



## BIOPIERWIASTKI W GRZYBACH



Małgorzata Cicha-Jeleń

**GRZYBY** jadalne stanowią bogate źródło białka, błonnika pokarmowego, nienasyconych kwasów tłuszczowych, biopierwiastków oraz licznych witamin, co sprawia, że coraz częściej postrzegane są jako wartościowy element zbilansowanej diety. W obecnych badaniach znajdujemy potwierdzenie, że zawarte w nich bioaktywne związki mogą odgrywać istotną rolę w profilaktyce i wspieraniu terapii wielu chorób. W wynikach analiz składu grzybów widać, że grzyby wielkoowocnikowe stanowią wartościowe źródło wielu biopierwiastków, często przewyższając pod tym względem warzywa.

Grzyby od wieków zajmują ważne miejsce w kulturze kulinarnej wielu krajów, cenione zarówno za smak, jak i wszechstronność zastosowań. Grzyby wykorzystywane są także w tradycyjnej medycynie, gdzie są cenione za ich właściwości lecznicze i wspomagające funkcjonowanie organizmu. W ostatnich latach, jako produkt spożywczy, zyskują one na znaczeniu. Globalna produkcja grzybów uprawnych dynamicznie wzrasta, co odzwierciedla coraz większe zainteresowanie konsumentów oraz poszerzający się asortyment gatunków dostępnych na rynku. Rosnąca popularność grzybów nie bez powodu przyczyniła się także do dynamicznego rozwoju rynku produktów przetworzonych na ich bazie. W ostatnich latach grzyby zyskały także zainteresowanie naukowców, jako źródło cennych związków bioaktywnych o potencjale prozdrowotnym. W obecnych badaniach znajdujemy potwierdzenie, że zawarte w nich bioaktywne związki mogą odgrywać istotną rolę w profilaktyce i wspieraniu terapii wielu chorób. Stanowią bogate źródło białka, błonnika pokarmowego, nienasyconych kwasów tłuszczowych, biopierwiastków oraz licznych witamin, co sprawia, że coraz częściej postrzegane są jako wartościowy element zbilansowanej diety. Grzyby jadalne zatem nie tylko dodają smaku potrawom, ale także stanowią niezwykle cenne źródło niezbędnych mikro-

i makroskładników odżywczych, koniecznych do utrzymania dobrego zdrowia. Mikroskładniki odżywcze, w tym witaminy i biopierwiastki, są kluczowe dla procesów fizjologicznych, mimo że występują w niewielkich ilościach. Niedobory mikroskładników mogą upośledzać wchłanianie i wykorzystanie innych składników odżywczych. Uważa się, że człowiek potrzebuje ponad 22 różnych biopierwiastków, które powinny być dostarczone w diecie. Zbilansowany sposób żywienia musi zatem je zapewniać w wystarczających ilościach. Biopierwiastki klasyfikuje się jako MIKRO- lub MAKROELEMENTY, w zależności od ich ilości w diecie człowieka, niezbędnej do utrzymania prawidłowego odżywienia. MIKROELEMENTY lub pierwiastki śladowe są niezbędne w ilościach zaledwie kilku miligramów lub nawet mikrogramów dziennie. Typowymi przykładami mikroelementów są żelazo, cynk, miedź, mangan, selen, jod, chrom i molibden. Natomiast MAKROELEMENTY to biopierwiastki, których zapotrzebowanie wynosi od setek miligramów do kilku gramów dziennie. Przykładami makroelementów są wapń, fosfor, magnez czy potas. Kontynuując rozważania nad wartością odżywczą i prozdrowotną grzybów, warto zwrócić uwagę na zróżnicowanie zawartości biopierwiastków, które może odzwierciedlać zarówno specyfikę gatunku, jak i warunki środowiskowe.



Pierwsze doniesienia na temat składu chemicznego owocników grzybów wielkoowocnikowych pojawiły się ponad 100 lat temu (Zellner, 1907r) i obejmowały kilka MIKRO- i MAKROELEMENTÓW, w tym żelazo i mangan. Co ciekawe, Friese w 1929 r. opisywał wysokie stężenie żelaza w maślaku pstrym, które badano ponownie dopiero 46 lat później przez Drbala i współpracowników w Czechach. Jednak wiarygodne dane pojawiły się wraz z rozwojem zaawansowanej aparatury i sprawdzonych metod analitycznych, szczególnie po 1970 roku.

W przeciwieństwie do roślin naczyniowych, u których wysokie stężenia metali obserwuje się głównie w miejscach gdzie gleby są bogate w dane pierwiastki, grzyby wielkoowocnikowe mogą akumulować wysokie stężenia pierwiastków metalicznych, nawet gdy rosną w środowisku o niskiej ich zawartości. Co więcej, grzyby wielkoowocnikowe wykazują zmienną i wysoce specyficzną zdolność do pobierania różnych pierwiastków śladowych z gleby i akumulowania ich w owocnikach. Grzyby mogą zatem służyć jako nośnik pierwiastków, których nie ma w wystarczającej ilości w naszej diecie. Stosunek pierwiastka w owocniku do jego stężenia w glebie, a dokładniej do jego mobilności w glebie (tj. zdolności do ekstrakcji odpowiednimi substancjami chemicznymi) to tak zwany WSPÓŁCZYNNIK BIOAKUMULACJI (BAF), opisuje zdolność grzyba do akumulacji danego pierwiastka.

