

Bioakumulacja wybranych pierwiastków śladowych w organizmie pszczół robotnic i trutni

ADAM ROMAN

Zakład Higieny Zwierząt i Środowiska Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt AR, ul. Chełmońskiego 38C, 51-630 Wrocław

Roman A.

Bioaccumulation levels of some trace elements in the organisms of worker bees and drones

Summary

The aim of the study was to indicate whether worker bees and drones accumulate toxic metals. Research was carried out in two areas of Lower Silesia – Wrocław (industrial region) and Szydłowice (agricultural and forest region). Toxic elements (Ni, Cr, Pb, Cd and Se) were found in wide ranging concentrations in all the samples. The biological materials were liquidized and mineralized by the microwave method (type MARS 5 CEM), and the ICP technique was applied (ICP AES Varian company) using the analytical hydride program (elements in hydride form) for a quantitative analysis of toxic metal content. Higher concentrations of Ni, Cr, Cd and Pb were found in worker bee's bodies whereas higher concentrations of Se were found in drone's organisms. The organism of worker bees is a filter that retains from 20.45 (Pb) to 36.36% (Cd) of toxic metals from the raw material of honey during the process of transforming it into honey in the honey-sack.

Keywords: bees, trace elements

W wyniku rozwoju antropogennych źródeł emisji zanieczyszczeń (przemysł, motoryzacja, rozbudowa miast, intensywne rolnictwo) obserwuje się negatywne skutki ich wpływu na stan środowiska naturalnego. Pyły i dymy przemysłowe oraz spaliny samochodowe zatruwające powietrze, glebę i wodę, powodują także skażenie roślin (3, 12, 22). Wzrastająca intensywność produkcji rolniczej również ma w tym udział, chociażby tylko przez wzmożoną chemizację uprawy roślin, która przyczynia się nie tylko do skażenia środowiska, ale także do ustępowania i zaniku w niektórych rejonach naszego kraju wielu gatunków owadów określanych jako pożyteczne. Wśród nich znaczną część stanowią owady z rodziny pszczołowatych, które są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania fauny naturalnej i uprawnej.

Niekorzystne oddziaływanie przemysłu i motoryzacji oraz dużych aglomeracji miejskich na środowisko naturalne jest faktem niezaprzeczalnym (1, 2, 17). Ten negatywny wpływ wywierany jest, między innymi, przez emisję do środowiska pierwiastków i związków toksycznych. Sztandarowym przykładem tego działania jest wzrost kumulacji metali ciężkich w glebie, wodzie, roślinach i innych elementach środowiska (4, 21, 23, 24).

Pszczola miodna (*Apis mellifera L.*), mimo że jest gatunkiem utrzymywanym i wykorzystywanym przez człowieka, jest w sposób bezpośredni zagrożona niekorzystnymi zmianami zachodzącymi w środowisku

naturalnym, gdyż jej byt jest z nim związany nierozdzielnie. Każda rodzina pszczoła może oblatywać obszar o powierzchni ponad 25 km², gdyż zbieraczki mogą latać na odległość 3-5 km od ula. Z tak dużego obszaru przynoszą do ula pokarm (nektar, spadź i pyłek kwiatowy) oraz wodę i surowce do produkcji propolisu. Dlatego też, jeśli rodzina funkcjonuje w środowisku skażonym, to surowce roślinne wykorzystywane przez pszczoły oraz powietrze, którym oddychają także będą skażone, a w wyniku tego również część tych zanieczyszczeń będzie kumulowała się w ich organizmie (6, 17). Dodatkową przyczyną wzrostu koncentracji metali ciężkich w organizmach pszczół robotnic jest oczyszczanie w wolu miodnym surowca miodowego z części zanieczyszczeń mechanicznych, a wraz z nimi także chemicznych, w trakcie jego przetwarzania na miód (8, 20). Ten aspekt łącznie z niedoskonałością systemu wydalniczego owadów, powoduje kumulowanie się tych zanieczyszczeń w znacznej ilości w organizmach pszczół, zwłaszcza robotnic.

