

MAŁGORZATA WIERZBICKA

Zakład Morfogenezy Roślin

Instytut Biologii Eksperymentalnej Roślin

Wydział Biologii

Uniwersytet Warszawski

Miecznikowa 1, 02-096 Warszawa

e-mail: wierzbicka@biol.uw.edu.pl

PRZYSTOSOWANIA ROŚLIN DO WZROSTU NA HAŁDACH CYNKOWO-OŁOWIOWYCH OKOLIC OLKUSZA

WPROWADZENIE

Rośliny porastające gleby, naturalnie wzbogacone przez metale, od dawna budziły zainteresowania botaników. Nawet, uzyskały one odrębną nazwę – „metalofity” – dla podkreślenia wyjątkowości miejsc ich występowania. Występowania „przywiązanego” do gleb o wysokiej zawartości metali, a szczególnie cynku, ołowiu ale również i kadmu, miedzi, niklu. Opis takich szczególnych miejsc i ich roślinności na terenie Europy czytelnik może znaleźć w pracy np. ERNSTA (1974) lub w książce J. SCHAW (red.) „*Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*” (1990, CRC, Florida).

Na terenie Polski, obszar, w którym gleby wzbogacone są przez cynk i ołów, znajduje się w okolicach Olkusza. Jest to obszar górniczej

eksploatacji rud cynkowo-ołowiowych. Teren zarówno wielowiekowej tradycji górnictwa i hutnictwa metali kolorowych, ale również teren, w którym gleby powierzchniowe, w sposób naturalny, mają podwyższoną ilość cynku, ołowiu i kadmu.

Bogatą historię górnictwa tego terenu, jak i opis starych hałd galmanowych (Ryc. 1), czy świeżych usypisk, znajdzie Czytelnik w tym numerze „KOSMOSU” w artykule K. GRODZIŃSKIEJ i G. SZAREK-ŁUKASZEWSKIEJ. My natomiast zajmiemy się kilkoma gatunkami występującymi na jednej z najstarszych hałd tego terenu. Na hałdzie, na której został założony (chyba jedyny w swoim rodzaju) teren ochronny szczególnie chronionym gatunkiem jest pleszczotka górską, *Biscutella laevigata* (Ryc. 2).

STARA HAŁDA W BOLESŁAWIU K/OLKUSZA

Niezwykły zestaw florystyczny starej hałdy galmanowej (wiek ok. 100 lat) budzi zainteresowanie botaników od początków ubiegłego wieku (WÓYCICKI 1913). Uznano, że hałdy te porośnięte są specyficzną roślinnością galma-

nową (Rys. 1) (DOBRZAŃSKA 1955, GRODZIŃSKA i współaut. 2001).

Do gatunków dominujących na starej hałdzie w Bolesławiu k/Olkusza należą m.in. lepnica rozdęta (*Silene vulgaris*), goździk kar-



Ryc. 1. Stara łąka galmanowa (100 lat) w Bolesławiu k/Olkusza pokryta bogatą roślinnością galmanową.

tuzek (*Dianthus carthusianorum*) i pleszczotka górska (*Biscutella laevigata*).

Już DOBRZAŃSKA (1955) zauważyła, że te gatunki roślin różnią się swoimi cechami morfologicznymi od roślin występujących na glebach tzw. czystych. Jednak ciągle pozostawało zagadką, czy cechy te są tylko reakcją fenotypową, następującą w odpowiedzi na trudne i specyficzne warunki panujące na łące galmanowej, czy też doszło już do wytworzenia zmian genotypowych i cechy przystosowawcze tych roślin do wzrostu w trudnych warunkach

panujących na łące zostały utrwalone genetycznie?

W Pracowni Środowiskowego Skażenia Roślin, Wydziału Biologii UW od kilku lat szukamy odpowiedzi na pytanie: czy u gatunków roślin dominujących na łące nastąpiło trwałe przystosowanie do trudnych warunków panujących na łące, czyli do warunków: braku wody, podwyższonej zawartości metali ciężkich, braku niektórych składników pokarmowych w podłożu, bardzo silnego nasłonecznienia (insolacji) i silnych wiatrów. A więc do wa-



Ryc. 2. Pleszczotka górska (*Biscutella laevigata*) – charakterystyczny owoc (łuszczyńka). Główna cecha systematyczna odróżniająca ten gatunek od gatunków pokrewnych.

runków ekstremalnie trudnych (WIERZBICKA i ROSTAŃSKI 2002). W dalszej części tego artykułu zostaną przedstawione nasze główne ustalenia dotyczące trzech badanych gatunków roślin. I co ciekawe – w przypadku wszystkich trzech gatunków, zostały uchwycone pewne mikroewolucyjne zmiany.