Warto zwrócić uwagę na wpływ obróbki kulinarnej na skład biopierwiastków w owocnikach grzybów. Podczas krótkiego gotowania, czyli blanszowania, część łatwo rozpuszczalnych w wodzie związków zawierających pierwiastki przenika do wywaru, który często jest następnie odlewany. Prowadzi to do istotnego obniżenia zawartości pierwiastków w owocnikach grzybów. Zjawisko to dotyczy zarówno składników korzystnych dla zdrowia, jak i niektórych pierwiastków toksycznych, które również ulegają wypłukaniu. Istotnym zagadnieniem pozostaje biodostępność pierwiastków z grzybów w przewodzie pokarmowym człowieka, który to proces wciąż nie jest w pełni poznany. Można jednak przypuszczać, że pierwiastki alkaliczne oraz inne składniki mineralne szczególnie podatne na rozpuszczanie, łatwo ulegają wypłukaniu podczas blanszowania świeżych lub mrożonych grzybów, a także podczas moczenia suszu. W sytuacji, gdy grzyby nie są poddawane takim zabiegom, zawarte w nich biopierwiastki mogą charakteryzować się

wysoką biodostępnością, co dodatkowo podkreśla ich wartość jako składnika żywności funkcjonalnej.

Obecnie znaleźć można liczne publikacje opisujące wyniki badań zawartości związków bioaktywnych w grzybach. W wynikach analiz składu grzybów widać, że grzyby uprawne stanowią wartościowe źródło wielu pierwiastków, często przewyższając pod tym względem warzywa. W jednym z badań poddano kompleksowej analizie zawartości pierwiastków, witamin oraz wybranych związków fenolowych cztery popularne gatunki grzybów uprawnych: pieczarkę dwuzarodnikową (*Agaricus bisporus*) (w odmianie białej i brązowej), twardnika japońskiego (*Lentinula edodes*) oraz bocznika ostrzygowatego (*Pleurotus ostreatus*). W uzyskanych wynikach znajdujemy potwierdzenie, że grzyby uprawne stanowią wartościowe źródło witamin z grupy B, szczególnie ryboflawiny (B<sub>2</sub>), niacyny oraz folianów. Ich zawartość w suchej masie grzybów była porównywalna lub wyższa niż w wielu tradycyjnych warzywach. Również pod względem zawartości biopierwiastków owocniki grzybów wykazały wysoką wartość odżywczą, a szczególnie bogate były w potas, fosfor, cynk i miedź. Należy podkreślić, że wysoka zawartość potasu, przy jednocześnie niskiej zawartości sodu, jest korzystna z żywieniowego punktu widzenia i stanowi jedną z cech wyróżniających grzyby jako element zdrowej diety. Warto zwrócić uwagę na podwyższoną zawartość selenu w odmianie brązowej *A. bisporus*, co czyni ją interesującym źródłem tego pierwiastka w diecie. Jednocześnie w owocnikach *L. edodes* odnotowano stosunkowo wysokie stężenie kadmu, co wskazuje na konieczność monitorowania jakości surowca. Zmienność składu chemicznego grzybów wynika z wielu czynników, w tym odmiany, rodzaju podłoża, warunków uprawy, stadium rozwojowego owocników oraz ich wieku. Dodatkowo zawartość wody, która jest zależna od warunków uprawowych, wpływa na wyniki analiz prowadzonych na świeżej masie. Różnice w składzie obserwuje się również między kapeluszami, a trzonami. Zawartość suchej masy zarówno grzybów dziko rosnących, jak i uprawnych jest bardzo niska i zazwyczaj waha się między 80 a 140 g/kg, pozostałą część masy grzybów stanowi woda, co przekłada się na krótki okres przydatności do spożycia owocników. Z kolei suszone grzyby są znane ze swojej higroskopijności (zdolności do pochłaniania wody z otoczenia). Postęp technologiczny w uprawie grzybów, który może też modyfikować ich profil odżywczy



sprawia, że konieczne jest prowadzenie regularnych badań. Obecnie przeprowadzane są analizy nad zwiększeniem poziomu i przyswajalności wybranych pierwiastków niezbędnych w grzybach poprzez wzbogacanie podłoża, przeznaczonych do ich upraw. Coraz częściej podejmowane są także próby wzbogacenia grzybów uprawnych w pierwiastki pożądane w żywieniu człowieka, a typowymi przykładami są selen i lit. Owocniki grzybów, oprócz tego, że są bogate w potas i fosfor, są także bogate w pierwiastki śladowe, takie jak miedź i cynk. Sytuacja może być inna, jeśli grzyby występują na glebach zanieczyszczonych metalami toksycznymi, takimi jak kadm, ołów i rtęć, które mogą współwystępować z miedzią i cynkiem, mogąc ulegać bioakumulacji do stężeń znacznie przekraczających typowe zawartości w gatunkach jadalnych.

