

Paweł ŚWISŁOWSKI<sup>1</sup> i Małgorzata RAJFUR<sup>1</sup>

## **BIOKUMULACJA PIERWIASTKÓW W GRZYBACH WIELKOOWOCNIKOWYCH - PRZEGLĄD WYBRANEJ LITERATURY**

### **BIOACCUMULATION OF ELEMENTS IN MUSHROOMS - REVIEW OF SELECTED LITERATURE**

**Abstrakt:** Celem pracy było dokonanie analizy bibliometrycznej wybranych publikacji dotyczących akumulacji pierwiastków w grzybach wielkoowocnikowych (ektomikoryzowych i saprofitycznych) występujących na terenie Europy. Analizie poddano wybrane publikacje z lat 2001-2016 dostępne poprzez serwisy, np.: Springer, Science Direct i Web of Science. Przeanalizowano m.in. akumulowane mikro- i makropierwiastki, miejsca prowadzenia badań oraz typ badań (m.in. badania *in situ*, badania laboratoryjne). W wyniku przeprowadzonych badań literaturowych stwierdzono, że temat translokacji pierwiastków do grzybów wielkoowocnikowych jest nadal aktualny i cieszy się dużym zainteresowaniem naukowców z wielu krajów europejskich.

**Słowa kluczowe:** bibliometria, biokumulacja, grzyby, metale ciężkie

#### **Wprowadzenie**

Grzyby wielkoowocnikowe ze względu na szczególne cechy organoleptyczne stanowią cenny produkt ze względu na walory smakowe dań z nich przygotowywanych. Wartość odżywcza grzybów nie jest duża, zawierają one niewielkie ilości białka, tłuszczu, węglowodanów, dodatkowo są źródłem substancji mineralnych (Cu, Fe, K, Mg, Se i P) i witamin (szczególnie B, D i K). Odznaczają się także zdolnością kumulowania metali ciężkich, poprzez wiązanie ich z białkami, zwłaszcza niskocząsteczkowymi [1, 2]. Zdolność gromadzenia pierwiastków śladowych zawdzięczają specyficznej budowie grzywni: odsłoniętej powierzchni komórek wegetatywnych oraz dużej powierzchni strzępek. Owocniki grzybów jadalnych dziko rosnących posiadają zdolność do nagromadzania makro- i mikroskładników [3]. Grzyby zawierają mikroelementy niezbędne dla funkcjonowania organizmu człowieka, ale również mogą gromadzić metale ciężkie, takie jak: kadm, rtęć czy ołów [4]. Stwierdzono, że akumulowanie metali z podłoża jest cechą gatunkową, a stopień kumulacji poszczególnych mikroelementów uwarunkowany jest genetycznie [5]. Zawartość substancji mineralnych w grzybach zależy od typu podłoża, na którym rosną grzyby, pH gleby, liczby i rodzaju pierwiastków znajdujących się w podłożu, biodostępności tych metali oraz stopnia rozwoju osobniczego, aktywności enzymów. Grzyby są w stanie zmagazynować metale w dużych ilościach. Zdarza się, że są to wartości przekraczające stężenie, jakie jest w podłożu, na którym wyrosły. Zjawisko to jest szczególnie znane dla związków rtęci i kadmu [3, 6].

Celem przeprowadzonych badań literaturowych była analiza bibliometryczna wybranych prac poświęconych biokumulacji pierwiastków w grzybach jadalnych i niejadalnych (w tym trujących) występujących na terenie Europy [7]. Analizie poddano

<sup>1</sup> Samodzielna Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej, Uniwersytet Opolski, ul. kard. B. Kominka 6, 45-032 Opole, tel. 77 401 60 42, fax 77 401 60 50, email: mrajfur@o2.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 17, Polanica Zdrój, 4-7.10.2017

48 wybranych publikacji z lat 2001-2016 dostępnych m.in. poprzez serwisy Springer, Science Direct i Web of Science.

### Materiały i metody

Przy opracowywaniu literatury dotyczącej stężeń pierwiastków zakumulowanych w grzybach pochodzących ze stanowisk na terenie Europy, m.in. w Polsce, Czechach, Hiszpanii czy na Węgrzech, uwzględniono artykuły opublikowane w czasopismach naukowych. Pominięto informacje zawarte w literaturze popularnonaukowej, materiały z konferencji naukowych (w tym streszczenia), raporty, rozprawy doktorskie, prace magisterskie i licencjackie. Wyniki badań literaturowych zestawiono, opierając się na przykładowych pracach z analizy bibliometrycznej [8, 9].

Cytowana literatura obejmuje prace opublikowane w językach polskim i angielskim. Opracowując dane tabelaryczne (tab. 1), zachowano następującą chronologię: przedstawiono najpierw nazwisko pierwszego autora i rok wydania danej pracy, stanowisko, z którego zebrano grzyby, typ zrealizowanych badań, symbole chemiczne przeanalizowanych pierwiastków oraz rodzaj zebranych grzybów (j - grzyby jadalne, nj - grzyby niejadalne). Jako rodzaj badań rozróżniono: badania *in situ* (grzyby rosnące w naturalnych ekosystemach), grzyby uprawiane/ wykorzystywane w celach komercyjnych (K), eksperyment polowy (E) oraz doświadczenie w laboratorium (L) [7].

