bakterii pozostał natomiast niewrażliwy. Pierwszy z tych typów reprezentował bakterie adsorbujące, drugi - nieadsorbujące bentonit na swej powierzchni. Obecność obydwu tych rodzajów bakterii stwierdzono je-

dynie w obecności bentonitu. Wpływ bentonitu na ruchliwość bakterii był – jak stwierdzono – zależny od pH, siły jonowej i zawartości elektrolitów. Działanie bentonitu było tym skuteczniejsze, im niższe były wartości pH i im wyższa była siła jonowa. Działanie to okazało się silniejsze w obecności jonów chloru aniżeli w obecności ortofosforanu. Adsorpcję minerału na komórkach bakteryjnych mierzono ilościowo, używając metody mikroelektroforetycznej.

W dyskusji na temat mechanizmów biorących udział w adsorpcji cząstek minerału na powierzchni komórek bakteryjnych wysunięto trzy hipotezy:

- a/ adsorpcja cząsteczek następować mogła za pośrednictwem powierzchni cząstek minerału i bakterii /"face-to-face adsorption"/;
- b/ adsorpcja cząsteczek mogła przebiegać na pośrednictwie ich krawędzi /"edge adsorption"/;
- c/ adsorpcja mogła być wynikiem obu wymienionych mechanizmów /"mixed adsorption"/.

Martin /24/ oraz Martin i współprac. /35/ w przeglądach dotyczących roli mikroorganizmów i substancji organicznej w procesie tworzenia się agregatów stwierdzają, że rolę w tym procesie odgrywają cztery czynniki:

- 1/ produkty syntetyzowane przez mikroorganizmy,
- 2/ komórki bakterii lub nitki mycelium grzybów,
- 3/ substancje wytwarzane przez mikroorganizmy jako produkty rozkładu resztek organicznych,
- 4/ substancje rozpuszczalne w wodzie zawarte w resztkach roślinnych.

Martin /24/ na poparcie drobnoustrojowego charakteru tworzenia agregatów podał, że największy procent agregatów powstał pod wpływem działania mikroorganizmów z grupy *Bacillus subtilis*, a mianowicie przez wytwarzanie substancji sklejającej cząsteczki glabowe w agregaty. Natomiast odpłukane od śluzu komórki bakterii miały znikomy udział w tworzeniu agregatów. Wpływ agregujący grzyba *Cladosporium* uzależniony był od wytwarzania siatki grzybni dookoła cząstek gleby, wiążącej je w ten sposób ściśle w agregaty.

Swaby /50/ porównywał mechanizmy biorące udział w tworzeniu agregatów przez bakterie i grzyby. Stwierdził, że zarówno grzyby, jak i bakterie mogą wytwarzać substancje polisacharydowe sklejające agregaty. Polisacharydy otrzymane z *Bacillus subtilis* dodane do gleby dawały równie stabilne i wodoodporne agregaty jak substancje powstałe z rozkładających się strzępek grzyba *Aspergillus nidulans*.

Harris i współprac. /18/ stwierdzili, iż stabilizowanie agregatów było raczej powodowane syntetyzowaniem przez mikroorganizmy substancji sklejających aniżeli obecnością samych bakterii czy też grzybów. Rozległe wytwarzanie się grzybni w agregatach mogło powodować tworzenie się agregatów, lecz nie zawsze powodowało wzrost ich wodoodporności. Stabilizowanie agregatów przez grzyby reprezentowane w tych doświadczeniach przez *Mucor silvaticus* prowadziło do powstawania agregatów o średnicy powyżej 2 mm. Agregaty stabilizowane przez bakterie powstawały w początkowym etapie agregacji i miały mniejszą średnicę. Przewaga małych agregatów w początkowych stadiach inkubacji przemawiała za bakteryjnym charakterem procesu agregacji.

Swaby /50/ wyróżnia dwa mechanizmy biorące udział w agregowaniu cząstek gleby:

1/ substancje takie, jak tłuszcze i żywice, które sprawiają, że grudki gleby stają się nieprzepuszczalne dla wody;

2/ śluz z *Bacillus subtilis*, które wprawdzie nie wpływają na proces zwilżania grudek gleby, ale sklejają je i utrwalają. Inne substancje, jak np. śluz innych bakterii, białka, substancje humusowe czy ligniny, opierają swe działanie na obydwu tych mechanizmach. Białka z roślin i mikroorganizmów są obecne w glebowej substancji organicznej i niektóre z nich mogą przyczyniać się do tworzenia wodoodpornych agregatów /9/.

Whistler i Kirby /54/, Bernier /4/, Acton i współprac. /1/, Mehta i współprac. /39/ oraz Swincer i współprac. /51/ poddali szerokiej analizie polisacharydy glebowe. Głównym bodźcem ich badania były wielokrotne doniesienia na temat roli polisacharydów w tworzeniu struktury gleby. Po-

twierdzono niejednokrotnie związek między zawartością polisacharydów a stopniem agregowania gleby. Rozwinęła się teoria dotycząca tworzenia agregatów glebowych przy udziale długołańcuchowych polisacharydów, a przede wszystkim polisacharydów wytworzonych przez mikroorganizmy. Teoria ta oparta była na następujących dowodach /39/:

1/ wiele polisacharydów, wytworzonych przez mikroorganizmy, dodanych do gleby powoduje powstawanie wodoodpornych agregatów;

2/ gleby są zamieszkivane przez organizmy zdolne do produkowania polisacharydów mogących wiązać cząstki gleby;

3/ polisacharydy są obecne w glebie i jeżeli się je ekstrahuje i następnie dodaje do gleby, to powodują jej agregację;

4/ istnieje statystyczna korelacja między zawartością polisacharydów w glebie a stopniem agregacji.

Mehta i współprac. /39/ zaznaczają, że oprócz polisacharydów istnieje wiele innych aktywnych substancji odpowiedzialnych – być może – za agregację, jak np. kwasy humusowe i białka. Tak więc nie można wykluczać udziału innych czynników, które mogą również wpływać na agregację. Dla wyjaśnienia tego zagadnienia autorzy przedstawili dowód w oparciu o analizę chemiczną. W badaniach swych opierali się na przesłance, że jeżeli związki chemiczne rozkładające polisacharydy będą równocześnie niszczyć agregaty glebowe, to wówczas polisacharydy przyczynią się do agregacji.

Naturalne i syntetyczne agregaty badane przez Mehta i współprac., wytworzone przy użyciu kilku polisacharydów, były poddane działaniu związków chemicznych w celu zniszczenia polisacharydów. Wodoodporność agregatów określano przed i po działaniu substancji chemicznych. Autorzy wykazali, że sztuczne agregaty stabilizowane przez dodanie polisacharydów traciły stabilność pod wpływem działania 0,01 M nadjodanu sodu i buforu boranowego. Świadczyłoby to, że w tym wypadku na agregację wpływają polisacharydy. Różnice w zachowaniu się naturalnych i syntetycznych agregatów w czasie ich kontaktu ze związkami chemicznymi wskazują jednak na fakt, że polisacharydy same nie mogą być odpowiedzialne za naturalną agregację gleby. Agregację wywołuje zatem cały zespół czynników glebowych.

W ślad za badaniami Mehty i współprac., Harris i współprac. /15/ obserwowali wodoodporność i rozkład agregatów na glinie pylastej /Waupun/ i glinie pylasto-ilastej /Kewaunee/, do których dodano polisacharydów Rhizobium. Wpływ utleniania nadjodanem sodu na stabilność agregatów przedstawia rys. 16. Agregaty z gleby Kewaunee i Waupun zawierające polisacharydy z dodatkiem sacharozy i sacharozy z azotem były – jak stwierdzono – dzięki działaniu nadjodanu stabilizowane przez polisacharydy. W wypadku stabilizowanych agregatów Waupun z dodatkiem sacharozy polisacharydy odgrywały bardzo znikomą rolę. Rola niepolisacharydowych czynników wpływających na stabilizowanie tych agregatów nie została wyjaśniona. Podobne badania przy użyciu nadjodanu sodu przeprowadzili Greenland i współprac. /10/ oraz Stefanson /48/.

Polisacharydy są stałym składnikiem albo produktem metabolizmu wszystkich form organizmów żyjących. Frakcja polisacharydowa w glebie jest drugą co do ważności frakcją humusu glebowego i oceniana jest na 10–30% /14, 31, 51/. Martin i Haider /31/ donoszą, że frakcja kwasów humusowych i polisacharydów humusu glebowego wynosi 90% ogólnej ilości humusu. Frakcja polisacharydowa według tych autorów może powstać w sposób podobny do frakcji huminowej. Istnienie znacznej frakcji polisacharydów w stosunkowo stałej formie uzależnione jest od następujących faktów:

a/ składa się ona z polisacharydów pochodzenia drobnoustrojowego i roślinnego, odpornych na rozkład;

b/ pewne polisacharydy roślinne i drobnoustrojowe albo produkty ich częściowego rozkładu tworzą sole lub kompleksy z jonami metali, minerałami lub związkami humusu, odporne na rozkład;

c/ nowe kompleksy drobin polisacharydowych charakterystycznych albo specyficznych dla środowiska glebowego ciągle tworzą się na nowo;

d/ wszystkie lub niektóre z powyższych czynników mogą występować razem.

