

Kumulacja metali ciężkich przez dżdżownice w wermikompostowanych osadach ściekowych

Marta BOŻYM* – Politechnika Opolska, Opole

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 10, 868–873

Wykorzystanie dżdżownic do przetwarzania osadów ściekowych w Polsce było bardzo popularne w latach 90. XX wieku. Pionierem w tej dziedzinie była oczyszczalnia ścieków w Pyrzycach, która rozpoczęła produkcję wermikompostu do celów rolnych [1]. Proces wermikompostowania prowadzi się w odpowiednio przygotowanych stanowiskach, które mają za zadanie oddzielenie wermikultury od środowiska, zwłaszcza drapieżników, takich jak krety. Stanowiska zabezpieczone są z boków deskami lub elementami betonowymi, natomiast na spodzie znajduje się system drenażu. W Polsce do wermikompostowania osadów ściekowych najczęściej wykorzystuje się dżdżownice z gatunku *Eisenia fetida*. W pierwszej fazie procesu dżdżownice wprowadzane są do odpowiednio przygotowanej warstwy stratyfikacyjnej [2], czyli osady ściekowe wstępnie przekompostowane z materiałem roślinnym [3, 4]. Wermikompostowanie osadów odbywa się etapowo. Osad rozkładany jest cienkimi warstwami na przemian z odpadami zielonymi (słomą, sianem). Dzięki temu nie jest wymagane przerzucanie masy kompostowej, co jest rutynowym zabiegiem podczas standardowego kompostowania w przyrmach. Najważniejsze w hodowli dżdżownic jest zapewnienie właściwego składu podłoża, stałej wilgotności i regularne dostarczanie pokarmu dżdżownicom. Zwykle proces produkcyjny wermikompostu z osadów ściekowych odbywa się od kwietnia do października. Przed zimą stanowiska specjalnie zabezpiecza się grubą warstwą słomy. Jakość wermikompostu z osadów ściekowych zależy od składu wyjściowego, zawartości zanieczyszczeń czy prowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych [2÷4]. W wyniku wermikompostowania następuje poprawa struktury osadów, zmniejszenie odorów, odwodnienie, zmniejszenie masy, wzrasta udział przyswajalnych form makroelementów. Efektem ubocznym może być zwiększenie zawartości metali ciężkich, w tym form mobilnych [5, 6]. Część metali może być kumulowana w ciałach dżdżownic. Zwierzęta te wykazują wysoką tolerancję na wysokie dawki metali ciężkich [6÷10].

Celem pracy była ocena zmian zawartości metali ciężkich w trakcie wermikompostowania osadów ściekowych, zbadanie zdolności do ich kumulacji w ciałach dżdżownic oraz określenie czynników wpływających na ten efekt.

Część eksperymentalna

Osady ściekowe i wermikomposty pochodziły z Oczyszczalni Ścieków w Ligocie Dolnej w województwie opolskim. Oczyszczalnia o przepustowości 7000 m³/d, została oddana do użytku w 1999 r. Oczyszczalnia ścieków wykorzystuje mechaniczno-biologiczny proces oczyszczania, który jest oparty na niskoobciążonym osadzie czynnym w komorach BIOLAK-VOX. Oczyszczone ścieki, zgodnie z pozwoleniem wodno-prawnym, odprowadzane są do rzeki Baryczka. Wermikultura w oczyszczalni ścieków jest stosowana od 1995 r. Na terenie oczyszczalni znajduje się pięć kwater wermikultury o wymiarach 100×3×0,55m. Do tej pory wermikompost osadowy wykorzystywany był przyrodniczo. Z uwagi na komplikacje związane z hodowlą dżdżownic, Zarząd Wodociągów i Kanalizacji w Kluczborku podjął decyzję o rezygnacji z wermikompostowania osadów ściekowych.