### Wyniki i ich analiza

W tabeli 1 przedstawiono analizę bibliometryczną wybranych prac dotyczących akumulacji m.in. metali ciężkich w grzybach.

Tabela 1

Wybrane publikacje poświęcone badaniom nad pierwiastkami śladowymi w grzybach

Table 1

Selected publications consecrated to the study of trace elements in mushrooms

Autor, rok publikacji	Stanowisko(a)	Rodzaj badań	Oznaczony(e) pierwiastek(i)	Badany(e) rodzaj(e) grzyba(ów)
Zimmermannová, 2001 [10]	północno-wschodnia Słowacja	<i>in situ</i>	Cu, Cd, Pb, Hg	j
Falandysz, 2001 [11]	okolice miasta Augustów	<i>in situ</i>	Hg	j
Falandysz, 2001 [12]	woj. pomorskie	<i>in situ</i>	K, P, Mg, Na, Zn, Ca, Fe, Cu, Mn, Rb, Ag, Cd, Hg, Pb, Cs, Sr, Al, Si, Tl, In, Bi, Th, U, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, La, Lu, Ba	j
Lodenus, 2002 [13]	Evo, południowa Finlandia	<i>in situ</i>	Cd	j, nj
Falandysz, 2002 [14]	Puszcza Borecka	<i>in situ</i>	Hg	j, nj
Falandysz, 2002 [15]	Równina Tarnobrzaska	<i>in situ</i>	Hg	j, nj
Collin-Hansen, 2003 [16]	Odda, południowo-zachodnia Norwegia	L	Cu, Zn, Cd	j
Falandysz, 2003 [17]	okolice jeziora Wdzydze	<i>in situ</i>	Hg	j, nj

Falandysz, 2003 [18]	Puszcza Augustowska, Puszcza Notecka, Tatry, Sudety, Warmia, Mazury, Pomorze	<i>in situ</i>	Se	j, nj
Vetter, 2004 [19]	Węgry	<i>in situ</i>	As	j
Malinowska, 2004 [20]	lasyc północnej i północno-wschodniej Polski	<i>in situ</i>	Pb, Cd, Ag, Cu, Mn, Cr, Co, Ni, Fe, Zn, Na, K, Ca, Mg	j
Krupa, 2004 [21]	Miasteczko Śląskie	<i>in situ</i>	Cd, Pb	j, nj
Tuzen, 2005 [22]	Tokat, Turcja	<i>in situ</i>	Hg	j, nj
Rudawska, 2005 [23]	Puszcza Notecka	<i>in situ</i>	N, P, K, S, Ca, Mg, Al, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb	j
Rudawska, 2005 [24]	zachodnio-centralna Polska	<i>in situ</i>	Al, Mn, Fe, Zn, Cd, Pb	j, nj
Benbrahim, 2006 [25]	Francja	E	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn	j
Maćkiewicz, 2006 [26]	okolice Helu	<i>in situ</i>	Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sr, Zn	j
Stolarska, 2006 [27]	sklepy w polskiej sieci handlowej	K	Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Fe, Mg, Hg	j
Borovička, 2007 [28]	Czechy, Słowacja	<i>in situ</i>	Fe, Co, Zn, Se	j, nj
Chojnacka, 2007 [29]	północna Polska	<i>in situ</i>	Al, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Pb, Rb, Sr, Zn, Hg	j
Chudzyński, 2007 [30]	Beskid Zachodni	<i>in situ</i>	Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sr, Zn	j
Svoboda, 2008 [31]	Moravský Krumlov, południowo-zachodnia Morawia - Czechy	<i>in situ</i>	As, Ba, Co, Cu, Rb, Ag, Tl, V	j
Kwapuliński, 2008 [32]	Beskid Zachodni	E	Cd, Pb	j, nj
Bielawski, 2008 [33]	okolice miasta Starachowice	<i>in situ</i>	Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sr, Zn, P	j
Ouzouni, 2009 [34]	Zachodnia Macedonia i Epirus, północne regiony Grecji	<i>in situ</i>	Mg, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Al, As, Sn	j
Spodniewska, 2009 [35]	woj. warmińsko-mazurskie	<i>in situ</i>	Cd, Pb	j
Chudzyński, 2009 [36]	północna Polska	<i>in situ</i>	Hg	j
Radulescu, 2010 [37]	Okręg Dymbowica, Rumunia	<i>in situ</i> , E	Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Se, Cd	j
Zhang, 2010 [38]	okolice miasta Kościerzyna, woj. pomorskie	<i>in situ</i>	Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, Al, Ba, Ca, Cd, Hg, Sr	j
Frankowska, 2010 [39]	Kotlina Płocka	<i>in situ</i>	Al, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Sr, Zn	j
Costa-Silva, 2011 [40]	północna Portugalia	<i>in situ</i> , K	Se	j
Brzostowski, 2011 [41]	Polska	<i>in situ</i>	Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr, Pb, Rb, Zn	nj
Karmańska, 2011 [42]	sklep Kuchnie Świata, Polska	K	Zn, Mg, Ca, Cu, Fe, Mn, P	j
Giannaccini, 2012 [43]	Prowincja Lukka, Włochy	<i>in situ</i>	As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Li, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Zn	j
Kojta, 2012 [44]	tereny zalesione przy Złotoryi, Bory Tucholskie	<i>in situ</i>	Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sr, Zn	j
Szubstarska, 2012 [45]	Inspektorat Leśny Lubichowo	<i>in situ</i>	Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sr, Zn	j

