



Stężenie rtęci w grzybach gatunku koźlarz babka i muchomor czerwony zebranych na terenie Polski

Mercury concentration in mushrooms (*Leccinum scabrum* and *Amanita muscaria*) collected in Poland

Agnieszka Fischer^{1,A,C–D,F}, Karolina Ziemba^{1,B–D}, Barbara Brodziak-Dopierała^{1,A,E–F}

¹ Katedra i Zakład Toksykologii i Bioanalizy, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Polska

A – Koncepcja i projekt badania, B – Gromadzenie i/lub zestawianie danych, C – Analiza i interpretacja danych, D – Napisanie artykułu, E – Krytyczne zrecenzowanie artykułu, F – Zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu

Fischer A, Ziemba K, Brodziak-Dopierała B. Stężenie rtęci w grzybach gatunku koźlarz babka i muchomor czerwony zebranych na terenie Polski. Med Srod. 2019; 22(3–4): 71–76. doi: 10.26444/ms/134224

Streszczenie

Cel pracy. Rtęć (Hg) jest metalem ciężkim, który wykazuje wysoką reaktywność i praktycznie nieograniczoną zdolność migracji. W środowisku Hg jest metalem trwałym, podlega kumulacji. Ze źródeł naturalnych i przemysłowych może być włączany w elementy łańcucha pokarmowego. Struktury biologiczne są szczególnie wrażliwe na toksyczne działanie związków Hg. Narażenie organizmu na Hg może wywoływać efekt toksyczny. Pod wpływem związków Hg dochodzi do miejscowych lub ogólnoustrojowych dysfunkcji. Szczególnie wrażliwy jest ośrodkowy układ nerwowy, zarówno dzieci, jak i osób dorosłych. Pozywienie jest jednym z głównych źródeł zawartości Hg w organizmie człowieka. Zbieranie i konsumpcja grzybów dzikorosnących w Polsce jest bardzo popularna. W pracy analizowano stężenie Hg w dwóch gatunkach grzybów dzikorosnących (gatunek jadalny – koźlarz babka i gatunek trujący – muchomor czerwony).

Materiał i metody. Grzyby zebrano z 13 lokalizacji na terenie Polski południowej. Próbkę grzybów dzielono manualnie na części morfologiczne (nóżki i kapelusze), suszono napowietrznie. Stężenie Hg całkowitej oznaczano metodą AAS (analizator AMA 254).

Wyniki. Stężenie Hg we wszystkich badanych próbkach grzybów wynosiło 0,065–1,748 ppm, w koźlarzu babce średnio 0,263 ppm, zaś w muchomorze czerwonym 0,672 ppm.

Wnioski. Stężenie Hg było statystycznie istotnie wyższe ($p < 0,05$) w grzybach gatunku muchomor czerwony niż koźlarz babka. Stwierdzono większe stężenie Hg w kapeluszach grzybów niż w nóżkach (zarówno w gatunku koźlarz babka, jak i muchomor czerwony).

Słowa kluczowe

grzyby, rtęć

Abstract

Objectives. Mercury is a heavy metal which shows high reactivity and practically unlimited migration capacity. Hg may persist for a long time in the environment and may be accumulated. From natural sources and industry, Hg can be incorporated into the elements of the food chain. Biological structures are particularly sensitive to the toxic effects of Hg compounds. The exposure to Hg causes different toxic effects in the organism. Local or systemic dysfunctions may occur as a result of Hg exposure. The human central nervous system is especially sensitive to Hg, both in adults and children. Food is one of the main sources of Hg content in the human body. Picking and consumption of wild mushrooms is very popular in Poland. In the study the concentration of Hg in two species of wild mushrooms was analysed (edible – *Leccinum scabrum* and non-edible – poisonous – *Amanita muscaria*).

Materials and method. Mushrooms were collected from 13 locations in southern Poland. The samples of the mushrooms were manually divided into morphological parts (stems and hats), then air dried. Concentration of Hg was determined using AAS method with an AMA 25 analyser.

Results. Concentration of Hg in all the tested mushrooms was 0.065–1.748 ppm (mean: 0.263 ppm in the *Leccinum scabrum*, 0.672 ppm in *Amanita muscaria*).

Conclusions. Concentration of Hg was statistically significantly higher ($p < 0.05$) in *Amanita muscaria* than in *Leccinum scabrum*, and was higher in the mushroom caps than in stems (in both *Amanita muscaria* and *Leccinum scabrum*).

Key words

mushrooms, mercury

WSTĘP

Rtęć (Hg) jest metalem ciężkim, który choć występuje w środowisku w niewielkich ilościach, charakteryzuje się bardzo dużą toksycznością [1, 2]. Ze względu na swoją wysoką reaktywność rtęć jest szczególnie szkodliwa dla żywych organizmów [3]. Nieorganiczne związki Hg mogą

Adres do korespondencji: Agnieszka Fischer, Katedra i Zakład Toksykologii i Bioanalizy, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Jagiellońska 4, 41-200 Sosnowiec, Polska
E-mail: afischer@sum.edu.pl

być przekształcane do pochodnych organicznych, które odznaczają się większym powinowactwem wobec układów biologicznych. W tej postaci rtęć może kumulować się w organizmach żywych, szczególnie tych pochodzenia morskiego [3–6].

Obecne międzynarodowe uregulowania prawne poważnie ograniczają globalną produkcję i zastosowanie związków rtęci [7, 8]. Jednakże efekt tych działań będzie zauważalny na przestrzeni lat.

