

Gospodarka mineralna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na podłożach zanieczyszczonych metalami ciężkimi

Sosna zwyczajna jest podstawowym gatunkiem lasotwórczym Polski, o bardzo dużym znaczeniu gospodarczym. Jest również często wykorzystywana w rekultywacji terenów silnie zdegradowanych przez przemysł (w tym przez górnictwo rud metali). Na tych terenach panują niekorzystne warunki życia dla roślin, głównie z powodu dużej koncentracji metali ciężkich w podłożu. Metale ciężkie w nadmiarze są zagrożeniem dla prawidłowego funkcjonowania roślin m.in. dlatego, że zaburzają ich żywienie mineralne, co wywołuje deficyty pierwiastków odżywczych i prowadzi do ograniczenia wzrostu roślin. Mimo wielu badań przeprowadzonych nad sosną zwyczajną, wiedza o żywieniu mineralnym tego gatunku na terenach pogórnicznych jest bardzo ograniczona.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było scharakteryzowanie gospodarki mineralnej sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rosnącej na podłożach zanieczyszczonych metalami ciężkimi, pochodzącymi z wydobywania i przeróbki rud Zn-Pb, oraz określenie wpływu metali ciężkich na funkcjonowanie sosny.

Badania były prowadzone w południowej Polsce, głównie w Olkuskim Okręgu Rudnym (OOR), pomiędzy miejscowościami Bolesław, Laski, Olkusz i Bukowno, w terenie zdegradowanym i silnie zanieczyszczonym przez wielowiekowe (od XII do XX w.) górnictwo odkrywkowe i przetwarzanie rud Zn-Pb. Założono osiem stałych powierzchni badawczych (o wielkości 0,05 ha każda), z których sześć znajdowało się w OOR, a dwie (powierzchnie kontrolne) poza OOR – w okolicy Trzebini i Złotego Potoku. Powierzchnie w OOR obejmowały monokultury sosny zwyczajnej, nasadzone w latach 90 XX w., w ramach rekultywacji terenów zdegradowanych przez górnictwo. Reprezentowały one dwa główne typy podłoża: kamieniste (na odpadach górniczych) i piaszczyste.

Z każdej powierzchni badawczej zebrano: 10 prób z górnej warstwy gleby (do głębokości 10 cm), 15 prób żywych igieł sosny (bieżącego przyrostu, jednoroczne, dwuletnie) i 5 prób drewna z pni 5 ściętych drzew (w lipcu). Zbierano także opadłe igły jesienią (od września do listopada) z wykorzystaniem 10 łapaczy na każdej powierzchni badawczej. Ze wszystkich prób igieł pobierano po 150 sztuk w celu oszacowania parametrów biometrycznych (masy i długości).

W próbach gleby były mierzone następujące parametry: pH_{H_2O} , pH_{KCl} , CEC_E i koncentracje C, N, K, Ca, Mg, As, Tl (formy całkowite) oraz P, Zn, Pb, Cd (formy całkowite i biodostępne). W próbach igieł sosny (żywych i martwych) określano stężenia: C, N, P, K, Ca, Mg, Zn, Pb, Cd, a w próbach drewna: Zn, Pb, Cd. Zastosowano standardowe metody analiz chemicznych. Wszystkie analizy przeprowadzono w laboratorium Instytutu Botaniki W. Szafera PAN w Krakowie.

Analizie statystycznej poddano właściwości gleby (test Kruskala-Wallisa), igieł żywych (dwuczynnikowa analiza wariancji, test Tukeya i analiza regresji wielorakiej), igieł opadłych (trzechczynnikowa analiza wariancji), drewna (jednoczynnikowa analiza wariancji i test Tukeya). Związki pomiędzy właściwościami chemicznymi gleby i składem chemicznym oraz parametrami biometrycznymi igieł sosny badano przy użyciu korelacji rang Spearmana.

Określono intensywność i kierunek przemieszczania się badanych pierwiastków w igliwiu przed jego jesiennym opadem oraz oszacowano nadziemną biomasę drzewostanu sosnowego i zgromadzoną w nim pulę metali (Zn, Pb, Cd) dla każdej powierzchni badawczej.

Z przeprowadzonych badań wynika, że na terenie po górnictwie rud Zn i Pb monokultury sosnowe wznosiły się na podłożu przeważnie zasadowym, ubogim w podstawowe pierwiastki odżywcze (C, N, P) i miejscami (na kamienistych odpadach górniczych) bogatym w kationy podstawowe (K, Ca, Mg). Gleby w OOR były różnie zanieczyszczone przez metale pochodzące z wydobywanych rud. Stężenia Zn, Pb, Cd były wielokrotnie wyższe, niż w glebach rejonów nieprzemysłowych Polski, a zawartości As i Tl były niskie – przeważnie mieściły się w zakresach wartości typowych dla gleb niezanieczyszczonych.

