

Badania nad warunkami i mechanizmem działania związków próchnicznych na organizm roślinny

Recherches sur les conditions et le mécanisme de l'efficacité des composés humiques sur l'organisme végétale.

S. GUMIŃSKI.

(wpl. 20. V. 1950)

Wywar ziemny zawiera, według Pringsheima (1936), pewien czynnik wzrostowy, ważny dla rozwoju wiciowców. Zdaniem cytowanego autora jest to jakiś bliżej nieznany związek organiczny, termostabilny i odporny na działanie różnych czynników chemicznych, podlegający jednak destrukcji pod wpływem H_2O_2 . Ów czynnik wzrostowy można zastąpić „sztuczną próchnicą” z karmelu. Pringsheim widzi pewną analogię pomiędzy działaniem tego ciała wzrostowego, a działaniem żelaza, bliżej jednak tego zjawiska nie wyjaśnia.

W mojej pracy nad wpływem związków próchnicznych na rozwój niektórych glonów i pierwotniaków (1947) wyraziłem przypuszczenie, iż owym czynnikiem wzrostowym w wywarze ziemnym jest rozpuszczalna próchnica. W pracy tej wykazałem, iż optymalna dawka próchnicy dla badanych glonów waha się mniej więcej w granicach koncentracji od 0,001% do 0,005%. Dawka w wysokości 0,1% działała na rozwój glonów wyraźnie hamująco.

Uspenski (1927) sprowadza działanie próchnicy w zbiornikach wodnych, jako środowiskach glonów, do roli pochlaniacza żelaza. Twierdzi on, że żelazo, związane z próchnicą, jest dla glonów niedostępne — ponieważ zaś koncentracja trójwartościowego żelaza ma, wedle cytowanego autora, dominujące znaczenie dla rozmieszczenia glonów w zbiornikach wodnych, zatem, według

Uspenskiego, próchnica ma wtórnie również ogromne znaczenie w ekologii glonów. W przeciwieństwie do Uspenskiego, który wskazuje na antagonistyczne (w sensie ekologicznym) stanowisko próchnicy wobec żelaza, Wojciechowski (1948) wykazuje zastępcze, a więc analogiczne działanie związków próchnicznych i związków żelaza na rośliny wyższe (sałata, ogórki). Wojciechowski usuwał z pożywki żelazo i zastępował je oczyszczonymi związkami próchnicznymi. Wyrosłe w tych warunkach rośliny rozwijają się dobrze i nie wykazywały chlorozy.

Bottomley (1920) wykazał stymulujący wpływ próchnicy na rozwój rzęsy. Nieznane bliżej ciała czynne zawarte w tej próchnicy nazwał Bottomley „auksymonami“ i wyraził przypuszczenie, że są one wytworem bakterii aerobiontów, gdyż ciała te zawarte były jedynie w torfach, rozkładających się przy dobrym dostępie powietrza.

Krzemieniewski (1908) zwrócił uwagę na wielkie znaczenie próchnicy dla rozwoju azotobaktera oraz dla procesu wiązania wolnego azotu przez ten organizm. Według Krzemieniewskiego (1910) nie chodzi tu o zawarte ewentualnie pierwiastki ważne dla odżywiania roślin jak K, P, Ca, lecz o bliżej nieznane czynniki. Badania Bortelsa (1929) wykazały, iż istotną rolę w procesie wiązania wolnego azotu przez azotobaktera, gra molibden, a Krzemieniewski i Kovats (1937, 1938) skorygowali jego wyniki w tym sensie, że molibden czynny jest wyłącznie w obecności żelaza. Okazało się, że popiół próchnicy jest równie dobrym stynulantem jak koloidowy roztwór humianu, próchnica jedynie wtedy jest czynna, gdy zawiera żelazo.

O ile różnice między wynikami badań wymienionych autorów sprowadzają się do zagadnień co i jak w próchnicy działa na różne rośliny, o tyle wyniki badań Niklewskiego i jego szkoły (1938, 1947, 1948, 1949) z jednej strony i Terlikowskiego i Byczkowskiego (1938) oraz Górskiego (1929) z drugiej są sprzeczne co do tego czy małe ilości próchnicy w ogóle wywierają wpływ na rozwój roślin wyższych. Sprawa ta ma już bezpośrednie znaczenie rolnicze, gdyż od rozstrzygnięcia tej kwestii zależy przyrządzanie i użytkowanie kompostów a także, w pewnej mierze i obornika. Niklewski na podstawie swych badań utrzymuje, że wpływ kompostu na rośliny uprawne takie jak ogórki, owies, jęczmień, hreczka uwidocznia się wyraźnie przy obfitym nawożeniu mineralnym i jest proporcjonalny do ilości zawartej w nim próchnicy rozpuszczalnej, natomiast Terlikowski i Byczkowski

oraz G ó r s k i stwierdzają, że działanie kompostu na zboża, gorczycę czy groch, ogranicza się jedynie do wpływu zawartych w kompoście soli mineralnych.

Ostatnio G u m i ń s k a przeprowadziła doświadczenia nad wpływem humianu sodowego na plon pomidorów, sałaty i ogórków, hodowanych w kulturach wodnych (praca w druku). Autorka wykazała, że dodatek związków próchnicznych do pożywki pozostawał bez wpływu na rozwój roślin, o ile ich główna masa korzeniowa była wynurzona z pożywki (system G e r i c k'a 1946). Natomiast przy zanurzeniu całkowitym zaznaczył się wyraźnie wpływ próchnicy. Zastanawiający był fakt, że dodatek koloidowego roztworu próchnicy do wazonów z próchniczną ziemią wywarł dodatni wpływ na rosnące w tych warunkach pomidory (!).

Niejasna jest kwestia przenikania związków próchnicznych do wnętrza komórek glonów względnie do komórek korzeniowych i w głąb organizmu rośliny wyższej. N i k l e w s k i jest zdania, że próchnica przenika nawet do liści. Pełni tam, według cytowanego autora, funkcję oksydo-redukcyjną przy procesie asymilacji CO_2 (1947). Zdanie to wypowiada jednak N i k l e w s k i w formie hipotezy i nie podaje na to żadnych bezpośrednich dowodów. Za przenikaniem próchnicy, lub bliżej nieznanych substancji, w niej zawartych, do komórek korzeni przemawia fakt dodatniego chemotropizmu w obecności związków próchnicznych. (N i k l e w s k i i W o l n i c k a 1937). Prawidłowy rozwój korzenia izolowanego, hodowanego na pożywce bez witamin i hormonów wzrostowych, jedynie z dodatkiem próchnicy jest niewątpliwie dowodem, że, jeśli nie sama próchnica, to pewne ciała czynne w niej zawarte, wnikają do komórek korzenia (N i k l e w s k i, P e s t k a i W ó j c i k ó w n a 1939).

Przekonywujące dowody przenikania związków próchnicznych do komórek zwierzęcych podał S c h m i d t (1937). Autor ten stwierdził na organizmach zwierzęcych wpływ związków próchnicznych analogiczny do witaminu H (biotyny). Próchnica grocادیła się w pobliżu cebulek włosowych co można było stwierdzić mikroskopowo.

Sprzeczności (czasem zasadnicze) oraz niejasności wyników badań różnych autorów mogły być wynikiem dwóch powodów: 1) albo autorowie pod nazwą „próchnica“ używali różnych, pod względem własności biochemicznych, substancji (co jest zupełnie możliwe, gdyż nazwa ta nie obejmuje jednolitej, dogłębnie poznanej treści), 2) albo warunki doświadczeń fizjologicznych w jakich poszczególni autorowie pracowali, były istotnie różne.

Nasuwały się zatem dwie drogi badań: 1) Zbadać co w próchnicy właściwie działa, względnie jaka próchnica jest fizjologicznie czynna. Na to trzeba by w pierwszym rzędzie otrzymać próchnicę czystą, dobrze pod względem chemicznym zdefiniowaną. Tak zupełne oczyszczenie próchnicy naturalnej, jak też i uzyskanie odpowiednich związków syntetycznych jest zadaniem trudnym dla chemika, a niewłaściwym dla biologa. 2) Droga inna polegałaby na tym, aby znaleźć warunki, w których by wpływ próchnicy na rozwój roślin, bądź to się uwidocznił, bądź nie. Poszukiwania owych warunków stały się treścią niniejszej pracy.

ZAGADNIENIE

Literatura, dotycząca przedmiotu, dostarczyła mi pewnych impulsów w określonym kierunku. Połączyłem następujące fakty: 1) Woda utleniona inaktywuje wywar próchniczny (Pringsheim 1936), 2) Tenże wywar można zastąpić „sztuczną próchnicą“ z karmelu (ibidem). 3) Związki próchniczne w jeziorach usuwają szkodliwy dla glonów wpływ zbyt dużej koncentracji jonów Fe^{+++} (Uspenski 1927)⁴⁾. Próchnica rozpuszczalna może zastępować żelazo w kulturach roślin wyższych (Wojciechowski 1948)⁵⁾. Zawartość związków próchnicznych, obok żelazowych, stanowi o tzw. utlenialności wody (badania hydrobiologiczne i higieniczne wód). 6) Wpływ próchnicy na rozwój izolowanego końca korzenia uwidoczni się dobrze na pożywce z sacharozą, natomiast ztraca się w obecności glukozy (Niklewski, Pestka i Wójcikówna 1939)⁷⁾. Metoda oznaczania zawartości rozpuszczalnej próchnicy w kompoście, używana przez Niklewskiego, polegała na oznaczaniu utlenialności roztworu (Niklewski, Wojciechowski i Kempianka 1948). 8) Skuteczność roztworów próchnicznych w kulturach wodnych warzyw zależna jest od stopnia zanurzenia korzeni w pożywce (Gumińska, praca w druku). 9) Dodatek wywaru ziemnego do kultury wiciowców warunkuje rozpoczęcie rozwoju tych organizmów (Pringsheim 1936).

