

PETER HRDLIČKA¹, EMANUEL KULA²,
JADWIGA M. ZĄBECKA³

Zawartość wybranych pierwiastków w roślinach pokarmowych i w gąsienicach zwójki żywiczneczki (*Retinia resinella* L.)

The content of selected elements in food plants
and in caterpillars of the *Retinia resinella* L. moth

Wstęp

Imisje przemysłowe oddziałują na roślinożerne owady głównie na skutek zaburzeń fizjologicznych jakie zachodzą w roślinach. Niektóre gatunki owadów reagują dodatnio już na niski poziom koncentracji np. SO₂, nim pojawią się widoczne uszkodzenia roślin [6,23]. Jednocześnie toksyczne imisje wpływają negatywnie na parazytoidy. Są one uważane za bardziej czułe na skażenie środowiska niż fitofagi [9,10]. Również okazało się, że niektóre fitofagi bardziej tolerują imisje niż ich rośliny żywicielskie [10,11]. Dotyczy to zwłaszcza gatunków, między innymi zwójek, o ograniczonym bezpośrednim kontakcie z toksycznymi substancjami.

W warunkach skażonego środowiska rozwój populacji gatunku jest zależny od bionomii, sposobu życia, czasu i miejsca rozwoju gatunku, rodzaju i poziomu skażenia, zdolności wydalania lub akumulowania obcych substancji [2].

Niektóre gatunki motyli są wykazywane jako typowe szkodniki w lasach uszkodzanych przez imisje. Do tej grupy zaliczono *Epinotia pygmaeana* Hüb., *Zeiraphera diniana* Hüb., *Operophtera brumata* L. [3], *Exoteleia dodecella* L. [12], *Rhyacionia buoliana* (Den. & Schiff.), *Retinia resinella* L. [14]. Już Templin [27] stwierdził, że nawet niski poziom SO₂ przyczynia się do zwiększania gęstości populacji niektórych drobnych motyli żerujących

¹ Zakład Chemii i Biochemii, Wydział Agronomiczny, MZLU w Brnie, Zemědělska 1, 61300 Brno, Czeska Republika

² Zakład Ekologii Lasu, Wydział Leśny i Drzewny, MZLU w Brnie, Zemědělska 1, 61300 Brno, Czeska Republika

³ Zakład Ochrony Lasu, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, Polska

na sosnach. Potwierdził to Sierpiński [26] oraz Hagvar i in. [12]. Jeszcze wcześniej Kangas [18] zauważył, że *R. resinella* reaguje dodatnio na imisje, a także Villemant [28] dowodząc, że gęstość populacji *R. resinella* była większa na powierzchniach z wyższym poziomem SO₂ i fluoru niż na obszarach wolnych od wpływu imisji.

Heliövaara [13] analizował śmiertelność gąsienic w żywicznych gałkach *R. resinella* zebranych z sosen na transektach położonych w różnych odległościach od źródeł emisji. Stwierdził, że jest ich pięciokrotnie więcej w bezpośredniej bliskości źródła emisji niż na powierzchniach położonych w dalszej odległości. Również wykazał, że najwięcej żywicznych gałek, w których zwójki dokończyły rozwój, było na transekcie w najmniej skażonej strefie.

R. resinella jest szkodnikiem młodych sosnowych drzewostanów. Gąsieniczka rozwija się dwa lata pod osłoną żywicznej gałki, gdzie ogryza korę i łyko na obwodzie wnętrza gałązki. Żerowanie gąsienic może powodować 30% straty w długości przyrostu młodego pędu [20] lub jego zamieranie [25].

Celem pracy było:

- określenie poziomu kumulacji w materiale roślinnym – igłach i w łyku wraz z korą; wybranych pierwiastków, mikroelementów (Zn, Cu) oraz metali ciężkich (Pb, Cd),
- przenikanie tych pierwiastków do ciał gąsienic *R. resinella* w różnych obszarach skażenia imisjami środowisk leśnych,
- zbadanie ewentualnego wpływu stężenia wymienionych pierwiastków na masowe pojawy *R. resinella* w terenach będących pod wpływem imisji przemysłowych.