Celem przeprowadzonych badań było określenie, w jakim stopniu odkładają się pierwiastki śladowe o właściwościach toksycznych (Cd, Cr, Ni, Pb i Se) w organizmie pszczół i trutni (w tym samym wieku) oraz czy uzależnione jest to od środowiska ich życia, a także, w jakim stopniu pszczoła robotnica oczyszcza surowiec miodowy z wybranych metali ciężkich (Cd, Cu, Pb i Zn).

Materiał i metody

Badania wykonano w dwóch pasiekach stacjonarnych zlokalizowanych w dwóch rejonach charakteryzujących się różnym stopniem antropopresji na środowisko: w rejonie Wrocławia (uprzemysłowiony) – pasieka doświadczalna, w rejonie Szydłowic (rejon rolniczo-leśny) – ok. 10 km na północ od Brzeżu (opolskie) i ok. 50 km na wschód od Wrocławia – pasieka kontrolna. W obu pasiekach próbki pszczoł i trutni pobierano z dziesięciu uli losowo wybranych na początku badań. Pobrania wykonano dwukrotnie: pod koniec maja i na początku sierpnia 2004 r. W sumie w każdej pasiece pobrano łącznie do badań laboratoryjnych po 40 próbek materiału biologicznego. Materiałem do badań były próbki pszczoł robotnic i trutni w wieku od 10 do ok. 18 dni, każdorazowo pobierane z ostatniego plastru w danym ulu, po 100 sztuk w każdej próbce. Owady uśmiercono przez zamrożenie w temperaturze minus 10°C.

Z tych samych uli, z jednego plastra, pobierano również próbki świeżego nakropu (z dolnej części plastra) i dojrzalego miodu (z górnej części plastra – zasklepionej), 5 razy w ciągu sezonu, w odstępach 2-tygodniowych. Pierwsze pobranie wykonano 20 maja, a ostatnie (piąte) – 15 lipca. Każdą próbkę stanowiło ok. 50 g materiału, pobieranego do odrębnych pojemników plastikowych. W sumie pobrano po 50 próbek nakropu i miodu.

Wszystkie zebrane próbki pszczoł robotnic i trutni zostały wysuszone (w temperaturze ok. 45°C). Wszystkie próbki wysuszonych pszczoł i trutni rozdrobniono, a następnie każdą dokładnie wymieszano w celu ujednoczenia przed mineralizacją. Poszczególne próbki miodu i nakropu dokładnie wymieszano. Następnie z każdej próbki wykonano naważkę o masie 1000 mg (z dokładnością 0,1 mg) do mineralizacji. Naważki zostały rozcieńczone 20 ml roztworu stężonego kwasu azotowego spektralnie czystego (firmy Merck RFN), a następnie zmineralizowana techniką mikrofalową „na mokro” pod zwiększonym ciśnieniem przy wykorzystaniu mikroprocesorowej stacji typu MARS 5 firmy CEM (14-stanowiskowym) pod zwiększonym ciśnieniem.

Analizę ilościową materiału biologicznego pod kątem zawartości metali śladowych, takich jak: kadm, chrom, nikiel, ołów i selen oraz miedź i cynk wykonano spektrometrem plazmowym ICP sterowanym komputerem P-3202 współdziałającym z kombajnem analitycznym Philips Scientific model PU-7000 oraz nebulizerem ultradźwiękowym typu CETAC-5000 AT. Krzywe kalibracji dla poszczególnych pierwiastków wyznaczono przy użyciu wzorców klasy ICP specjalnej czystości (5).

Uzyskane wyniki analiz laboratoryjnych poddano kompleksowemu opracowaniu statystycznemu przy użyciu programu komputerowego Statgraphics ver. 5.1 z uwzględnieniem średnich, odchyłek standardowych oraz istotności różnic, testem rozstępu Dun-cana.

Wyniki i omówienie

Realizacja badań wykazała, że w organizmie pszczoł i trutni skumulowane były pierwiastki śladowe o właściwościach toksycznych w różnych stężeniach, a nasilenie tego zjawiska uzależnione było od rodzaju materiału i rejonu pochodzenia prób, przy czym w miodzie i nakropie było ono niższe.

