

ANNA H. MICAL, AGNIESZKA KROTKE, IZABELA ŚWIECICKA, BARBARA GRUDZIEN¹

Instytut Biologii F UW w Białymstoku,
ul. Świerkowa 20B, 15-950 Białystok

¹Wodociągi Białostockie sp. z o.o.

Oczyszczalnia Ścieków 52/1, 15-950 Białystok

BIOLOGIA I MOŻLIWOŚCI ADAPTACYJNE WOLFII BEZKORZENIOWEJ

WSTĘP

Rośliny należące do rodziny Lemnaceae (rzęśowate) mają szeroki zasięg geograficzny występowania. Żyją one w wodach słodkich, spokojnych, gdzie często tworzą zbite, grube skupiska na jej powierzchni, zwane dawniej połciami. Rzęsa (*Lemna*) jest pospolitą rośliną wód Polski. Dobrze są znane jej wymagania środowiskowe, budowa i fizjologia, dzięki czemu w ostatnich latach jest wykorzystywana nawet do biologicznego oczyszczania ścieków. Rzadko

występuje w naszych wodach wolfia, również należąca do rodziny Lemnaceae. W piśmiennictwie informacje o budowie, procesach metaboliczno-fizjologicznych oraz możliwościach adaptacyjnych tej rośliny są skąpe i fragmentaryczne.

Celem pracy jest zebranie dotychczasowych danych o biologii wolffii i uzupełnienie ich wstępnymi wynikami własnych badań.

WYSTĘPOWANIE

Wolfia występuje w Afryce, Australii i Południowej Europie. W Polsce stwierdzono obecność wolffii w południowo-zachodniej części kraju w rozproszonych stanowiskach (PODBIELKOWSKI 1991). Jest to drobna roślina uznana za najmniejszą roślinę kwiatową świata. *Wolffia arrhiza* (wolfia bezkorzeniowa) jest rośliną pływającą na powierzchni wody, może tworzyć zwarte skupiska. Zasiedla wody płytkie, osłonięte od wiatru, dobrze nasłonecznione i ogrzane. Roślina rozwija się w zbiornikach eutroficznym i mezotroficznym a niekiedy i w dystroficznym. Wymagania wolffii spełniają stawy rybne, starorzecza, doły potorfowe. Wolfia rosnąc może tworzyć skupiska jednogatunkowe lub towarzyszy innym przedstawicielom Lemnaceae. Może też wnikać w strefę szuwarów, tworząc zbiorowiska skompleksowane (PODBIELKOWSKI i TOMASZEWICZ 1982, POLAKOWSKI 1991). Na tych spokojnych wodach bytuje ptactwo wodne, znajdując

dogodne warunki gniazdowania, lęgu i żerowania. Do zbiorników wodnych przychodzą zwierzęta dzikie i hodowlane. Do stawów i starorzeczy spływają substancje biogenne z gospodarstw wiejskich i nawozy z okolicznych pól uprawnych. Wody bogate więc są w związki azotowe, fosforanowe i inne sole mineralne. Żyjąca w tych wodach *Wolffia arrhiza* chętnie jest zjadana przez ryby i ptaki wodne.

Ciało wolffii bezkorzeniowej jest owalnego kształtu, osiąga rozmiary 1–1,5 mm, nie tworzy korzeni. Małe wymiary wolffii oraz niewielki ciężar umożliwia przenoszenie rośliny przez wiatr i ptaki do innych zbiorników wodnych, często oddalonych i różniących się warunkami biotycznymi i abiotycznymi. Rozwój wolffii bezkorzeniowej w nowych siedliskach może być traktowany jako wskaźnik eutrofizacji wody i synantropizacji roślinności wodnej (PODBIELKOWSKI 1991, POLAKOWSKI 1991).

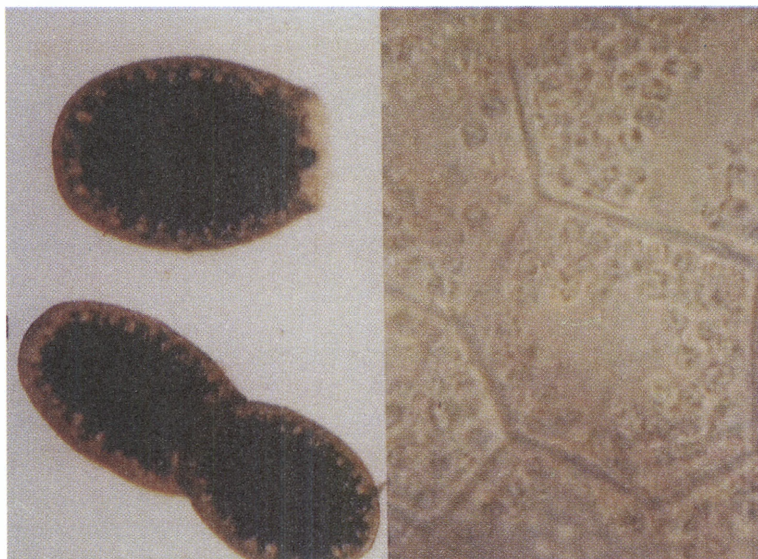
PRZYSTOSOWANIA DO ŻYCIA W WODZIE

Wolfia została opisana już w 1895 roku przez Hegelmajera (cyt. LANDOLT 1984). *Wolffia*

arrhiza jest rośliną jednoliścienną. W ujęciu fitosocjologicznym wchodzi w skład związku Le-

mnion i zespołu Wolffietum. Według niektórych autorów rośliny okrytozalążkowe pojawiły się w

duże to zwiększenie powierzchni ciała i ułatwia utrzymanie się na wodzie (fot. 1).