Struktury biologiczne są bardzo wrażliwe na toksyczne działanie związków rtęci. Specyficzna zdolność do wiązania się z grupami sulfhydrylowymi, karboksylowymi i aminowymi, zwłaszcza w obrębie mitochondriów i jąder komórkowych, może prowadzić do ogólnoustrojowych uszkodzeń i dysfunkcji [3, 9].

Szczególną wrażliwością u ludzi na toksyczne działanie rtęci odznacza się układ nerwowy. Pierwiastek ten może powodować zmiany w centralnym układzie nerwowym, które są związane ze zwiększeniem liczby dendrytów, ich przerostem i zwyrodnieniem aksonalnym. U osób dorosłych nawet stosunkowo niskie dawki rtęci mogą powodować zaburzenia słuchu, wzroku i mowy, utratę pamięci, zwiększone zmęczenie oraz niską wrażliwość percepcyjną. W wieku dziecięcym narażenie na Hg może wywoływać trudności związane z procesem uczenia się i zapamiętywania [1, 3, 10, 11].

Skutki narażenia na rtęć obserwowane są także w innych narządach i układach. Zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn notowany jest wpływ rtęci na funkcje rozrodcze. Przechodząc przez łożysko, Hg może stwarzać zagrożenie dla rozwijającego się płodu i prowadzić do zwiększenia liczby poronień [6, 11]. W obszarze naczyń krwionośnych ekspozycja na rtęć działa prozakrzepowo oraz indukuje reakcję zapalną, prowadząc do wystąpienia upośledzenia funkcji śródbłonna. Z kolei zwiększona produkcja prostaglandyny E2 i tromboksanu skutkuje obkurczeniem się naczyń. Konsekwencją wytwarzania wolnych rodników jest zmniejszenie dostępności tlenu azotu powodującego rozkurcz naczyń krwionośnych. Rtęć wpływa też na zaburzenia działania transferazy metylokathecholaminowej, co skutkuje wzrostem stężenia epinefryny, norepinefryny i dopaminy w moczu i w surowicy, czego wynikiem jest zwiększenie ciśnienia tętniczego. Rtęć może również być przyczyną uszkodzenia nerek [1].

Grzyby są organizmami, które mają bardzo duży zasięg geograficzny. Od tysięcy lat są używane przez ludzi m.in. ze względu na walory odżywcze. Są także wykorzystywane jako organizmy bioindykacyjne, głównie jako wskaźniki zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi [12]. Grzyby, dzięki specyficznej budowie grzybni, dużej powierzchni strzępek oraz odkrytej powierzchni komórek wegetatywnych posiadają zdolność do gromadzenia pierwiastków [12]. W porównaniu z bakteriami grzyby cechuje większy poziom tolerancji na metale. Jednakże, głównie Hg, Cd i Co, mogą ograniczać wzrost grzybów oraz ich aktywność lignolityczną [13]. Bakterie i grzyby mają istotny udział w przemianach związków Hg, powodując przechodzenie jednych form w drugie. W środowisku glebowym szczególną rolę odgrywiają procesy metylacji rtęci zachodzące w obecności substancji humusowych i mikroorganizmów. W takiej formie Hg jest łatwo dostępna dla organizmów [5].

W pracy podjęto się określenia stężenia rtęci w grzybach dzikorosnących. Przeanalizowano stężenie Hg w popularnie zbieranych grzybach jadalnych, jak i w pospolicie

występującym gatunku trującym. Próbkę grzybów zebrano w różnych lokalizacjach na terenie Polski.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań były grzyby gatunku kozłarz babka (*Leccinum scabrum* (Bull.) Gray) i muchomor czerwony (*Amanita muscaria* (L.) Lam.), dziko rosnące na terytorium Polski.

Kozłarz babka (*Leccinum scabrum* (Bull.) Gray), znany również jako kozak, jest grzybem występującym głównie w lasach liściastych oraz mieszanych, tworzącym mikoryzę z brzożami. Występuje w okresie od lipca do listopada, rosnąc pojedynczo lub w niewielkich grupach. Jest jednym z najpopularniejszych grzybów jadalnych występujących w Polsce [14].

Muchomor czerwony (*Amanita muscaria* (L.) Lam.) jest gatunkiem kosmopolitycznym, szeroko rozprzestrzeniony w strefie klimatu umiarkowanego, także w Polsce. Jest grzybem trującym, posiada właściwości psychodeliczne [15].

Pobór próbek grzybów:

Grzyby zbierane były w Polsce w okresie od września do października 2019 roku na terenie województw: śląskiego, łódzkiego, świętokrzyskiego i małopolskiego. W miejscu poboru kozaka starano się znaleźć muchomora czerwonego. Każdy zebrany grzyb został opisany w ten sposób, iż oznaczono miejsce poboru wraz ze współrzędnymi geograficznymi – tab. 1. Na podstawie lokalizacji znalezionych grzybów wytypowano 13 punktów poboru – ryc. 1. Z określonego stanowiska poboru zbierano po 1 egzemplarzu grzyba gatunku kozłarz babka i gatunku muchomor czerwony, następnie przeznaczono je do analizy. Łącznie zebrano i poddano analizie 26 próbek grzybów. Najwięcej próbek pochodziło z województwa śląskiego (n = 22); woj. małopolskie n = 2, woj. świętokrzyskie n = 2 – tab. 1.



