Teoretyczne podstawy upraw hydroponicznych

Les fondements théoriques des cultures hydroponiques

ZOFIA GUMIŃSKA

Uprawy hydroponiczne, wprowadzone do ogrodnictwa przez Gerick e'go (1946) nie są jedynie ulepszoną, czy też bardziej praktyczną metodą kultur wodnych. Należałoby je nazwać raczej uprawami powietrzno-wodnymi. W istocie uprawy te są próbą przewyciężenia sprzeczności w wymaganiach korzeni roślin, sprzeczności ich wymogów w stosunku do warunków wodnych z jednej strony i powietrznych z drugiej. Ta od dawna znana ogrodnikom i rolnikom sprzeczność stosunkowo niedawno stała się przedmiotem badań fizjologicznych poświęconych problemom parcia korzeniowego oraz mechanizmu pobierania soli mineralnych. Wykrycie powiązań pomiędzy pobieraniem soli mineralnych i oddychaniem korzeni oraz pomiędzy pobieraniem soli mineralnych i parciem korzeniowym w korelacji z oddychaniem korzeni może być uważane za teoretyczny fundament upraw hydroponicznych, które pomyślane są w ten sposób, iż przy optymalnych warunkach wodnych oraz przy luksusowym żywieniu mineralnym zapewniać mają korzeniom roślin równocześnie optymalne warunki powietrzne.

Usunięte zostają przy tym trudności związane ze zdobyciem i przygotowaniem odpowiedniej gleby dla roślin, odpadają kłopoty z wymianą tej gleby, niejednokrotnie też ułatwiona zostaje walka ze szkodnikami roślin, które z tą glebą przychodzą i w niej mają swoje siedlisko. Dlatego też uprawy hydroponiczne nazywane bywają uprawami bezglebowymi. Nazwa ta jest formalnie słuszna, ale nasuwa niesłuszne sugestie jakoby wartość tych upraw polegała w istocie na pozbyciu się kłopotów z glebą. Uprawy hydroponiczne przynoszą także i te korzyści, ale należy tu wyraźnie podkreślić słowo „także”. Główną wartością uprawy hydroponicznej jest raczej sukces w pokonaniu trudności uprawowych, wpływających ze sprzeczności wymagań korzeni co do warunków wodnych i powietrznych.

Jak wiadomo, sprzeczność tę rozwiązują uprawy hydroponiczne w ten sposób, że szyja korzeniowa rośliny tkwi w porowatej, wilgotnej ściółce,

znaczna część systemu korzeniowego znajduje się w przesyconym wilgocią powietrzu, a tylko dolna partia korzeni zanurzona jest w wodnym roztworze soli mineralnych. W tym ujęciu ściółka jest złem koniecznym, wynikającym stąd, że roślina musi mieć jakiś punkt oparcia, trzeba ją jakoś umocować; ponadto wilgotna ściółka, a raczej woda zawarta w ściółce potrzebna jest dla pobudzenia roślin do tworzenia korzeni przybyszowych. Otóż w tej ściółce tkwi niebezpieczeństwo odrodzenia sprzeczności wymagań korzeni w stosunku do czynnika wody i do czynnika tlenu.

W literaturze odnoszącej się do upraw hydroponicznych znajdujemy sprawozdania z sukcesów i trudności, znajdujemy też liczne poszukiwania drogi wyjścia z tych trudności. Poszukiwania te idą w zasadzie drogą empiryzmu, a ich rezultatem są rozmaite modyfikacje praktyczne upraw hydroponicznych. W wielu wypadkach modyfikacje te stają się nie do przyjęcia z punktu widzenia ekonomicznego, czasami zaś uprawy z nieświadomych przyczyn w ogóle się nie udają. Niejednokrotnie też ogrodnicy zniechęcają się do nich zupełnie lub też traktują je jako nieopłacalną zabawę.

W szczególności trudności powstają przy objawach zagniwania szyjki korzeniowej, względnie przy ogólnych objawach patologicznych, wyrażających się zahamowaniem, wzrostu roślin i skłonnością do chorób o nieokreślonej etiologii, co nasuwa podejrzenia intoksykacji własnymi produktami przemiany materii. Celem uniknięcia tych objawów stosuje się zmianę ściółki, natlenia się, przepompowuje względnie zmienia pożywkę w różnych typach hydroponików, co opisuje Douglas J. Sholto (1959). Zabiegi te podwyższają znacznie koszt uprawy i nie zawsze przynoszą odpowiednie rezultaty.

W Ogrodzie Botanicznym we Wrocławiu prowadzone są uprawy hydroponiczne od 8 lat, przy czym częściowo w oparciu o wyniki własnych prac teoretycznych prowadzonych od 1945 roku (1950, 1953 a, 1953 b), a częściowo na drodze empirycznej (Z. Gumińska i M. Gracz 1963) wypracowano własną metodę.

Metoda ta opiera się na następujących zasadach: Jako ściółki używa się mieszaniny torfu ogrodniczego z żużlem. Roztworem żelaza polewa się przede wszystkim ściółkę nie zadowolając się obecnością soli żelazowych w pożywce, wlewanej do basenu. Przy przeciwskazaniach ogrodniczych w stosunku do częstego zraszania ściółki stosuje się dodatek do pożywki związków chelatowych — wersenianu sodu (tzw. EDTA) lub preparatów humusowych. Nie stosuje się ani wietrzenia pożywki, ani jej zmieniania, natomiast bada się często pH i w miarę potrzeby reguluje kwasowość stosując zależnie od potrzeby techniczny kwas fosforowy, względnie wodę amoniakalną. Pożywkę dolewa się do stałego poziomu w miarę jej ubywania w basenie.

W tych warunkach rośnie w uprawach hydroponicznych Ogród Bo-

tanicznego we Wrocławiu około 100 gatunków roślin obok siebie w jednej i tej samej pożywce, bez zmiany ściółki od 5 i więcej lat. Używa się trzech roztworów odżywczych: wg H a m p e'a (1938) względnie G e r i c k e'go (1946) wreszcie modyfikacje pożywek wyżej wymienionych z własnymi uzupełnieniami (1963), przy czym nie obserwuje się istotnych różnic we wzroście i zdrowotności roślin przy użyciu tych pożywek. Stosując tę metodę, opisaną szczegółowiej w kilku artykułach popularnonaukowych (Przegląd Ogrodniczy 1958 nr 5 i 6, 1960 nr 5 i 6, 1961 nr 5 i 6, Hasło Ogrodniczo-Rolnicze 1962 nr 5 i 10, Biuletyn Ogrodów Botanicznych 1960, 1962), zdołano z powodzeniem przeprowadzić między innymi wieloletnie uprawy goździków, które uważane były dotychczas za rośliny najbardziej kapryśne w uprawach hydroponicznych (G u m i ń s k a i G r a c z 1963). Hydroponiki Ogrodu Botanicznego dają bardzo dobre efekty z punktu widzenia zarówno uprawowego, jak też i gospodarczego i nie nastęrczają tych trudności, o których była mowa powyżej.

Ażeby empiryczne osiągnięcia oprzeć na racjonalnych podstawach, należało przeprowadzić systematyczne studia fizjologiczne nad teoretycznymi podstawami upraw hydroponicznych. Za punkt wyjścia posłużyły wyniki własnych badań wstępnych nad uprawą warzyw w kulturach wodnych (1950) oraz wyniki naszych prac, poświęconych wyjaśnieniu stymulującego wpływu związków próchnicznych na wzrost roślin (1953 a, 1953 b, 1962), jak również szereg prac innych badaczy, poświęconych badaniom nad powiązaniem pomiędzy oddychaniem korzeni i pobieraniem przez nie wody i soli mineralnych.

Wyniki własnych prac dostarczyły następujących informacji: Górna część systemu korzeniowego pomidorów (wraz z szyją korzeniową) wydaje się szczególnie wrażliwa na niedostatek tlenu, przy czym istnieją dane, że reguła ta odnosi się do wielu gatunków roślin. Korzenie, które rozwijały się przy bezpośrednim dostępie powietrza atmosferycznego, nie znoszą zanurzenia we wodzie (pożywce), natomiast bezpośredni dostęp powietrza do korzeni wyrosłych w wodzie (pożywce) nie jest dla nich szkodliwy pod warunkiem zachowania odpowiedniej wilgotności powietrza. Przy niezbyt głębokich basenach (niezbyt wysokim poziomie pożywki) wietrzenie pożywki bądź jej ruch (przepływ) wydaje się bez znaczenia, jeśli używa się ściółki torfowej oraz przy przestrzeganiu zasady sukcesywnego dodawania soli żelazowych przez zraszanie nimi ściółki. Istotne znaczenie wydaje się mieć torf używany jako materiał do ściółki.

Przegląd literatury, dotyczący pobierania wody i soli mineralnych przez korzenie roślin oraz oddychania korzeni, przedstawiony został w znakomity sposób w III, IV, XII i XVI tomie encyklopedii fizjologii roślin wydanej przez R u h l a n d a (1956, 1958, 1960, 1961); przegląd ten obejmuje najważniejsze pozycje literatury do ostatnich lat. Syntetycznie

ujęte referaty pozwalają dojść do wniosku, że liczne prace poświęcone powiązaniom pomiędzy oddychaniem korzeni i pobieraniem przez nie wody i soli mineralnych nastawione były na badanie tych zagadnień w poszczególnych fragmentach jednego korzenia, brak jest natomiast wyczerpujących badań nad funkcjami poszczególnych partii systemu korzeniowego jako całości.

K r a m e r (1956 b) analizując wyniki szeregu autorów konkluduje, że najintensywniej pobiera wodę ta część korzenia, w której już wykształcony jest naleyście ksylem, a nie nastąpiła jeszcze suberyzacja skórki. Strefa najsilniejszej akumulacji jonów soli mineralnych odpowiada części merystematycznej wierzchołka wzrostu, jednakże w służbie całego organizmu największą rolę w absorpcji soli zdaje się odgrywać odcinek położony wyżej, mniej więcej ten sam, który jest najbardziej aktywny przy pobieraniu wody. W tej okolicy właśnie, względnie trochę powyżej występują liczne włosniki. K r a m e r nie wyraża jednak przekonania jakoby włosniki korzeniowe były głównym organem pobierania wody i soli mineralnych, gdyż nie ma na to dowodów. Według H ö h n a (1934) cytowanego przez K r a m e r a, włosniki nie mają istotnego znaczenia dla pobierania wody przez korzenie w kulturach wodnych. K r a m e r (1956 b) sądzi natomiast, że takiego znaczenia mogą nabierać w glebach nie nasyconych wodą. Szczególniej obficie i okazale wykształcają się włosniki w powietrzu przesyconym parą wodną, natomiast w kulturach wodnych wykształcają się słabo.