Fot 1. Pokrój ogólny ciała wolfii bezkorzeniowej. Powiększenie 40×.

erze mezozoicznej jako rośliny lądowe, ale później niektóre z nich przystosowały się do życia w wodzie. Inni badacze są zdania, że rośliny jednoliścienne rozwinęły się w wodach śródlądowych i niektóre z nich, na przykład wolfia, pozostały w tym środowisku jako rośliny pleustonowe (STARMACH 1973).

Za najważniejsze przystosowanie pleustonowych roślin uważa się przeciwstawienie biernemu opadaniu na dno. W morzu, gdzie zasolenie wód jest duże, drobne organizmy mogą swobodnie unosić się na powierzchni. W wodach słodkich utrzymywanie się na powierzchni jest trudniejsze, ponieważ mniejsza jest siła napięcia powierzchniowego niż w morzu. Przystosowania organizmów do unoszenia się na powierzchni wody są różne. Niektóre organizmy wodne zmniejszają ciężar swojego ciała poprzez syntezę tłuszczów, inne zmniejszają objętość ciała w stosunku do jego powierzchni, jeszcze inne zwiększają powierzchnię wykształcając rzęski, wyrostki lub tworząc kolonie. *Wolffia arrhiza* zmniejsza ciężar właściwy ciała wytwarzając liczne, duże przestrzenie międzykomórkowe wypełnione powietrzem. Komory wypełnia CO₂ lub (i) tlen, pochodzące z fotosyntezy i oddychania organizmu. Opór wody stawiany opadającemu organizmowi zmniejsza się ze wzrostem temperatury. Latem wiele organizmów pleustonowych i planktonowych tworzy kolonie w celu zwiększenia powierzchni (STARMACH 1973). W sprzyjających warunkach temperatury i nasłonecznienia wolfia bezkorzeniowa w naszych wodach rozmnaża się wegetatywnie przez pączkowanie. Młody pączek pozostaje połączony z macierzystym organizmem. Powo-

Wolffia arrhiza w Polsce rozmnaża się tylko wegetatywnie. W ciepłych wodach Afryki i Australii rośliny z rodzaju *Wolffia* wytwarzają kwiaty; żeńskie zredukowane są do słupka, a męskie do dwóch pręcików (MIKULSKI 1982). Na terenie Puszczy Knyszyńskiej w osadach powstałych w okresie intrglacjału eemskiego KUPRYJANOWICZ (1994) stwierdziła występowanie pyłku *Lemna*, nie zanotowała natomiast tego pyłku w osadach holocenijskich. Tłumaczyć to można różnicami klimatycznymi. W okresie interglacjału eemskiego klimat był łagodny, ciepły i wilgotny i sprzyjał rozwojowi roślin. Ziarna pyłku *Lemna* są kuliste, o średnicy 20–25 μ i zaopatrzone w haczyki równomiernie rozmieszczone na powierzchni. Ziarna pyłku wolfii są podobne, ale ich średnica nie przekracza 20 μ (BENNG 1961, FAEGRI i IVERSEN 1978). Stwierdzenie występowania w osadach lodowcowych pyłku *Lemna* oraz zaobserwowanie kwitnących roślin *Wolffia neotropica* w pobliżu Rio de Janeiro (LANDOLT 1984) obala pogląd, że rośliny te nie tworzą kwiatów (HICKS 1932). W zmieniających warunkach środowiska, przy silnej presji doboru naturalnego, szanse przetrwania w środowisku mają określone genotypy. Rośliny w celu zachowania zdobytych adaptacji, mimo możliwości rozmnażania generatywnego, rozmnażają się wegetatywnie lub stają się samopylne (BEGON i MORTIMER 1986). WOLFIA w wodach w strefie tropikalnej wytwarza kwiaty, natomiast w naszej strefie klimatycznej rozmnaża się tylko wegetatywnie. Intensywne rozmnażanie wegetatywne, małe rozmiary ciała i niewielki ciężar oraz łatwość przenoszenia przez ptaki i wiatr mogą tłumaczyć obserwowane ostatnio

zwiększanie zasięgu występowania rośliny. Jeszcze niedawno była notowana wOLFIA tylko na południowo-zachodnich terenach Polski, a obe-

cznie spotyka się ją także w rejonach północno-wschodnich, na przykład w okolicach Białowieży, Bielska Podlaskiego, Augustowa.

