
ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA

VOL. XIX, 45

SECTIO EE

2001

Katedra Higieny Zwierząt i Środowiska Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt
Akademii Rolniczej w Lublinie

WIESŁAW PODGÓRSKI, TADEUSZ MAJEWSKI,
MONIKA BRYL

*Plechy porostowe jako wskaźnik zanieczyszczeń
niektórymi metalami ciężkimi środowiska miejskiego*

Lichens as an Indicator of Pollution with Some Heavy Metals in Urban Environment

Najbardziej czułym wskaźnikiem zmian warunków spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza związkami fitotoksycznymi są według Bystrka (1) porosty epifityczne. Wymieranie epifitów jest jednym z objawów zagrożenia środowiska przyrodniczego (Dobbeni Braak, 4). W badaniach terenowych i laboratoryjnych najczęściej stosowanym gatunkiem testowym jest *Hypogymnia physodes* (L.) Ny l., zaliczany do porostów epifitycznych znajdującym szerokie zastosowanie głównie w metodzie transplantacji plech z obszarów mało skażonych na tereny objęte silnym wpływem emisji przemysłowych (Puszkari Wiącek, 7).

W miastach wyróżnia się według Bystrka (1) trzy strefy wegetacji porostów: pierwsza, strefa wewnętrzna – zupełnie pozbawiona porostów, druga – strefa pośrednia – w której wegetacja porostów jest bardzo skąpa, trzecia strefa stanowi normalną wegetację porostów. Wegetacja porostów w głównej mierze uwarunkowana jest składem powietrza atmosferycznego, między innymi zawartością w nim aerozoli zawierających metale, których absorpcję przez plechy porostów warunkują obecne w atmosferze tlenki siarki. Pierwiastki takie, jak Pb i Cd, gromadzą się głównie na powierzchni plech, jedynie niewielki procent zaabsorbowanych pierwiastków według Garty i wsp. (5) przenika do protoplastu. Natywnie ok. 50% Zn i Cu gromadzone jest w protoplastach, 40% kumulowane jest w ścianie komórkowej, a mniej niż 10% gromadzone jest na powierzchni plech. Średnia zawartość metali ciężkich w plechach układu się według tego autora w następujący szereg: Cu>Zn>Pb>Cd. Jedną z charaktery-

stycznych cech pierwiastków śladowych jest tworzenie kompleksów z białkami, aminokwasami, lipidami, węglowodanami, fosfolipidami, powodujących zmiany aktywności biologicznej tych elementów morfologicznych tkanek.

Celem przeprowadzonych badań była wstępna ocena zanieczyszczenia powietrza niektórymi metalami ciężkimi (Zn, Cd, Pb, Cu) na podstawie ich zawartości w plechach *Hypogymnia physodes* (L.) N y l, bez wnikania w struktury ich wiązania przez plechy porostowe.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły plechy pochodzące z lasów Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego, charakteryzujących się niskim stopniem zanieczyszczenia środowiska. Plechy umieszczono na płytkach z pilśni w wybranych miejscach miasta. Wybór stanowisk był podyktowany kryteriami degradacji naturalnego środowiska, określonymi wcześniej przez badania prowadzone przez Bystrka (1), Swiebodę i wsp. (8), Puszczaka i Wiacka (7). Kryteria wyboru stanowisk dały podstawę do podziału miasta na trzy strefy: A, B i C. Strefa A to obszar charakteryzujący się najmniejszym zdegradowaniem środowiska, strefa B – o średnim zdegradowaniu i strefa C – o największym zdegradowaniu środowiska. Próby umieszczono na wysokości 2-2,5 m od powierzchni ziemi i ekspozowano przez okres 5 tygodni, po czym poddano analizie chemicznej celem oznaczenia stężeń metali ciężkich Zn, Pb, Cd, Cu.

Analizę chemiczną wykonano według metodyki opracowanej dla określenia metali w materiale roślinnym. Porosty poddano działaniu temperatury 105°C celem odparowania wody. Następnie odważono 0,5 g plech porostowych, które mineralizowano na mokro, poddając je działaniu specjalnie czystej mieszaniny kwasu azotowego i nadchlorowego w proporcji 5:1. Mineralizaty prób analizowano metodą odwróconej woltamperometrii, wykorzystując do tego celu analizator śladów 746 VA, produkcji Metrohm – Szwajcaria. Wyniki analityczne poddano dostosowanej analizie statystycznej.

