

Zawartość wybranych metali w owocnikach boczniaka ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*)

Content of selected metals in the fruiting bodies of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*)

Elżbieta Kondratowicz-Pietruszka¹, Barbara Krochmal-Marczak²,
Tomasz Cebulak³, Katarzyna Piądlowska⁴, Viola Vambol⁵, Izabela Betlej⁶

¹ Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Katedra Chemii Ogólnej, ul. Sienkiewicza 5, 30-033 Kraków

² Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, Rynek 1, 38-400 Krosno

³ Uniwersytet Rzeszowski, Instytut Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów

⁴ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Architektury Krajobrazu, Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, ul. Akademicka 13, 20-950, Lublin

⁵ Uniwersytet Narodowy Jurija Kondratiuka, Politechnika Połtawska, Wydział Ekologii Stosowanej i Zarządzania Przyrodą, просп. Perszotrawnewy 24, Połtawa, Ukraina

⁶ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Nauk o Drewnie i Ochrony Drewna, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

Słowa kluczowe: *Pleurotus ostreatus*, owocniki, kapelusz, trzon, metale

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, fruiting bodies, stem, cap, metals

Streszczenie

Przedmiotem badań były owocniki boczniaka ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*), pochodzące z uprawy własnej zlokalizowanej na terenie województwa podkarpackiego (50°82' N 23°54' E). Gotowe podłoże do uprawy grzyba zakupiono w wyspecjalizowanym sklepie detalicznym. Pierwsze owocniki zebrano po 10 dniach od zakupu podłoża. W zebranych owocnikach boczniaka ostrygowatego badano zawartość Cd, Pb, Fe, Mn, Zn i Cu. Do analizy metali wykorzystano atomową spektrometrię absorpcyjną (ASA) w wersji metody płomieniowej oraz kuwetowej. Uzyskane wyniki wskazują na niskie zawartości Fe, Mn, Zn i Cu w boczniakach z uprawy własnej. Przeprowadzone badania wykazały, że stężenie wybranych metali w analizowanych grzybach maleje następująco: Fe > Zn > Mn > Cu > Cd > Pb. W grzybach *Pleurotus ostreatus* z własnej uprawy nie stwierdzono nadmiernej kumulacji badanych metali: Fe, Zn, Mn i Cu. Średnie stężenie Cd było na granicy zalecanego limitu 0,05 mg·kg⁻¹. Natomiast zawartość Pb była niska, zarówno w kapeluszu, jak i w trzonie grzyba, poniżej wartości dopuszczalnej 0,30 mg·kg⁻¹.

Summary

The subjects of the study were fruiting bodies of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*), originating from home cultivation located in the Subcarpathian province (50°82' N 23°54' E). Prepared substrate for the cultivation of oyster mushroom was purchased from a specialized retail store. The first fruiting bodies were harvested 10 days after purchasing the substrate. The content of Cd, Pb, Fe, Mn, Zn, Cu was examined in the collected fruiting bodies of oyster mushroom. Atomic absorption spectrometry (ASA) versions of the flame and cuvette methods were used for metal analysis. The results indicate low contents of Fe, Mn, Zn and Cu in home-grown oyster mushrooms. The study showed that the concentration of selected metals in the analyzed mushrooms decreases as follows: Fe > Zn > Mn > Cu > Cd > Pb. In *Pleurotus ostreatus* mushrooms, from own cultivation, there was no excessive accumulation of the tested metals: Fe, Zn, Mn, Cu. The concentration of Cd, on average, was at the limit of the recommended limit of 0.05 mg·kg⁻¹. In contrast, the content of Pb was low, both in the cap and in the stem of the mushroom, below the limit of 0.30 mg·kg⁻¹.