Material i metoda

Materiał do badań pobierano w młodnikach, na dwóch powierzchniach położonych na Wysoczyźnie Deczyńskiej, przylegającej do Rudaw (Czechy) i na czterech powierzchniach w okolicach Olkusza (Polska), położonych w określonych odległościach od głównych emitorów zanieczyszczeń. Obie powierzchnie na Wysoczyźnie Deczyńskiej znajdowały się w odległości 60-80 km od kompleksu zakładów, głównie elektrowni i zakładów chemicznych, emitujących przede wszystkim SO₂. Badany materiał stanowiły pędy sosny z gałkami żywicznymi zasiedlonymi przez *R. resinella* zbierane wiosną 1994 roku. Z kolei w laboratorium wyjmowano z żywicznych gałek gąsienice lub poczwarki *R. resinella*. Jednocześnie pobierano próbki kory wraz z łykiem oraz igły z dwuletnich pędów, w których żerował szkodnik. Gąsienice oraz poczwarki przeznaczono do chemicznej analizy. Ważono, a następnie suszono je przez trzy godziny w temperaturze 105°C. Po wysuszeniu gąsienice lub poczwarki ponownie ważono. Podobnie wysuszono próbki kory i igieł po czym mineralizowano je aparatem APION, aby uzyskać standardowe warunki [8]. Analizę ciężkich metali przeprowadzono atomowym spektrometrem absorpcyjnym AAS firmy Unicam typ PU 2900/X. Koncentrację metali (Zn i Cu) ustalono techniką płomieniową, a w przypadku Cd i Pb wykorzystywano kwarcową czułą rurkę STAT (Slotted tube atom trap). Równolegle wykonywano analizę na grafitowej kuwecie. Uzyskane dane oceniono

stosując analizę korelacyjną (dla wskaźnika $\alpha=0,05$). W zestawieniu wskaźników korelacji zamieszczono tylko wartości istotne.

Aby porównać poziom zawartości pierwiastków w ciałach gąsienic, jako wartość wyjściową przyjęto wielkości uzyskane na terenie Finlandii przez Heliövaara i in. [15], w drzewostanach wolnych od wpływu emisji oraz w drzewostanach pod wpływem emisji pochodzących z zakładów hutniczych. Poziom zawartości Cu, Zn w igłach sosny porównano z wynikami Hofmanna, Kraussa [16], zawartość Cd – z rezultatem badań Kabata-Penaias, Piotrowskiej [17], natomiast obecność Pb z danymi uzyskanymi przez Alloway [1].

Charakterystyka terenu

Drzewostany sosnowe, w których zbierano materiały z terenu Czech, położone były na Wysoczyźnie Deczyńskiej, w rejonie Śnieżnika (CZ-I) i Ostrowia (CZ-II). Rosły one w terenie wyżynnym na wysokości 540-590 m n.p.m. w chłodnym klimacie. Obszar ten zaliczony był do strefy średniego i silnego zagrożenia w wyniku długookresowego wpływu emisji, z dominującym wpływem związku SO_2 . Średnia roczna koncentracja SO_2 dla okresu badań osiągnęła wartość $34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ze średnimi dziennymi maksymalnymi wartościami $258 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. W sezonie wegetacyjnym średnie dzienne stężenie było niższe i tak dla SO_2 wynosiło $29 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, NO_x – $19 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a opad pyłu wynosił $53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Natomiast średnia miesięczna rozpiętość stężenia kształtowała się dla SO_2 47-99 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, NO_x 24-82 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, proch 78-140 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 1).

