

*Pamięci dr Borysa Hrycyka
— pioniera masowych kultur
glonów w Polsce*

ZDZISŁAW SIKORA

PRAKTYCZNE I TEORETYCZNE ASPEKTY ZASTOSOWANIA MASOWYCH KULTUR GLONÓW

Jednym z naczelných zadań biologii eksperymentalnej jest wychodzenie naprzeciw coraz to nowym potrzebom człowieka a z drugiej strony doskonalenie swych własnych metod badawczych. Te dwa aspekty skupia w sobie zajmujące w ostatnich latach coraz poczytniejsze znaczenie w biologii zagadnienie hodowli glonów jednokomórkowych. Hodowle te już dawno wyszły poza ramy pracowni badawczych, bowiem glony zaczęto hodować w przemysłowy sposób na masową skalę.

Wzrastające zainteresowanie glonami związane jest z poszukiwaniami nowych, bogatych w białko źródeł pożywienia, z wypracowaniem tzw. zamkniętego systemu ekologicznego, bez którego niemożliwe jest pokonanie bariery biologicznej w opanowaniu kosmosu, oraz z problemami udoskonalenia biologicznych metod oczyszczania wód.

I. Poszukiwania nowych źródeł żywności

Zagadnienie żywności przyszłości określane jest dwoma czynnikami: zwiększaniem się populacji ludzkiej nieproporcjonalnie do wzrostu areału i wydajności upraw rolnych oraz koniecznością zapewnienia samowystarczalności statków kosmicznych czy osiedli orbitalnych.

Na przestrzeni całej swej historii człowiek rozszerzał areał uprawy ziemi i uszlachetniał hodowane przez siebie rośliny by zwiększać plony. Obecnie, gdy stoimy przed zagadnieniem eksplozji demograficznej i to o zasięgu światowym, te środki już nie wystarczają by zapewnić wyżywienie dla całej ludzkości. Gdyby nawet przyrost ludności świata utrzymywał się na dotychczasowym poziomie to deficyt żywności będzie ciągle wzrastał. Według danych FAO deficyt najcenniejszego składnika odżywczego — białka w roku 1970 szacowany jest na 10 milionów ton, w tym 5,5 milionów ton pełnowartościowego białka zwierzęcego. Będzie on większy o 12% od obecnego deficytu (z roku 1967) a w przeliczeniu na białko pełnowartościowe zwiększy się do 22% (Altschal, 1967).

Postęp rolnictwa uzależniony jest nie tylko od wprowadzania naukowych metod uprawy, lecz także od czynników społecznych, ekonomiczno-politycznych a nieraz i psychologicznych, i gdyby nawet je pominąć, to i tak areалу uprawnego ziemi i podnoszenia wydajności kultur rolnych nie da się rozszerzać w nieskończoność. Szuka się więc nowych źródeł pokarmów, a w szczególności najcenniejszego związku organicznego — białka. Drogi poszukiwań są różne: od rozszerzania asortymentu roślin uprawnych, do badań nad syntezą sztucznego białka.

Rzeczą całkowicie nową w tych poszukiwaniach jest zastosowanie mikroorganizmów. Procesy mikrobiologiczne już od wielu stuleci stosował człowiek do przygotowywania niektórych środków żywności i napojów. Lecz dopiero na przestrzeni ostatnich lat pojawiła się możliwość wykorzystania mikroorganizmów na naprawdę masową, przemysłową skalę. Dla produkcji żywności wyłoniły się dwa nowe źródła: są to bakterie rozkładające ropę naftową i zielone glony jednokomórkowe. Te ostatnie ze względu na zdolność do fotosyntezy, duże tempo przyrostu i wysoką zawartość białka wydają się być najcenniejszą formą. Wysoką wydajność kultur glonów ilustruje zestawienie dokonane przez H. Tamiya (1965). Podaje on, że gdy roczna produkcja tradycyjnie prowadzonego rolnictwa wynosi najwyżej 5—12 ton suchej masy z hektara, to hodowla glonów jednokomórkowych daje 100 ton. Taką wydajność można otrzymać stosując wiele skomplikowanych zabiegów, lecz i bez nich roczna produkcja glonów jest i tak bardzo wysoka bo wynosi średnio 33 tony. Daje to w przeliczeniu na białko 17 500 kg z glonów, z roślin wyższych 250 do 750 kg, a produkcja zwierzęca (w przeliczeniu na mięso i mleko) daje 60—112 kg z hektara na rok. Jak wynika ponadto z teoretycznych obliczeń opartych na równaniu fotosyntezy zbiory glonów mogą być wielokrotnie wyższe. Tak duża wydajność pozwala skoncentrować uprawę glonów na stosunkowo niedużym obszarze, a więc ominąć następną ograniczającą rolnictwo barierę jaką jest deficyt ziemi. Jak podają badacze amerykańcy (Burlaw, 1953), przy założeniu, że połowę zapotrzebowania białka z ogólnej ilości 65 g dziennie dla jednego człowieka pokryje się z glonów, to powierzchnia kultur przy ówczesnym stanie zaludnienia wynosiłaby około 4 tysiące km². Jest to powierzchnia nieznaczna, bo nieco mniejsza od połowy obszaru województwa katowickiego. Wprowadzenie więc hodowli glonów nie powodowałoby wyparcia istniejących kultur rolnych, pomijając już fakt, że możnaby wprowadzać ją na terenach nieodpowiednich dla rolnictwa.