Najwyższe stężenie badanych metali (oprócz kadmu) wykazano w organizmie pszczoł i trutni pochodzących z rejonu Wrocławia, co wskazuje na negatywny wpływ przemysłu, komunikacji samochodowej i innych czynników antropogennych w dużej aglomeracji miejskiej na stan środowiska naturalnego (tab. 3). Obserwacje te potwierdzają dane publikowane przez Hoffel (6), z których wynika, że zawartość niektórych metali śladowych

Tab. 1. Średnia zawartość badanych pierwiastków w pszczołach i trutniach z kolejnych pobrań pochodzących z rejonu rolniczo-leśnego (mg·kg⁻¹ s.m.; n = 10; $\bar{x} \pm s$)

Kolejne pobrania	Badany materiał	Ni	Cr	Pb	Cd	Se
Pobranie I	Pszczoły	0,44 ± 0,19	0,19 ± 0,05	0,27 ± 0,12	0,23 ± 0,06	2,81 ± 0,80
	Trutnie	0,25 ± 0,11	0,18 ± 0,06	0,27 ± 0,10	0,10 ± 0,05	3,50 ± 0,98
Pobranie II	Pszczoły	0,28 ± 0,12	0,24 ± 0,11	0,45 ± 0,17	0,20 ± 0,13	2,32 ± 1,12
	Trutnie	0,21 ± 0,08	0,23 ± 0,09	0,33 ± 0,14	0,16 ± 0,09	3,97 ± 1,17
Łącznie	Pszczoły	0,36 ± 0,17 ^a	0,21 ± 0,08	0,36 ± 0,17	0,22 ± 0,10 ^a	2,57 ± 0,97 ^a
	Trutnie	0,23 ± 0,10 ^b	0,21 ± 0,08	0,30 ± 0,13	0,13 ± 0,08 ^b	3,74 ± 1,07 ^b

Objaśnienia: a, b – średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy $p \leq 0,01$

Tab. 2. Średnia zawartość (mg·kg⁻¹ s.m.) badanych pierwiastków w pszczołach i trutniach z kolejnych pobrań pochodzących z rejonu uprzemysłowionego (n=10; $\bar{x} \pm s$)

Kolejne pobrania	Badany materiał	Ni	Cr	Pb	Cd	Se
Pobranie I	Pszczoły	0,62 ± 0,32	0,24 ± 0,09	0,62 ± 0,31	0,08 ± 0,04	5,13 ± 1,59
	Trutnie	0,38 ± 0,35	0,20 ± 0,05	0,52 ± 0,39	0,07 ± 0,09	7,06 ± 2,54
Pobranie II	Pszczoły	0,41 ± 0,20	0,29 ± 0,22	1,02 ± 0,50	0,16 ± 0,04	6,01 ± 2,30
	Trutnie	0,29 ± 0,36	0,21 ± 0,06	0,43 ± 0,32	0,11 ± 0,06	7,54 ± 1,51
Łącznie	Pszczoły	0,51 ± 0,28 ^a	0,26 ± 0,16	0,82 ± 0,45 ^A	0,12 ± 0,06	5,57 ± 1,96 ^A
	Trutnie	0,33 ± 0,34 ^b	0,21 ± 0,06	0,47 ± 0,34 ^B	0,09 ± 0,08	7,30 ± 2,04 ^B

Objaśnienia: a, b, A, B – średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie – małymi przy $p \leq 0,05$; dużymi przy $p \leq 0,01$

Tab. 3. Średnia zawartość (mg·kg⁻¹ s.m.) badanych pierwiastków w pszczołach i trutniach z obu rejonów badawczych (n = 20; $\bar{x} \pm s$)

Badany materiał	Rejon badań	Ni	Cr	Pb	Cd	Se
Pszczoły	Wrocław	0,51 ± 0,28 ^A	0,26 ± 0,16	0,82 ± 0,45 ^A	0,12 ± 0,06 ^A	5,57 ± 1,96 ^A
	Szydłowice	0,32 ± 0,18 ^B	0,21 ± 0,08	0,36 ± 0,17 ^B	0,22 ± 0,10 ^B	2,57 ± 0,97 ^B
Trutnie	Wrocław	0,33 ± 0,34	0,21 ± 0,06	0,47 ± 0,34 ^a	0,09 ± 0,08	7,30 ± 2,04 ^A
	Szydłowice	0,26 ± 0,11	0,21 ± 0,08	0,30 ± 0,13 ^b	0,13 ± 0,08	3,74 ± 1,07 ^B

Objaśnienia: a, b, A, B – średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie – małymi przy $p \leq 0,05$; dużymi przy $p \leq 0,01$ (oznaczono różnice pomiędzy rejonami)

w tkankach pszczoł pochodzących z rejonów uprzemysłowionych (skażonych) może być nawet 8-10-krotnie wyższa niż pochodzących z terenów nieuprzemysłowionych (nieskażonych).