TABELA 1
Położenie i charakterystyka powierzchni

| Powierzchnia | Symbole powierzchni | Imisje dominujące | Odległość od źródła emisji | Wysokość n.p.m. (m) |
|--------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------|
| CZECHY | | | | |
| Śnieżnik | CZ-I | SO_2 | 60-80 km | 600 |
| Ostrów | CZ-II | SO_2 | 60-80 km | 560 |
| POLSKA | | | | |
| Bukowno | PL-I | SO_2 , metale ciężkie | 1 km | 300-350 |
| Bolesław | PL-II | SO_2 , metale ciężkie | 1 km | jw. |
| Klucze | PL-III | SO_2 , metale ciężkie | 5 km | jw. |
| Olkusz | PL-IV | SO_2 , metale ciężkie | 10 km | jw. |

Z terenu Polski materiały do analiz zbierano w Nadleśnictwie Olkusz. Silny wpływ emisji z hut metali kolorowych w okolicy Olkusza charakteryzował się następującym poziomem wartości zanieczyszczeń: Pb 178 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, Cd 5,5 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, Mn 31 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, Fl 0,92 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, NH_3 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, SO_2 28 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, pył 108 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i NO_x 31 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w drugim kwartale 1994 roku [4]. Pobrane materiały z terenu Nadleśnictwa Olkusz, z powierzchni w Bukownie (PL-I) i w Bolesławiu (PL-II), pochodzą z drzewostanów usytuowanych około 1 km od huty cynku i ołowiu. Próbkę z powierzchni w Kluczach (PL-III) zebrano w drzewostanie położonym

około 5 km od huty, lecz w bliskości zakładów celulozowych; próbka z powierzchni z okolicy Olkusza (PL-IV) pochodzi z drzewostanu znajdującego się 10 km od źródła emisji ciężkich metali (tab. 1).

Wyniki i dyskusja

Sposób życia gąsienic pod osłoną żywicznych gałek chroni je przed bezpośrednim kontaktem z toksycznymi związkami. Decydującą rolę w kumulowaniu w ciałach gąsienic pierwiastków odgrywa pożywienie. Częściowo gąsienice potrafią pozbywać się spożytych toksycznych substancji wraz z linieniem lub ekskrementami. Pozostaje jednak pytanie czy na tyle skutecznie, aby nie dochodziło do ich kumulacji ponad poziom uznany za normalny?

Stwierdzone poziomy zawartości wybranych pierwiastków, to jest kadmu, miedzi, ołowiu i cynku w gąsienicach *R. resinella*, w korze i w łyku pędów sosny, a także w jej igłach zamieszczono w tabeli 2.

Toksyczny poziom koncentracji kadmu w roślinach, prowadzący do ich uszkodzeń, podają Kabata-Penaias, Piotrowska [17]. Wynosi on $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. W igłach pobranych z powierzchni w rejonie Śnieżnika zawartość Cd wahała się w granicach wartości normalnych (tab. 2), które przyjmowane są w zakresie wartości $0,01$ do $0,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [17]. W igłach z terenu Olkusza przekroczone zostały wartości w materiale zebrany z powierzchni PL-III, ale w stosunkowo niewielkim stopniu ($0,380 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Na pozostałych powierzchniach natomiast stwierdzono bardzo wyraźne przekroczenie poziomu przyjętego za normalny. Wartości te kształtowały się w granicach od $1,070$ do $1,880 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Zawartość kadmu w 1994 roku była jednak zdecydowanie mniejsza w igłach sosen z terenu Olkusza w porównaniu do stanu z początku lat osiemdziesiątych. Wówczas poziom zawartości kadmu w omawianym terenie wynosił powyżej $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [17]. Wysoki poziom kadmu nie może być zaskoczeniem w tym terenie, ponieważ okolice Olkusza znajdują się pod długotrwałym wpływem imisji pochodzących z hut produkujących cynk. Ubocznym efektem produkcji jest zwiększona emisja kadmu do atmosfery [21,24].

Badania składu chemicznego kory wykazały wysokie zróżnicowanie poziomu zawartości kadmu w korze na poszczególnych powierzchniach. Od najniższych w rejonie Wierzchowiny Deczyńskiej $0,270 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ i $0,440 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ do $10,33 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ w rejonie Olkusza (tab.2). Nie jest możliwe porównanie uzyskanych wartości z poziomem normalnym ze względu na brak informacji w literaturze na ten temat.