Próbki do badań pobrano trzykrotnie w odstępach miesięcznych, od września do listopada 2012 r., pod koniec procesu wermikompostowania. Surowe osady ściekowe pobierano z prasy odwadniającej. Wermikompost pobierano każdorazowo z trzech kwater wermikompostu, z głębokości ok. 30 cm. Z każdej kwatery pobierano 7–10 próbek pierwotnych, z których po zmieszaniu sporządzono próbkę laboratoryjną o masie ok. 0,5 kg. Dodatkowo, podczas pobierania próbek wermikompostu, zbierano dorosłe osobniki dżdżownic (z wyszczelnionym *clitellium*). Po przewiezieniu materiału badawczego do laboratorium, w osadach i wermikompoście oznaczono zawartość suchej masy metodą wagową w temp. 105°C. Substancję organiczną oznaczono metodą wagową w temp. 550°C. Pozostałą część osadów, po wysuszeniu, roztarto w moździerzu i przesiano przez sito o wielkości oczek 1 mm. Dżdżownice po oddzieleniu od podłoża przeniesiono do pojemnika z wilgotną ligniną, w celu opróżnienia przewodu pokarmowego z zalegającego koprolitu. Następnie dżdżownice usypiano acetonem, suszono i poddawano analizom. W dżdżownicach i uzyskanym w ten sposób koprolicie oznaczono zawartość metali ciężkich. Osady surowe i wermikomposty poddano analizie na zawartość suchej masy i metali ciężkich. Zbadano także odczyn pH w 1M KCl. Metale ciężkie w próbkach osadów, dżdżownic i koprolitów zbadano metodą FAAS po mineralizacji w wodzie królewskiej. Stopień kumulacji metali przez dżdżownice obliczono na podstawie wzoru (1):

$$\text{Kumulacja}_{\text{dżdżownice}} = \frac{C_{\text{dżdż}} [\text{mgkg}^{-1}]}{C_{\text{koprolit}} [\text{mgkg}^{-1}]} \quad (1)$$

Gdzie:

Kumulacja – stopień kumulacji metali w dżdżownicach w stosunku do podłoża

$C_{\text{dżdż}}$ – zawartość metalu w ciele dżdżownic, mg kg⁻¹

C_{koprolit} – zawartość metalu w koprolicie, mg kg⁻¹

Wyniki badań poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu STATYSTICA 10. Obliczono również występowanie zależności pomiędzy wybranymi cechami osadów i wermikompostów a kumulacją metali w ciałach dżdżownic (regresja liniowa i wielokrotna). Zmienną zależną była zawartość metalu w dżdżownicy. W celu sprawdzenia poprawności metodyki badań wykorzystano certyfikowany materiał odniesienia „Sewage sludge amended soil” CRM005 050 firmy Tusnovics. Dla badanych metali uzyskano następujące wyniki odzysku: Cd 96%, Pb 95%, Cu 95%, Zn 97%, Cr 95%, Ni 95%.

Omówienie wyników

Wartość pH osadów i kompostów wahała się w granicach, odpowiednio: 6,70–6,85 i 6,35–6,71. Zawartość substancji organicznej wahała się w granicach 61,2–63,5% s.m. w osadzie ściekowym oraz 65,4–73,2% s.m. w wermikompoście. Zawartość metali ciężkich w osadzie surowym i wermikompoście przedstawiono w Tabelcy 1. Wyniki zostały uśrednione dla trzech terminów pobrania próbek. Dodatkowo dla wermikompostów uśredniono wyniki dla próbek pochodzących z trzech kwater. Uzyskane wyniki porównano z granicznymi wartościami dla osadów wykorzystywanych rolniczo zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. 2010, nr 137, poz. 924) [11].

Autor do korespondencji:

Dr inż. Marta BOŻYM, e-mail: m.bozym@po.opole.pl

Tablica 1

Zawartość metali ciężkich w osadzie surowym i wermikompostcie w porównaniu z dopuszczalnymi wartościami dla osadów stosowanych rolniczo (Dz. U. nr 137 poz. 924) [11]

Zawartość metalu, mg kg ⁻¹	Osad surowy	Wermikompost	Rolnicze wykorzystanie Dz. U. nr 137 poz. 924
Cd	1,504±0,037	2,141±0,119	20
Pb	40,7±1,3	56,0±3,4	750
Cu	213±13	275±5	1000
Zn	767±10	1014±50	2500
Cr	14,3±0,5	28,5±3,2	500
Ni	17,8±0,7	25,4±1,0	300

Wyniki podano w przeliczeniu na suchą masę, jako: średnia ± SD

Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych i wermikompostach nie przekraczała dopuszczalnych norm, określonych dla osadów stosowanych do celów rolnych. Pozwala to na ich przyrodnicze wykorzystanie. Zawartość metali w osadach surowych była niższa niż w wermikompostach, co związane było z redukcją masy kompostowanych osadów. Dodatkową przyczyną mógł być fakt, iż wiek wermikompostów wynosił ponad rok. Warunki pogodowe, głównie ostra zima na przełomie 2011 i 2012 r., spowodowały znaczną redukcję populacji dżdżownic. Mogło to spowodować zwiększone zmniejszenie masy osadowej.