Rycina 1. Rozmieszczenie stanowisk poboru grzybów na terenie Polski
Źródło: badania własne

Tabela 1. Miejsca poboru grzybów wraz z lokalizacją

| Punkt poboru | Miejscowość | Szerokość geograficzna | Długość geograficzna | Województwo |
|--------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------|
| 1. | Brenna Jatny | 49.731438 | 18.911272 | śląskie |
| 2. | Ruda Śląska Bykowina | 50.27885 | 18.89184 | śląskie |
| 3. | Ruda Śląska Chebzie | 50.30565 | 18.87013 | śląskie |
| 4. | Dąbrowa Górnicza | 50.37544 | 19.36488 | śląskie |
| 5. | Jastrzęb, koło Poraja | 50.658603 | 19.197836 | śląskie |
| 6. | Mysłowice Kosztowy | 50.1882874 | 19.1515117 | śląskie |
| 7. | Tarnowskie Góry | 50.46203 | 18.89286 | śląskie |
| 8. | Tychy | 50.10812 | 19.01252 | śląskie |
| 9. | Mysłowice Wesola | 50.179728 | 19.174370 | śląskie |
| 10. | Żory | 50.025071 | 18.735120 | śląskie |
| 11. | Toszek | 50.457894 | 18.544375 | śląskie |
| 12. | Krzykawa | 50.317389 | 19.427881 | małopolskie |
| 13. | Suchedniów | 51.0597 | 20.8052 | świętokrzyskie |

Źródło: badania własne

Preparatyka próbek:

Zebrane próbki grzybów dzielono manualnie na części morfologiczne, oddzielając od siebie nożki i kapelusze. Suszono napowietrznie w temperaturze ok. 35°C w zamkniętym pomieszczeniu przez 5 dni do uzyskania suchej masy. Po wysuszeniu próbek oddzielnie mielono kapelusze i nożki grzybów w młynku laboratoryjnym (A11 Basic, IKA, Polska), aby uzyskać jednorodną próbkę. Na wadze analitycznej (RADWAG, Polska) odważano próbki do analizy (ok. 50 mg nożek oraz ok. 50 mg kapeluszy). Z każdej części morfologicznej wszystkich grzybów przygotowano 3 niezależne próbki do badań.

Oznaczenie stężenia rtęci w próbkach grzybów wykonano spektrometrem absorpcji atomowej AMA 254 (Altec, Czechy). Na pierwszym etapie analizy (dekompozycja) następuje wysuszenie, a następnie spalenie próbki badanej. Temperatura 750°C przeprowadza Hg w stan gazowy. Na drugim etapie pary rtęci są w całości zbierane i zatrzymywane w amalgamatorze, a następnie uwalniane i przekazane do systemu detekcji. Układ dwóch kuwet w systemie detekcji pozwala na zwiększenie dynamicznego zakresu wyników analiz przy różnych stężeniach Hg. Warunki pomiaru absorpcji atomowej były następujące: długość fali 254 nm, gaz nośny – tlen techniczny. Zastosowano określone przedziały procesu detekcji [s]: 60 (suszenie), 150 (rozkład), 45 (pomiar). W zastosowanym analizatorze granica oznaczalności wynosi 0,003 ng Hg [16, 17]. Pomiar dotyczy całkowitej ilości rtęci, niezależnie od formy jej występowania w próbce. Dla każdej próbki wykonano po 3 powtórzenia pomiarów.

Analiza statystyczna otrzymanych wyników badań:

Wyniki analizowano jako średnią arytmetyczną 3 oznaczeń z każdej próby. Analizowano stężenie Hg w poszczególnych próbkach grzybów każdego gatunku (średnia arytmetyczna – cały grzyb) i w poszczególnych częściach morfologicznych (średnia arytmetyczna – nożka, średnia arytmetyczna – kapelusz). Analiza statystyczna została przeprowadzona przy pomocy programu Statistica ver. 13 (StatSoft Polska). To, czy rozkład jest normalny, sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Ponieważ wyznaczone stężenie Hg w próbach odbiegało od rozkładu normalnego, istotność statystyczną i jej

Tabela 2. Stężenie Hg we wszystkich badanych próbkach całych grzybów i ich częściach morfologicznych (kapeluszach i nożkach) [ppm]

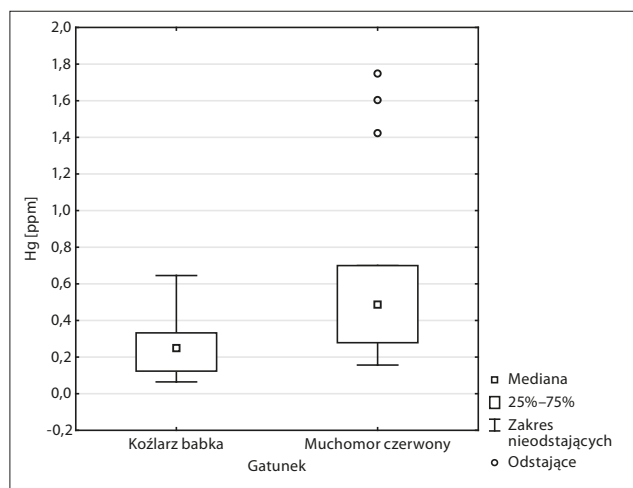
| Hg | N ważnych | Średnia | Mediana | Minimum | Maksimum | Odchylenie standardowe |
|------------|-----------|---------|---------|---------|----------|------------------------|
| Grzyb cały | 26 | 0,468 | 0,316 | 0,065 | 1,748 | 0,448 |
| Nożka | 26 | 0,320 | 0,199 | 0,026 | 1,171 | 0,303 |
| Kapelusz | 26 | 0,616 | 0,448 | 0,103 | 2,408 | 0,598 |