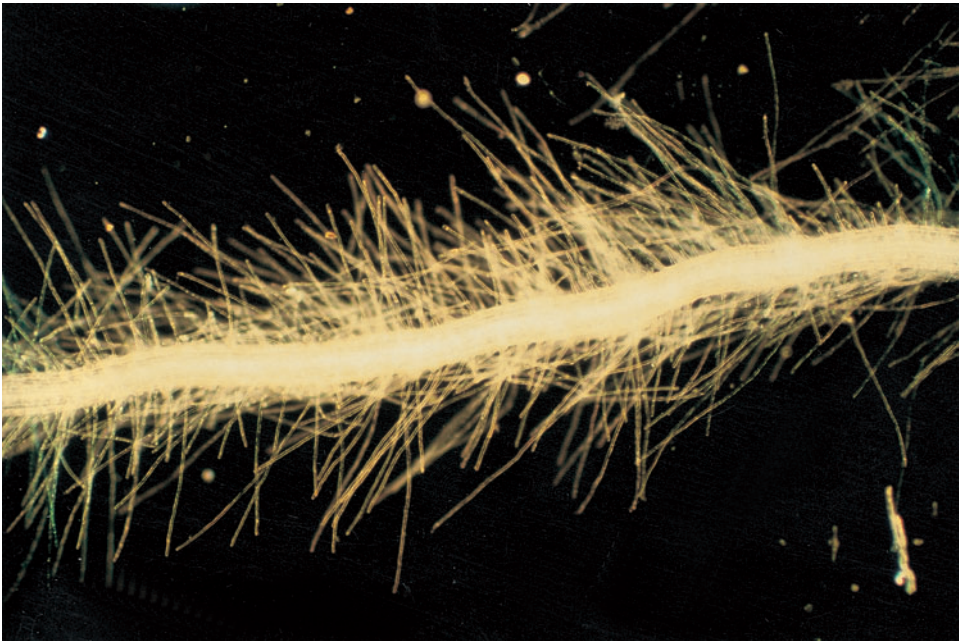
LEPNICA ROZDĘTA – *SILENE VULGARIS*

Silene vulgaris (Caryophyllaceae) jest rośliną powszechnie występującą na terenie Europy. Jest to gatunek wyjątkowo zmienny (TUTIN i współaut. 1993). Na metalonośnych (Zn) glebach tworzy on formy o charaktery-

występowanie jako charakterystyczne tylko dla piaszczystych i kamienistych nadbrzeży regionu śródziemnomorskiego i Portugalii. Natomiast wg Flory Polskiej (PAWLUS 1992) na galmanowych hałdach Olkusza i Bolesławia występuje podgatunek *humilis* = *angustifolia*.

W naszej Pracowni przeprowadziliśmy badania porównawcze roślin *Silene vulgaris* populacji hałdowej (pochodzącej z hałdy galmanowej w Bolesławiu k/Olkusza) oraz dwóch populacji naturalnych (pochodzących z Ogrodu Botanicznego w Warszawie, jak i z Suwalskiego Parku Krajobrazowego (WIERZBICKA i PANUFNIK 1998, WIERZBICKA i ZYSKA 1999).

Badaniom poddano zarówno rośliny rosnące w warunkach naturalnych na hałdzie, jak również rośliny hodowane w komorach fi-



Ryc. 3. Duże włosniki na korzeniu siewki lepnicy rozdętej (*Silene vulgaris*) – populacja hałdowa. Siewki zostały wyhodowane w kulturze hydroponicznej z nasion pochodzących z hałdy galmanowej w Bolesławiu k/Olkusza (przystosowanie kserotermiczne).

stycznym pokroju. Są to rośliny drobne, niskopienne o małych liściach. Odróżniają się tym od form normalnych, które są wzniesione, długołodygowe, o dużych szerokich liściach (BRÖKER 1963, HEGI 1978, GRIES 1966). Formy występujące na metalonośnych glebach Europy określone zostały jako odrębny podgatunek – ssp. *angustifolia* (Koch) = ssp. *humilis* (Schubert). Jednakże problem ten budzi ciągle poważne wątpliwości. Autorzy Flora Europea (TUTIN i współaut. 1993) nie wiążą występowania podgatunku *angustifolia* z glebami metalonośnymi Europy Środkowej. Określają jej

totronowych, w zwykłej glebie, w kontrolowanych warunkach. Przeprowadzono szczegółowe obserwacje porównawcze roślin *Silene vulgaris* – populacji hałdowej i populacji naturalnej (Ryc. 4, 5) Obserwacje te doprowadziły do wniosku, że w populacji hałdowej *Silene vulgaris*, występują utrwalone genetycznie przystosowania, które umożliwiają tym roślinom wzrost na hałdzie galmanowej. Przystosowania te idą w trzech kierunkach: przystosowania do oszczędnej gospodarki wodnej, przystosowania do trudnych warunków pokarmowych i przystosowania do tolerowania nad-



Ryc. 4. Pokrój ogólny lepnicy rozdętej (*Silene vulgaris*) – populacja naturalna. Rośliny zostały wyhodowane (w zwykłej glebie) z nasion pochodzących z Ogrodu Botanicznego w Warszawie.



Ryc. 5. Pokrój ogólny lepnicy rozdętej (*Silene vulgaris*) – populacja hałdowa. Rośliny zostały wyhodowane (w zwykłej glebie) z nasion pochodzących z hałdy galmanowej w Bolesławiu k/Olkusza.

miennych ilości metali ciężkich (WIERZBICKA i PANUFNIK 1998).

Rośliny populacji hałdowej różniły się w sposób istotny statystycznie od roślin populacji naturalnych (po hodowli w zwykłej glebie, w jednakowych warunkach) następującymi cechami (WIERZBICKA i PANUFNIK 1998):