Wstęp

Grzyby, w tym boczniaki, *Pleurotus ostreatus* czy też *Pleurotus eryngii*, są popularnym i cennym surowcem spożywczym. Charakteryzują się pożądanymi walorami smakowymi i dużą odpornością na zmiany warunków przechowywania. Są one również chętnie skupowane i przetwarzane. W handlu najczęściej są dostępne w postaci świeżej. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 3 listopada 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie grzybów dopuszczonych do obrotu lub produkcji przetworów grzybowych, środków spożywczych zawierających grzyby oraz uprawnień klasyfikatora grzybów i grzyboznawcy [1] zawiera wykaz grzybów, który w zakresie dotyczącym boczniaków wyróżnia: boczniaka cytrynowego – *Pleurotus citrinopileatus* (Singer), boczniaka florydzkiego – *Pleurotus florida* (Singer), boczniaka łyżkowatego – *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél., boczniaka mikołajkowego – *Pleurotus eryngii* (DC.) Quél., pochodzącego wyłącznie z uprawy lub spoza terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, boczniaka ostrygowatego – *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., boczniaka różowego – *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn.

Boczniaki uprawiane są w różnych strefach klimatycznych, przez indywidualnych producentów na potrzeby własne lub na skalę przemysłową na różnych podłożach, w tym na takich, które znajdują się na terenach kopalnianych. Z botanicznego punktu widzenia boczniaki są klasyfikowane jako *Basidiomycetes*. Naturalnym środowiskiem *Pleurotus* spp. są lasy tropikalne i subtropikalne. W warunkach śródwojewódzkich gatunek ten występuje na martwych pniach, kłodach i pniakach drzew liściastych. Może być również uprawiany na różnych podłożach wykonanych

z odpadów lignocelulozowych [2, 3]. Od wielu lat propaguje się uprawę grzybów na odpadach rolniczych ze względu na rosnącą populację i ubywanie gruntów rolnych. Przede wszystkim pozwoliłoby to wyeliminować lub zmniejszyć ilość odpadów środowiskowych, a w drugiej kolejności zapewniałoby produkcję żywności [4]. Owocniki bocznika ostrygowatego często występują w grupach składających się z kilku większych i mniejszych okazów, które wyrastają ze wspólnej podstawy lub są ułożone w kafelkowy wzór jeden nad drugim. Owocniki są źródłem łatwo przyswajalnego białka, kwasu foliowego, aminokwasów, witamin z grupy B i soli mineralnych. Stwierdzono, że zawierają lowastatynę, która obniża poziom cholesterolu we krwi. W ich składzie znajduje się również pleuran, substancja o działaniu immunostymulującym i przeciwnowotworowym [3, 5–7]. Według Singha i wsp. [6] skład mineralny bocznika jest niezwykle cenny ze względu na liczne makroelementy, np. magnez, wapń, potas, sód, fosfor. Obok nich występują również mikroelementy, m.in.: żelazo (Fe), miedź (Cu), cynk (Zn) czy mangan (Mn). Substancje mineralne występują w grzybach w różnych ilościach, więcej ich wykryto w kapeluszu niż w trzonie. Ilość ich zależy również od średnicy kapelusza, wieku grzyba, gatunku i podłoża. Badania Sithole i wsp. [8] wskazują, że metale ciężkie mogą być magazynowane w trzonach grzybów po asymilacji z gleby przed przemieszczaniem się w górę do kapelusza. Stwierdzono, że boczniki *Pleurotus ostreatus* gromadzą wysokie stężenie metalu w kapeluszach w porównaniu z trzonami grzybów. Pierwiastki te mają ogromne znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania organizmu. Mikro- i makroelementy wpływają pozytywnie na organizm człowieka tylko wtedy, gdy dostarczane są w optymalnych stężeniach [9, 10]. Większość grzybów kapeluszowych ma zdolność gromadzenia w owocniku różnych metali ciężkich. Badania naukowe dowodzą, że grzyby jadalne mogą magazynować także znaczne ilości związków toksycznych. Toksyczność metali ciężkich wynika m.in. z roli biochemicznej, jaką pełnią w procesach metabolicznych, oraz z dużego stopnia wchłaniania i małego wydalania ich przez organizmy żywe. Niebezpieczeństwo polega głównie na trwałym wchodzeniu metali ciężkich do łańcucha pokarmowego i jest uzależnione od naturalnych barier biologicznych [2]. Szczególnie niebezpiecznymi metalami ciężkimi dla organizmów żywych są ołów (Pb) i kadm (Cd), który uważany jest za najbardziej toksyczny z metali. Konsekwencje wyższego stężenia Cd niż zalecany limit i możliwość gromadzenia się tego metalu w organizmie mogą mieć wpływ na nerki i wątrobę. Maksymalna dopuszczalna ilość tych pierwiastków w surowcach i produktach spożywczych jest uregulowana aktami prawnymi. Sanglimsuwan i wsp. [11] zaobserwowali, że spośród wielu badanych grzybów bocznik ostrygowaty był najbardziej odporny na wysokie stężenia kadmu (Cd), miedzi (Cu) czy cynku (Zn) w podłożu. Widoczne kliniczne objawy chorobowe przy niskich poziomach narażenia na kadm i ołów nie występują od razu, skutki ich działania można obserwować