Wzrost zawartości niektórych metali w wermikompostowanych osadach stwierdzono także w badaniach przeprowadzonych w tej samej oczyszczalni w 2000 r. [3]. Wówczas próbki pobierano przez cały okres wermikompostowania, od wiosny do jesieni, a proces przebiegał bez komplikacji. Podobne wyniki otrzymali inni autorzy, którzy odnotowali wzrost udziału metali w osadach podczas wermikompostowania [12, 13].

W Tablicy 2 przedstawiono wyniki badań zawartości metali ciężkich w dżdżownicach i koprolicie. Dodatkowo podano wartości stopnia kumulacji.

Tablica 2

Zawartość metali ciężkich w dżdżownicach (*Eisenia fetida*) oraz koprolicie

Zawartość metalu, mg kg ⁻¹	Dżdżownice	Koprolit	Stopień kumulacji metali przez dżdżownice
Cd	4,27±0,49	2,12±0,24	2,01
Pb	30,7±1,9	56,8±3,2	0,54
Cu	134±3	278±3,1	0,48
Zn	1019±54	980±55	1,04
Cr	2,00±0,28	29,2±3,1	0,07
Ni	27,6±1,1	25,0±1,4	1,11

Zawartość kadmu w ciałach dżdżownic była dwukrotnie wyższa niż podłożu (stopień kumulacji = 2,01) (Tab. 2). Udział cynku i niklu znajdował się na podobnym poziomie co w koprolicie (stopień kumulacji = 1,04 i 1,11). Natomiast nie stwierdzono zwiększonego kumulowania ołowiu i miedzi w ciałach dżdżownic. Zawartość tych metali była dwukrotnie niższa niż w koprolicie (stopień kumulacji = 0,54 i 0,48). Stopień kumulacji chromu był bardzo niski, co wskazuje na brak zdolności do kumulacji tego metalu w ciałach dżdżownic (stopień kumulacji = 0,07). W badaniach przeprowadzonych wcześniej w tej samej oczyszczalni potwierdzono zdolność do kumulacji niektórych metali przez dżdżownice [3]. W późniejszych badaniach

stwierdzono, że zdolność kumulacji metali zależy od fazy rozwoju dżdżownic. Największy udział metali oznaczono w osobnikach dojrziałych (z wytworzonym *clitellum*) [4].

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono analizę statystyczną, w celu określenia wpływu niektórych parametrów wermikompostów na kumulację metali w ciałach dżdżownic. Zbadano zależność między zawartością metali w dżdżownicach a podłożem (korelacja liniowa). Poza tym przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej, gdzie zmienną zależną była zawartość metalu w dżdżownicach, natomiast zmiennymi niezależnymi: udział metalu w podłożu, odczyn (pH) i zawartość substancji organicznej (OM). Wyniki analizy przedstawiono w Tablicy 3.

Tablica 3

Statystyczny opis wpływu wybranych właściwości wermikompostu na zawartość metali ciężkich w ciałach dżdżownic, dla przedziału ufności 0,95

Metal	Stopień dopasowania*	Równanie regresji pojedynczej i wielokrotnej
Cd total total-pH-OM	r=0,863 r=0,654	$Cd(\text{earthworm}) = 1,232 + 0,213(Cd_{\text{total}})$ $Cd(\text{earthworm}) = 12,1(Cd_{\text{total}}) + 0,413(\text{pH}) + 0,070(\text{OM}) + 0,614$
Pb total total-pH-OM	r=0,143 r=0,695	$Pb(\text{earthworm}) = 48,05 + 0,26(Pb_{\text{total}})$ $Pb(\text{earthworm}) = 2,730(Pb_{\text{total}}) - 34,2(\text{pH}) + 2,57(\text{OM}) + 67,5$
Cu total total-pH-OM	r=-0,480 r=0,519	$Cu(\text{earthworm}) = 376 - 0,753(Cu_{\text{total}})$ $Cu(\text{earthworm}) = 0,890(Cu_{\text{total}}) + 16,7(\text{pH}) - 1,12(\text{OM}) + 99,2$
Zn total total-pH-OM	r=0,769 r=0,463	$Zn(\text{earthworm}) = 261,9 + 0,738(Zn_{\text{total}})$ $Zn(\text{earthworm}) = 1,70(Zn_{\text{total}}) - 12,2(\text{pH}) + 35,6(\text{OM}) - 1642$
Cr total total-pH-OM	r=-0,490 r=0,831	$Cr(\text{earthworm}) = 36,9 - 0,419(Cr_{\text{total}})$ $Cr(\text{earthworm}) = 18,6(Cr_{\text{total}}) + 3,5(\text{pH}) + 1,15(\text{OM}) - 46,8$
Ni total total-pH-OM	r=0,917 r=0,727	$Ni(\text{earthworm}) = 7,226 + 10,607(Ni_{\text{total}})$ $Ni(\text{earthworm}) = -1,60(Ni_{\text{total}}) - 4,3(\text{pH}) + 0,27(\text{OM}) + 13,5$