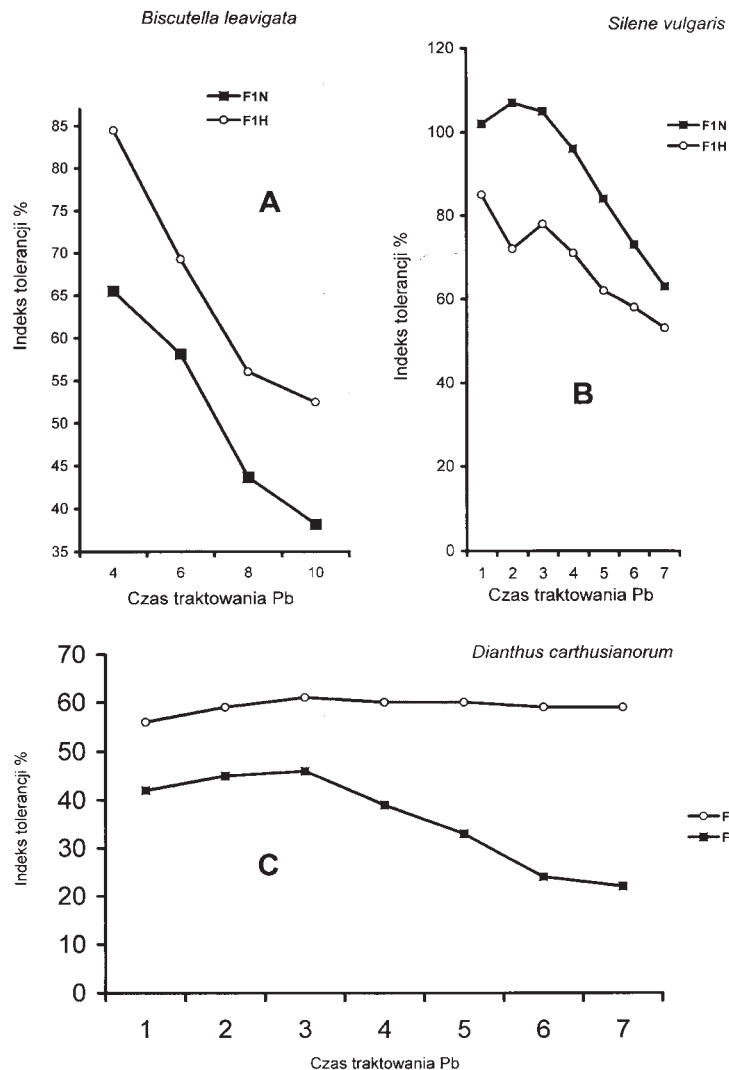
1. Rośliny populacji hałdowej miały odmienny ogólny pokrój morfologiczny. Pędy ich były liczne, cienkie i płozące się, o wąskich blaszkach liściowych (Ryc. 5, 7), podczas gdy pędy roślin populacji naturalnej miały pędy grubsze i wznoszące się o znacznie większych liściach (Ryc. 4, 6).



Ryc. 6. Wielkość liści lepnicy rozdętej (*Silene vulgaris*) – populacja naturalna (patrz Ryc. 4).



Ryc. 7. Wielkość liści lepnicy rozdętej (*Silene vulgaris*) – populacja hałdowa (patrz Ryc. 5).



Ryc. 8. Tolerancja na ołów populacji hałdowych (F1H) i naturalnych (F1N) *Biscutella leavigata* (A), *Silene vulgaris* (B) i *Dianthus carthusianorum* (C).

Indeks tolerancji jest to przyrost korzeni roślin doświadczalnych wyrażony w % kontroli. Rośliny były hodowane w pożywce z dodatkiem $PbCl_2$ w stężeniu $2,5 \text{ mg/dm}^3$ przez 7–10 dni.

2. Liście roślin populacji hałdowej były mniejsze (Ryc. 6, 7), lecz grubsze od liści roślin populacji naturalnej. Zwiększenie grubości liści spowodowane było zwiększeniem objętości komórek miękiszu polisadowego i gąbczastego.

3. Rośliny populacji hałdowej wykazywały zdolności do szczególnie obfitego wytwarzania włókników korzeniowych w porównaniu z korzeniami roślin populacji naturalnej (Ryc. 3).

4. Rośliny populacji hałdowej znacznie szybciej rozwijały się i szybciej osiągały fazę generatywną (średnio o 2 tygodnie wcześniej niż rośliny populacji naturalnej).

5. Rośliny populacji hałdowej odznaczały się znacznie większą płodnością. Wytwa-

rzały średnio o 23% więcej kwiatów na jednym osobniku niż rośliny populacji naturalnej. Przy tym również wytwarzana była większa liczba nasion, a poszczególne nasiona były mniejszych rozmiarów niż u roślin populacji naturalnej (o ok. 15%).

6. Rośliny populacji hałdowej osiągały o ok. 20% mniejszą biomasa niż rośliny populacji naturalnej. Zmniejszenie biomasy populacji roślin odpornych na metale było również opisane dla *Silene vulgaris* w innych miejscach Europy (VERKLEIJ i PRAST 1989, LEFÉBVRE i VERNET 1990).

7. Rośliny populacji hałdowej były znacznie bardziej (o ok. 30%) odporne na obniżenie osmotycznego potencjału wody niż rośliny populacji naturalnej. Wskazuje to na ich

zwiększoną odporność na stres wodny (na suchę).

8. Rośliny populacji hałdowej wykazywały również bardzo wysoką tolerancję zarówno na cynk jak i ołów (Ryc. 8B).

A zatem, populacja hałdowa *S. vulgaris* posiada cechy morfologiczne utrwalone genetycznie, świadczące o przystosowaniu tej populacji roślin do warunków suszy. Należy do nich zmniejszenie powierzchni liści oraz zwiększenie możliwości gromadzenia wody w tkankach liści. Wskazuje na to zwiększenie grubości liści spowodowane zwiększeniem objętości komórek (PODBIELKOWSKI i PODBIELKOWSKA 1992). Również zdolność roślin *S. vulgaris* do wyjątkowo obfitego wytwarzania włósników sprzyja wzrostowi tych roślin w warunkach deficytu wody co potwierdził dobry wzrost roślin populacji hałdowej w warunkach ograniczonego dostępu do wody przez obniżenie osmotycznego potencjału wody.

Populacja hałdowa *S. vulgaris*, w porównaniu z innymi gatunkami roślin, wyjątkowo dobrze znosiła trudne warunki pokarmowe (ANTOSIEWICZ 1993, 1995). W badaniach laboratoryjnych rośliny te były odporne na ogólny deficyt składników pokarmowych i wyjątkowo dobrze tolerowały deficyt wapnia, fosforu i magnezu.