ODŻYWIANIE SIĘ WOLFII

WOLFIA arrhiza posiada, podobnie jak wszystkie rośliny zielone, chlorofil i ma możliwość autotroficznego odżywiania się. Może jednak odżywiać się heterotroficznie, zwłaszcza w środowisku eutroficznym, niezależnie od dostępu do światła. WOLFIA może odżywiać się też mikсотroficznie. W środowisku zawierającym sacharozę *WOLFIA brasiliensis* oraz *Lemna minor* odżywiają się heterotroficznie w ciemności, a na świetle fotomiksotroficznie. *WOLFIA*, *Lemna* oraz *Spirodella* chętnie wykorzystują do heterotroficznego odżywiania sacharozę, nie wykorzystują natomiast galaktozy, laktozy i sorbitolu. Zdrowe rośliny *Lemna minor* i rośliny z tkanką kalusową różnią się zdolnością wykorzystywania egzogennych węglowodanów do cudzożywne go odżywiania. Badania FRICKA i MORLEYA (1995) nad heterotrofią laktozową u *Lemna minor* (L.) Callus wykazały, że rośliny te mogą przystosować się do metabolizmu laktozowego. Uszkodzone rośliny, z tkanką kalusową, hodo-

wane na sacharozie przeniesiono na podłoże zawierające laktozę. *Lemna* i na tym podłożu rosła, chociaż tempo wzrostu było mniejsze niż na sacharozie. Metabolizm laktozowy u *Lemna minor* (L.) CALLUS FRICK (1994) oraz FRICK i MORLEY (1995) tłumaczą większą aktywnością enzymów: galaktozydazy, UDP-gal-pirofosforylasy i niespecyficznej pirofosforylasy, które pozwalają na przekształcenie galaktozy w UDP-glukozę. Zdolność do heterotrofizmu roślin z rodziny rzęśowatych być może jest sprzężona ze specyficznymi enzymami i w takim razie pozwala na funkcjonalną analizę różnic w ekspresji genów między rośliną a jej kalusem (FRICK 1994). WOLFIA może występować w zbiornikach eutroficznych bogatych w substancje biogenne, nawet zarośniętych przez rzesę i szuware. Bez dostatecznego dostępu do światła odżywia się ona heterotroficznie lub fotomiksotroficznie oraz pobiera ze środowiska jony azotanowe, amonowe i inne.

ODPORNOŚĆ WOLFII NA CZYNNIKI TOKSYCZNE

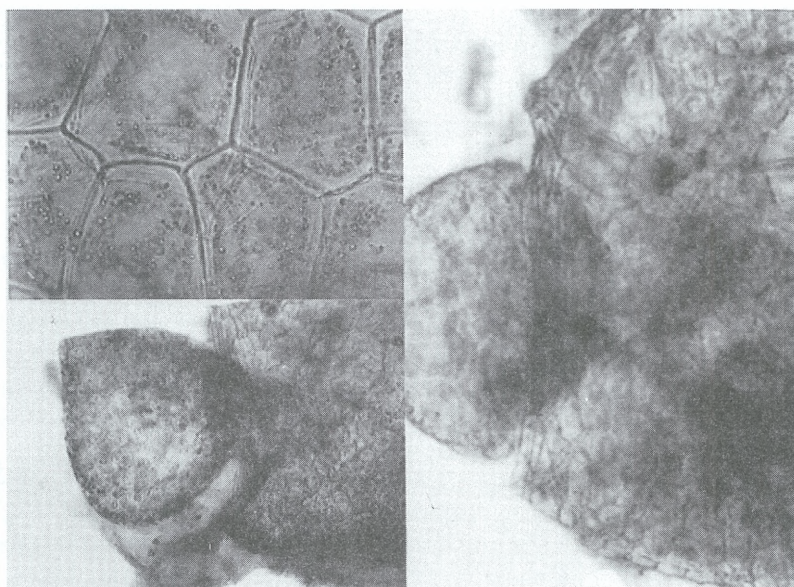
W Instytucie Biologii Filii Uniwersytetu Warszawskiego w Białymstoku mgr M. Gromek od kilku lat prowadzi hodowlę wOLFII bezkorzeniowej w warunkach dystroficznych, zapewniając oświetlenie (lampa sodowa o mocy 400 W dająca natężenie światła 50000 lx) oraz stałą temperaturę $18 \pm 2^\circ\text{C}$. W basenie hodowlanym razem z wOLFIA występuje rozwielitka i różne pierwotniaki. *WOLFIA arrhiza* szybko rośnie, rozmnaża się i pokrywa zbitą masą powierzchnię wody. Mimo zachowania stałych warunków hodowli, wOLFIA jesienią przechodzi w okres spoczynku. Opada na dno basenu i pozostaje tam przez cztery-sześć tygodni. Po tym okresie wypływa na powierzchnię i ponownie rozmnaża się. WOLFIE z powodzeniem można wykorzystać jako pokarm dla ryb akwariowych. *WOLFIA arrhiza* zawiera duże ilości białek, tłuszczów i flawonoidów (McCLURE i ALSTON 1966, BHANTHUMNAVIN i MCGARRY 1971). Podjęta przez nas próba zaindukowania wOLFII w stawie w białostockim parku miejskim nie powiodła się, ponieważ wOLFIA prawie natychmiast została zjedzona przez łabędzie i ryby.

