

Danuta Kowalczyk-Pecka*, Katarzyna Czepiel-Mil*

**SYNANTROPIJNE ŚLIMAKI NIEOSKORUPIONE Z RODZAJU
ARION I DEROCERAS (GASTROPODA: PULMONATA) JAKO
BIOKONCENTRATORY METALI CIĘŻKICH**

**THE SYNANTHROPIC SLUGS OF ARION AND DEROCERAS GENERA
(GASTROPODA: PULMONATA) AS BIOCONCENTRATORS OF HEAVY
METALS**

Słowa kluczowe: ślimaki nieoskorupione, biowskaźniki, metale, bioakumulacja, kwasy tłuszczowe.

Key words: slugs, bioindicators, metals, bioaccumulation, fatty acids.

The lifetime of snails and slugs depend on biotope type and on the concentration of pollutants. Analyzing bioaccumulation of pollutants in snail and slugs tissues provides information on the presence of these factors in the environment. The subject of the investigation was an ecological role of the slugs of Arion and Deroceras genera (Gastropoda Pulmonata) as bioindicator organisms of pollution in urbanized biotopes. A comparison was drawn between the deposit levels of Zn, Cu, Fe, Cr, Pb and Cd in foot tissues and hepatopancreas of four taxons of slugs coming from locations of different anthropopression degrees within the city of Lublin. Because of the importance of this Mollusca in the food chain and the synanthropic behaviour, the land slugs were analyzed as potential vectors transferring and accumulating heavy metals. The differences in the contents of fatty acids in the tissues of the molluscs indicate the influence of the environmental pollutants under examination on their lipid metabolism. The results acquired by studying the digestive gland were of significant nalytical importance. It was recorded there is similar usefulness of snails and slugs in ecotoxicological investigations.

* Dr Danuta Kowalczyk-Pecka, dr Katarzyna Czepiel-Mil – Katedra Zoologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul.Akademicka 13, 20-950 Lublin; tel.: 81 4456962; e-mail: danakp@wp.pl, kasiamil@gmail.com

1. WPROWADZENIE

W badaniach toksyczności metali w naturalnych ekosystemach wielu autorów wykorzystywało gatunki mięczaków żyjących w wodach słonych i słodkich [Cravo i in. 2004, Liang i in. 2004]. Znane są zdolności ślimaków lądowych do akumulacji metali [Dallinger i Wieser 1984, Menta i Parisi 2001, Notten i in. 2005].

W prezentowanej pracy podjęto próbę oceny możliwości wykorzystania ślimaków z taksonów reprezentujących naturalną populację bezkręgowców synantropijnych, jako bio wskaźników zanieczyszczenia środowiska. Analizowano zawartość sześciu wybranych metali: Cr, Fe, Zn, Cu, Cd i Pb w tkankach stopy i w wątrobotrzustce ślimaków nieoskorupionych: *Deroceras (Deroceras) reticulatum*, *Deroceras (Deroceras) laeve*, *Arion (Carinarion) fasciatus* i *Arion (Mesarion) „subfuscus”*.

Z powodu ich skomplikowanego metabolizmu, szczegóły biochemicznych powiązań między zawartością metali w ciele ślimaków i otaczającym środowiskiem nie są jeszcze dostatecznie poznane. Poszukuje się w ciele ślimaków różnorodnych biomarkerów ekspozycji na polutanty, powstających na poziomie molekularnym i komórkowym [Dallinger i in. 2001]. Wykorzystanie kwasów tłuszczowych jako biomarkerów troficznych zostało odnotowane w badaniach ekosystemów wodnych [Freites i in. 2002; Durazo-Beltrán i in. 2004], ale ich potencjalne użycie w badaniach lądowych łańcuchów pokarmowych, w tym rozprzestrzeniania zanieczyszczeń, nie zostało dotychczas dokładnie zbadane [Chamberlain i in. 2005].