Bakterie ropne, posiadające zdolność do rozkładu prostych węglowodorów i oznaczające się znaczną zawartością białka również zaczyna się stosować jako źródło produkcji tego deficytowego pokarmu (Z. Ilczuk, 1968). Lecz nie jest to metoda możliwa do zastosowania na dłuższą metę, bowiem i źródła energetyczne, których podstawą jest ropa naftowa są na wyczerpaniu. Nieograniczone zastosowanie mogą mieć tylko formy autotroficzne, zdolne do fotosyntezy, a więc zielone glony. Jak wynika z przytoczonych faktów zastosowanie kultur glonów na szeroką skalę może być tym poszukiwanym rozwiązaniem w deficycie żywności na świecie (Zurzycki, 1963).

Jakie to cechy predysponują glony jednokomórkowe jako najodpowiedniejszą formę pokarmu przyszłości? Ich dodatnie cechy uwypuklają się jaskrawo przy porównaniu z tradycyjnie uprawianymi roślinami. Przegląd ten należy rozpocząć od zagadnienia wiązania energii świetlnej i stopnia wykorzystania jej przez rośliny. Życie na Ziemi podtrzymywane jest tylko dzięki nieprzerwanemu dopływowi energii. Źródłem jej jest słońce a najistotniejszym dla życia akumulatorem i to jedynym są rośliny zielone. Od ich sprawności przemiany energii świetlnej w energię chemiczną zawartą w związkach organicznych zależy rozwój i utrzymanie się życia na naszej planecie. Wykorzystanie całkowitej energii padającej, obliczone na podstawie rekordowych zbiorów dochodzi do 2% u polowych roślin wyższych a w kulturach glonów wynosi 15 do 25%. Tak wysoka skuteczność przemiany energii świetlnej w chemiczną u glonów jest możliwa dzięki temu, że w ich kulturach można łatwo utrzymać optymalne warunki rozwoju i stosować niskie intensywności światła. W tak prowadzonych kulturach glony są zawsze u szczytu okresu rozwoju. Rośliny zużytkowują energię słoneczną w maksimum tylko wtedy, gdy inne warunki są w optimum. W uprawach rolnik stara się utrzymywać takie warunki, lecz nie ma sposobu regulowania temperatury i plony stale zależne są od pogody. Gdy hodowano rośliny wyższe w niskich intensywnościach światła, przy dostatecznej ilości wilgoci i CO₂ w powietrzu udało się uzyskać współczynnik przemiany energii równie wysoki jak u glonów. Rzecz więc nie tyle w tym, że glony są bardziej wydajne energetycznie, lecz w tym, że potrafimy je hodować w warunkach, w których możliwe jest osiągnięcie maksymalnej wydajności, co nie zawsze udaje się, lub nie byłoby ekonomiczne w wypadku roślin wyższych.

Z 18,25 miliardów kcal energii świetlnej padającej na jeden hektar ziemi w strefie umiarkowanej średnio tylko 0,5% jest utrwalone w materii organicznej. Tak niski współczynnik wykorzystania spowodowany jest tym, że w strefie umiarkowanej okres wegetacji jest krótki, ponadto w pierwszym okresie nasiona przebywają w ziemi, następnie młode rośliny nie pokrywają całej powierzchni gleby, a dopiero rośliny dojrzałe zdolne są wykorzystać maksimum padającego promieniowania. Z kolei tylko nieznaczna część zbiorów używana jest jako pokarm, bowiem zużytkujemy tylko poszczególne części roślin, jak ziarno, owoce, bulwy czy korzenie, co obniża efektywność wykorzystania energii związanej. Przewaga glonów nad roślinami wyższymi w stopniu wykorzystania energii świetlnej możliwa jest dzięki temu, że glony hodować można w dużym zagęszczeniu, a więc całe padające promieniowanie może być wykorzystane.