Źródło: badania własne

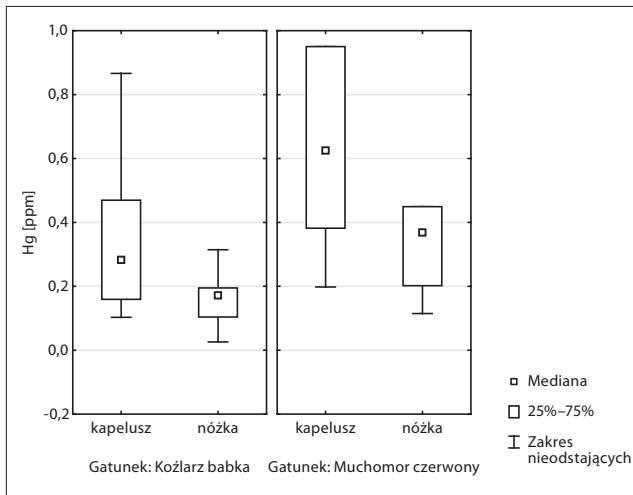
poziom sprawdzano za pomocą testów U Manna-Whitneya (dla dwóch prób) i ANOVA (dla większej liczby prób). Za znamienne statystycznie uznano wartość $p < 0,05$.

WYNIKI

Zawartość Hg we wszystkich badanych próbkach grzybów ($n = 26$) mieściła się w zakresie od 0,065 ppm do 1,748 ppm. Średnie stężenie Hg wynosiło 0,468 ppm, odchylenie standardowe 0,448 ppm, mediana 0,317 ppm. Około dwukrotnie większe, statystycznie istotne ($p < 0,05$), stężenie Hg stwierdzono w kapeluszach w porównaniu do nożek (mediana wynosiła odpowiednio 0,199 ppm i 0,448 ppm) – tab. 2. Wyższe stężenie Hg występowało w próbkach muchomora czerwonego w porównaniu do koźlarza babki – ryc. 2. Różnice w stężeniu Hg w badanych gatunkach grzybów były istotne statystycznie ($p < 0,05$). Generalnie próbki koźlarza babki charakteryzowały się mniejszym zróżnicowaniem stężenia Hg w porównaniu do próbek muchomora czerwonego (odchylenie standardowe wynosiło odpowiednio 0,15 ppm i 0,55 ppm). W przypadku obu badanych gatunków grzybów, podobnie jak w przypadku wszystkich badanych łącznie próbek grzybów, stężenie Hg w kapeluszach było istotnie większe niż w nożkach. Największe stężenie Hg zanotowano w kapeluszach muchomora czerwonego (mediana = 0,684 ppm Hg) – ryc. 3. Zaobserwowano różnice w zawartości Hg w grzybach zebranych w różnych punktach poboru – ryc. 4. Największe stężenie Hg posiadały grzyby zebrane w okolicach Tychów (woj. śląskie). Zaobserwowano także, że próbki grzybów zebrane w tych samych lokalizacjach miały różną gatunkową zawartość Hg. Na przykład próbki muchomora czerwonego rosnącego na stanowisku Ruda Śląska Chebzie

**Rycina 2.** Stężenie Hg w badanych grzybach (gatunek koźlarz babka i muchomor czerwony) [ppm]

Źródło: badania własne



Rycina 3. Stężenie Hg w nóżkach i kapeluszach badanych grzybów (gatunek koźlarz babka i muchomor czerwony) [ppm]