Zestawienie wyżej wymienionych danych skłoniło mnie do postawienia hipotezy, iż próchnica spełnia rolę reduktora, który ustala potencjał oksydacyjno-redukcyjny środowiska rośliny, na pewnym, pożądanym poziomie. Jednakże już wstępne pomiary potencjometryczne, jak również orientacyjne doświadczenia wegetacyjne przekonały mnie, że sprawa jest daleko bardziej skomplikowana. Drobne ilości próchnicy, wywierające duży wpływ na organizmy roślinne,

zmieniają potencjał oksydacyjno-redukcyjny pożywek, używanych w opisanych poniżej doświadczeniach tak nieznacznie (kilka miliwoltów), że nie może to stanowić o rezultatach fizjologicznych. Również obserwacje poczynione przy doświadczeniach orientacyjnych bynajmniej nie świadczyły o tym, by próchnica spełniać miała wyłącznie rolę reduktora środowiska.

Zbadać zatem należało efekt fizjologiczny próchnicy w warunkach środowiskowych wyraźnie utleniających, następnie wyraźnie redukcyjnych, poczym porównać z rezultatami otrzymanymi w warunkach, które uważamy za normalne. Powtórze zbadać należało przez pomiary potencjometryczne, jaki wpływ wywiera próchnica na potencjał „redoxowy” środowiska w owych warunkach oksydacyjnych, względnie redukcyjnych.

DOŚWIADCZENIA.

Mikroorganizmy.

Punktem wyjścia doświadczeń były obserwacje rozwoju glonów z rzędu *Protococcales*, hodowanych na pożywece Uspenskiego (1927) z dodatkiem kwasu huminowego oraz porównawczo bez próchnicy, przyczym część kultur przewietrzano przez pompowanie powietrza. Licząc następnie komórki, względnie kolonie pod mikroskopem zauważono pewną zależność wpływu próchnicy od warunków tlenowych pożywki. Jednakże wietrzenie przez pompowanie było zbyt energiczne a przy tym nierównomierne, tak że zaniechano tego sposobu.

Założono natomiast następujące doświadczenie (I).

Do 9 erlenmayerek stucentymetrowych wiano po 20 ml pożywki Uspenskiego poczym każdą zaszczipiono 1 ml zawiesiny glonów. Następnie wiano po 20 ml tej samej pożywki do 9 probówek i zaszczipiono w identyczny sposób. 3 elermayerki pozostawiono jako kontrolne, do 3 dodano kwasu huminowego w stężeniu około 0,0002%, do następnych 3 w stężeniu 0,001%. Identycznie postąpiono z probówkami. Duża powierzchnia płynu w erlenmayerkach zapewniała znacznie żywszą wymianę gazów z otoczeniem, niż w wąskich probówkach. Ponadto w ciągu trwania doświadczenia erlenmayerki codziennie wietrzono przez lekkie wstrząsanie, probówek zaś nie ruszano.

Szczepionka zawierała *Coelastrum microporum*, rodzaje *Chlorella* i *Pediastrum*, ponadto nieliczne nitki *Ulotrichales* oraz nieco okrzemek. Dominowało *Coelastrum* oraz *Pediastrum*.

Kwas huminowy otrzymano z torfu niskiego w następujący sposób: prze-myto masę torfową i usunięto sole mineralne 1% kwasem solnym, ponownie myto wodą i ekstrahowano próchnicę szczawianem sodowym. Uzyskany ciemny płyn, zadano 1% HCl. Koagulat przemywano 15% NaCl aż do reakcji 4,5 pH przesączu, po czym żel poddano dializie, celem usunięcia soli. Po wymyciu chlorku sodowego uzyskano koloidowy roztwór wodny kwasu huminowego o stężeniu około 2%, zawierający jako zanieczyszczenie ślady żelaza oraz NaCl.

Pożywka Uspenskigo ma skład następujący, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,144 g KNO_3 0,025, KH_2PO_4 0,025, $\text{MgSO}_4 \cdot (7 \text{ H}_2\text{O})$ 0,05 K_2CO_3 0,0348. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 0,00125 na 11 H_2O . pH pożywki wynosi około 6,9.

Po 8 dniach doświadczenie zlikwidowano. Makroskopowo widoczny był bujniejszy rozwój glonów w naczyniach o koncentracji próchnicy 0,001%. Liczbowe wyniki uzyskano, licząc kolonie *Pediastrum* i *Coelastrum* pod mikroskopem w 5 kroplach z każdego naczynia w ten sposób, że z każdej kropli przeliczono 4 pola widzenia.

TABLICA I.

<i>Coelastrum microporum</i>			
		A) Kolbki przewietrzane wstrząsem	B) Probówki nieprzewietrzane
		Ilość kolonii	
A.	Kontrola pH 8,2	21 ± 3	14 ± 1
B.	0,0002% próchnicy pH 8,15	21 ± 1	21 ± 1
C.	0,001% próchnicy pH 8,1	31 ± 3	31 ± 3
$f = \frac{C}{A}$		1,5	2,2
<i>Pediastrum</i>			
A.	Kontrola pH 8,2	27 ± 9	12 ± 3
B.	0,0002% próchnicy pH 8,15	25 ± 1	17 ± 3
C.	0,001% próchnicy pH 8,1	35 ± 8	23 ± 5
$f = \frac{C}{A}$		1,3	1,8

(f — jest to współczynnik obliczony z podzielenia średniej kontroli przez średnią silniejszej koncentracji próchnicy).

Z powyższego zestawienia wynika, że glony rozwijały się lepiej w warunkach lepszej wymiany gazów, oraz że próchnica działa wyraźniej w warunkach gorszej wymiany gazów. W przypadku *Coelastrum*, na skutek działania próchnicy rozwój w probówkach niewietrzonych nie ustępował kulturom wietrzonym w erlenmayerkach.

Warunki doświadczenia nie pozwalały na rozstrzygnięcie czy glony w kulturach niewietrzonych cierpiały od braku tlenu, czy przeciwnie, asymilując CO_2 , narażone były na zbyt energiczne działanie tlenu. Metody chemiczne oznaczenia tlenu w pożywce byłyby tu całkowicie nie na miejscu wobec wywiązywania się tego pierwiastka w procesie fizjologicznym. Złożono zatem dalsze doświadczenia oparte na innej zasadzie.

Zamiast „wietrzenia“, co przy hodowli glonów zielonych na świetle jest czynnikiem bliżej nieokreślonym, zastosowano zróżnicowanie stopnia utlenienia pożywki. Jako utleniacza użyto wody utlenionej, jako reduktora wody siarkowodorowej. Za materiał do dalszych doświadczeń służyła gałęzatka (*Cladophora crispata?*).

Gałęzatkę szczepiono, wkładając do poszczególnych kultur (po 50 ml pożywki w 100-centymetrowych kolbach erlenmeyerowskich) mniej więcej równe ilości glonu. Ponieważ nie można takiej szczepionki zważyć, ani, bez poważnego uszkodzenia, zmierzyć, więc było to poważnym źródłem błędów.

Próchnicę używaną do doświadczeń otrzymano z kompostu w następujący sposób. Kompost wymyło z części mineralnych 1% HCl i ekstrahowano 2% NaOH . Brunatny roztwór koloidowy strącano kwasem solnym, żel przemylano wodą, alkalizowano 2% Na_2CO_3 i ekstrahowano wodą. Otrzymano brunatny roztwór koloidowy o odczynie neutralnym. Próchnica I zawierała suchej masy 0,085%, substancji ppiłowych 0,02%, próchnica II suchej masy 0,23%, popiołu 0,05%.

H_2O_2 dodawano do pożywki w ilości 0,1 ml około 3% wody utlenionej co dzień lub co kilka dni, aż do wystąpienia bielenia nitek gałęzatki, H_2S w formie wody siarkowodorowej również w ilości 0,1 ml co kilka dni, próchnicy 1 ml na początku doświadczenia i 0,5 ml po dziesięciu dniach. Likwidacja następowała po 3 tygodniach — rezultaty cyfrowe otrzymywano przez ważenie suchej masy gałęzatki.

Przeprowadzono w ten sposób trzy doświadczenia z normalną ilością żelaza w pożywce, z podwójną ilością oraz bez żelaza. Wyniki liczbowe, uzyskane przez ważenie suchej masy gałęzatki dały wyniki niepewne, niewiele przekraczające granice błędów. Obserwacje przeprowadzane przy pomocy lupy przemawiały za tym, iż najsilniejszy efekt działania próchnicy przejawia się w obecności H_2O_2 . Bielenie nitek gałęzatki w kulturach z wodą utlenioną było znacznie wyraźniejsze przy braku próchnicy, niż w jej obecności. Również regenerację w kulturach z dodatkiem H_2O_2 obserwowano znacznie szybciej w obecności próchnicy, niż bez niej. W doświadczeniu bez żelaza nie zauważono nigdzie dodatniego wpływu próchnicy, natomiast stwierdzono, że w doświadczeniu tym w kulturach z H_2O_2 nastąpiła zupełna degeneracja gałęzatki.

Ponieważ w kulturach z dodatkiem H_2S nie zauważono naogół wpływu próchnicy, więc, aby przekonać się, czy istotnie w tych warunkach próchnica nie ma znaczenia, założono doświadczenie na nieco odmiennym zasadzie. Istniała bowiem możliwość, że kilkakrotne dawkowanie siarkowodoru uniemożliwia wogóle rozwój gałęzatk. Użyto zatem jednorazowej choć silniejszej dawki wody siarkowodorowej (1 ml). Po tym zabiegu nitki gałęzatk całkowicie zbieleły, jednakże tylko w kulturach kontrolnych — w porównawczych kolbach z próchnicą gałęzatka nie zmieniła barwy i rozwijała się nadal (tworzyła widoczne pod lupą rozgałęzienia). Doświadczenie przeprowadzono w trzech kolbach (powtórzeniach) z identycznym rezultatem.

Aby uzyskać krytyczny materiał cyfrowy doświadczenia te powtórzono, zmniejszając jednak ilość dawek H_2O_2 oraz wody siarkowodorowej oraz skracając nieco czas trwania doświadczenia (kultury nie były czyste i w złych warunkach, zwłaszcza przy dodawaniu siarkowodoru, pojawiały się na gałęzatkce organizmy heterotroficzne). Ponadto powiększono ilość powtórzeń z trzech na pięć.

Doświadczenie VIa.

Pożywka Uspenskiego z normalną ilością żelaza, pH 6,9. Próchnica I w ilości $1\frac{1}{2}$ ml. na 50 ml. pożywki, H_2O_2 3% po 0,1 ml. na początku doświadczenia i po 7 dniach. Doświadczenie trwało 18 dni. Kultury wystawione były na działanie rozproszonego (dość słabego) światła. Powtórzeń 4.