García, 2013 [46]	Lugo, Hiszpania	<i>in situ</i>	Cr	j
Adamiak, 2013 [47]	Wysoczyzna Siedlecka	<i>in situ</i>	Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, As, Hg	j
Mleczek, 2013 [48]	Polska	<i>in situ</i>	Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr, Zn, Al, Ba, Cd, Hg, Pb	j
Širić, 2014 [49]	góra Zrin, Chorwacja	<i>in situ</i>	Zn, Fe, Cu, Pb, Ni, Cr, Hg, Cd	j
Rajkowska-Myśliwiec, 2014 [50]	woj. zachodniopomorskie	<i>in situ</i>	Zn, Fe, Mn, Cu, Cr	j
Dryżałowska, 2014 [51]	Pomerania, Mazury, Kujawy i Ziemia Świętokrzyska	<i>in situ</i>	Hg	j
Schlecht, 2015 [52]	Berlin, Niemcy	<i>in situ</i> , E	Cd, Pb	j
Florczak, 2015 [53]	Retkinia - łódzkie osiedle	<i>in situ</i>	Ca, Mg, Fe, Cu, Zn	j
Niedzielski, 2015 [54]	Poznań	L	Se(IV), Se(VI)	j
Stefanović, 2016 [55]	region Rasina, Serbia	<i>in situ</i>	Ag, As, Se, Na, Ca, Mg, K	j
Pająk, 2016 [56]	Nadleśnictwo Świerklaniec, Obręb Brynica	E	Zn, Cd, Pb	j
Brzezicha-Cirocka, 2016 [57]	okolice miasta Morąg (północno-wschodnia Polska), Równina Tarnobrzaska	<i>in situ</i>	K, Na, Mg, Ca, Fe, Cu, Zn, Ag, Cd	j

j - grzyby jadalne, nj - grzyby niejadalne

Biorąc za podstawę analizy liczbę publikacji (48), w których przedstawiano wyniki oznaczeń poszczególnych pierwiastków w grzybach z terenu Europy, można wskazać te analizy, które najczęściej pojawiały się w literaturze. W tabeli 2 przedstawiono wykaz najczęściej oznaczanych pierwiastków w grzybach oraz wskazano liczbę publikacji, w stosunku do 48 przeanalizowanych prac, w których są one prezentowane.

Tabela 2

Pierwiastki najczęściej oznaczane w grzybach i przedstawiane w cytowanej literaturze

Table 2

The most commonly identified elements in mushrooms presented in the cited literature

Pierwiastek	Liczba publikacji
Cd	30
Zn	28
Cu	26
Pb	24
Fe	23
Hg	22
Mg	19
Mn	
Ca	17
K	15

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 2 można stwierdzić, że najczęściej przez autorów były oznaczane w grzybach metale ciężkie. Mniej uwagi poświęcono metalom alkalicznym (Mg, Ca i K). Rzadko badane były takie pierwiastki, jak: Bi, Ce, Cs, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, In, La, Li, Lu, N, Nd, Pr, S, Si, Sm, Sn, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, Yb - pojedyncze publikacje, częściowo: Ag, As, P, Rb, Se - powyżej 7, a: Al, Ba, Co, Cr, Na, Ni i Sr > 10 publikacji. Duże zainteresowanie autorów publikacji takimi pierwiastkami, jak

kadm i cynk znajduje swoje uzasadnienie m.in. we wspólnotowym prawodawstwie. Aktualne rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 podaje graniczne wartości stężeń pierwiastków szkodliwych dla zdrowia (Cd i Pb) w grzybach uprawnych, odpowiednio na poziomie 0,20 oraz 0,30 mg/kg świeżej masy [58]. W polskim prawodawstwie w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 roku w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, maksymalne stężenia metali ciężkich (ołów, kadm, rtęć i arsen), jakie mogą zawierać grzyby, wynoszą odpowiednio: 0,3, 0,2, 0,05 oraz 0,2 mg/kg świeżej masy [59].

Na podstawie analizy cytowanej literatury (tab. 1) stwierdzono, że informacje dotyczące stężeń pierwiastków chemicznych obejmują ogółem 232 gatunki grzybów na obszarze Europy. W tabeli 3 przedstawiono wykaz gatunków grzybów najczęściej rozpatrywanych w badaniach literaturowych.