Źródło: badania własne

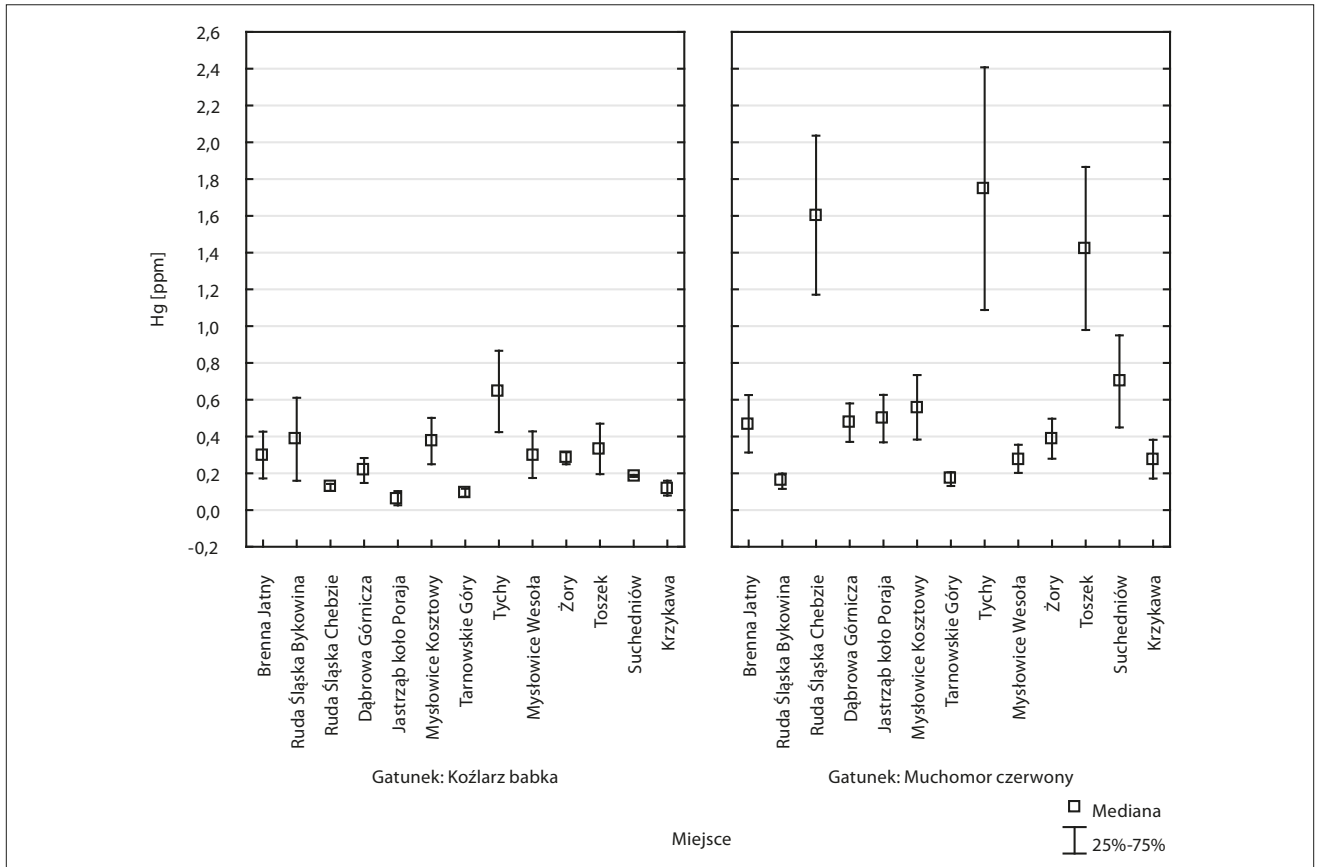
charakteryzowały się dużym stężeniem Hg, co nie potwierdziło się w przypadku koźlarza babki pobranego na tym stanowisku. Największe stężenie Hg w grzybach gatunku muchomor czerwony zanotowano w Tychach, Rudzie Śląskiej Chebzie i Toszku. Najwyższe stężenie Hg w grzybach gatunku koźlarz babka zanotowano w Tychach i Rudzie Śląskiej Bykowie – ryc. 4.

DYSKUSJA

Odczyn gleby, rozwój osobniczy grzybów oraz dostępność metali ma wpływ na zdolność pobierania pierwiastków przez grzyby [18]. Niektóre gatunki grzybów pobierają i gromadzą pierwiastki w ilościach większych, niż występują w glebie. Grzyby rosnące na terenach zanieczyszczonych charakteryzują się dużą kumulacją metali ciężkich, takich jak rtęć czy ołów, w owocnikach. Na tych terenach może dochodzić do ograniczenia liczby owocników lub całkowitego zaniku bardziej wrażliwych gatunków [19]. Poszczególne gatunki mogą się także różnić zawartością metali, co jest spowodowane różnicami genetycznymi danych grzybów [20].

Zbieranie grzybów jest lubianą i popularną rozrywką. Szacuje się, że w Polsce jeden mieszkaniec spożywa kilka kilogramów grzybów rocznie. Na terenach mieszkalnych zlokalizowanych w pobliżu lasów konsumpcja grzybów może być jeszcze większa [21, 22]. Wzrost spożycia grzybów dzikorosnących na całym świecie jest wynikiem tego, że są one bogate w różne składniki odżywcze, m.in. białka, sacharydy, witaminy, kwasy tłuszczowe i błonnik pokarmowy [23]. Zawierają również aminokwasy, np. argininę czy treoninę w wyższych stężeniach niż np. w marchewce. Grzyby znane są również z właściwości antyoksydacyjnych [24, 25]. To ich zalety, jednak mają one także niekorzystny wpływ na człowieka – spożycie naturalnie rosnących grzybów może być przyczyną przedostawania się do organizmu metali, m.in. Hg [23].

Rtęć jest jednym z metali ciężkich, który w komórkach grzybów często występuje w większym stężeniu niż w glebie



Rycina 4. Stężenie Hg w badanych grzybach (gatunek koźlarz babka i muchomor czerwony) zebranych w różnych punktach poboru [ppm]

Źródło: badania własne

[26]. W przypadku człowieka, który spożywa grzyby, Hg przenika do organizmu i może oddziaływać toksycznie m.in. na układ nerwowy, rozrodczy czy nerki [1, 6, 10, 11, 27]. Migracja Hg do organizmu zawsze jest zjawiskiem niepożądanym.