W piśmiennictwie jest wiele informacji dotyczących rodziny *Lemnaceae*, mniej o wOLFII a o wOLFII bezkorzeniowej są tylko drobne doniesie-

nia. Brak jest informacji o odporności rośliny na substancje toksyczne. W niniejszej pracy sygnalizujemy nasze wyniki wstępnych badań nad odpornością wOLFII bezkorzeniowej na ksenobiotyki.

WOLFIA wykazuje duże zdolności adaptacji do zmieniających się warunków życia. WOLFIE bezkorzeniową poddałyśmy w hodowli laboratoryjnej działaniu kolchicyny w stężeniu $0,2 \times 10^{-6}$ M/dcm³. Kolchicyna hamuje podział komórek na etapie płytki metafazalnej. Po dodaniu związku nie zaobserwowaliśmy zahamowania wzrostu ani rozmnażania wOLFII. WOLFIA wykazała w naszej hodowli laboratoryjnej także odporność na cyjanek potasu w stężeniu 50 µg/dcm³. Być może wOLFIA posiada oksydazę alternatywną, niewrażliwą na jon CN⁻, a elektrony na tlen są transportowane z pominięciem łańcucha cytochromowego (MALESZEWSKI i KOZŁOWSKA 1995, WOŹNY 1995), (fot. 2).

Oddychanie mitochondrialne jest hamowane przez ołów i inne metale ciężkie (WOŹNY 1995). Podjęłyśmy badania wpływu ołowiu na rozwój i wzrost wOLFII. Do hodowli laboratoryjnej wOLFII bezkorzeniowej dodałyśmy octan ołowiu w stężeniu 230 µg/dcm³. Jak ołów jest pobierany przez wOLFIE — nie wiadomo. Pewnym jed-

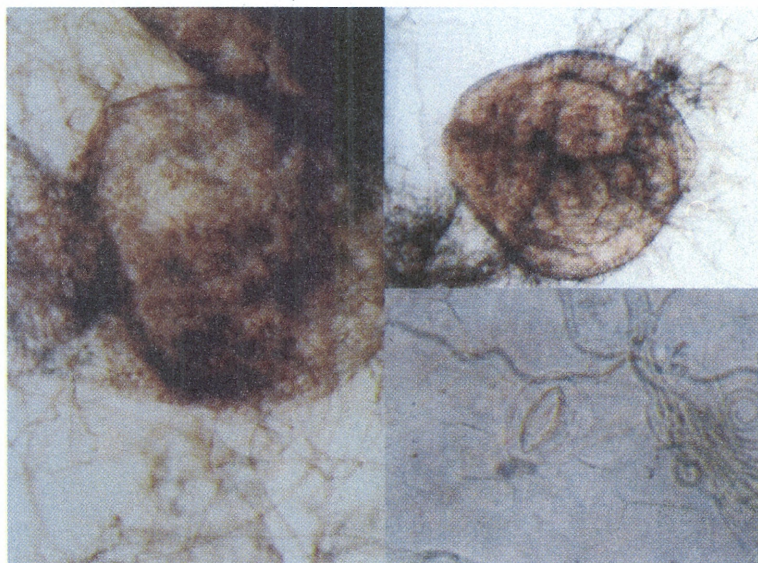


Fot. 2. *Wolffia arrhiza* poddana działaniu KCN.

nak jest, że jon Pb^{2+} musi pokonać barierę błon cytoplazmatycznych. W środowisku błon komórkowych ołów a także inne metale ciężkie stymulują tworzenie rejonów bez podwójnej warstwy lipidowej. Brak tych warstw zwiększa przepuszczalność błon i ułatwia wnikanie jonów do wnętrza komórki (WOŹNY 1995). *Lemna minor* odkłada w ścianie komórkowej kalozę, która nie ma ładunku elektrycznego, w związku z tym nie może wiązać jonów metali. Fizyczne właściwości warstwy kalozy umożliwiają przenikanie jonów do błon komórkowych (SAMARDAKIEWICZ i współaut. 1996a, b). Jony ołowiu po wniknięciu do wnętrza komórki zakłócają oddychanie mitochondrialne oraz biosyntezę białek i chlorofilu. Ołów hamuje aktywność dehydrogenazy kwasu bursztynowego, hamuje aktywność lub tworzenie syntetazy kwasu 5-aminolewulinowego (ALAD), ogranicza wytwarzanie ATP. Jednocześnie ołów indukuje enzymy glikolityczne i fermentacyjne. U rzęsy żyjącej w środowisku bogatym w jony azotowe następuje wzrost aktywności dehydrogenazy alkoholowej (WOŹNY 1995). Fermentacja dostarcza energii w oddychaniu beztlenowym i rekompensuje jej niedobory powstałe w wyniku ograniczonego oddychania mitochondrialnego. *Wolffia arrhiza* poddana przez nas działaniu ołowiu straciła intensywną zieloną barwę, co może świadczyć o zmniejszeniu zawartości chlorofilu. Wzrost i rozmnażanie utrzymały się na normalnym poziomie, chociaż zmniejszyły się rozmiary pojedynczych roślin. WOŹNY (1995) podaje, że ołów wiąże się dość łatwo z resztą fosforanową kwasów nukleinowych. Zmiany w DNA lub RNA zakłócają biosyntezę białek. Biosyntezę wszystkich rodzajów kwasów nukleinowych, ATP-az