jedynie na poziomie fizjologicznym lub biochemicznym. Komisja Kodeksu Żywnościowego FAO/WHO określiła, że dzienna dawka dla dorosłego człowieka nie może przekraczać $0,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ m.c.}$ [12] dla ołowiu, przy najniższych dawkach wyznaczających: BDML_{01} dla dzieci (działanie neurotoksyczne) $0,50 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ m.c.}$ na dzień, BDML_{10} dla dorosłych $0,63 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ m.c.}$ na dzień (działanie nefrotoksyczne) oraz BDML_{01} $1,50 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ m.c.}$ na dzień (działanie powodujące zaburzenia sercowo-naczyniowe) [2]. Rozporządzenie Unii Europejskiej w sprawie zanieczyszczeń (UE) 1881/2006 uregulowało m.in. najwyższe dopuszczalne poziomy metali ciężkich [13]. Rozporządzenie to zostało obecnie zmienione przez Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/1323 z dnia 10 sierpnia 2021 r. [14]. W przypadku grzybów uprawnych najwyższy dopuszczalny poziom kadmu (według Rozporządzenia 2021/1323) obniżono do $0,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ }\acute{\text{s}}.\text{m.}$, a dla ołowiu do $0,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ }\acute{\text{s}}.\text{m.}$ Doniesienia z literatury wskazują, iż zawartość metali w grzybach jest pochodną wielu czynników, np. zależy ona od rodzaju grzybów czy też podłoża [15]. Dlatego też celem pracy była ocena zawartości wybranych metali w owocnikach bocznika ostrygowatego pochodzącego z uprawy własnej.

Materiał i metody

Przedmiotem badań były boczniki ostrygowate (*Pleurotus ostreatus*), pochodzące z uprawy własnej zlokalizowanej na terenie województwa podkarpackiego ($50^{\circ}82' \text{ N } 23^{\circ}54' \text{ E}$). Gotowe podłoże do uprawy bocznika ostrygowatego zakupiono w wyspecjalizowanym sklepie detalicznym. Przerośnięty grzybnią balot ustawiono w pomieszczeniu o temp. 16°C i wilgotności 85%. W początkowej fazie uprawy wzrost grzybni odbywał się w całkowitej ciemności, następnie po pojawieniu się w otworach balotu pierwszych zawiązków grzybów zapewniono im dostęp do światła przez 12 h na dobę. Pierwsze owocniki zebrano po 10 dniach od zakupu podłoża. Do badań laboratoryjnych pobrano 3 próby, w każdej znajdowało się 10 owocników. Badania przeprowadzono w 2023 r. w Laboratorium Absorpcyjnej Spektroskopii Atomowej w Instytucie Nauk o Jakości i Zarządzania Produktem w Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie.

Grzyby po zbiorze oczyszczono i podzielono na fragmenty: kapelusz i trzon. Kapelusze i trzony suszono w temp. około 21°C w przewiewnym miejscu, a następnie dosuszano w elektrycznej suszarce (w temp. 40°C) do uzyskania stałej masy. Następnie zmielono je w młynku ścinającym Retsch SM 100 (Retsch, Haan, Niemcy) i przechowywano do momentu użycia. W celu oznaczenia metali kapelusze oraz trzony bocznika ostrygowatego zmineralizowano zgodnie z metodą mineralizacji „na sucho” – według normy PN-EN 14082:2004 [16].