Jednym ze źródeł narażenia człowieka na rtęć jest żywność [27]. Dopuszczalny poziom Hg w rybach i produktach rybołówstwa wynosi 0,5–1,0 mg/kg świeżej masy, zaś w suplementach diety 0,10 mg/kg [28]. Obowiązujące w Polsce przepisy prawne nie normują maksymalnych dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń w postaci Hg w grzybach. Natomiast chińskie standardy bezpieczeństwa określają wartości graniczne Hg w grzybach jadalnych do 0,10 mg/kg [29]. Tymczasowe tolerowane tygodniowe pobranie (PTWI) z żywnością dla rtęci wynosi 4 µg/kg m.c., zaś dla metylortęci 1,3 µg/kg m.c. [28]. Zgodnie z powyższym PTWI dla mężczyzny ważącego 75 kg nie powinna przekraczać 300 µg Hg. W porcji (100 g) suszonych grzybów gatunku koźlarz babka badanych w pracy zawartość Hg wynosiła około 25 µg. Oznacza to, że spożycie porcji tych grzybów raz w tygodniu nie stanowi zagrożenia dla zdrowia człowieka.

W pracy oznaczano stężenie Hg w próbkach dwóch gatunków grzybów powszechnie występujących na terenie Polski. Koźlarz babka jest popularnym gatunkiem jadalnym. Muchomor czerwony jest gatunkiem silnie trującym. Pomimo tego, że względu na właściwości psychodeliczne, w ostatnich latach obserwowane jest większe zainteresowanie używaniem muchomora czerwonego [15]. Przeprowadzone badania wykazały, że średnie stężenie Hg we wszystkich badanych próbkach grzybów wynosiło 0,316 ppm. W próbkach gatunku koźlarz babka zanotowano 0,249 ppm Hg, natomiast w muchomorze czerwonym 0,486 ppm Hg. Stężenie rtęci w nóżkach wszystkich badanych grzybów wynosiło 0,201 ppm (koźlarz babka 0,172 ppm, muchomor czerwony 0,368 ppm) i było niższe niż w kapeluszach 0,448 ppm Hg (koźlarz babka 0,283 ppm, muchomor czerwony 0,625 ppm).

Podobne badania na terenie Polski wykonały N. Mazurkiewicz i J. Podlasińska [30]; analizowały w nich zawartość Hg w grzybach gatunku koźlarz babka, pochodzących z terenów Złocieńca (woj. zachodniopomorskie). Grzyby z tego regionu posiadały większe stężenie Hg niż w naszych badaniach. Ponadto, odmiennie niż pokazały wyniki naszych badań, nóżki charakteryzowały się większym stężeniem Hg niż kapelusze (nóżki 0,409 ppm Hg, kapelusze 0,371 ppm Hg) [30]. Również badania J. Falandysza i wsp. [31] dotyczyły oznaczenia Hg w grzybach gatunku koźlarz babka. Próbkę zebrano na terenie Północnej Polski. Zawartość Hg w kapeluszach wynosiła 0,48–0,98 ppm suchej masy [31]. Wartości te były wyższe niż określone przez nas dla kapeluszy (mediana 0,283 ppm Hg). Natomiast potwierdziły, że kapelusze w porównaniu do nóżek mają skłonność do kumulacji Hg [31]. D. Zhang i wsp. [32] badali próbki grzybów pochodzące z Doliny Kłodzkiej w Sudetach. Wykazano, że stężenie Hg w nóżkach wynosiło 0,210 ppm suchej masy, natomiast w kapeluszach – 0,380 ppm [32]. Stężenie Hg w nóżkach i kapeluszach z tego regionu było zbliżone do stężenia Hg w badanych własnych. Zarówno w badaniach D. Zhang i wsp. [32], J. Falandysza i wsp. [31], jak i własnych kapelusze koźlarza babki zawierały większe stężenie Hg niż nóżki.

Rtęć wykrywana jest także w innych gatunkach grzybów jadalnych. Badania dotyczące borowika szlachetnego przeprowadzone przez m.in. E.A. Adamiak i wsp. pokazało, że stężenie Hg w grzybach tego gatunku wynosiło 0,416

ppm Hg [20]. Wyniki wskazują, że grzyby gatunku borowik szlachetny cechowały się około dwukrotnie większym stężeniem Hg niż badane w pracy grzyby gatunku koźlarz babka (0,249 ppm Hg). Badania porównawcze czterech gatunków borowika z terenów Polski i Białorusi przedstawili J. Falandysz i wsp. [33]. Zawartość Hg wynosiła 0,38–4,7 ppm w kapeluszach i 0,13–2,5 ppm w nóżkach [33]. Natomiast w borowikach (*B. aestivalis*, *B. edulis*) zebranych na terenie parku przyrody Medvednica na północy Chorwacji stężenie Hg wynosiło odpowiednio 2,12 ppm i 2,39 ppm [34]. Spośród 10 różnych gatunków grzybów analizowanych w tych badaniach stężenie Hg było największe w borowikach, zaś najmniejsze w opieńce miodowej (*A. mellea*) – 0,28 ppm [34]. Wyniki porównawcze dotyczące stężenia Hg w borowikach rosnących w różnych miejscach Słowenii przedstawili A. Kavčič i wsp. [35]. Grzyby zebrane na terenach zanieczyszczonych rtęcią (Idrija) posiadały nawet 10-krotnie większe stężenie Hg niż rosnące na terenach niezanieczyszczonych [35]. Wyniki te wskazują, że zarówno warunki wzrostu, jak i ich zróżnicowanie gatunkowe przekładają się na zawartość metali w grzybach.