Zawartość kadmu w ciałach gąsienic z Czech wynosiła od $0,182 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (CZ-I) do $0,277 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (CZ-II). W gąsienicach z terenu Olkusza zawartość kadmu wahała się od $0,470 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ do $1,216 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Zawartość kadmu w gąsienicach zebranych z terenów nie obciążonych emisjami wynosiła przeciętnie $0,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [15]. W zebranych materiałach w ramach niniejszej pracy wartości kadmu, w stosunku do poziomu $0,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ uznanego za normalny [15], były wyraźnie przekroczone we wszystkich próbkach z terenu Olkusza od 2 do 6-krotnie. Wraz ze wzrostem odległości od źródła emisji jego zawartość malała (tab. 2). Zawartość kadmu w ciałach gąsienic z terenu CZ-II była tylko na jednej powierzchni umiarkowanie wyższa niż to miało miejsce w terenach wolnych od imisji. Porównując otrzymane wyniki z uzyskanymi z obszaru Finlandii należy stwierdzić, że z wyjątkiem

TABELA 2

Zestawienie zawartości pierwiastków ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) w roślinach pokarmowych i w gąsienicach zwójki żywicznaczki (*R. resinella* L.)

| Powierzchnia | Zestawienie poszczególnych pierwiastków w badanym materiale* | | | | | | | | | | | |
|--------------|--|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | Cd1 | Cd2 | Cd3 | Cu1 | Cu2 | Cu3 | Pb1 | Pb2 | Pb3 | Zn1 | Zn2 | Zn3 |
| CZ-I | 0,182 | 0,170 | 0,440 | 9,430 | 2,860 | 5,730 | 0,292 | 2,760 | 15,890 | 93,650 | 46,760 | 61,360 |
| CZ-II | 0,277 | 0,170 | 0,270 | 8,535 | 2,520 | 4,490 | 0,446 | 1,980 | 10,190 | 94,210 | 28,470 | 44,580 |
| PL-I | 1,216 | 1,480 | 10,330 | 12,263 | 3,790 | 21,060 | 1,376 | 76,470 | 744,660 | 113,877 | 311,580 | 715,110 |
| PL-II | 1,020 | 1,880 | 5,260 | 9,687 | 2,640 | 12,250 | 1,374 | 21,840 | 260,735 | 96,343 | 285,480 | 331,865 |
| PL-III | 0,470 | 0,380 | 1,860 | 8,940 | 3,260 | 9,930 | 0,435 | 13,770 | 104,110 | 105,435 | 117,360 | 157,940 |
| PL-IV | 0,940 | 1,070 | 3,280 | 10,340 | 2,710 | 9,460 | 0,121 | 10,720 | 103,840 | 118,200 | 181,990 | 152,600 |

* 1 – w gąsienicach; 2 – w igłach 3 – w łyku wraz z korą

próbek PL-I i PL-II (odległość 1 km od źródła zanieczyszczeń) nie osiągnęły one poziomu obciążenia jakie stwierdził w ciałach gąsienic pobranych ze skażonego terenu Heliövaara i in. [15], tj. 1,0 do 1,9 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Wartości współczynników korelacji wskazują, że zachodzi zależność między zawartością kadmu w korze i gąsienicach, a także w igłach i gąsienicach (tab. 3). Przemawia to za przenoszeniem kadmu wraz z pokarmem do ciał gąsienic.