Odważono, a następnie przesypano do tygli porcelanowych po 1 g zhomogenizowanych próbek grzybów. Zawartość spopielono w piecu muflowym w temp. 450°C. Następnie popiół w tyglu zalano 5 cm³ roztworu HCl (1:1). Nadmiar kwasu chlorowodorowego odparowano na łązni piaskowej do sucha. Zawartość tygla ponownie zalano roztworem HCl (10%) i uzyskany roztwór przesączono przez twardy sączek w celu oddzielenia krzemionki, przelewając go do kolb miarowych: do oznaczenia ołowiu i kadmu użyto kolb o pojemności 10 cm³, natomiast do oznaczenia żelaza, manganu, cynku i miedzi – kolb o pojemności 25 cm³. Materiał, który pozostał na sączku, trzykrotnie przemyto rozcieńczonym roztworem HCl, a zawartość kolb uzupełniono do kreski, uzyskując klarowne, bezbarwne roztwory. Mineralizację próbek przeprowadzono w dwóch powtórzeniach. Do analizy wybranych metali wykorzystano atomową spektrometrię absorpcyjną (ASA) w wersji metody płomieniowej oraz kuwetowej.

Wyniki badań poddano analizie statystycznej, stosując jednoczynnikową analizę wariancji oraz testy post-hoc Duncana na poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$. Obliczenia wykonano w programie Statistica 9.

Wyniki i dyskusja

Składniki mineralne odgrywają ważną rolę w metabolizmie, ponieważ są potrzebne do różnych reakcji metabolicznych, tworzenia sztywnych kości, regulacji wody, równowagi soli, stymulacji sensorycznej i innych funkcji [17, 18]. Według Singh i Singh [6] skład mineralny boczników ostrygowatych jest bardzo cenny ze względu na zawartość licznych mikroelementów. W badaniach własnych w próbkach kapeluszy i trzonów *Pleurotus ostreatus* oznaczono zawartość kadmu (Cu), ołowiu (Pb), wapnia (Ca), miedzi (Cu), żelaza (Fe), manganu (Mn) i cynku (Zn).

W Tabeli 1 zestawiono wyniki badań własnych oraz dla porównania wyniki badań innych autorów, zaś na Rysunku 1 przedstawiono graficzne porównanie zawartości metali w trzonie i kapeluszach bocznika ostrygowatego.

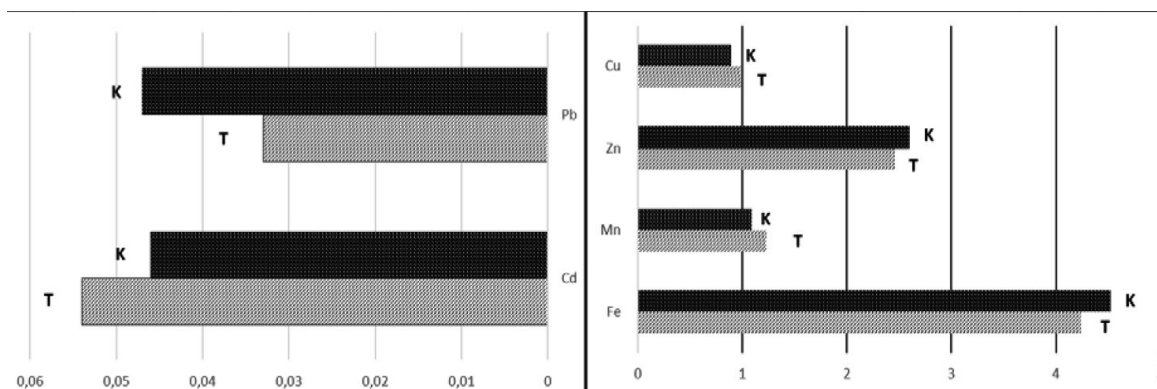
Tabela 1. Zawartość wybranych metali w *Pleurotus ostreatus*.**Table 1.** The content of selected metals in *Pleurotus ostreatus*.