**PONIŻEJ OMÓWIMY WYBRANE BIOPIERWIASTKI, WYSTĘPUJĄCE W GRZYBACH WIELKOOWOCNIKOWYCH**



**POTAS** to niezbędny i korzystny dla zdrowia pierwiastek, odgrywający wiele ważnych zadań w organizmie człowieka, a którego wysoka zawartość jest charakterystyczna dla owocników grzybów. Potas uczestniczy w procesach związanych z prawidłowym działaniem układu nerwowego, mięśniowego i krążenia oraz pomaga utrzymać równowagę płynów w organizmie. W świeżej masie grzybów jego stężenie może wynosić od 182 do 395 mg/100 g, co oznacza, że włączenie grzybów do codziennej diety może zwiększyć dzienne spożycie tego pierwiastka. W badaniach wykazano, że potas występuje w kapeluszach borowika szlachetnego (*Boletus edulis*) w ilości średnio od 25 do 29 g/kg suchej masy (s.m.). Jadalny kapelusz czubajki kani (*Macrolepiota procera*) jest również bogaty w potas, a jego stężenie wynosi od 26 do 49 g/kg suchej masy. Dziko rosnący bocznik królewski (*Pleurotus tuber-regium*) wykazywał zawartość potasu o rząd wielkości niższą w porównaniu z owocnikami uprawnymi. Grzybnia w porównaniu z owocnikami grzybów dziko rosnących jest również o rząd wielkości uboższa w potas. Zawartości potasu wydają się być bardziej zależne od stadium dojrzałości owocnika i miejsca, niż od gatunku grzyba.

W badaniach wykazano, że potas występuje w kapeluszach borowika szlachetnego (*Boletus edulis*) w ilości średnio od 25 do 29 g/kg suchej masy (s.m.). Jadalny kapelusz czubajki kani (*Macrolepiota procera*) jest również bogaty w potas, a jego stężenie wynosi od 26 do 49 g/kg suchej masy. Dziko rosnący bocznik królewski (*Pleurotus tuber-regium*) wykazywał zawartość potasu o rząd wielkości niższą w porównaniu z owocnikami uprawnymi. Grzybnia w porównaniu z owocnikami grzybów dziko rosnących jest również o rząd wielkości uboższa w potas. Zawartości potasu wydają się być bardziej zależne od stadium dojrzałości owocnika i miejsca, niż od gatunku grzyba.



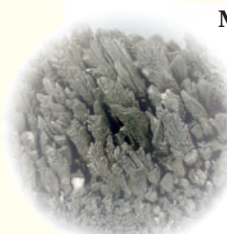
**FOSFOR** ma znaczenie w procesach związanych z budową kości, prawidłowym metabolizmem i dostarczaniem energii komórkom i występuje obficie w dziko rosnących grzybach jadalnych. W kapeluszach czubajki kani, która jest bardziej bogata w fosfor niż inne dziko rosnące gatunki, dla których dostępne są dane, odnotowano jego ilość w zakresie od 10 do 15 g/kg s.m. Koźlarz topolowy (*Leccinum duriusculum*) (gatunek rzadki) i koźlarz babka (*Leccinum scabrum*) wykazywały zawartość fosforu w kapeluszach na poziomie 5,7 g/kg suchej masy, a w trzonach odpowiednio 1,5 i 2,2 g/kg suchej masy. Podobne wartości odnotowano również dla takich gatunków grzybów jak: maślak żółty (*Suillus grevillei*), podgrzybek brunatny (*Imleria badia*), pieprznik jadalny (*Cantharellus cibarius*). W przypadku niektórych uprawnych gatunków pieczarek, boczników oraz twardnika japońskiego zawartość fosforu jest podobna do zawartości w gatunkach dziko rosnących.

dostępne są dane, odnotowano jego ilość w zakresie od 10 do 15 g/kg s.m. Koźlarz topolowy (*Leccinum duriusculum*) (gatunek rzadki) i koźlarz babka (*Leccinum scabrum*) wykazywały zawartość fosforu w kapeluszach na poziomie 5,7 g/kg suchej masy, a w trzonach odpowiednio 1,5 i 2,2 g/kg suchej masy. Podobne wartości odnotowano również dla takich gatunków grzybów jak: maślak żółty (*Suillus grevillei*), podgrzybek brunatny (*Imleria badia*), pieprznik jadalny (*Cantharellus cibarius*). W przypadku niektórych uprawnych gatunków pieczarek, boczników oraz twardnika japońskiego zawartość fosforu jest podobna do zawartości w gatunkach dziko rosnących.



**WAPŃ**, jeden z najważniejszych makroelementów w organizmie człowieka, pełni kluczową rolę w budowie kości i zębów, regulacji pracy mięśni, przewodnictwie nerwowym, krzepnięciu krwi oraz aktywacji enzymów. Zawartość wapnia w grzybach świeżych jest stosunkowo niska i wykazuje

znaczną zmienność w zależności od gatunku, warunków uprawy, stanowiska zbioru oraz części owocnika (kapelusz vs trzon). W przypadku grzybów świeżych zawartość wapnia wynosi od 2 do 18 mg/100 g, czyli poniżej 2% zalecanego dziennego spożycia, które wynosi ok. 1000 mg/dzień. W jednym z badań przeprowadzonych w Turcji na aż 30 gatunkach grzybów (m.in. boczniku ostrygowatym, maślaku zwyczajnym) dziko rosnących oznaczono poziom wapnia w zakresie od 0,17 do 8,80 mg/g s.m. w zależności od gatunku. Grzyby, szczególnie w formie suszonej, mogą stanowić uzupełniające źródło wapnia w diecie, jednak nawet w tej formie nie mogą być traktowane jako główne źródło tego pierwiastka.