Oprócz cech czysto fizjologicznych, nawet cechy anatomiczne dają komórkom glonów przewagę w eksploatacji nad wyższymi roślinami uprawnymi. U mikroorganizmów jedna komórka jest całym organizmem, który bierze udział w metabolizmie i prawie cała może być użyta jako pokarm. U roślin wyższych aparat syntezy związków organicznych znajduje się w liściu, skąd muszą być one transportowane do innych części, nieraz bardzo odległych, gdzie są magazynowane. Całość wymaga znacznej rozbudowy systemu mechanicznych konstrukcji służących do

podtrzymywania i umocowywania poszczególnych części rośliny. Wydatek na energię transportu i materiał budulcowy, zazwyczaj bezużyteczny jako pokarm, jest u roślin wyższych znaczny. Budowa więc roślin wyższych jest źle przystosowana do celów, do których człowiek chciałby je wykorzystać.

Proces wzrostu kultury rolnej od momentu wysiewu, poprzez wzrost aż do owocowania jest procesem seryjnym, zdążającym od zera poprzez powolną rozbudowę, aż do osiągnięcia maksymalnej wydajności, później proces ustaje i musi być rozpoczęty od nowa. Jak wiadomo, w operacjach przemysłowych zastosowanie procesu ciągłego w miejsce seryjnego okazało się bardziej korzystne i wydajne. Wprowadzenie systemu ciągłego w produkcję rolną jest możliwe właśnie w kulturach glonów. Zastosowanie metod przemysłowej produkcji może być tym najbardziej rewolucyjnym czynnikiem w rozwoju rolnictwa, pozwala bowiem na całkowite i kierunkowe kształtowanie plonów. Kierowanie produkcją biomasy glonów możliwe jest dzięki ich cechom, których rośliny wyższe nie posiadają. Wiadomo, że skład roślin wyższych jest bardzo stały i nieznacznie da się poprawiać warunkami hodowli czy nawożenia. Natomiast metabolizmem mikroorganizmów można kierować łatwiej i w zależności od warunków hodowli otrzymać komórki bogate w poszczególne związki organiczne. W ostatnich czasach pojawiło się takie pojęcie, jak stosowana i kontrolowana biosynteza, czyli szereg zabiegów, które w konkretnym przypadku kultur glonów pozwalają otrzymać biomasę bogatą bądź w białko lub tłuszcze, albo komórki o znacznej zawartości witamin, antybiotyków lub barwników.

W pełni kierowana produkcja biomasy jest tą formą hodowli, którą można zastosować w każdym miejscu kuli ziemskiej lub poza naszą planetą, pod warunkiem, że dostarczymy kulturom pożywki mineralnej, CO_2 i energię świetlną. Otwiera to perspektywy rozwiązania problemu wyżywienia statków kosmicznych, których lot trwałby kilka tygodni czy nawet całe lata. Również osiedla orbitalne, których zakładanie przewiduje się już w latach osiemdziesiątych, winny w zasadzie same produkować potrzebną im żywność. Tutaj wprowadzenie kultur glonów obok upraw hydroponicznych stanowi jedyną szansę powodzenia takiego założenia.

II. Aktualny stan badań nad wykorzystaniem glonów w żywieniu

Wymienione aspekty zastosowania masowych kultur glonów są sprawą przyszłości, lecz ponieważ związane są z najżywotniejszymi interesami ludzkości już teraz są one rozpracowywane w pracowniach badawczych. Postęp tych badań wyznaczają dwa kierunki: opracowanie metod produkcji glonów jednokomórkowych oraz badania nad przyswajalnością biomasy glonów przez zwierzęta i ludzi.

Jak dotychczas, opracowano szereg typów urządzeń hodowlanych, a badania w tym kierunku zmierzają do coraz większego usprawnienia i potania produkcji poprzez zastosowanie całkowitej automatyzacji wszystkich czynności hodowlanych. Należą do nich: dozowanie soli mineralnych i CO_2 , zmiana natężenia światła proporcjonalnie do gęstości zawiesiny komórek, przepływ i barbotaż pożywki oraz

odbior biomasy. Dla potrzeb lotów kosmicznych opracowano samoregulujące się, automatyczne urządzenia hodowlane, które utrzymują warunki wewnętrzne kultury na stałym optymalnym poziomie. Ponadto przebadano tysiące szczepów glonów jednokomórkowych z różnych rodzajów i gatunków celem wyszukania odmian najbardziej wydajnych i określenia warunków ich optymalnego rozwoju. Równolegle prowadzi się prace nad uszlachetnianiem form dzikich, wyizolowanych z natury, oraz nad otrzymaniem mutantów, które pozwolą zastosować formy o cechach najbardziej przydatnych dla potrzeb produkcyjnych.