Metal mg·kg ⁻¹ s.m.	A Uprawa własna				B Uprawa na różnych podłożach		C Ze sklepu	D Ze sklepu	E Z terenów kopalni	
	kapelusz	trzon	SD	średnia	kapelusz	trzon	średnia	średnia	kapelusz	trzon
Cd	0,054 ^a	0,046 ^b	0,004	0,05	NB	NB	NB	NB	NB	NB
Pb	0,033 ^a	0,047 ^b	0,008	0,04	NB	NB	NB	NB	NB	NB
Fe	4,238 ^a	4,526 ^b	0,158	4,764	56,0	40,0	84,30	166,00	NB	NB
Mn	1,227 ^a	1,090 ^b	0,075	1,158	6,9	2,8	NB	1,83	8,32	15,59
Zn	2,456 ^{ab}	2,599 ^{ba}	0,039	2,527	81,0	41,0	4,39	25,70	65,83	29,28
Cu	0,987 ^{ab}	0,891 ^{ba}	0,050	0,939	6,2	5,3	2,70	8,72	17,33	29,52

Źródło: A – badania własne, B – Golian i wsp. [18], C – Florczak i wsp. [3], D – Kuziemska i wsp. [20], E – Sithole i wsp. [8].

Source: A – own research, B – Golian et al. [18], C – Florczak et al. [3], D – Kuziemska et al. [20], E – Sithole et al. [8].
NB – nie badano, SD – odchylenie standardowe

Różnice statystycznie istotne zaznaczono w układzie wierszy dla zmiennych A, przy poziomie istotności $\alpha \leq 0,05$ na podstawie analizy ANOVA, z wykorzystaniem testu post-hoc Ducana.

**Rysunek 1.** Zawartość wybranych metali w trzonie i kapeluszu w *Pleurotus ostreatus* w mg·kg⁻¹ s.m.

T – trzon, K – kapelusz

Figure 1. Content of selected metals in the stem and cap in *Pleurotus ostreatus* in mg·kg⁻¹ s.m.

T – stem, K – cap

Źródło: badania własne.

Source: own research.

Badania przeprowadzone przez wielu badaczy wykazały decydujący wpływ rodzaju podłoża na skład chemiczny grzybów [3, 19]. Podkreśla się, że zawartość substancji mineralnych w grzybach zależy od typu podłoża, na którym rosną, odczynu gleby, liczby i rodzaju pierwiastków znajdujących się w podłożu, biodostępności

tych składników oraz warunków środowiskowych. Stwierdzono, że wchłanianie metali z podłoża jest cechą gatunkową, a stopień kumulacji poszczególnych mikroelementów uwarunkowany jest genetycznie [19]. Zdarza się, że są to wartości przekraczające stężenie występujące w podłożu, na którym grzyby wyrosły. Potwierdza to porównanie wyników analiz własnych z danymi przytaczanymi przez Golian i wsp. [18], Florczak i wsp. [3], Kuziemską i wsp. [20] oraz Sithole i wsp. [8].

W badaniach przeprowadzonych przez Kaczyńską i wsp. [21] rośliny uprawiane na glebie zawierającej duże ilości kadmu wykazywały objawy chlorozy, zahamowania wzrostu, brązowienia wierzchołków korzeni i obumierania. Podobnie jak u roślin, kadm u ludzi indukuje powstawanie reaktywnych form tlenu, np. rodnika wodorotlenowego, rodnika ponadtlenkowego i nadtlenu wodoru. Na skutek tego dochodzi do nasilenia stresu oksydacyjnego, który oddziałuje toksycznie na wiele tkanek i narządów [21]. W opinii Góralczyk i wsp. [12] kadm uważany jest za najbardziej toksyczny z metali. Głównym jego źródłem dla organizmu człowieka jest żywność, 75% kadmu w codziennej diecie pochodzi z produktów pochodzenia roślinnego. Największą destrukcję kadm wyrządza w tych narządach, w których dosyć łatwo się kumuluje, tj. w nerkach, wątrobie, jądrach i kościach, a także może on wpływać na osłabienie pracy układu odpornościowego.