oraz polipeptydów i białek o charakterze adaptacyjnym stymulują brassinosteroidy (BAJGUZ i CZERPAK 1995). Być może u wolffii brassinosteroidy łagodzą działanie ołowiu, stymulując biosyntezę białek detoksykacyjnych. Nie można też wykluczyć ochronnego działania grzybów wodnych na wolffię. Intensywnie rozwijające się w wodzie grzyby wydzielają na zewnątrz swoich komórek kwas szczawiowy i cytrynowy, melaniny oraz jony fosforanowe. Związki te mogą mieć istotne znaczenie w detoksykacji ołowiu. TURNAU (1993) podaje, że zainfekowane grzybami rośliny są mniej wrażliwe na metale ciężkie niż rośliny wolne od grzybów. Strzępki absorbcyjne grzybów unieczynnają jony metali wytwarzając substancje wiążące je lub szybko odcinają skażone strzępki systemem sept (przegród). Nie wiemy obecnie, który z podanych mechanizmów detoksykacji działa w przypadku wolffii. Stwierdziłyśmy natomiast, że wolffia poddana działaniu jonów ołowiu straciła ściany komórkowe, a ciało rośliny jest przzerośnięte grzybnia. Mimo to w hodowli obserwujemy normalne tempo wzrostu i rozmnażania (fot. 3).

Przypuszczamy, że *Wolffia arrhiza*, podobnie jak inne rośliny, syntetyzuje metaloproteiny klasy I, II oraz klasy III, zwane fitochelatynami. Białka te są odpowiedzialne za homeostazę jonów zawsze obecnych w komórce w śladowych ilościach. Metaloproteiny biorą też udział w wiązaniu metali nie spotykanych w normalnych warunkach w protoplaście. Mechanizm detoksykacyjny metaloprotein jest interakcją tych metali z fizjologicznie funkcjonującym mechanizmem utrzymywania homeostazy jonów (WOŹNY 1995).



Fot. 3. *Wolffia arrhiza* przerośnięta strzępkami grzybów. Widoczne komórki i aparaty szparkowe. Powiększenie 40x.

MOŻLIWOŚCI PRAKTYCZNEGO WYKORZYSTANIA WOLFII

Coraz częściej wykorzystuje się do oczyszczania ścieków rzesę (*Lemna minor*). W procesie oczyszczania ścieków są trzy etapy — tlenowy, atoksyczny (przejściowy) oraz beztlenowy. Istotną rolę pełni tu pływający na powierzchni stawu kożuch rzęsy. Redukowane związki biogenne zawarte w ściekach są wbudowywane w białka roślinne rzęsy i białka komórek mikroorganizmów. Uwolniony w procesach przemian azot cząsteczkowy, ze względu na niewielką rozpuszczalność w wodzie, uchodzi do atmosfery (TRYBUŁA 1996).

Podjęliśmy próbę hodowli laboratoryjnej woffii na ściekach z oczyszczalni miejskiej w Białymstoku. Hodowlę prowadzimy na ściekach pobranych z wlotu i wylotu oraz na osadzie czynnym. Osad czynny jest żelową, kłaczkowatą masą organiczną, w której żyją bakterie i pierwotniaki. Kłaczki osadu adsorbują zawarte w ściekach substancje organiczne. Drobnoustroje osadu utleniają te substancje lub zużywają je do własnych procesów metabolicznych.



Schemat oczyszczania ścieków.

*oznaczono miejsca pobierania ścieków do hodowli woffii.

Płaskie naczynia z hodowlą woffii na ściekach umieściliśmy w fitotronie w temperaturze 22°C i 12-godzinnym oświetleniu lampą fluorescencyjną, dającą natężenie promieniowania fotosyntetycznie czynnego 50 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{sek}$. Stwierdziłyśmy w komórkach woffii hodowanej na ściekach oczyszczonych wzrost zawartości chlorofilu a i b w odniesieniu do hodowli kontrolnej (na wodzie wodociągowej). Niższą nato-