Główna strategia życiowa roślin populacji hałdowej *S. vulgaris*, związana ze wzrostem w trudnych warunkach hałdy galmanowej, polega na przyspieszonym wzroście, szybkim wejściu w fazę generatywną. Słabszy przyrost biomasy roślin był rekompensowany przez obfite wytwarzanie kwiatów (o 23%).

Autorzy wcześniejszych prac podają, że istotną cechą wielu populacji roślin tolerancyjnych na metale jest ich węższy (słabszy) wzrost w porównaniu z roślinami gleb nieskażonych (LEFÉBVRE i VERNET 1990, ERNST i współaut. 1990, VERKLEIJ i PRAST 1989). Zjawisko to często tłumaczone jest jako energetyczne koszty mechanizmów tolerancji na metale.

Badania prowadzone na *Silene vulgaris* populacji z hałdy w Bolesławiu k/Olkusza wykazały, że również rośliny populacji hałdowej osiągały mniejszą biomasa w porównaniu z populacją naturalną. Jednak dalsza hodowla roślin wykazała, że słabszemu wzrostowi roślin towarzyszyło zwiększenie tempa rozwoju roślin, wcześniejsze wejście w fazę kwitnienia i zwiększenia płodności roślin. Ciekawa ta obserwacja potwierdza wątpliwości wielu autorów, czy rzeczywiście redukcja wzrostu roślin

populacji tolerancyjnych na metale ciężkie wynika ze zwiększonych energetycznych wydatków spowodowanych przez wysokie energetyczne koszty wysokiej tolerancji np. zwiększenie produkcji fitochelatyn (ERNST i współaut. 1990).

Obserwacja *S. vulgaris* populacji z hałd w Bolesławiu k/Olkusza wykazują, że węższy wygląd roślin populacji hałdowej *S. vulgaris* jest przejawem strategii życiowej – typu „r”, która wynika z presji środowiska oddziałującego w kierunku selekcji typu „r”. Rośliny o strategii typu „r” odznaczają się krótkim cyklem życiowym, szybkim tempem wzrostu i rozwoju, dużym wysiłkiem reprodukcyjnym i płodnością (FALIŃSKA 1996). Definicji tej całkowicie podlega forma galmanowa *Silene vulgaris*.

U tych roślin, w porównaniu z populacją naturalną, strategia życiowa idzie w kierunku zwiększenia ilości energii przekazanej na fazę generatywną, co w ostatecznym rozrachunku daje większe szansę zachowania gatunku. Strategia zwiększonej płodności roślin kosztem przyrostu biomasy wydaje się być całkowicie uzasadniona, skoro warunki na hałdzie są na tyle trudne, że tylko 40% nasion zachowuje zdolność kiełkowania.

Taksonomiczna ranga populacji hałdowej *S. vulgaris*, jako podgatunek *angustifolia* (= *humilis*) (BRÖKER 1963, HEGI 1978, PAWLUS 1992), wydaje się być nazbyt wysoka. Gatunek *S. vulgaris* jest wyjątkowo zmiennym, silnie zróżnicowanym taksonem, dla którego opisano wiele form i ras, zależnie od miejsca występowania (HEGI 1978, TUTIN i współaut. 1993). Już BRÖKER (1963) wyraził pogląd, że na hałdach galmanowych występuje tylko ekotyp tej rośliny, o utrwalonych cechach. Populacje *S. vulgaris*, opisywano jako *angustifolia* = *humilis* i pochodzące z różnych metalonośnych terenów Europy, poważnie różniących się między sobą. Na przykład rośliny *S. vulgaris* populacji hałdowej, pochodzące z hałdy cynku i ołowiu w Bleikuhlen w Niemczech, były 2-krotnie wyższe od roślin z Bolesławia k/Olkusza, miały pędy wzniesione a nie płożące się, o znacznie szerszych liściach (BAKER i DALBY 1980). Wydaje się więc, że na skutek bardzo silnej presji środowiska hałdy i wyjątkowej plastyczności gatunku *S. vulgaris*, następuje lokalne przystosowanie roślin *S. vulgaris* do warunków panujących na konkretnej hałdzie i wytwarzanie ekotypu o utrwalonych cechach. Dlatego proponujemy, aby *Silene vulgaris* po-

rastającą galmanową hałdę koło Olkusza określić jedynie jako formę galmanową *Silene vulgaris* (ekotyp).

GO DZIK KARTUZEK – *DINATHUS*
CARTHUSIANORUM

Dianthus carthusianorum (Caryophyllaceae) jest również jedną z roślin dominujących na hałdach w Bolesławiu k/Olkusza. Jest to gatunek często spotykany na tym obszarze, zarówno na hałdach, jak i na obszarach lasów oraz na okolicznych łąkach i piaskach. Już w 1913 r. Wójcicki opisywał duże i rozległe płaty *Dianthus carthusianorum* jako dominujące na terenach świeżych robót górniczych. Dotychczas gatunek ten nie był tak szeroko badany jak *Silene vulgaris* i badania dotyczące porównania populacji hałdowych i naturalnych *D. carthusianorum* po raz pierwszy opisały ZAŁĘCKA i WIERZBICKA (2002).