Kolejny etap badań to opracowanie technologii przygotowania z glonów paszy dla zwierząt i surogatów odżywczych dla ludzi. Prace żywieniowe i strawnościowe mają na celu określenie przydatności biomasy glonów w żywieniu. Jakość pokarmu określana jest zawartością tłuszczu czy białek oraz odpowiednim ich składem aminokwasowym. Duża zawartość składników odżywczych w komórkach glonów jest obok rekordowych zbiorów tą zasadniczą cechą, która decyduje o ich olbrzymiej wartości. Jak podaje Tamiya przeciętny skład suchej masy najczęściej hodowanego glonu *Chlorella* wynosi: 50% białka, ilość niespotykana w żadnej innej roślinie, następnie 20% tłuszczu, 20% węglowodanów i 10% popiołu. Komórki tego glonu bogate są ponadto w witaminę A, kwas askorbinowy, witaminę K, ryboflawinę, tiaminę, biotynę, pirydoksynę, niacynę, kwas pantotenowy, kwas foliowy, cholinę, inozytol, kwas p-aminobenzoesowy i inne biologicznie czynne związki. Glony posiadają również kompletny zestaw aminokwasów, co decyduje o przydatności odżywczej ich białek. Białko to posiada niski ciężar drobinowy, powinno więc być łatwo trawione, jedynie niska zawartość metioniny i cystyny ogranicza jego wartość biologiczną.

Na przestrzeni ubiegłych kilku lat wykonano szereg prac na temat przydatności glonów w żywieniu zwierząt laboratoryjnych i hodowlanych. Otrzymane wyniki są różne w zależności od użytego obiektu (Wierny, 1966). Tak więc szczury, świny i owce wykorzystywały w zasadzie dobrze paszę glonową, lecz różni autorzy podają różne współczynniki wykorzystania i strawności. We wszystkich przypadkach dodatek do paszy metioniny poprawiał wykorzystanie białka glonów. Kurczęta nie trawiły glonów wogóle. Czynnikiem uniemożliwiającym strawienie paszy glonowej lub wpływającym na niski stopień strawności jest trudna do rozbicia błona komórkowa glonów. W ostatnich miesiącach udało się opanować wreszcie metody dezintegracji komórek glonów. Dopiero to osiągnięcie daje możliwość definitywnego określenia przydatności glonów jako paszy dla zwierząt. Podobnie przedstawia się sprawa żywienia glonami ludzi. Prac takich wykonano już szereg, głównie w Japonii, Stanach Zjednoczonych i ZSRR. Rosyjskich danych nie opublikowano, natomiast dostępne są prace japońskie i amerykańskie.

Japońscy uczeni od lat pięćdziesiątych prowadzą intensywne badania nad *Chlorellą* jako źródłem żywności. Wykazali oni, że biomasa glonów w postaci suchego proszku może być dodawana do takich pokarmów, jak: chleb, lody, kremy, makaron i do podobnych produktów powiększając ich zawartość białka, witaminy A

i kwasu askorbinowego. Dodają oni, że to pożywienie ma przyjemny smak, a zielony kolor nie psuje apetytu (Nutrition Reviews, 1955). W Annual Report of National Institute of Nutrition, 1952, inna grupa badaczy stwierdza, że glony mogą być przydatne do żywienia ludzi, jednak ich wartość nie dorównuje innym tradycyjnym pokarmom. Jakość glonów można było poprawić przez traktowanie ich metanolem, co pozbawiło je ostrego zapachu i smaku oraz usuwało nienormalne dla pokarmu zielone zabarwienie. Z tych i podobnych badań można wyciągnąć wnioski, że glony posiadają wartość odżywczą i mogą być wykorzystane do żywienia ludzi. Obiekcje takiego zastosowania według Japończyków to głównie koszt produkcji i przetwórstwa, brak metioniny i niekompletna strawność.

Całkiem negatywne wyniki otrzymali badacze amerykańscy. (McDowell i wsp., 1960). Zielone glony według nich są niestrawne, bowiem błona komórkowa zostaje nienaruszona po przejściu przez przewód pokarmowy, a ich spożyciu towarzyszyło złe samopoczucie ludzi, mdłości i bóle brzucha. W żadnym z przypadków nie stwierdzono zatrucia.

Wszystkie te prace budzą poważne zastrzeżenia, bowiem użyto w nich komórek glonów o nierozbitych ścianach celulozowych, a jak wiadomo przewód pokarmowy człowieka nie wytwarza celulazy. Nie można więc było zbadać strawności białka glonów, gdy było ono praktycznie niedostępne. Definitywną odpowiedź na pytanie czy glony mogą być wykorzystane przez ludzi będzie można otrzymać, podobnie jak w analogicznych doświadczeniach ze zwierzętami, dopiero po przeprowadzeniu prób z biomasą o zdeintegrowanych komórkach. Natomiast już obecnie produkcja surogatów odżywczych z glonów w postaci wyciągów aminokwasów i tłuszczu lub witamin rozwinęła się na skalę przemysłową, między innymi w Japonii i Czechosłowacji.