Średnie stężenie Cd w boczniku z uprawy własnej A było na granicy zalecanego limitu $0,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w żywności, ustalonego przez Światową Organizację Zdrowia (World Health Organization – WHO). Natomiast zawartość Pb, zarówno w kapeluszu, jak i w trzonie grzyba, była niska – poniżej wartości dopuszczalnej $0,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Tabela 1). Prace innych autorów nie potwierdzają wartości otrzymanych w badaniach własnych [3, 8, 18, 20]. Według Golian i wsp. [18] wartości dla Cd i Pb są niższe od wartości dopuszczalnych, natomiast Sithole i wsp. [8] otrzymali dla boczników wartości zawartości Cd i Pb o wiele wyższe, przekraczające dopuszczalne wartości graniczne dla tych pierwiastków. Potwierdza to wpływ dużego zanieczyszczenia podłoża na kumulację Cd i Pb w bocznikach.

Żelazo (Fe) jest jednym z mikroelementów niezbędnych zarówno roślinom, jak i zwierzętom [21, 22]. Według Ramana i wsp. [23] około 90% biodostępności Fe w grzybach jadalnych jest łatwo przyswajalne. Badania tych autorów wykazały, że u gatunku *Pleurotus* zawartość Fe mieści się w przedziale $5,5\text{--}13,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Badania własne nie potwierdzają tego, otrzymane w nich wartości są niższe i zawierają się w przedziale $4,24\text{--}4,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Mangan (Mn) jest substancją naturalnie występującą w przyrodzie [18]. Jest metalem niezbędnym w układzie biologicznym, wykorzystywanym w kilku procesach chemicznych w organizmie, lecz jego nadmiar może prowadzić do zaburzeń psychicznych w wyniku deformacji komórek nerwowych [18]. Średnie stężenie Mn

w boczniakach w badaniach własnych mieściło się w granicach 1,09–1,23 mg·kg⁻¹ (Tabela 1). Wartości te zostały potwierdzone przez Golian i wsp. [18], którzy na podstawie uprawy własnej określili zawartość Mn w przedziale 0,39–4,8 mg·kg⁻¹ dla trzonów i nieco większą, bo wynoszącą 2,8–11,0 mg·kg⁻¹ dla kapeluszy boczniaków. Dla porównania poziom Mn w boczniakach uprawianych na terenach kopalni jest o wiele wyższy i wynosił 9,50–40,12 mg·kg⁻¹ [18].

Cynk pełni istotną rolę w ludzkim organizmie, gdyż jest obecny w wielu enzymach, np. polimerazy DNA i RNA, wpływa na syntezę białek, hormonów i krwinek czerwonych, prawidłowe działanie układu odpornościowego i funkcjonowanie skóry oraz błon śluzowych [24, 25]. W nadmiarze jednak może powodować m.in. opóźnienie rozwoju u małych dzieci i prowadzić do zatrucia [5].

W badaniach własnych stężenie Zn boczniaka ostrygowatego nie przekraczało zalecanego przez WHO limitu dla Zn w żywności, wynoszącego 60 mg·kg⁻¹ [18]. Niska zawartość Zn, wynosząca 2,53 mg·kg⁻¹, wyraźnie odbiega od wartości podawanych przez innych autorów: 4,22–7,70 mg·kg⁻¹ [23], 17–48 mg·kg⁻¹ [25], 25,70 mg·kg⁻¹ [20], 61 mg·kg⁻¹ [18], 99–94,61 mg·kg⁻¹ [8].

Miedź odgrywa istotną rolę w syntezie hemoglobiny, poprawia pracę mózgu, zwiększa odporność, reguluje metabolizm tłuszczów, potrzebna jest przy asymilacji CO₂ i w syntezie ATP. Zbyt duże stężenie tego pierwiastka w organizmie powoduje zaburzenia prowadzące do gromadzenia go w kluczowych organach wewnętrznych, takich jak wątroba, mózg czy rogówka oka. WHO ustaliła bezpieczny limit stężenia Cu jako 40 mg·kg⁻¹. W badaniach własnych A boczniak zawierał średnio 0,94 mg·kg⁻¹. W badaniach innych autorów zawartość miedzi w boczniakach była znacznie wyższa (Tabela 1). Według Singh i wsp. [6] trzon badanych grzybów *Pleurotus ostreatus* zawierał 1,7–12,0 mg·kg⁻¹ miedzi. W kapeluszach znajdowała się podobna ilość Cu 3,0 – 12,0 mg·kg⁻¹. Autorzy Sanglimsuwan i wsp. [11], Wan Mahari i wsp. [26] oraz Zawadzka i wsp. [9] zaobserwowali, że spośród analizowanych próbek wielu grzybów *Pleurotus ostreatus* był najbardziej odporny na wysokie stężenia miedzi, kadmu, cynku, niklu, kobaltu i rtęci w podłożu. Badania własne wykazały, że boczniak ostrygowaty posiada zdolność bioakumulacji metali ciężkich z podłoża, na którym rośnie, i że może gromadzić metale zarówno w kapeluszach, jak i trzonach. Dane przedstawione w Tabeli 1 wskazują na brak istotnych różnic pod względem zawartości żelaza, manganu, cynku i miedzi pomiędzy trzonem a kapeluszem badanego gatunku grzyba. Wykazano natomiast statystycznie istotne różnice zawartości kadmu i ołowiu pomiędzy kapeluszem a trzonem boczniaka ostrygowatego.