Pobieranie wody i soli mineralnych przez korzenie uzależnione jest na ogół w wysokim stopniu od dostępu tlenu do korzenia. „Inadequate aeration is the most single common of injury to roots and reduction in their capacity to absorb water and minerals” pisze K r a m e r (1956, Ruhland III str. 206). Istnieje wiele prac poświęconych temu zagadnieniu, pomimo tego nie wszystko wydaje się w tej sprawie jasne. Zagadnienie przewietrzania pożywek w kulturach wodnych omawia dosyć szeroko S c h r o p p (1951) w swej monografii poświęconej doświadczeniom wegetacyjnym w szczególności kulturom wodnym. Autor podkreśla, że wietrzenie kultur jest równocześnie mieszaniem pożywki, co ma istotne znaczenie dla roślin ze względu na wytrącanie się osadu nierozpuszczalnych soli. Nie zawsze zdajemy sobie sprawę, czy wietrzenie działa na rośliny przez dostarczenie tlenu, czy przez usunięcie nadmiaru dwutlenku węgla, czy też przez dostarczenie korzeniom nie sięgającym dna naczynia pierwiastków mineralnych zawartych w osadzie. Stąd sprzeczności w wynikach badań różnych autorów. B e r g m a n (1959) cytuje w swoim referacie o zależności roślin od stężenia tlenu i dwutlenku węgla w środowisku, następujące sprzeczne wyniki: F r e e (1917) wykazał, że kultury wodne udają się dobrze zarówno wtedy, gdy pożywkę przewietrza się za pomocą strumienia powietrza, jak też samego tlenu lub same-

go azotu, a Stiles i Jorgensen (1917) zastępowali z powodzeniem wietrzenie kultur wodnych hreczki przez cotygodniowe odnawianie pożywki. Do przeciwnych wniosków doszli Andrews (1921) i Allison (1922), według których wietrzenie pożywki kultur wodnych hreczki daje swoiste i pozytywne wyniki. Knight (1924) uzyskał sprzeczne wyniki w doświadczeniach z kukurydzą: przy uprawie glebowej wietrzenie podłoża wpływało korzystnie na wzrost roślin, natomiast w kulturach wodnych wietrzenie nie dawało efektu. (Cytuję za Bergmanem 1959).

Schropp podaje w swojej wzmiankowanej wyżej monografii wyniki doświadczeń z kulturami wodnymi kukurydzy i jęczmienia. Efekt fizjologiczny wietrzenia alternatywnego tlenem, powietrzem pozbawionym dwutlenku węgla względnie azotem, był różny w zależności od rodzaju użytej pożywki oraz w zależności od gatunku rośliny.

Na podstawie analizy wyników prac różnych autorów Kramer (1956) dochodzi do wniosku, że niedostatek tlenu w podłożu jest częściej czynnikiem ograniczającym wzrost roślin aniżeli nadmiar dwutlenku węgla, jednakże i ten czynnik należy brać pod uwagę.

Efekt fizjologiczny wietrzenia pożywki zależy oczywiście od gatunku uprawianych roślin. Klasycznym przykładem rośliny odpornej na niedostatek tlenu w podłożu jest ryż. Korzenie tej rośliny rosną przy braku tlenu zupełnie dobrze, co van Raalte (cytuje za Bergmanem 1959) tłumaczy zdolnością przeprowadzania procesów fermentacyjnych. Jednakże Kramer pisze o tym w następujący sposób (1956 Ruhland III str. 207): „According to Alberda (1953) downward transport of oxygen in rice plants is somewhat restricted after the stem has elongated and oxygen is supplied to the deeper roots by a mat of fine roots formed at the surface of the water”. Szereg roślin wodnych i błotnych ma urządzenia anatomiczne, które pozwalają korzeniom zaopatrywać się w tlen przez dyfuzję tego gazu z nadziemnych części roślin. Niewątpliwie jednak różnice w metabolizmie korzeni różnych gatunków roślin mają zasadnicze znaczenie dla vegetacji korzeni przy niedostatku tlenu w podłożu. Wyraźnie wskazują na to wyniki porównawczych studiów nad kukurydzą i pomidorami, przeprowadzone przez Gumińskiego, Buczkę i Badurę (1959).

Jak wynika z badań Gumińskiego i współpracowników (1957, 1959) oraz Stabrowskiej (1960), pomidory można uważać za przykład rośliny szczególnie wrażliwej na niedostatek tlenu w podłożu. Szczegółowe badania nad efektem fizjologicznym przewietrzania pożywki w kulturach wodnych pomidorów przeprowadził Erickson (1946). Z badań tych wynika, że siewki pomidorów rosną najlepiej, gdy pożywka przewietrzana jest strumieniem powietrza o normalnym stężeniu tlenu. Obniżenie stężenia tlenu działało wybitnie niekorzystnie na wzrost roślin; podwyższenie stężenia tlenu było obojętne z wyjątkiem bardzo

wysokich stężeń, które również hamowały wzrost. Znaczne powiększenie stężenia dwutlenku węgla działało hamująco na wzrost, ale działanie to w porównaniu do efektu obniżenia stężenia tlenu było słabe. Według Durella (1941) maksimum wzrostu korzeni i owoców pomidorów otrzymuje się przy niższym natężeniu wietrzenia pożywki, aniżeli to jest potrzebne dla uzyskania maksymalnego rozwoju łodyg i liści pomidorów.

Gilbert i Shive (1942) obserwowali toksyczne działanie tlenu w pożywce w stosunku do korzeni soi. Toksyczne działanie występowało przy stężeniu 8 p.p.m., ale tylko wówczas, gdy azot podany był w pożywce w formie azotanowej, nie występowało natomiast przy solach amonowych.

Changi i Loomis (1945) (cyt. za Woodford i Gregory 1948) wykazali, że wysokie stężenie dwutlenku węgla w pożywce hamuje wyraźnie pobieranie potasu, mniej zaś azotu, fosforu, wapnia i magnezu.

Jest rzeczą oczywistą, że wyniki takich badań są uzależnione od objętości naczynia, wysokości słupa cieczy, wielkości powierzchni dyfuzyjnej pożywki, wielkości masy korzeni w danej objętości naczynia, jak również od temperatury.

Ponadto wietrzenie może wywoływać większy lub mniejszy skutek fizjologiczny przede wszystkim z dwóch względów: 1. W zależności od sposobu przyrządzania pożywki utrzymuje się w roztworze większa lub mniejsza ilość żelaza, co może mieć zasadnicze znaczenie dla roślin nie sięgających korzeniami dna naczynia (Czerwiński oraz Gumiński, Gumińska i Sulej prace w przygotowaniu). Wietrzenie zatem może mieć w pewnych okolicznościach znaczenie przede wszystkim jako mieszanie pożywki. 2. W zależności od stosowania azotanów lub soli amonowych głód tlenowy nie jest identyczny, co wyjaśniły w znacznej mierze prace Shive'go i Stahl'a (1927), Arnona (1937), Stabrowskiej (1959) oraz Gumińskiego (1957); według Gumińskiego azotany kompensują w pewnym stopniu niedostatek tlenu w procesie oddychania.

Powiązania pomiędzy pobieraniem soli mineralnych oraz wody i oddychaniem korzeni stały się w okresie ostatnich trzydziestu kilku lat przedmiotem ożywionych badań. Ogólne omawianie literatury dotyczącej mechanizmu tych powiązań nie byłoby tutaj celowe; wystarczy wskazać na obszernie artykuły syntetyczne zamieszczone w Handbuch der Pflanzenphysiologie Ruhlanda, napisane przez Kramera (1956a) i Robertsona (1958) oraz na artykuł Gumińskiego (1959).

Niektóre jednak prace muszą być wspomniane z uwagi na to, że stanowią bezpośrednią podbudowę pod przedsięwzięte badania własne.

Woodford i Gregory (1948) przeprowadzili doświadczenia z siewkami jęczmienia, w których oznaczali pobieranie jonów K^+ , NO_3^- ,

H_2PO_4^- , w zależności od stężenia pożywki oraz od stężenia tlenu. Autorzy wykazali, że w miarę podwyższania się stężenia tlenu w powietrzu, którym przewietrzano pożywkę, intensywność pobierania jonów K^+ i NO_3^- wzrastała, przy czym efekt ten ujawniał się wyraźnie jedynie w przedziale od 0—5% O_2 . Wpływ stężenia tlenu był znaczny przy dużym stężeniu pożywki, nieznaczny zaś przy małym stężeniu. Maksymalne natężenie oddychania nie było równoznaczne z maksymalnym pobieraniem jonów. Siewki jęczmienia rosły dobrze przez pewien czas w warunkach anaerobowych, jeśli stężenie pożywki było dostatecznie duże. W przeciwieństwie do wyników otrzymanych z jonami potasu i z jonami azotanowymi, wyniki dotyczące pobierania fosforanów w zależności od stężenia tlenu dały obraz niejasny.

Wyniki Woodforda i Gregorego znalazły wielorakie potwierdzenie w różnych pracach szeregu badaczy, zajmujących się różnymi problemami. I tak np. Stabrowska (1959) przekonała się, że wśród różnych gatunków roślin uprawnych jęczmień istotnie ma stosunkowo małe wymagania co do wietrzenia pożywki. Fosforany zaś uważamy dziś za jony pobierane raczej biernie (wraz z prądem transpiracyjnym) w przeciwieństwie do czynnie (metabolicznie) pobieranych jonów potasowych i azotanowych (Kisser 1956). W związku z tym trzeba jednak zaznaczyć, iż Wilkinson i Lindsay (1953) wykazali za pomocą fosforu znaczonego ^{32}P , iż pierwiastek ten zanim porwany zostanie prądem transpiracyjnym do łodygi, przed tym przedostaje się do poszczególnych partii systemu korzeniowego, wbrew kierunkowi przepływu prądu wodnego w roślinie.

Funkcje fizjologiczne poszczególnych części systemu korzeniowego jako całości omawiane są w literaturze bardzo pobieżnie. Weawer (1938) w swoim podręczniku ekologii przedstawia dane przemawiające za tym, iż rośliny pobierają wodę oraz sole mineralne młodymi korzonkami o cienkiej nieskorkowaciałej skórce, w zasadzie niezależnie od tego, czy są to korzenie wglębne, rosnące ortotropowo, czy też powierzchniowe, rosnące plagiotropowo. Na ogół nie czyni się różnic między korzeniami osiowymi i bocznymi, względnie pierwotnymi i wtórnymi odnośnie ich zdolności do pobierania wody i soli mineralnych. Jednakże Weawer zauważa, iż u zbóż w okresie kłoszenia się i dojrzewania korzenie wglębne pobierają wodę szczególnie intensywnie.

Natomiast sposób wykształcenia się systemu korzeniowego w zależności od działania czynników zewnętrznych omawiany jest szeroko zarówno przez Weawera (1938), jak też przez szereg autorów w ramach dzieła Handbuch d. Pflanzenphysiologie. Stwierdza się przy tym, że młode rozwijające się korzenie adaptują się u wielu gatunków łatwo do konkretnych warunków, natomiast po wykształceniu się pewnych form

korzeni stają się one niezdolne do wykonywania swych funkcji, jeśli zmieniają się warunki ich bytowania. Przystosowanie do tych nowych warunków zależy od tego, czy korzenie mają możliwość dalszego wzrostu, a tym samym wytwarzania nowych, ukształtowanych w nowych warunkach, partii korzeniowych.

Osobnym zagadnieniem przy rozpatrywaniu teoretycznych podstaw wrocławskiej metody hydroponicznej była rola torfu jako materiału używanego do ściółki. Sorpcja wody i soli mineralnych przez torf w ogólności jest rzeczą znaną w naukach rolniczych i przeprowadzanie badań w tym kierunku nie wydawało się celowe. Natomiast należało poddać analizie ewentualność specyficznego efektu związków próchnicznych, które mogłyby być wypłukiwane z torfu w uprawach hydroponicznych.