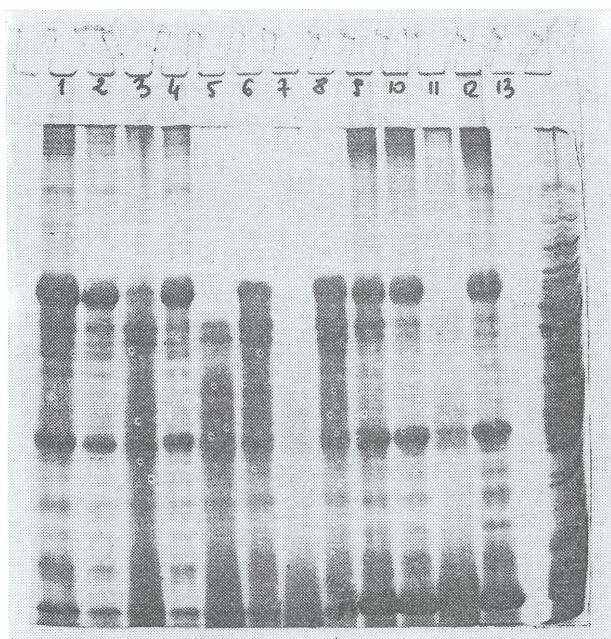
miast zawartość chlorofilu niż w hodowli kontrolnej stwierdziłyśmy w komórkach woffii rosnącej na osadzie czynnym i ściekach surowych. Zawartość cukrów we wszystkich hodowlach na ściekach była niższa niż w kontroli. Zwiększyła się natomiast zawartość białek, zwłaszcza w hodowli na osadzie czynnym i ściekach surowych. W hodowlach na ściekach stwierdziłyśmy szybki i duży przyrost biomasy. Uzyskane przez nas wyniki świadczą o wykorzystywaniu przez hodowane rośliny substancji organicznych pobieranych ze ścieków, zwłaszcza zawierających azot i fosfor. Zawarte w ściekach substancje toksyczne nie wpływają ujemnie na rozwój woffii.

Analiza elektroforetyczna białek zawartych w komórkach woffii z hodowli na ściekach i w wodzie wodociągowej wykazała różnice w składzie. Analizę przeprowadzono w 7, 14 i 28 dniu hodowli. Ciało roślin homogenizowano ultradźwiękowo. Homogenat odwirowano. Pełny homogenat, supernatant i osad otrzymane po odwirowaniu poddałyśmy elektroforezie na żelu

poliakrylamidowym (fot. 4, tab. 1).

Identyfikacja frakcji białek i ich ilościowe oznaczenie będzie przedmiotem dalszych badań.

W warunkach różnych stresów są syntetyzowane białka stresowe, kodowane przez określony zespół genów. Wydaje się, że na poziomie białek zachodzą najważniejsze relacje między rośliną a czynnikiem stresogennym (WOŹNY 1995). Interesującym wydaje się i to, że jedynie



Fot. 4. Elektroforogram białek wulfii bezkorzeniowej na żelu poliakrylamidowym.

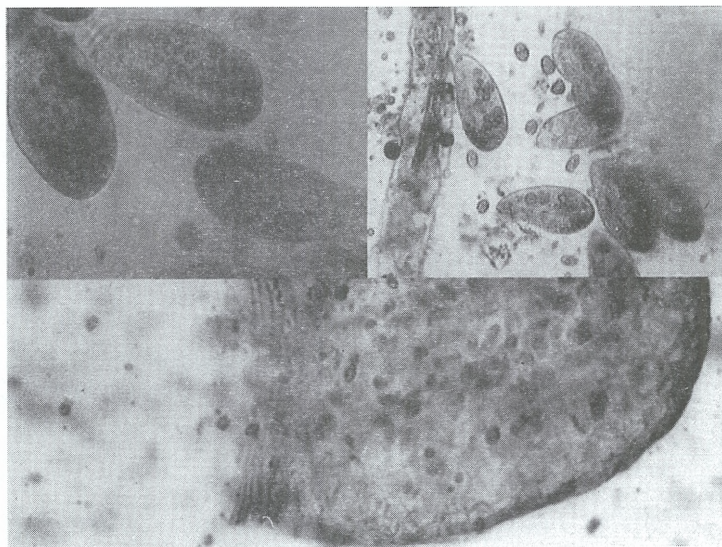
w hodowli wulfii na osadzie czynnym rozwinęła się rzęsa. Rzęsa gęsto pokryła powierzchnię wody, a pod jej kożuchem rośnie *Wolffia arrhiza*. Ograniczenie wulfii dostępu światła przez rozrastającą się rzęsę nie ograniczyło jej rozwoju. Można sądzić, że bogactwo związków organicznych zawartych w osadzie czynnym zaspokaja

Tabela 1. Wyniki elektroforezy białek wulfii hodowanej na ściekach (liczba pasków na ścieżkach).