Badania te wykazały, że populacja hałdowa *D. carthusianorum* różniła się istotnie od roślin populacji naturalnych (gdy obie populacje były hodowane z zwykłej glebie, w jednakowych warunkach) następującymi cechami (Ryc. 9, 10): mniejszą biomasą części nadziemnych, mniejszą długością i szerokością liści, mniejszą liczbą liści na jednym osobniku. W połączeniu ze skróconymi mało licznymi pędami – dało to zmniejszenie o $\frac{1}{4}$ powierzchni transpiracyjnej roślin populacji hałdowej. Rośliny populacji hałdowej zawierały również większą ilość wody w tkankach liści oraz wykazywały zdolność do bardzo obfitego wytwarzania włókników korzeniowych. Powyższe cechy populacji hałdowej *D. carthusianorum* wskazują na jej przystosowania kseromorficzne. Cechy te wystąpiły w trzech kolejnych pokoleniach roślin populacji hałdowej, mimo wyeliminowania czynników siedliskowych. Wykazano również, że mniejszym rozmiarom części nadziemnych roślin populacji hałdowej towarzyszyło wcześniejsze wchodzenie w fazę generatywną i zwiększenie płodności tych roślin. Jest to przejaw strategii życiowej typu „r” tej populacji. Strategia taka zwiększa szanse utrzymania gatunku w trudnych warunkach panujących na hałdzie.

Tak więc w populacji hałdowej *Dianthus carthusianorum*, podobnie jak w populacji hałdowej *Silene vulgaris*, doszło do wytwarzania odrębnego ekotypu (formy galmanowej) o wzmożonych cechach przystosowania do wa-

runków kserotermicznych panujących na hałdzie.

Natomiast podwyższenie tolerancji na metale ciężkie w populacji hałdowej *Dianthus carthusianorum* nie było tak silne jak u *Silene vulgaris*. W populacji hałdowej *D. carthusianorum* tolerancja na cynk była podwyższona o około 30%, a na ołów o około 25% w porównaniu z populacją naturalną. Wskazuje to, iż u tego gatunku w większym stopniu nastąpiło przystosowanie do warunków suszy i niż do wysokich zawartości metali ciężkich w podłożu (Ryc. 8C).

Ogólnie można stwierdzić, że przystosowania do wzrostu na hałdzie galmanowej w Bolesławiu k/Olkusza nastąpiły w podobnym kierunku zarówno *Silene vulgaris*, jak i *Dianthus carthusianorum*. W obu przypadkach doszło do wytworzenia odrębnych form galmanowych wyróżniających się utrwalonymi genetycznie przystosowaniami do warunków deficytu wody i nadmiernych ilości toksycznych metali ciężkich w podłożu.

PLESZCZOTKA GÓRSKA – *BISCUTELLA*
LAEVIGATA

Biscutella laevigata L. jest rośliną zielną należącą do rodziny Brassicaceae. Jest typowym gatunkiem górskim, który na terenie Europy występuje od wschodnich Pirenejów po Alpy Transylwańskie (GASSER 1986). Ten gatunek roślin występuje w Polsce tylko w Tatrach (na skałkach wapiennych i usypiskach piargowych) oraz na hałdach galmanowych w okolicach Olkusza (SZAFER i ZARZYCKI 1972).

W Tatrach obecność tego gatunku stwierdzono na glebach o podwyższonym poziomie metali ciężkich (GOZDIK 1991, 1993). I tak np. liczne osobniki *B. laevigata* występują w Dolinie Małej Łąki, gdzie w podłożu stwierdzono 300 mg/kg s.m. cynku, 200 mg/kg s.m. ołowiu, 24000 mg/kg s.m. żelaza. Inne stanowisko tej rośliny znajduje się w Dolinie Jaworzynki, gdzie zawartość metali w podłożu była następująca: ołów – 90 mg/kg s.m., kadm – 7 mg/kg s.m., cynk – 65 mg/kg s.m. Podwyższona zawartość metali w Tatrach wynika z naturalnych, geochemicznych źródeł (JOST 1956, 1962). W ubiegłych wiekach niektóre rudy metali były w Tatrach wydobywane, ale od ponad 100 lat górnictwo tatrzańskie wygasło z powodu nieopłacalności wydobywania metali.

Podczas wszystkich dotychczasowych badań florystycznych prowadzonych na terenie



Ryc. 9. Pokrój ogólny goździka kartuzka (*Dianthus carthusianorum*) – populacja naturalna. Rośliny były hodowane (w zwykłej glebie) z nasion pochodzących z Ogrodu Botanicznego w Lublinie.

Olkusza (np. WÓYCICKI 1913, DOBRZAŃSKA 1955, GRODZIŃSKA i współaut. 2001), opisywano liczne występowanie tego górskiego gatunku na hałdach galmanowych. Wskazywano przy tym na znaczne różnice morfologiczne roślin *B. laevigata* występujących na hałdach w porównaniu z roślinami występującymi w Ta-

Ostatnio przeprowadzono badania porównawcze obu populacji *B. laevigata* (WIERZBICKA i PIELICHOWSKA 2002). Wykazały one, że różnice morfologiczne pomiędzy populacją hałdową i populacją górską nie są różnicami trwałymi i nie zostały utrwalone genetycznie. Podczas hodowli w zwykłej glebie, w jednako-



Fig 10. Pokrój ogólny goździka kartuzka (*Dianthus carthusianorum*) – populacja hałdowa. Rośliny były hodowane (w zwykłej glebie) z nasion pochodzących z hałdy galmanowej k/Olkusza.

trach (GODZIK 1991, 1993). Jak dotąd nie było jednak wiadome na ile różnice te spowodowane są różnymi warunkami siedliska (piargi górskie i odkryte hałdy galmanowe), a na ile są to utrwalone różnice pomiędzy tymi dwoma populacjami roślin.

wych warunkach, obie populacje roślin rozwijały się w podobnym tempie. Rośliny uzyskiwały podobną wielkość, a również wielkość i pokrój liści był jednakowy zarówno w populacji hałdowej, jak i populacji górskiej. *B. laevigata* (Ryc. 11).