Poziom zawartości miedzi w tkankach może decydować o zakłóceniach w procesach biochemicznych zachodzących w roślinie. Mogą one doprowadzać do zmniejszenia jej przyrostu. Według Hoffmanna i Krausa [16] optymalna zawartość miedzi w igłach jest w granicach od 3,0 do 4,8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. W igłach z terenu Czech i Polski poziomy zawartości miedzi były wyrównane, lecz bliższe dolnej granicy przedziału optymalnego, lub nieznacznie poniżej tej granicy (tab. 2). Zawartości miedzi w korze pochodzącej z Czech były wyraźnie niższe niż z terenu Polski, gdzie wykazywały znaczne wahania. Zawartość miedzi w pobliżu źródła emisji była wysoka (PL-II: 12,250 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, PL-I nawet do 21,060 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Poziom miedzi w ciałach gąsienic z Czech wynosił od 8,535 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (CZ-II) do 9,430 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (CZ-I). W gąsienicach pobranych z okolic Olkusza poziom ten był zbliżony na dwóch powierzchniach PL-III i PL-II (8,940 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 687 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), a wyższy na powierzchniach PL-IV i PL-I (10,340 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ i 12,263 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Porównując uzyskane wartości z Czech i Polski z wynikami podawanymi przez Heliövaara i in. [15] z Finlandii - 5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ na powierzchniach wolnych od wpływu imisji i 20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ - 60 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ w terenach skażonych - należy stwierdzić, że są one wyższe niż w obszarach wolnych od imisji, lecz znacznie niższe niż na skażonych powierzchniach fińskich. Wyliczony wskaźnik korelacji między zawartością miedzi w ciałach gąsienic, a w korze i w łyku potwierdza istnienie takiego związku (tab. 3). Korelacja ta dowodzi, że miedź jest przyswajana przez gąsienice z pożywieniem. Korelacja nie zachodzi natomiast między poziomem miedzi w ciałach gąsienic i w igłach (tab. 3). Można wnioskować, że zawartość miedzi w igłach nie ma znaczenia dla gąsienic *R. resinellai*.

Badania w ciałach gąsienic i w materiale roślinnym zawartości kolejnego pierwiastka - ołowiu - który jest nie tylko słabiej transportowany w roślinach niż Cd i Zn, ale i mniej fitotoksyczny od nich [19], wykazały wyraźne różnice jego poziomu w próbkach pocho-

TABELA 3
Zestawienie istotnych statystycznie wartości współczynników korelacji zawartości pierwiastków w badanym materiale

| Pierwiastki w * | Cd1 | Cu1 | Pb2 | Zn2 |
|-----------------|--------|-------|--------|--------|
| Cd2 | 0,9298 | | | |
| Cd3 | 0,9016 | | | |
| Cu3 | 0,8574 | 0,894 | | |
| Pb3 | | | 0,9957 | |
| Zn3 | | | | 0,9704 |

* 1 - w gąsienicach, 2 - w igłach, 3 - w łyku wraz z korą

dzących z poszczególnych powierzchni. W igłach, w których poziom Pb wynosi zazwyczaj od 2 do 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [1], na Wysoczyźnie Deczyńskiej był stwierdzony w dolnej granicy (2,760 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ – CZ-I) lub poniżej (1,980 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ – CZ-II). W rejonie Olkusza, z wyjątkiem jednej powierzchni, na której ołów osiągał poziom górnej granicy tj. 10,720 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, (PL-IV) wartości ekstremalne były wyraźnie przekroczone np. na powierzchni PL-I, gdzie osiągnęły one wysokość 76,470 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (tab. 2). W próbkach kory i łyka pobranych z powierzchni w Czechach zawartość ołowiu była pięć razy większa niż w igłach. W Polsce natomiast dziesięciokrotnie. Z publikacji wiadomo, że w okolicach Olkusza był wyraźnie zwiększony poziom ołowiu w igłach sosny. Poziom ten osiągał stan wyższy niż uznawany poziom toksyczny 30 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [7]. W ciałach gąsienic zebranych na badanych powierzchniach w Czechach stwierdzone zawartości ołowiu wahały się od 0,292 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (CZ-I) do 0,446 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (CZ-II). W Polsce, w okolicach Olkusza zawartość ołowiu wynosiła od 0,121 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (PL-IV, 10 km od źródła emisji) do 1,376 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (PL-I, 1 km od źródła emisji). W pobliżu źródła emisji na obszarze Olkusza zawartość Pb była w przybliżeniu trzy razy wyższa niż na powierzchni w Ostrowie (pow. CZ-II). Wartość ołowiu w ciałach gąsienic przyjęta za normę przez Heliövaara i in. [15] wynosi 0,15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Poziom ten został przekroczony w ciałach gąsienic na wszystkich powierzchniach w rejonie Olkusza z wyjątkiem powierzchni PL-IV. Tym samym wartości te lokowały się w przedziale wykazanym przez Heliövaara i in. [15] dla obszarów znajdujących się pod wpływem emisji na terenie Finlandii. Uzyskane poziomy zawartości ołowiu w ciałach badanego gatunku owada oraz w korze wraz z łykiem i igłach nie wykazują korelacji. Występuje ona jednak między zawartością ołowiu w igłach i korze z łykiem (tab. 3). Wynika z tego, że gąsienice *R. resinella* nie pobierają ołowiu zawartego w pożywieniu proporcjonalnie do jego zawartości w łyku i korze.

