

Krzysztof Kasprzak

Polskie Zrzeszenie Inżynierów
i Techników Sanitarnych
Oddział w Poznaniu

Biotechnologia użytkowania odpadów organicznych z zastosowaniem dżdżownic (*Annelida: Lumbricidae*)

The plough is one of the most ancient and most valuable of man's inventions: but long before he existed the land was in fact regularly ploughed and still continues to be thus ploughed by earth-worms. It may be doubted whether there are many other animals which have played as important a part in the history of the world as have these lowly organized creatures.

Charles Darwin (1881). The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms with Observations on their Habits.

1. Wstęp

Powstawanie w wyniku działalności gospodarczej coraz większej ilości różnego typu niepodatnych na degradację odpadów stwarza poważne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego. Odpady nie wchodzące w obieg materii ulegają akumulacji, której konsekwencje są obecnie, obok eutrofizacji wód, jednym z podstawowych zagrożeń środowiskowych o zasięgu światowym. Z tego względu najbardziej poprawne, z ekologicznego punktu widzenia, jest dążenie w gospodarce odpadami do zamknięcia obiegu materii. W przypadku odpadów organicznych bardzo często możliwe jest to np. poprzez ich glebowe wykorzystanie do celów rolniczych. Tylko taka metoda umożliwia, przy prawidłowym stosowaniu, użycie stosunkowo dużych ilości odpadów organicznych przy jednoczesnej poprawie jakości gleby, m.in. poprzez wzbogacanie jej w substancje organiczne i związki mineralne lub rekultywację gruntów zdegradowanych. Daje ona również największą jak dotąd jednoczesną eliminację nadmiaru związków azotu i fosforu. Obserwujemy duży rozwój technologii oczyszczania ścieków i użycia odpadów stałych orazłożenie coraz większych nakładów finansowych i materiałowych przeznaczonych na szukanie nowych rozwiązań umożliwiających uzyskanie z nie wykorzystanych gospodarczo odpadów wielu cennych surowców wtórnych, w tym naturalnych substratów umożliwiających zachowanie biologicznej aktywności gleby oraz substancji paszowych. Jednakże, nadal istnieje bardzo wyraźna dysproporcja między postępowaniem prac w zakresie rozwiązań technicznych a wykorzystaniem substancji odpadowych do zagospodarowania glebowego (m.in. rolniczego) przy zastosowaniu różnych metod biologicznych. Jedną z takich metod jest użycie odpadów substancji organicznych przy udziale bezkręgowców glebowych, zwłaszcza dżdżownic (*Annelida, Oligochasta: Lumbricidae*), współdziałających w rozkładzie martwej materii organicznej z mikroorganizmami chemoheterotroficznymi. Dla wszystkich tych glebowych organizmów rozkładających głównym czynnikiem ograniczającym ich rozwój są zasoby substratów.

2. Dżdżownice i ich rola w rozkładzie materii organicznej

Eksperymentalne badania laboratoryjne prowadzone na wybranych gatunkach dżdżownic różnych rodzin wykazały, że masowe hodowle (tzw. vermikultury) gatunków dżdżownic z rodziny *Lumbricidae* stwarzają realne możliwości różnego wykorzystania gospodarczego zarówno przerobianego przez dżdżownice podłoża (substratu), jak i samych wyhodowanych osobników

dżdżownic. Problematyce tej, zwłaszcza ekologii dżdżownic i różnych aspektów prowadzenia vermikultur, zostało poświęcone bogate piśmiennictwo naukowe i popularnonaukowe.

Dżdżownice z rodziny *Lumbricidae* reprezentowane są na świecie przez około 250 gatunków, najliczniej zasiedlających kontynent europejski i północnoamerykański. W samej tylko południowej i środkowej Europie żyje około 130 gatunków dżdżownic z tej rodziny, a 20 gatunków uważa się za pospolite na obszarze całej Europy. Znane są także gatunki dżdżownic występujące obecnie prawie na wszystkich kontynentach, co spowodowane zostało ich rozprzestrzenieniem dzięki gospodarczej działalności człowieka. Spośród wielu gatunków *Lumbricidae* w biotechnologiach mających na celu utylizację odpadów organicznych i ich przetworzenie na kompost lub paszę szczególne zastosowanie znalazł gatunek *Eisenia foetida* (Savigny, 1826). Rodzaj *Eisenia* (Malm, 1877); (emend. Michaelsen, 1900); (emend. Perel, 1974) reprezentowany jest na świecie przez około 15 gatunków, odznaczających się bardzo szerokim (geopolitycznym) lub wąskim zasięgiem występowania; z Półwyspu Bałkańskiego i z Alp znane są także gatunki endemiczne. W Polsce opisano występowanie dotychczas trzech gatunków: *E. lucens* (Waga) – Karpaty, Góry Świętokrzyskie, Jura Krakowsko–Wieluńska, prawdopodobnie Sudety; *E. foetida* (Sav.) – pospolity w całym kraju; *E. nordenskoeldi* (Eis.) – występowanie w naturalnym środowisku w naszym kraju jest mało prawdopodobne (znaleziony tylko jeden raz w warunkach sztucznych), a występowanie dwu dalszych (*E. balatonica* [Pop], *E. spelea* [rosa]) jest bardzo prawdopodobne w południowych i południowo–wschodnich regionach kraju. Wykorzystywany szeroko w wielu krajach w hodowlach gatunek *E. foetida* przeniesiony został na wszystkie kontynenty. Występuje głównie w środowiskach związanych z gospodarczą działalnością człowieka i zasobnych w rozkładające się szczątki organiczne, głównie w przyrmach kompostu i różnego typu odpadów organicznych, kompostowanych osadach ścieków komunalnych, przy zabudowaniach gospodarczych i na polach nawożonych obornikiem. W środowiskach naturalnych spotykany jest natomiast rzadko (4). W obrębie gatunku *E. foetida* wyróżnia się dwa podgatunki (*E. foetida foetida* [Sav.] i *E. foetida andrei* Bouche) różniące się między sobą m.in. ubarwieniem i wielkością. Oba podgatunki występują obok siebie w tych samych środowiskach lub hodowlach, jednakże nie krzyżują się ze sobą. Badania enzymatyczne wykazują, że oba wyróżnione na podstawie cech morfologicznych podgatunki są w rzeczywistości odrębnymi gatunkami biologicznymi, nie krzyżującymi się ze sobą ze względu na biochemiczne bariery izolacji płciowej. *E. f. andrei* jest często hodowany w handlowych hodowlach w USA i eksportowany do krajów zachodniej Europy (np. Włochy) (4).