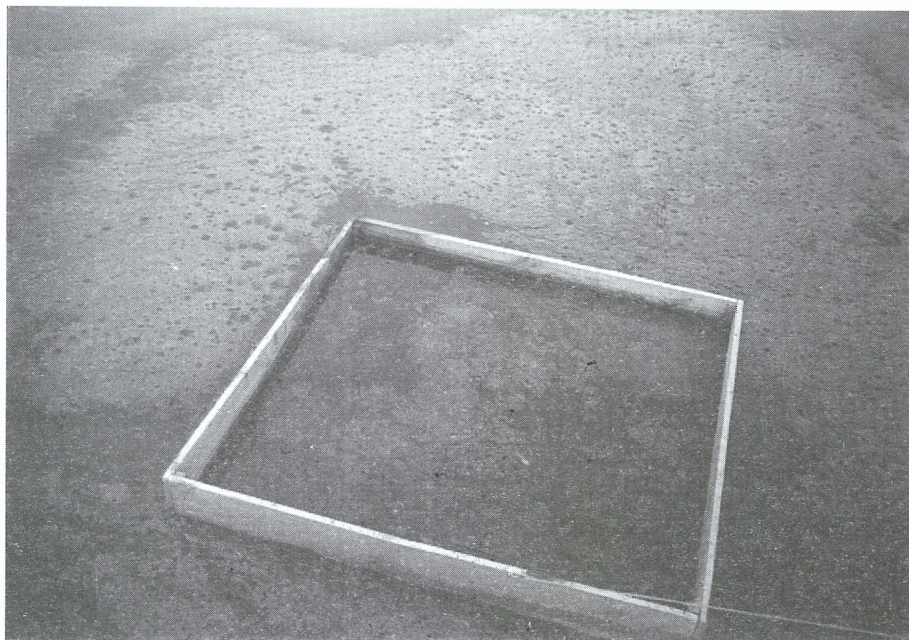
Dzień hodowli	7	14	28	7	14	28
Podłoże hodowlane	Supernatant			Osad		
Ścieki surowe	36	37	21	31	35	15
Ścieki z wylotu	35	35	21	28	35	11
Osad czynny	30	35	21	22	29	14
Kontrola	36	36	22	28	33	14

potrzeby życiowe wulfii a jednocześnie jest optymalnym środowiskiem życia rzęsy. Hodowle wulfii prowadzone na ściekach pobranych z wlotu oraz oczyszczonych pozostały jednogatunkowe mimo próby wprowadzenia rzęsy. Obecność wulfii w ściekach przyczyniła się do zwiększenia ilości gatunków drobnoustrojów. Licznie pojawiły się skąposzczety, małżoraczki, pierwotniaki, bakterie i grzyby (fot. 5). Organizmy te aktywnie uczestniczą w przemianach toksycznych substancji zawartych w ściekach i akumulują jony metali we własnych komórkach (CHMIELEWSKI 1995).

Hodowle wulfii założono też na lagunach, gdzie odprowadzane są ścieki z komór fermentacyjnych w celu ich odwodnienia. Laguny są to otwarte, duże zbiorniki, wypełnione czarną, mulistą zawiesiną, bogatą w związki azotu i fosforu. Wulfie hodowano w ramie 150 × 200 cm, zabezpieczającej przed zepchnięciem jej na wy-



Fot. 5. *Wolffia arrhiza* i drobnoustroje żyjące w ściekach. Powiększenie 40x.



Fot. 6. Hodowla wulfii na lagunie.

schnięty już brzeg laguny. Rośliny szybko zarosły ramę, przez szczeliny wyostały się na zewnątrz i laguna zaczęła pokrywać się zielonym kożuchem wulfii (fot. 6).

Wprowadzenie roślin z rodziny Lemnaceae na osadowe laguny jest ważne, ponieważ jest tu ograniczona naturalna sukcesja. Brak jest nasion odpowiednich gatunków roślin, zwłaszcza wiosną i w pierwszej połowie lata. Najczęściej obserwowano pojawianie się pomidorów, których nasiona przetrwały wszystkie etapy oczyszczania ścieków oraz fermentowania osadów. Wadą pomidorów jest późnowiosenne kiełkowanie nasion i jesienne obumieranie roślin (SIUTA 1995).

Oczyszczalnie typu *Lemna* charakteryzuje wysoki stopień redukcji BZT₅, usuwanie związków azotu i fosforu, prostota obsługi i małe

zużycie energii. Oczyszczalnie takie nie są uciążliwe dla otoczenia, pokryty bowiem roślinnością zbiornik nie wydziela przykrych zapachów. Ponieważ *Wolffia arrhiza* jest odporna na działania ksenobiotyków, może odżywiać się cudzożywnie wykorzystując związki organiczne zawarte w podłożu i szybko zarasta powierzchnię wód, to można przypuszczać, że skutecznie zostanie zastosowana w oczyszczalni ścieków. Szybkie zarastanie zbiorników wodnych przez rzęsę i wulfie można też wykorzystać do realizacji programów szkolnych z zakresu ekologii. Problem określania dynamiki liczebności populacji zaleca się rozwiązywać nie teoretycznie lub na podstawie modeli komputerowych ale na przykładzie hodowli roślin z rodziny Lemnaceae (DE BUHR 1991).

ZAMIAST PODSUMOWANIA

Wolffia arrhiza jest rośliną rzadko w Polsce występującą, ale małe jej wymiary i mała masa umożliwiają przenoszenie rośliny przez wiatr i ptaki często na duże odległości. Odporność na zmiany środowiska i czynniki toksyczne pozwala wulfii opanowywać nowe siedliska, w których

szybko rozrasta się. Mało jest jednak danych o jej możliwościach adaptacyjnych. Warto zainteresować się tą najmniejszą rośliną kwiatową świata. Może będzie pomocna w odtruwaniu środowiska a także zwiększy ilość dobrej, bogatej w białka paszy dla zwierząt.