Jak wynika z poprzednich naszych badań nad fizjologicznym efektem tzw. humianu sodowego (Gumiński 1950, Gumiński i Gumińska 1953 a, 1953 b), korzystny wpływ tej substancji na wzrost i rozwój siewek pomidorów objawia się jedynie w niewietrzonych kulturach, nie występuje natomiast w kulturach wietrzonych. Kontynuacja tych badań doprowadziła do stwierdzenia, że humian stymuluje w pewien sposób proces oddychania w tkankach roślinnych (Gumiński i współpracownicy 1955, Gumińska 1958), który to wynik pozostawał w zgodzie z pracami Christiewy (1953), Flaiga (1955) oraz Śmidowej (1960).

Następnie pod wpływem prac DeKocka (1955) zwróciliśmy uwagę na chelatyzujące własności humianu (1962). Nasuwała się zatem potrzeba zbadania, czy ściółka torfowa może mieć znaczenie jako źródło podobnych, fizjologicznie czynnych substancji próchnicznych.

Wreszcie należało wziąć pod uwagę barwę torfowej ściółki hydroponicznej. Sprawa ta nabierała szczególnego znaczenia z uwagi na wyniki pracy Starzeckiego (1962) nad rolą miękiszu palisadowego oraz miękiszu gąbczastego w procesie asymilacji dwutlenku węgla. Jak wynika z badań Starzeckiego, znaczenie światła docierającego od dołu do miękiszu gąbczastego musi być specjalnie wzięte pod uwagę i w związku z tym barwa ciemna ściółki mogłaby mieć specyficzne znaczenie.

Zestawiając rezultaty tych badań teoretycznych z empirycznymi osiągnięciami w uprawach hydroponicznych, postawiono sobie za cel:

1. Poznanie zależności pobierania wody i soli mineralnych przez korzenie oraz wzrostu roślin od dostępu tlenu do części systemu korzeniowego zanurzonej w pożywce względnie pozostającej ponad pożywką.

2. Zbadanie właściwości torfu używanego do ściółki hydroponicznej z punktu widzenia jego oddziaływania na organizm.

METODYKA OGÓLNA

Doświadczenia wykonywano w szklarniach Ogrodu Botanicznego we Wrocławiu. Temperatura w szklarniach wahała się w dość znacznych granicach, podawanych przy poszczególnych doświadczeniach; to samo dotyczy wilgotności powietrza. Oświetlenie w zasadzie było naturalne, jednakże w niektórych wypadkach posługiwano się dodatkowym oświetleniem jarzeniowym i żarowym, co także zaznaczono w poszczególnych wypadkach.

Jako pożywki używano roztworu odżywczego wg Hampe'a (1938) zmodyfikowanego pod względem składu mikroelementów: nie stosowano jodku potasu, natomiast dodawano 0,0006 g na litr soli miedzi i tyleż samo soli molibdenu. Za obiekty doświadczałne służyły siewki bądź też kilkutygodniowe rośliny pomidorów odmiany „Stenora”.

Skład używanej pożywki na 1 litr wody wodociągowej:

$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0,142 g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0,284 g
KNO_3	0,568 g
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0,710 g
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$	0,116 g

H_3BO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, po 0,0006 g

OPIS I WYNIKI POSZCZEGÓLNYCH DOŚWIADCZEŃ

I. Badania wymogów i funkcji górnej i dolnej części systemu korzeniowego

Siewki pomidorów hodowano przez dwa tygodnie w kulturach wodnych w ten sposób, że górna część korzeni z szyją korzeniową pozostawała nad pożywką, tak że ta część pokrywała się masą włóśników. Pomidory wyselekcjonowano przez ważenie, dobierając okazy o jednakowym ciężarze świeżej masy. Wybrane okazy umieszczono po jednym w aparatach doświadczalnych. Każdy aparat składał się z dwu cylindrów szklanych umieszczonych jeden na drugim w sposób luźny. Cylinder górny stanowiła rura długości 6 cm i średnicy też 6 cm, zamknięta z obu stron korkami gumowymi. W korkach wywiercono centralne otwory dosyć szerokie (średnicy 1 cm) na to, aby przez nie można było swobodnie przesunąć korzenie roślin doświadczalnych. Prócz tego w górnych korkach zrobiono dwa dodatkowe otwory, przez które przesunięto dwie rurki szklane z doszlifowanymi kranami. Ściany wewnętrzne górnych cylindrów wyłożone były bibułą, a na dolnym korku przyklejono małe naczynko szklane przeznaczone na ług sodowy, który wlewano w odpowiednim momencie przez jedną z rurek. Przez centralne otwory w korkach górnych cylindrów przewlekano ostrożnie korzenie roślin. W górnym cylindrze rośliny umieszczano w ten sposób, że szyjka korzeniowa

Ryc. 1. Kultury doświadczalne. Widok ogólny doświadczenia
Les cultures expérimentales. Coup d'oeil sur l'expérience

znajdowała się 2 cm nad dolnym korkiem cylindra. W ten sposób w górnym cylindrze znajdowała się szyjka korzeniowa, korzenie do 2 cm poniżej szyjki korzeniowej oraz 2 cm odcinek łodygi powyżej szyjki korzeniowej. Około 1 cm cylindra od góry i dołu zajmowały korki gumowe. Otwory w korkach, przez które przełożono korzenie, uszczelniano watą i masłem kakaowym. Następnie różnicowano obiekty doświadczalne na dwa szeregi:

1. Górne cylindry wypełniano wodą przy pomocy wyżej wspomnianych rurek, przetkniętych przez korki. Po wypełnieniu cylindrów wodą, jedną rurkę łączono z butlą zawierającą azot i wprowadzano ten gaz pod ciśnieniem do cylindra, przy czym woda wylewała się równocześnie przez drugą (krótką) rurkę. Z kolei przez jedną z rurek wprowadzano do naczynka umieszczonego na spodzie cylindra 10 ml 2n NaOH, a odpowiednia ilość azotu uchodziła przez drugą rurkę. Natychmiast potem zamykano krany przy obu rurkach, uszczelniając w ten sposób wilgotną komorę, w której pozostawała górna część systemu korzeniowego. Wywiązujący się przy oddychaniu beztlenowym dwutlenek węgla wiązany był przez ług, nie było więc obawy o zmianę ciśnienia w cylindrze.

2. W drugim szeregu obiektów doświadczalnych nie wlewano wody do cylindrów górnych, lecz od razu napełniano dane naczynka ługiem, po czym jedną z rurek łączono z naczyniem miarowym zawierającym tlen. To naczynie z kolei połączone było z butlą z wodą, której poziom był odpowiednio uregulowany. Przy oddychaniu roślin wydzielal się dwutlenek węgla i zaraz ulegał absorpcji przez ług sodowy. Na miejsce pochłanianego tlenu napływała odpowiednia ilość tego gazu z naczynia miarowego, stopniowo wypełniając się wodą z butli. W ten sposób ciśnienie w całym układzie pozostawało bez zmian.

W obu szeregach obiektów doświadczalnych ustawiono górne cylindry w sposób luźny na cylindrach miarowych, wypełnionych pożywką. Tak więc na początku doświadczenia dolna część systemu korzeniowego roślin była całkowicie zanurzona w roztworze odżywczym. W miarę pobierania

pożywki górna część korzeni w dolnym cylindrze wynurzała się nieco z pożywki (ryc. 1). Po siedmiu dniach wegetacji roślin w opisanych aparatach rejestrowano, względnie badano następujące funkcje dolnych i górnych części systemu korzeniowego:

1. Pobranie wody i soli mineralnych przez dolne partie korzeni, notując ilość pożywki pobranej z dolnych cylindrów oraz analizując pozostałą pożywkę.

2. Oddychanie górnych części systemu korzeniowego, przy czym notowano:

a) ilość pobranego tlenu w szeregu roślin (gdzie do górnego cylindra dopływał tlen) przez odczyt na cylindrze ilości wody (w ml) wypartej z butli,

b) ilość wydzielonego CO_2 , którą w obu szeregach oznaczano przez miareczkowanie $2n \text{ H}_2\text{SO}_4$ wobec fenolfaleiny, a następnie metyloranzu, przy czym ilość użytego H_2SO_4 do miareczkowania w obecności oranżu metylowego mniej ilość H_2SO_4 zużytego do miareczkowania w obecności fenolfaleiny określała ilość wydzielonego CO_2 ; 1 ml tej różnicy zużytego $2n \text{ H}_2\text{SO}_4 = 44,5 \text{ ml CO}_2$.

Stężenie jonów azotanowych i fosforanowych oznaczano za pomocą kolorymetru Langego, stosując dla oznaczania azotanów kwas fenolodwusulfonowy, a dla fosforanów molibdenian amonu. Potas i wapń oznaczano posługując się fotometrem płomieniowym. Ponadto oznaczano suchą masę roślin doświadczalnych ważąc osobno pędy i osobno korzenie.

Poniżej podano wyniki jednego z typowych doświadczeń, podczas którego rośliny wegetowały w opisanych aparatach przez 7 dni, przy temperaturze wahającej się w granicach pomiędzy $20\text{--}25^\circ\text{C}$, wilgotności powietrza około 80% i przy oświetleniu naturalnym, właściwym dla miesiąca lipca we Wrocławiu. Doświadczenie przeprowadzano w 5 powtórzeniach (tabela 1).

Jak widać z tabeli 1, rośliny, których górna część systemu korzeniowego znajdowała się w dobrych warunkach tlenowych, pobrały dolnymi korzeniami znacznie więcej wody i pierwiastków mineralnych, a także bardziej urosły aniżeli te, których górna część systemu korzeniowego znajdowała się w atmosferze azotu (ryc. 2). Równocześnie jest widoczne, że intensywność oddychania górnej części systemu korzeniowego w dobrych warunkach tlenowych, mierzona ilością wydzielonego CO_2 , była dwukrotnie wyższa aniżeli w atmosferze azotu. Ubocznie można zanotować, iż współczynnik oddechowy w normalnym powietrzu był zbliżony do jedności (= 1,1).

Doświadczenie takie powtarzano sześciokrotnie, zawsze z podobnymi wynikami.

W opisanych powyżej doświadczeniach pożywka nie była przewietrzana, a dyfuzja gazów odbywała się przez stosunkowo niewielką po-

Tabela 1 — Table 1

Porównanie aktywności fizjologicznej roślin, których górna część systemu korzeniowego znajdowała się w powietrzu bądź w azocie. Średnie z 5 powtórzeń

La comparaison de l'activité des plantes avec la partie supérieure du système radical en air ou dans l'azote
Moyenne de 5 répétitions

W górnych cylindrach Dans les cylindres supérieurs	Powietrze L'air	Azot L'azote
Ilość pobranej pożywki Quantité de solution absorbée	19 ml $\pm 0,8$	12,5 ml $\pm 1,1$
Ilość pobranego P_2O_5 — fosforu Quantité de phosphore absorbé	1,4 mg $\pm 0,06$	0,95 mg $\pm 0,08$
Ilość pobranego NO_2 — azotu Quantité d'azote absorbé	5,7 mg $\pm 0,06$	3,8 mg $\pm 0,3$
Ilość pobranego K_2O — potasu Quantité de potassium absorbé	5,2 mg $\pm 0,4$	3,3 mg $\pm 0,28$
Ilość pobranego CaO — wapnia Quantité de calcium absorbé	4,45 mg $\pm 0,19$	2,9 mg $\pm 0,26$
Ilość wydzielonego CO_2 Quantité de CO_2 dégagé	20,0 ml $\pm 4,4$	10,0 ml $\pm 0,6$
Ilość pobranego O_2 Quantité de O_2 absorbé	19,0 ml $\pm 2,5$	
Sucha masa — pędy Poids de la matière sèche — pousses	83,0 mg $\pm 8,3$	57,4 mg $\pm 11,0$
Korzenie Des racines	23,0 mg $\pm 3,5$	14,4 mg $\pm 2,8$

Temperatura: 20–25°C.