III. Zaknięty system ekologiczny

Rozpatrując zagadnienia żywności przyszłości należy brać pod uwagę warunki życia i zamieszkania człowieka w przestrzeni pozaziemskiej. Już w niedalekiej przyszłości człowiek będzie przebywał poza Ziemią, albo w orbitalnych osiedlach, lub też w pojazdach kosmicznych, których lot trwać może całe lata lub generacje. By w takich obiektach mógł człowiek żyć, trzeba zapewnić mu dostarczenie pożywienia, tlenu i wody, których ilość w miarę przedłużania czasu zamieszkiwania będzie wzrastać do olbrzymich rozmiarów. Dla przykładu, zapotrzebowanie jednego człowieka na dobę wynosi: 1 kg tlenu, 2,5 kg wody i pożywienie o wadze 500 do 800 g (suchej masy). Pożywienie to winno posiadać 2500 kalorii, odpowiedni stosunek tłuszczu, węglowodanów i białek, sole mineralne i witaminy. W ciągu doby zaś wydała człowiek 1,3 kg CO₂, 2,5 kg wody i około 100 g substancji nieprzyswojonych.

Obiekty kosmiczne winny być samowystarczalne, bowiem stały transport z Ziemi lub możliwość zmagazynowania zapasów na dłuższy okres czasu są technicznie niemożliwe. Tak więc, żywność winna być produkowana na miejscu, powietrze oczysz-

czane z CO_2 , tlen zaś dostarczany nieprzerwanie a wszystkie części odpadowe usuwane. Problem ten jest możliwy do rozwiązania tylko na drodze stworzenia odpowiedniego mikrokosmosu, którego głównym członem byłby zamknięty cykl człowiek-roślina.

Jak można wypracować taki system? Już w roku 1772 Priestley, pionier badań nad fotosyntezą, stwierdził, że w zamkniętym pomieszczeniu z powietrzem „zepsutym przez spalanie świec nie można było utrzymać przy życiu myszy, a zapalona w nim świeca gasła. Jeżeli jednak w powietrzu takim umieszczono na dłuższy okres czasu rosnącą gałązkę mięty, mysz żyła, świeca zaś paliła się“. Było to jeszcze w czasach, gdy nie odkryto tlenu i nie znano procesu fotosyntezy. Dziś wiemy, że w procesie fotosyntezy zielona roślina kosztem energii świetlnej, na drodze endotermicznej redukcji CO_2 i wody wytwarza związki organiczne oraz uwalnia tlen. Zastosowanie roślin w obiektach kosmicznych pozwoliłoby wytwarzać na miejscu materię organiczną, co związane byłoby jednocześnie z oczyszczaniem sztucznej atmosfery z CO_2 i wydalaniem do niej tlenu.

Pozostaje jeszcze kwestia doboru odpowiedniej formy roślinnej. Najbardziej przydatną formą byłaby roślina o dużej aktywności przemiany materii, dająca się jednocześnie hodować w sztucznych, zamkniętych i ściśle kontrolowanych urządzeniach. Wiadomo, że kultury *Chlorella* mogą produkować żywność w szybkim tempie, gdy posiadają optymalne warunki pożywkowe, CO_2 i światło słoneczne. Są to właśnie warunki, które mogą być zastosowane w obiektach kosmicznych. Do tego cyklu można dołączyć szereg innych pośrednich ogniw, jak: bakterie, grzyby, wyższe rośliny i zwierzęta. Włączenie zwierząt, które posiadają wysoki współczynnik przemiany biomasy roślinnej w mięso, jak np. kurczę, umożliwi urozmaicenie pokarmu kosmonauty. Ze zwierząt, które mogłyby spożywać glony wymienia się *Daphnie*, która ma współczynnik przemiany glonów w tkankę = 40% (Tamiya, 1961). Także małe ryby żywiące się glonami były badane jako potencjalne źródło żywności. Zwierzęta zastosować można również do produkcji żywności z odpadów gromadzonych w pojazdach kosmicznych. Oprócz organizmów, do sprawnego funkcjonowania wymiany energetycznej niezbędne są pewne techniczne urządzenia, np. aparatura do odzyskiwania wody z powietrza i z odpadów, aparatura do dekompozycji CO_2 i wody, oraz urządzenia do aktywacji osadów. Całość tworzyłaby zamknięty bioenergetyczny układ zwany „closed ecological system“ — zamknięty ekologiczny system. Składają się na niego 3 główne działy: 1) człowiek i (lub) zwierzę, 2) dział wymiany fotosyntetycznej, 3) dział wymiany odpadów.