Gatunki grzybów najczęściej występujące w wybranej literaturze

Tabela 3

Mushroom species most commonly found in selected literature

Table 3

Gatunek grzyba	Liczba publikacji
<i>Xerocomus badius</i>	22
<i>Boletus edulis</i>	20
<i>Leccinum scabrum</i>	16
<i>Cantharellus cibarius</i>	15
<i>Macrolepiota procera</i>	12
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	11
<i>Lactarius deliciosus</i>	10
<i>Suillus luteus</i>	
<i>Xerocomus subtomentosus</i>	

Autorzy zestawionych w tym artykule prac najczęściej analizowali gatunki grzybów jadalnych. Niemniej jednak, w pojedynczych pracach uwzględniono również grzyby, które nie nadają się do spożycia lub są trujące. Procentowy udział grzybów jadalnych do niejadalnych omawianych w cytowanej literaturze przedstawia się następująco: 68% do 32% z 232 analizowanych gatunków. Duża liczba prac poświęconych badaniom nad zanieczyszczeniem np. metalami ciężkimi grzybów jadalnych wynika m.in. z zainteresowania poziomem narażenia zdrowia ludzi na działanie toksycznych związków zawartych w owocnikach grzybów. Grzyby w Polsce cieszą się bardzo dużym zainteresowaniem wśród konsumentów. Skup grzybów leśnych świeżych w 2015 r. wyniósł łącznie 2599 Mg (ton), w tym 579 Mg podgrzybków (*boletus (Xerocomus)*), 688 Mg kurek (*Chanterelle*), a najwięcej, bo 810 Mg, stanowiły borowiki (*King boletus*) - 31% [60].

## Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań bibliometrycznych dotyczących bioakumulacji pierwiastków w grzybach rosnących na terenie Europy w latach 2001-2016 należy stwierdzić, iż temat translokacji metali ciężkich z gleby do owocników różnego rodzaju grzybów jest bardzo popularny. Z każdym rokiem przybywa publikacji, a tym samym

informacji poświęconych temu tematowi. W każdym kraju europejskim prowadzi się badania w tym zakresie. W polskiej literaturze również nie brakuje opracowań dotyczących akumulacji m.in. metali ciężkich w grzybach. W licznych pracach autorzy udowodnili, że niezależnie od terenu badań i gatunku grzyba większe stężenia np. metali ciężkich oznaczono w kapeluszu niż w trzonie czy w podłożu, na którym rosły grzyby [3, 26, 29, 33]. Zdolności akumulacyjne grzybów czynią z nich czuły biomonitor zanieczyszczenia terenów leśnych metalami ciężkimi. Dzięki badaniom nad stężeniami różnych analitów w grzybach, np. metali ciężkich i radionuklidów, można określić dawki ich spożycia bezpieczne dla ludzi.