Natomiast szereg innych drobniejszych cech różniło obie populacje roślin. Rośliny populacji hałdowej miały jasno-zielone, cienkie liście, pokryte bardzo dużą ilością włosków (Ryc. 12). Natomiast rośliny populacji górskiej miały liście ciemno-zielone, grube, pokryte warstwą wosku oraz nielicznymi i krótkimi włoskami (Ryc. 13). Stwierdzono również, że rośliny populacji hałdowej były bardziej tolerancyjne na ołów (o 20%) niż rośliny populacji górskiej *B. laevigata* (Ryc. 8A).

Przeprowadzone obserwacje wskazują, że u dwóch populacji *B. laevigata* nie nastąpiły, utrwalone genetycznie, poważne różnice w morfologii całych roślin – co wyraźnie było obserwowane u poprzednio opisanych dwóch gatunków roślin: *Silene vulgaris* i *Dianthus carthusianorum*.

Natomiast u *Biscutella laevigata* wystąpiły inne różnice utrwalone genetycznie, wynikające z przystosowania roślin do warunków kserotermicznych, jakie panują zarówno na górskich piargach jak i na hałdach. Jednakże przystosowania te nastąpiły na dwóch różnych drogach w obu populacjach roślin.

W populacji hałdowej *B. laevigata*, nastąpiło ograniczenie transpiracji wody z tkanek po-

przez obfite pokrycie liści kutnerem. Natomiast u populacji górskiej nastąpiło zabezpieczenie przed utratą wody przez zwiększenie rozmiarów komórek miękiszu gąbczastego i polisadowego, co pozwoliło na gromadzenie w liściach znacznych ilości wody. Przed nadmierną transpiracją liście chronione są dodatkowo grubą warstwą wosku. Jak wiadomo, są to dwie różne strategie skutecznie ograniczające utratę wody z tkanek.

Tak więc u tych dwóch geograficznie oddzielonych od siebie populacji roślin, wystąpiły dwie różne ewolucyjne drogi prowadzące w efekcie do przystosowania obu populacji roślin do warunków kserotermicznych. Natomiast podwyższona tolerancja na ołów populacji hałdowej *B. laevigata* sprzyja wzrostowi i rozwojowi tych roślin na hałdach galmanowych, w obecności dużych ilości metali ciężkich. Stwierdzono, że rośliny *B. laevigata* podczas wzrostu na hałdzie galmanowej w Bolesławiu k/Olkusza gromadziły w swoich tkankach do 111 mg/kg s.m. Pb, 14 mg/kg s.m. Cd, 410 mg/kg s.m. Zn (SZAREK-ŁUKASZEWSKA i NIKLIŃSKA 2002). Są to bardzo wysokie ilości metali.

WNIOSKI KOŃCOWE

Podsumowując można stwierdzić, że populacje hałdowe *Silene vulgaris*, *Dianthus carthusianorum* i *Biscutella laevigata* uzyskały przystosowania do warunków suszy, braku związków pokarmowych w podłożu i nadmiernych ilości metali ciężkich w podłożu.

Problem mechanizmów tolerancji roślin na metale ciężkie jest odrębnym zagadnieniem, któremu zostało poświęcone wiele uwagi w naszych innych pracach badawczych. Czytelników zainteresowanych tym zagadnieniem odsyłam do artykułu, który ukazał się w „KOSMOSIE” (WIERZBICKA 1995a) oraz do prac szczegółowych (WIERZBICKA 1987a, 1988, 1989, 1994, 1995b, 1998, 1999a,b; WIERZBICKA i POTOCKA 2002). Zagadnienie to u glonów omawia również artykuł B. PAWLIK-SKOWROŃSKIEJ w tym numerze „KOSMOSU”.

Natomiast w przypadku, trzech przedstawionych w niniejszej pracy gatunków roślin, populacje hałdowe wykazywały podwyższoną tolerancję na metale występujące w podłożu

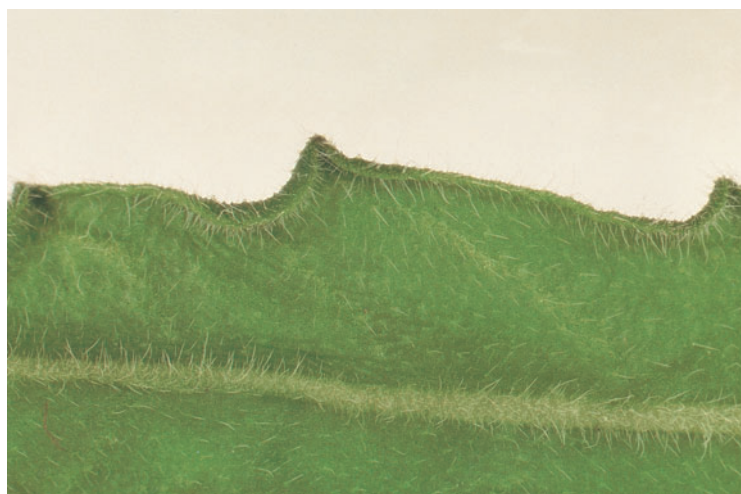
hałdy: cynk, ołów, kadm w porównaniu z populacjami normalnymi tych gatunków. Cechy morfologiczne tych populacji roślin, różniące je od populacji naturalnych tych gatunków, wynikały, we wszystkich trzech przypadkach, z przystosowań do deficytu wody. Cechy te były utrwalone genetycznie i występowały na tym samym poziomie istotności statystycznej w trzech kolejnych pokoleniach roślin, mimo hodowli w zwykłej glebie, w optymalnych warunkach, na podłożu pozbawionym metali ciężkich i przy dostatku wilgoci (Ryc. 4, 5, 9, 10, 11).