Stwierdzono, że sosna zwyczajna potrafi sobie dobrze radzić w warunkach nadmiaru metali ciężkich, które występowały w ilościach potencjalnie toksycznych (głównie Zn i Pb), zarówno w podłożu kamienistym, jak i piaszczystym. Nie zaobserwowano uszkodzeń morfologicznych, które mogłyby zostać uznane za specyficzne dla drzew terenów metalonośnych. Natomiast stwierdzono następujące zmiany w składzie mineralnym drzew w OOR: niedobór N, P i Ca w igliwiu oraz nadmiar metali z rud – Zn, Pb i Cd – w igliwiu żywym, jak i w drewnie pni. Poziomy stężenie K i Mg mieściły się w zakresach wartości optymalnych dla sosny zwyczajnej. Choć z analizy indywidualnych stężeń pierwiastków pokarmowych w igliwiu wynika, że sosny były słabo zaopatrzone w podstawowe biogeny, N i P, to proporcje tych pierwiastków w igliwiu wydają się być prawidłowe i nie wskazują na dysharmonię w ich pobieraniu. Także wzory zmienności stężeń pierwiastków w igłach sosny związane z ich dojrzewaniem były typowe dla tego gatunku – wraz z wiekiem igieł stężenia N, P i K przeważnie stopniowo malały, a stężenia Ca, Zn, Pb i Cd rosły.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że metale ciężkie z rud zakłócają gospodarowanie pierwiastkami odżywczymi sosen i wpływają na ograniczenie ich wzrostu, objawiające się zmniejszeniem długości i masy igieł. Dowiedziono tego poprzez negatywną korelację pomiędzy zawartością N i P w igłach (głównie dwuletnich), a zawartością metali w glebie – Ca, Mg, Zn, Pb, As i Tl – oraz poprzez ujemne związki między parametrami biometrycznymi (masa, długość igły), a stężeniami metali z rud w podłożu – Zn, Pb, Cd, As, Tl. Również analiza regresji wykonana dla igieł rocznych potwierdziła negatywny wpływ Zn na ich masę.

Stężenia najważniejszych pierwiastków odżywczych w opadzie igieł w drzewostanach w OOR były na ogół podobne do tych obserwowanych na terenach niezanieczyszczonych, natomiast stężenia Zn, Pb i Cd były wielokrotnie wyższe. Stwierdzono, że kierunki przemieszczania pierwiastków jesienią u badanych sosen były przeważnie zachowane – N, P i K były wycofywane ze starzejących się igieł, natomiast Ca, Zn, Pb i Cd były dodawane do starzejącego się igliwia. Jednak w kontekście danych literaturowych wydaje się, że w warunkach deficytu pierwiastków odżywczych i silnego zanieczyszczenia podłoża metalami, jak w OOR, intensywność procesu przemieszczania pierwiastków jesienią u sosny zwyczajnej była znacznie zmniejszona.

W drewnie stężenia metali na wszystkich badanych powierzchniach były niższe niż w igłach żywych, podobnie jak u sosen z innych obszarów; były jednak wyższe, niż naturalne stężenia. Najwyższe koncentracje w drewnie osiągał Zn; był to jednocześnie jedyny pierwiastek, którego stężenia w drewnie i w glebie korelowały ze sobą.

Drzewostany sosnowe gromadziły znaczne ilości metali w nadziemnej biomacie, a wielkość kumulowanych puli Zn, Pb, Cd i udział w niej drewna i igliwia różniły się w zależności od metalu i stopnia zanieczyszczenia podłoża. Pule Zn w biomacie igliwia sosen były podobne lub większe, niż pule w drewnie pni, szczególnie w drzewostanach z silnie zanieczyszczonych powierzchni badawczych; Pb i Cd były gromadzone głównie w drewnie. Te wyniki sugerują, że na zanieczyszczonych powierzchniach duże ilości Zn są zwracane wraz z opadającymi igłami i w rezultacie górna warstwa gleby może być wzbogacana w ten pierwiastek.

W badaniach zwrócono uwagę na czynniki, które mogą wpływać na dostępność metali ciężkich dla drzew oraz mogą łagodzić ich toksyczność. Wydaje się, że u sosny ta toksyczność jest w pewnym stopniu łagodzona, a w pewnym stopniu tolerowana. Tej tolerancji może towarzyszyć tolerancja na niedobory podstawowych pierwiastków odżywczych. O dużej plastyczności badanych drzewostanów sosnowych świadczy ich dość dobra kondycja, pomimo wykrytych zaburzeń gospodarki mineralnej objawiających się: słabym zaopatrzeniem igliwia w pierwiastki odżywcze i nadmiarem metali z rud, zmniejszoną wydajnością jesiennej retranslokacji podstawowych biogenów, produkcją opadu ściółki bogatego w metale, dużą akumulacją metali rud w nadziemnej biomacie. Wydaje się, że utrzymywane są kierunki przemieszczania się pierwiastków odżywczych, a także zbilansowane są ich proporcje w igliwiu. Z badań wynika też, że metale ciężkie, które zakłócają gospodarkę mineralną sosen, wpływają na ograniczenie ich wzrostu objawiające się zmniejszeniem długości i masy igieł.