Obserwacje pod lupą wykazały wyraźne zahamowanie rozwoju w kulturach z wodą siarkowodorową bez próchnicy (brak rozgałęzień). Gałęzatkę wysuszono i zważono.

TABLICA II.

	Kontrola		H_2S		H_2O_2	
	bez próchni- cy	z próchni- cą	bez próchni- cy	z próchni- cą	bez próchni- cy	z próchni- cą
Sucha masawaga w mg	$9,2 \pm 0,75$	$9,2 \pm 1,3$	$6 \pm 0,7$	$9,7 \pm 0,88$	$6,5 \pm 1,15$	$7,1 \pm 1,3$
Współczynnik $f =$	1		1,6		1,1	
pH	7—8	7—8	7	7	7	7

D o ś w i a d c z e n i e V I b.

Warunki te same, użyto jednak próchnicy II w ilości mniej więcej równoważnej co do suchej masy — 0,3 ml na 40 ml pożywki. Doświadczenie trwało 12 dni. Powtórzeń 5. Natężenie światła silniejsze, niż poprzednio.

Obserwacje pod lupą wykazały we wszystkich kulturach z próchnicą lepszy rozwój, niż w porównawczych bez próchnicy. W kulturach z dodatkiem wody utlenionej względnie wody siarkowodorowej bez próchnicy rozwój przyhamowany w stosunku do kontroli.

TABLICA III.

	Kontrola		H ₂ S		H ₂ O ₂	
	bez próchni- cy	z próchni- cą	bez próchni- cy	z próchni- cą	bez próchni- cy	z próchni- cą
Sucha masa waga w mg	17±1,3	20±3,4	11±1,8	19±1,2	12±2,5	15±1,5
f =	1,18		1,73		1,25	
pH	8,7—9	8,3—8,9	8—8,5	8—9	7—7,5	7

D o ś w i a d c z e n i e V I I.

Pożywka Uspenskigo ze zredukowaną do 1/5 ilością żelaza. Próchnica II w ilości 0,4 ml na 50 ml pożywki. Doświadczenie trwało 18 dni. Obserwacje pod lupą wykazały zahamowanie rozwoju oraz bielenie nitek w kulturach z dodatkiem H₂O₂ bez próchnicy, częściowo także i w kulturach kontrolnych.

TABLICA IV.

	Kontrola		H ₂ S		H ₂ O ₂	
	bez próchni- cy	z próchni- cą	bez próchni- cy	z próchni- cą	bez próchni- cy	z próchni- cą
Sucha masa waga w mg	5,2±0,85	7±0,63	7,3±0,25	7,8±0,66	3,4±0,6	9,8±1,05
f =	1,3		1,1		2,9	
pH	± 8	± 8	7,5—8	7,5—8	± 7	± 7

D o ś w i a d c z e n i e VIII.

Ponieważ bakterie, wiążące azot atmosferyczny, wykazują dużą wrażliwość na potencjał oksydacyjno-redukcyjny środowiska, więc przeprowadzono doświadczenie z *Rhizobium leguminosarum* (z grochu). Idąc utartą ścieżką, wskazaną w zbiorze ćwiczeń z fizjologii bakterii (Wilson i Knight 1948) szczepiono *Rhizobium leguminosarum* na pożywcę mineralno-cukrowej z dodatkiem cysteiny, jako reduktora, względnie nadmanganianu potasowego, jako utleniacza. Do pożywek tych dodawano próchnicy i obserwowano rozwój *Rhizobium* w pożywkach z dodatkiem i bez dodatku próchnicy (sterylizowanej). Doświadczenie orientacyjne wykazało, iż organizm badany, rozwija się lepiej w kulturach utlenionych. Dodatniego wpływu próchnicy nie zauważono.

Opierając się na tych obserwacjach założono następujące doświadczenie. Przygotowano i wysterylizowano pożywkę o składzie K_2HPO_4 0.5g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2, NaCl 0.1, KNO_3 0.1, sacharozy 10.0 agaru 15.0 na 1 litr wody. Rozlano po 20 ml do 20 płytek Petriego, przy czym do pięciu dodano po 1 ml 0,2% $KMnO_4$, do następnych pięciu po 1 ml próchnicy II, do dalszych pięciu po 1 ml 0.2% $KMnO_4$ + 1 ml próchnicy i wreszcie do pięciu ostatnich dano samą pożywkę. Płytki zaszczerpiono równą ilością silnie rozcieńczonej, czystej kultury *Rhizobium leguminosarum* i umieszczono w termostacie w temperaturze ok. 30° C. Po 5 dniach gołym okiem widoczny był silny rozwój kolonii na płytkach z dodatkiem $KMnO_4$, wyraźnie mniej było na płytkach z dodatkiem $KMnO_4$ i próchnicy, w pozostałych rozwój był bardzo słaby. Pod lupą zauważyć można było, iż w kulturach z nadmanganianem kolonie rosły tak na powierzchni, jak też i w głębi pożywki, natomiast bez nadmanganianu rozwijały się jedynie powierzchniowo. Liczenie kolonii pod lupą dało następujące rezultaty (liczono po pięć pól widzenia na płytce):

TABLICA V.

	Ilość kolonii średnio
Kontrola	65 ± 5
Z próchnicą	70 ± 8
Z $KMnO_4$	304 ± 32
Z $KMnO_4$ i próchnicą	126 ± 16

Ze względu na stałe podłoże bakterii (płytki agarowe), jak również z uwagi na użycie bardzo silnego utleniacza zastosowano większą koncentrację próchnicy, niż w doświadczeniach z glonami. W każdym bądź razie koncentracja ta nie wywarła szkodliwego wpływu sama w sobie, jak to widać z porównania z kontrolą. Natomiast, redukując KMnO_4 , obniżyła jego stymulujący wpływ.

Pomiary potencjału „redox“ przy opisanych doświadczeniach nie dały wyników jednoznacznych. Naogół rH spada w czasie rozwoju kultur glonowych, na wysokość potencjału mają wpływ jednak nie tylko badane glony, lecz także i inne mikroorganizmy (kultury glonów nie były czyste). W tych warunkach pomiary tej wielkości, wahającej się w dużych granicach, są pozbawione wartości naukowej. Rezultaty pomiarów rH pożywek samych, utlenianych i redukowanych z dodatkiem próchnicy i bez niej podane będą na innym miejscu niniejszej pracy.

Z porównania doświadczeń wegetacyjnych wynika, że istnieje zależność pomiędzy warunkami oksydacyjno-redukcyjnymi środowiska i efektem fizjologicznym próchnicy. Reakcje badanych organizmów na dodatek drobnych ilości próchnicy występują wyraźnie w warunkach ekstremalnych środowiska bądź oksydacyjnych, bądź redukcyjnych. Przy tym reakcje te mogą objawiać się stymulacją rozwoju, względnie zahamowaniem (*Rhizobium*) zależnie od wymagań danego organizmu co do warunków tlenowych. Na podstawie tych doświadczeń nie można jednak mówić ściśle o zależności efektu fizjologicznego próchnicy od potencjału redox środowiska. W pierwszym rzędzie pamiętać należy o tym, iż siarkowodor jest trucizną oddechową, a więc nie można mu przypisywać wyłącznie znaczenia reduktora środowiska. Po drugie sprawa się komplikuje przy usunięciu żelaza z pożywki. Wynik tego doświadczenia należy rozumieć tak, iż przy braku żelaza nastąpiło wogóle zahamowanie rozwoju gałęzatk, na co wskazuje porównanie cyfr z kontrolą. Natomiast w braku żelaza, które stanowi o utlenialności pożywki Uspenskigo, wrazliwość gałęzatk na destrukcyjny wpływ wody utlenionej znacznie wzrosła i wówczas ujawniła się już nie stymulująca, lecz ochronna rola próchnicy. Wzrost utlenialności pożywki przy dodaniu próchnicy spowodował natomiast zahamowanie szybkości rozwoju kolonii *Rhizobium* — organizmu stymulowanego przez dodatek silnego utleniacza, jakim jest KMnO_4 . Chcąc zatem odpowiedzieć na pytanie w jakim stopniu efekt fizjologiczny próchnicy zależy od potencjału redox środowiska należałoby w pierwszym rzędzie poznać dokładnie wymagania danego organizmu co do rH środowiska.

Tego rodzaju badania nad organizmami zielonymi wymagają specjalnych urządzeń — są one zainicjowane i, o ile urządzenia wspomniane będą mogły być zmontowane, badania te stanowić będą treść osobnej publikacji. Natomiast na podstawie przytoczonych doświadczeń powiedzieć można jedynie ogólnie, że efekt fizjologiczny próchnicy zależy od warunków oksydacyjno-redukcyjnych środowiska, względnie warunków oddechowych badanych mikroorganizmów.

R o ś l i n y w y ż s z e.

Wyniki doświadczeń z glonami oraz obserwacje G u m i ń s k i e j nad zależnością efektu fizjologicznego próchnicy od stopnia zanurzenia korzeni pomidorów w pożywkę skłoniły mnie do założenia doświadczeń z pomidorami.

Wskazówki orientacyjne z kulturami, założonymi systemem G e r i c k'a, świadczyły o tym, że istotnie działanie próchnicy na pomidory jakoby było uzależnione od warunków tlenowych pożywki, równocześnie jednak przekonałem się że system G e r i c k'a, jakkolwiek doskonały dla długotrwałych kultur wodnych, to jednak niezbyt nadaje się do krótkich doświadczeń fizjologicznych, gdyż na skutek różnic w warunkach oddychania korzeni (wynurzenie zawsze jest nierównomierne) powstają bardzo duże różnice indywidualne pomiędzy roślinami.

D o ś w i a d c z e n i e I. (14/IV 49 — 13/V 49).

Małe roślinki odmiany Pionier, wykiełkowane w trocinach umieszczono w 40 słojach 1¼ litrowych z pożywką specjalną dla pomidorów (H a m p e i T r u f f a u t 1938, 1939) po 3 rośliny w słoju. Ułożono 4 kombinacje porównawcze w 5 powtórzeniach.