Natomiast u dwóch gatunków *Silene vulgaris* i *Dianthus carthusianorum* stwierdzono strategię życiową typu – „r”, gdzie zmniejszenie biomasy roślin było rekompensowane przez zwiększenie płodności roślin.

Tak więc, wśród populacji hałdowych trzech badanych gatunków roślin, na drodze procesów mikroewolucyjnych, przez silną selekcję ekotypów najlepiej przystosowanych do lokalnych warunków, dochodzi do wykształcenia odrębnych, galmanowych form tych roślin.



Fig 11. Pleszczotka górską (*Biscutella laevigata*) – populacja naturalna. Rośliny wyhodowane w zwykłej glebie, z nasion pochodzących z Tatr (lewa strona), populacja hałdowa rośliny wyhodowane w zwykłej glebie, z nasion pochodzących z hałdy galmanowej w Bolesławiu k/Olkusza (prawa strona). Widoczne różnice w kolorze liści obu populacji roślin. Brak wyraźnych różnic morfologicznych pomiędzy roślinami obu populacji.



Ryc. 12. Liście pleszczotki górskiej (*Biscutella laevigata*) pokryte licznymi włoskami – populacja hałdowa. Roślina wyhodowana (w zwykłej glebie) z nasion pochodzących z hałdy galmanowej w Bolesławiu k/Olkusza.



Ryc. 13. Liście pleszczotki górskiej (*Biscutella laevigata*) pokryte nielicznymi włoskami i błyszczącą warstwą wosków – populacja naturalna. Roślina wyhodowana (w zwykłej ziemi) z nasion pochodzących z Tatr.

Badania nasze wykazują również, że galmanowe formy trzech badanych gatunków roślin mają podwyższoną tolerancję na metale ciężkie (Ryc. 8), co wskazuje, że z powodzeniem mogą być wykorzystywane przy rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi. Populacje hałdowe tych gatunków roślin są szczegól-

nie cenne gdyż posiadają utrwalone genetycznie cechy umożliwiające im wzrost w pionierskich i trudnych warunkach panujących na hałdach bogatych w cynk i ołów.

Tak więc wyniki badań dowodzą jak cenne genetycznie mogą być rośliny porastające stare hałdy!

THE ADAPTATION OF PLANTS TO GROWTH ON A CALAMINE WASTE HEAP IN BOLESŁAW NEAR OLSZYSTO

S u m m a r y

The natural vegetation of areas characterized by high concentrations of heavy metals may be a valuable source of genetic material (forms-ecotypes) ideally adapted to growth under the harsh and pioneering conditions of calamine waste heaps. In this paper we describe the particular traits distinguishing the calamine forms of species dominating a calamine waste heap in Bolesław near Olszysto. The waste-heap populations of *Silene vulgaris*, *Dianthus carthusianorum* and *Biscutella laevigata* have acquired additional adaptations to drought conditions, nutrient deficits and excessive levels of heavy metals in the soil. The morphological traits of these plant populations distinguishing them from the natural populations of these species stemmed in all three cases from adaptations to water deficit. These traits were established genetically and occurred at the same level of significance in three successive generations despite the plants being cultivated under optimal conditions on a substrate devoid

of heavy metals and with an adequate water supply. Two species, *Silene vulgaris* and *Dianthus carthusianorum*, were found to have a type „r” life strategy (a short life cycle, fast growth, large reproductive effort) in which the reduction of biomass was compensated for by increased fertility. In the waste-heap populations of the three studied plant species, microevolutionary processes and strong selection of ecotypes best adapted to local conditions led to the development of distinct calamine resistant forms of these plants. The presented studies also show that the calamine resistant forms of the three species studied can be used in the reclamation of land polluted by heavy metals. The waste-heap populations of these species are particularly valuable since they have genetically established traits that allow them to grow under the harsh and pioneering conditions prevailing on waste heaps rich in zinc and lead.

LITERATURA

- ANTOSIEWICZ D. M., 1993. *Mineral status of dicotyledonous crop plants in relation to their constitutional tolerance to lead*. Env. Exp. Bot. 33, 575–589.
- ANTOSIEWICZ D. M., 1995. *The relationship between constitutional and inducible Pb-tolerance and tolerance to mineral deficit in Biscutella laevigata and Silene inflata*. Env. Exp. Bot. 35, 55–69.
- BAKER A. J. M., DALBY D. H., 1980. *Morphological variation between some isolated populations of Silene maritima With. in the British Isles with particular reference to inland populations on metalliferous soils*. New Phytol. 84, 123–138.
- BRÖKER W., 1963. *Genetisch-physiologische Untersuchungen über die Zinkverträglichkeit von Silene inflata Sm.* Flora 153, 122–156.
- DOBRAŃSKA J., 1955. *Flora and Ecological Studies on Calamine Flora in the District of Bolesław and Olszysto*. Acta Soc. Bot. Pol. 24, 357–408.
- ERNST W. H. O., 1974. *Schwermetallvegetation der Erde*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- ERNST W. H. O., SCHAT H., VERKLEIJ J. A. C., 1990. *Evolutionary biology of metal resistance in Silene vulgaris*. Evol. Trends in Plants 4, 45–51.
- FALIŃSKA K., 1996. *Ekologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- GASSER M., 1986. *Genetic – ecological investigations in Biscutella laevigata*. Veröffentlichung des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Zürich.
- GOZDIK B., 1991. *Accumulation of heavy metals in Biscutella laevigata (Cruciferae) as a function of their concentration in substrate*. Pol. Bot. Stud. 2, 241–246.
- GOZDIK B., 1993. *Heavy metals content in plants from zinc dumps and reference areas*. Pol. Bot. Stud. 5, 113–132.
- GRIES B., 1966. *Zellphysiologische Untersuchungen über die Zinkresistenz bei Galmeiökotypen und Normalformen von Silene cucubalus Wib.* Flora 156, 271–290.
- GRODZIŃSKA K., KORZENIAK U., SZAREK-ŁUKASZEWSKA G., GOZDIK B., 2001. *Colonization of zinc mine spoils in southern Poland – preliminary studies on vegetation, seed rain and seed bank*, Fragmenta Floristica et Geobotanica, 45, 123–145.
- HEGI G., 1978. *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Band 3, Teil 2. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- JOST H., 1962. *O górnictwie i hutnictwie w Tatrach Polskich – studia i materiały z dziejów nauk polskich*, Tom 4, WN-T Warszawa.