**MAGNEZ**, makroelement pełniący szereg ważnych funkcji w organizmach żywych. Jest obecny w około 300 enzymach w organizmie człowieka, uczestniczy w aktywnym transporcie jonów wapnia i potasu oraz jest niezbędny do prawidłowego przewodzenia impulsów nerwowych oraz utrzymania napięcia mięśniowego i tętna,

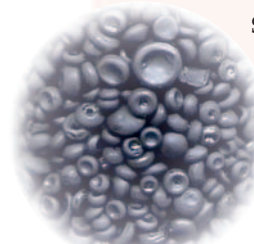
prawidłowego ciśnienia oraz kontroli poziomu glukozy we krwi. Ponadto magnez wykazuje właściwości antyoksydacyjne. Pierwiastek ten bierze udział w biosyntezie glutationu (GSH), ważnego endogennego przeciwutleniacza. Zalecane dzienne spożycie (RDI) magnezu dla dorosłych mężczyzn wynosi 400 mg/dobę, a dla dzieci i kobiet jest nieco niższe. Niedobór magnezu może powodować szereg objawów, w tym hipokalcemię, hipokaliemię oraz objawy kardiologiczne i neurologiczne; z kolei przewlekły stan niskiego poziomu magnezu jest związany z kilkoma chorobami przewlekłymi, w tym cukrzycą, nadciśnieniem tętniczym, chorobą wieńcową i osteoporozą. Wykazano, że niedobór magnezu jest związany z rozwojem stresu oksydacyjnego. Bardzo niski poziom magnezu w organizmie prowadzi do nasilenia reakcji na stres, a następnie do aktywacji układu współczulnego. Ponadto niedobór magnezu zwiększa tempo utleniania lipoprotein o niskiej gęstości, przyczyniając się w ten sposób do destabilizacji blaszek miażdżycowych. Magnez, który pod względem zawartości jest trzecim pierwiastkiem w owocnikach grzybów (po potasie i fosforze), występuje w ilościach porównywalnych do tych spotykanych w warzywach. W królestwie grzybów dużą ilość magnezu stwierdzono w czubajce kani – około 1500 mg/kg s.m., borowiku szlachetnym – około 800 mg/kg s.m. (przy czym mniej niż połowa tego stężenia znajdowała się w trzonach) i maślaku ziarnistym (*Suillus granulatus*) – około 300 mg/kg s.m. Zawartość magnezu w przetworzonej pieczarce dwuzarodnikowej stanowi około połowę zawartości w porównaniu do nieprzetworzonych i wydaje się, że duże ilości tego pierwiastka z tego gatunku mogą zostać utracone podczas gotowania w słonej wodzie.





**SÓD** w postaci chlorku sodu jest powszechnie dodawany do wielu produktów spożywczych oraz gotowych posiłków, dlatego jego niedobory w organizmie człowieka występują niezwykle rzadko.

W przeciwieństwie do żywności wysoko przetworzonej, grzyby charakteryzują się bardzo niską zawartością sodu, co sprawia, że stanowią one wartościowy składnik diety osób ograniczających spożycie soli. Dzięki temu grzyby mogą być szczególnie korzystne w dietach niskosodowych, wspierających prawidłowe funkcjonowanie układu krążenia.



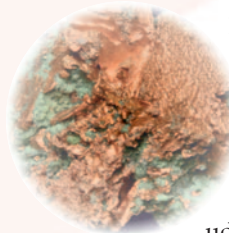
**SELEN (IV)** odpowiada za ochronę komórek, prawidłową pracę tarczycy i odporność. Jest składnikiem ponad 25-ciu różnych białek zwanych selenoproteinami, które odgrywają ważną rolę w wielu procesach fizjologicznych. Rola selenu w diecie to przede wszystkim działanie przeciwutleniające, a niedobór tego pierwiastka wiąże się z wieloma przewlekłymi chorobami zwyrodnieniowymi, w tym wieloma rodzajami nowotworów, kardiomiopatią i endemiczną osteoartropatią. Jego optymalne spożycie może potencjalnie zapobiegać różnym rodzajom nowotworów i chorobom, takim jak cukrzyca, a nawet w problemach z płodnością. Zalecane dzienne spożycie selenu dla człowieka wynosi ok. 57 µg dziennie. W grzybach zidentyfikowano kilka związków selenu, w tym selenometioninę, selenocysteinę, metyloselenocysteinę, selenit i selenopolisacharydy, które występują w zmiennych proporcjach. Doniesienia o relatywnie wysokiej zawartości selenu w popularnych borowikach, zwłaszcza w borowiku szlachetnym, wskazywały na potencjał tych gatunków jako źródła tego pierwiastka. Niedobory selenu występowały w Europie, jednak w latach 80-tych wykazano na jego niską biodostępność. W badaniach grzybów występujących w Polsce stwierdzono największą ilość tego pierwiastka w owocnikach borowika szlachetnego – 13,3 µg/g suchej masy (s.m.), podczas gdy w pieczarce dwuzarodnikowej zawartość wynosiła 6,17 µg/g s.m., a w czubajce kani 2,93 µg/g s.m. W pozostałych badanych gatunkach grzybów nie stwierdzono, aby poziom tego pierwiastka przekraczał 2 µg/g s.m. (masłak zwyczajny: 1,64 µg/g s.m., mleczaj rydz: 1,46 µg/g s.m.). Interesującym rozwiązaniem dla zwiększenia zawartości tego pierwiastka w grzybach jest biofortyfikacja podłoża hodowlanego solami cynku i selenu. Wzbogacenie podłoża hodowlanego doprowadziło do wyższej zawartości tych metali w grzybnii i owocnikach, co miało także wpływ na inne związki jak zawartość związków fenolowych i lowastatyny. Bocznik nikołajkowy (*Pleurotus eryngii*) hodowany w takich warunkach zawierał selen w ilości 4,6–9,3 µg/g s.m. Opracowano także metodę wykorzystującą kompost roślinny bogaty w selen, co pozwalało uzyskać żywność o podwyższonej wartości odżywczej. Produkty na bazie grzybnii wzbogaconej biotechnologicznie w selen mogą być traktowane jako nutraceutyki. Wzbogacone w selen odmiany boczników (*Pleurotus* spp.) wykazują silne właściwości antyoksydacyjne i przeciwdrobnoustrojowe, dzięki czemu mogą stanowić źródło naturalnych przeciwutleniaczy i wspierać organizm w ochronie przed stresem oksydacyjnym oraz patogenami. Dostępne są również dane dotyczące