Cynk jest uznawany za pierwiastek fitotoksyczny dla roślin przy zawartości powyżej 400 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ w liściach [22]. Wartości te nie zostały przekroczone w materiale z żadnej powierzchni przy czym na powierzchniach z Wysoczyzny Deczyńskiej wartości te były znacznie niższe (tab. 2). Jednak należy podkreślić, że optymalna zawartość wg Hoffmanna i Kraussa [16] wynosi 38 do 50 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Wysoki, a na jednej powierzchni prawie bliski poziomowi toksycznemu (311,58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) stan cynku w igłach pochodzących z terenu Olkusza nie może być zaskoczeniem. Dmuchowski i Bytnerowicz [7] stwierdzili tam w igłach sosny wartości cynku dochodzące do 250 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Podobne były wyniki na obu grupach powierzchni odnośnie zawartości cynku w korze. W Czechach wahały się one od 44,58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ do 61,36 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, w Polsce od 152,60 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ do 715,11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (tab. 2). W ciałach gąsienic zawartość cynku była na wszystkich powierzchniach wyrównana od 93,65 do 113,88 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ i mieściły się one w wartościach uznawanych za normalne przez Clarksona i in. [5]. Porównując zawartości tego pierwiastka w badanych próbkach stwierdzono, że istnieje tylko korelacja między zawartością cynku w korze wraz z łykiem i igłach, nie zachodzi jednak ona w odniesieniu do gąsienic zwójki (tab. 3). Stąd daje się wyciągnąć wniosek, że zachodzi analogiczna sytuacja jak w odniesieniu do ołowiu wyżej omawianego.

Wnioski

- Gąsienice *R. resinella*, żerujące w gałkach żywicznych na pędach sosny, reagują zwiększeniem zawartości w swoim ciele mikroelementów i metali ciężkich, przede wszystkim w pobliżu źródła emisji.

- Stwierdzono bardzo wysoką korelację między zawartością kadmu w korze i igłach oraz w gąsienicach, a także korelacje w zawartości miedzi w korze i ciałach gąsienic. Wykazano też bardzo wysoką i wyraźną korelację między tymi samymi lub różnymi pierwiastkami w korze i w igłach.
- Analiza wykazała przenoszenie pierwiastków w łańcuchu pokarmowym kora pędów – gąsienice jedynie dla kadmu (0,9016; bardzo duża zależność) i miedzi (0,8940; wyraźna zależność).
- W przypadku pozostałych pierwiastków takiej zależności nie stwierdzono.
- Korelacja między zawartością pierwiastków w pokarmie gąsienic lub jej brak jest prawdopodobnie związana ze zdolnością gąsienic do wydalania niektórych pierwiastków lub akumulowania innych.
- Wydaje się możliwa ocena (ale jedynie dla kadmu) stanu zatrucia gąsienicy na podstawie analizy zawartości pierwiastków w igłach (ich chemiczna analiza jest często wykonywana) śledząc powiązania igły – kora – gąsienica. Co może świadczyć o przeżywalności gąsienic *R. resinella*.