## Literatura

- [1] Román de M, Boa E, Woodward S. Wild-gathered fungi for health and rural livelihoods. *Proc Nutrition Soc.* 2006;65:190-197. <https://www.uni-due.de/~bbo010/deRoman/DeRoman%20Boa%20Woodward%20PNS%202006.pdf>.
- [2] Mazurek-Wojciechowska M, Mania M, Starska K, Rebeniak M, Karłowski K. Pierwiastki szkodliwe dla zdrowia w grzybach jadalnych w Polsce. *Bromatol Chem Toksykol.* 2011;(44)2:143-149. [http://www.ptfarm.pl/pub/File/bromatologia\\_2011/2/bromatologia%202\\_2011s\\_143-149.pdf](http://www.ptfarm.pl/pub/File/bromatologia_2011/2/bromatologia%202_2011s_143-149.pdf).
- [3] Karmańska A, Wędzisz A. Zawartość wybranych makro- i mikroelementów w różnych gatunkach grzybów wielkoowocnikowych z okolic województwa łódzkiego. *Bromatol Chem Toksykol.* 2010;(43)2:124-129. [http://ptfarm.pl/pub/File/bromatologia\\_2010/2.2010/br%202,2010%20s.%20124-129.pdf](http://ptfarm.pl/pub/File/bromatologia_2010/2.2010/br%202,2010%20s.%20124-129.pdf).
- [4] Stankiewicz U, Gayny B. Poziom zanieczyszczeń metalami niektórych grzybów dziko rosnących. *Roczn Państw Zakł Hig.* 1994;45:1-2.
- [5] Enke M, Matschiner H, Achtzehn MK. Schwermetallanreicherungen in pilzen (Accumulation of heavy metals in mushrooms). *Die Nahrung.* 1977;21:331-335. DOI: 10.1002/food.19770210408.
- [6] 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*). *Bromatol Chem Toksykol.* 2014;(47)4:876-882. <http://www.ptfarm.pl/pub/File/Bromatologia/2014/BR%204-2014%20s.%20876-882.pdf>.
- [7] Falandysz J, Frankowska A. Biokumulacja pierwiastków i radionuklidów przez grzyby wielkoowocnikowe. Przegląd bibliograficzny dla ziem polskich. *Roczn Państw Zakł Hig.* 2000;51(4):321-344. [http://wydawnictwa.pzh.gov.pl/roczniki\\_pzh/biokumulacja-pierwiastkow-i-radionuklidow-przez-grzyby-wielkoowocnikowe-przeglad-bibliograficzny-dla-ziem-polskich?lang=pl](http://wydawnictwa.pzh.gov.pl/roczniki_pzh/biokumulacja-pierwiastkow-i-radionuklidow-przez-grzyby-wielkoowocnikowe-przeglad-bibliograficzny-dla-ziem-polskich?lang=pl).
- [8] Tanaka H, Ho YS. Global trends and performances of desalination research. *Desalination Water Treatment.* 2011;25:1-12. DOI: 10.5004/dwt.2011.1936.
- [9] Lin CL, Ho YS. A bibliometric analysis of publications on pluripotent stem cell research. *Cell J.* 2015;17(1):59-70. DOI: 10.22074/cellj.2015.512.
- [10] Zimmermannová K, Svoboda L, Kalač P. Mercury, cadmium, lead and copper contents in fruiting bodies of selected edible mushrooms in contaminated Middle Spiš region, Slovakia. *Ekológia (Bratislava).* 2001;20(4):440-446. [https://www.researchgate.net/profile/Katarina\\_Pastircakova/publication/267507733\\_Mercury\\_cadmium\\_lead\\_and\\_copper\\_contents\\_in\\_fruiting\\_bodies\\_of\\_selected\\_edible\\_mushrooms\\_in\\_contaminated\\_Middle\\_Spis\\_region\\_Slovakia/links/54538ef50cf2cf51647c19a0/Mercury-cadmium-lead-and-copper-contents-in-fruiting-bodies-of-selected-edible-mushrooms-in-contaminated-Middle-Spis-region-Slovakia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Katarina_Pastircakova/publication/267507733_Mercury_cadmium_lead_and_copper_contents_in_fruiting_bodies_of_selected_edible_mushrooms_in_contaminated_Middle_Spis_region_Slovakia/links/54538ef50cf2cf51647c19a0/Mercury-cadmium-lead-and-copper-contents-in-fruiting-bodies-of-selected-edible-mushrooms-in-contaminated-Middle-Spis-region-Slovakia.pdf).
- [11] Falandysz J, Bielawski L. Mercury content of wild edible mushrooms collected near the town of Augustow. *Polish J Environ Stud.* 2001;10(1):67-71. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.493.6383&rep=rep1&type=pdf>.
- [12] Falandysz J, Szymczyk K, Ichihashi H, Bielawski L, Gucia M, Frankowska A, et al. ICP/MS and ICP/AES elemental analysis (38 elements) of edible wild mushrooms growing in Poland. *Food Additiv Contamin.* 2001;18(6):503-513. DOI: 10.1080/02652030119625.
- [13] Lodenius M, Soltanpour-Gargari A, Tulisalo E. Cadmium in forest mushrooms after application of wood ash. *Bull Environ Contamin Toxicol.* 2002;68:211-216. DOI: 10.1007/s001280240.