wplywu gotowania/blanszowania na zawartość selenu. W przypadku pieczarki dwuzarodnikowej takie procesy kulinarne prowadzą do utraty aż 44% tego pierwiastka. Spożywanie grzybów w ilościach 100 lub 300 g – przy założeniu ograniczonej dostępności selenu z grzybów (około 15–25%) i jego utraty (około 40%) podczas blanszowania grzybów – może dostarczyć odpowiednio około 0,6–18 µg biodostępnego selenu. Zatem, jeśli weźmiemy pod uwagę zalecane dzienne spożycie wynoszące 57 µg, to spożycie 100 g brązowej odmiany pieczarki dwuzarodnikowej pokryje 46–58% zalecanej ilości. Problemem w ocenie spożycia jest fakt, że w przypadku tego samego gatunku grzyba, podczas przetwarzania lub gotowania na różne sposoby, można spodziewać się wypłukiwania pierwiastków. Ponadto, zawartość biopierwiastków w grzybach przetworzonych przemysłowo może znacznie różnić się od zawartości w świeżych grzybach. Mimo ograniczonej biodostępności, grzyby dziko rosnące bogate w selen oraz grzyby uprawne poddane biofortyfikacji mogą być dobrym źródłem tego pierwiastka w diecie.

**MANGAN** wykazuje aktywność antyoksydacyjną ze względu na to, że jest między innymi kofaktorem dysmutazy nadtlenkowej manganowej. Ta forma enzymu występuje głównie w mitochondriach. Dysmutaza nadtlenkowa manganowa jest uważana za jeden z najważniejszych enzymów, które chronią organizm przed szkodliwym działaniem wolnych rodników. Jego kluczową rolę jest aktywacja enzymów, niezbędnych do trawienia i wykorzystywania pokarmów oraz składników odżywczych. Odgrywa również rolę podczas wzrostu kości. Czasami nazywany jest „pierwiastkiem mózgu”, ponieważ jest ważny dla prawidłowych funkcji umysłowych. Niedobór manganu jest bardzo rzadki i trudny do zdiagnozowania. Jednak wiele osób może nie uzyskiwać optymalnego poziomu manganu niezbędnego dla zdrowia. Najczęstszą przyczyną jego niskiego poziomu jest niewystarczające spożycie z powodu diety ubogiej w mangan lub z powodu zaburzeń przewodu pokarmowego, które utrudniają wchłanianie składników odżywczych z pożywienia. W jednym z badań przeanalizowano zawartość niektórych metali, w tym manganu, w 10 gatunkach grzybów dziko rosnących w tureckiej prowincji Tokat. Najwyższą zawartość manganu stwierdzono w hubiaku pospolitym (*Fomes fomentarius*) – 64 mg/kg s.m., natomiast mniejszą ilość stwierdzono w żagwicy listkowatej (*Grifola frondosa*) i masłoborowiku żółtobrązowym (*Boletus appendiculatus*) – odpowiednio 28 i 35 mg/kg s.m. W innych badaniach przeanalizowano zawartość manganu w twarzniku japońskim oraz boczniku różowym (*Pleurotus djamor*), w których ilości były na poziomie 10 mg/kg s.m. oraz 11,2 mg/kg s.m.