Wysoka aktywność wiążąca polisacharydów wynika z ich następujących właściwości /26/:

1/ długości i struktury linearnej, która pozwala im łączyć przestrzeń między cząsteczkami gleby;

2/ elastycznej natury pozwalającej obejmować dużą liczbę punktów na cząstkach gleby, dzięki czemu bardziej efektywne stają się siły Van der Waalsa.

3/ dużej liczby grup hydroksylowych /OH/, która może brać udział w wiązaniach wodorowych;

4/ Istnienia grup karboksylowych /COOH/, które pozwalają na powstawanie wiązań jonowych poprzez dwu- i trójwartościowe kationy z miejscami wymiany jonowej na powierzchni ilów.

Na podstawie przytoczonego przeglądu literatury można stwierdzić, że na tworzenie się agregatów glebowych przy udziale mikroorganizmów ma wpływ wiele czynników. Jak wykazało wielu autorów, dostające się do gleby resztki roślinne stanowią optymalne środowisko dla rozwoju mikroorganizmów glebowych, a wśród nich – mikroorganizmów odgrywających rolę w łączeniu cząsteczek gleby w agregaty. Im bardziej podatne na rozkład są resztki organiczne, tym bujniejszy jest rozwój mikroflory glebowej.

Badano również wpływ niektórych substancji nieorganicznych, a w tym stosowanych w rolnictwie nawozów sztucznych na tworzenie się i trwałość agregatów. Zawartość fosforu i potasu np. wpływać może korzystnie na zjawisko powstawania agregatów glebowych. Wielu autorów /1, 2, 15/ donosi natomiast o niekorzystnym wpływie zbyt wysokiego poziomu azotu na ich trwałość. Temperatura jest również ważnym czynnikiem biorącym udział w procesach strukturotwórczych. Optymalna temperatura pozwala na rozwój mikroorganizmów, szybki rozkład resztek roślinnych i wytwarzanie naturalnych substancji strukturotwórczych. Również trwałość agregatów może być zależna od rozwijającej się w danej temperaturze mikroflory. Niemalą rolę w trwałości agregatów odgrywa nawietrzanie i nawilżanie. Ogólnie biorąc, podczas inkubacji tlenowej następuje szybszy rozkład resztek organicznych, szybciej syntetyzowane są substancje sklejające agregaty, ale również mogą ulec one szybszemu rozkładowi przez inne mikroorganizmy, gdy brak innego

źródła energii. Zauważono natomiast, iż w warunkach beztlenowych agregaty były trwalsze.

Wielu autorów opisuje wpływ polisacharydów glebowych pochodzenia roślinnego i bakteryjnego na tworzenie gruzełkowatej struktury gleby. Śluz wytwarzane przez drobnoustroje mogą wiązać cząsteczki gleby w wodoodporne agregaty. Również wyekstrahowane z gleby polisacharydy odznaczają się zdolnością poprawiania struktury gleby. Ekstrahowanie i następnie badanie składu ilościowego i jakościowego polisacharydów glebowych napotykało na wiele trudności natury metodycznej. Zbyt gwałtowne procesy izolowania polisacharydów niszczyły częściowo ich strukturę, co oczywiście utrudniało wielu autorom otrzymanie całkowitego obrazu.

Ze względu na wielokrotnie potwierdzony fakt udziału polisacharydów w budowie struktury gleby przeprowadzono szerokie badania dotyczące ich trwałości w glebie. Niektóre polisacharydy syntetyzowane przez drobnoustroje, wchodzące w skład ich otoczek czy też pozakomórkowo wydalanych śluzów, okazały się bardzo odporne na rozkład mikrobiologiczny. Niektóre połączenia polisacharydów z metalami modyfikowały znacznie ich odporność na rozkład, co może mieć również bardzo duże znaczenie w naturalnym środowisku glebowym. Polisacharydy mają nie tylko wpływ na tworzenie się i trwałość agregatów, ale również na przepuszczalność wodną gleby. Duża lepkość substancji śluzowych pochodzenia drobnoustrojowego może wiązać się z ich zdolnością do tworzenia gruzełków glebowych.

Rodzaj gleby może również mieć swój udział w tworzeniu się agregatów glebowych. Zawartość niektórych minerałów, jak na przykład montmorillonitu, wpływa na większą trwałość agregatów utworzonych przy udziale niektórych polisacharydów. Ważną rolę w tworzeniu się agregatów przypisuje się grzybom glebowym, które stanowią aktywny składnik populacji glebowej. Udział ich może polegać zarówno na mechanicznym oplątywaniu cząstek gleby, jak i na możliwości wytwarzania przez nie substancji śluzowych. Po obumarciu resztki grzybni stanowią natomiast źródło energii dla innych mikroorganizmów glebowych.

W wiązaniu agregatów glebowych biorą udział również inne drobnoustroje glebowe, jak: promieniowce, drożdże i bakterie beztlenowe. Niewiele jednak prac dotyczy tego zagadnienia. W niektórych pracach wspomniano o wpływie wspólnego działania mikroorganizmów glebowych na agregację. Mikroorganizmy wspierają niekiedy swe działanie strukturotwórcze, jednakże często, szczególnie w wypadku drobnoustrojów antagonistycznych, rywalizacja o pokarm stanowi niekorzystne tło dla drobnoustrojów biorących udział w tworzeniu agregatów.

Tak więc można stwierdzić, że wiązanie agregatów glebowych przy udziale mikroorganizmów przebiega w sposób kompleksowy, w oparciu o wiele czynników fizykochemicznych i biologicznych. Dlatego też mechanizmy tworzenia się agregatów mogą być różnej natury, zarówno chemicznej, jak i fizycznej, co znajdzie swoje odbicie w strukturze agregatu i oczywiście w jego trwałości. Badań w tej dziedzinie wymagają jeszcze rozwiązania dalszych zagadnień, co prowadzić będzie do polepszenia struktury gleby za pomocą naturalnych substancji strukturotwórczych wytwarzanych przez drobnoustroje glebowe, a także w oparciu o zespół mechanizmów, którymi mogą one dysponować.

LITERATURA

1. Acton C.J., Paul E.A. Rennie D.A.: Measurement of the polysaccharides content of soils, *Can. J. Soil Sci.*, 1963, 43, 141-150.
2. Acton C.J., Rennie D.A., Paul E.A.: The relationship of polysaccharides to soil aggregation, *Can. J. Soil Sci.*, 1963, 43, 201-209.
3. Aldrich D.G., Martin J.P.: A chemical microbiological study of the effects exchangeable cations on soil aggregation, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1954, 18, 276-281.
4. Bernier B.: Characterization of polysaccharides isolated from forest soil, *Biochem. J.*, 1958, 70, 590-598.
5. Clapp C.E., Davis R.J., Waugman S.N.: The effect of rhizobial polysaccharides on aggregate stability, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1962, 26, 466-469.
6. Dąbek-Szreniawska M.: Wpływ związków węgla na wytwarzanie substancji śluzowych przez niektóre szczepy *Azotobacter*, *P.J. Soil Sci.*, 1972 /w druku/.
7. Downs S.C., Mc Calls T.M., Haskins F.A.: *Stachybotrys atra*, an effective aggregator of peorian loess, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1955, 19, 179-181.
8. Estermann E.F., Mc Laren A.D.: Stimulation of bacterial proteolysis by adsorbents, *J. Soil.Sci.*, 1959, 10, 64-78.
9. Geoghegan M.J., Brian R.C.: Influence of various carbohydrates and proteins on aggregation of soil particles, *Biochem. J.*, 1948 43, 14-15.
10. Greenland D.J., Lindstrom G.R., Quirk J.P.: Organic materials which stabilize natural aggregates, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1962, 26, 366-371.