- [14] Falandysz J, Gucia M, Skwarzec B, Frankowska A, Klawikowska K. Total mercury in mushrooms and underlying soil substrate from the Borecka Forest, Northeastern Poland. *Archiv Environ Contamin Toxicol*. 2002;42:145-154. DOI: 10.1007/s00244-001-0026-1.
- [15] Falandysz J. Mercury in mushrooms and soil of the Tarnobrzaska Plain, South-eastern Poland. *J Environ Sci Health, Part A*. 2002;37(3):343-352. DOI: 10.1081/ESE-120002833.
- [16] Collin-Hansen C, Andersen RA, Steinnes E. Isolation and N-terminal sequencing of a novel cadmium-binding protein from *Boletus edulis*. *J de Physique IV*. 2003;107:311-314. DOI: 10.1051/jp4:20030304.
- [17] Falandysz J, Brzostowski A, Kawano M, Kannan K, Puzyn T, Lipka K. Concentrations of mercury in wild growing higher fungi and underlying substrate near Lake Wdzydze, Poland. *Water Air Soil Pollut*. 2003;148:127-137. DOI: 10.1023/A:1025422017868.
- [18] Falandysz J. Selen w wybranych gatunkach grzybów z terenu Polski. *Roczn Państw Zakł Hig*. 2003;54(3):249-254. [http://wydawnictwa.pzh.gov.pl/roczniki\\_pzh/selen-w-wybranych-gatunkach-grzybow-z-terenu-polski?lang=pl](http://wydawnictwa.pzh.gov.pl/roczniki_pzh/selen-w-wybranych-gatunkach-grzybow-z-terenu-polski?lang=pl).
- [19] Vetter J. Arsenic content of some edible mushroom species. *Europ Food Res Technol*. 2004;219:71-74. DOI: 10.1007/s00217-004-0905-6.
- [20] Malinowska E, Szefer P, Falandysz J. Metals bioaccumulation by bay bolete, *Xerocomus badius*, from selected sites in Poland. *Food Chem*. 2004;84:405-416. DOI: 10.1016/S0308-8146(03)00250-4.
- [21] Krupa P, Kozdrój J. Accumulation of heavy metals by ectomycorrhizal fungi colonizing birch trees growing in an industrial desert soil. *World J Microbiol Biotechnol*. 2004;20:427-430. DOI: 10.1023/B:WIBI.0000033067.64061.f3.
- [22] Tuzen M, Soylyk M. Mercury contamination in mushroom samples from Tokat, Turkey. *Bull Environ Contamin Toxicol*. 2005;74:968-972. DOI: 10.1007/s00128-005-0674-3.
- [23] Rudawska M, Leski T. Macro- and microelement contents in fruiting bodies of wild mushrooms from the Notecka forest in west-central Poland. *Food Chem*. 2005;92:499-506. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.08.017.
- [24] Rudawska M, Leski T. Trace elements in fruiting bodies of ectomycorrhizal fungi growing in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Poland. *Sci Total Environ*. 2005;339:103-115. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.08.002.
- [25] Benbrahim M, Denaix L, Thomas A-L, Balet J, Carnus J-M. Metal concentrations in edible mushrooms following municipal sludge application on forest land. *Environ Pollut*. 2006;144:847-854. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.02.014.
- [26] Maćkiewicz D, Dryżałowska A, Mielewska D, Falandysz J. Zawartość wybranych pierwiastków w owocnikach gąski zielonki *Tricholoma equestre* (L.) Kummer z okolic Helu. *Bromatol Chem Toksykol*. 2006;(39)4:333-338. [http://ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b\\_2008/1\\_2008/Artykul%2008%20Bromatologia%201-2008.pdf](http://ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b_2008/1_2008/Artykul%2008%20Bromatologia%201-2008.pdf).
- [27] Stolarska A, Przybulewska K. Zawartość metali w suszach grzybowych. *J Elementol*. 2006;11(2):207-211. <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.dl-catalog-3d61f43b-f048-4093-b715-b9d2fa0b02fb>.
- [28] Borovička J, Zdeněk Ř. Distribution of iron, cobalt, zinc and selenium in macrofungi. *Mycol Prog*. 2007;6:249-259. DOI: 10.1007/s11557-007-0544-y.
- [29] Chojnacka A, Falandysz J. Badania nad składem mineralnym podgrzybka zajączka (*Xerocomus subtomentosus*) (L.) Quéletx. *Bromatol Chem Toksykol*. 2007;(40)4:337-340. [http://ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b4\\_07/s%20337-340.pdf](http://ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b4_07/s%20337-340.pdf).
- [30] Chudzyński K, Bielawski L, Falandysz J. Składniki mineralne i wartości współczynnika ich nagromadzenia w owocnikach maślaka żółtego (*Suillus grevillei*) z Beskidu Zachodniego. *Bromatol Chem Toksykol*. 2007;(40)2:159-166. [http://www.ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/bromatologia/2\\_07/s159-166.pdf](http://www.ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/bromatologia/2_07/s159-166.pdf).
- [31] Svoboda L, Chrástný V. Levels of eight trace elements in edible mushrooms from a rural area. *Food Additiv Contamin Part A*. 2008;25(1):51-58. DOI: 10.1080/02652030701458519.
- [32] Kwapuliński J, Nogaj E, Fischer A, Pauksztó A, Linkarczyk-Paszek G, Stawinoga D, et al. Znaczenie położenia siedliska w odniesieniu do występowania Pb i Cd w grzybach wielkoowocnikowych rosnących na terenie Beskidu Zachodniego. *Bromatol Chem Toksykol*. 2008;(41)2:129-136. [http://ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b\\_2008/2\\_2008/BR%202%20s.%20129-136.pdf](http://ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b_2008/2_2008/BR%202%20s.%20129-136.pdf).
- [33] Bielawski L, Falandysz J. Wybrane pierwiastki w owocnikach kaźlarza babki (*Leccinum scabrum*) z okolic miasta Starachowice. *Bromatol Chem Toksykol*. 2008;(41)1:47-52. [http://www.ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b\\_2008/1\\_2008/Artykul%2007%20Bromatologia%201-2008.pdf](http://www.ptfarm.pl/pub/File/wydawnictwa/b_2008/1_2008/Artykul%2007%20Bromatologia%201-2008.pdf).