Wilgotność: ok. 80%.

Czas trwania doświadczenia: 5–13.VII. 1960 r.

Temperature: 20–25°C.

L'humidité: environ 80%.

Durée d'expérience: 5–13.VII. 1960

Tabela 2 — Table 2

Sucha masa pędów i korzeni roślin hodowanych w kulturach o pożywkach wietrzonych i niewietrzonych

Średnie z 5 powtórzeń

La matière sèche des pousses et des racines des plantes des cultures aérées et non-aérées

Moyenne de 5 répétitions

Górna partia korzeni La partie supérieure des racines	Wietrzenie pożywki Aération de solution	Sucha masa w mg Matière sèche en mg	
		pęd pousse	korzeń racine
Brak tlenu Défaut d'oxygène	wietrzona aérée	431	145
Brak tlenu Défaut d'oxygène	nie wietrzona non-aérée	408	94
Powietrze Présence d'air	wietrzona aérée	650	149
Powietrze Présence d'air	nie wietrzona non-aérée	666	163
Przedział ufności (pewność 95%) Intervalle de confiance		174	35

Temperatura: 20–25°C.

Wilgotność: ok. 80%.

Czas trwania doświadczenia: 3–13.IV. 1962 r.

Temperature: 20–25°C.

L'humidité: environ 80%.

Durée d'expérience: 3–13.IV. 1962 r.

wierzchnię płynu w cylindrze miarowym. Stosunek wolnej powierzchni płynu do wysokości słupa cieczy przedstawiał się jak $28 \text{ cm}^2 : 20 \text{ cm}$.

Ażeby odpowiedzieć sobie na pytanie, czy wietrzenie pożywki, w której zanurzona jest dolna partia korzeni, może zastąpić niedostatek tlenu, na który cierpi górna część systemu korzeniowego, jeśli ją umieścić w azocie, założono podobne doświadczenie z tą modyfikacją, iż zróżnicowano kultury na wietrzone i nie wietrzone (wietrz. lub niewietrz. pożywki w dolnym naczyniu). Wietrzenie pożywki polegało na stałym, powolnym przepędzaniu powietrza przy pomocy motorka akwaryjnego. Doświadczenie z dwutygodniowymi roślinami pomidorów trwało 10 dni, przeprowadzano je w szklarni w temperaturze wahającej się od $20\text{--}25^\circ\text{C}$ i wilgotności powietrza około 80%, przy oświetleniu naturalnym właściwym dla miesiąca kwietnia we Wrocławiu.

Jak widać z tabeli 2, wietrzenie pożywki, w której zanurzona była dolna część systemu korzeniowego nie wywarło wyraźnego wpływu na wzrost pędów, różnice istotne wystąpiły tylko we wzroście korzeni i to jedynie wtedy, gdy górna część korzeni cierpiała na brak tlenu. Wyniki tego 10-dniowego doświadczenia stoją w pozornej sprzeczności z wynikami wielu doświadczeń wegetacyjnych bardziej długotrwałych, w których przekonaliśmy się, że w kulturach wodnych normalnych, gdy rośliny zanurzone są w pożywce po szyję korzeniową, zaniedbanie wietrzenia kultur powoduje zamieranie roślin, któremu można jednak zapobiec przez dodanie do pożywki humianu (Gumiński S., Gumińska Z. 1953 a i b). Ażeby wnikać głębiej w tę sprawę, założono doświadczenia z różnymi sposobami wietrzenia przy zastosowaniu kontroli stężenia tlenu w pożywce.

Siewki pomidorów, wyhodowane w piasku, po ukazaniu się dwu listków umieszczono w stereotypowych kulturach wodnych (rośliny zanurzone po szyję korzeniową) przy użyciu 1-litrowych słoików. Rośliny rosły w nich przez 5 tygodni, przy czym w każdym słoju wegetowały 3 siewki. Temperatura w szklarni wahała się od $15\text{--}25^\circ\text{C}$; wilgotność powietrza około 80%; oświetlenie naturalne właściwe dla grudnia i stycznia uzupełniane było światłem jarzeniowym i wahało się w granicach od 6 do 8 tysięcy luksów. Kultury zróżnicowano na następujące szeregi doświadczałne z sześcioma równoległymi powtórzeniami:

1) powietrze stale przepompowywano motorkiem przez rurki o średnicy 3 mm, 2) powietrze stale przepompowywano motorkiem przez rurki o średnicy 1 mm, 3) wietrzenie przez dwukrotne przelewanie pożywki w ciągu dnia ze słoja do słoja, 4) pożywki nie wietrzono zupełnie. Te same kombinacje założono dodając humianu sodowego w ilości 100 mg na 1 litr pożywki. Co tydzień mierzono stężenie tlenu w pożywce metodą Winklera, pobierając próbkę w dwie godziny po przelewaniu, 100 ml z połowy wysokości słoja. Z uwagi na dużą zawartość humianów w pożywce

próbki traktowano 1 ml KMnO_4 ; nadmiar nadmanganianu zredukowano kwasem szczawiowym.

Próbki do analiz brano zawsze z 2 słoĩ z poszczególnych kombinacji. Następnie obiekty te wyłączano z dalszego toku doświadczenia. W związku z tym na początku doświadczenia każda kombinacja zawierała 10 powtórzeń.

Tabela 3—Table 3

Wpływ różnych sposobów wietrzenia pożywki na suchą masę pędów i korzeni roślin hodowanych w kulturach wodnych (przy stałej kontroli stężenia tlenu), w temperaturze 15°C

Srednie z 6 powtórzeń

L'influence des différentes méthodes d'aération sur l'accroissement de la matière sèche des pousses et des racines des plantes des cultures, dans l'eau (avec une contrôle permanente de la concentration de l'oxygène) en température de 15°C

Moyenne de 6 répétitions

Sposób wietrzenia Les différentes aérations	Zawartość tlenu w mg/l pożywki Content d'oxygène mg/l de la solution		Sucha masa w mg Matière sèche en mg	
	16.I.	23.I.	pęd pousse	korzeń racine
1. Rurki o Ø 3 mm + humian Tubes de Ø 3 mm + humus	7,92	5,47	252,5	40,0
2. Rurki o Ø 3 mm, bez humianu Tubes de Ø 3 mm, sans humus	7,43	4,75	106,0	24,1
3. Rurki o Ø 1 mm + humian Tubes de Ø 1 mm + humus	7,23	4,70	179,1	38,3
4. Rurki o Ø 1 mm, bez humianu Tubes de Ø 1 mm, sans humus	5,74	4,32	265,0	48,3
5. Przelewanie + humian Transvasement + humus	5,47	4,51	176,0	41,6
6. Przelewanie bez humianu Transvasement sans humus	5,47	2,88	291,6	60,8
7. Nie wietrzone + humian Non-aérés + humus	5,65	4,23	352,5	62,5
8. Nie wietrzone, bez humianu Non-aérés, sans humus	5,65	3,82	146,6	30,8
Przedział ufności (pewność 95%) Intervalle de confiance			80,0	10,0

Temperatura: ok. 15°C.

Wilgotność: 80%.

Czas trwania doświadczenia: 11.XII.61 — 25.I.62.

Temperature environ: 15°C.

L'humidité: 80%.

Durée d'expérience: 11.XII. 1961 — 25.I. 1962.

Doświadczenia takie z pomiarami zawartości tlenu w pożywce powtarzano kilkakrotnie z podobnymi wynikami. W miarę wzrostu roślin zawartość tlenu malała, lecz zasadniczych różnic między pożywkami w różny sposób przewietrzanymi nie było. Tam, gdzie stale przepuszczano powietrze, poziom tlenu był nieco wyższy. Dodawanie humianu sodowego wpływało po dłuższym czasie dodatnio na zawartość tlenu, choć bezpośrednio po dadaniu humianu do pożywki zaznaczał się tam nawet nieco niższy poziom tlenu:

średnie z 6 powtórzeń: bez humianu 4,45 mg tlenu w 1 litrze,

średnie z 6 powtórzeń: z humianem 3,95 mg tlenu w 1 litrze.

Tabela 4 — Table 4

Wpływ różnych sposobów wietrzenia pożywki na suchą masę pędów i korzeni roślin hodowanych w kulturach wodnych w temperaturze ponad 25°C

Średnie z 6 powtórzeń

L'influence des différentes méthodes d'aération sur l'accroissement de la matière sèche des pousses et des racines des plantes des cultures dans l'eau en température au dessus de 25°C

Moyenne de 6 répétitions

Sposoby wietrzenia Les différentes aérations	Sucha masa w mg Matière sèche en mg	
	pęd pousse	korzeń racine
1. Nie wietrzone Non aérés	88,25	33,25
2. Nie wietrzone + humian Non-aérés + humus	260,65	86,88
3. Wietrzone przez przelewianie pożywki Aération par transvasement	454,00	99,25
4. Wietrzone przez przelewianie + humian Aération par transvasement + humus	316,00	92,50
5. Wietrzone przez rurki o Ø 1 mm, bez humianu Tubes de Ø 1 mm, sans humus	262,50	66,25
6. Wietrzone przez rurki o Ø 1 mm + humian Tubes de Ø 1 mm + humus	227,10	62,50
7. Wietrzone przez rurki o Ø 3 mm, bez humianu Tubes de Ø 3 mm, sans humus	426,25	99,00
8. Wietrz. przez rurki o Ø 3 mm + humian Tubes de Ø 3 mm + humus	321,13	74,88
Przedział ufności (pewność 95%) Intervalle de confiance	76,24	18,29

Temperatura: ponad 25°C

Wilgotność: 80%

Czas trwania doświadczenia: 11.IX. — 30.IX. 61.

Temperature au dessus de 25°C

L'humidité: 80%

Durée d'expérience: 11.IX. — 30.IX. 1961.

Nie znaleziono korelacji pomiędzy stężeniem tlenu w pożywce i wzrostem roślin. Stężenie tlenu było funkcją przede wszystkim temperatury, a więc dyfuzja gazów przez dużą stosunkowo powierzchnię płynu stanowiła główny regulator stężenia tlenu w pożywce. Wskazuje też na to szereg doświadczeń przeprowadzonych w wyższej temperaturze — ponad 25°C. W tej temperaturze wietrzenie dawało tym lepsze wyniki, im intensywniej je przeprowadzano. Przytoczę wyniki doświadczenia założonego analogicznie do wyżej opisanego, różniącego się tylko temperaturą szklarni.

Tabele 3 i 4 obrazują skutki wietrzenia w zależności od temperatury: w temperaturze około 15°C wietrzenie stałe motorkiem, rurkami o średnicy 3 mm działało ujemnie — dało niższą suchą masę niż w kontroli całkiem nie przewietrzanej. Takie same przewietrzanie, w temperaturze powyżej 25°C, dawało stymulujące działanie — prawie takie samo, jak przy wietrzeniu przez dwukrotne codzienne przelewianie. Dodatek 100 mg na 1 litr humianu sodowego działał dodatnio zarówno w kontroli nie

wietrzonej, jak i w wypadku ujemnego działania przewietrzania pożywki przez przepuszczanie powietrza przez rurki o średnicy 3 mm.