11. Greenwood D.J.: The effect of oxygen concentration on the decomposition of organic materials in soil, *Plant and Soil*, 1961, 14, 360-376.
12. Greszin J.P.: The effect of aerobic and anaerobic conditions on the change in the properties of sod + podzolic soil /according to data from laboratory experiments/, *Soil Fer.*, 1960, 23, 382 /abstr./.
13. Griffith E., Jones D.: Microbiological aspects of soil structure. 1. Relationships between organic amendments, microbial colonization and changes in aggregate stability, *Plant and Soil*, 1965, 23, 17-33.
14. Gupta U.C., Sowden F.J.: Studies on methods for the determination of sugars and uronic acids in soils, *Can. J. Soil Sci.*, 1965, 45, 237-240.
15. Harris R.F., Allen O.N., Chesters G., Attoe O.J.: Evaluation of microbiol activity in soil aggregate stabilization and degradation by the Use of artificial aggregates, *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1963, 27, 542-545.
16. Harris R.F., Chesters G., Allen O.N.: Soil aggregates stabilization by the indigenous microflora as affected by temperature, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1966, 30, 205-210.
17. Harris R.F., Chesters G., Allen O.N.: Dynamics of soil aggregation, *Adv. Agr.*, 1966, 18, 107-169.
18. Harris R.F., Chesters G., Allen O.N. Attoe O.J.: Mechanisms involved in soil aggregate stabilization by fungi and bacteria, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1964, 28, 529-532.
19. Hattori T.: Adhesion between cells of *E. coli* and clay particles, *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 1970, 16, 351-359.
20. Horton J.C., Kee N.T.: Regulation of induced cellulose synthesis in *Pyrenochaeta-terrestris* by utilizable carbon compounds, *Can. J. Microbiol.*, 1966, 12, 209-220.
21. Humprey B.A., Vincent J.M.: Extracellular polysaccharides of *Rhizobium*, *J. Gen. Microbiol.*, 1959, 21, 477-484.

22. Lahav N.: Adsorption of sodium bentonite particles on *Bacillus subtilis*, *Plant and Soil*, 1962, 17, 191-208.
23. Maeda N.: Studies on the formation of soil aggregate /preliminary report/. Influence of water content and sucrose, *Soil and Plant Food /Tokyo/, 1957*, 3, 48-52.
24. Martin J.P.: Microorganisms and soil aggregation. I. Origin and nature of some of the aggregating substances, *Soil Sci.*, 1945, 59, 163-174.
25. Martin J.P.: Microorganisms and soil aggregation. II. Influence of bacterial polysaccharides on soil structures, *Soil Sci.*, 1946, 61, 151-166.
26. Martin J.P.: Decomposition and binding action of polysaccharides in soil, *Soil Biol. Biochem.*, 1971, 3, 33-44.
27. Martin J.P., Craggs B.A.: Influence of temperature and moisture on the soil aggregating effect of organic residues, *J. Amer. Soc. Agron.*, 1956, 38, 332-339.
28. Martin J.P., Ervin J.O., Shepherd R.A.: Decomposition and aggregating effect of fungus cell material in soil, *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1959, 23, 217-221.
29. Martin J.P., Ervin J.O., Shepherd R.A.: Decomposition and binding action of polysaccharides from *Azotobacter indicus* /*Bijerinckia*/ and other bacteria in soil, *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1965, 29, 397-400.
30. Martin J.P., Ervin J.O., Shepherd E.A.: Decomposition of the iron, aluminium, zinc, and copper salts or complexes of some microbial and plant polysaccharides in soil, *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1966, 30, 196-200.
31. Martin J.P., Haider K.: Microbial activity in relation to soil humus formation, *Soil Sci.*, 1970, 11, 54-63.
32. Martin J.P., Richards S.J.: Decomposition and binding action of a polysaccharide from *Chromobacterium violaceum* in soil, *J. Bacteriol.*, 1963, 85, 1288-1294.

33. Martin J.P., Richards S.J.: Microbes affect physical properties of soil, *California Agriculture*, 1965, 19, 14-15.
34. Martin J.P., Richards S.J.: Influence of the copper, zinc, iron and aluminium salts of some microbial and plant polysaccharides on aggregation and hydraulic conductivity of sandy Loam, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1969, 33, 421-423.
35. Martin J.P., Martin W.P., Page J.B., Raney W.A., De Ment J.D.: Soil aggregation, *Advan. Agron.*, 1955, 7, 1-37.
36. Mc Calla T.M., Haskins F.A., Frelik B.F.: Influence of various factors on aggregation of Peorian Loess by microorganism, *Soil Sci.*, 1957, 84, 155-161.
37. Mc Calla T.M.: Influence of microorganisms and some organic substances on soil structure, *Soil Sci.*, 1945, 58, 287-297.
38. Mc Neely W.H.: Biosynthetic polysaccharides. Microbial technology, Reinhold Publishing Corporation, New York - Amsterdam - London, 1967, 381-402.
39. Mehta N.G., Streuli H., Muller M., Deuel H.: Role of polysaccharides in soil aggregation, *J. Sci. Food Agr.*, 1960, 11, 40-47.
40. Miczyński J.: Proste metody określenia wodotrwałości agregatów glebowych, *Annales UMCS, Sec. E, Agricult.*, 1957, 12, 151-166.
41. Molska I.: Wpływ drobnoustrojów na wodoodporność gruzełków glebowych, *Rocz. Glebozn.*, 1966, 16, 67-84.
42. Nishio M., Hattori T., Furusaka Ch.: The growth of bacteria in sterilized soil aggregates. The reports of the institute for agricultural research Tohoku University, 1968, 19, 37-43.
43. Parr J.F., Reuszer H.W.: Organic matter decomposition as influenced by oxygen level and method of application to soil, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1959, 23, 214-217.
44. Rennie D.S., Truog E., Allen O.N.: Soil aggregation ad influenced by microbial gums, level of fertility and kind of crop, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1954, 18, 399-403.

45. Schwartz S.M., Freeman P.G., Russell G.R.: Soil conditioning properties of modified agricultural residues and related materials: II. Persistence of soil stabilizing activity as a function of type and extent of modification, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1958, 22, 409-414.
46. Skowrońska T., Dąbek-Szreniawska M.: Wpływ produktów przemiany materii szczepów *Streptomyces* rozkładających celulozę na rozwój *Azotobacter chroococcum*, *Annales UMCS, Sec. E*, 1972. Vol. XXVII.
47. Smith H.E., Schwartz S.M., Gugliemini L.A., Freeman P.G., Russell C.R.: Soil conditioning properties of modified agricultural residues and related materials: I. Aggregate stabilization as a function of type and extent of chemical modification, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1958, 22, 405-409.
48. Stefanson R.C.: Factors determining seasonal changes in the stabilities of soil aggregates, *Trans, 9 th. Internat. Congr. Soil. Sci.*, Adelaide, Australia, 1968, 2, 395-402.
49. Swaby R.J.: The relationship between microorganisms and soil aggregation, *J. Gen. Microbiol.*, 1949, 3, 236-254.
50. Swaby R.J.: The influence of humus on soil aggregation, *Soil Sci.*, 1964, 1, 182-194.
51. Swincer G.D., Oades J.M., Greenland D.J.: The extraction, characterization and significance of soil polysaccharides, *Advan. Agron.*, 1969, 21, 195-235.
52. Toogood J.A., Lynch D.L.: Effect of cropping systems and fertilizers on mean weight-diameter of aggregates of brenton plot soils, *Can. J. Soil Sci.*, 1959, 39, 151-156.
53. Webber L.R.: Soil polysaccharides and aggregation in crop sequences, *Soil.Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1965, 29, 39-42.
54. Whistler R.L., Kirby K.W.: Composition and behaviour of soil polysaccharides, *J.Amer. Chem. Soc.*, 1956, 78, 1755/1759.

Tabela 1. Wpływ polisacharydów bakteryjnych i ich soli Fe, Al, Zn i Cu
na fizyczne właściwości piasku gliniastego

Źródło polisacharydów	Ilość substancji wprowadzona do gleby	Agregacja w cząstkach 50	Przepuszczalność wodna	Gęstość	Jednostka rozbitcia /Modulus of rupture/
	%	%	cm/godz.	g/cm ³	centibary cb
Bez dodatku	0	13	0,2	1,57	61
Chromobacterium	0,02	35	1,3	1,48	27
violaceum	0,05	53	2,2	1,42	21
	0,10	69	2,4	1,40	28
	sól Fe 0,02	15	0,7	1,51	51
	sól Fe 0,05	19	1,4	1,47	57
	sól Fe 0,10	25	1,4	1,44	48
	sól Cu 0,02	19	1,0	1,50	37
	sól Cu 0,05	40	1,8	1,44	30
	sól Cu 0,10	60	2,3	1,41	32
	sól Zn 0,05	34	1,5	1,44	39
	sól Al 0,05	27	0,8	1,51	53
Azotobacter indicum	0,02	25	0,1	1,59	65
	0,05	37	0,1	1,55	45
	0,10	46	0,1	1,54	55
	sól Fe 0,02	14	0,2	1,56	64
	sól Fe 0,05	15	0,2	1,57	54
	sól Fe 0,10	17	0,2	1,55	56
	sól Cu 0,02	25	0,4	1,55	55
	sól Cu 0,05	43	0,2	1,56	53
	sól Cu 0,10	58	0,1	1,57	67
	sól Zn 0,05	34	0,4	1,52	67
	sól Al 0,05	16	0,3	1,54	59
Azotobacter chroococcum	0,02	13	0,6	1,55	48
	0,05	13	0,7	1,53	48
	0,10	16	0,5	1,54	50
	sól Fe 0,05	13	0,4	1,55	47
	sól Cu 0,05	13	0,1	1,57	51
	sól Zn 0,05	15	0,2	1,56	47
	sól Al 0,05	13	0,2	1,56	49
Arthrobacter viscosus	0,02	52	0,3	1,53	62
	0,05	59	0,1	1,57	154
	0,10	61	0,0	1,60	284
	sól Fe 0,05	22	0,3	1,55	63
	sól Cu 0,05	47	0,3	1,54	63
	sól Zn 0,05	46	0,3	1,54	69
	sól Al 0,05	33	0,2	1,53	59
VAMA /dla porównania/	0,02	43	2,0	1,41	19