Podziękowanie

Serdecznie dziękujemy sponsorom regionalnych spółek i prywatnych firm północno-czeskiego regionu: Ciepłowni a.s., SETUZA a.s., Bankowi Komercyjnemu a.s., PYRUS s.r.o. w Usti nad Łabą, ČEZ. a.s., Elektrowni Ledvice, Chemopetrołowi a.s. Litwinów i Północnoczeskim Kopalniom Węgla w Chomutowie za finansowanie badań na terenie Czech i Polski.

Literatura

1. **Alloway W.H.:** Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. *Advances in Agronomy*. 1986. 20: 235-274.
2. **Alstad D.N., Edmunds G.F., Jr., Wienstein L.H.:** Effects of air pollutants on insect populations. *Ann. Rev. Ent.* 1982. 27: 369-384.
3. **Baltensweiler W.:** Waldsterben: forest pests and air pollution. *J. Appl. Entomol.* 1985. 99: 77-85.
4. **Biuletyn Służby Monitoringu Powietrza**, nr 2-3, pp. 4-5 Katowice, kwiecień-wrzesień 1994.
5. **Clarkson T.N., Fishnein L., Mallinckrodt M.G., Piscator M., Schlipkoter H.W., Stoeppler M., Stumm W., Sundermann W.:** Metals and their compounds in the environment. New York, Basel, Cambridge, VCH. 1991. 1168 pp.
6. **Dässler H.G.:** The effects of SO₂ on the terpene content of spruce needles. *Flora* 1963. 154: 376-382.
7. **Dmuchowski W., Bytnerowicz A.:** Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environ. Poll.* 1995. 87: 87-104.

8. **Fialová M., Jandáková B.:** Zkušenosti s mineralizací biologického materiálu přístrojem APION. In: Sborník referátů z mezinárodního symposia Sledování polutantů v životním prostředí VŠZ, Brno, 1984. pp. 134-138.
9. **Fitney G.L., Fisher T.W.:** Culture of entomophagous insects and their hosts. In: Debach, P. (ed.): Biological control of insects pests and weeds, pp. 255-328, New York. 1964. 844 pp.
10. **Führer E.:** Air pollution and the incidence of forest insect problems. J. Appl. Entomol. 1985. 99: 371-377.
11. **Gilbert O.L.:** Some indirect effects of air pollution on bark-living invertebrates. J. Appl. Ecol. 1970. 8: 77-84.
12. **Hagvar S., Abrahamsen G., Bakke A.:** Attack by the pine bud moth (*Exoteleia dodecella* L.) in southernmost Norway. Possible effect of acid precipitation. SNSF-project IR 1976. 15/76: 1-19.
13. **Heliövaara K.:** Occurrence of *Petrova resinella* (Lepidoptera, Tortricidae) in a gradient of industrial air pollutants. Silva Fennica. 1986. 20 (2): 83-90.
14. **Heliövaara K., Väisänen R.:** Parasitism in *Petrova resinella* (Lepidoptera, Tortricidae) galls in relation to industrial air pollution. Silva Fenn. 1986. 20: 233-236.
15. **Heliövaara K., Väisänen R., Braunschwieler H., Lodenius M.:** Heavy metal levels in two biennial pine insects with sap-sucking and gall-forming life-styles, Environ. Pollut. 1987. 48: 13-23.
16. **Hoffmann G., Krauss H.-H.:** Die Ausscheidung von Ernährungsstufen für die Baumarten Kiefer und Buche auf der Grundlage von Nadel- und Blattanalysen und wendungsmöglichkeiten in der Überwachung des ökologischen Waldzustandes. Soc. Forstwirtschaft (Berlin). 1988. 38 (9): 272-273.
17. **Kabata-Penaias A., Piotrowska M.:** Zanieczyszczenie gleb i roślin uprawnych pierwiastkami śladowymi. CBR-opracowanie problemowe. Warszawa. 1984.
18. **Kangas E.:** Tutkimuksia kaasutuhoista Imatran valtionuistossa. (Untersuchungen über die Rauchsäden im Imatra-Staatspark). Silva Fenn. 1932. 23: 1-34 + append.
19. **Koeppe D.E.:** Lead: Understanding the minimal toxicity of lead in plants. In: Effects of trace Metals on Plant Function, ed. N.W. Lepp. Applied Science Publishers. London. New Jersey. 1981. pp. 55-76.
20. **Kula E., Ząbecka J.:** Škodlivost obaleče pryskyřičného (*Retinia resinella* L.) Lesnictví-Forestry. 1996. 42 (9): 385-392.
21. **Lagerwerff J.V.:** Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants. In: Micronutrients in Agriculture. Soil. Sci. Soc. America, Madison, Wisconsin. 1972. pp. 593-632.
22. **Linzon S.N., Temple P.J., Pearson R.G.:** Sulphur concentrations in plant foliage and related effects. J. Air Pollut. Contr. Assoc. 1979. 29: 520-525.