- [34] Ouzouni PK, Petridis D, Koller W-D, Riganakos KA. Nutritional value and metal content of wild edible mushrooms collected from West Macedonia and Epirus, Greece. *Food Chem.* 2009;115:1575-1580. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.02.014.
- [35] Spodniewska A, Barski D, Zasadowski A. Zawartość kadmu i ołowiu w wybranych gatunkach grzybów pochodzących z województwa warmińsko-mazurskiego. *Ochr Środ Zasob Natur.* 2009;41:135-141. [http://www.ios.edu.pl/pol/pliki/nr41/nr41\\_12.pdf](http://www.ios.edu.pl/pol/pliki/nr41/nr41_12.pdf).
- [36] Chudzyński K, Bielawski L, Falandysz J. Mercury bio-concentration potential of Larch Bolete, *Suillus grevillei*, mushroom. *Bull Environ Contamin Toxicol.* 2009;83:275-279. DOI: 10.1007/s00128-009-9723-7.
- [37] Radulescu C, Stihl C, Busuioac G, Gheboianu AI, Popescu IV. Studies concerning heavy metals bioaccumulation of wild edible mushrooms from industrial area by using spectrometric techniques. *Bull Environ Contamin Toxicol.* 2010;84:641-646. DOI: 10.1007/s00128-010-9976-1.
- [38] Zhang D, Frankowska A, Jarzyńska G, Kojta AK, Drewnowska M, Wydmańska D, et al. Metals of King Bolete (*Boletus edulis*) Bull.: Fr. Collected at the same site over two years. *African J Agricult Res.* 2010;5(22):3050-3055. <http://www.biol.uw.edu.pl/ptmyk/wp-content/uploads/2012/12/Zhang-et-al.-2010-AfrJAgrSci.pdf>.
- [39] Frankowska A, Ziółkowska J, Bielawski L, Falandysz J. Profile and bioconcentration of minerals by King Bolete (*Boletus edulis*) from the Plocka Dale in Poland. *Food Additiv Contamin Part B.* 2010;3(1):1-6. DOI: 10.1080/19440040903505232.
- [40] Costa-Silva F, Marques G, Matos CC, Barros IRNAA, Nunes FM. Selenium contents of Portuguese commercial and wild edible mushrooms. *Food Chem.* 2011;126:91-96. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.10.082.
- [41] Brzostowski A, Falandysz J, Jarzyńska G, Zhang D. Bioconcentration potential of metallic elements by Poison Pax (*Paxillus involutus*) mushroom. *J Environ Sci Health Part A.* 2011;46(4):378-393. DOI: 10.1080/10934529.2011.542387.
- [42] Karmańska A, Olejnik K, Wędzisz A. Badanie składników odżywczych trzęsaka morszczynowego - *Tremella fuciformis*. *Bromatol Chem Toksykol.* 2011;44(2):150-153. [http://www.ptfarm.pl/pub/File/bromatologia\\_2011/2/bromatologia%202\\_2011s\\_150-153.pdf](http://www.ptfarm.pl/pub/File/bromatologia_2011/2/bromatologia%202_2011s_150-153.pdf).
- [43] Giannaccini G, Betti L, Palego L, Mascia G, Schmid L, Lanza M, et al. The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy. *Environ Monit Assess.* 2012;184:7579-7595. DOI: 10.1007/s10661-012-2520-5.
- [44] Kojta AK, Jarzyńska G, Falandysz J. Mineral composition and heavy metal accumulation capacity of Bay Bolete (*Xerocomus badius*) fruiting bodies collected near a former gold and copper mining area. *J Geochem Explor.* 2012;121:76-82. DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.08.004.
- [45] Szubstarska J, Jarzyńska G, Falandysz J. Trace elements in Variegated Bolete (*Suillus variegatus*) fungi. *Chem Papers.* 2012;66(11):1026-1031. DOI: 10.2478/s11696-012-0216-5.
- [46] García MA, Alonso J, Melgar MJ. Bioconcentration of chromium in edible mushrooms: Influence of environmental and genetic factors. *Food Chem Toxicol.* 2013;58:249-254. DOI: 10.1016/j.fct.2013.04.049.
- [47] Adamiak EA, Kalembasa S, Kuziemska B. Zawartość metali ciężkich w wybranych gatunkach grzybów jadalnych. *Acta Agrophys.* 2013;20(1):7-16. [http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-028bb347-c135-458b-b1c4-d16c7b9f4707?q=be1dd9c7-7bba-4d7a-a5c7-9391760bca66\\$5&qt=IN\\_PAGE](http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-028bb347-c135-458b-b1c4-d16c7b9f4707?q=be1dd9c7-7bba-4d7a-a5c7-9391760bca66$5&qt=IN_PAGE).
- [48] Mleczek M, Magdziak Z, Goliński P, Siwulski M, Stuper-Szablewska K. Concentrations of minerals in selected edible mushroom species growing in Poland and their effect on human health. *Acta Scient Polon Technol Alimentar.* 2013;12(2):203-214. [https://www.researchgate.net/publication/279709889\\_Concentrations\\_of\\_minerals\\_in\\_selected\\_edible\\_mushroom\\_species\\_growing\\_in\\_Poland\\_and\\_their\\_effect\\_on\\_human\\_health](https://www.researchgate.net/publication/279709889_Concentrations_of_minerals_in_selected_edible_mushroom_species_growing_in_Poland_and_their_effect_on_human_health).
- [49] Širić I, Kos I, Bedeković D, Kaić A, Kasap A. Heavy metals in edible mushroom *Boletus reticulatus* Schaeff. collected from Zrin Mountain, Croatia. *Periodic Biologor.* 2014;116(3):319-322. [https://www.researchgate.net/publication/271201189\\_Heavy\\_metals\\_in\\_edible\\_mushroom\\_Boletus\\_reticulatus\\_Schaeff\\_Collected\\_from\\_Zrin\\_mountain\\_Croatia](https://www.researchgate.net/publication/271201189_Heavy_metals_in_edible_mushroom_Boletus_reticulatus_Schaeff_Collected_from_Zrin_mountain_Croatia).
- [50] Rajkowska-Myśliwiec M, Pohoryło A, Protasowicki M. Mikroelementy w grzybach jadalnych zebranych w lasach województwa zachodniopomorskiego. *Bromatol Chem Toksykol.* 2014;47(2):180-185. [http://www.ptfarm.pl/pub/File/Bromatologia/2014/BR%202-2014%20s\\_%20180-185.pdf](http://www.ptfarm.pl/pub/File/Bromatologia/2014/BR%202-2014%20s_%20180-185.pdf).
- [51] Dryżałowska A, Falandysz J. Bioconcentration of mercury by mushroom *Xerocomus chrysenteron* from the spatially distinct locations: Levels, possible intake and safety. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2014;107:97-102. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2014.05.020.