**MIEDŹ**, mikroelement, którego dzienne zapotrzebowanie wynosi około 2-5 mg, z czego około 50% wchłania się z przewodu pokarmowego. Miedź jest niezbędna do prawidłowego wzrostu i zdrowia organizmu człowieka. Bierze także udział w wielu procesach biologicznych, takich jak ochrona antyoksydacyjna, synteza neuropeptydów, wspomaga funkcje immunologiczne, umożliwia także



Wzrostu kości. Czasami nazywany jest „pierwiastkiem mózgu”, ponieważ jest ważny dla prawidłowych funkcji umysłowych. Niedobór manganu jest bardzo rzadki i trudny do zdiagnozowania. Jednak wiele osób może nie uzyskiwać optymalnego poziomu manganu niezbędnego dla zdrowia. Najczęstszą przyczyną jego niskiego poziomu jest niewystarczające spożycie z powodu diety ubogiej w mangan lub z powodu zaburzeń przewodu pokarmowego, które utrudniają wchłanianie składników odżywczych z pożywienia. W jednym z badań przeanalizowano zawartość niektórych metali, w tym manganu, w 10 gatunkach grzybów dziko rosnących w tureckiej prowincji Tokat. Najwyższą zawartość manganu stwierdzono w hubiaku pospolitym (*Fomes fomentarius*) – 64 mg/kg s.m., natomiast mniejszą ilość stwierdzono w żagwicy listkowatej (*Grifola frondosa*) i masłoborowiku żółtobrązowym (*Boletus appendiculatus*) – odpowiednio 28 i 35 mg/kg s.m. W innych badaniach przeanalizowano zawartość manganu w twarzniku japońskim oraz boczniku różowym (*Pleurotus djamor*), w których ilości były na poziomie 10 mg/kg s.m. oraz 11,2 mg/kg s.m.



prawidłowe funkcjonowanie kluczowych enzymów powiązanych z witaminami z grupy B. Miedź wraz z żelazem są niezbędne do tworzenia hemoglobiny i czerwonych krwinek. Miedź wpływa również na funkcjonowanie serca i tętnic, pomaga zapobiegać chorobom kości, takim jak osteoporoza i choroba zwyrodnieniowa stawów oraz wspomaga zdrowie tkanki łącznej. Miedź bierze udział w metabolizmie komórkowym i jest częścią różnych enzymów, takich jak tyrozynaza, urykaza i oksydaza cytochromowa, które odpowiadają głównie za reakcje utleniania. Niedobór miedzi w diecie może prowadzić do anemii, zahamowania wzrostu, nieprawidłowego rogowacenia i pigmentacji włosów, hipotermii, upośledzenia umysłowego, nieprawidłowego tworzenia się kości z kruchością szkieletu i osteoporozą, bóli stawów, obniżonej odporności oraz zmian zwyrodnieniowych. Jej niedobór sprzyja rozwojowi stresu oksydacyjnego z powodu hamowania enzymów antyoksydacyjnych, takich jak miedzi- i cynkozależna dysmutaza ponadtlenkowa. Niedobór miedzi jest powszechnie zgłaszany w krajach rozwiniętych, a zatem suplementacja tego pierwiastka wydaje się być właściwym podejściem do osiągnięcia efektów prozdrowotnych. Z drugiej strony, nadmiar miedzi w diecie lub z innych źródeł może powodować nudności, wymioty, biegunkę, obfite pocenie się i zaburzenia czynności nerek. Na poziom miedzi w żywności wpływają takie czynniki, jak stężenie tego pierwiastka w glebie, nawożenie nawozami organicznymi oraz stosowanie związków miedzi jako mikrobiocydów w uprawach. Jednym ze źródeł miedzi są grzyby wielkoowocnikowe. Dużą jej ilość stwierdzono w owocnikach pieczarki słomkowożółtej (*Agaricus macrosporus*) – powyżej 240 mg/kg s.m., zawartość miedzi w kapeluszach borowika szlachetnego z wielu stanowisk wynosiła od 24 do 79 mg/kg s.m., a trzony zawierały mniej niż połowę tych ilości. W kapeluszach czubajki kanii zawartość miedzi wynosiła od 83 do 230 mg/kg s.m. Miedź jest niezbędnym pierwiastkiem, a jej ilość w organizmie w pewnym stopniu może być regulowana przez dietę grzybową.

**CYNEK**, pierwiastek śladowy, odgrywający ważną rolę w ekspresji genów i rozwoju komórek. Cynk jest niezbędny do wzrostu, dojrzewania i rozwoju organizmu, a także do naprawy tkanek i odporności na choroby. Jest on ważny dla dzieci i osób starszych. Średnie dzienne zapotrzebowanie wynosi 15–20 mg/dobę.

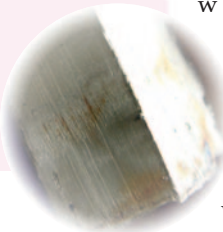
Poziom cynku wewnątrzkomórkowego wynosi około 99%, podczas gdy reszta znajduje się w osoczu. Cynk jest również niezbędny do prawidłowego odczuwania smaku i węchu. Cynk ma właściwości przeciwutleniające poprzez zdolność do hamowania powstawania wolnych rodników. Uczestniczy również w produkcji białek o działaniu przeciwutleniającym (np. tioneiny). Ponadto pierwiastek ten hamuje aktywność oksydazy NADPH, zapobiegając w ten sposób wytwarzaniu reaktywnych form tlenu. Ponadto, ze względu na antagonistyczne działanie na receptory N-metylo-D-asparaginowe (NMDA), cynk zapobiega napływowi wapnia do neuronów i hamuje ekscytotoksyczność, co z kolei może sprzyjać rozwojowi stresu oksydacyjnego w komórkach. Z wpływem cynku na receptory NMDA wiąże się również szereg innych działań, w tym działanie przeciwdepresyjne. Organizm nie posiada wyspecjalizowanego systemu magazynowania cynku, dlatego też, aby utrzymać