* r – współczynnik korelacji liniowej i wielokrotnej

Stwierdzono wystąpienie korelacji dodatniej między zawartością niklu (r=0,917), kadmu (r=0,863) i cynku (r=0,769) w podłożu a zawartością w ciałach dżdżownic (Tab. 3). W przypadku tych metali nie stwierdzono dodatkowego wpływu odczynu i zawartości substancji organicznej (OM) osadów. Natomiast na zawartość ołowiu i chromu, dodatkowymi czynnikami wpływającymi na kumulowanie metali w ciałach dżdżownic był odczyn i substancja organiczna. Świadczy o tym wzrost wartości współczynnika dopasowania, po uwzględnieniu tych trzech parametrów (Tab. 3). Inni autorzy także potwierdzają bezpośredni wpływ pH podłoża i zawartości substancji organicznej na kumulację metali przez dżdżownice [14, 15]. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na stopień kumulacji metali w ciałach dżdżownic może być wzajemne oddziaływanie różnych metali występujących w podłożu, na przykład Pb, Cd, Zn i Cu [7]. Kumulacja miedzi w ciałach dżdżownic w niewielkim stopniu zależała od jej zawartości w podłożu (r=0,480–0,519).

Podsumowanie

Wyniki badań potwierdziły, że podczas procesu wermikompustowania osadów ściekowych zwiększa się zawartość metali ciężkich. Wynika to ze zmniejszania masy przetwarzanych osadów. Zawartość metali w ciałach dżdżownic był wyższy niż w osadach ściekowych i wermikompotach. Na kumulację metali przez dżdżownice wpłynęła zawartość ogólna metali ciężkich w podłożu, odczyn pH i zawartość substancji organicznej.

Literatura

1. Kostecka J.: *Kompostowanie z udziałem dżdżownic – nowe możliwości*. Materiały I Konferencji Naukowo Technicznej „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”, Puławy-Warszawa, 16–18.06.1999, 125–131.
2. Kostecka J.: *Uzdatnianie osadów ściekowych w wermikulturze*. Materiały II Konferencji Naukowo Technicznej „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”, Puławy-Lublin-Jeziórko 26–28.05.1997, 171–176.
3. Bożym M.: *Zmiany parametrów fizykochemicznych osadu ściekowego w czasie wermikompustowania*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 498, 2004, 33–39.
4. Bożym M.: *Biologiczne przetwarzanie biodegradowalnej frakcji odpadów komunalnych i osadów ściekowych w wermikulturze (Biologische Verarbeitung der biodegradierbaren Fraktion von Kommunalabfällen und Klarschlamm in Wurmkompostierungen (Wermikultur))*. Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych 10, 2012, 335–369.
5. Dong B., Liu X., Dai L., Dai X.: *Changes of heavy metal speciation during high-solid anaerobic digestion of sewage sludge*. Bioresource Technology 131, 2013, 152–158.
6. Sharm S., Pradhan K., Satya S., Vasudevan P.: *Potentiality of earthworms for waste management and in other uses – a review*. The Journal of American Science 1(1), 2005, 4–16.
7. Bożym M.: *Wpływ metali ciężkich na życie dżdżownic*. Biuletyn Naukowy 25(1), 2005, 201–210.
8. Spurgeon D.J., Hopkin S.P., Jones D.T.: *Effects of cadmium, copper, lead and zinc on growth, reproduction and survival of the earthworm Eisenia fetida (Sav.): assessing the environmental impact of point-souce metal contamination in terrestrial ecosystems*. Environmental Pollution 84, 1994, 123–130.
9. Kalembsa D.: *Wpływ stężenia Cd, Pb i Ni w podłożu na biomasę i rozrodczość dżdżownicy Eisenia fetida*, Zeszyty Naukowe AR w Krakowie 334 (58), 1998, 121–124.