Niewiele jest opracowań dotyczących zawartości kwasów tłuszczowych w tkankach mięczaków lądowych, które są znaczącą i ważną częścią glebowego ekosystemu, dlatego celem pracy było również porównanie ilości podstawowych grup kwasów tłuszczowych w tkankach badanych taksonów.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Dorośle ślimaki nieoskorupione wykorzystane do badań pochodziły z naturalnych populacji czterech taksonów: *Deroceras (Deroceras) reticulatum* (Müller 1774) – pomrowik plamisty, *Deroceras (Deroceras) laeve* (Müller 1774) – pomrowik mały, *Arion (Carinarion) fasciatus* (Nilsson 1882) – ślinik przepasany, *Arion (Mesarion) „subfuscus”* (Draparnaud, 18050) – ślinik rdzawy [Wiktor 2004]. Synantropijne ślimaki zbierano ręcznie z siedliska o ograniczonym dostępie polutantów środowiskowych (N51°11'; E22°31') – w tekście to stanowisko oznaczono jako lokalizacja I – oraz z siedliska przy jezdni o dużym natężeniu ruchu drogowego (N51°12; E22°33') – oznaczone w tekście jako lokalizacja II. Analizowane miejsca były zarośnięte roślinnością ruderalną. Przeważały tu rośliny z rodzajów *Taraxacum*, *Capsella*, *Plantago*, *Urtica*, *Achillea* i in. Ślimaki zebrano jednorazowo, w lipcu 2010 r. Próbkę tkanek wątrobotrzustki i stopy mięczaków suszono przez 18 godzin w temperaturze 80°C, do uzyskania stałej suchej masy. Każda próba po zważeniu była umieszczana w 50%

HNO₃ i ostrożnie podgrzewana w bloku grzewczym w celu mineralizacji. Ostudzoną zawiesinę filtrowano (sączek Whatman 541) i uzupełniano do objętości 25 ml destylowaną dejonizowaną wodą. Zawartość metali analizowano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej w Centralnym Laboratorium Analitycznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Wyniki podawano w przeliczeniu na µg metalu na g suchej masy próby.

Po wstępnej preparatyce tkanek, ekstrahowano lipidy z wątrobotrzustki i stopy badanych ślimaków, stosując aparat Soxhleta. Estrы metylowe kwasów tłuszczowych uzyskano po saponifikacji tłuszczu KOH w metanolu i estryfikacji trójfluorkiem boru w metanolu. Do analizy uzyskanych prób wykorzystano chromatograf gazowy Varian 3800 z detektorem FID, z kolumną kapilarną CP-Wax 52CB o długości 60 m i średnicy wewnętrznej 0,25 mm, typ kolumny WCOT Fused Silica. Objętość wstrzykiwanej próby wynosiła 1 µl.

Wyniki zawartości (%) kwasów tłuszczowych w badanej próbie otrzymano stosując program Star GC Workstation, Version 6.30.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Negatywne zmiany pod wpływem różnych czynników środowiskowych zachodzą w pierwszej kolejności na niższych poziomach organizacji. Skuteczność stosowania biomonitoringu zależy między innymi od wyboru organizmów na jakich prowadzimy obserwacje. Analizowane taksony ślimaków nieoskorupionych są konsumentami pierwszego rzędu w łańcuchu troficznym [Cook i in. 2000, Frank 2003, Faberi i in. 2006, Geenen i in. 2006, McDonnell i in. 2011]. Dzięki temu można obserwować zmiany akumulacji metali ciężkich i innych polutantów we wczesnych stadiach rozprzestrzeniającego się skażenia środowiska.