Niezależnie od rejonu pochodzenia prób, kumulacja pierwiastków w organizmach pszczoł robotnic była wyższa niż w organizmach trutni, z wyjątkiem selenu, którego więcej było w ciałach trutni. Należy zaznaczyć także, że różnice w koncentracji poszczególnych pierwiastków między pszczołami a trutniami były znacznie wyższe w materiale pochodzącym z rejonu Wrocławia, z wyjątkiem kadmu (tab. 3).

Najwyższe stężenie wykazano dla selenu, którego średni poziom w organizmach trutni pochodzących z rejonu Wrocławia wynosił $7,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., było to prawie o 24% więcej niż w pszczołach robotnicach z tego rejonu ($5,57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Podobna tendencja zachowana była w materiale z rejonu Szydłowic z tym, że przy niższych wartościach, odpowiednio $3,74$ i $2,57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.

Pozostałe pierwiastki uwzględnione w badaniach własnych wykazały się średnim poziomem koncentracji, który nie przekraczał $1,00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. W pszczołach robotnicach z rejonu Szydłowic średnie stężenie ołowiu wynosiło $0,36$, niklu – $0,32$, a chromu – $0,21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 1). Odpowiedni poziom koncentracji metali w pszczołach z rejonu Wrocławia wynosił: ołowiu – $0,82$, niklu – $0,51$, a chromu – $0,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 2). Konfrontując wielkości stężeń uzyskane w badaniach własnych z danymi innych autorów prezentowanymi w dostępnej literaturze, należy stwierdzić, że są one znacznie niższe. Podawane przez Szymanowską-Bielawską (23) zawartości ołowiu w pszczołach wynosiły $2,18 \text{ mg/kg}$ s.m., a chromu $0,97 \text{ mg/kg}$ s.m. Madras-Majewska i Jasiński (11) wykazali zawartość ołowiu w pszczołach do $4,76 \text{ mg kg}^{-1}$, a inni autorzy (9, 14) przytaczają jeszcze wyższe stężenia ołowiu w organizmach pszczoł, które mieszczą się w przedziale od $12,00$ do 607 mg kg^{-1} s.m. (w rejonie hut ołowiu i cynku).

Jedynie kadm okazał się pierwiastkiem, którego wyższe stężenie odnotowano w pszczołach pochodzących z rejonu rolniczo-leśnego – $0,22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., tj. o ponad 83% więcej niż w pszczołach z rejonu wrocławskiego ($0,12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Podobna tendencja wystąpiła w przypadku trutni ($0,13$ Szydłowice i $0,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Wrocław) – tab. 1 i 2. Przyczyną tego stanu rzeczy może być zbyt duża podaż kadmu w rejonach rolniczych wraz z nawozami mineralnymi oraz środkami ochrony roślin, który z biegiem czasu ulega kumulacji w glebie

i roślinach (10). Przytoczone dane własne są porównywalne do publikowanych przez Szymanowską-Bielawską (23), która w pszczołach robotnicach wykazała zawartość kadmu na poziomie $0,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., jednak są znacznie niższe od podawanych przez Mullera i Agthe (13) – w pszczołach z rejonu nieuprzemysłowionego wykryli oni koncentrację kadmu w wysokości $0,45 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a z rejonu uprzemysłowionego (Niemcy) $1,51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Niestety, na temat zawartości pierwiastków śladowych w trutniach brakuje danych.

Selen zaliczany jest do biopierwiastków, mimo że jego wyższe stężenia mogą mieć wpływ toksyczny na organizm zwierząt. Pierwiastek ten wpływa na płodność zwierząt, dlatego jest bardzo ważny, zwłaszcza u zwierząt reprodukcyjnych. Dlatego też najprawdopodobniej w większym stopniu kumulowany jest w organizmie trutni, które w rodzinie pszczelej pełnią funkcje rozplodowe. Natomiast w organizmie pszczoł robotnic jest w niższych stężeniach, gdyż nie biorą one udziału w rozmnażaniu rodziny.