Tabela 2. Lepkość biomasy szczepów z rodzaju *Azotobacter* w zależności od różnych źródeł węgla w podłożu

Szczep	Lepkość wyrażona jako wielokrotność czasu przepływu rozcieńczonej biomasy w stosunku do H ₂ O											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>A. chroococcum</i> Nr I	2,29	3,61	2,29	-	-	-	-	3,88	1,88	-	-	-
<i>A. chroococcum</i> Nr II	3,80	5,00	3,27	5,00	-	-	-	1,90	-	-	-	-
<i>A. chroococcum</i> Nr III	2,30	7,10	2,80	1,40	-	-	-	3,10	-	-	-	-
<i>A. agilis</i>	7,90	5,05	7,50	-	2,05	-	-	-	3,37	-	-	3,8
<i>A. indicum</i>	13,57	15,94	11,50	-	-	23,89	17,52	8,73	-	4,23	21,26	-
<i>A. vinelandii</i>	3,90	2,37	4,70	1,45	-	-	-	-	-	4,00	-	-

1 - Glukoza, 2 - fruktoza, 3 - sacharoza, 4 - mannit, 5 - maltoza, 6 - mannoza, 7 - inulina, 8 - skrobia, 9 - pirogromian sodu, 10 - glicerol, 11 - mleczan wapnia, 12 - galaktoza.

Tabela 3. Wodoodporność agregatów 3 rodzajów gleb z dodatkiem biomasy słuzowych szczepów z rodzaju *Azotobacter*, hodowanych na różnych źródłach węgla

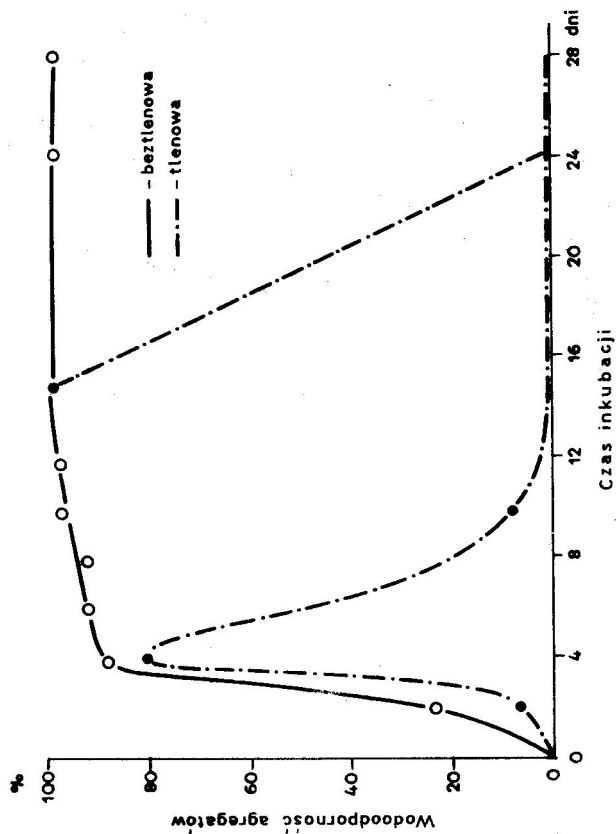
Szczep	Źródła węgla	Średnia wartość trwałości agregatów wg wskaźnika "T" ^x			
		Rodzaj gleby	Rędzina brunatna /Chodel/	Gleba pseudobieli-cowa wytworzona z lessu /Parchatka/	Gleba brunatna wytworzona z gliny ciężkiej /Puławy/
<i>Azotobacter chroococcum</i> Nr II	1		7,0	6,8	5,8
	2		7,7	7,0	6,8
	3		9,0	7,0	6,8
<i>Azotobacter indicum</i>	1		8,6	8,4	7,0
	4		10,0	9,5	8,8
	5		8,4	8,4	7,1
	Kontrola		4,2	5,2	2,0

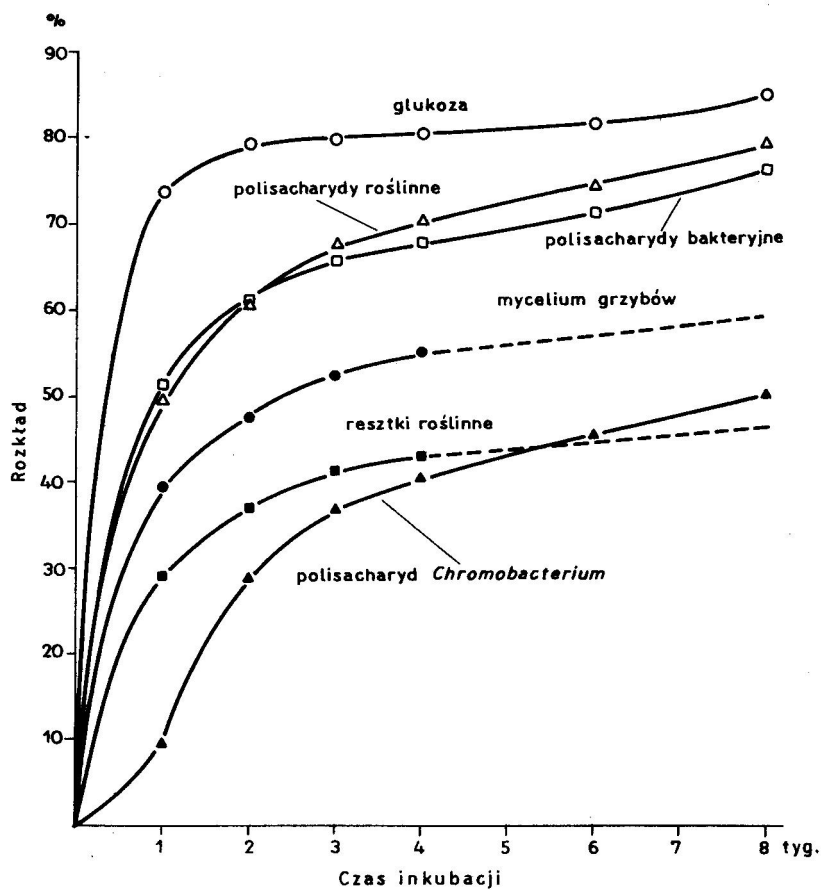
^x Wskaźnik "T" obliczono wg Miczyńskiego /40/.