Wspomnieć należy, że poza *E. foetida* coraz szerzej w biotechnologiach vermikultur (np. w USA i RFN) z powodzeniem stosuje się także wschodnioafrykański gatunek *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (*Eudrilidae*), znany powszechnie pod handlową nazwą „African Nightcrawler”. Przy rozkładzie osadów ściekowych z udziałem *E. eugeniae* dużą efektywność uzyskuje się stosując podobne metody prowadzenia vermikultury jak w przypadku *E. foetida* (7).

Rozkład odpadów organicznych przez dżdżownice, umożliwiający ich wykorzystanie m.in. do produkcji kompostu o dużych wartościach odżywczych dla roślin oraz degradację ściekowej materii organicznej wprowadzanej do gleby, możliwy jest dzięki bardzo specyficznym właściwościom biologicznym i fizjologicznym tych zwierząt. Znaczenie glebowych i ściółkowych bezkręgowców, a więc także i dżdżownic, polega głównie na stymulowaniu chemicznej aktywności mikroflory. Udział zwierząt glebowych w rozkładzie materii organicznej ma bezpośredni wpływ na zwiększenie powierzchni dostępnej dla działalności mikroorganizmów, w wyniku rozdrabniania resztek organicznych. W przypadku wytwarzania celulazy, jak to ma miejsce np. u dżdżownic, następuje także częściowy rozkład enzymatyczny. Dżdżownice są saprofitami odżywiającymi się substancjami organicznymi zawartymi w pochłanianym substracie oraz żyjącymi w nim bakteriami, glonami i ich zarodnikami oraz niektórymi pierwotniakami. Same dżdżownice rozkładając się po śmierci są także źródłem łatwo mineralizującego się azotu dla pozostałej populacji. Ilość pochłanianego przez dżdżownice podłoża nie przekracza 300 mg suchej masy podłoża na g żywej masy ciała w ciągu doby. Dla przebiegu kompostowania za

pomocą dżdżownic bardzo ważny jest fakt, że w przewodzie pokarmowym tych zwierząt istnieją warunki sprzyjające aktywności różnych mikroorganizmów. Ich działalność w symbiozie z dżdżownicami doprowadza do wytwarzania znacznych ilości kwasów fulwowych i huminowych. Stanowią one główne frakcje próchnicy, reprezentującej krańcowe stadium rozkładu substancji organicznej w glebie. Oznacza to, że dżdżownice, poza mineralizacją, wpływają także wyraźnie na przebieg i przyspieszenie procesów humifikacji materii organicznej. W przewodzie pokarmowym dżdżownic następuje również mechaniczne rozdrabnianie pochłoniętego substratu (także części mineralnych) i szybkie tworzenie się trwałych kompleksów organiczno-mineralnych. Umożliwia to wytwarzanie gruzelkowej struktury w glebach o próchnicy typu mull, będącej najtrwalszą formą próchnicy. W wydalanych przez dżdżownice fekaliami, stanowiący bardzo ważny składnik tworzonego przy udziale tych zwierząt kompostu, wyraźnie wzrasta aktywność bakterii anaerobowych wiążących wolny azot, przy jednoczesnym wzroście stężenia i aktywności enzymów proteolitycznych i celulazy. Fekalia dżdżownic w porównaniu z otaczającym je podłożem odznaczają się także większą zawartością grzybów i promieniowców hamujących rozwój tlenowych bakterii przetrwalnikowych oraz charakteryzują się dużym stężeniem witamin, zwłaszcza z grupy B. Szacunkowo ocenia się, że ilość związków próchnicznych wzrasta po przejściu substratu przez przewod pokarmowy dżdżownic o 160%, a azot zawarty w podłożu przeprowadzony jest praktycznie bez strat w azot połączeń próchnicznych. Ponieważ fekalia dżdżownic zawierają znacznie więcej wodoodpornych składników niż gleby, dlatego substraty przerabiane przez dżdżownice są bardziej odporne na działanie wody niż substraty nie przerabiane. Zwiększają one także przyswajalność przez rośliny niektórych pierwiastków, głównie fosforu i azotu. Rola dżdżownic w obiegu azotu jest tak duża (np. w glebie zbiorowisk trawiastych dżdżownice umożliwiają przyswojenie przez rośliny do 80% wiosennego zapotrzebowania azotu), że coraz częściej postuluje się rewizję klasycznego, powszechnie akceptowanego w biologii gleby, modelu obiegu azotu (2). Dżdżownice korzystnie oddziałują także na przepuszczalność wody w substracie przerobionym lub glebie oraz ułatwiają cyrkulację powietrza w przestworach glebowych, np. przestrzeń utworzona przez korytarze dżdżownic może stanowić w niektórych podłożach aż około 2/3 (!) ich pojemności powietrznej.