Człowiek w tym systemie stanowiłby główne ogniwo i do jego potrzeb dostosowane muszą być pozostałe człony. Inne organizmy to ogniwa pośrednie w przemianie materii i energii. Zwierzęta zastosowane będą, jak już wspomniano, jako sprawne formy zamiany biomasy mikroorganizmów w mięso. Dział wymiany fotosyntetycznej, to głównie glony lub rośliny wyższe, które można by hodować w hydroponikach. Ich zadaniem będzie wytwarzanie materii organicznej kosztem energii świetlnej dostarczonej z zewnątrz pojazdu oraz z CO_2 nagromadzonego

w sztucznej atmosferze w procesie oddychania ludzi i zwierząt, czy też powstałego podczas spalania odpadów. Powstały w czasie fotosyntezy tlen doprowadzany będzie do pomieszczeń człowieka. Jak wykazały badania amerykańskie (Ebbs, 1959), 2,5 kg glonów może produkować wystarczającą ilość tlenu dla człowieka i wiązać w całości wydalany przez niego CO_2 . Również Rosjanie, niedawno, bo w połowie 1967 roku, wykonali podobne doświadczenie, wykazując, że przez 40 dni człowiek może żyć w szczelnie zamkniętej kabinie, w której rozwijały się kultury glonów. Udało się dobrać dietę człowieka w ten sposób, że jej spalanie było zsynchronizowane z przemianą gazową glonów. Dział przemiany odpadów miałby za zadanie usuwanie i w miarę możliwości przeróbkę w pokarm wszystkich części odpadowych. Produkty przemiany materii człowieka i pozostałych organizmów będą spalane. Można tego dokonać różnymi sposobami, otrzymując różny stopień rozkładu aż do końcowego stadium tj. mineralizacji. Z szeregu metod rozkładu, jak sądzą niektórzy badacze, aerobowe metody dają największy potencjał, gdy inni sądzą, że aerobowe mokre spalanie może być prostsze i bardziej praktyczne. Uzyskane w ten sposób sole mineralne wejdą w skład pożywek hodowlanych mikroorganizmów. Na tym poziomie zastosować można dalsze organizmy będące pośrednikami wymiany gazowej. Szczególnie interesującym jest włączenie grzyba *Linderina pennispora* (Lachance i wsp., 1963). Zamienia on wydajnie amoniak na własne białko. Można by również wprowadzić biologiczne metody rozkładu odpadów dające tzw. aktywowany osad, bogaty w związki organiczne. Po sterylizacji może być on użyty w hodowli roślin lub żywieniu zwierząt. Hurwitz (1957) takim aktywowanym osadem, bogatym w witaminę B i wszystkie podstawowe aminokwasy z wyjątkiem metioniny i cystyny, karmił kurczęta i świnie otrzymując dobre efekty. Jak podaje ponadto Lachance (1963) w Astronautycznej Szkole Medycznej karmiono przez szereg dni myszy liofilizowaną mieszaniną aktywowanego osadu i glonami jako całkowitym źródłem pokarmu i nie zaobserwowano toksycznego efektu.

Wszystkie trzy działy tego systemu stanowią nierozdzielalną całość, ściśle związane ze sobą w łańcuchach bioenergetycznych przemian. Taka jednostka jest w pełni samowystarczalna przez nieograniczony okres czasu, pod warunkiem dostarczania energii świetlnej. Człowiek w tym systemie będzie ogniwem głównym, ale nie zasadniczym z punktu widzenia przemian energetycznych. Ta rola przypadnie glonom, jako podstawowym akumulatorom energii słonecznej, która tak jak na Ziemi, tak i w pojazdach kosmicznych podtrzymywać będzie życie.

IV. Zastosowanie glonów w oczyszczaniu wód

Problemy związane z oczyszczaniem wody są najbardziej palącymi zagadnieniami naszych czasów. Wraz z postępem cywilizacji człowiek rozbudowuje przemysł, który do swych procesów technologicznych zużytkowuje coraz więcej wody. Woda ta jest odprowadzana z powrotem do rzek, powodując coraz większe ich zanieczyszczenia. Z kolei wzrost ludności i nie notowany dotąd rozwój miast wzmagają

zapotrzebowanie na czystą, zdatną do picia wodę. Odprowadzanie ścieków miejskich w ich niezmienionej formie do rzek doprowadziłoby w krótkim czasie do masowego zatrucia ludności. Ścieki muszą być oczyszczane, a wzrastające w kolosalnym tempie zapotrzebowanie na wodę wymaga stosowania metod szybkich i wydajnych. Także i w tej dziedzinie glony znalazły szerokie zastosowanie, jak dotychczas najszersze z wszystkich dziedzin działalności człowieka. Jest to oczywiste, bowiem wody są ich naturalnym siedliskiem w przyrodzie i wykorzystanie ich do oczyszczania ścieków nie wymaga specjalnych zabiegów i nie jest związane z dużym nakładem kosztów.