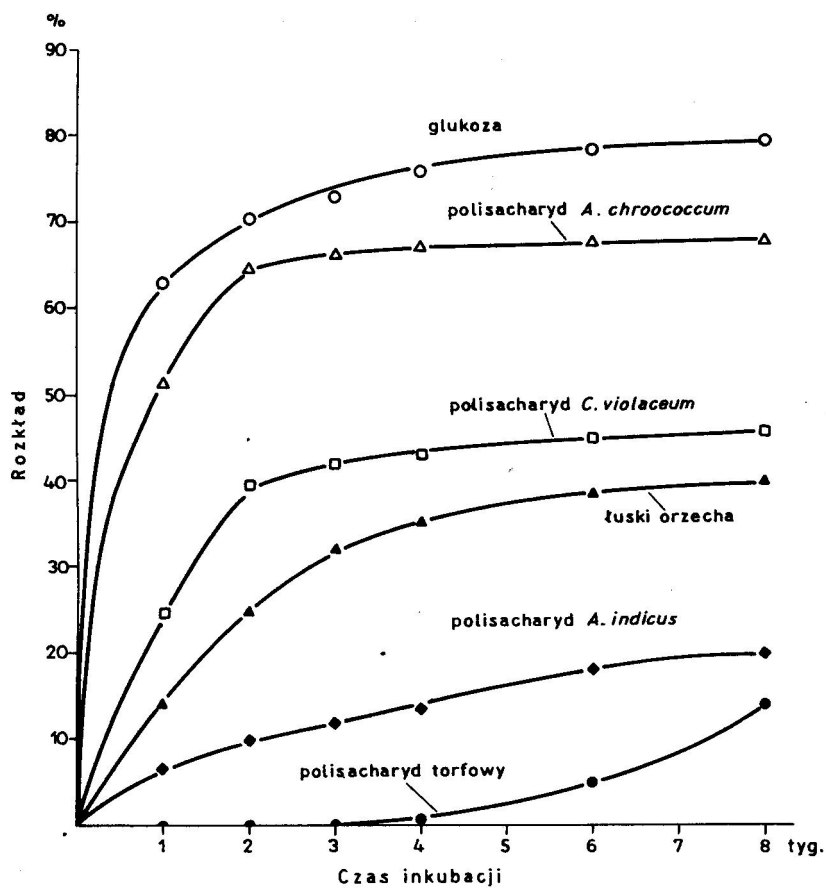
OPIS RYCIN

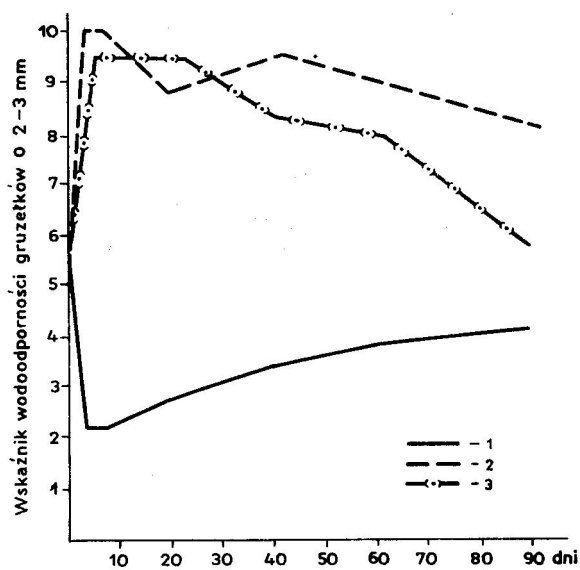
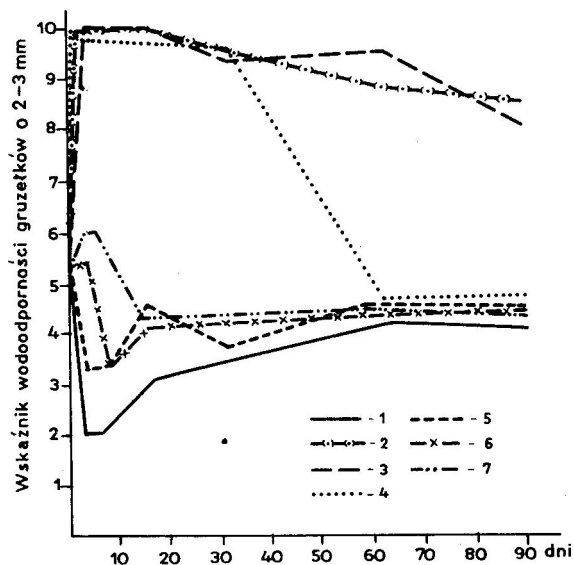
- Ryc. 1. Wpływ inkubacji tlenowej i beztlenowej na wodoodporność agregatów gleby Waupun w obecności sacharozy.
- Ryc. 2. Szybkość rozkładu polisacharydu *Chromobacterium violaceum* i innych substancji organicznych w glinie piaszczystej z Hanford.
- Ryc. 3. Szybkość rozkładu polisacharydów bakteryjnych, polisacharydu z torfu, łusek orzecha i glukozy w glebie gliniastej /pH 7,0/.
- Ryc. 4. Wpływ śluzów bakteryjnych na oznaczoną metodą Miczyńskiego wodoodporność gruzełków o ϕ 2–3 mm w czarnej ziemi.
Inkubacja w laboratorium.
1 – gleba kontrolna, 2 – gleba z dawką 1% śluzu *Azotobacter chroococcum*, 3 – gleba z dawką 1% śluzu *Rhizobium leguminosarum*,
4 – gleba z dawką 1% śluzu *Rh. meliloti*, 5 – gleba z dawką 0,1% śluzu *Rh. leguminosarum*, 6 – gleba z dawką 0,1% śluzu *Rh. meliloti*, 7 – gleba z dawką 0,1% śluzu *A. chroococcum*.
- Ryc. 5. Wpływ śluzów bakteryjnych na wodoodporność gruzełków o ϕ 2–3 mm, oznaczoną w czarnej ziemi metodą Miczyńskiego. Inkubacja w hali wegetacyjnej.
1 – gleba kontrolna, 2 – gleba z dawką 1% śluzu *A. chroococcum*,
3 – gleba z dawką 1% śluzu *Rh. leguminosarum*.
- Ryc. 6. Wpływ śluzów bakteryjnych na zawartość wodoodpornych gruzełków powyżej 0,25 mm ϕ , oznaczoną w czarnej ziemi metodą Tiulina.
Objaśnienia jak na ryc. 5.
- Ryc. 7. Rozkład polisacharydu *C. violaceum* i jego kompleksów z Fe, Al, Cu i Zn w glinie piaszczystej z Greenfield.

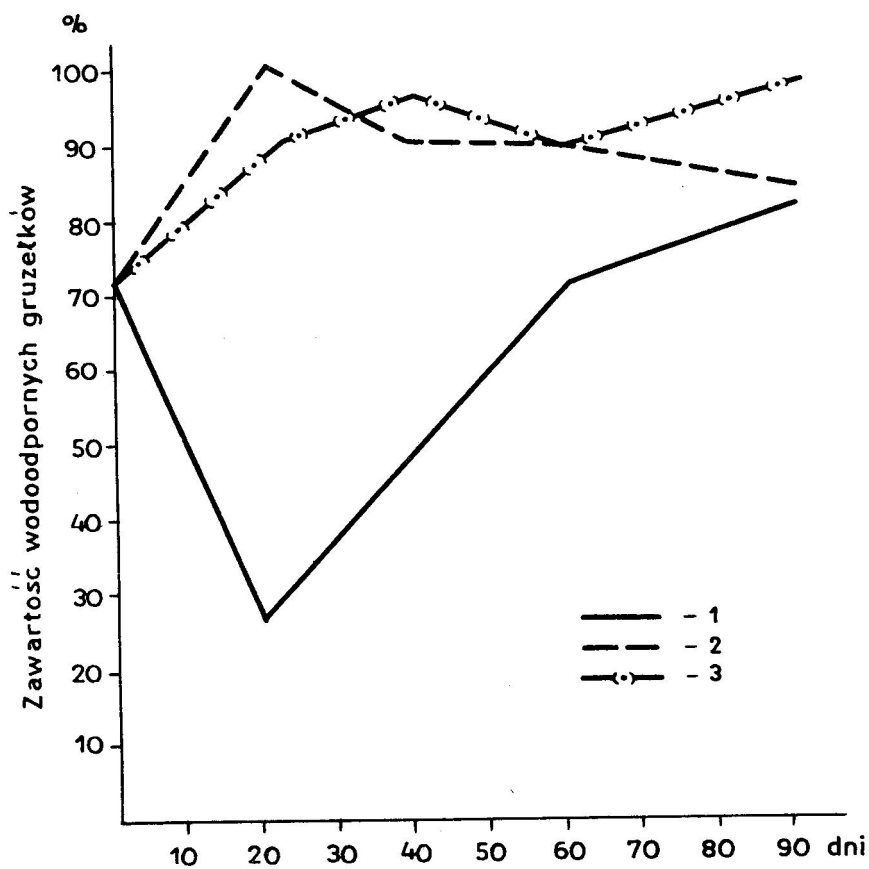
- Ryc. 8. Rozkład polisacharydu *A. chroococcum* i jego kompleksów z Fe, Al, Cu i Zn w glinie piaszczystej z Greenfield.
- Ryc. 9. Rozkład polisacharydu *A. mdicus* i jego kompleksów z Fe, Al, Cu i Zn w glinie piaszczystej z Greenfield.
- Ryc. 10. Rozkład polisacharydu *A. viscosus* i jego kompleksów z Fe, Al, Cu i Zn w glinie piaszczystej z Greenfield.
- Ryc. 11. Rozkład polisacharydu Karaya i jego kompleksów z Fe, Al, Cu i Zn w glinie piaszczystej z Greenfield.
- Ryc. 12. Rozkład fruktozanu *Bacillus subtilis* i jego kompleksów z Fe, Al, Cu i Zn w glinie piaszczystej z Greenfield.
- Ryc. 13. Zależność między trwałością agregatów a lepkością śluzów *Azotobacter chroococcum* z różnych źródeł węgla.
- Diagram 1 - kontrola;
- Diagram 2, 3, 4 - śluzy *Azotobacter chroococcum* ze źródeł węgla kolejno: glukoza, fruktoza, mannit;
- Diagram 5, 6, 7 - śluzy *Azotobacter indicum* ze źródeł węgla kolejno: glukoza, inulina, mannoza.
- Ryc. 14. Wodoodporność sterylizowanych agregatów zaszczerpionych grzybami z dodatkiem 2% lub bez dodatku sacharozy. Inkubacja w temperaturze 15°C.
- Ryc. 15. Wodoodporność sterylizowanych agregatów zaszczerpionych grzybami z dodatkiem 2% lub bez dodatku sacharozy. Inkubacja w temperaturze 25°C.
- Ryc. 16. Wodoodporność inkubowanych agregatów z dodatkiem różnorodnych substancji: 1 - poddanych działaniu buforem boranowym, 2 - poddanych działaniu nadjodanu, a następnie buforu boranowego.