Podstawowe znaczenie w biotechnologiach utylizacji odpadów organicznych przy współudziale *E. foetida* ma wpływ tych zwierząt na rozkład celulozy. Dodawanie bowiem do gleby lub substratu hodowlanego zawierającej węgiel celulozy powoduje znaczne zwiększenie liczebności i aktywności chemoheterotroficznych mikroorganizmów. Aktywizuje się zwłaszcza mikroflora zymogeniczna, czyli organizmy zależne od zewnętrznego źródła energii i składników pokarmowych wobec braku których nie rozwijają się. Wywoływane w podłożu przez dżdżownice zmiany, choć mogą wydawać się niewielkie, tworzą z substancji zawartej w fekaliami dżdżownic substrat aktywizujący, zwłaszcza bakterie.

3. Możliwości gospodarczego wykorzystania biotechnologii vermikultur

W przemysłowych hodowlach dżdżownic wyróżnić można cztery różne rozwiązania, pozwalające na gospodarcze wykorzystanie podstawowych i ubocznych produktów w hodowli (patrz tab. 1).

Obecnie na całym świecie intensywnie rozwija się zwłaszcza produkcja kompostu przy użyciu vermikultur. W wielu krajach (m.in. Wielka Brytania, USA, Kanada, Szwajcaria, Francja, Włochy, RFN, Japonia, Filipiny, India, Nowa Zelandia) powstają coraz to nowe firmy zajmujące się tego typu produkcją, głównie w celach handlowych. Pierwsze takie firmy (zakłady rzemieślnicze) powstały w ostatnich 3–4 latach także w naszym kraju. Ciągłe ulepszanie technik hodowli dżdżownic doprowadziło w szybkim czasie do przekształcenia się interesującego hobby w dynamicznie rozwijające się technologie i przeszło od drobnego handlu dżdżownicami w sklepach zoologicznych lub ogrodniczych do nowych biotechnologii z zastosowaniem

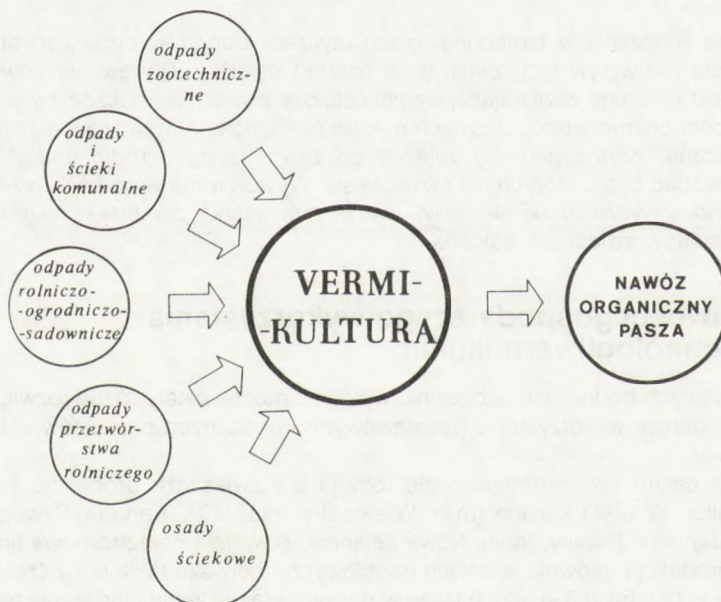
Tabela 1

Sposoby gospodarczego wykorzystania dżdżownic

Cel hodowli	Produkt		Gatunek*
	podstawowy	uboczny	
I. Utylizacja odpadów organicznych	kompost	osobniki, kokony jajowe	<i>E. foetida</i>
II. Produkcja paszy	osobniki	kompost, kokony jajowe	<i>E. foetida</i>
III. Wprowadzenie do gleb uprawnych w celu podniesienia żyzności lub rekultywacji	osobniki, kokony jajowe	kompost	<i>Lumbricus terrestris</i> L., <i>L. rubellus</i> Hoff., <i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.), <i>A. rosea</i> (Sav.), <i>A. longa</i> (Ude), <i>Octolasion cyaneum</i> (Sav).
IV. Wprowadzenie do odpadów organicznych	osobniki, kokony jajowe	kompost	<i>E. foetida</i>