Pomimo bardzo dużej dostępności informacji na temat skażenia grzybów w naukowych bazach danych niewiele jest publikacji na temat tego, w których częściach owocnika dominują poszczególne metale.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki wskazują na niskie zawartości Fe, Mn, Zn i Cu w bocznikach z uprawy własnej w porównaniu do wyników analiz zawartości metali w bocznikach uprawianych na różnych podłożach, w tym na terenach kopalni.

Przeprowadzone badania wykazały, że stężenie wybranych metali w analizowanych grzybach maleje następująco: Fe > Zn > Mn > Cu > Cd > Pb.

W grzybach *Pleurotus ostreatus* z własnej uprawy nie stwierdzono nadmiernej kumulacji badanych metali: Fe, Zn, Mn i Cu. Średnie stężenie Cd było na granicy zalecanego limitu 0,05 mg·kg⁻¹. Natomiast zawartość Pb była niska, zarówno w kapeluszu, jak i w trzonie grzyba, poniżej wartości dopuszczalnej 0,30 mg·kg⁻¹.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 3 listopada 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie grzybów dopuszczonych do obrotu lub produkcji przetworów grzybowych, środków spożywczych zawierających grzyby oraz uprawnień klasyfikatora grzybów i grzyboznawcy (Dz.U. z 2022 r. poz. 2365).
- [2] Adamiak E.A., Kalembasa S., Kuziemska B., Zawartość metali ciężkich w wybranych gatunkach grzybów jadalnych, *Acta Agrophysica*, 2013, 20(1), s. 7–16.
- [3] Florczak J., Chudy J., Barasińska M., Karwowski B., Wybrane składniki odżywcze grzybów dziko rosnących: uszaka bżowego (*Hirneola auricula judae*), bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*) i zimówki aksamitnotrzonowej (*Flammulina velutipes*), *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2014, XLVII, 4, s. 876–882.
- [4] Villas-Bôas S.G., Esposito E., Mitchell D.A., Microbial Conversion of Lignocellulosic Residues for Production of Animal Feeds, *Animal Feed Science Technology*, 2002, 98, s. 1–12.
- [5] Szcześniak M., Grimling B., Meler J., Cynk – pierwiastek zdrowia, *Farmacja Polska*, 2014, 70(7), s. 363–366.
- [6] Singh A., Research P.D., Singh I.S., Pradesh U., Singh S., Nutritional and Health Importance of Fresh and Dehydrated Oyster Mushroom (*Pleurotus florida*), *Current Research in Food Science*, 2021, 2, s. 10–14.
- [7] Krakowska A., Zięba P., Włodarczyk A., Kała K., Sułkowska-Ziaja K., Bernaś E., Sękara A., Ostachowicz B., Muszyńska B., Selected edible medicinal mushrooms from *Pleurotus* genus as an answer for human civilization diseases, *Food Chemistry*, 2020, 327, 127084.
- [8] Sithole S.C., Agboola O.O., Mugivhisa L.L., Amoo S.O., Olowoyo J.O., Elemental concentration of heavy metals in oyster mushrooms grown on mine polluted soils in Pretoria, South Africa, *Journal of King Saud University – Science*, 2022, 34, s. 1–6.