Porównanie zawartości metali w tkankach czterech badanych synantropijnych ślimaków wykazało znaczącą zbieżność (tab. 1). Depozyt metali w wątrobotrzustce oraz tkankach stopy mięczaków znalezionych w środowisku o ograniczonym dostępie polutantów środowiskowych (lokalizacja I) był zbliżony u przedstawicieli rodzajów *Deroceras* i *Arion*. Stwierdzono, że w tkankach stopy czterech taksonów najmniejszy był depozyt ołowiu, największy natomiast – żelaza. Ilość zmagazynowanego cynku i miedzi w stopie ślimaków pochodzących z bardziej „czystego” siedliska była porównywalna. Zawartość Zn, Cr, Pb i Cd, w wątrobotrzustce mięczaków znalezionych w lokalizacji I była zdecydowanie większa niż w tkankach stopy, Fe – porównywalna, a miedzi – ponad dwukrotnie mniejsza. Depozyt cynku w wątrobotrzustce był prawie dziewięciokrotnie, a chromu i kadmu dwukrotnie większy niż w stopie wszystkich czterech ślimaków. Pomimo niewielkiej ilości gromadzonego przez mięczaki ołowiu, różnica jego zawartości w badanych tkankach była ponad siedemdziesięciokrotna na korzyść gruczołu trawiennego.

Tabela 1. Porównanie depozytu metali w ciele badanych taksonów ślimaków pochodzących z siedlisk o różnym stopniu antropopresji, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.**Table 1.** Comparison of metals deposit in the taxa of slugs body come from habitat with different degree of anthropopressure, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ DW

Metal	Takson	Lokalizacja I		Lokalizacja II	
		tkanki stopy	wątrobotrzustka	tkanki stopy	wątrobotrzustka
Zn	DR	138,23±3,88	1023,29±50,01	149,39±4,91	1189,58±50,98
	DL	123,78±2,97	1004,12±35,98	144,87±5,01	1201,09±46,87
	AF	133,07±3,12	1010,04±37,98	150,02±4,99	1178,93±49,79
	AS	128,97±3,01	1031,01±42,12	147,34±4,08	1192,23±39,07
Cu	DR	115,03±4,99	48,63±3,28	142,71±5,22	71,34±4,73
	DL	110,24±4,02	51,02±2,99	139,98±4,32	74,99±5,01
	AF	108,86±2,93	46,78±3,21	143,67±4,56	75,21±4,98
	AS	111,12±3,78	48,92±3,44	150,09±5,01	79,03±5,22
Fe	DR	224,12±9,44	257,72±10,04	248,85±6,07	300,96±8,76
	DL	214,77±8,64	246,88±9,98	230,02±5,23	295,34±8,63
	AF	220,01±9,56	251,24±9,43	250,82±5,54	305,25±9,77
	AS	207,27±9,03	239,97±10,01	237,21±4,28	299,21±8,78
Cr	DR	0,27±0,02	0,90±0,04	1,23±0,04	1,29±0,05
	DL	0,41±0,04	0,83±0,03	1,37±0,06	1,41±0,07
	AF	0,34±0,02	0,87±0,04	1,40±0,05	1,66±0,07
	AS	0,36±0,03	0,92±0,02	1,44±0,06	1,79±0,06
Pb	DR	0,005±0,001	0,361±0,013	0,062±0,003	0,552±0,044
	DL	0,005±0,001	0,344±0,09	0,057±0,003	0,523±0,035
	AF	0,007±0,002	0,375±0,026	0,055±0,006	0,571±0,065
	AS	0,007±0,003	0,371±0,018	0,071±0,007	0,601±0,054
Cd	DR	0,372±0,029	0,594±0,027	0,492±0,052	0,672±0,049
	DL	0,298±0,032	0,601±0,036	0,481±0,047	0,649±0,076
	AF	0,326±0,025	0,613±0,029	0,511±0,039	0,701±0,073
	AS	0,299±0,031	0,589±0,031	0,502±0,053	0,693±0,069

Objaśnienia: Pełne nazwy taksonów ślimaków: DR - *Deroceras (Deroceras) reticulatum*, DL - *Deroceras (Deroceras) laeve*, AF - *Arion (Carinarion) fasciatus*, AS - *Arion (Mesarion) „subfuscus”*, Lokalizacja I - siedlisko o ograniczonym dostępie polutantów środowiskowych, Lokalizacja II - siedlisko przy jezdni o dużym nasileniu ruchu, wartości średnie ± odchylenie standardowe, n=10; s.m. - sucha masa.