Przeprowadzono jeszcze jedno podobne doświadczenie, lecz tym razem zróżnicowano tempo przepuszczania powietrza przez pożywkę (tab. 5). Doświadczenie założono stereotypowo (tzn. korzenie roślin zanurzone były po szyję korzeniową). Silne wietrzenie okazało się znacznie mniej korzystne aniżeli delikatne przewietrzanie.

Tabela 5 — Table 5

Wpływ zróżnicowanego tempa wietrzenia pożywki na rośliny hodowane w kulturach wodnych (8. IV — 8. V. 1962 r.)

Średnia z 6 powtórzeń

L'influence des différentes intensités d'aération de la solution nutritive sur les plantes cultivées dans l'eau (8. IV — 8. V. 1962)

Moyenne de 6 répétitions

Sposób wietrzenia Les différentes aérations	Sucha masa w mg Matière sèche en mg	
	pęd pousse	korzeń racine
Wietrzenie silne motorkiem Forte aération par moteur	146	55
Tempo wietrzenia o połowę słabsze Aération ralentie de moitié	325	95
Wietrzenie przez przelewanie 2 razy dziennie Aération par transvasement 2 fois par jour	205	76
Nie wietrzone wcale Jamais aérés	66,0	26,0
Przedział ufności (pewn. 95%) Intervalle de confiance	40,1	14,6

Temperatura 15—18°C.
Wilgotność ok. 80%.
W 1 słoju 3 siewki pomidorów.

Temperature: 15—18°C.
Humidité: environ 80%.
Dans un pot 3 plantes.

W dalszych doświadczeniach ułożono warunki wegetacyjne roślin w ten sposób, że górną część systemu korzeniowego umieszczono w pożywce, dolną zaś w przesyconym parą wodną powietrzu lub porównawczo w atmosferze azotu, również przesyconej parą wodną. Technicznie wykonano to w sposób następujący: Doświadczenie przeprowadzano w aparacikach opisanych w pierwszym doświadczeniu; górny cylinder wypełniono pożywką i pozostawiono wolny dostęp powietrza do powierzchni płynu. Dolny cylinder wyłożono wewnątrz wilgotną bibułą. Po włożeniu roślin do aparatów zróżnicowano warunki w ten sposób, że w połowie liczby aparatów wypełniono dolne cylindry wodą, na miejsce której następnie wprowadzono azot, a w drugiej połowie aparatów pozostawiono w dolnych cylindrach powietrze. Wprowadzenia azotu i usunięcia wody w cylindrach pierwszej połowy aparatury dokonano przy pomocy rurek szklanych przełożonych przez górne naczynia i korek gumowy, który zamykał hermetycznie zarówno górne naczynie od dołu, jak też dolny cylinder od góry. Dobierając czterotygodniowe rośliny pomidorów z upraw

hydroponicznych o jednakowym ciężarze świeżej masy, przeprowadzono doświadczenie w siedmiu powtórzeniach. Równocześnie założono doświadczenie kontrolne w 3 powtórzeniach polegające na tym, że rośliny pozostawały w identycznych aparatach z tą różnicą, że górne naczynia zawierały wilgotne powietrze, zaś dolne cylindry nie wietrzoną pożywkę (jak w pierwszym, opisanym doświadczeniu). Ponadto pozostawiono dwa górne naczynia, napełnione pożywką bez roślin, celem zbadania intensywności parowania cieczy w warunkach identycznych, jak w doświadczeniu z roślinami. Rośliny pozostawały w aparatach przez 4 dni w temperaturze 20–25°C, przy wilgotności powietrza około 80% i przy naświetleniu naturalnym czerwca.

Tabela 6—Table 6

Przyrost świeżej masy oraz ilość pobranej pożywki przez rośliny w zależności od zmian środowiska wodnego i powietrznego w górnej oraz dolnej części ich systemu korzeniowego
L'accroissement de la matière fraîche et la quantité de la solution absorbée dans les différentes conditions de l'eau et de l'oxygène dans la partie supérieure et inférieure du système radicale

Warunki tlenowe Conditions d'oxygène	Ilość pobranej pożywki w ml Quantité de solution absorbée en ml	Przyrost świeżej masy w g Accroissement de la matière fraîche en g
W dolnym cylindrze pożywka, w górnym powietrze Dans cylindre d'inférieur: solution, supérieur: air	31,0±2,7	9,40±0,80
W dolnym cylindrze powietrze, w górnym pożywka Dans cylindre d'inférieur: air, supérieur: solution	18,5±0,8	1,59±0,07
W dolnym cylindrze azot, w górnym pożywka Dans cylindre d'inférieur: azote, supérieur: solution	17,5±0,6	1,73±0,06

Temperatura: ok. 20°C.

Wilgotność: ok. 80%.

Czas trwania doświadczenia: 26–30.VI. 1960

Średnie z 5 powtórzeń

Temperature: environ 20°C.

L'humidité: environ 80%.

Durée d'expérience: 26–30.VI. 1960

Moyenne de 5 répétitions

Poczyniono następujące obserwacje: Rośliny, których górna część systemu korzeniowego zanurzona była w pożywce, a dolna pozostawała bądź to w azocie, bądź w powietrzu, wykazały wyraźne zahamowanie we wzroście w porównaniu z tymi, których górna partia korzeni tkwiła w powietrzu, dolna zaś była zanurzona w pożywce. Ponadto zauważono, że na korzeniach dolnych pozostających w powietrzu, a także w azocie, po dwóch dniach ukazywać się zaczęła, widoczna gołym okiem, opilśń włóśników korzeniowych, natomiast wspaniała opilśń włóśników pokrywająca górne partie korzeni w momencie zakładania doświadczenia przestała być widoczna u tych roślin, których górną część korzeni włożono do pożywki. Po skończeniu doświadczenia stwierdzono przy pomocy mikroskopu, że stare włóśniki na górnej części korzeni zanurzonej do pożywki zginęły, natomiast tworzyć się zaczęły nowe nieliczne włóśniki, charakterystyczne dla korzeni zanurzonych w wodzie. Wyniki liczbowe

doświadczenia, w postaci przyrostu świeżej masy oraz pobrania pożywki przez rośliny, przedstawione są w tabeli 6. Nadmienić należy, że ilość pobranej pożywki obliczono z uwzględnieniem poprawki na parowanie pożywki (na podstawie pomiarów parowania z naczyń kontrolnych, bez roślin). Wyniki liczbowe przekonują, iż rośliny, których górna część systemu korzeniowego była zanurzona w pożywce, była istotnie zahamowana we wzroście w porównaniu z tymi, których górna część korzeni pozostawała w powietrzu. Zahamowanie to występowało niezależnie od tego, czy dolna część korzeni pozostawała w azocie, czy w powietrzu. Podobnie przedstawiała się sprawa z pobieraniem pożywki. Rośliny pobierały energicznie pożywkę wtedy, gdy zanurzona w niej była dolna część systemu korzeniowego, a górna pozostawała w powietrzu; przy kombinacji przeciwnej pobieranie było o wiele słabsze i to niezależnie od tego, czy dolna część korzeni tkwiła w azocie, czy w powietrzu.

W związku z tymi wynikami autorka niniejszej pracy przeprowadziła wspólnie z mgr J. Głabiszewskim doświadczenie nad sprawnością pobierania fosforanów przez korzenie roślin w podobnych warunkach alternatywnych, przy czym posłużono się izotopem radioaktywnym ^{32}P . Stwierdzono przy pomocy licznika Geigera-Müllera, że jeśli w pożywce (zawierającej ^{32}P) zanurzona była dolna część systemu korzeniowego, podczas gdy górna znajdowała się w wilgotnym powietrzu, wówczas ^{32}P znajdowano w liściach po 20 minutach. Jeśli natomiast w pożywce z ^{32}P umieszczono górną część korzeni, a dolna znajdowała się w wilgotnym powietrzu, wówczas ^{32}P znajdowano w liściach dopiero po dwóch dobach. Doświadczenie powyższe przeprowadzono w tych samych aparatach, opisanych w poprzednich doświadczeniach, w laboratorium izotopowym, uzupełniając brakujące światło sztucznym oświetleniem o natężeniu łącznym około 8000 luksów. Wilgotność powietrza wynosiła tak samo jak w poprzednich doświadczeniach około 80%. Pożywki użyto takiej samej, jak w poprzednich doświadczeniach.

II. BADANIA NAD DZIAŁANIEM WYCIĄGÓW TORFOWYCH

Aby zbadać, czy torf używany do hydroponików działa jako źródło fizjologicznie aktywnych związków próchnicznych, przeprowadzono następujące doświadczenia:

Torf ogrodniczy zalano wodą wodociągową w kamionkowym naczyniu i mierzono raz po raz kwasotę roztworu korygując ją wodą amoniakalną aż do ustalenia na poziomie $\text{pH} = 7,2$. Po okresie miesiąca takiej ekstrakcji, przeprowadzonej w temperaturze około 25°C , wyciśnięto torf jak gąbkę uzyskując brązowy roztwór, którym posłużono się następnie jako modelem tych substancji, które wypłukują się z torfu używanego normalnie na ściółki w uprawach hydroponicznych. W uzyskanym tak wyciągu torfowym oznaczono suchą pozostałość (suchą masę), po czym użyto

Ryc. 2. Siewki pomidorów hodowane w doświadczeniach. Na lewo z dopływem tlenu, na prawo w azocie
Jeunes plantes des tomates en cultures expérimentales. A gauche: arrivée d'oxygène, à droite: dans l'azote

Ryc. 3. Pomidory hodowane na różnych pożywkach:

1 — wyciąg z torfu, pożywka nie wietrzona; 2 — pożywka z humianem sodu, nie wietrzona; 3 — pożywka z roztworem EDTA nie wietrzona; 4 — kontrola: pożywka nie wietrzona; 5 — kontrola: pożywka wietrzona; 6 — pożywka z EDTA wietrzona; 7 — pożywka z humianem sodu, wietrzona; 8 — pożywka z wyciągiem torfu, wietrzona

Les tomates cultivés dans les différentes solutions:

1 — Extrait de tourbe, solution non-aérée; 2 — solution non-aérée + humus; 3 — solution non-aérée + EDTA; 4 — solution non-aérée, témoin; 5 — solution aérée, témoin; 6 — solution aérée + EDTA; 7 — solution aérée + humus; 8 — solution aérée + extrait de tourbe

wyciągu do doświadczenia wegetacyjnego, w którym porównano fizjologiczny efekt tegoż wyciągu z efektami wywołanymi działaniem humianu sodowego oraz wersenianu sodowego (EDTA). Humian sodowy przygotowano z jednorocznego kompostu liściowego stereotypowym sposobem (wmywanie kationów 1% HCl, płukanie wodą destylowaną, ekstrakcja 2% NaOH, koagulacja HCl, odsączenie fulwokwasów, przemywanie osadu wodą destylowaną, rozpuszczanie w wodzie destylowanej z minimalnym dodatkiem NaOH przy pH = 7,5, ogrzewanie w autoklawie przez 30 minut w temperaturze 120°C, oznaczenie stężenia przez określenie suchej pozostałości).