stały jego poziom, konieczne jest jego spożycie w codziennej diecie. Zawartość cynku w owocach i warzywach nie jest wysoka, z wyjątkiem szpinaku, w związku z czym konieczne jest poszukiwanie innych źródeł tego pierwiastka. Niedobór cynku charakteryzuje się zahamowaniem wzrostu, utratą apetytu i upośledzeniem funkcji odpornościowych czy opóźnionym gojeniem się ran. Spośród grzybów jednym z najlepszych źródeł cynku są owocniki twarznika japońskiego (SHIITAKE). Z kultur SHIITAKE hodowanych na pożywkach zawierających siarczan cynku wyizolowano dwie frakcje polisacharydu zawierającego cynk, które wykazały aktywność przeciwstarzeniową w badaniach *in vivo* i aktywność antyoksydacyjną w testach *in vitro*. Zawartość cynku w polisacharydach wyekstrahowanych z shiitake oszacowano na 2,95 mg/g. Innym gatunkiem, który w owocnikach zawiera wysoką zawartość cynku jest pieczarka migdałowa (*Agaricus subrufescens*). Oznaczając jego zawartość w kilku gatunkach grzybów leśnych stwierdzono, że podgrzyb brunatny (*Imleria badia*) charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością cynku – średnio 60,6 mg/kg s.m., podczas gdy bocznik ostrygowaty oraz pieczarka dwuzarodnikowa, odmiana biała zawierają znacznie mniejszą ilość (odpowiednio 25,7 i 29,8 mg/kg s.m.). Zawartość cynku w borowiku szlachetnym wynosi od 100 do 210 mg/kg suchej masy, przy czym zawartość cynku w trzonach borowika szlachetnego wynosi zazwyczaj około połowy tej ilości niż w kapeluszach. Grzyby uprawne, takie jak pieczarka dwuzarodnikowa, bocznik ostrygowaty czy twarznik japoński, zawierają mniej cynku niż gatunki dziko rosnące.



**ŻELAZO**, niezbędny do życia biopierwiastek, choć jest jednym z najpowszechniej występujących metali na ziemi, nie jest łatwo dostępny. Niedobór żelaza prowadzi do anemii, gdyż jest ono niezbędne do produkcji hemoglobiny, która transportuje tlen z płuc do innych tkanek w organizmie, a także występuje w mioglobinie, która jest niezbędna do magazynowania i dyfuzji tlenu w komórkach mięśniowych. Żelazo odgrywa ważną rolę w syntezie wielu ważnych składników komórkowych, takich jak trifosforan adeniny (ATP), kwas deoksyrybonukleinowy (DNA). Bierze udział w transporcie tlenu oraz elektronów. Zapotrzebowanie na żelazo dla mężczyzny wynosi 10 mg/dobę, natomiast dla kobiet w wieku rozrodczym wynosi 18 mg/dobę. Biodostępność żelaza z grzybów nie jest jednoznacznie udokumentowana ze względu na sprzeczne dane literaturowe. W jednym z badań, w którym analizowano zawartości biopierwiastków w grzybach zebranych z terenów województwa łódzkiego stwierdzono, że kapelusze owocników grzybów odznaczały się wyższym stężeniem żelaza niż ich trzony. Największą zawartością żelaza odznaczały się kapelusze pieprznika jadalnego 11,99 mg/100g s.m. oraz borowika szlachetnego 9,73 mg/100 g s.m. Największą ilość żelaza w trzonie stwierdzono z kolei w borowiku szlachetnym 8,51 mg/100 g s.m.

**LIT** jest pierwiastkiem śladowym, a węglan litu ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), od wielu lat działa terapeutycznie na zaburzenia neurologiczne. Grzyby mają niską zawartość tego pierwiastka. W badaniu






zawartości litu w 14 gatunkach grzybów jego zawartość wynosiła od 0,064 do 0,19 mg/kg s.m., a najwyższe wartości stwierdzono w muchomorze szyszkowatym (*Amanita strobiliformis*) – 0,52 mg/kg s.m., lejkowcu dętym (*Craterellus cornucopioides*) – 0,116 mg/kg s.m. i kruchaweczce zaroślowej (*Psathyrella candolleana*) – 0,39 mg/kg s.m. W borowiku szlachetnym określono jego poziom na 0,2 mg/kg s.m., a w czubajce kani 0,3 mg/kg s.m. Z kolei w innym badaniu wykorzystano podłoże wzbogacone w chlorek litu do uprawy boczniaka ostrygowatego, stwierdzając akumulację tego pierwiastka w owocnikach i – jak twierdzą autorzy: „Na stężenie litu w grzybach bezpośrednio wpływało rosnące stężenie chlorku litu w podłożu”. Zawartość litu w niewzbogaconym boczniaku w tym badaniu wynosiła około 50 mg/kg s.m., co jest najwyższym stężeniem litu jak dotąd odnotowanym dla grzybów.