U ślimaków znalezionych w terenie bardziej zanieczyszczonym (lokalizacja II) zawartość analizowanych metali była większa we wszystkich przeprowadzonych próbach (tab. 1), co ewidentnie potwierdza rolę ślimaków nących w biokoncentracji metali w środowisku. Proporcjonalnie najefektywniej w tkankach stopy był gromadzony ołów i chrom. Stosunkowo niewielkie różnice między ślimakami pochodzącymi z obu lokalizacji odnotowano w przypadku żelaza i cynku oznaczonego w stopach. Również w biotopie potencjalnie bardziej zanieczyszczonym, wątrobotrzustki wszystkich taksonów ślimaków były miejscem koncentracji badanych metali. Prawie dwukrotnie mniejszy depozyt miedzi w gruczole trawiennym niż w tkankach stopy potwierdza jedynie zdolność wątrobotrzustki do eliminacji miedzi z organizmu, między innymi w formie mechanicznie usuwanych kapsułek silikon-

wych. Można przypuszczać, że biomagnifikacja pozostałych metali odbywa się w środowisku do momentu uruchomienia przez mięczaki procesów ograniczających pobieranie pokarmu, wchłanianie wody i kontakt z podłożem, czyli *de facto* redukujących do minimum zetknięcie z polutantem. Badania stężeń metali zakumulowanych przez różne grupy ślimaków wykazują, że gromadzą one pewne polutanty w większym zakresie w narządach wewnętrznych niż w nodze, co podkreśla przydatność niezależnej analizy tkanek stopy i wybranych narządów.

Przeprowadzona analiza depozytu metali w tkankach ślimaków nagich, pochodzących z siedlisk różniących się dopływem polutantów środowiskowych, jest zbieżna z próbami pozyskanymi wcześniej od ślimaków oskorupionych znalezionych na tych samych terenach [Kowalczyk-Pecka 2009].

Badania procesów bioakumulacji i dystrybucji metali w organizmach mięczaków nie zawsze dostarczają wystarczających wyjaśnień. Mechanizmy te zależą od dostępności pierwiastków i specyficznych różnic w wewnętrznych procesach fizjologicznych poszczególnych gatunków. Różnice w akumulacji metali w tkankach ślimaków zależą zapewne od rozmiarów ciała, wieku i pory roku, warunkującej parametry fizykochemiczne środowiska.

Na tle przedstawionych zawartości metali w tkankach badanych ślimaków bardzo interesujące są wyniki analizy grup kwasów tłuszczowych w analogicznych narządach, wskazujące na wpływ przedstawionych pierwiastków na gospodarkę lipidową bezkręgowców (tab. 2). W siedlisku o niewielkim dopływie polutantów (lokalizacja I) w tkankach stopy stwierdzono większą zawartość nasyconych (SFA), nasyconych rozgałęzionych (iso+anteiso) i wielonienasyconych (PUFA) kwasów tłuszczowych niż w wątrobotrzustce mięczaków. Jednak w wątrobotrzustce stwierdzono prawie dwukrotnie więcej kwasów mononienasyconych (MUFA) niż w stopie. Analizując próby pochodzące z lokalizacji II, zarówno w tkankach stopy, jak i wątrobotrzustki stwierdzono zmniejszenie ilości nasyconych i mononienasyconych kwasów tłuszczowych i zwiększenie zawartości nasyconych rozgałęzionych i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. Procentowa zawartość kwasów wielonienasyconych w stopie zwiększyła się o około 10, a w wątrobotrzustce – o 16–17 punktów.