Ocenę żywotności komórek fikobionta przedstawiono w innej publikacji (tytuł w przeglądzie piśmiennictwa).

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Zawartość poszczególnych pierwiastków w tkankach porostów przedstawiono w oddzielnych tabelach. Zestawione wyniki miały dać odpowiedź na pytanie dotyczące zdolności kumulowania metali w tkankach roślinnych, które są dobrymi bio wskaźnikami zanieczyszczeń atmosfery. Ogółem ekspozowano 54 próby plech, 16 w miejscach o bardzo małym natężeniu ruchu, 24 na stanowiskach o średnim natężeniu ruchu i 14 prób w miejscu o dużym natężeniu ruchu. Pojęcie ruchu należy rozumieć nie tylko jako transport samochodowy, ale i inne czynniki zanieczyszczające środowisko.

Tab. 1. Zawartość cynku w porostach w zależności od miejsca ekspozycji w (mg/kg.s.m)
Zinc content in lichens depending on exposure site (mg/kg DM)

Strefa	n	Max	Min	X	SD	Strefy	P
Strefa A	16	30,5	10,3	17,6	7,4	A – B	0,06
Strefa B	24	28,5	12,4	20,8	4,6	A – C	0,00004
Strefa C	14	43,4	18,1	30,2	7,6	B – C	0,00027

n – liczba prób, x – zawartość średnia, SD – odchylenie standardowe, Max – zawartość maksymalna, Min – zawartość minimalna, P – istotność różnic. Strefa A – strefa najmniejszego zdegradowania środowiska. Strefa B – strefa średniego zdegradowania środowiska. Strefa C – strefa największego zdegradowania środowiska.

Zawartość cynku w plechach porostów eksponowanych w różnych punktach miasta o zróżnicowanym natężeniu ruchu zamieszczono w tab. 1. Najniższą wartość minimalną stężenia cynku: 10,3 mg/kg s.m. stwierdzono w miejscu ekspozycji zaliczonym do obszaru najmniej skażonego (strefa A), inne wartości minimalne były wyższe w środowisku zakwalifikowanym jako średnio zdegradowane, wynosiły 12,4 mg/kg s.m., a w strefie znacznego zdegradowania 18,1 mg/kg s.m. Wartości maksymalne stężenia cynku, 43,4 mg/kg s.m., odnotowano w strefie C – największego skażenia środowiska, w strefie B wartość ta wynosiła 28,5 mg/kg. s.m., natomiast w strefie A 30,5 mg/kg s.m.

Wartości średnie wzrastały wraz z klasyfikacją stopnia zdegradowania środowiska, Najniższą średnią stwierdzono w plechach porostów eksponowanych w środowisku najmniej zdegradowanym (strefa A) – 17,6 mg/kg s.m., najwyższą zaś w plechach porostów eksponowanych w środowisku najbardziej zdegradowanym (strefa C) – 30,2 mg/kg s.m. Odchylenie standardowe było stosunkowo wysokie. Najniższą jego wartość stwierdzono w plechach porostów eksponowanych w środowisku średnio zdegradowanym (B) 4,6 mg/kg s.m., natomiast plechy eksponowane w środowisku o małym stopniu (A) zdegradowania i najbardziej zdegradowanym (C) cechowały się zbliżonymi wartościami odchylenia standardowego: 7,4 mg/kg s.m. w strefie A i 7,6 mg/kg s.m. w strefie C.

Nie wykazano istotnego zróżnicowania zawartości cynku pomiędzy plechami porostów eksponowanymi w siedliskach o małym zanieczyszczeniu oraz plechami eksponowanymi w środowisku o średnim stopniu zanieczyszczenia, natomiast wysoce istotnie różniły się poziomy cynku stwierdzonego w plechach eksponowanych w środowisku o małym stopniu zanieczyszczenia (A) oraz silnym stopniu zanieczyszczenia (C): $P \leq 0,0004$. Również wysoce istotne różnice

stwierdzono w zawartości tego pierwiastka pomiędzy plechami eksponowanymi w środowisku o średnim stopniu zanieczyszczenia (B) a eksponowanymi w środowisku silnie zanieczyszczonym.