- I a) Niewietrzone bez próchnicy
- b) Niewietrzone z próchnicą
- II a) Wietrzone bez próchnicy
- b) Wietrzone z próchnicą
- III a) Z wodą utlenioną bez próchnicy
- b) Z wodą utlenioną z próchnicą
- IV a) Z przepuszczaniem wodoru gazowego bez próchnicy
- b) Z przepuszczaniem wodoru gazowego z dodatkiem próchnicy do pożywki.

Skład pożywki dla pomidorów, podany przez T r u f f a u t i H'a m p e (1938, 1939) jest następujący $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 0,124 g, MgSO_4 0,284, KNO_3 0,568,

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,71, FeCl_3 0,112, KJ 0,00284, ZnSO_4 0,00056, H_3BO_3 0,00056, MnSO_4 0,00056 na 1 l. wody.

Do pożywki używano wody wodociągowej, zawierającej ponadto dalsze mikroelementy. pH pożywki świeżo przyrządzonej wynosiło ok. 6,7, rH ok. 26. Tak pH jak i rH mierzono elektrometrycznie, przy czym wartość potencjału redox przeliczano na pH 7.

Do odpowiednich słoĩ dodawano próchnicy II z początku po 5 ml, po tym stopniowo jeszcze 7 ml. Wietrzono, przepuszczając powietrze aspiratorem, codziennie przez 5 minut. Wodór przepuszczano z aparatu Kippa, oczyszczając strumień gazu w płóćce z KOH, również 5 minut dziennie. H_2O_2 dodawano trzykrotnie podczas przebiegu doświadczenia w ilości po 0,5 ml 3‰ wody utlenionej i 1 raz 1 ml w odstępach kilkudniowych.

Doświadczenie trwało miesiąc. Przez pierwsze dwa tygodnie zaznaczyła się wyraźna różnica na korzyść kultur wietrzonych w stosunku do innych. W kulturach wietrzonych wzrost był silniejszy oraz barwa liści intensywniejsza. Po dwóch tygodniach wszystkie kultury z próchnicą dorównały kulturom wietrzonym. Również i rośliny z wodą utlenioną zazieleniły się, choć we wzroście były opóźnione. Pod koniec doświadczenia rośliny niewietrzone, a także wodorowane były małe, żółte i miały wygląd chory, podczas gdy zarówno wietrzone, jak i niewietrzone oraz wodorowane z próchnicą rozwijały się dobrze i były zielone. Natomiast w kulturach wietrzonych nie można było dopatrzeć się skutków działania próchnicy. Tak z próchnicą jak i bez niej rośliny rozwijały się doskonale.

Po zlikwidowaniu doświadczenia dokonano pomiarów pH i rH pożywek, rośliny zaś pomierzono, następnie wysuszono i zważono. Wyniki liczbowe przedstawia tabela.

Próchnica zatem kompensowała brak wietrzenia. Przepuszczanie gazowego wodoru miało na celu nie tyle stworzenie warunków redukcyjnych (nie używano żadnego katalizatora), jak raczej mieszanie pożywki w identyczny sposób, jak przy wietrzeniu, jednakże przy pomocy gazu obojętnego. W ten sposób uzyskano pewność że samo mieszanie pożywki nie ma wpływu na rozwój roślin i tym samym, że działanie próchnicy związane jest nie z mieszaniem lub niemieszaniem pożywki a jedynie ze stopniem jej utlenienia. Poza tym strumień wodoru wypychał zawarte w pożywce powietrze stwarzając warunki bardziej beztlenowe.

Pomiary rH nie dały jednoznacznych wyników. Konieczność dolewania wody w miarę jej ubytku niewątpliwie zaciemnia obraz. Jednakże na ogół można zauważyć, że wartość rH jest w kulturach wietrzonych wyższa, niż w niewietrzonych. Natomiast korelacji pomiędzy obecnością próchnicy w pożywce i wysokością rH nie widać.

TABLICA VI.

Rodzaj kultury	pH	rH	Pomiary długości roślin w cm					Waga 3 roślin (z jednego słoja) w gramach	
			pędy		korzenie			pędy	korzenie
I. Niepietrzone									
a) bez próchnicy									
1.	6,8	25	8,5	8	11	8	14,5	18	0,20
2.	6,1	24,9	12	9	10,5	10	9,5	7,5	0,20
3.	6,1	24,9	16	15,5	15	16	12	12	0,67
4.	6,41	25	14	16	13	12,5	21	12,5	0,40
5.	6,1	25	16,5	19,5	19	15	13	13,5	0,56
Srednia suchej masy									0,406±0,094
b) z próchnicą									0,060±0,007
1.	6,42	24,7	11,5	15,5	17,5	9	8	6	0,61
2.	6,25	24,7	22	19,5	17	10	8	10	0,91
3.	—	—	23,5	27,5	21	9	9	11	1,23
4.	6,8	26,6	28,5	28	24	11	11	10	1,65
5.	6,36	24,7	19	21	19	7	9,5	12	0,94
Srednia suchej masy									1,068±0,194
Współczynnik									0,14
(stosunek średnich)									0,146±0,035
b									2,4
a									
II. Wietrzone									
a) bez próchnicy									
1.	6,2	24,3	11,5	15	13,5	9	12	15	0,55
2.	6,65	26	25,5	24,5	20	10,5	13,5	14	1,52
3.	6,95	26	25,5	23,5	22,5	6,5	12,5	11	1,32
4.	6,8	25,9	26,5	28	26	13,5	16,5	15	1,46
5.	6,8	26,5	28	27,5	33	11	9,5	14,5	1,47
Srednia suchej masy									1,264±0,182
b) z próchnicą									0,150±
1.	6,7	25,5	22,5	19,5	24,5	12	9	8	1,06
2.	6,82	25,8	26	21	21,5	10	11	14	1,39
3.	6,55	24,1	24,5	22	26,5	16	10,5	16	1,41
4.	6,52	25,2	19	17	13	12	17	3	0,62
5.	6,66	26,1	29,5	15,5	24	20	8	15	1,10
Srednia suchej masy									1,116±0,143
Współczynnik									0,142±
(stosunek średnich)									0,9
b									0,9
a									

III. Z wodą utlenioną

a) bez próchnicy

1.	6,7	25,2	15	19	14	15	16	12	0,75	0,13
2.	6,7	24,5	18,5	19	16	13	13,5	18	0,69	0,10
3.	7,0	26	12	16,5	12,5	11	20	15,5	0,52	0,10
4.	6,65	24,1	15	18	13	16	18	13	0,58	0,10
5.	7,15	26	16,5	17	14,5	13,5	18	12	0,48	0,09
Srednia suchej masy									0,604±0,040	0,104±0,006

b) z próchnicą

1.	6,5	25,3	17	18	14,5	12	15	11,5	0,67	0,11
2.	7,0	25,2	19,5	16	20,5	14	12	15	0,80	0,10
3.	6,7	25,2	21,5	15,5	17,5	11	14,5	11	0,65	0,12
4.	6,55	25,2	17	20,5	17	19	11	12,5	0,72	0,10
5.	6,9	25,4	17	19	18	13	14	15	0,50	0,07
Srednia suchej masy									0,668±0,049	0,100±0,008
Współczynnik (stosunek średnich)	b	a							1,1	1

IV. Wodorowane

a) bez próchnicy

1.	5,9	24,7	12	14	10,5	13,5	9	8,5	0,33	0,04
2.	5,95	24,5	8	10,5	12	13	7	12,5	0,18	0,03
3.	6,10	24,7	10,5	15	14,5	13	9,5	9	0,31	0,03
4.	6,0	24,9	18,5	18	15	12	8,5	10	0,60	0,09
5.	6,75	25,5	7,5	10,5	8	8	8	5	0,13	0,02
Srednia suchej masy									0,310±0,082	0,042±0,012

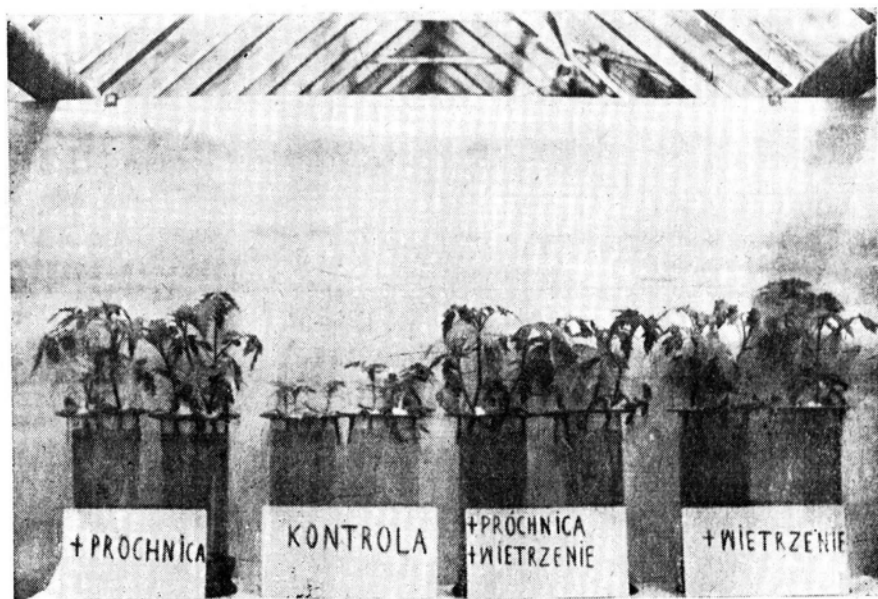
b) z próchnicą

1.	6,65	24,6	23	21,5	25	10	13	11	1,07	0,16
2.	6,55	24,6	24	23	27	10	16,5	10	1,22	0,19
3.	6,55	25,3	16	19,5	25	8,5	8	15	0,90	0,16
4.	6,55	24,3	18	21	13	8	9	6,5	0,55	0,09
5.	6,55	25,3	26,5	22	25,5	12	11	14	1,32	0,17
Srednia suchej masy									1,012±0,136	0,154±0,017
Współczynnik (stosunek średnich)	b	a							3,3	3,7

Pomiary rH wykonywane były w warunkach tlenowych i bez wykluczenia mikroorganizmów. Toteż cyfry podawane mają wartość jedynie względną — porównawczą. Chociaż potencjał nie ustala się w tych warunkach zadowalająco, to jednak na skutek stosowania zawsze jednakowej metody z zachowaniem jednakowego czasu odczytu uzyskiwane pomiary są powtarzalne i porównywalne.