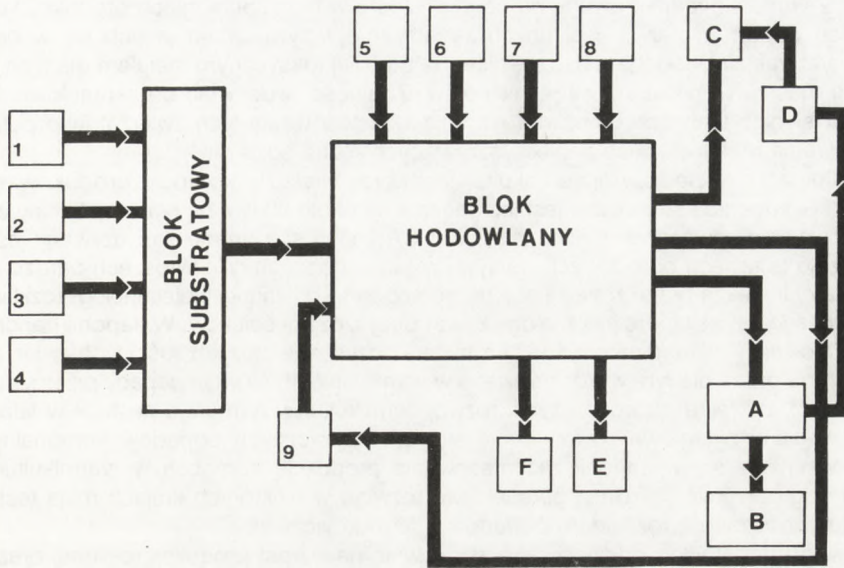
*Dotyczy wyłącznie przedstawicieli rodziny *Lumbricidae*.

najnowszych zdobyczy wiedzy o biologii i ekologii dżdżownic oraz specjalnie dla tych celów projektowanych i konstruowanych urządzeń technicznych. Poszukuje się nadal nowych zastosowań vermikultur dla rozkładu różnego typu odpadów organicznych: zootechnicznych, komunalnych, rolniczo-ogrodniczo-sadowniczych, przetwórstwa rolniczego i osadów ściekowych (rys. 1).

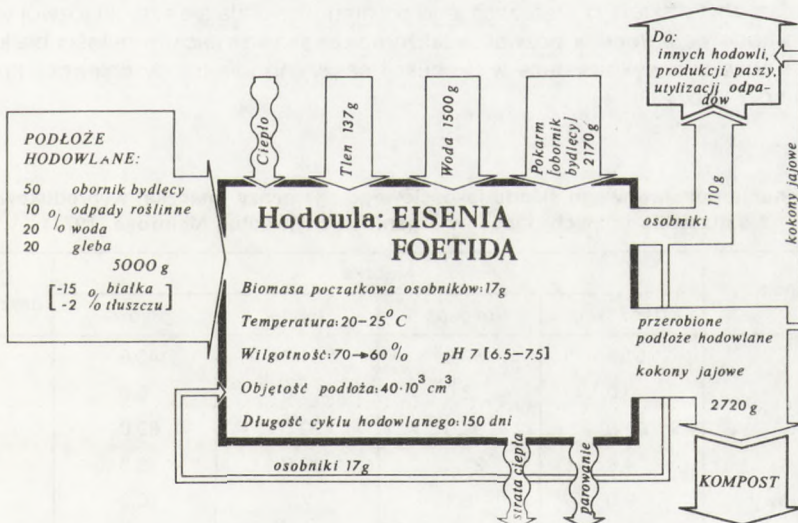


Rys. 1. Vermikultura jako alternatywne rozwiązanie odzysku substancji nawozowych i paszowych z odpadów (prawa autorskie zastrzeżone).

Opracowywane są głównie nowe rozwiązania techniczne biotechnologii produkcji kompostu z udziałem *E. foetida* (rys. 2 i 3). Określone parametry technologiczne, wynikające z ekologii i biologii *E. foetida*, stanowią z kolei podstawę do projektowania nowych linii technologicznych vermikulturn dla różnych celów, odpadów, inwestorów i odbiorców produktów końcowych.



Rys. 2. Schemat ideowy vermikulturny (np. dla celów utylizacji odpadów organicznych) (prawa autorskie zastrzeżone) 1,2,3,4, – komponenty substratu; 5,6,7,8, – dostarczane ciepło, tlen, woda i pokarm; 9, D – kokony jajowe; E, F – straty energetyczne (ciepło, parowanie); C – nadwyżka wyprodukowanych osobników (produkt końcowy); A, B, – przerobione podłoże i kompost (produkt końcowy).



Rys. 3. Model technologiczny vermikulturny *Eisenia foetida* (prawa autorskie zastrzeżone).