- JOST H., 1956. *Górnictwo i hutnictwo w Tatrach Polskich – studia i materiały dziejów z nauk polskich*, Tom 4, WN-T, Warszawa.
- LEFÉBRE C., VERNET P., 1990. *Microevolutionary processes on contaminated deposits*. [W:] *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*. SHAW J. (red.) CRC Press, Boca Raton, Florida, 285–300.
- PAWLUS M., 1992. Rodzaj: *Silene* L., *Lepnica* [W:] *Flora Polski, rośliny naczyniowe* JASIEWICZ A. (red.). Instytut Botaniki im W. Szafera, PAN, Kraków, B, 250–269.
- PODBIELKOWSKI Z., PODBIELKOWSKA M., 1992. *Przystosowania roślin do środowiska*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- SZAFER W., ZARZYCKI K., 1972. *Szata roślinna Polski*. PWN, Warszawa.
- SZAREK-ŁUKASZEWSKA G., NIKLIŃSKA M., 2002. *Concentration of some chemical elements in Biscutella laevigata L and Plantago lanceolata L from calamine spoils (Poland)*. Acta Biol. Crac. ser. Bot. 44 (w druku).
- TUTIN T. G., BBUNGERS N. A., CHATER A. O.; EDMONDSON J. R., HEYWOOD V. H., MOORE D. M., VALENTINE D. H., WALTERS S. J., WEBB D. A., 1993. *Psilotaceae to Plantanaceae (in) Flora Europea*, Tom 1. Cambridge University Press.
- VERKLEJI J. A. C., PRAST J. E., 1989. *Cadmium tolerance and co-tolerance in Silene vulgaris (Moench) Garcke [=S.cucubalus(L.) Wib.]*. New Phytol. 111, 637–645.
- WIERZBICKA M., 1987a. *Lead translocation and localization in Allium cepa roots*. Can. J. Bot. 65, 1851–1860.
- WIERZBICKA M., 1987b. *Lead accumulation and its translocation barriers in roots of Allium cepa L. - autoradiographic and ultrastructural studies*. Plant, Cell and Env. 10, 17–26.
- WIERZBICKA M., 1988. *Mitotic disturbance induced by low doses of inorganic lead*. Caryologia 41, 143–160.
- WIERZBICKA M., 1989. *Disturbances in cytokinesis caused by inorganic lead*. Env. Exp. Bot. 29, 123–133.
- WIERZBICKA M., 1998. *Lead in the apoplast of Allium cepa L. roots tips – ultrastructural studies*. Plant Science 133, 105–119.
- WIERZBICKA M., 1994. *The resumption of mitotic activity in Allium cepa L. roots tips during treatment with lead salts*. Env. Exp. Bot. 34, 179–180.
- WIERZBICKA M., 1995a. *Oddziaływanie metali ciężkich na rośliny*. Kosmos 44, 639–651.
- WIERZBICKA M., 1995b. *How lead loses its toxicity to plants*. Acta Soc. Bot. Pol. 64, 81–90.
- WIERZBICKA M., 1999a. *Comparison of lead tolerance in Allium cepa with other plant species*. Env. Poll. 104, 41–52.
- WIERZBICKA M., 1999b. *The effect of lead on the cell cycle in the root meristem of Allium cepa L*, Protoplasma 207, 186,194.
- WIERZBICKA M., PANUFNIK D., 1998. *The adaptation of Silene vulgaris to growth on a calamine waste heap (S. Poland)*. Environ. Poll. 101, 415–426.
- WIERZBICKA M., POTOCKA A., 2002. *Tolerance to lead of plants growing on dry on moist soils*, Acta Biol. Crac. Ser. Bot. 44 (w druku).
- WIERZBICKA M., PIELICHOWSKA M. 2002. *Biscutella laevigata – roślina Tatr i hałd przemysłowych*. [W:] *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek*. KRZAN Z. (red.) Zakopane-Kraków (w druku).
- WIERZBICKA M., ROSTAŃSKI A., 2002. *Microevolutionary changes in the ecotypes of calamine waste heap vegetation near Olkusz, Poland*. Acta Biol. Crac. Ser. Bot. 44, (w druku).
- WIERZBICKA M., ZYSKA A., 1999. *Zinc tolerance of a Silene vulgaris population from a calamine waste heap near Olkusz, Poland*. [W:] *Trace elements – effects on organism and environment*. Uniwersytet Śląski, Katowice, 215–219.
- WÓYCICKI Z., 1913. *Roślinność terenów galmanowych Bolestawia i Olkusza*. Obrazy roślinności Królestwa Polskiego, Kasa Mianowskiego, Warszawa.
- ZALECKA R., WIERZBICKA M., 2002. *The adaptation of Dianthus carthusianorum (Caryophyllaceae) to growth on a zinc-lead heap in southern Poland*. Plant Soil (w druku).