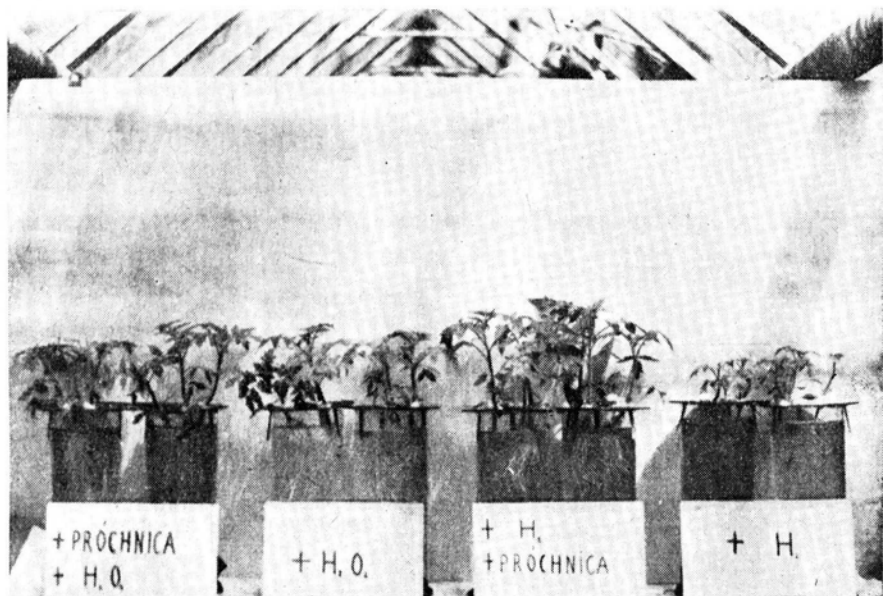
Wartość pH stosowanej pożywki, sporządzonej na wodzie wodociągowej, obniża się z czasem — rozwój roślin przyspiesza ten proces fizjologicznie, jednakże jedynie z początku (NH_4), później rośliny alkalizują pożywkę tym silniej, im lepiej się rozwijają (NO_3). Wpływu buforującego próchnicy na pożywkę dopatrzeć się nie można.

Woda utleniona częściowo kompensowała brak wietrzenia. W obecności wody utlenionej, zarówno jak przy wietrzeniu wpływ próchnicy zaniknął, uwidocznili się natomiast wyraźnie przy braku wietrzenia a jeszcze silniej przy przepuszczaniu przez pożywkę gazowego wodoru.



Fotografia uwidocznia różnicę efektu fizjologicznego próchnicy w kulturach niewietrzonych i wietrzonych.

La photographie montre la difference entre l'effet physiologique de l'humus sur les cultures non-aérées et aérées.



Fotografia uwidocznia różnicę w efekcie fizjologicznym próchnicy kultur z wodą utlenioną i z przepuszczaniem gazowego wodoru.

La photographie montre la difference entre l'effet physiologique de l'humus sur les cultures avec H_2O_2 et avec passage de l'hydrogène gazeux.

Doświadczenie II. (26/IV—26/V).

Wykiełkowano w trocinach roślinki pomidorów odmiany Pionier i umieszczono w słojach z pożywką o tyle inaczej niż poprzednio, że zostawiono górną część korzeni w powietrzu, nad pożywką. Ułożono następujące kombinacje: I) Niewietrzone z próchnicą i bez próchnicy, II) Wietrzone z próchnicą i bez niej. Rośliny miały przez dwa tygodnie wynurzoną górną część korzeni, przez następne dwa tygodnie $\frac{2}{3}$ długości korzeni wynurzone były z pożywki. Szyję korzeniową każdej rośliny obłożono mokrą watą. Próchnicę dodawano stopniowo, jak w poprzednim doświadczeniu. Powtórzeń 3.

W pierwszym okresie rośliny wietrzone górowały nad wszystkimi innymi tak wzrostem, jak i intensywnością zieleni. Pod koniec doświadczenia kultury niewietrzone z dodatkiem próchnicy prawie zrównały się z wietrzonymi, podczas gdy niewietrzone bez próchnicy pozostały małe i żółte. Jednakże i te ostatnie po wynurzeniu korzeni cokolwiek poprawiły swą zielen. Likwidacja nastąpiła po miesiącu.

TABLICA VII.

Rodzaj kultury	pH	rH	Pomiary długości roślin w cm						Waga 3 roślin (z jednego słoja) w gramach	
			pędy		korzenie		pędy	korzenie		
I. Niemietrzono										
a) bez próchnicy										
1.	5,28	22,8	21,5	23	22,5	12	11	12	0,81	0,20
2.	5,54	23,3	13	15	14,5	13,5	10,5	9,5	0,32	0,10
3.	5,54	23,5	10,5	9	7,5	9,5	10	10,5	0,20	0,05
Srednia suchej masy									0,444±0,186	0,117±0,044
b) z próchnicą										
1.	6,47	24,6	28,5	29,5	29	15	16	15,5	1,35	0,37
2.	5,91	23,6	25	19	24	12,5	13	12,5	0,72	0,19
3.	5,97	23,8	27,5	31	29	13	12,5	14	1,07	0,24
Srednia suchej masy									1,047±0,182	0,267±0,054
Współczynnik $\frac{b}{a}$									2,4	2,3
II. Wietrzono										
a) bez próchnicy										
1.	7,05	24,3	32,5	39	37	14	13,5	21	2,12	0,36
2.	7,2	24,6	37	35,5	36,5	14	16	15	1,66	0,25
3.	7,05	24,3	27	36	37	15,5	14,5	13	1,26	0,20
Srednia suchej masy									1,677±0,247	0,27±0,047
b) z próchnicą										
1.	6,95	24,1	32	36	34,5	14,5	12,5	13,5	1,76	0,33
2.	6,8	24,1	31	33,5	32	14	17	14,5	1,25	0,23
3.	6,8	24,1	34	34	30	17	15	13	1,51	0,24
Srednia suchej masy									1,507±0,147	0,267±0,032
Współczynnik $\frac{b}{a}$									0,9	1

Wyniki tego doświadczenia, chociaż obarczone dużym błędem średnim (mało powtórzeń) wskazują przeciwieństwo na słuszność wniosków, wyprowadzonych z doświadczenia poprzedniego. Efekt stymulacyjny próchnicy występuje w kulturach niewietrzonych, natomiast zanika zupełnie w wietrzonych. Korelacja z wielkością rH , mierzona w pożywce z dodatkiem próchnicy jest niepewna, wyniki leżą w granicach błędu. Wartość pH jest tym wyższa im lepszy jest rozwój roślin, leży jednak w granicach umożliwiających normalny wzrost pomidorów. Wartość ta zatem jest skutkiem a nie przyczyną rozwoju, względnie zahamowania rozwoju roślin. Tym samym nie gra ona roli w działaniu próchnicy.

D o ś w i a d c z e n i e III. (2/VI—7/VII).

Następne doświadczenie założono celem przekonania się czy, względnie jak dalece działanie próchnicy jest uzależnione od stopnia wynurzenia korzeni z pożywki. Użyto tej samej odmiany pomidorów. W czterdziestu słojach umieszczono po 3 małe roślinki zanurzone w pożywce po szyję korzeniową. Wietrzono codziennie przez przelewianie słoików. Roślinki zazieleniły się i rosły dobrze. Piątego dnia dokonano zróżnicowania kultur według następującego schematu:

I Niewietrzone

- 1) Wynurzone bez próchnicy i z próchnicą
- 2) Zanurzone bez próchnicy i z próchnicą

II Wietrzone

- 1) Kombinacje identyczne jak
- 2) przy niewietrzonych.

Użyto tej samej próchnicy i w tej samej ilości. W kombinacji: I, 1) oraz II, 1) wynurzono korzenie roślin mniej więcej do połowy a po 10 dniach odlano ze słoików jeszcze część pożywki. W miarę wyparowywania dolewano wszędzie rozcieńczonej pożywki do stałego poziomu.

W pierwszym okresie zauważyć można było lepszy rozwój roślin wietrzonych. Zabiegu tego dokonywano przy pomocy aspiratora codziennie przez 5 minut. Najgorzej przedstawiały się kultury niewietrzone zanurzone. Następnie wyróżniać się zaczęły bardzo wyraźnie doskonałym rozwojem rośliny w kulturach wietrzonych, wynurzonych z próchnicą. Największe różnice w kulturach z próchnicą i bez próchnicy uwydatniły się na roślinach wynurzonych. Natomiast pomiędzy wietrzonymi, zanurzonymi z próchnicą i bez niej w owym czasie (2 tygodnie po zróżnicowaniu kultur) różnic zauważyć nie można było.

Następnie, w czasie upałów, temperatura w szklarni pomimo cieniowania tak się podniosła, że wietrzenie okazało się niewystarczające i niektóre rośliny wietrzone pożółkły. Zastosowano dwukrotnie wzmożone wietrzenie, co uratowało sytuację tylko częściowo. W konsekwencji powstały tak wielkie różnice indywidualne, że kultury wietrzone stały się prawie bezwartościowe dla doświadczenia.

Wyniki liczbowe przedstawia tabela.

TABLICA VIII.

Rodzaj kultur	Waga suchej masy 3 roślin (z jednego słoja)		Współczynnik $\frac{b}{a}$	
	pędy	korzenie	pędy	korzenie
<i>I. Niewietrzone</i>				
1. Wynurzone				
a) bez próchnicy	0,784 ± 0,128	0,178 ± 0,049	3,3	2,6
b) z próchnicą	2,594 ± 0,353	0,472 ± 0,081		
2. Zanurzone				
a) bez próchnicy	0,504 ± 0,130	0,061 ± 0,028	3,5	3,5
b) z próchnicą	1,750 ± 0,247	0,212 ± 0,039		
<i>II. Wietrzone</i>				
1. Wynurzone				
a) bez próchnicy	0,914 ± 0,462(!)	0,148 ± 0,08 (!)	3,1	2,8
b) z próchnicą	2,832 ± 0,278	0,412 ± 0,033		
2. Zanurzone				
a) bez próchnicy	0,846 ± 0,292(!)	0,112 ± 0,044(!)	1,9	1,9
b) z próchnicą	1,600 ± 0,201	0,212 ± 0,025		

Wyniki liczbowe części drugiej doświadczenia (kultury wietrzone), wykazują ogromny błąd średni z pomiarów roślin, wyrosłych w kulturach bez próchnicy. Przyczyna leży zapewne w tym, iż tlen był w minimum nawet w pożywkach wietrzonych. Dlatego prawdopodobnie uwidocznił się wpływ próchnicy (choć mniejszy) także i w kulturach wietrzonych. Efekt ten jednak odnosi się tylko do części roślin, rosnących w tych kulturach, co znajduje właśnie swój wyraz w błędzie średnim.