Nowoczesne techniki produkcji kompostu przy zastosowaniu dżdżownic umożliwiają m.in. rozkład stałych organicznych odpadów komunalnych i bytowo-gospodarczych ścieków miejskich, co pozwala poza zmniejszeniem objętości powstających w miastach odpadów, także na produkcję nawozu organicznego mogącego być praktycznie wykorzystywanym do celów zwiększania plonowania roślin i rekultywacji gleb, przy trwałej redukcji wielu czynników patogennych. Zwraca się jednak uwagę na bardzo istotne w biotechnologiach produkcji kompostu z miejskich odpadów stałych i płynnych zagadnienie wpływu znajdujących się w odpadach komunalnych metali ciężkich na dżdżownice. Najbardziej toksycznym metalem dla tych zwierząt jest kadm, następnie nikiel, miedź, cynk i ołów. Zdolność dżdżownic do akumulowania metali ciężkich w swoich tkankach umożliwia natomiast zastosowanie tych zwierząt jako pułapki do wychwytywania metali ciężkich zanieczyszczających różne substraty.

Na Filipinach, gdzie rozwój vermikultur jest coraz większy, kompost produkowany przez *E. foetida* i *E. eugeniae* stosowany jest już obecnie na około 90 tys. ha plantacji trzciny cukrowej jako uzupełnienie nawożenia mineralnego. W USA kompost z vermikultur używany jest w różnego rodzaju uprawach ogrodowych warzyw i roślin ozdobnych. We Włoszech bardzo zaawansowane są m.in. także prace zmierzające do opracowania dokładnej biotechnologii rozkładu przez *E. foetida* osadów z mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków. W Japonii handlowe hodowle dżdżownic wprowadzono od 1971 r. w celu pozyskania dużych ilości tych zwierząt przeznaczonych na paszę dla ryb; wykorzystywano w vermikulturach głównie odpady przemysłu tekstylnego (jedwab, bawełna). Bardzo szybki rozwój vermikultur w tym kraju nastąpił w latach 1976-1979 i związany był głównie z użyciem stałych organicznych odpadów komunalnych. Od 1980 r. obserwuje się w Japonii zainteresowanie produkcją kompostu w vermikulturach dla rolnictwa i ogrodnictwa (3). Dużą perspektywę rozwoju w niektórych krajach mają technologie vermikultury związane z rozkładem odpadów z ferm króliczych.

Z powodu dodatniego oddziaływania dżdżownic na wzrost produkcji roślinnej oraz zmiany mechanicznej struktury gleby i jej fizykochemicznych właściwości niezwykle korzystne jest wprowadzanie dżdżownic do gleb mało żyznych. Zabieg ten stosowano już np. 20 lat temu na pastwiskach w Nowej Zelandii, lecz w ograniczonym zakresie. Mając na uwadze duże potrzeby zwiększenia produkcji paszy na ponad 3 mln ha pastwisk Ministerstwo Rolnictwa i Rybołówstwa tego kraju opracowało kompleksowy program podnoszenia żyzności gleby pastwisk poprzez szerokie wprowadzenie dżdżownic na terenach, gdzie zwierzęta te nie występują, lub ich zagęszczenie jest zbyt niskie. Przy realizacji tego programu zakłada się szeroki rozwój vermikultur.

Masowe hodowle *E. foetida* pozwalają także na uzyskanie znacznych ilości białka zwierzęcego, które może być wykorzystane w produkcji paszy, np. dla trzody chlewnej, kurcząt, ryb, a nawet krabów (tab. 2).

Tabela 2

Porównanie podstawowego składu jakościowego (%) paszy (mączka) wyprodukowane z dżdżownic i innych odpadów organicznych (według McInroya, 1971)

Substancja	Mączka				Suszone drożdże piwne
	z dżdżownic	mięsna	rybna	sojowa	
białko	61,3	59,8	61,3	45,8	44,6
tłuszcz	3,0	2,0	1,0	6,0	3,0
sucha masa	92,9	92,0	92,0	89,0	93,0
popiół	4,8	21,4	19,6	5,8	6,4
ekstrakt eterowy	9,0	8,1	7,7	0,9	1,1
wapń	0,51	5,94	5,49	0,32	0,13
fosfor	0,77	3,17	2,81	0,67	1,43

Tkanki *E. foetida* charakteryzują się wysoką zawartością białka (66% suchej masy) i tłuszczu (8%); zawierają także sole mineralne i witaminy. Stanowią pokarm o wysokiej wartości energetycznej ($23 \cdot 10^3$ kJ kg⁻¹). Skład aminokwasów i ich ilość w tkankach *E. foetida* są podobne jak w mięsie niektórych zwierząt hodowlanych (np. bydła) z wyjątkiem metioniny i cystyny, których zawartość w tkankach *E. foetida* jest nieco niższa (3,2 g 100 g⁻¹ białka). Natomiast ze względu na wysoką zawartość lizyny (7,5 g 100⁻¹ białka) białko uzyskiwane z *E. foetida* może stanowić uzupełnienie diety zwierząt odżywiających się paszą zbożową, w której zawartość lizyny jest na ogół dwukrotnie niższa. Ocenia się, że hodowle *E. foetida* pozwalają na uzyskanie w ciągu roku 13 kg białka z ha. Hodowane osobniki *E. foetida* wykorzystywano także z powodzeniem (bezpośrednio lub po przeróbce na koncentrat białkowy) jako pokarm w licznych hodowlach rybackich.