Omawiając temat biopierwiastków, warto poruszyć także problem METALI CIĘŻKICH. Do niebezpiecznych pierwiastków występujących naturalnie w podłożach rozkładanych przez grzyby i w miąższu grzybów należą rtęć, arsen, kadm, ołów i srebro. Grzyby mogą akumulować bardzo wysokie poziomy zarówno szkodliwych pierwiastków śladowych jak i radioaktywnych izotopów cezu, jeśli rosną na silnie zanieczyszczonych podłożach, w pobliżu hut metali, na terenach górniczych (w tym historycznych), wzdłuż dróg o dużym natężeniu ruchu lub w miastach. Zawartość wielu pierwiastków śladowych różni się znacznie między gatunkami, czasami nawet o rząd wielkości, niektóre akumulują kadm, rtęć, ołów i inne metale w stężeniach znacznie wyższych niż rośliny. Z tego powodu grzyby zbierane na terenach zanieczyszczonych mogą stanowić zagrożenie zdrowotne. Kadm i rtęć to pierwiastki o wysokiej bioakumulacji z podłoża u wielu gatunków grzybów. Niemniej jednak, związek między zanieczyszczeniem gleby szkodliwym pierwiastkiem śladowym a jego poziomem w owocniku nie jest wystarczająco ścisły, aby umożliwić wykorzystanie gatunku grzyba jako wiarygodnego wskaźnika lokalnego zanieczyszczenia. Z kilku wcześniejszych raportów wynika, że biodostępność kadmu z grzybów może być raczej wysoka. Większość

pierwiastków jest rozmieszczona w owocniku nierównomiernie. Najwyższe stężenia obserwuje się zwykle w części kapelusza odpowiedzialnej za tworzenie zarodników (nie zaś w samych zarodnikach), niższe w pozostałej części kapelusza, a najniższe w trzonie. Rtęć może być skutecznie bioakumulowana przez wiele grzybów, zwłaszcza gdy występuje w małych stężeniach w glebach leśnych, np. dla kapeluszy czubajki kani wartości BAF wahają się od 16 do 220, a dla borowika szlachetnego od 41 do 130. Problem rtęci w grzybach został szczegółowo zbadany dla wielu gatunków z różnych krajów. Dane dotyczące szybkości bioakumulacji wysoce neurotoksycznej metylortęci (MeHg) przez grzyby wznoszą się w zależności od badań, w niektórych wykazano, że jest to forma bardziej biodostępna w porównaniu z formami nieorganicznymi. MeHg występuje w mniejszych ilościach niż rtęć nieorganiczna, zarówno w grzybach dziko rosnących, jak i uprawnych (poniżej 5%). Naukowcy analizowali także obecność kadmu i ołowiu w grzybach shiitake, które posiadają zdolność do akumulacji tych pierwiastków osiągające poziomy graniczne dla warzyw, jednak ryzyko przekroczenia dopuszczalnego spożycia jest w praktyce znikome. Krótkie gotowanie może częściowo wypłukać niektóre metale i jest skuteczniejsze niż moczenie w temperaturze pokojowej. Większy odsetek pierwiastków jest wymywany z uszkodzonych tkanek mrożonych plastrów grzybów niż z plastrów świeżych lub suszonych, a zwłaszcza z nieuszkodzonych owocników. Niestety, zabiegi kulinarne tego typu obniżają również zawartość pożądaných lotnych składników aromatycznych.

Większość dziko rosnących grzybów zbieranych na terenach niezanieczyszczonych nie stanowi zagrożenia dla zdrowia. Nie można jednak przenosić tego wniosku na grzyby pochodzące z obszarów skażonych metalami ciężkimi. Dane dotyczące form chemicznych tych pierwiastków w grzybach są ograniczone, a informacje o ich biodostępności bardzo skąpe. W przypadku grzybów uprawnych ryzyko jest minimalne, ponieważ stosuje się w nich kontrolowane, czyste substraty, co przekłada się na niską zawartość pierwiastków szkodliwych.

 Piśmiennictwo dostępne w Redakcji

*W katedrze biotechnologii roślin i grzybów leczniczych Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum przeprowadzono badania, których celem było określenie zawartości jonów kadmu i ołowiu w grzybach jadalnych pobranych ze środowiska naturalnego z obszarów południowej Polski (podgrzybek brunatny, kozłarż babka, boczniak ostrygowaty, pieprznik jadalny, borowik szlachetny, pieczarka polna, maślak zwyczajny). Następnie określono stopień uwalniania metali ciężkich z ich owocników do sztucznych soków trawiennych w warunkach symulujących przewód pokarmowy człowieka. Po przeprowadzonej ekstrakcji materiału grzybowego do sztucznych soków trawiennych stwierdzono, że zawartość kadmu i ołowiu jest znacznie poniżej dopuszczalnych norm spożycia przez ludzi. Dodatkowo przeprowadzono badanie uwalniania metali do sztucznych soków trawiennych z kultur in vitro, prowadzonych na podłożach wzbogaconych jonami kadmu i ołowiu. W badaniu wykazano wysoką akumulację obu metali w grzybach, przy jednoczesnym, niewielkim uwalnianiu ich do sztucznych soków trawiennych. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badane gatunki grzybów nie stanowią zagrożenia dla zdrowia człowieka ze względu na obecność badanych metali ciężkich. Fakt, że oba metale są w dużym stopniu akumulowane w grzybach i w niewielkim stopniu uwalniane do sztucznych soków trawiennych, dowodzi ich przydatności do spożycia, a także podkreśla ich rolę jako czynnika remediacji gleb (proces polegający na oczyszczaniu się zanieczyszczonej gleby).*

 pixabay, wikimedia