Z doświadczenia wynika, że działanie próchnicy uwidocznia się tak w kulturach roślin o zanurzonych korzeniach, jak i wynurzonych. Nie chodzi zatem o dolne lub górne partie korzeniowe. Ponadto, jak w poprzednich doświadczeniach, widać, że działanie próchnicy jest wybitne w kulturach niewietrzonych.

Ponieważ wyłoniła się możliwość iż próchnica po prostu adsorbuje trujące produkty przemiany materii, więc założono porównawcze doświadczenie z węglem aktywnym.

D o ś w i a d c z e n i e IV (10/VI—15/VII).

Użyto pomidorów odmiany „Rakowickie“. Kielkowano w piasku. Pożywka i dawkowanie próchnicy (tej samej) jak poprzednio. Węgla aktywnego (puriss.) dodano jednorazowo szczyptę do odpowiednich kultur. Pożywki nie wietrzono, rośliny były zanurzone po szyję korzeniową. Powtórzeń 4.

Po kilku dniach rośliny w kulturach z węglem pożółkły, stan ich do końca był gorszy, niż w kontroli. Natomiast w kulturach z próchnicą po 10 dniach można było zauważyć lepszy rozwój. Po miesiącu działanie próchnicy było bardzo wyraźne. Rośliny były większe i znacznie lepsze w kolorze.

W czasie trwania doświadczenia w miarę ubytku pożywki ze słoik dolewano rozcieńczonej pożywki. W ciągu ostatnich kilku dni, pomimo panujących upałów, pożywki nie dolewano i wówczas w miarę wynurzania się korzeni powstawały coraz większe różnice na korzyść kultur z próchnicą. Równocześnie powiększały się różnice indywidualne pomiędzy poszczególnymi powtórzeniami tej samej kombinacji. W mimencie likwidacji rośliny, hodowane na pożywce z dodatkiem próchnicy przedstawiały obraz całkowicie różny od roślin wyrosłych w kulturach kontrolnych, czy z dodatkiem węgla. Pierwsze były zdrowo rozwinięte i dochodziły do $\frac{1}{2}$ m długości pędu, wykazywały przy tym duże różnice indywidualne, podczas gdy rośliny z kultur kontrolnych, jak również z dodatkiem węgla dochodziły zaledwie do 20 cm wzrostu, były żółte i miały wygląd chorej, natomiast nie wykazywały dużych różnic indywidualnych.

TABLICA IX.

Rodzaj kultur	Waga suchej masy 3 roślin (z jednego słoja) w gramach		Współczynnik w stosunku do kontroli	
	pędy	korzenie	pędy	korzenie
Kontrola	0,413±0,044	0,044±0,011		
Węgiel aktywny	0,265±0,022	0,024±0,004	0,6	0,5
Próchnica	1,842±0,755	0,285±0,121	4,5	6,5

Doświadczenie uczy, że węgiel aktywny w warunkach niedostatku tlenu działa ujemnie, próchnica zaś dodatnio.

Bujny rozwój roślin w kulturach z próchnicą po wynurzeniu korzeni wskazał na możliwość tłumaczenia mechanizmu działania próchnicy w ten sposób, iż próchnica powoduje szybsze powstawanie korzeni przybyszowych, które ratują roślinę przy niedostatku tlenu w pożywce. Rzeczywiście pomidor niezmiernie łatwo tworzy korzenie przybyszowe, które, rosnąc w powietrzu, względnie w wierzchnich warstwach pożywki, mają dobre warunki tlenowe. Aby sprawdzić tę hipotezę nastawiono doświadczenie następujące:

Doświadczenie V (27/VII—13/VIII).

Kombinacje

A) Kultury wietrzone

- 1) Kontrola.
- 2) Z pastą próchniczną na części podliścieniowej łodygi.
- 3) Z próchnicą w pożywce.
- 4) Próchnica w pożywce, część podliścieniowa smarowana masłem kakaowym.

B) Kultury niewietrzone

- 1)
- 2) Kombinacje identyczne jak w A).
- 3)
- 4)

Smarowanie części podliścieniowej masłem kakaowym miało na celu zapobieżenie przy pomocy neutralnego środka tworzeniu się korzeni przybyszowych, względnie utrudnienie oddychania tworzącym się korzeniom. Smarowanie lanolinową pastą, zawierającą 0,1% próchnicy (dodano w formie humianu II) zastosowano, aby zaobserwować, czy pod tym wpływem tworzyć się będą korzenie oraz jaki ten proces wywrze ewentualnie wpływ na rozwój całej rośliny. Pomidory zanurzono po szyję korzeniową; w czasie trwania doświadczenia dolewano rozcieńczonej pożywki. Użyto pomidorów odmiany „Rakowickie”. Kielkowano w piasku. Zresztą warunki jak poprzednio.

Z początku zaznaczyły się ogólnie różnice między kulturami wietrzonymi i niewietrzonymi na korzyść wietrzonych. Rośliny bar-

dziej zielone i większe. Prawie równocześnie zaczęły się różnicować pomiędzy sobą kultury niewietrzone. Kontrolne i smarowane próchnicą nie wykazywały żadnych różnic, natomiast z dodatkiem próchnicy do pożywki rozwijały się lepiej — również i te gdzie zastosowano smarowanie masłem kakaowym. Korzenie przybyszowe pojawiły się bardzo szybko i musiano zabieg zmarowania masłem kakowym powtarzać kilkakrotnie. Usuwano przy tym mechanicznie powstające korzonki. Smarowanie pastą próchniczną nie wywołało żadnego wogóle skutku.

Przed likwidacją stan był następujący: A) 1. Rośliny zielone, wzrost dobry. 2) Jak kontrola. 3. Zielone, rozwój bardzo dobry. 4. Zielone, wzrost nierówny, trochę gorszy niż kontrola. B) 1 i 2 rośliny zupełnie nie wyrosnięte, żółte, korzenie jednak zdrowe. 3. Zielone, zdrowe i prawie tak duże, jak kontrola wietrzonych. 4) Cokolwiek mniejsze i bledsze od poprzednich.

TABLICA X.

Rodzaj kultur	Waga suchej masy 3 roślin (z jednego słoja) w miligramach		Współczynnik względem kontroli	
	pędy	korzenie	pędy	korzenie
A) Kultury wietrzone				
1. Kontrola	328 ± 19	46 ± 8		
2. Pasta próchnicza na hipokotylu	332 ± 38	—	1	—
3. Próchnica w pożywce	380 ± 17	62 ± 5	1,2	1,3
4. Próchnica w pożywce masło kakaowe na hip.	254 ± 31	—	0,8	—
B. Kultury niewietrzone				
1. Kontrola	74 ± 6	15 ± 2		
2. Pasta próchnicza na hipokotylu	70 ± 8	—	0,9	—
3. Próchnica w pożywce	252 ± 40	36 ± 7	3,4	2,4
4. Próchnica w pożywce masło kakaowe na hip.	202 ± 14	—	2,7	—

Zatym efektu działania próchnicy nie można tłumaczyć pośrednim wpływem przez stymulację wytwarzania korzeni przybyszowych. Doświadczenie nie wyklucza, że ten względ ma pewien wpływ, wykazuje jednak zarazem, że nie na tym polega istota rzeczy.

Poza tym doświadczenie wykazuje ponownie, że działanie próchnicy uwidocznia się przy braku tlenu w pożywce, niknie natomiast przy intensywnym wietrzeniu. Dodatek próchnicy umożliwia pomidorom rozwój w kulturach niewietrzonych.

Pomiary nie-biologiczne.

Potencjometrycznie stwierdzono, iż pH próchnicy I wynosiło 6,5, wartość pH próchnicy II wynosiła 6,7, rH 20.

pH w pożywce Uspenskiego wykazywało wartość 6,9, rH ok. 25—26. Pomiarów rH tej rozcieńczonej pożywki przy pomocy posiadanego „jonometru“ Lautenschlaegera nie uważam za pewne.

Pożywka dla pomidorów, według H a m p e i T r u f f a u t, sporządzona na wodzie destylowanej wykazywała wartość pH 5,6—5,4, natomiast sporządzona na wodzie wodociągowej (taka była używana do doświadczeń) miała z początku pH ok. 7,4, następnie kwasota jej w ciągu kilku tygodni stale spadała, by w końcu osiągnąć wartość podobną, jak przy wodzie destylowanej. Wielkość rH ulegała z biegiem czasu też pewnym wahaniom, które jednak nie miały tak prawidłowego przebiegu. Waha się ona w granicach 23—27. Pomiary były robione w różnym czasie w warunkach niesterylnych jednakże niesprzyjających rozwojowi organizmów, gdyż z wykluczeniem związków organicznych oraz bardzo silnym ograniczeniem dostępu światła. Nie wyklucza to jednak możliwości infekcji i wegetacji pewnych drobnoustrojów, które mogły wpływać w pewnej mierze na zmianę badanych wielkości.

Dodatek takich ilości humianów, jakich używano do doświadczeń z glonami i z pomidorami zmienia pH pożywek najwyżej o 0,1, potencjał zaś oksydacyjno-redukcyjny obniżał o kilka mV. Przy dodaniu większej ilości próchnicy oczywiście potencjał obniża się znacznie. Własności redukcyjne związków próchnicznych wobec silnych utleniaczy są dobrze znane, przekonano się też, że dodatek niewielkich ilości próchnicy, stosowanych w doświadczeniach wegetacyjnych, wpływa wyraźnie na utlenialność pożywki, mierzoną metodą nadmanganianową. Natomiast wpływu utleniającego próchnicy na pożywki redukowane przy pomocy wody siarkowodorowej, względnie hydrosiarczyny sodowego, nie uchwyciono. Dla przykładu podaję następujące doświadczenia:

Utlenialność pożywki Uspenskiego.