23. **Materna J.:** Criteria for the characterization of pollution damages in forests. Proc. Int. Clean Air Congr. III, Düsseldorf. 1973. pp. 121-123.
24. **Przybylski T.:** Zagrożenie środowiska przyrodniczego w województwie katowickim. Biblioteczka Fundacji Ekologicznej Silesia. Katowice 1991.
25. **Schröder D.:** Zur Kenntnis der Systematik und Ökologie der Evetria Arten (*Lepidoptera – Tortricidae*). Z. angew. Ent. 1966. 57: 338-429, 58: 279-308.
26. **Sierpiński Z.:** Owady szkodliwe występujące w drzewostanach sosnowych na terenach uprzemysłowionych i ich znaczenie gospodarcze. Wiadomości Ekol. 1970. 16: 298-305.
27. **Templin E.:** On the population dynamics several pine pests in smoke-damaged forest stands. Wiss. Zeitschr. techn. Univ. Dresden. 1962. 11: 631-637.
28. **Villemant C.:** Influence de la pollution atmosphérique sur les microlépidopteres du pin en foret de Roumare (Seine-Maritime). Acta Oecologia/Oecol Appl. 1980. 1: 291-306.

Summary

The content of selected elements in food plants and in caterpillars of the *Retinia resinella* L. moth

Insects feeding on plants growing in contaminated environments may take toxic elements with their food. *Retinia resinella* is one of the species to the body of which elements may penetrate with the food. It is so because caterpillars feed in pine shoots under the cover of resin spheres. Therefore a resolution was made to study the amount of selected elements in the plant material – in needles and bast with bark, as well as in caterpillar or pupae bodies for to define potential penetration of elements into caterpillar bodies in various contamination areas. The research was done in Poland near Olkusz, where a contamination with heavy metals occurred, and in the Czech Republic near Śnieżnik, where a contamination occurred with sulphur compounds, mainly SO₂.

The recorded amounts of Pb, Cu, Cd, and Zn elements can be characterised as follows: cadmium, if compared with the values presented in literature as normal ones showed an excess amount in plant needles and caterpillar bodies in the material collected from the Olkusz area. The content of copper in caterpillar bodies was only a bit higher than that recognised as normal ones in the Śnieżnik area and as twice as high in the Olkusz region. However the content of zinc, both in plant material and caterpillar bodies, exceeded the values recognised as toxic ones only on a part of the surface located on the area of Poland.

The transfer of elements in the food chain was proven for cadmium and copper. This relationship was not found for other elements. The lack of correlation between amounts of lead and zinc in the plant material and in caterpillar bodies can be connected with the ability of the species to excrete those elements. It seems possible to estimate the contamination state of caterpillars with cadmium on the basis of an analysis of its amounts in plant needles.