10. Neuhauser E.F., Loehr R.C., Milligan D.L., Malecki M.R.: *Toxicity of metals to the earthworm Eisenia fetida*. Biology and Fertility of Soils 1, 1985, 149–152.
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. 2010, nr 137, poz. 924).
12. Patorczyk-Pytlik B., Spiak Z., Rabikowska B.: *Ocena wartości nawozowej obornika i osadu ściekowego przetworzonego przez dżdżownice w drugim roku po zastosowaniu*. Zeszyty Naukowe Postępów Nauk Rolniczych 409, 1993, 143–150.
13. Zabłocki Z., Kiepas-Kokot A.: *Zmiany niektórych właściwości chemicznych komunalnych osadów ściekowych w procesach: kompostowania i wermikompustowania*. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie 58, 1998, 101–108.
14. Spurgeon D.J. i Hopkin S.P.: *Effect of variations of the organic matter content and pH of soils on the availability and toxicity of zinc to the earthworm Eisenia fetida*. Pedobiologia 40, 1996, 80–96.
15. Beyer W.N., Hensler B., Moore J.: *Relation of pH and other soil variables to concentrations of Pb, Cu, Zn, Cd, and Se in earthworms*. Pedobiologia 30, 1987, 167–172.

*Dr inż. Marta BOŻYM ukończyła studia magisterskie na kierunku chemia, jest absolwentką Wydziału Matematyczno-Fizyczno-Chemicznego Uniwersytetu Opolskiego (1998). Dodatkowo w 2005 roku ukończyła studia inżynierskie na kierunku inżynieria środowiska, jest absolwentką Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej. Doktorat obroniła na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu (2006). Obecnie pracuje na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Zainteresowania naukowe: migracja metali ciężkich w środowisku, zagospodarowanie odpadów komunalnych i przemysłowych, wykorzystanie osadów ściekowych. Jest autorem ponad 50 artykułów naukowych i autorem lub współautorem ponad 50 referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

e-mail: m.bozym@po.opole.pl, tel. 77 449 8381

Aktualności z firm

News from the Companies

Dokończenie ze strony 867

Nowy stokaż amoniaku w Puławach

6 października br. Grupa Azoty Puławy SA oddała do użytku nową inwestycję o docelowym budżecie ponad 108 mln PLN. Stokaż amoniaku o pojemności 15 tys. ton zwiększy stabilność zaopatrzenia Spółki w podstawowy półprodukt, jakim jest amoniak. Inwestycja ta wpłynie na poprawę bezpieczeństwa i wzmocni pozycję Puław oraz całej Grupy Azoty na rynku krajowym i europejskim.

Dotychczasowe zdolności magazynowe amoniaku w Puławach wynosiły około 3,5 tys. ton. Nowy zbiornik zwiększa je prawie pięciokrotnie. Jest to ważny aspekt realizacji strategii zachowania ciągłości działalności produkcyjnej oraz zarządzania ryzykiem. Zbiornik to bufor pozwalający na elastyczne planowanie prac remontowych na więk-

szych odcinkach ciągów technologicznych bez ograniczania produkcji. Obiekt jest również zabezpieczeniem magazynowym na wypadek okresowych przerw w dostawach gazu.

Głównymi celami realizacji projektów inwestycyjnych w Grupie Azoty Puławy SA jest zwiększenie efektywności produkcyjnej przy spełnianiu najwyższych standardów, jakości i troski o środowisko naturalne. Konsekwentnie od lat inwestując w rozwiązania proekologiczne Grupa Azoty Puławy SA znacząco zredukowała zanieczyszczenia emitowane do powietrza oraz zanieczyszczenia ściekowe. Od 1985 r. Spółka zredukowała zanieczyszczenia pyłowe aż o 94%, zanieczyszczenia ściekowe o 70%, a zanieczyszczenia gazowe o 53% jednocześnie zwiększając zdolności produkcyjne firmy o 40%. (em)

Dokończenie na stronie 907