Adaptując dżdżownice dla potrzeb biotechnologii uwzględnić należy także ujemną, z gospodarczego punktu widzenia, rolę tych zwierząt jaką jest udział w rozwoju i przenoszeniu pasożytów licznych ptaków i ssaków (tab. 3).

Tabela 3

Gatunki pasożytów Cestoda, Nematoda ptaków i ssaków przechodzące rozwój w ciele różnych gatunków dżdżownic Lumbricidae

Pasożyt	Żywiciel pośredni	Żywiciel ostateczny
<i>Amoebotaenia sphenoides</i> (Railliet) (Cestoidea; Dilepidae)	gatunki z rodzaju <i>Allolobophora</i> Eis.	kura, indyk, kuropatwa
<i>Amoebotaenia cumeata</i> Linstow (Cestoidea; Dilepidae)	<i>Eisenia foetida</i> (Sav.)	kurowate
<i>Metastrongylus elongatus</i> (Dujardin) (Nematoda; Metastrongylidae)	<i>Lumbricus terrestris</i> L., <i>L. rubellus</i> Hoffm., <i>Eisenia foetida</i> (Sav.), <i>Allolobophora cali ginosa</i> (Sav.), <i>Dendrodrilus rubidus</i> (Sav.)	świnia, dzik, przypadkowo owca, bydło, koza, pies, człowiek
<i>Eucoleus annulatus</i> (Molin) (Nematoda; Capillariidae)	<i>Lumbricus terrestris</i> L., <i>Eisenia foetida</i> (Sav.), <i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.)	kura, indyk, perliczka, bażant, cietrzew, kuropatwa, głuszec
<i>Thominx aerophilus</i> (Grepelin) (Nematoda; Capillariidae)	<i>Lumbricus rubellus</i> Hoffm., <i>L. terrestris</i> L., <i>Dendrodrilus rubidus tenuis</i> (Eis.), <i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.)	kot, pies, wilk, lis, piesiec, kuna, borsuk, soból, wyjątkowo człowiek
<i>Thominx anatis</i> (Schrank) (Nematoda; Capillariidae)	Lumbricidae, <i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.)	ptaki kaczkowe
<i>Capillaria caudinflata</i> (Molin) (Nematoda; Capillariidae)	<i>Lumbricus terrestres</i> L., <i>Eisenia foetida</i> (Sav.), <i>Allolobophora caliginosa</i> (Sav.)	kura, indyk, perliczka, gołąb, przepiórka
<i>Capillaria plica</i> (Rudolphi) (Nematoda; Capillariidae)	<i>Lumbricus terrestris</i> L., <i>L. rubellus</i> Hoffm.	pies, lis, wilk, kuna, kot, piesiec, borsuk
<i>Capillaria putorii</i> (Rudolphi) (Nematoda; Capillariidae)	Lumbricidae	wydra, gronostaj, łasica, tchórz, norka, kuna, soból, borsuk

Inwazje przenoszonych przez dżdżownice nicieni są przyczyną powstawania pasożytniczych chorób zwierząt dzikich i hodowlanych, np. eukoleozy kurcząt, tomiksozy lisów, kapilariozy jelita cienkiego kur i kapilariozy pęcherza moczowego zwierząt mięsożernych. Znane jest powstawanie wywoływanych przez nicienie zmian anatomopatologicznych w żołądku i jelicie cienkim zwierząt mięsożernych, oskrzelach, tchawicy i pęcherzykach płucnych licznych ssaków (głównie świnia i dzik), a prawdopodobnie także w jelicie ptaków kaczkowatych. Inwazje tych pasożytów mogą powodować długotrwałe choroby i śmierć hodowlanych zwierząt. Etiologia tych chorób nie jest jeszcze dokładnie poznana, podobnie jak nie są jeszcze także dokładnie zbadane mechanizmy epizootyczne i epidemiologiczne szerzenia się poszczególnych inwazji przy udziale dżdżownic. Dżdżownice są także roznosicielami jaj nicieni z rodziny *Ascarididae*: *Ascaris lumbricoides* L. – gatunku wywołującego glistnicę świń oraz *Ascaridia gallis* (Schränk) – gatunku powodującego glistnicę kurcząt. Inwazje wymienionych pasożytów są poważnym ograniczeniem w wykorzystaniu wyprodukowanych w przemysłowych hodowlach żywych dżdżownic jako paszy. Wyprodukowana na odpadach organicznych biomasa zużytkowana może być tylko jako produkt wyjściowy do produkcji wysokobiałkowych granulatów paszowych (mączki, koncentraty). Zdolność dżdżownic do roznoszenia jaj glist, podobnie jak wielu bakterii i wirusów, jest poważnym ograniczeniem sanitarnym w utylizacji odpadów pochodzących z przetwórstwa niektórych rodzajów mięsa lub osadu z oczyszczalni ścieków, zawierających bardzo często liczne jaja tego pasożyta. W celu uniemożliwienia roznoszenia jaj (np. poprzez wyprodukowany kompost wprowadzany do gleby) niezbędne jest całkowite zniszczenie jaj pasożytów, co możliwe jest poprzez wprowadzenie w linii technologicznej produkcji kompostu dodatkowej fazy wstępnej polegającej np. na termofilnej fermentacji odpadów (minimum 120 godz. w temp. 50°C), termicznym suszeniu odpadów (temp. 45°C) lub kompostowania wstępnego świeżych odpadów (temp. 40°C przez 2–3 miesiące), co pozwala na całkowite zniszczenie jaj robaków.