Założono doświadczenie wegetacyjne z siewkami pomidorów wyhodowanymi w piasku aż do ukazania się pierwszych dwu listków. Siewki umieszczono w słojach 1-litrowych wypełnionych pożywką, której skład podany został w metodyce ogólnej. Doświadczenie przebiegało w szklarni przy temperaturze wahającej się od 20 do 30°C i wilgotności względnej powietrza około 80%, przy oświetleniu naturalnym w czasie od 1.III do 31.III.1962. Wyniki podane jako ciężar suchej masy roślin ujęto w tabeli 7. Wyciąg torfowy zapobiegał chlorozie roślin w kulturach nie wietrzonych, podobnie jak humian i wersenian. Zaznaczyła się też silna stymulacja wzrostu roślin w kulturach nie wietrzonych, chociaż słabsza aniżeli pod wpływem wersenianu. Wyraźnie wystąpiło charakterystyczne zahamowanie wzrostu roślin w kulturach wietrzonych. Z okazji przeprowadzania porównawczych doświadczeń nad działaniem na rośliny humianu i wersenianu (Gumiński, Gumińska i Sulej 1962) przeprowadzaliśmy ubocznie kilkakrotnie podobne porównanie także i w stosunku do wyciągu torfowego. Wynik był z reguły taki, jak w opisanym poprzednio doświadczeniu, tj. wyciąg działał podobnie, chociaż słabiej niż humian.

Próbowano również porównać efektywność fizjologiczną wyciągu torfowego z humianem i wersenianem w stosunku do nasion kielkowanych przy niedostatku tlenu, stosując test opisany we własnej pracy z 1958 r.

Nasiona pszenicy o sile kiełkowania 100% zalano alternatywnie 5 cm grubości warstwą: 1) roztworu EDTA, 2) humianu sodowego, sporządzonego z kompostu liściowego, jednorocznego, 3) wyciągu z torfu oraz 4) wodą wodociągową (kontrolne). Po 4 dniach wyłożono nasiona na kiełkowniki z bibułą przy dobrym dostępie powietrza. Na skutek stworzenia uprzednio warunków niedostatku tlenu nasiona straciły częściowo zdolność kiełkowania i badane po 48 godzinach wykazały energię kiełkowania przedstawioną w tabeli 8.

Następnie przeprowadzono długotrwałe doświadczenie na właściwym hydroponiku w ten sposób, iż użyto jako ściółki torfu ogrodniczego mieszanego z żużlem, przy czym w jednej części kultur zalkalizowano torf wodą amoniakalną do pH 7,2, w drugiej części natomiast utrzymano pH 5,5. pH zróżnicowano z tą myślą, że związki huminowe łatwo prze-

Ryc. 4. Korzenie pomidorów hodowanych w kulturach wodnych na ściółce kwaśnej (1) i alkalicznej (2)
 Les racines des tomates cultivées sur la couche acide (1) et couche alcalique (2)

Ryc. 5. Wpływ barwy ściółki na wzrost roślin w kulturach wodnych.
 Natężenie światła 2000 lx.

1 — na tle ciemnym; 2 — na tle białym

L'influence de la couleur de la couche (foncée et blanche) sur la croissance des plantes. Intensité de la lumière 2000 lux.

1 — sur le fond noir; 2 — sur le fond blanc

chodzą do roztworu alkalicznego, minimalnie zaś rozpuszczają się w środowisku kwaśnym. Okazało się, że wzrost korzeni w kulturach ze ściółką zalkalizowaną i przenikanie ich do pożywki było o wiele szybsze aniżeli w kulturach ze ściółką kwaśną. Wyniki te ilustruje załączona fotografia korzeni owocujących dużych pomidorów (ryc. 4). Jednak utrzymywanie do końca wegetacji ściółki alkalicznej odbiło się ujemnie na plonowaniu (tab. 9).

Dalsze dwa doświadczenia bardziej wyjaśniają to zagadnienie. Małe siewki pomidorów posadzono do hydroponików ze ściółką torfowo-żuźlową, w których pozostawały przez 4 tygodnie. Wyniki podano w formie suchej masy pędów; nie wzięto pod uwagę korzeni, gdyż w całości nie dało się ich wydobyć z torfu. Doświadczenie przeprowadzano w szklarni w temperaturze 20 do 25°C, przy wilgotności względnej powietrza około 80%, przy świetle naturalnym, w okresie od 20.III do 22.IV.1962 (tab. 10).

Tabela 7—Table 7

Wpływ wyciągów torfowych na przyrost suchej masy roślin w kulturach wietrzonych i nie wietrzonych
Średnie z 6 powtórzeń
L'influence d'extrait aqueux de la tourbe sur l'accroissement de la matière sèche des plantes dans les cultures aérées et non-aérées
Moyenne de 6 répétitions

	Wietrzona Aérés		Nie wietrzona Non-aérés	
	pęd pousse	korzeń racine	pęd pousse	korzeń racine
Kontrola — Temoin	538,3	76,6	92,5	23,3
EDTA 100 mg/l	296,6	35,8	574,1	66,6
Humian sodu 100 mg	467,5	68,2	285,8	54,2
Humus				
Wyciąg z torfu 100 mg	371,6	64,2	255,0	42,5
Extrait de tourbe				
Przedział ufności (pewność 95%)	116,2	12,3	80,7	12,6
Intervalle de confiance				

Temperatura: 20—28°C.

Wilgotność: $\pm 80\%$.

Czas trwania doświadczenia: 1—31.III. 1962 r.

Temperature: 20—28°C.

L'humidité: $\pm 80\%$.

Durée d'expérience: 1—31. III. 1962

Tabela 8—Table 8

Wpływ wyciągu torfowego, roztworu EDTA i humianu sodowego na kiełkowanie nasion pszenicy (w procentach)
Średnie z 6 powtórzeń
L'influence d'extrait aqueux de la tourbe, d'humate de sodium et d'EDTA sur la germination des graines du froment
(en pour cent)
Moyenne de 6 répétitions

Kontrola — Temoin	31
EDTA 100 mg/l	56
Humian sodu — humus 100 mg/l	64
Wyciąg z torfu — Extrait de tourbe 100 mg/l	48
Przedział ufności — Intervalle de confiance	10

Jeden obiekt = 50 nasion. Un objet = 50 graines.

Ażeby przekonać się, czy chodzi o wpływ odczynu pH, czy też o działanie torfu, założono następujące doświadczenie: Siewki posadzono w hydroponiki ze ściółką torfowo-żużlową bądź ze ściółką złożoną z mieszaniny pumeksu z azbestem. Ściółkę jednej połowy, tak pierwszej jak i drugiej kombinacji, uprzednio zalkalizowano do pH 7,2, resztę doprowadzono do pH 5,5. W pierwszym okresie tygodnia rośliny najlepiej rozwijały się na ściółce torfowo-żużlowej, alkalicznej; jedynie w tej kombinacji korzenie przedostawały się prędko do pożywki. Przy dalszym jednak rozwoju, gdy we wszystkich kombinacjach korzenie dotarły do pożywki, rośliny rosnące na kwaśnej ściółce torfowo-żużlowej przegoniły rośliny wszystkich innych kombinacji. Doświadczenie trwało miesiąc, od 14.V. — 14.VI.1962; temperatura wahała się 20—25°C, wilgotność powietrza około 80%, stosowano światło naturalne (tab. 11).

Tabela 9 — Table 9

Plon owoców pomidorów hodowanych w kulturach ze ściółką alkaliczną i kwaśną
Średnie z 6 powtórzeń
Poids des fruits des tomates cultivés dans les cultures sur la couche alcaline et sur la couche acide
Moyenne de 6 répétitions

	pH ściółki pH de la couche	Ciężar owoców w kg Poids des fruits en kg
Na ściółce alkalicznej Sur la couche alcaline	7,2	1,666 ± 0,07
Na ściółce kwaśnej Sur la couche acide	5,5	2,113 ± 0,115

Tabela 10 — Table 10

Sucha masa pędów pomidorów hodowanych w kulturach ze ściółką alkaliczną i kwaśną (średnie z 6 powtórzeń, 20.III—22.IV. 1962, temp. 20—25°C, wilg. ± 80%)
La matière sèche des pousses des tomates cultivés sur la couche alcaline et acide (moyennes de 6 répétitions, 20.III—22.IV.1962, temp. 20—25°C, l'humid. ± 80%)

	pH	Sucha masa pędów Matière sèche des pousses
Ściółka alkaliczna Couche alcaline	7,2	89,3 ± 8,1
Ściółka kwaśna Couche acide	5,5	69,0 ± 5,9

Wyżej zestawione doświadczenia wykazują, że: 1) rozwój roślin w ściółce torfowo-żużlowej jest lepszy niż w ściółce z pumeksem i azbestem, 2) alkalizowanie ściółki torfowo-żużlowej działa dodatnio na wzrost pomidorów w początkowym stadium rozwojowym; zauważono również,

że korzenie w tej kombinacji szybciej dostają się do pożywki, 3) pH = 5,5 jest w ogóle korzystniejsze dla rozwoju siewek pomidorów aniżeli pH = 7,2.

Tabela 11 — Table 11

Sucha masa pędów i korzeni pomidorów hodowanych w kulturach ze ściółką torfowo-żuźlową oraz złożoną z pumeksu i azbestu

La matière sèche des pousses et des racines des tomates cultivés sur la pierre-ponce avec l'amiante et sur la tourbe avec des scories

Ściółka Couche	pH = 5,5		pH = 7,2	
	pęd pousse	korzeń racine	pęd pousse	korzeń racine
Pumeks z azbestem Pierre-ponce avec amiante	186,6	58,3	47,8	19,1
Torf z żużlem Tourbe avec scories	435,0	130,0	306,6	71,6

Przedział ufności dla pędów

Intervalle de confiance pour les pousses 90,3

Temperatura: 20–25°C.

Wilgotność: ok. 80%.

Czas trwania doświadczenia. 14.V–14.VI.1962.

Średnie z 6 powtórzeń

Przedział ufności dla korzeni

Intervalle de confiance pour les racines 21,5

Temperature: 20–25°C.

L'humidité: environ 80%.

Durée d'expérience: 14.V–14.VI.1962.

Moyenne de 6 répétitions

III. BARWA ŚCIÓŁKI W UPRAWACH HYDROPONICZNYCH

Z szeregu przeprowadzonych doświadczeń przytoczę trzy. Siewki pomidorów hodowano stereotypowo w kulturach wodnych. Zróżnicowanie polegało na umieszczeniu roślin na białych lub czarnych wieczkach. Rośliny rosły w szklarni, przy różnym natężeniu światła, przy czym światło naturalne uzupełniano światłem sztucznym. Temperatura wahała się od 20 do 25°C, wilgotność powietrza wynosiła około 80%.

We wszystkich doświadczeniach użyto światła naturalnego z dodatkiem światła sztucznego jarzeniowego przez 14 godzin na dobę. Doświadczenie z zastosowaniem 2000 i 4000 luksów wykonywane było w czasie, gdy światło naturalne było słabe; wahania w natężeniu światła ogólnie użytego w doświadczeniu były małe, poniżej 300 luksów. Doświadczenie z zastosowaniem 17 000 luksów przeprowadzane było przy większych wahaniami natężenia światła, nie przekraczających na ogół 500 luksów. Trzecie doświadczenie w większej mierze uzależnione było od światła naturalnego; w południe od godziny 11–16 sięgało 40 000 luksów, poza tym przedziałem było znacznie niższe. Wahania w natężeniu były duże i mieściły się w zasięgu 20 000 luksów. Co 2 godziny mierzono natężenie światła padającego oraz natężenie światła odbitego od tła białego i ciemnego. Na podstawie tych pomiarów podano w tabeli 12 dane jako średnie z 10 odczytów.