Uzyskane wyniki badań wykazały, że poziom kumulacji metali ciężkich w organizmie pszczoł robotnic był wyższy niż w organizmie trutni (tab. 3). Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska jest oczyszczanie surowca miodowego z części zanieczyszczeń mechanicznych (a łącznie z nimi także chemicznych) w trakcie jego przetwarzania na miód w wolu miodnym pszczoły robotnicy. Przedłożadek z wola miodnego wychwytuje zanieczyszczenia, przekazując je wraz z pokarmem do jelita środkowego, gdzie następuje trawienie pokarmu i wchłanianie do hemolimfy. W wyniku małej sprawności układu wydalniczego u pszczoł, znaczna część nieprzydatnych dla organizmu pierwiastków odkłada się w różnych tkankach i narządach wewnętrznych pszczoł.

Potwierdzają to wyniki badań świeżego nakropu i dojrzałego miodu, które dowodzą, że w nakropie było niższe stężenie metali ciężkich niż w dojrzałym miodzie (tab. 4). W odniesieniu do poszczególnych pierwiastków stopień redukcji zawartości tych metali był różny i wynosił 20,45% w przypadku ołowiu, 25,14% cynku, 26,23% miedzi oraz 36,36% w przypadku kadmu (tab. 5). Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy zawartością miedzi, cynku, kadmu i ołowiu w świeżym nakropie i dojrzałym miodzie (tab. 5). Wcześniejsze badania własne (18-20) wykazały taką samą

Tab. 4. Średnia zawartość badanych pierwiastków w nakropie i miodzie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.; $n = 10$; $\bar{x} \pm s$)

Termin pobrania próbek	Cu		Cd		Pb		Zn	
	nakrop	miód	nakrop	miód	nakrop	miód	nakrop	miód
20 maja	$0,81 \pm 0,48$	$0,52 \pm 0,34$	$0,15 \pm 0,11$	$0,11 \pm 0,07$	$0,39 \pm 0,19$	$0,29 \pm 0,16$	$2,89 \pm 1,17$	$1,97 \pm 0,69$
3 czerwca	$0,76 \pm 0,29$	$0,69 \pm 0,37$	$0,24 \pm 0,21$	$0,20 \pm 0,11$	$0,52 \pm 0,30$	$0,46 \pm 0,12$	$4,22 \pm 2,63$	$3,78 \pm 1,68$
17 czerwca	$1,64 \pm 0,77$	$1,14 \pm 0,92$	$0,37 \pm 0,25$	$0,17 \pm 0,13$	$0,44 \pm 0,06$	$0,41 \pm 0,34$	$1,69 \pm 0,85$	$1,20 \pm 0,92$
1 lipca	$1,92 \pm 0,95$	$1,37 \pm 0,71$	$0,20 \pm 0,12$	$0,15 \pm 0,11$	$0,25 \pm 0,06$	$0,16 \pm 0,13$	$2,15 \pm 1,56$	$0,87 \pm 0,37$
15 lipca	$0,98 \pm 0,97$	$0,78 \pm 0,44$	$0,13 \pm 0,09$	$0,09 \pm 0,04$	$0,59 \pm 0,20$	$0,43 \pm 0,27$	$6,36 \pm 3,61$	$5,12 \pm 2,47$

tendencję redukcji części stężenia wybranych metali ciężkich w trakcie przetwarzania surowca na miód przez pszczoły robotnice. Potwierdzili to także Jabłoński i wsp.