- [9] Zawadzka A., Janczewska A., Kobus-Cisowska J., Dziedziński M., Siwulski M., Czarniecka-Skubina E., Stuper-Szablewska K., The effect of light conditions on the content of selected active ingredients in anatomical parts of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.), PLoS ONE, 2022, 17(1), e0262279.
- [10] Gapiński M., Woźniak W., Mikroelementy w uprawnych grzybach wielkoowocnikowych, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1996, 434, s. 641–646.
- [11] Sanglimsuwan S., Yoshida N., Morinaga T., Murooka Y., Resistance to and uptake of heavy metals in mushrooms, Journal of Fermentation and Bioengineering, 1993, 75, s. 112–114.
- [12] Góralczyk K., Dziubak A., Krężlewicz A., Levels of Metals Harmful to Health in Various Types of Food, Levels of Metals Harmful to Health in Various Types of Food, Studia Ecologiae Bioethicae, 2021, 19(1), s. 115–122.
- [13] Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.
- [14] Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/1323 z dnia 10 sierpnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów kadmu w niektórych środkach spożywczych.
- [15] Gogavekar S.S., Rokade S.A., Ranveer R.C., Ghosh J.S., Kalyani D.C., Sahoo A.K., Important Nutritional Constituents, Flavour Components, Antioxidant and Antibacterial Properties of *Pleurotus Sajor-Caju*, Journal Food Science Technology, 2014, 51, s. 1483–1491.
- [16] PN-EN 14082:2004. Artykuły żywnościowe. Oznaczanie pierwiastków śladowych. Oznaczanie zawartości ołowiu, kadmu, cynku, miedzi, żelaza i chromu metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS) po mineralizacji suchej.
- [17] Srikrum A., Supapvanich S., Proximate Compositions and Bioactive Compounds of Edible Wild and Cultivated Mushrooms from Northeast Thailand, Agriculture and Natural Resources, 2016, 50, s. 432–436.
- [18] Golian M., Hegedúsová A., Mezeyová I., Chlebova Z., Hegedus O., Urmińska D., Vollmannová A., Chlebo P., Accumulation of Selected Metal Elements in Fruiting Bodies of Oyster Mushroom, Foods, 2021, 11(1), s. 76.
- [19] Świsłowski P., Rajfur R., Biokumulacja pierwiastków w grzybach wielkoowocnikowych – przegląd wybranej literatury, Proceedings of ECOpole, 2017, 11(2), s. 591–599.
- [20] Kuziemska B., Wysokiński A., Jaremko D., Popek M., Kożuchowska M., Content of selected heavy metals in edible mushrooms, Ecological Engineering & Environmental Technology, 2018, 19(1), s. 66–70.

- [21] Kaczyńska A., Zajączkowski M., Grzybiak M., Toksyczny wpływ kadmu na rośliny i człowieka, *Annales Academiae Medicae Gedanensis*, 2015, 45, s. 65–70.
- [22] Riaz N., Guerinot M., All Together Now: Regulation of the response to iron deficiency, *Journal of Experimental Botany*, 2021, 72, s. 2045–2055.
- [23] Raman J., Jang K.Y., Och Y.L., Och M., Im J.H., Lakshmanan H., Sabaratnam V., Cultivation and nutritional value of outstanding *Pleurotus* spp.: A review, *Mycobiology*, 2021, s. 49, 1–14.
- [24] Keskin F., Sarikurkcu C., Akata I., Tepe B., Metal concentrations in wild mushroom species collected from the Belgrade forest (Istanbul, Turkey) along with health risk assessment, *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28, s. 36193–36204.
- [25] Zakil F.A., Xuan L.H., Zaman N., Alan N.I., Salahutheen N.A.A., Sueb M.S.M., Isha R., Growth Performance and Mineral Analysis of *Pleurotus ostreatus* from Various Agricultural Wastes Mixed with Rubber Tree Sawdust in Malaysia, *Bioresource Technology Reports*, 2022, 17, 100873.
- [26] Wan Mahari W.A., Peng W., Nam W.L., Yang H., Lee X.Y., Lee Y.K., Liew R.K., Ma N.L., Mohammad A., Sonne C., Van Le Q., Show P.L., Chen W.H., Lam S.S., A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry, *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 400, 123156.