Przy słabym natężeniu 2000 luksów, jak wykazuje tabela 13, tło białe, czyli odbicie światła od tła białego, wyraźnie stymuluje wzrost roślin.

Przy zastosowaniu 4000 i 17 000 luksów różnice są w granicach błędu doświadczalnego (tab. 13 i 14). Przy wysokim natężeniu światła, sięgającym do 40 000 luksów, rośliny na tle białym zginęły, a na tle ciemnym rosły normalnie (tab. 15).

Tabela 12 — Table 12

Pomiar natężenia światła w luksach, mierzony koło rośliny
La mesure d'intensité de la lumière en luxes mesurée près de la plante

Światło padające La lumière directe	Światło odbite od białego tła La réflexion du fond blanc	Światło odbite od ciemnego tła La réflexion du fond noir
300	150	50
400	200	100
600	350	150
1000	500	200
1500	700	220
2000	1000	250
2500	1200	300
3000	1500	300
3500	1600	320
4000	1800	350
5000	2000	400
6000	2500	500
10000	3500	1000
15000	4000	1500
20000	6500	1800
30000	7500	2200
40000	9000	2500

Tabela 13 — Table 13

Wpływ barwy ściółki oraz natężenia światła na przyrost suchej masy pomidorów (w mg)
L'influence de la couleur de la couche et des différentes intensités de la lumière sur la croissance de la matière sèche des tomates (en mg)

25.I. 1962—14.II. 1962. Średnie z 6 powtórzeń — Moyenne de 6 répétitions				
Tło Fond	Natężenie światła — Intensité de la lumière			
	około 2000 luksów environ 2000 lux		około 4000 luksów environ 4000 lux	
	pęd pousse	korzeń racine	pęd pousse	korzeń racine
Białe — Blanc	239,1	30,8	304,1	50,0
Ciemne — Noir	146,6	26,6	310,0	36,6

Przedział ufności: dla pędów — 42,0; dla korzeni — 7,7.

Intervalle de confiance: pour des pousses — 42,0; dla korzeni — 7,7.

Temperatura: 20—25°C.

Wilgotność: ok. 80%.

Temperature: 20—25°C.

L'humidité: ± 80%.

Tabela 14 — Table 14

Sucha masa pomidorów w mg — Matière sèche des tomates en mg

1.IV. 1962—29.IV. 1962. Średnie z 10 powtórzeń — Moyenne de 10 répétitions		
Tło Fond	Natężenie światła — Intensité de la lumière około 17000 luksów — environ 17000 lux	
	pęd — pousse	korzeń — racine
Białe — Blanc	480 ± 80	105 ± 15
Ciemne — Noir	371 ± 7	84,2 ± 10

Temperatura: 20—25°C.

Wilgotność: ± 80%.

Temperatnre: 20—25°C.

L'humidité: ± 80%.

Tabela 15 — Table 15

Sucha masa pomidorów w mg — Matière sèche des tomates en mg

5.IV. 1961—17.IV. 1961. Średnie z 27 powtórzeń — Moyenne de 27 répétitions		
Tło Fond	Natężenie światła — Intensité de la lumière do 40 000 luksów — jusqu'au 40 000 lux	
	pęd — pousse	korzeń — racine
Białe — Blanc	38,8 ± 10,3	20,7 ± 2,9
Ciemne — Noir	215,0 ± 33,3	60,0 ± 9,9

Temperatura: ok. 30°C.

Wilgotność: ok. 80%.

Temperature: environ 30°C.

L'humidité: environ 80%.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Wyniki badań funkcji korzeni pomidorów w zależności od zmian środowiska wodnego i powietrznego górnej lub dolnej części systemu korzeniowego zdają się wskazywać na przystosowanie tych części do bytowania w różnych warunkach środowiskowych. W szczególności uzyskano potwierdzenie wiadomości zdobytych empirycznie odnośnie do szkodliwości niedostatku tlenu w górnej części systemu korzeniowego, o ile uprzednio rozwijał się on w powietrzu. Okazało się, że odcięcie dopływu tlenu do górnej części systemu korzeniowego powoduje gwałtowne obniżenie intensywności pobierania wody i soli mineralnych przez dolne części systemu korzeniowego oraz gwałtowne zahamowanie wzrostu zarówno korzeni, jak też i pędów (tab. 1).

Umieszczenie dolnej części systemu korzeniowego w powietrzu, podczas gdy górna pozostawała w pożywce, nie kompensowało w żadnej mierze niedostatku tlenu górnej części korzeni (tabela 6). Wydaje się, że górna partia korzeni wyrosłych w powietrzu pełni funkcje oddechowe i że od intensywności oddychania tych korzeni zależy pobieranie wody i soli mineralnych przez część dolną korzeni zanurzoną w pożywce. Wietrzeniem pożywki, w której tkwią dolne części korzeni, nie można skompensować braku dostępu tlenu do górnej części systemu korzeniowego, natomiast przy obfitym dostępie tlenu do górnych partii korzeni wietrzenie

pożywki, w której znajdują się dolne części korzeni, staje się zbędne (tab. 2). Równocześnie ujawniono, że górne części systemu korzeniowego wyrosłe w powietrzu nie są zdolne do sprawnego pobierania wody i soli mineralnych, gdy umieścić je w środowisku wodnym. Dopiero po pewnym czasie zauważyć można adaptacyjne procesy rozwojowe korzeni, polegające na wytworzeniu nowych, prawdopodobnie odmiennego typu korzeni i włosników korzeniowych. W związku z tym interesujące są słowa D. J. Carra (1961) wypowiedziane w artykule o wpływie czynników chemicznych otoczenia na wzrost roślin: „Root-hair formation is generally suppressed by low oxygen tensions in solution cultures or soils (...) The root system may become less branched and the roots thicker by the development of cortical air spaces. If water-uptake and nutrient accumulation by the roots is impaired, shoot growth will be affected, various forms of chlorosis will ensue and flowers or fruits may be shed” (str. 759). W naszych doświadczeniach, dopiero po dłuższym okresie czasu (adaptacji) „oddechowe” części korzeni zdołały przekazać liściom znakowany fosfor. Natomiast dolne korzenie pobierały i przekazywały fosfor liściom bardzo szybko. Przypomnieć tutaj należy wyniki pracy Wilkinsona i Lindsaya (1953) (omawiane we wstępie), świadczące o tym, że fosfor pobierany przez korzenie, rozprowadzany był najpierw w systemie korzeniowym, a dopiero potem wędrował do liści z prądem transpiracyjnym. Wygląda tak, jakby jedynie dolne korzenie wyrosłe w środowisku wodnym zdolne były do sprawnego pobierania wody i soli mineralnych i przekazywania ich częściom nadziemnym. Te dolne części korzeni, wyrosłe w wodzie nie są natomiast zdolne do wykorzystania powietrza, o ile wynurzyć je z wody, i nie potrafią, przynajmniej natychmiast, przejąć roli organu oddechowego całego systemu korzeniowego w tym sensie, jak to czynią korzenie górne, wyrosłe w powietrzu (tab. 6). Po pewnym czasie można jednak zauważyć na dolnych korzeniach, gdy wynurzyć je z wody, tworzenie się włosników, co można uważać za adaptację. W świetle tych spostrzeżeń można by wypowiedzieć przypuszczenie, iż włosniki korzeniowe górnej partii korzeni służą raczej jako organ wymiany gazowej przy oddychaniu, aniżeli jako organ absorpcji wody i soli mineralnych.

Doświadczenia dotyczące wpływu wietrzenia pożywki na wzrost roślin w kulturach wodnych, z zastosowaniem kontroli stężenia tlenu w pożywce, potwierdzają nasze empirycznie zdobyte przeświadczenie o zbędności starań wokół natlenienia pożywki w uprawach hydroponicznych. Istotny sens wietrzenia kultur polega raczej na mieszaniu osadu fosforanu względnie wodorotlenku żelazowego, aniżeli na natlenianiu pożywki, jak wynika z prac Czerwińskiego oraz Gumińskiego, Gumińskiej i Sulej (w przygotowaniu do druku). Przy podlewaniu roztworem żelaza ściółki torfowej nie ma obawy o niedostatek żelaza

w tych kulturach, a płytkie baseny i częste dolewanie pożywki (w miarę jej wyczerpywania przez rośliny) stanowią rękojmię należytego wykorzystania soli mineralnych przez korzenie sięgające dna basenu.

W świetle opisanych w tej pracy doświadczeń, można przyjąć, że przy uprawie hydroponicznej ze ściółki torfowej wypłukiwane są związki próchniczne wykazujące efekty fizjologiczne, zbliżone do tzw. humianu sodowego, uzyskiwanego z kompostu. Jeśli przyznać tym ostatnim znaczenie w udostępnianiu roślinom żelaza (De Kock 1955, Czerwiński oraz Gumiński, Gumińska i Sulej — prace w przygotowaniu do druku), to zważywszy na trudności w pobieraniu tego pierwiastka przez rośliny (Bergmann 1958), należy uznać zastosowanie torfu do ściółki hydroponicznej za istotny element metodyki hydroponicznej.

Osobno przeprowadzone doświadczenia nad kiełkowaniem nasion w warunkach beztlenowych wskazują na ochronne działanie torfu przed szkodliwą działalnością mikroorganizmów (Gumińska i Sulej, praca w druku). Moment ten powinien być również brany pod uwagę w uprawach hydroponicznych. Ze względu zaś na wymagania tlenowe górnej części korzeni, dodatek materiału porowatego, jakim jest żużel, wydaje się ze wszech miar pożądany. Pogląd ten znalazł całkowite potwierdzenie w wynikach osobnych badań (Gumińska i Gracz 1963).

Barwa ściółki torfowej okazała się nie bez znaczenia. Przy dużym natężeniu światła, które z reguły jest potrzebne dla osiągnięcia odpowiednich plonów, względnie dla należytego rozwoju bardzo wielu gatunków roślin, ciemne tło okazało się korzystniejsze od tła jasnego. Przypisać to można wrażliwości miękiszu gąbczastego na natężenie światła nie prze-filtrowanego przez miękisz palisadowy (Starzecki 1962). Zauważyć jednak należy, że przy słabym natężeniu światła ciemne tło ściółki torfowej może być niekorzystne i wówczas należałoby pokrywać je odpowiednią białą osłoną. Tego rodzaju zabieg mógłby mieć praktyczne znaczenie, pozwalając uniknąć konieczności doświetlania kultur lub przynajmniej doświetlanie to znacznie ograniczyć.

STRESZCZENIE I WNIOSKI

W celu poznania teoretycznych podstaw upraw hydroponicznych, a w szczególności w celu wyjaśnienia empirycznych osiągnięć własnej metodyki hydroponicznej wykonano szereg badań fizjologicznych na siewkach, względnie młodych roślinach pomidorów. Z przeprowadzonych doświadczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Dostęp tlenu do górnej partii korzeni wywiera silny wpływ na pobieranie wody i soli mineralnych przez dolną partię korzeni.

2. Wietrzenie pożywki, w której zanurzone są dolne części korzeni, nie ma zasadniczego znaczenia dla rośliny, pod warunkiem dobrego dostępu tlenu do górnej partii korzeni.