(7, 8), którzy, badając zawartość metali ciężkich w nektarze pochodzącym z roślin rosnących w różnych odległościach od szlaków komunikacyjnych i w miodzie z niego powstałym, udowodnili, że w miodzie było o ponad 20% mniej badanych pierwiastków niż w nektarze, z którego został zrobiony; przy czym wraz ze wzrostem stężenia metali w nektarze procent ich redukcji w miodzie był coraz wyższy. Jednak organizm pszczoły nie jest zabezpieczony przed nadmierną kumulacją metali ciężkich, które dostając się do niego, w większości są w nim odkładane. Zależność między zawartością metali ciężkich w miodzie i organizmach pszczoł robotnic w swojej pracy wykazali Pratt i Sikorski (16), którzy badając zawartość ołowiu w nektarze nawłoci i pszczołach robotnicach stwierdzili, że jeżeli w nektarze ołowiu było $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, to w pszczołach robotnicach odżywiających się miodem z tego nektaru było $1,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, a przy poziomie ołowiu $13,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ w nektarze w pszczołach wykazali oni $28,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$

Miód pszczeli jest produktem spożywczym i dlatego powinien spełniać rygorystyczne wymagania jakościowe, w tym najwyższego dopuszczalnego stężenia (NDS) niektórych metali ciężkich, jakie określa Polska Norma dla miodu pszczelego (15). Dlatego też ważne jest, aby pozyskiwać produkt o jak najwyższej jakości, jak najbardziej czysty pod względem toksykologicznym, do czego przyczyniają się same pszczoły robotnice. Wczesniejsze badania (17) wykonane w rejonie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, uważanego za obszar zdegradowany ekologicznie wykazały, że miód nawet z takiego środowiska może być produktem spełniającym wymagania Polskiej Normy, co jest niewątpliwie zasługą pszczoł robotnic.

Reasumując należy stwierdzić, że środowisko życia ma decydujący wpływ na poziom kumulacji pierwiastków śladowych o właściwościach toksycznych w organizmie pszczoł. W organizmie trutni wykazano wysoki poziom selenu, natomiast w organizmie pszczoł robotnic – niklu, chromu, kadmu i ołowiu. Organizm robotnicy pszczoły miodnej spełnia funkcję „filtra” odbierającego z surowca miodowego (w trakcie jego przetwarzania na miód) część zawartości pierwiastków szkodliwych dla zdrowia (od 20,45% do 36,36% w zależności od rodzaju pierwiastka).

Tab. 5. Redukcja (%) zawartości badanych pierwiastków ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) w surowcu miodowym ($n = 50$; $\bar{x} \pm s$)

	Cu		Cd		Pb		Zn	
	nakrop	miód	nakrop	miód	nakrop	miód	nakrop	miód
Maksimum	2,78	2,11	0,39	0,310	1,21	1,090	13,06	7,38
Minimum	0,09	0,02	0,01	0,002	0,01	0,005	0,23	0,14
$\bar{x} \pm s$	$1,22 \pm 0,47^A$	$0,90 \pm 0,31^B$	$0,22 \pm 0,09^A$	$0,14 \pm 0,04^B$	$0,44 \pm 0,12^A$	$0,35 \pm 0,11^B$	$3,46 \pm 1,68^a$	$2,59 \pm 1,62^b$
NDS	-	12,00	-	0,12	-	0,50	-	18,00
Redukcja	26,23 %		36,36 %		20,45 %		25,14 %	

Objaśnienia: a, b, A, B – średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie – małymi przy $p \leq 0,05$; dużymi przy $p \leq 0,01$ (oznaczono różnice pomiędzy nakropem i miodem)