4. Upowszechnianie wiedzy o rozwoju biotechnologii vermikultur

Upowszechnianiem wiadomości na temat vermikultur, a zwłaszcza wymianą doświadczeń w zakresie technologii produkcji kompostu i prowadzenia vermikultury, zwiększenia żyzności gleb poprzez zmiany ich właściwości w wyniku introdukcji dżdżownic oraz koordynacją prac i badań prowadzonych w ośrodkach naukowych i zakładach prowadzących działalność gospodarczą zajmuje się stowarzyszenie International Society of Vermiculture. Zostało ono utworzone w 1984 r. podczas obrad International Conference on Earthworms in Waste and Environmental Management w Cambridge, gdzie ukazano perspektywy rozwoju produkcji kompostu za pomocą dżdżownic w zachodniej Europie. Duży udział ma także firma British Earthworm Technology Ltd., udzielająca wszelkich praktycznych informacji dotyczących m.in. technologicznych zasad prowadzenia hodowli i ekonomicznych założeń produkcji przy zastosowaniu określonych gatunków dżdżownic. Upowszechnianie różnych metod hodowli dżdżownic dla celów naukowych i gospodarczych, zasad projektowania i konstrukcji urządzeń dla prowadzenia hodowli różnych typów, a także i o zróżnicowanej wielkości produkcji przy określonych zasadach ekonomicznych, wiedzy o biologii i ekologii dżdżownic (zwłaszcza roli w glebie i udziale w rozkładzie materii organicznej) oraz różnych technologii zastosowania i obróbki produktów końcowych uzyskiwanych w vermikulturach zajmuje się zrzeszenie prywatnych ferm producentów dżdżownic North American Bait Farms w Kalifornii (USA). Zrzeszenie to inicjuje m.in. wydawanie drukiem bardzo różnych publikacji popularyzujących wszelkie zagadnienia związane z vermikulturami, które wydawane są przez specjalistyczne wydawnictwa Bookworm Publishing Company z siedzibą w Russellville (USA). Podczas obrad konferencji „Organic matter and its use in Asia as fertilizer”, zorganizowanej pod patronatem FAO w Bangkoku w 1976 r., poruszono po raz pierwszy problem możliwości produkcji dużej ilości białka zwierzęcego otrzymywanego z dżdżownic, pozwalającej na zmniejszenie istniejącego deficytu białka w tzw. krajach rozwijających się (1).

Specjalistyczne stowarzyszenia, firmy i zrzeszenia hodowców prywatnych pracują nad: opracowaniem kompleksowych programów umożliwiających praktyczne wdrożenie wyników prac naukowych, produkcją niezbędnych urządzeń technicznych, standaryzacją metodyki badań, laboratoryjną kontrolą przebiegu procesu utylizacji odpadów organicznych i oceny jakości odpadów, udzielają instrukcji technicznych prowadzenia i standaryzacji vermikultur i obsługi urządzeń, obróbką technologiczną produktów końcowych, udzielają konsultacji z zakresu biologii i ekologii dżdżownic, ekonomicznych założeń prowadzenia produkcji kompostu oraz stosowania przerobionych odpadów organicznych w różnych zbiorowiskach roślinnych i na potrzeby rekultywacji gleb. Działania te w krótkim czasie i przy stosunkowo niewielkich nakładach finansowych pozwalają w niektórych krajach na pewne uzupełnienie ujemnego bilansu paszowego i nawozów organicznych.

Upowszechnianie wiedzy i szeroka wymiana informacji o dżdżownicach (*sensu lato*) i opartych na ich działalności biotechnologiach prowadzone jest także poprzez międzynarodowe spotkania zoologów i ekologów zajmujących się tą problematyką. Organizowane są one już od 20 lat w różnych krajach: Czechosłowacja; Węgry, Nitra, Budapeszt – 1969; Hiszpania, Jaca – 1975; RFN, Braunschweig – 1976; Włochy, Padwa – 1977; USA, Kalamazoo (Michigan) – 1980 (Workshop on the Role of Earthworms in the Stabilization of Organic Residues); Związek Radziecki, Moskwa – 1980; Wielka Brytania, Grange-over-Sands – 1981 (Darwin Centenary Symposium in Earthworms Ecology); Włochy, Bolonia i Carpi – 1984; RFN, Hamburg – 1987. Dużą pomocą są także specjalistyczne czasopisma upowszechniające nowe biotechnologie rozkładu odpadów (np. „BioCycle” – Journal of Waste Recycling, Emmaus; „Terra Biodynamica” Milano) oraz bardzo liczne w wielu krajach czasopisma i książki popularnonaukowe i branżowe, np. dla właścicieli ogrodów przydomowych.