3. Związki próchniczne wypłukiwane z torfu powodują efekty fizjologiczne zbliżone do efektów tzw. humianu sodowego. Użycie torfu jako materiału ściółkowego czyni zbędnym mieszanie pożywki.

4. Ciemna barwa ściółki torfowej chłonie światło i przy dużym jego natężeniu jest korzystniejsza od tła jasnego; natomiast przy słabym natężeniu światła, korzystniejsze jest tło jasne.

*Ogród Botaniczny
Uniwersytetu Wrocławskiego*

(Wpłynęło: 5.10.1963)

RÉSUMÉ

Dans le but de reconnaître les fondements théoriques des cultures hydroponiques, et en particulier dans le but d'expliquer les résultats empiriques de notre propre méthode hydroponique, nous avons effectué toute une série de recherches physiologiques sur des semis ou de jeunes plants de tomates.

Nous avons effectué les expériences dans des appareils spéciaux en maintenant la partie supérieure des racines alternativement dans l'air ou dans l'azote; dans les deux cas, la partie inférieure des racines baignait dans une solution minérale. Pendant 7 jours les plantes de la première variante ont absorbé beaucoup plus d'eau et sels minéraux, et elles ont bien plus grandi que les plantes de la seconde variante expérimentale. L'aération de la solution, dans laquelle était immergée la partie inférieure des racines, ne compensait pas le manque d'accès d'oxygène dans la partie supérieure du système radical.

Dans les expériences avec application du système inversé: parti supérieure des racines dans la solution, partie inférieure dans l'air ou dans l'azote, nous avons constaté une insuffisance du travail de la racine et le ralentissement de l'accroissement de la plante par rapport au système normal.

L'application de ^{32}P alternativement par la racine supérieure ou par la racine inférieure a démontré que la racine inférieure transmet le phosphore aux pousses bien plus rapidement que la racine supérieure.

On a effectué des simple cultures dans l'eau en appliquant comparativement l'extrait aqueux de la tourbe, l'humate de sodium de compost et EDTA. Les résultats obtenus indiquent que les composés humiques extraits d'une couche de tourbe peuvent exercer dans les cultures hydroponiques une influence semblable, quoique plus faible, sur les plantes, semblable à celle de l'humate de sodium de compost ou du EDTA. Ceci explique l'inutilité de mélanger la solution hydroponique si l'on emploie la tourbe comme couche d'appui.

On a comparé l'influence de la couleur de la couche (foncée et blanche) sur la croissance des plantes avec différentes intensités de la lumière et on a obtenu des indications pratiques pour la culture des plantes selon l'intensité de la lumière.

LITERATURA

1. Arnon D. J., 1937, Amonium and nitrate nitrogen nutrition of barley at different seasons in relation to hydrogen — ion concentration, manganese, copper and oxygen supply, *Soil Sc.* 44 : 91—113.
2. Bergman H. F., 1959, Oxygen deficiency as a cause of disease in plants, *The Botanical Review* 25 : 417—485.
3. Bergmann W., 1958, Methoden, zur Ermittlung mineralischer Bedürfnisse der Pflanzen, *Handbuch der Pflanzenphysiologie (Ruhland) Band IV* : 37—89.
4. Carr D. J., 1961, Chemical influences of the environment, *Handbuch der Pflanzenphysiologie (Ruhland) Band XVI* : 737—794.
5. Czerwiński W., O mechanizmie stymulacji pobierania soli mineralnych wywołanej przez humian sodowy. Komunikat w druku: Sprawozdania Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego Seria B.
6. Christieva L. A., 1953, Ob uczasti guminowych kislót i drugih organičeskich vieszczestw w pitanii wyższych rastienij, *Poczwowiedienije* (10) : 46—59.
7. DeKock, P. C., 1955, Influence of humic acids on plant growth, *Science* 121 : 473—474.
8. Durelle D. W., 1941, The effect of aeration on growth of the tomato in nutrient solution, *Plant Physiol.* 16 : 327—341.
9. Erickson L. C., 1946, Growth of tomato roots as influenced by oxygen in the nutrient solution, *Amer. Journal of Botany* 33 : 551—561.
10. Flaig W. u. Saalbach E., 1956, Zur Kenntnis der Huminsäuren XII Mitteilung. Über den Einfluss des Thymohydrochinons als Modellschubstanz von Vorstufen bzw. Abbauprodukten von Huminsäuren auf die Atmung von Getreide, *Pflanzenern. Düng. -u. Bodenkunde* 72 : 1—7.
11. Gericke W. F., 1946, The complete guide to soilless gardening. Prentice-Hall INC, New York p.p. 285.
12. Gilbert S. G. and Shive J. W., 1942, The significance of oxygen in nutrient substrates for plants, The oxygen requirement, *Soil. Sci.* 53 : 143—152.
13. Gumińska Z., 1950, Badania nad uprawą warzyw w kulturach wodnych, *Roczniki Nauk Rolniczych* 54 : 273—297.
14. Gumińska Z., 1958, Utlenione związki próchniczne jako stymulatory kiełkowania nasion, *Acta Soc. Bot. Pol.* 27 : 501—522.
15. Gumińska Z., Gumiński S. i Badura L., 1962, Über die direkte und indirekte Wirkung der Humusverbindungen auf den pflanzlichen Organismus. Vorläufige Mitteilung, *Acta Soc. Bot. Pol.* 31 : 265—268.
16. Gumińska Z. i Łukasiewicz B., 1962, Mieczyki w uprawie ziemnej, podsiąkowej i hydroponicznej, *Wiadomości Botaniczne* 6 : 261—263.
17. Gumińska Z., 1958, Hydroponiki czyli uprawy powietrzno-wodne, *Wiadomości Botaniczne* 2 : 251—254.
18. Gumińska Z., 1960, Uprawa hydroponiczna w zastosowaniu do szklarni tropikalnej, *Wiadomości Botaniczne* 4 : 235—240.
19. Gumińska Z., 1958, Kultury bezziemne goździka, *Przegląd Ogrodniczy* (5) : 32—35.
20. Gumińska Z., 1958, Hydroponiczne uprawy szklarniowe, *Przegląd Ogrodniczy* (6) : 1—3.
21. Gumińska Z., 1960, Uprawa roślin ozdobnych w hydroponikach, *Przegląd Ogrodniczy* (6) : 24—25.

22. Gumińska Z., 1961, Ściółka w uprawie hydroponicznej, *Przegląd Ogrodniczy* (5) : 11—12.
23. Gumińska Z., 1961, Nowe spostrzeżenia przy uprawach hydroponicznych, *Przegląd Ogrodniczy* (6) : 27—28.
24. Gumińska Z., 1962, Zastosowanie praktyczne wyników badań nad działaniem związków próchnicznych, *Hasło Ogrodnicze-rolnicze* 10 : 372—373.
25. Gumińska Z., 1962, Hydroponiczna uprawa roślin, *Hasło Ogrodniczo-Rolnicze* (5) : 161—163.
26. Gumińska Z. i Gracz M., 1963, Próby bezglebowej uprawy goździków szklarniowych, *Acta Agrobotanica* 13 : 131—145.
27. Gumińska Z. i Sulej J. (w druku). Wpływ humianu sodowego i wersejanu sodowego na kiełkowanie nasion, *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji roślin*.
28. Gumiński S. i Gumińska Z., 1953, Dalsze badania nad mechanizmem działania próchnicy na organizm rośliny, *Acta Soc. Bot. Pol.* 22 : 45—63.
29. Gumiński S. i Gumińska Z., 1953, Chemiczne podstawy podobnego działania fizjologicznego próchnicy oraz wyciągów wodnych liści niektórych gatunków roślin, *Acta Soc. Bot. Pol.* 22 : 771—786.
30. Gumiński S., Gumińska Z. i Sulej J. (w druku). Wpływ humianu, agaru i EDTA na rozwój siewek pomidorów w kulturach wodnych wietrzonych i nie wietrzonych, *Komunikat w Sprawozdaniu Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego Seria B*.
31. Gumiński S. 1958, O mechanizmie pobierania soli mineralnych przez korzenie roślin, *Postępy Biochemii* 4 : 301—312.
32. Gumiński S., Badura L., i Buczek J. 1959, Studium porównawcze oddychania korzeni kukurydzy i pomidorów, *Acta Soc. Bot. Pol.* 28 : 705—726.
33. Gumiński S., Czerwiński W., Unger E. i Bacowa A., 1955, Badania nad oddychaniem korzeni Cz. I, *Acta Soc. Bot. Pol.* 24 : 723—731.
34. Gumiński S., Czerwiński W., Unger E. i Skrabka H., 1957, Badania nad oddychaniem korzeni Cz. II, *Acta Soc. Bot. Pol.* 26 : 631—645.
35. Hampe P., 1938, Les solutions nutritives pour cultures dans l'eau, *Jardinage* 26 (228) : 23—28.
36. Höhn E., 1934, Die Bedeutung der Wurzelhaare für Wasseraufnahme der Pflanzen, *Z. Bot.* 27 : 529—564.
37. Kissler J. G., 1956, Wasserumsatz und Salzstoffwechsel, *Handbuch der Pflanzenphysiologie (Ruhland) Band III* : 667—684.
38. Kramer P. J., 1956 a, Physical and physiological aspects of water absorption, *Handbuch der Pflanzenphysiologie (Ruhland) Band III*, : 124—155; b, Roots as absorbing organs: 188—214.
39. Ruhland W., 1956, *Handbuch der Pflanzenphysiologie, Band III, Pflanze und Wasser*.
40. Ruhland W., 1958, *Handbuch der Pflanzenphysiologie, Band IV. Die mineralische Ernährung der Pflanze*.
41. Ruhland W., 1960, *Handbuch der Pflanzenphysiologie, Band XII, Pflanzenatmung, einschliesslich Gärungen und Säurestoffwechsel*.
42. Ruhland W., 1961, *Handbuch der Pflanzenphysiologie, Band XVI. Aussenfaktoren in Wachstum und Entwicklung*.
43. Schropp N., 1959, *Methodenbuch Band VIII. Der Vegetationsversuch, Die Methodik der Wasserkultur höherer Pflanzen*, Berlin, Neumann Verlag.
44. Shive J. W. and Stahl A. L., 1927, Constant rate of continuous solution renewal for plants in water culture, *Bot. Gaz.* 84 : 317—323.

45. Sholto D. J., 1959, *Hydroponics the Bengal System*, Oxford University Press.
46. Śmidowa M. 1960, O wpływie humianu na oddychanie pszenicy, *Acta Agrobotanica* 9 : 129—143.
47. Stabrowska J., 1959, Wzrost roślin na azotanach lub solach amonowych w zależności od stopnia natlenienia podłoża, *Acta Soc. Bot. Pol.* 28 : 589—620.
48. Starzecki W., 1962, The roles of the palisade and spongy parenchymas of leaves in photosynthesis, *Acta Soc. Bot. Pol.* 31 : 419—436.
49. Weaver J. and Clements Fr. E., 1938, *Plant Ecology*, M. Graw Hill Book Company New York and London, p. 601.
50. Wilkinson J. and Lindsay A. J. 1953, Movement of phosphate in the root system of broad bean (*Vicia faba*), *Biochimica et Biophysica Acta* 11 : 3—453.
51. Woodford E. K. and Gregory F., 1948, Preliminary results obtained with an apparatus for the study of salt uptake and root respiration of whole plants, *Annales of Botany* 12 : 335—370.