Stosunkowo niewiele wiadomo na temat potencjału bio-koncentracji metali ciężkich w muchomorach rosnących na różnych typach gleby oraz na obszarach o różnym stopniu zanieczyszczenia [36]. Stężenie Hg w kapeluszach muchomora czerwonego (*A. muscaria*), badanych przez J. Falandysza i wsp. [36] na terenie różnych stanowisk Polski Północnej, wynosiło 0,22–0,76 ppm i było większe niż w nóżkach (0,21–0,45 ppm). Najmniejsze stężenie Hg stwierdzono w muchomorach rosnących na terenie Wyspy Sobieszewskiej, zaś najmniejsze na terenie miejscowości Dziemiany (Kaszuby) [36]. Wcześniej, w 2007 r., badania z wykorzystaniem muchomora czerwonego również na terenie Północnej Polski prowadzili M. Rompa i wsp. [37]. Próbkę grzybów pochodziły z terenów woj. pomorskiego (Łapino, Władysławowo, Gdynia). Największym stężeniem rtęci charakteryzowały się kapelusze i nóżki grzybów pochodzących z Gdyni (odpowiednio 0,930 ppm i 0,650 ppm) [37]. W zbadań przez nas próbkach muchomora czerwonego stężenie Hg wyniosło przeciętnie 0,486 ppm i było większe w kapeluszach niż w nóżkach (odpowiednio 0,625 ppm i 0,366 ppm). Zbadana zawartość Hg była mniejsza niż w grzybach zebranych w 2007 roku przez M. Rompa i wsp. [37] i nieco większa niż w przeprowadzonych później badaniach J. Falandysza i wsp. [36]. Wydaje się, że na zawartość rtęci w grzybach może mieć wpływ także czas prowadzonych badań i aktualne warunki środowiskowe. W świetle przedstawionych danych wskazuje się, że grzyby gatunku muchomor czerwony charakteryzowały się większym stężeniem Hg niż badane w pracy próbki grzybów gatunku koźlarz babka. Wykonane badania próbek dwóch gatunków grzybów rosnących w tej samej lokalizacji wskazują na większą kumulację rtęci w muchomorze czerwonym niż w koźlarzu babce. Wykazana większa kumulacja tego pierwiastka w kapeluszach niż w nóżkach jest zgodna z uzyskanymi przez nas wynikami dotyczącymi zarówno muchomora czerwonego (kapelusze – 0,625 ppm Hg, nóżki – 0,368 ppm Hg), jak i koźlarza babki oraz z danymi literaturowymi dotyczącymi różnych gatunków grzybów [32, 33, 35–37].

WNIOSKI

1. We wszystkich badanych próbkach grzybów ($n = 26$), stwierdzono obecność Hg. Stężenie tego metalu wynosiło 0,065–1,748 ppm Hg (średnia 0,468 ppm, mediana 0,316 ppm).
2. Stężenie Hg było statystycznie istotnie większe ($p < 0,05$) w grzybach gatunku muchomor czerwony niż w grzybach gatunku koźlarz babka.
3. Zaobserwowano zróżnicowane stężenie Hg w badanych próbkach grzybów pochodzących z różnych lokalizacji na terenie badanego obszaru (Polska południowa).
4. Badania próbek dwóch gatunków grzybów rosnących w tej samej lokalizacji wskazują na większą kumulację Hg w muchomorze czerwonym niż w koźlarzu babce.
5. Wykazano istotnie większe stężenie Hg w kapeluszach grzybów w porównaniu do nóżek. Wyniki te dotyczyły obydwu badanych gatunków grzybów (muchomor czerwony i koźlarz babka).