Przeprowadzono oznaczenia stereotypową metodą manganometryczną, używaną przy analizie wody w Państwowych Zakładach Higieny.

I. Pożywka bez próchnicy.

Kolba nr 1	— — —	1,2 ml 1/100 n KMnO_4
„ „ 2	— — —	0,7 „
„ „ 3	— — —	1,0 „

II. Pożywka z dodatkiem 0,8 ml próchnicy II na 100 ml (jak w doświadczeniach z gałęzatką).

Kolba nr 1	— — —	23,6 ml 1/100 n KMnO_4
„ „ 2	— — —	22,4 „
„ „ 3	— — —	23 „

W zasadzie badana pożywka nie wykazuje więc własności redukcyjnych wobec nadmanganianu potasu. Minimalne zużycie nadmanganianu podczas gotowania pochodzi zapewne od zanieczyszczeń stosowanych odczynników. Natomiast mały dodatek próchnicy wzmacnia utlenialność bardzo wydawnie.

Utlenialność pożywki Hampe i Truffaut.

Oznaczenia przeprowadzono w podobny sposób.

I. Pożywka bez próchnicy.

Kolba nr 1	— — —	22,4 ml 1/100 n KMnO_4
„ „ 2	— — —	23,6 „
„ „ 3	— — —	22,4 „

II. Pożywka z dodatkiem 1 ml próchnicy II na 100 ml (jak w doświadczeniach z pomidorami).

Kolba nr 1	— — —	39,8 ml 1/100 n KMnO_4
„ „ 2	— — —	35,6 „
„ „ 3	— — —	37,4 „

Oznaczeń manganometrycznych utlenialności pożywek z dodatkiem wody utlenionej przeprowadzić nie można ze względu na rozkład KMnO_4 w obecności H_2O_2 . Pomiary elektrometryczne potencjału redox tak z użyciem wody utlenionej, jak i wody siarkowodorowej (trucizna elektrodowa) nie dały wyników jednoznacznych.

Natomiast można było uchwycić redukcję wywołaną hydro-siarczynem sodowym. Śledzono obniżanie się potencjału oraz następne podnoszenie się na skutek utlenienia tlenem powietrza w obecności i bez próchnicy.

Do 12 erlenmeyerek rozlano po 100 ml pożywki H a m p e i T r u f f a u t i ułożono następujące cztery kombinacje w 3 powtórzeniach: 1) Kontrola, 2) + 1 ml próchnicy II 3) + 0,1 ml rozcieńczonego roztworu hydrosiarczynu sodowego, 4) + 0,1 ml hydrosiarczynu + 1 ml próchnicy II. Mierzono potencjał redox i kwasotę roztworów trzykrotnie w ciągu 4 dni elektrometrycznie jonometrem Lautenschlägera.

TABLICA XIII.

	Dzień I		Dzień II		Dzień IV	
	pH	rH	pH	rH	pH	rH
Kontrola						
1	5,8	26,6	5,7	27,3	5,7	—
2	5,9	25,8	5,8	27,6	5,7	27,8
3	5,9	26,3	5,8	26,9	5,7	27,7
+ próchnica						
1	6,0	26,7	5,8	26,1	5,7	27,3
2	5,9	26,3	5,8	26,1	5,7	27,1
3	5,9	26,8	5,8	26,0	5,6	27,7
+ Na ₂ S ₂ O ₄						
1	5,5	21,7	5,7	21,3	5,7	23,3
2	5,5	21,7	5,7	20,8	5,7	23,0
3	5,5	21,7	5,7	20,8	5,7	23,1
+Na ₂ S ₂ O ₄ +próchnica						
1	5,7	21,6	5,7	20,0	5,7	23,1
2	5,7	21,6	5,7	20,0	5,7	23,1
3	5,7	21,7	5,7	20,0	5,7	23,1

Dodatek drobnych ilości próchnicy nie wpływa hamująco na redukcję pożywki przez hydrosiarczyn sodowy oraz nie przyspiesza utlenienia pożywki.

O m ó w i e n i e w y n i k ó w.

Opisane doświadczenia wskazują, iż wpływ fizjologiczny małych ilości próchnicy zależy od warunków oksydacyjno-redukcyjnych środowiska, względnie podłoża rośliny. Wpływ ten występuje wówczas, gdy albo potencjał oksydacyjno-redukcyjny środowiska (podłoża) jest dla organizmu roślinnego zbyt wysoki albo zbyt niski,

względnie, gdy występuje brak tlenu w pożywce. Stwierdzono przy tym, że owe małe ilości próchnicy mogą działać środowiskowo, redukując silne utleniacze, natomiast nie stwierdzono działania środowiskowego próchnicy w wypadku niewietrzenia pożywki, względnie stosowania drobnych dawek siarkowodoru. Jest to zrozumiałe, gdy zważy się odpowiedni rząd wielkości. Skoro używana w doświadczeniach próchnica wykazywała wartość rH ok. 20 nie można się spodziewać aby podwyższała potencjał redox powyżej własnej wartości. Redukcja zaś pożywek podczas doświadczeń z pomidorami nie dochodziła do tych granic. Natomiast stosowane utleniacze były rzędu o wiele wyższego, to też wpływ środowiskowy dał się w tym wypadku uchwycić bądź to potencjometrycznie, bądź miareczkowo. Ten środowiskowy, redukcyjny wpływ okazał się korzystny dla badanych glonów w wypadku stosowania wody utlenionej, natomiast szkodliwy dla *Rhizobium leguminosarum*, który to organizm wymaga szczególnie wysokiego potencjału redox środowiska. Tym środowiskowym, redukcyjnym wpływem tłumaczyć, być może, należy szkodliwe działanie większych koncentracji próchnicy na mikroorganizmy (G u m i ń s k i 1947), chociaż obok potencjału redox należałoby w tym wypadku koniecznie uwzględnić w odpowiednich badaniach tzw. potencjały biologiczne.

Nie ulega jednak wątpliwości, że drobne ilości próchnicy wywierają bardzo korzystny wpływ na rozwój badanych glonów oraz pomidorów przy braku tlenu w pożywce, względnie w obecności trutecznej oddechowej, jaką jest siarkowodor (w warunkach zbyt redukcyjnych?). Rosnące w kulturach niewietrzonych pomidory w porównaniu z tymi, które, aczkolwiek również nie wietrzone, otrzymały dodatek próchnicy do pożywki, sprawiały wrażenie chorych, podczas gdy w tych samych warunkach żyjące rośliny, które otrzymały dawkę próchnicy, rozwijały się pomyślnie, jakby leczone odpowiednim lekarstwem (awitaminoza?). Współczynnik wzrostowy na korzyść próchnicy przekracza w kulturach niewietrzonych liczbę 3, natomiast w kulturach wietrzonych różnica między roślinami wyrosłymi na pożywce z dodatkiem, względnie bez dodatku próchnicy utrzymuje się w granicach błędu doświadczalnego.

Stwierdza się, że dodatek drobnych ilości próchnicy w złych warunkach tlenowych pożywki, chociaż nie wpływa na rH środowiska (podłoża) to jednak umożliwia roślinom badanym pomyślny rozwój; *mutatis mutandis* powiedzieć można, że próchnica zastępuje wietrzenie pożywki.

Nie chodzi przy tym o własności adsorbcyjne próchnicy, jak to wykazuje doświadczenie z węglem aktywnym, ani też o jakiś wpływ pośredni przez stymulację tworzenia korzeni przybyszowych, co wyjaśnia ostatnie doświadczenie z pomidorami. Próchnica wywiera wpływ tak na korzenie dolne, jak i na górne, co było przedmiotem specjalnego doświadczenia ze względu na wyniki G u m i ń s k i e j. Być może, iż korzenie górne wrażliwsze są na niedostatek tlenu i dlatego autorka otrzymała wyniki dodatnie przy stosowaniu próchnicy jedynie wtedy, gdy zanurzała rośliny całkowicie w pożywce; prawdopodobnie w doświadczeniach G u m i ń s k i e j niedostatek tlenu był mniejszy. Za tłumaczeniem tego rodzaju przemawia fakt plagiotropizmu korzeni górnych.

Zjawiska opisane można tłumaczyć dwojako — albo próchnica, używana do doświadczeń zawiera jakieś szczególne ciała o charakterze biokatalizatorów, albo sama pełni tę rolę. Praca niniejsza już w swoim założeniu nie była nastawiona na rozwiązywanie zagadnienia co w próchnicy działa — nie daje też odpowiedzi na to pytanie. Ponieważ jednak wyniki opisanych badań pozwalają stwierdzić, iż efekt fizjologiczny próchnicy przejawia się wyraźnie w złych warunkach tlenowych, a niknie w dobrych, więc na tej podstawie można rozważyć przypuszczalne zależności skutków fizjologicznych próchnicy od jej, znanych z piśmiennictwa, własności fizyko-chemicznych.

Otóż Z e t s c h k e i R e i n h a r d t podają (cyt. według L a a t s c h'a, 1944), iż kwasy huminowe, zredukowane wodorem in statu nascendi przechodzą w leuko-związki, poczym gwałtownie utleniają się spowrotem pod wpływem tlenu powietrza, przybierając poprzednią brunatną barwę. Kwas huminowy zatem, według Z e t s c h k e'g o i R e i n h a r d t'a przedstawia odwracalny układ oksydo-redukcyjny.

Ponieważ wartość rH używanych pożywek była wyższa, aniżeli samej próchnicy, próchnica mogła była działać w wypadku zbyt słabego natlenienia pożywki chyba jedynie wewnątrz organizmu. Dane B r o o k s'a (1930), i K r a s s i n s k i e g o (1936) zdają się potwierdzać tę hipotezę. Wymienieni autorzy znaleźli dla soku komórkowego oraz protoplazmy badanych przez siebie roślin wartości rH pomiędzy 17 i 18.4. Teoretycznie jest więc możliwe, że próchnica pełni wewnątrz organizmu roślinnego rolę odwracalnego układu oksydacyjno-redukcyjnego, być może w procesie oddychania. Przy normalnych warunkach tlenowych próchnica zdaje się nie mieć dla przemiany materii pomidorów żadnego znaczenia, przemiana ta przebiega może inaczej. Wskazuje na to fakt, iż próchnica nie działa

w kulturach niewietrzonych natychmiast, przeciwnie — rośliny w takich kulturach z dodatkiem próchnicy również żółkną, względnie bledną, podobnie jak w kontroli. Dopiero po pewnym czasie zaznacza się poprawa — równocześnie ukazują się korzenie przybyszowe. Odnosi się wrażenie, jakoby przez pewien czas roślina przedstawiała się na nowe warunki, w których proces oddychania jest utrudniony i w których próchnica dopomaga do zwalczania tych trudności.