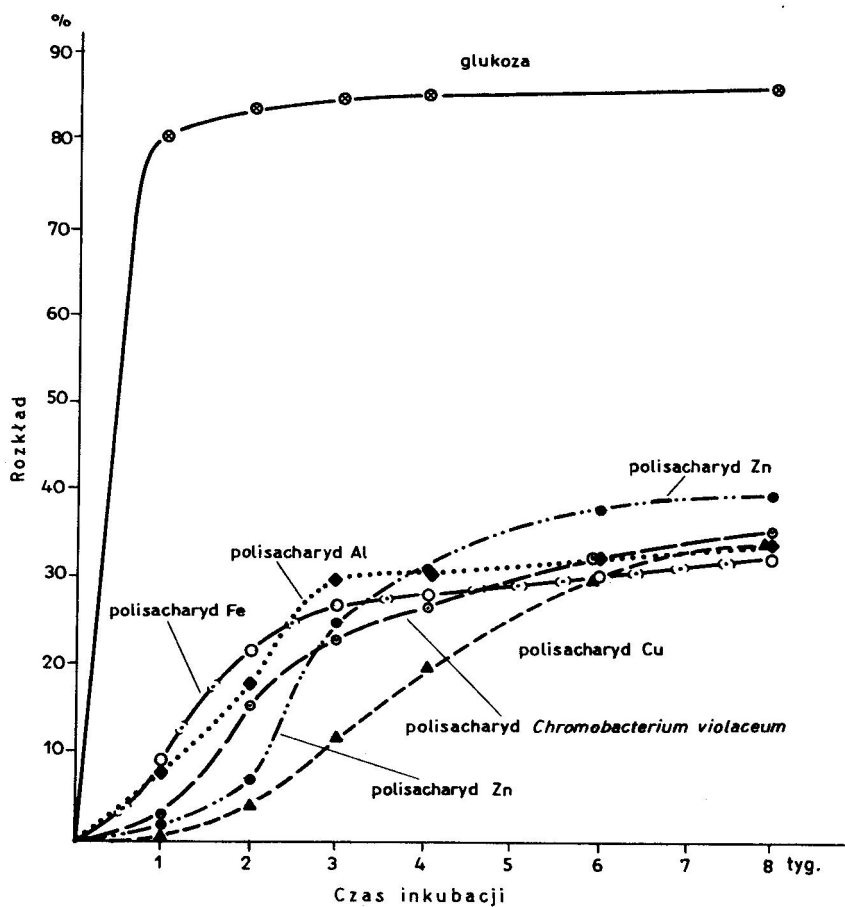


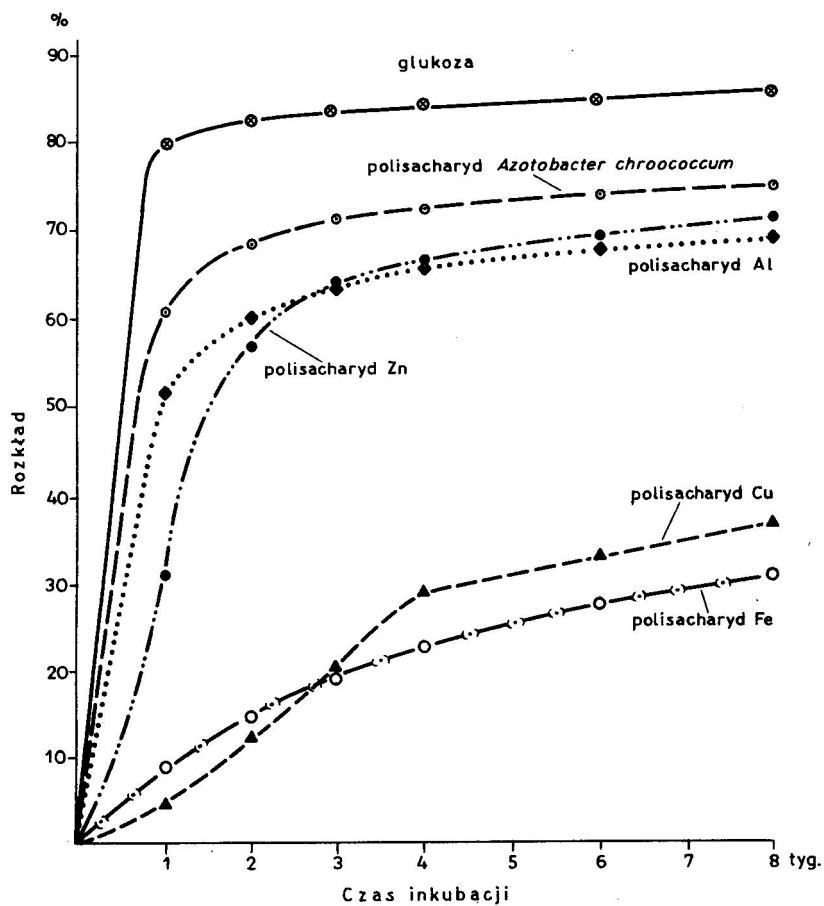


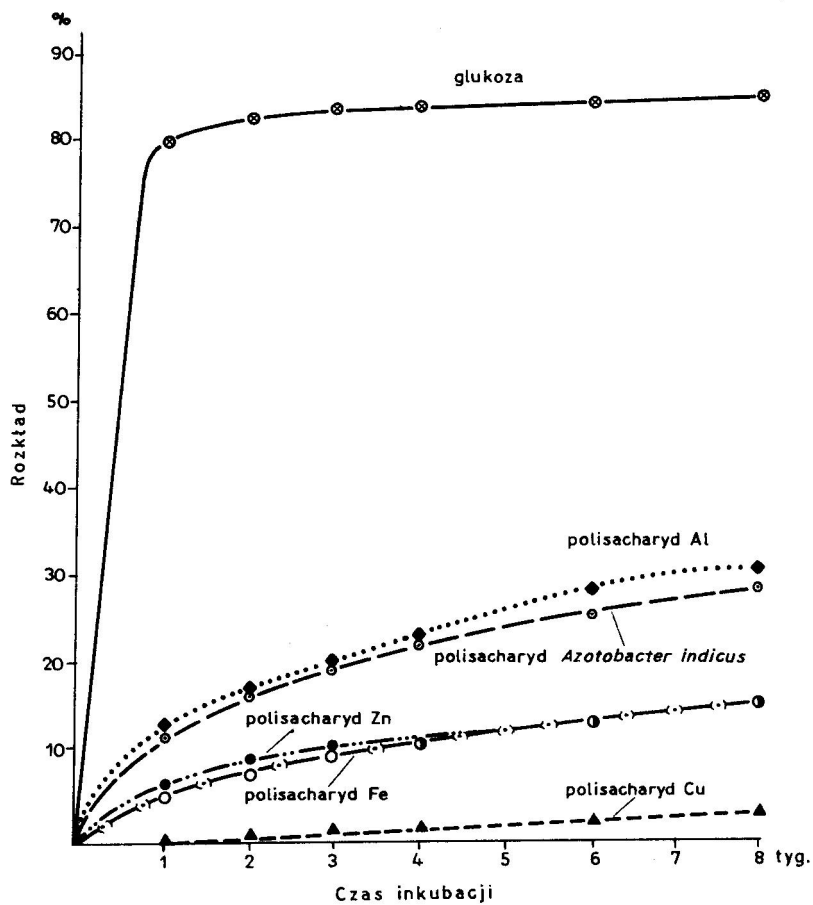


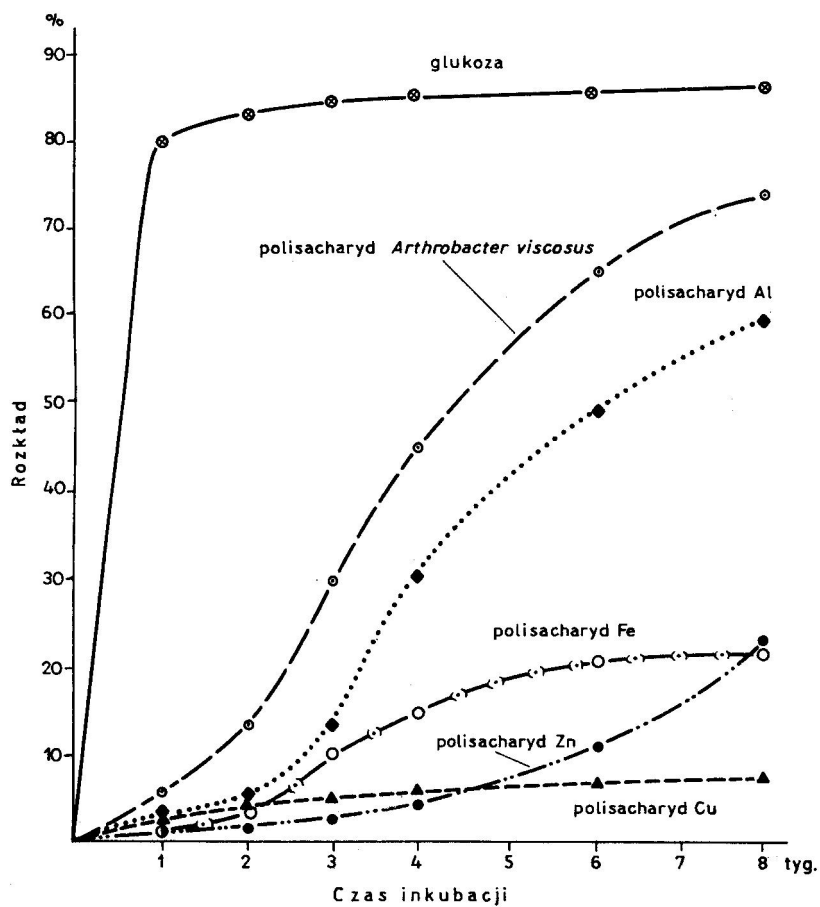


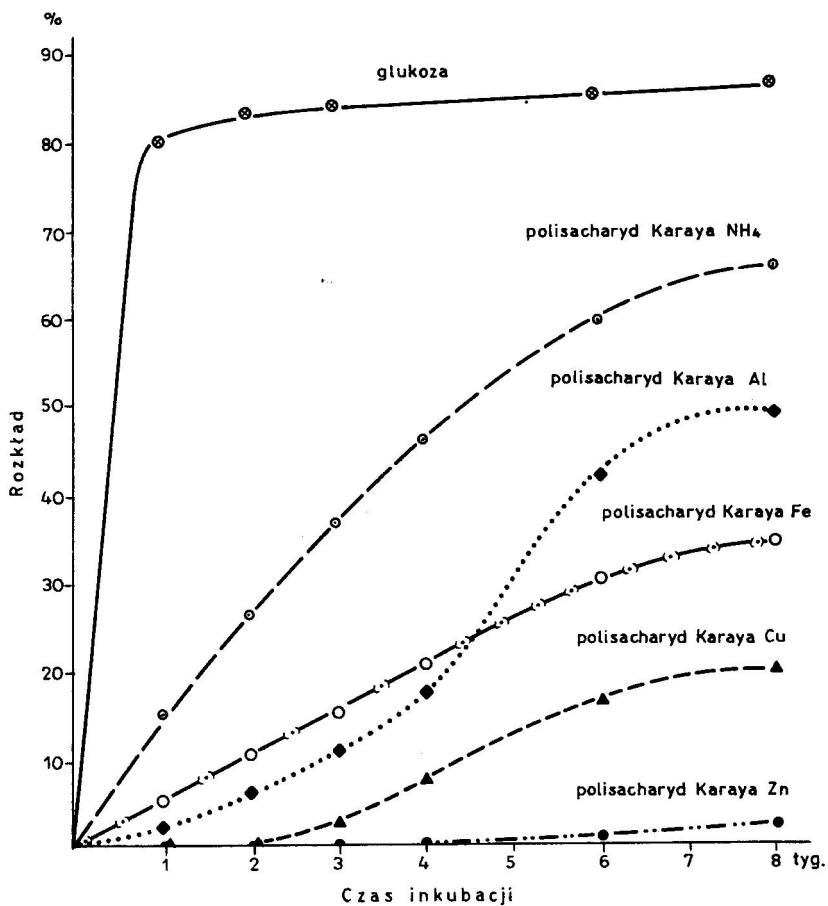


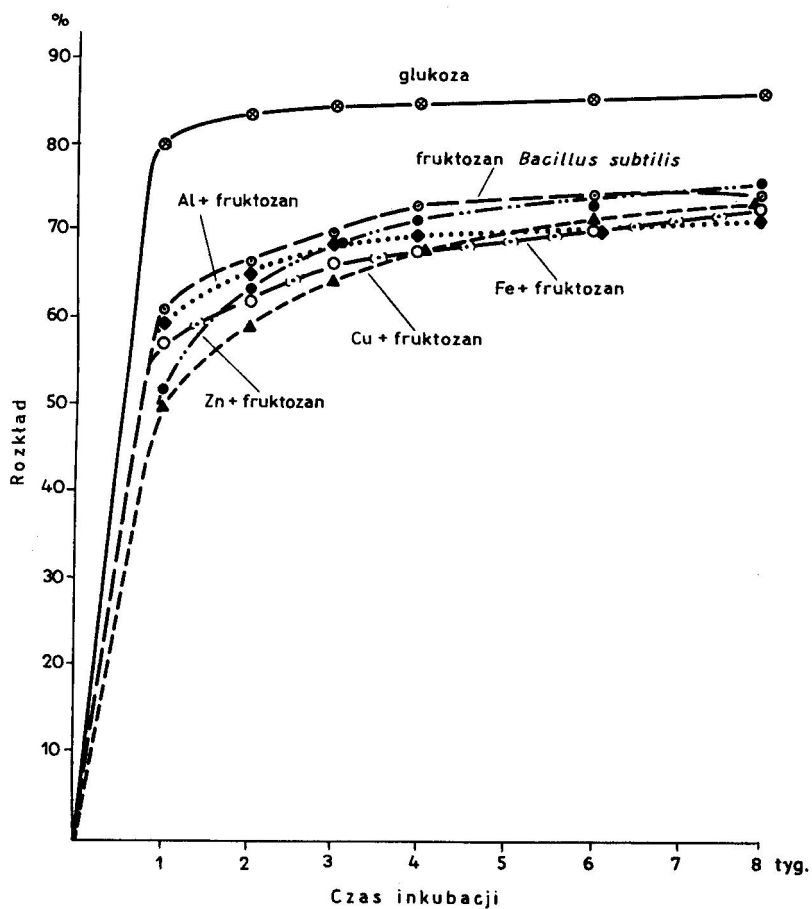






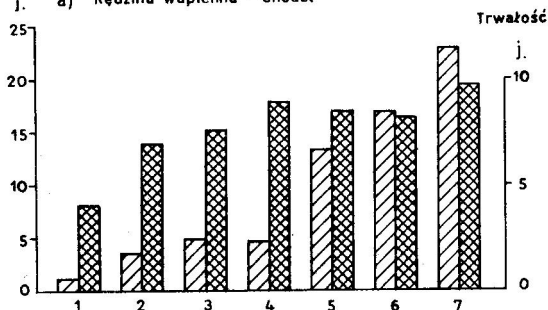




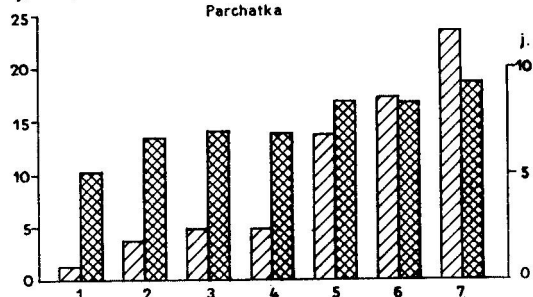