Tab. 2. Zawartość kadmu w porostach w zależności od miejsca ekspozycji ($\mu\text{g/kg s.m}$)
Cadmium content in lichens depending on exposure site ($\mu\text{g/kg DM}$)

Strefa	n	Max	Min	X	SD	Strefy	P
Strefa A	16	0,086	0,051	0,069	0,014	A – B	0,2
Strefa B	24	0,076	0,046	0,066	0,008	A – C	0,1
Strefa C	14	0,083	0,046	0,063	0,013	B – C	0,2

Zawartość kadmu w plechach porostów eksponowanych w różnych punktach miasta o zróżnicowanym zanieczyszczeniu powietrza przedstawia tab. 2. Wartość maksymalną stężenia kadmu $0,086 \mu\text{g/kg s.m.}$ stwierdzono w strefie A, natomiast w plechach porostów eksponowanych na obszarach zakwalifikowanych jako środowisko o średnim i dużym zdegradowaniu wartości maksymalne były zbliżone i wynosiły $0,076 \mu\text{g/kg s.m.}$ (B) i $0,083 \mu\text{g/kg s.m.}$ (C). Minimalną zawartość kadmu $0,046 \mu\text{g/kg s.m.}$ stwierdzono w plechach największego zdegradowania środowiska (C). Na terenie o małym zanieczyszczeniu środowiska (A) minimalna zawartość Cd wynosiła $0,051 \mu\text{g/kg s.m.}$ i była najwyższa w porównaniu z wartościami w strefie B i C.

Wartości odchylenia standardowego były stosunkowo wysokie, przy czym najniższą stwierdzono w plechach porostów eksponowanych w środowisku średnio zdegradowanym, wynosiła ona $0,008 \mu\text{g/kg s.m.}$, natomiast wartości odchylenia standardowego Cd plech eksponowanych w środowisku najmniej i najbardziej zdegradowanym były zbliżone: $0,069 \mu\text{g/kg s.m.}$ w strefie A, $0,063 \mu\text{g/kg s.m.}$ w strefie C. Nie wykazano istotnego zróżnicowania zawartości kadmu w porostach eksponowanych na różnych stanowiskach w zależności od stopnia degradacji.

Dane dotyczące zawartości ołowiu w plechach porostów eksponowanych w różnych punktach miasta o zróżnicowanym natężeniu ruchu zamieszczono w tab. 3. Najwyższą maksymalną zawartość ołowiu stwierdzono w plechach eksponowanych w środowisku określonym jako czyste – $3,82 \mu\text{g/kg s.m.}$, następnie w środowisku o atmosferze najbardziej zanieczyszczonej – $3,27 \mu\text{g/kg s.m.}$, a najniższą wartość maksymalną stwierdzono na obszarze ekspozycji zakwalifikowanym jako średnio zdegradowane środowisko, wynosiła ona $2,78 \mu\text{g/kg s.m.}$ Najwyższą wartość minimalną stężenia ołowiu $1,23 \mu\text{g/kg s.m.}$ stwierdzono w próbach eksponowanych na obszarze o największym zdegradowaniu śro-