- [52] Schlecht MT, Säumel I. Wild growing mushrooms for the Edible City? Cadmium and lead content in edible mushrooms harvested within the urban agglomeration of Berlin, Germany. *Environ Pollut*. 2015;204:298-305. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.05.018.
- [53] Florczak J, Karmańska A, Karwowski B. Niektóre składniki żółciaka siarkowego *Laetiporus sulfureus* (Bull.) Murrill). *Bromatol Chem Toksykol*. 2015;48(2):210-215. [http://www.ptfarm.pl/pub/File/Bromatologia/2015/nr%202/Bromatologia%20\\_2015%20s\\_%20210-215.pdf](http://www.ptfarm.pl/pub/File/Bromatologia/2015/nr%202/Bromatologia%20_2015%20s_%20210-215.pdf).
- [54] Niedzielski P, Mleczek M, Siwulski M, Rzymyski P, Gąsecka M, Kozak L. Supplementation of cultivated mushroom species with selenium: bioaccumulation and speciation study. *Eur Food Res Technol*. 2015;241:419-426. DOI: 10.1007/s00217-015-2474-2.
- [55] Stefanović V, Trifković J, Djurdjic S, Vukojević V, Tešić Ž, Mutić J. Study of silver, selenium and arsenic concentration in wild edible mushroom *Macrolepiota procera*, health benefit and risk. *Environ Sci Pollut Res*. 2016;23:22084-22098. DOI: 10.1007/s11356-016-7450-2.
- [56] Pająk M. Zawartość cynku, ołowiu i kadmu w podgrzybku brunatnym (*Xerocomus badius* (fr.) E.) zebranych w silnie zanieczyszczonym kompleksie leśnym. *Inż Ekol*. 2016;49:221-226. <http://www.ineko.net.pl/ZAWARTOSC-CYNKU-OLOWIU-I-KADMU-W-PODGRZYBKU-BRUNATNYM-XEROCOMUS-BADIUS-FR-E-ZEBRANYM-W-SILNIE-ZANIECZYSZCZONYM-KOMPLEKSIE-LESNYM,64530,0,2.html>.
- [57] Brzezicha-Cirocka J, Medyk M, Falandysz J, Szefer P. Bio- and toxic elements in edible wild mushrooms from two regions of potentially different environmental conditions in eastern Poland. *Environ Sci Pollut Res*. 2016;23:21517-21522. [https://www.researchgate.net/publication/306048242\\_Bio-\\_and\\_toxic\\_elements\\_in\\_edible\\_wild\\_mushrooms\\_from\\_two\\_regions\\_of\\_potentially\\_different\\_environmental\\_conditions\\_in\\_eastern\\_Poland](https://www.researchgate.net/publication/306048242_Bio-_and_toxic_elements_in_edible_wild_mushrooms_from_two_regions_of_potentially_different_environmental_conditions_in_eastern_Poland).
- [58] Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1881&from=PL>.
- [59] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 roku w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności. Dz.U. Nr 37, poz. 326. <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20030370326>.
- [60] Główny Urząd Statystyczny. Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2016. Warszawa 2016. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2016,6,10.html>.

## BIOACCUMULATION OF ELEMENTS IN MUSHROOMS - REVIEW OF SELECTED LITERATURE

Chair of Biotechnology and Molecular Biology, University of Opole, Opole

**Abstract:** The aim of the study was to perform a bibliometric analysis of selected publications concerning the accumulation of elements in eukaryotic and saprophytic mushrooms growing in Europe. Articles published in the years 2001-2016 were found in databases such as: Springer, Science Direct and Web of Science. Among others, accumulation of micro- and macro-elements, test sites location and type of research (e.g. *in-situ* testing, laboratory testing) were analysed. As a result of literature research, it has been found that the topic of translocation of elements to mushrooms is still current and very popular among scientists from many European countries.

**Keywords:** bibliometry, bioaccumulation, mushrooms, heavy metals