BIOLOGY AND ADAPTIVE CAPABILITY OF *WOLFFIA ARRHIZA*

Summary

Wolffia arrhiza belongs to the family Lemnaceae. The average size of small, oval segments of the plant ranges from 1 to 1.5 mm. The plant inhabits waters of Africa, Australia, and Southern Europe. It reproduces vegetatively but may produce flowers. *Wolffia* is resistant to cyanide and lead, and grows well on the sewage. Small size, the resistance to

toxic agents, and large adaptive capability enable *Wolffia* to colonize new areas and to expand its geographical range. It seems possible that it could be taken advantage of for environment detoxification, especially in sewage purification plants.

LITERATURA

- BAJGUZ A., CZERPAK R., 1995. Występowanie i aktywność biologiczna brassiosteroidów — nowych hormonów roślin. *Kosmos* 44(1), 129–144.
- BEGON, M., 1986. *Ekologia populacji*. PWR i L, W-wa.
- BHANTHUMNAVIN K., MCGARRY M., 1971. *Wolffia arrhiza* as a Possible Source of Inexpensive Protein. *Nature* t. 232, 13, 495.
- BENNG H. J., 1961. *Leitfaden der Pollenbestimmung*. G. Fischer Verlag, Stuttgart.
- DE BUHR L. E., 1991. Using *Lemna* to Study Geometric Population Growth. *The American Biology Teacher*, t. 53, 4, 229–332.
- CHMIELEWSKI J., 1995. Mechanizmy solubilizacji i akumulacji związków metali ciężkich przez drobnoustroje. Rola człowieka w przemieszczaniu metali nieżelaznych. *Materiały I Międzynarodowej Konferencji nt. Obieg pierwiastków w przyrodzie, bioakumulacja, toksyczność*. Warszawa, 104.
- FAEGRI K., IVERSEN J., 1978. *Podręcznik analizy pyłkowej*. Wydawnictwo Geologiczne, W-wa.
- FRICK H., 1994. Heterotrophy in the *Lemnaceae*. *J. Plant. Physiol.* 144, 189–193.
- FRICK H., MORLEY K., 1995. Metabolism of Lactose by *Lemna minor* L. (Duckweed) Callus. *Process Biochemistry*, t. 30, 1, 57–62.
- HICKS L. E., 1932. Flower production in *Lemnaceae*. *Ohio J. Sci.* 32, 115–132.
- KUPRYJANOWICZ M., 1994. Zmiany roślinności rejonu torfowisk Machnaczy w Puszczy Knyszyńskiej w okresie interglacjatu eemskiego, vistulianu i holocenu. *FUW, Białystok*.
- LANDOLT E., 1980. Key to the determination of taxa within the family *Lemnaceae*. *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel* 70, 13–21.
- LANDOLT E., 1984. Blüten und Früchte der Gattung *Wolffiella* (*Lemnaceae*). *Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel*, 51, 164–172.
- MALESZEWSKI S., KOZŁOWSKA B., 1995. Czy fotooddychanie jest „marnotrawnym” procesem biologicznym. *Kosmos* 44, 653–667.
- MCCLURE J. W., ALSTON R. E., 1966. A Chemotaxonomic study of *Lemnaceae*. *Amer. J. Bot.* 53 (9), 849–860.
- MIKULSKI J., 1982. *Biologia wód śródlądowych*. PWN, W-wa.
- PODBIELKOWSKI Z., 1991. *Biogeografia roślin*. WS i P, W-wa.
- PODBIELKOWSKI Z., TOMASZEWICZ H., 1982. *Zarys hydrobotaniki*. PWN, W-wa.
- POLAKOWSKI B. (red.), 1991. *Botanika*. PWN, W-wa.
- SAMARDAKIEWICZ S., STRAWIŃSKI P., WOŹNY A., 1996a. The influence of lead on callose formation in roots of *Lemna minor* L. *Biologia Plantarum* 38 (3), 463–467.
- SAMARDAKIEWICZ S., STRAWIŃSKI P., IDZIKOWSKA K., TOMASZEWSKA B., WOŹNY A., 1996b. Przejaw odporności na ołów u *Lemna minor* L. *Szata roślinna Polski w procesie przemian*. MIREK Z., WÓJCICKI J. (red.), *Ins. Bot. PAN, Kraków*.
- SIUTA J., 1995. Wzrost i chemizm roślin na osadach ściekowych, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. BIEN J. B. (red.), Częstochowa.
- STARMACH K., 1973. *Wody śródlądowe*. 47, Kraków.
- TRYBULA M., 1996. *Gospodarka wodna w rolnictwie*. PWR i L, W-wa.
- TURNAU K., 1993. Mikoryza w siedliskach skażonych metalami toksycznymi. *Wiad. Bot.* 31, 43–58.
- WOŹNY A., 1995. Ołów w komórkach roślinnych. *Pobieranie. Reakcje. Odporność*. UAM, Poznań.