Lepkość

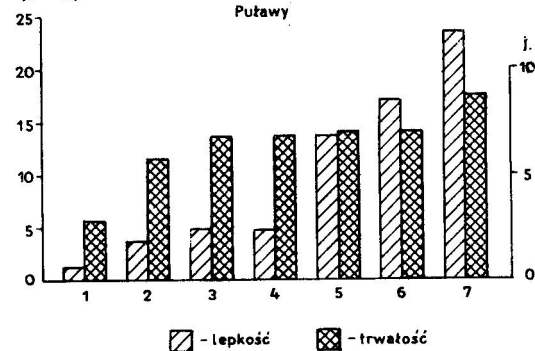
a) Rędzina wapienna – Chodel



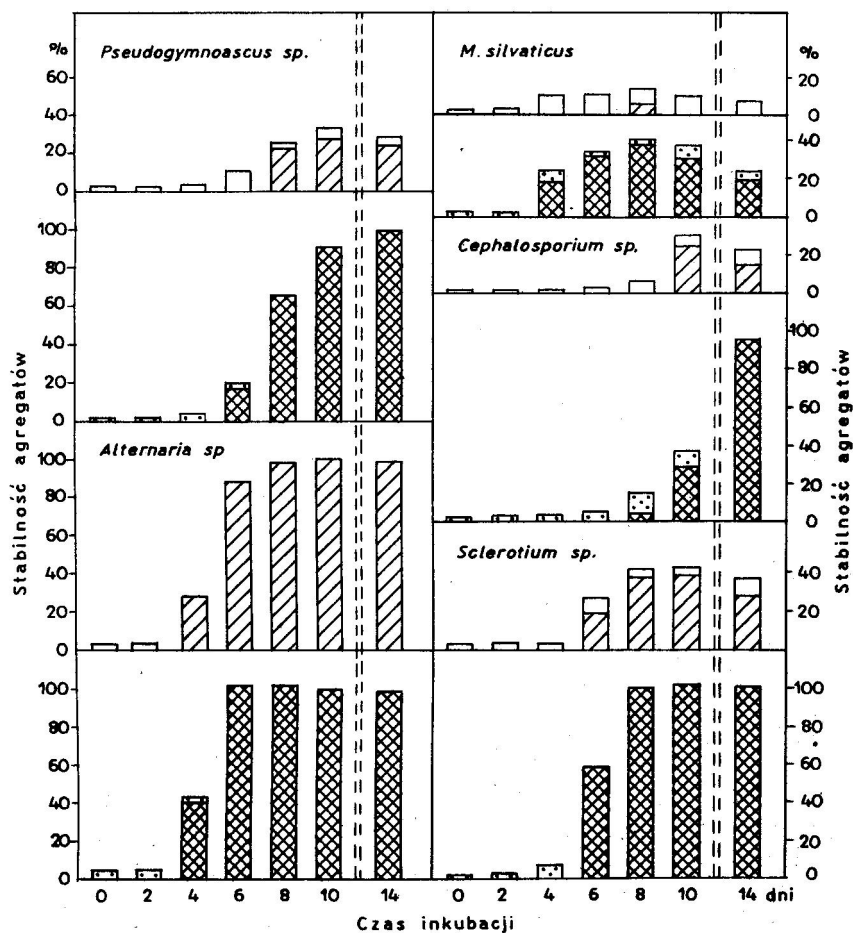
b) Gleba pseudobielica wytworzona z lessu
Parchatka

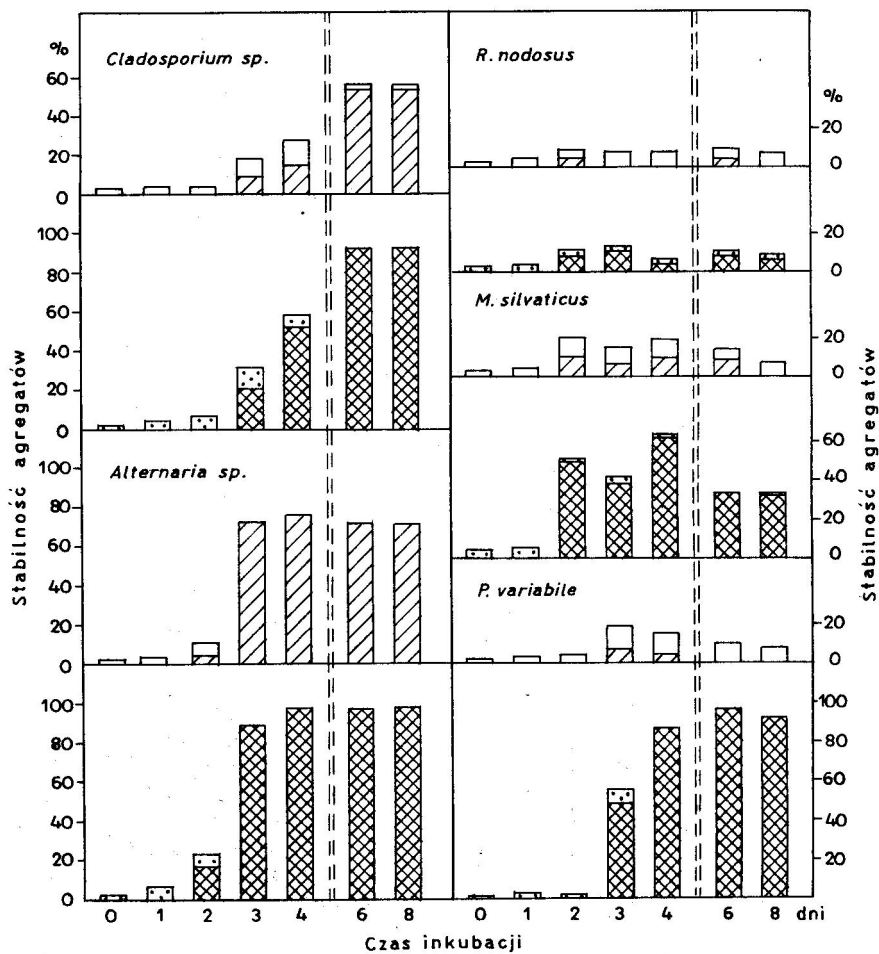


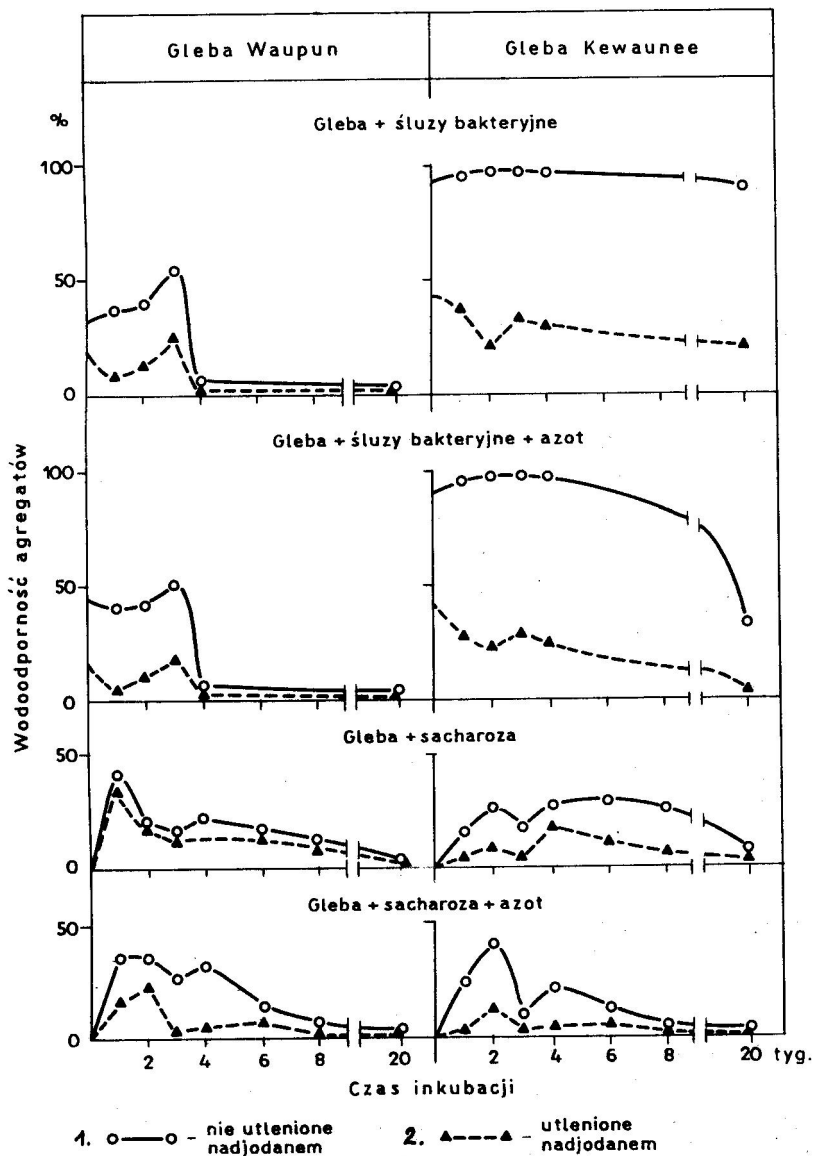
c) Gleba brunatna wytworzona z gliny ciężkiej
Puławy



▨ - lepkość ▩ - trwałość







SPIS TREŚCI

	str.
Wstęp	5
Substancje organiczne	6
Substancje nieorganiczne, temperatura, pH, nawietrzanie i nawilżanie	10
Polisacharydy pochodzenia drobnoustrojowego	14
Grzyby, promieniowce, drożdże i drobnoustroje beztlenowe	21
Mechanizmy tworzenia się agregatów	25
Literatura	34
Opis rycin	42
Ryciny	45