Wyniki analizy grup kwasów tłuszczowych są częściowo zaskakujące ze względu na odnotowane zwiększenie ilości kwasów wielonienasyconych w tkankach ślimaków pochodzących ze środowiska bardziej zanieczyszczonego. Stres środowiskowy, w tym wpływ polutantów na organizm, powoduje uruchomienie mechanizmów oksydacyjnych, między innymi tworzenie reaktywnych form tlenu i azotu [Chandran i in. 2005]. W konsekwencji, procesy tego typu prowadzą do peroksydacji lipidów, między innymi wchodzących w skład błon komórkowych. Jednak w przypadku długiego podprogowego działania czynników szkodliwych, narażone organizmy aktywizują mechanizmy obronne, produkując enzymatyczne i nieenzymatyczne czynniki antyoksydacyjne, które niwelują w sprzyjających warunkach skutki stresu.

Tabela 2. Porównanie zawartości kwasów tłuszczowych w tkankach ślimaków pochodzących z siedlisk o różnym stopniu antropopresji**Table 2.** Comparison of fatty acid content in the tissues of slugs from habitat with different degree of anthropopressure

Kwasy tłuszczowe	Takson	Lokalizacja I		Lokalizacja II	
		tkanki stopy	wątrobrzuszka	tkanki stopy	wątrobrzuszka
ΣSFA	DR	33,04±1,88	29,34±1,28	27,98±1,77	26,02±1,25
	DL	36,11±2,72	30,21±2,01	27,61±1,69	26,14±1,02
	AF	34,99±1,99	30,89±1,76	28,02±1,94	27,18±1,42
	AS	36,07±2,05	29,99±1,98	28,99±1,63	26,11±1,22
Σiso+anteiso	DR	1,84±0,22	1,53±0,31	2,46±0,39	3,47±0,49
	DL	1,73±0,45	1,31±0,35	2,37±0,40	3,29±0,51
	AF	1,91±0,67	1,50±0,41	2,24±0,47	3,71±0,57
	AS	1,83±0,42	1,39±0,33	2,35±0,51	3,55±0,49
ΣMUFA	DR	17,52±1,04	32,89±1,23	14,52±0,87	16,78±1,34
	DL	17,29±1,11	32,67±1,12	15,02±0,92	17,98±1,28
	AF	18,89±1,27	31,04±1,30	14,79±0,77	17,12±1,41
	AS	18,01±1,25	32,21±1,19	14,37±0,81	17,55±1,44
ΣPUFA	DR	46,60±2,98	36,24±2,57	55,04±3,05	53,73±2,87
	DL	44,87±3,01	35,81±2,34	55,00±3,11	52,59±2,66
	AF	45,21±3,22	36,57±2,09	54,95±2,97	51,99±2,54
	AS	44,09±2,87	36,41±2,21	54,29±2,85	52,79±2,73

Objaśnienia: Rezultaty wyrażono jako procentową część estrów metylowych wszystkich kwasów tłuszczowych; SFA – nasycone kwasy tłuszczowe; iso+anteiso – nasycone rozgałęzione kwasy tłuszczowe; MUFA – jednonienasycone kwasy tłuszczowe; PUFA – wielonienasycone kwasy tłuszczowe. Pozostałe oznaczenie jak w tab. 1.

Miedź, podobnie jak cynk, ma szerokie spektrum biologicznej aktywności i jego brak może być związany z różnymi zaburzeniami normalnego komórkowego metabolizmu. Metale, przez stymulację procesów peroksydacji, mogą zmieniać fizjologię lizosomów gruczołów trawiennych. Lipofuscyna, będąca efektem peroksydacji wielonienasyconych kwasów tłuszczowych błon komórkowych przez wolne rodniki, może odkładać się także w innych narządach. Tak więc – pośrednio – metale typu cynku i miedzi mogą, stymulując procesy peroksydacji, wpływać na zmiany gospodarki lipidowej [Chandran i in. 2005].