Rozwijające się metody odzysku substancji nawozowych i paszowych przy użyciu dżdżownic oraz podnoszenie żyzności gleby poprzez wprowadzanie tych zwierząt do gruntów uprawnych są jednym z przykładów przyrodniczego gospodarowania odpadów o znacznych potencjalnych możliwościach rozwoju (5), które musi być podstawowym sposobem gospodarowania wszystkimi odpadami organicznymi. Metody te pozwalają na nowe rozwiązania przyrodniczo-techniczne ochrony powierzchni ziemi umożliwiające nie tylko odzysk z odpadów wtórnych surowców dla rolnictwa, ale także na podnoszenie ekologicznych walorów środowiska przyrodniczego zdegradowanych ekosystemów. Te, wydawałoby się proste, znane od dziesiątków lat metody biotechnologii klasycznej związane z gospodarką odpadami, podobnie jak biologiczne metody ochrony wód powierzchniowych przed wzmocnionymi procesami eutrofizacji lub produkcja biogazu, nie są nadal w pełni wykorzystane, mimo uzyskiwania znacznych korzyści gospodarczych, przy stosunkowo niewielkich nakładach finansowych. Warto wspomnieć, że obecne bardzo zaawansowane (np. w Danii) techniki produkcji i wykorzystania biogazu, powstającego w wyniku rozkładu organicznych produktów odpadowych (np. odchodów bydła lub trzody chlewnej) przy udziale bakterii beztlenowych, pozwalają na uzyskanie energii cieplnej i elektrycznej w ilości ponad 50% całej energii biogazu. Wszystkie te metody, niezależnie od dynamicznego rozwoju biotechnologii wywodzącej się z nowych metod biologii molekularnej, stwarzają nieograniczone wprost możliwości przyrodniczego wykorzystania wielu rodzajów odpadów, których degradujący wpływ na środowisko ma obecnie zasięg światowy. Ich szerokie wprowadzenie w wielu krajach do praktyki gospodarczej, przy znacznie mniejszych nakładach finansowych niż rozwiązania wyłącznie techniczne, stanowi jeden z elementów jedynie możliwej do przyjęcia alternatywy ekorozwoju współczesnej cywilizacji.

Literatura

1. Abe R. K., Braman W. L., Rogerson A. C., Simpson O., (1976), Organic recycling and earthworms. FAO/SIDA Workshop on Organic Materials as Fertilizers in Asia. Bangkok (stancilled), 15.
2. Bouchè M. B., Ferriera G., Soto P., (1987), The role of earthworms in the decomposition and nitrogen nutrition of plants in a grass land, in: A. M. Bonvicini Pagliai and P. Omodeo (eds), On Earthworms. Selected Symposia and Monographs U. Z. I., 2. Mucchi Editore, Modena. 113–129.

3. Graff O., (1987), Earthworms as food for other animals. *Ibidem*, 505–510.
4. Kasprzak K., (1986), Skąposzczety glebowe, III. Rodzina: Dżdżownice (Lumbricidae). Klucze do oznaczenia bezkręgowców Polski, 6. PWN, Warszawa, 187.
5. Kasprzak K., (1987), Potential possibility of earthworms application in biotechnology in Poland, in: P. Bielek (ed.), *Biotechnologies at soil fertility increase*. Bratislava, 207–210.
6. McInroy D. M., (1971), *Feedstuffs*, 43, 37, 46–47.
7. Neuhauser F., Kaplan D. L., Hartenstein R., (1979), *Rev. Ecol. Biol. Sci.*, 16, 525–534.

W polskim piśmiennictwie problematyka badań dżdżownic, związanych z nimi biotechnologią i ich praktycznego zastosowania oraz organizacji badań tych zwierząt wraz z międzynarodową wymianą doświadczeń popularyzowana jest przez autora na łamach: „Przeglądu Zoologicznego” (Wrocław; 1981, 25, 3; 1986, 30, 1; 1988, 32, 4), „Wiadomości Ekologiczne” (Warszawa; 1978, 24, 4; 1981, 27, 3; 1986, 32, 1), „Kosmosu” (Warszawa; 1981, 30, 3 (170)), „Dziatkowca” (Warszawa; 1979, 10, (350); 1980, 6 (358); 1982, 11–12 (387–388); 1987, 11 (447); 1988, 2 (450)), „Poradnika Gospodarskiego” (Poznań: 1974, 21; 1975, 12) oraz miesięcznika naukowo-technicznego „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” (Warszawa; 1986, 60, 5).

Biotechnology of the utilization of organic waste with application of earthworms (*Annelida: Lumbricidae*)

Summary

The author characterized the possibility of biotechnology of vermicomposting. In many natural and anthropogenic biotopes the earthworms are among the most numerous and most often found soil animals. They are characterized by a number of specific biological features and anatomical-physiological properties, determining the important role of earthworms in biotope, especially in the processes of degradation of organic matter, formation of soil structure and the increase of its fertility. These animals exert an influence on the process of humification and mineralisation of organic matter. These are the principal physiological features used in the applications of earthworms, especially *Eisenia foetida* (Sav.), in agricultural biotechnology (transformation of waste, vegetable manure, fodder production, compost production).

Krzysztof Kasprzak, Osiedle Zwycięstwa 8 m. 109, 61–645 Poznań.