Oczyszczanie ścieków przebiega przez dwa etapy: mechaniczny i biologiczny. W pierwszym etapie woda przechodzi przez szereg filtrów, nieraz specjalnie aktywowanych, które zatrzymują wszystkie zawiesiny. Pozostają tylko związki rozpuszczone w wodzie. Drugi etap to oczyszczanie biologiczne, mające na celu zmineralizowanie wszystkich związków organicznych zawartych w ściekach. Dokonuje się tego za pomocą bakterii, rzęskowców i innych mikroorganizmów, które zużytkowują substancje organiczne do swego wzrostu i rozwoju. Proces ten przebiega najczęściej na tzw. złożach zraszanych, gdzie duży dostęp tlenu zapewnia mikroorganizmom doskonale warunki rozwoju. Rozwijające się mikroorganizmy stanowią tzw. osad czynny, który dopiero w specjalnych osadnikach musi być osadzony, by woda pozbawiona już i zanieczyszczeń i organizmów, mogła być doprowadzona do rzek.

Glony włączać można na obydwóch etapach biologicznych. Ich szybkie tempo rozwoju zapewnia przyspieszenie procesu oczyszczania, a szereg innych cech powoduje, że są bardziej przydatne do tych celów niż inne mikroorganizmy. Glony mogą odżywiać się tak auto-, jak i heterotroficznie i łatwo przechodzą z jednej formy w drugą. Oznacza to, że rosną dobrze na podłożach bogatych w związki organiczne, można je więc stosować do oczyszczania ścieków z zakładów przemysłu spożywczego, jak np. rzeźnie, cukrownie, browary itp. Z drugiej strony przy dostatecznym dostępie światła mogą żyć na podłożach tylko mineralnych, zubażając otoczenie w te składniki. Sprawność ich aparatu fotosyntetycznego zapewnia im rozwój w zbiornikach, w których bakterie i rzęskowce są formami nieaktywnymi. Glony posiadają ponadto dużą zdolność do akumulacji poszczególnych jonów, w tym metali ciężkich, tak trujących dla większości organizmów. Następną cechą, która daje im przewagę w oczyszczaniu ścieków, to tolerancja na względnie duże stężenia fenolu czy chloru, związków zawsze obecnych w ściekach.

Badania nad zastosowaniem glonów do oczyszczania różnego rodzaju ścieków miejskich czy przemysłowych są prowadzone prawie w każdym państwie. Najintensywniejsze prace w tym kierunku prowadzono przez kilka ubiegłych lat w USA. Tam też zebrano najwięcej materiału doświadczalnego, który posłużył do opracowania szczegółowych metod wprowadzania glonów do poszczególnych etapów oczyszczania wód, tak że obecnie ukończono tam etap badawczy i glony znalazły w tej dziedzinie pełne zastosowanie.

V. Rola kultur glonów w pracach badawczych

Jak dotychczas wiele aspektów związanych z wykorzystaniem glonów nie wyszło poza ramy opracowań laboratoryjnych, a tylko nieliczne znalazły zastosowanie na szeroką skalę. Jednak trwały postęp badań w tej dziedzinie rokuje coraz większe możliwości praktycznego zastosowania glonów. Nawet gdyby niektóre z opracowywanych problemów okazały się nieprzydatne, to już obecnie stwierdzić można, że glony usprawiedliwiają pokładane w nich nadzieje.

Szerokie możliwości zastosowania glonów spowodowały, że szereg instytucji i placówek badawczych przeznaczyło na ten cel kolosalne środki finansowe i całe sztaby specjalistów. Dało to w rezultacie olbrzymi rozwój prac badawczych związanych z tą dziedziną. Jest to, jak dotychczas największe, nie dające się kwestionować osiągnięcie. Prace te obejmuje szeroki zakres — od ekologicznych badań naturalnych siedlisk glonów, ich taksonomii, problemów morfologii i zmienności po podstawowe prace z fizjologii, biochemii i genetyki. Opracowano metody laboratoryjnych kultur glonów wraz z określeniem dynamiki rozwoju tych organizmów i ich wymogów życiowych. Opracowano również szereg receptur pożywkowych i rozwiązano wiele problemów technicznych związanych z urządzeniami do hodowli laboratoryjnych.

Osiągnięcia te mają olbrzymie znaczenie badawcze, bowiem glony jednokomórkowe są szeroko stosowane w wielu dyscyplinach naukowych. Użycie jako modelu badań obiektów jednokomórkowych, tak powszechne we współczesnej biologii związane jest z aktualnymi tendencjami rozwojowymi tej nauki.