Niewielu badaczy interesuje się analizą zmian jakościowych i ilościowych składu kwasów tłuszczowych bezkręgowców zajmujących lądowe ekosystemy. Specyficzne kwasy tłuszczowe mogą być użyte w celu zidentyfikowania preferowanego źródła pokarmu na różnych poziomach troficznych [Milinsk i in. 2006]. Ich biologiczna specyficzność może czynić kwasy tłuszczowe odpowiednimi biomarkerami zmian środowiskowych, w tym zmian stężenia polutantów, na które są narażone mięczaki.

Istotne jest badanie mechanizmów toksyczności poszczególnych polutantów, ponieważ zatrucie środowiska przez metale ciężkie spowodowane działalnością rolniczą i procesa-

mi chemicznymi zachodzącymi w przemyśle, bezpośrednio oddziałuje na organizmy żywe [Triebkorn i Köhler 1996, de Pirro i Marshall 2005]. Poszukiwania lądowych organizmów biowskaźnikowych należących do bezkręgowców – w tym ślimaków – wymagają kontynuacji i są w pełni uzasadnione [Gomot de Vaufleury i Pihan 2000, Zödl i Wittmann 2003].

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza zawartości metali u czterech gatunków ślimaków zbieranych w ich naturalnych siedliskach nie wykazała znaczących różnic w akumulacji metali między blisko spokrewnionymi filogenetycznie gatunkami.

Przedstawione wyniki analiz zawartości metali w tkankach ślimaków nieoskorupionych zdecydowanie wskazują na użyteczność synchronicznych badań wielu taksonów bezkręgowców w poszukiwaniu biomarkerów stanu środowiska przyrodniczego. Zbliżone parametry środowiskowe definiują określony status zarówno organizmów biowskaźnikowych, jak i zależności ekologicznych. Przedstawione taksony ślimaków poszerzają spektrum dostępnych organizmów, które z powodzeniem mogą być wykorzystywane zarówno *in vivo*, jak i w doświadczeniach *in vitro* w dochodzeniach ekotoksykologicznych.

Wyniki pracy potwierdzają zdolności ślimaków lądowych do gromadzenia metali w tkankach i wskazują, że – mimo różnic w dynamice metabolizmu lipidów – zarówno analiza prób wątrobotrzustki, jak i tkanek stopy ślimaków może być przydatna w monitoringu naturalnych populacji bezkręgowców żyjących w biotopach zurbanizowanych.

Podziękowania. Składam serdeczne podziękowania Stanisławowi Pecce z Instytutu Żywności Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie za ogromną pomoc w przygotowaniu tej pracy.

PIŚMIENNICTWO

- CHAMBERLAIN P. M., BULL L. D., BLACK H. I. J., INESON P., EVERSHERD R. P. 2005. Fatty acid composition and change in *Collembola* fed differing diets: identification of trophic biomarkers. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1608–1624.
- CHANDRAN R., SIVAKUMAR A. A., MOHANDASS S., ARUCHAMI M. 2005. Effect of cadmium and zinc on antioxidant enzyme activity in the gastropod, *Achatina fulica*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 140: 422–426.
- COOK R.T., BAILEY S.E.R., McCROHAN C.R., NASH B., WOODHOUSE R.M. 2000. The influence of nutritional status on the feeding behaviour of field slug, *Deroceras reticulatum* (Müller). *Animal Behaviour* 59: 167–176.
- CRAVO A., BEBIANNO M. J., FOSTER P. 2004. Partitioning of trace metals between soft tissues and shells of *Patella aspera*. *Environment International* 30: 87–98.