PIŚMIENNICTWO

1. Nordberg G, Fowler B, Nordberg M. Handbook on the toxicology of metals. Elsevier Academic Press; 2014. p. 675–729.
2. Cyran M. Effect of environmental exposure to mercury on the functioning of the human body. *Med Środ - Environ Med.* 2013; 16(3): 55–58.
3. Klassen CD, Watkins JB, Casarett and Doull. Podstawy Toksykologii. Wrocław: MedPharm Polska; 2014. p. 450–452.
4. Jędrucha A, Beldowska M, Kwasigroch U. Forms of mercury in the Baltic mussel (*Mytilus trossulus*): Human and ecosystem health risk assessment. *Environ Res.* 2019; 1(79) Part A: 108755.
5. Baran A, Jerzy Wieczorek J, Jaworska M. Zawartość rtęci w glebach województwa małopolskiego. *Studia i Raporty UNG-PIB.* 2015; 46(20): 143–161. doi: 10.26114/sir.iung.2015.46.08
6. Kot K, Kosik-Bogacka D, Łanocha-Arendarczyk N i wsp. Wpływ związków rtęci na organizm człowieka. *Farmacja Współcz.* 2016; 9: 210–216.
7. <http://www.mercuryconvention.org/Convention/tabid/3426/language/en-US/Default.aspx> (dostęp: 10.12.2020).
8. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-4-2017-REV-1/en/pdf> (dostęp: 10.12.2020).
9. Genchi G, Sinicropi MS, Carocci A, et al. Mercury Exposure and Heart Diseases. *Int Environ Res Public Health.* 2017; 14: 74. doi: 10.3390/ijerph14010074
10. Boszke L, Śliwińska J. Źródła rtęci w organizmach ludzi nienarażonych zawodowo na jej związki. *Inż Ochr Środ.* 2012; 23–42.
11. Bjorklund G, Dadar M, Mutter J, et al. The toxicology of mercury: Current research and emerging trends. *Environ Res.* 2017; 159: 545–554.
12. Ścisłowski P, Rajfur M. Mushrooms as biomonitors of heavy metals contamination in forest areas. *Ecol Chem Eng S.* 2018; 25(4): 557–568.
13. Wierzbicka M. Ekotoksykologia: rośliny, gleby, metale. Warszawa: Wydaw Uniwersytetu Warszawskiego; 2015.
14. <https://docplayer.pl/52682996-Najczesciej-spytokane-grzyby-jadalne.html> (dostęp 2.12.2020).
15. Kołodziejczyk A. Naturalne związki organiczne. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN; 2013.
16. <http://www.spectro-lab.pl/produkt/analizator-rteci-ama-254/> (dostęp 2.12.2020).
17. Różycka K, Rolka G. Zastosowanie techniki ASA do oznaczania rtęci na przykładzie badań surowców używanych w przemyśle materiałów budowlanych. *Prace ICiMB.* 2015; 21: 58–66.
18. Chatterjee S, Sarma MK, Deb UI, et al. Mushrooms: from nutrition to mycoremediation. *Environ Sci Pollut Res.* 2017; 24: 19480–19493. doi: 10.1007/s11356-017-9826-3
19. Gil-Martínez M, Navarro-Fernández CM, Murillo JM, et al. Trace elements and C and N isotope composition in two mushroom species from a mine-spill contaminated site. *Sci Rep.* 2020; 10: 6434. doi: 10.1038/s41598-020-63194-2
20. Adamiak EA, Kalembasa S, Kuziemska B. Zawartość metali ciężkich w wybranych gatunkach grzybów jadalnych. *Acta Agroph.* 2013; 20(1): 7–16.
21. Sas-Golak I, Sobieralski K, Siwulski M i wsp. Skład, wartość odżywcza oraz właściwości zdrowotne grzybów pozyskiwanych ze stanowisk naturalnych. *Kosmos.* 2011; 60(3–4): 483–490.
22. <https://gis.gov.pl/zywnosc-i-woda/grzyby-wartosc-odzywcza-i-przydatnosc-kulinarna/> (dostęp 8.11.2020).
23. Saba M, Falandyś J, Loganathan B. Accumulation pattern of inorganic elements in scaly tooth mushroom (*Sarcodon imbricatus*) from Northern Poland. *Chem Biodivers.* 2020; 17(5): e2000167. doi: 10.1002/cbdv.202000167
24. Siwulski M, Sobieralski K, Sas-Golak I. Wartość odżywcza i prozdrowotna grzybów. *Żywność Nauka Technologia Jakość.* 2014; 1(92): 16–28.
25. Goliańek A, Mazurkiewicz-Zapałowicz K. Grzyby w diecie człowieka – wartość odżywcza i prozdrowotna. *Kosmos.* 2016; 65(4): 513–522.
26. Falandyś J, Drewnowska M. Cooking can decrease mercury contamination of mushroom meal: *Cantharellus cibarius* and *Amanita fulva*. *Environ Sci Pollut Res.* 2017; 24: 13352–13357.
27. Król-Pakulska E, Pakulski C. Rtęć – Pierwiastek Silnie Toksyczny. *Pol Prz Nauk Zdr.* 2017; 4(53): 508–513.
28. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.
29. Krajowa Komisja ds. Zdrowia i Planowania Rodziny. Maksymalne poziomy zanieczyszczeń w produktach spożywczych. Krajowy Standard Bezpieczeństwa. 2013.
30. Mazurkiewicz N, Podlasińska J. Zawartość rtęci w grzybach wielkoowocnikowych z obszaru województwa zachodniopomorskiego. *Bromat Chem Toksykol.* 2014; 47(1): 114–119.
31. Falandyś J. Mineral constituents in *Leccinum scabrum* from lowland locations in the central Europe and their relation to concentration in forest topsoil. *J Environ Sci Health B.* 2018; 3; 53(8): 546–560. doi: 10.1080/03601234.2018.1462914
32. Zhang D, Zhang Y, Morawska E, et al. Trace Elements in *Leccinum scabrum* Mushrooms and Top soils from Kłodzka Dale in Sudety Mountains, Poland. *J Mt Sci.* 2013; 10(4): 621–627.
33. Falandyś J, Krasieńska G, Pankavec S, et al. Mercury in certain boletus mushrooms from Poland and Belarus. *J Environ Sci Health B.* 2014; 49(9): 690–5. doi: 10.1080/03601234.2014.922853
34. Širić I, Humar M, Kasap A, et al. Heavy metal bioaccumulation by wild edible saprophytic and ectomycorrhizal mushrooms. *Environ Sci Pollut Res.* 2016; 23: 18239–18252. doi: 10.1007/s11356-016-7027-0
35. Kavčič A, Mikuš K, Debeljak M, et al. Localization, ligand environment, bioavailability and toxicity of mercury in *Boletus* spp. and *Scutiger pes-caprae* mushrooms. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019; 30(184): 109623. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109623
36. Falandyś J, Mędyk M, Treu R. Bio-concentration potential and associations of heavy metals in *Amanita muscaria* (L.) Lam. from northern regions of Poland. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018; 25(25): 25190–25206. doi: 10.1007/s11356-018-2603-0
37. Rompa M, Bielawski L, Falandyś J. Zawartość i biokoncentracja rtęci u muchomora czerwonego (*Amanita rubescens*) z Polski Północnej. *Rocz Panstw Zakł Hig.* 2008; 59(2): 139–146.