dowiska (strefa C). W strefie A i B wartość minimalna była identyczna i wynosiła 0,57 $\mu\text{g/kg s.m.}$ Odchylenie standardowe było stosunkowo wysokie, najniższe wartości cechowały plechy porostów eksponowane w środowisku zaliczanym jako średnio i wysoce zdegradowane (0,59), natomiast plechy eksponowane w środowisku najmniej zdegradowanym osiągnęły wartość największą (1,04). Wartości średnie: najniższą uzyskano z oznaczeń wykonanych na plechach eksponowanych w środowisku zakwalifikowanym jako średnio zdegradowane – 1,4 mg/kg s.m. , nieco wyższą – 2,08 mg/kg s.m. stwierdzono w porostach eksponowanych w środowisku zakwalifikowanym jako silnie zdegradowane i najwyższą wartość stwierdzono w plechach eksponowanych w środowisku o najniższym stopniu degradacji – 2,11 mg/kg s.m. Wykazano istotne zróżnicowanie zawartości ołowiu w porostach eksponowanych w środowiskach w zależności od stopnia zdegradowania. Zawartość ołowiu w plechach eksponowanych w środowisku o niskim stopniu zdegradowania wysoce istotnie różniła się od zawartości ołowiu stwierdzanego w plechach eksponowanych w środowisku o średnim i wysokim stopniu zdegradowania. Istotności te wyraziły się poziomem $P \leq 0,01$. Ciekawy i zaskakujący fakt stwierdzono w zróżnicowaniu poziomu ołowiu w plechach eksponowanych w środowisku o średnim i dużym stopniu zdegradowania. Wyrażał się poziomem istotności $P \leq 0,001$.

Tab. 3. Zawartość ołowiu w porostach w zależności od miejsca ekspozycji ($\mu\text{g/kg s.m.}$)
Lead content in lichens depending on exposure site ($\mu\text{g/kg DM}$)

Strefa	n	Max	Min	X	SD	Strefy	P
Strefa A	16	3,82	0,57	2,11	1,04	A – B	0,01
Strefa B	24	2,78	0,57	1,40	0,59	A – C	0,01
Strefa C	14	3,27	1,23	2,08	0,59	B – C	0,001

Zawartości miedzi w plechach porostów eksponowanych w różnych punktach miasta o zróżnicowanym natężeniu ruchu zamieszczono w tab. 4. Najniższą minimalną zawartość miedzi 2,2 $\mu\text{g/kg s.m.}$ wykazano w strefie A i 3,3 $\mu\text{g/kg s.m.}$ w strefie C. Maksymalne stężenia miedzi 18,1 $\mu\text{g/kg s.m.}$ stwierdzono w plechach z obszaru silnie zanieczyszczonego. Natomiast porosty eksponowane na obszarach zakwalifikowanych jako środowisko o małym i znacznym zdegradowaniu wartości te miały prawie identyczne: 14,3 $\mu\text{g/kg s.m.}$ i 14,9 $\mu\text{g/kg s.m.}$ Średnia zawartość miedzi w plechach porostów eksponowanych w środowisku średnio zdegradowanym wynosiła 8,2 $\mu\text{g/kg s.m.}$, najwyższa zaś w plechach porostów eksponowanych w środowisku zaliczanym do silnie zdegradowane – 10,4 $\mu\text{g/kg s.m.}$, natomiast plechy eksponowane w śro-

dowisku najmniej zdegradowanym – 9,3 $\mu\text{g/kg}$ s.m. Najwyższe zróżnicowanie stężeń miedzi stwierdzono w porostach eksponowanych w warunkach najbardziej zdegradowanego środowiska, bowiem odchylenie standardowe dla tej grupy porostów wynosiło 4,4. Istotne zróżnicowanie zawartości Cu w porostach eksponowanych w środowiskach w zależności od stopnia ich zdegradowania wykazano jedynie w porostach eksponowanych w środowisku o średnim i maksymalnym stopniu zdegradowania.

Tab. 4. Zawartość miedzi w porostach w zależności od miejsca ekspozycji ($\mu\text{g/kg}$ s.m)
Copper content in lichens depending on exposure site $\mu\text{g/kg}$ DM

Strefa	n	Max	Min	X	SD	Strefy	P
Strefa A	16	14,3	3,8	9,3	3,1	A – B	0,13
Strefa B	24	14,9	2,2	8,2	2,9	A – C	0,20
Strefa C	14	18,1	3,3	10,4	4,4	B – C	0,05

Uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że zawartość metali gromadzonych w plechach bądź na plechach nie jest wprost zależna od stopnia zdegradowania środowiska, ale istnieją zależności miejscowych uwarunkowań geochemicznych, na co zwracają uwagę B o r o w i e c i U r b a n (3). Autorzy ci, badając skład mineralny traw i gleb, z których porost zebrano, stwierdzili wysoką korelację pomiędzy zawartością pierwiastków w porostach i glebie. Zależności te określili mianem geochemicznych. Dlatego też pozwalamy sobie na wnioskowanie, iż skład mineralny eksponowanych plech porostowych zależał przede wszystkim od lokalnego składu mineralnego aerozoli osiadających na eksponowanych plechach. Niezgodności istotności różnic w poziomach analizowanych elementów mineralnych również dają się uzasadnić zróżnicowaniem składu geochemicznego mikrośrodowisk. Wprawdzie pomiędzy niektórymi pierwiastkami występują korelacje w ich zawartości, szczególnie dotyczy to pierwiastków występujących w makroilościach, jednak w stosunku do pierwiastków występujących w śladowych ilościach zasada ta nie jest obowiązująca.

WNIOSKI

1. Ilość zgromadzonego przez plechy porostowe cynku jest uwarunkowana przyjętymi kryteriami zanieczyszczenia środowiska.

2. Zawartość w plechach Pb przypuszczalnie determinowana jest uwarunkowaniami geochemicznymi mikrośrodowiska.

3. Nie udało się wykazać zróżnicowania zawartości Cd i Cu w plechach w zależności od przyjętych kryteriów degradacji środowiska bądź lokalnych uwarunkowań geochemicznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Bystrek J.: Wrażliwość porostów na zanieczyszczenia atmosferyczne. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio C, vol. 29, Lublin 1974.
2. T. Majewski, W. Podgórski, J. Bystrek, M. Bryl: Plechy porostowe jako bioindykatory zanieczyszczenia środowiska miejskiego (praca w druku)
3. Borowiec J., Urban D.: Kondycja geochemiczna siedlisk łąkowych Lubelszczyzny. Cz. II. Lubelskie Tow. Nauk., Lublin 1997.
4. Dobben H., Braak C.: Monitoring of Epiphytic Lichens in the Netherlands. 1996.
5. Garty J., Cohen Y., Kloog N., Karnieli A.: Effect of Air Pollution on Cell Membrane Integrity, Spectral Reflectance and Metal and Sulphur Concentration in Lichens. Environmental Toxicology and Chemistry, 16, 7, 1396-1402, 1997.
6. Hłyńczak A.J., Barnowska-Bosiacka B.: Obieg pierwiastków w przyrodzie. Wstępne wyniki badań nad zawartością i lokalizacją metali ciężkich w plechach porostów hemerofilnych. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa, 27-29 X 1997, 203-205, Instytut Ochrony Środowiska, 1997.
7. Puszkar L., Wiącek K.: Wykorzystanie porostów jako biowskaźników skażenia środowiska w rejonie zakładów azotowych w Puławach. IUNG, Puławy, 5-37, 1986.
8. Świeboda M., Kałemba A.: The Lichen *Parmelia Physodes* (L.) Ach. As Indicator for Determination of the Area Contaminated by Fluorine and Sulphur Dioxide Mission. Acta Soc. Bot. Pol., 47, 25-40, 1978.

SUMMARY

Some lichen species are used to estimate environmental pollution. The aim of the study was to evaluate the air pollution with some heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) on the basis of their content in *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. The lichens distributed at different points of a city of various level of environment degradation was the study material. After 5-week exposure, the digested material was analyzed by means of reversed voltamperometry.

At sites of the least environmental pollution 10.3 mg Zn/kg DM was found, and at the degraded one – 18.1 mg Zn / kg DM. The highest level of Zn was observed in the zone of the highest pollution (43.4 mg / kg DM). Highly significant differences between zinc content in medium pollution environment and in strongly polluted one were observed.

Maximum Cd content (0.086 µg/kg DM) was found in areas of low environment degradation, and minimum (0.076 µg/kg DM) in highly polluted sites. No significant differentiation was found in lichens exposed in various areas depending on environment degradation.

Different lead levels in the environments of medium and great degradation levels at $P \leq 0.001$ significance level were found.

Significant differentiation of Cu content in lichens depending on the level of their degradation was proved only in lichens in medium and maximum degradation level environment.