W świetle tych rozważań zasadnicze sprzeczności wyników badań Niklewskiego z jednej strony i Terlikowskiego z drugiej zanikają. Jeśli przyjąć, iż autorowie ci pracowali w różnych warunkach tlenowych podłoża, to zrozumiałe jest że wyniki ich badań były zupełnie odmienne. Trzeba przy tym pamiętać o różnej wrażliwości badanych gatunków roślin na warunki tlenowe podłoża. Być może, że tym tłumaczą się też wyniki badań Hilitzera nad wpływem związków próchnicznych na rozwój różnych roślin (1932). Autor ten wykazał duże różnice w reagowaniu kilku gatunków roślin na związki próchniczne. Jeśli chodzi o antagonistyczne, względnie analogiczne działanie próchnicy i żelaza to zważywszy na odwrotne układy oksydo-redukcyjne $Fe^{+++} \rightleftharpoons Fe^{++}$ oraz próchnicy ciemnej i leuko-próchnicy, sprzeczności w wynikach badań Uspenskiego i Wojciechowskiego można uznać za pozorne.

Wpływ próchnicy na azotobaktera polega, przede wszystkim na działaniu zawartych w próchnicy mikroelementów. Jednak, zdaniem Bassalika (1933) mikroelementy nie tłumaczą zjawiska całkowicie. Byłoby rzeczą interesującą zbadać wpływ próchnicy zawierającej żelazo i molibden, względnie wanad oraz próchnicy pozbawionej tych pierwiastków w warunkach wysokiego i niskiego potencjału redox.

W wyniku opisanych doświadczeń wyłania się potrzeba przeprowadzenia doświadczeń nad wpływem próchnicy na rozwój roślin o różnej wrażliwości na niedostatek tlenowy w podłożu przy jednoczesnym kontrolowaniu tego niedostatku, następnie zaś wynika potrzeba doświadczeń nad wpływem drobnych ilości próchnicy rozpuszczalnej na glebach zwięzłych w porównaniu z glebami przewiewnymi.

STRESZCZENIE.

Rozważono sprzeczności oraz niejasności wyników badań różnych autorów odnośnie działania drobnych ilości próchnicy na organizmy roślinne, a także i zwierzęce.

Przeprowadzono szereg doświadczeń z mikroorganizmami (*Coelastrum*, *Pediastrum*, *Cladophora*, *Rhizobium leguminosarum*) oraz roślinami wyższymi (pomidorami). Stwierdzono, że efekt fizjologiczny próchnicy zależny jest od warunków oksydacyjno-redukcyjnych środowiska (podłoża). Przy dobrym wietrzeniu wodnych kultur pomidorów wpływ próchnicy nie uwidocznił się zupełnie, natomiast w złych warunkach tlenowych dodatek 0,002% humianu sodowego wywoływał ogromny efekt, umożliwiając roślinom normalny rozwój.

Wobec silnych utleniaczy odgrywa próchnica rolę środowiskową, jako reduktor, przy braku tlenu natomiast, względnie w obecności siarkowodoru, bierze prawdopodobnie udział w wewnątrz-tkanekowych procesach oksydo-redukcyjnych, pozwalając roślinie rozwijać się w tych niekorzystnych warunkach. Czy rolę tę pełni sama próchnica, czy biokatalizatory, wewnątrz niej zawarte, tego praca niniejsza nie rozstrzyga. Ze względu na to jednak, że próchnica jest układem odwracalnym oksydo-redukcyjnym (Z e t s c h k e i R e i n h a r d t według L a a t s c h'a, 1944), przypuszcza się, że efekt fizjologiczny wywołuje sama próchnica.

Opisane doświadczenia usuwają zasadnicze sprzeczności w wynikach badań różnych autorów, pracujących nad wpływem próchnicy na organizmy roślinne.

Praca niniejsza wykonana została w Zakładzie Fizjologii Roślin Uniwersytetu Wrocławskiego. Pani Prof. Dr H e l e n i e K r z e m i e n i e w s k i e j składam serdeczne podziękowanie za cenne uwagi. Pani Dr O l d z e K o s t e c k i e j dziękuję za koleżeńską pomoc przy wykonywaniu niektórych doświadczeń.

RESUME

Dans ce travail ont été discutées certaines contradictions et manques de clarté dans les résultats des recherches des nombreux auteurs, qui vaint examiné l'efficacité des petites quantités de l'humus soluble sur l'organisme végétale.

On a executé plusieurs expériences avec les microorganismes (*Coelastrum microporum*, *Pediastrum*, *Cladophora sp.* *Rhizobium leguminosarum*) ainsi qu'avec des plantes superieures (tomates). Les algues étaient cultivées dans une solution nutritive selon U s p e n s k i (1927), *Rhizobium* sur un substrat mineral-sucré, les tomates dans des cultures aquatiques avec une solution nutritive selon H a m p e (1939). On a pu constater, que l'effet physiologique de

l'humus depend des conditions de la respiration, relativement des conditions oxydo-reductives du milieu (substrat). L'influence de l'humus ne se manifestait point sur les tomates tirées dans des cultures aquatiques bien aérées, par contre, si les quantités d'oxygène étaient insuffisantes, une dose 0.002% de l'humate de soude produisait un effet enorme. L'addition des petites quantités du soluble humus exerçait un rôle pareil a l'aération du liquide nutritif.

On a trouvé qu'en presence des forts oxidateurs l'humus joue un rôle miliereux comme réducteur, a defaut d'oxygène, ou en présence de l'hydrogène sulfuré, il prend probablement part dans des procès oxydo-réductifs interieurs des cellules, permettant aux plantes de se développer dans cetttes conditions désavantageuses. L'ouvrage présent ne decide pas si c'est l'humus lui même ou bien certains biocatalisateurs contenus la dedans exercent cet rôle. Cependant, par égard au fait que l'humus constitue un systeme oxydo-réductif réversible (Z e t s c h k e et R e i n h a r d t après L a a t s c h 1944), ou suppose, que l'effet physiologique mentionné est produit par l'humus lui-même.

Les experiments descripts éliminent les contradictions principales entres les résultats précédents des divers auteurs, qui ont travaillé sur l'influence de l'humus sur les organismes végétales.

PIŚMIENICTWO:

1. B a s s a l i k K. i N e n g e l a n e r J. 1933. Acta Soc. Bot. Pol. 10, 481—493.
2. B o r t e l s H. 1929. Angew. Bot. 11, 285.
3. B o t t o m l e y W. B. 1920. Ann. of Botany 34, 345—358
4. B r o o k s M. M. 1930. Protoplasma 19, 505—509.
5. G e r i c k e W. F. The coplete Guide to soils gardening, New York, Prentice-Hall Inc. 1946.
6. G ó r s k i M. 1949. Nawozy organiczne. Warszawa. Państw. Zakłady Wydawn.
7. G u m i ń s k i S. 1947. Acta Soc. Bot Pol. 18, 91—115.
8. H a m p e P. 1939. Les solutions nutritives pour cultures dans l'eau. Revue Horticole Suisse. 12. Nr. 3.
9. H i l i t z e r A. 1932. Beih. z. Bot. Centralbl. (B. B. C.) 49, 467,
10. K o v a t s J. 1938. Bull. d. l'Acad. d. Sc. Cracovie. Ser. B. 91—112,
11. K r a s s i n s k y N. 1936. Protoplasma. 25, 41.
12. K r z e m i e n i e w s k a H. 1910. Bull d. l'Academie. d, Sc, Cracovie, Ser, B, 376—413,
13. K r z e m i e n i e w s k i S. 1908. Bull. d. l'Academie d. Sc, Cracovie, Ser. B. 929.
14. K r z e m i e n i e w s k i S. i K o v a t s J. 1936. Bull. d. l'Academie de Sc. Cracovie. Ser. B. 169—195.

15. L a a t s c h W. 1944. Dynamik d. deutschen Acker-u. Waldböden. Dresden—Leipzig.
16. N i k l e w s k i B. 1949. Nawożenie roślin na Ziemiach Polskich. Instytut Wydawniczy Ruchu Ludowego „Polska“. Warszawa.
17. N i k l e w s k i B. i E y s y m o n t t J. 1938. Roczn. Nauk. Roln. i Leśn. 45, 191.
18. N i k l e w s k i B. i W o j c i e c h o w s k i J. 1938. Acta Soc. Bot. Pol. 15, nr 2.
19. N i k l e w s k i B. i W o j c i e c h o w s k i J. 1947. Acta Soc. Bot. Pol. 18, 65—90.
20. N i k l e w s k i B., W o j c i e c h o w s k i J., K e m p i a n k a W. 1948. Roczn. Nauk. Roln. i Leśn. 50, 251—270.
21. N i k l e w s k i B. i W o l n i c k a J. 1937. Bull. d. l'Acad. d. Sc, Cracovie. Ser. B. 147.
22. N i k l e w s k i B., W ó j c i k ó w n a Z., P e s t k a M. 1939. Acta Soc. Bot. Pol. 16, 97.
23. P r i n g s h e i m E. G. 1936. Beih. z. Bot. Centrbl. (B, B, C), 55, 100—121.
24. S c h m i d R. 1937. Archiv. f. Dermatol. u. Syph, 175, 344—353.
25. T e r l i k o w s k i F. i B y c z k o w s k i. 1938. Roczn. Nauk. Roln. i Leśn. 45, 271—302.
26. T r u f f a u t G. et H a m p e P. 1938. Nos essais de culture dans l'eau. Jardinage.
27. T r u f f a u t G. et H a m p e P. 1938. Les cultures dans l'eau et la science. Jardin.
28. U s p e n s k i E. E. 1927. Pflanzenforschung, 9.
29. W i l s o n P. W. and K n i g h t S. G. 1948. Experiments in Bacterial Physiology p. p. 58. Minneapolis, Burgess Publ. Co.
30. W o j c i e c h o w s k i J. 1948. Rozpr. Pol. Ak. Umiej. 73, dz. B, 26 str,