- DALLINGER R., WIESER W. 1984. Patterns of accumulation, distribution and liberation of Zn, Cu, Cd and Pb in different organs of the land snail *Helix pomatia* L. *Comparative Biochemistry and Physiology* 79 C:117–124.
- DALLINGER R., BERGER B., TRIEBSKORN-KÖHLER R., KÖHLER H. 2001. Soil biology and ecology. In: Barker G. (ed.) *Biology of Terrestrial Mollusc* CABI Publishing, Cambridge: 489–524.
- DURAZO-BELTRÁN E., VIANA M.T., D'ABRAMO L.R., TORO-VAZQUEZ J. F. 2004. Effects of starvation and dietary lipid on the lipid and fatty acid composition of muscle tissue of juvenile green abalone (*Haliotis fulgens*). *Aquaculture* 238: 329–341.
- FABER A.J., LÓPEZ A.N., MANETTI P.L., CLEMENTE N.L., ÁLVAREZ CASTILLO H.A. 2006. Growth and reproduction of the slug *Deroceras laeve* (Müller) (Pulmonata: Stylommatophora) under controlled conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 4 (4): 345–350.
- FRANK T. 2003. Influence of slug herbivory on the vegetation development in an experimental wildflower strip. *Basic and Applied Ecology* 4: 139–147.
- FREITES L., FERNANDEZ-REIRIZ M.J., LABARTA U. 2002. Fatty acid profiles of *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) mussel of subtidal and rocky shore origin. *Comparative Biochemistry and Physiology B* 132: 453–461.
- GEENEN S., JORDAENS K., BACKELJAU T. 2006. Molecular systematics of the *Carinari* complex (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata): a taxonomic riddle caused by a mixed breeding system. *Biological Journal of the Linnean Society* 89: 589–604.
- GOMOT DE VAUFLEURY A., PIHAN F. 2000. Growing snails used as sentinels to evaluate terrestrial environment contamination by trace elements. *Chemosphere* 40: 275–284.
- KOWALCZYK-PECKA D. 2009. Rola naturalnej populacji *Arianta arbustorum* (Gastropoda: Pulmonata) w transferze i bioakumulacji metali ciężkich w ekosystemach zurbanizowanych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 41: 22–31.
- LIANG L.N., HE B., JIANG G.B., CHEN D.Y., YAO Z.W. 2004. Evaluation of mollusks as bio-monitors to investigate heavy metal contaminations along the Chinese Bohai Sea. *Science of the Total Environment* 324: 105–113.
- McDONNELL R.J., RUGMAN-JONES P., BACKELJAU T., BREUGELMANS K., JORDAENS K., STOTHAMER R., PAINE T., GORMALLY M. 2011. Molecular identification of the exotic slug *Arion subfuscus* sensu stricto (Gastropoda: Pulmonata) in California, with comments on the source location of introduced populations. *Biological Invasions* 13: 61–66.
- MENTA C., PARISI V. 2001. Metal concentrations in *Helix pomatia*, *Helix aspersa* and *Arion rufus*: a comparative study. *Environmental Pollution* 115: 205–208.
- MILINSKI M., PADRE R.G., HAYASHI C., OLIVEIRA C.C., VISENTAINER J.V., SOUZA N.E., MATSUSHITA M. 2006. Effects of feed protein and lipid contents on fatty acid profile of snail (*Helix aspersa maxima*) meat. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 212–216.

- NOTTEN M.J.M., OOSTHOEK A.J.P., ROZEMA J., AERTS R., 2005. Heavy metal concentrations in a soil – plant-snail food chain along a terrestrial soil pollution gradient. *Environmental Pollution* 138: 178–190.
- de PIRRO M., MARSHALL D.J. 2005. Phylogenetic differences in cardiac activity, metal accumulation and mortality of limpets exposed to copper: A prosobranch-pulmonate comparison. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 322: 29–37.
- TRIEBSKORN R., KÖHLER H.-R. 1996. The impact of heavy metals on the grey garden slug, *Deroceras reticulatum* (Müller): metal storage, cellular effects and semi-quantitative evaluation of metal toxicity. *Environmental Pollution* 93(3): 327–343.
- WIKTOR A. 2004. Ślimaki lądowe Polski. Mantis, Olsztyn.
- ZÖDL B., WITTMANN K.J. 2003. Effects of sampling, preparation and defecation on metal concentrations in selected invertebrates at urban sites. *Chemosphere* 52: 1095–1103.