Piśmiennictwo

1. Accorti M., Guardini R., Modi G., Persano-Oddo L.: Urban pollution and honey bees. *Apicoltura* 1990, 6, 43-55.
2. Balestra V., Celli G., Porrini C.: Bees, honey, larvae and pollen in biomonitoring of atmospheric pollution. *Aerobiologia* 1992, 8, 1, 122-126.
3. Curzydło J.: Skażenie koniczyny czerwonej ołowiem pochodzącym ze spalin samochodowych przy drogach regionu krakowskiego. Kraj. Konf. „Wpływ zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi na przyrodnicze warunki rolnictwa”, IUNG, Puławy 1978, cz. II, s. 89-95.
4. Dębowski M., Kucharzewski A.: Ocena zawartości metali ciężkich w glebach Dolnego Śląska. *Zesz. Prob. Postęp. Nauk Rol.* 1996, 434, 849-853.
5. Górecka H.: Wykorzystanie spektrometrii plazmowej w badaniach ekotoksykologicznych. *Ekologia i Technika* 1995, 2 (14), 11-13.
6. Hoffel I.: Schwermetallen in Bienen und Bienenprodukten. *Apidologie* 1985, 16, 196-197.
7. Jabłoński B., Koltowski Z.: Zanieczyszczenia nektaru, miodu i pyłku z roślin przydrożnych. *Pszczelarstwo* 1996, 47, 11, 10-11.
8. Jabłoński B., Koltowski Z., Marcinkowski J., Rybak-Chmielewska H., Szczętna T., Warakomska Z.: Zawartość metali ciężkich (Pb, Cd i Cu) w nektarze, miodzie i pyłku pochodzącym z roślin rosnących przy szlakach komunikacyjnych. *Pszczel. Zesz. Nauk.* 1995, 2, 129-144.
9. Jędruszek A.: Pszczoły i produkty pszczele jako wskaźniki zanieczyszczenia środowiska naturalnego. *Med. Wet.* 1987, 43, 6, 352-356.
10. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa 1993, 96-110, 126-149, 192-209.
11. Madras-Majewska B., Jasiński Z.: Lead content of bees, brood and bee products from different regions of Poland; *Journal of Apicultural Science* 2003, vol. 47, No. 2, 47-55.
12. Miguła P., Kafel A., Kędziński A., Marczak G., Nakonieczny M.: Metale ciężkie w roślinach, produktach i tkankach pszczoł z rejonów uprzemysłowionych. XXVIII Nauk. Konf. Pszczel., Puławy 1991, s. 17-18.
13. Muller S., Agthe O.: The honeybee as an indicator of the levels of lead and cadmium pollution at two locations. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 1988, 95, 8, 328-329.
14. Nikodemka E., Patryń O.: Przypadek zatrucia pszczoł odpadami przemysłowymi na terenie powiatu tarnogórskiego w województwie katowickim. *Medycyna Wet.* 1972, 28, 6, 358.
15. Polska Norma PN-88/A-77626 „Miód pszczeli”. *Dziennik Norm i Miar* nr 8/1988, poz. 19, Wyd. Normalizacyjne „ALFA” 1988.
16. Pratt C. R., Sikorski R. S.: Lead contents of wildflowers and honey bees (*Apis mellifera*) along a roadway: possible contamination of a simple food chain. *Proceedings of the Pennsylvania Academy of Science* 1982, 56 (2), 151-152.
17. Roman A.: Pszczoły i produkty pszczele jako bioindykatory skażenia środowiska w rejonie oddziaływania przemysłu miedziowego (LGOM) i cementowo-wapienniczego (Opole). *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Zoot.* 1997, 323, 175-195.
18. Roman A.: Miód pszczeli jako produkt finalny o zredukowanej zawartości metali ciężkich. *Środowisko a Zdrowie Dziecka, zbiór prac, Legnica* 2004, 114-118.
19. Roman A.: Zawartość metali ciężkich w nakropie i dojrzałym miodzie pszczelim. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Zoot.* LI 2004, nr 501, 297-302.
20. Roman A., Demeńczuk D.: Badania nad zawartością wybranych pierwiastków śladowych w świeżym nakropie i dojrzałym miodzie pszczelim. *Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, Seria Ogrodnictwo* 2003, zeszyt 25, 19-30.
21. Spiak Z.: Aktualny stan badań nad zagadnieniem nadmiaru metali ciężkich w glebach i roślinach. *Zesz. Prob. Postęp. Nauk Rol.* 1996, 434, 769-775.
22. Strusiński A.: Zanieczyszczenie środowiska ołowiem spalin samochodowych. Kraj. Konf. „Wpływ zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi na przyrodnicze warunki rolnictwa”, IUNG Puławy 1978, cz. II, s. 97-107.
23. Szymanowska-Bielawska K.: Zawartość związków mineralnych w ciele pszczoły miodnej (*Apis mellifica* L.). *Pszczel. Zesz. Nauk.* 1981, 25, 43-49.
24. Zobel J.: Zbiorcze opracowanie wyników pomiarów zanieczyszczeń pyłowych powietrza atmosferycznego w rejonie składowiska odpadów poplotacyjnych „Żelazny Most”. *Ekspertyza, PROAT Szczecin* 1992, cz. I, 5-12.

Adres autora: dr Adam Roman, ul. Chełmońskiego 38C, 51-630 Wrocław;
e-mail: adamr@ozi.ar.wroc.pl