Biologia ubiegłego wieku stała pod znakiem ewolucjonizmu i teorii komórkowej budowy organizmu. Zajmowano się całymi organizmami i ich siedliskami. W miarę postępu tych badań stawało się coraz bardziej oczywiste, że klucza do określenia cech swoistych dla danych organizmów, czy też różnic między nimi należy szukać w reakcjach, które kierują chemicznymi funkcjami życia. Gwałtowny rozwój biochemii i genetyki spowodował wzrost zainteresowania fizjologią pojedynczej komórki. Biologia molekularna rozwinęła się już na bazie badań procesów zachodzących wewnątrz pojedynczej komórki czy nawet w poszczególnych jej częściach.

Główne zagadnienia współczesnej biologii — to problemy fotosyntezy, mechanizm dziedziczenia, synteza białek, procesy wzrostu i rozwoju oraz procesy rakowe. Powszechne użycie mikroorganizmów jako podstawowych obiektów badań nie było przypadkowe, są one bowiem najlepszym modelem do badań tych podstawowych procesów życiowych. Wyjaśnienie podstaw mechanizmu dziedziczenia było możliwe dzięki zastosowaniu w badaniach genetycznych takich organizmów, jak bakterie, wirusy czy fagi. Również podstawowe prace z dziedziny biochemii, głównie zagadnienia syntezy białek rozwiązano przy użyciu mikroorganizmów. Na modelu takiego glonu, jak *Chlorella* rozwiązano podstawowe zagadnienia fizjologii i biochemii roślin. Była ona obiektem fundamentalnych prac Warburga nad zagadnieniami wymiany gazowej organizmów. Zielone jednokomórkowe glony znalazły wszechstronne zastosowanie w badaniach najważniejszego procesu życiowego,

jakim jest fotosynteza. Laureat nagrody Nobla, Calvin swoje rewelacyjne prace z dziedziny fotosyntezy przeprowadził na kulturach *Chlorella* i *Scenedesmus*. Postęp w badaniach nad fotosyntezą związany jest między innymi z rozszerzeniem znajomości i rozpowszechnieniem metod laboratoryjnych kultur glonów. Przykład Calvina jest doskonałą ilustracją jak w pracy naukowej twórcza inwencja musi iść w parze z umiejętnością technicznego przeprowadzenia doświadczeń.

Badania nad laboratoryjnymi kulturami glonów zbiegły się z rozwojem nowej dyscypliny biologicznej — kulturami tkankowymi. Obie te dziedziny mają wspólne zagadnienia metodologiczne i technologiczne i wzajemnie się uzupełniają. Także w rozwiązywaniu innych problemów, takich jak dziedziczność, zjawiska wzrostu i rozwoju, czy zapotrzebowania żywieniowe organizmów, glony znalazły szerokie zastosowanie, zezwalając bowiem na atrakcyjne uproszczenie planu doświadczeń.

LITERATURA

- Altschal A. M., 1967. *Food Proteins: New Sources from Seeds*. Science, vol. 158, No 3798, 221.
 Annual Report of the National Institute of Nutrition. The National Institute of Nutrition, Toyamacho, Tokyo, 1952.
- Burlew J. S., 1953. *Current Status of the large-scale culture of Algae*. Carnegia Institution of Washington, publ. 600, 3—23.
- Ebbs J. E., 1959. *Nutrition in the space age*. Nutrition Reviews, vol. 17, No 5, 129—131.
- Hurwitz E., 1957. *The use of activated sludge as an adjuvant to animal feeds*. Proc. 12th Purdue Indust. Waste Conf.
- Ilczuk Z., 1968. *W poszukiwaniu nowych źródeł białka*. Problemy, R. XXIV, Nr 3.
- Lachance P. A., i Vanderveen J. E., 1963. *Problems in space foods and nutrition: Food for extended space travel and habitation*. Food Technology, vol. 17, No 5, 59—65.
- McDowell M. E., 1960. Food Proc., 19, 319. Nutrition Reviews, 1955, 13, 13.
- Tamiya H., 1961. *Chemical composition and applicability as food and feed of mass-cultured unicellular algae*. Final Report No 1, USAC.
- Tamiya H., 1965. *Masowa uprawa glonów*. Wydanie „Życie i Człowiek”. Tom Roślina. PWN, Warszawa.
- Wierny A., 1966. *Próby wykorzystania alg do żywienia zwierząt*. Przegląd Hodowlany, 10, 16—18.
- Zurzycki J., 1963. *Fotosynteza a problemy wyżywienia*. Warszawa. W. P. Nowości Nauki i Techniki.