

ROZDZIAŁ 13

ŚWIERK W ŚRODOWISKU ZMIENIONYM PRZEZ CZŁOWIEKA

13.1. Wrażliwość na zanieczyszczenia przemysłowe (Piotr Karolewski)

Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że drażliwość drzew na zanieczyszczenia przemysłowe jest uwarunkowana genetycznie. Wykazano, że u świerka pospolitego zróżnicowanie we drażliwości występuje na poziomie populacyjnym (HUTTUNEN 1978; BIAŁOBOK i wsp. 1980; GEBUREK i SCHOLZ 1992), rodowym (ROHMEDEK i SCHÖNBORN 1965; SCHOLZ i wsp. 1980; SCHOLZ i BERGMANN 1984; BERGMANN i SCHOLZ 1987) oraz osobniczym (BÖRTITZ 1964; BÖRTITZ i VOGL 1972). Powszechnie uznaje się, że drzewa iglaste są na ogół bardziej drażliwe od liściastych (BIAŁOBOK i wsp. 1984; BALSBERG-PÅHLSSON 1989). Jednakże pomiędzy gatunkami drzew iglastych istnieje duże zróżnicowanie we drażliwości, a wyniki badań są często rozbieżne. ROHMEDEK i SCHÖNBORN (1965), WENTZEL (1968) oraz BOSSAVY (1970) uszeregowali je w miarę wzrostu tolerancji na wpływ związków fluoru następująco: świerk pospolity < jodła pospolita < sosna zwyczajna < sosna czarna. Na działanie tego samego typu zanieczyszczeń DE CORMIS (1970), zaliczył świerk pospolity na równi z sosną zwyczajną do bardzo drażliwych. Natomiast obserwacje terenowe, które wykonali HORNTVEDT i ROBAK (1975) wskazują, że świerk pospolity wykazuje mniejsze uszkodzenia igieł wywołane przez związki fluoru niż sosna zwyczajna i jodła pospolita. Jednakże autor stwierdza, że gatunki z rodzaju *Pinus* utrzymują igły nawet w bardzo dużym stopniu

uszkodzone, natomiast z rodzaju *Picea* zrzucają je przy niewielkim uszkodzeniu. Według RANFTA i DÄSSLERA (1970) świerk pospolity wykazuje podobną drażliwość na dwutlenek siarki (SO₂), jak sosna zwyczajna i modrzew europejski. Zdaniem BUCHER-WALIN i współpracowników (1979) jest on bardziej tolerancyjny od sosny zwyczajnej i jodły pospolitej, a KELLERA (1977a) podobnie drażliwy jak sosna zwyczajna, ale mniej niż jodła pospolita. Według ostatniego z wymienionych autorów, widoczne uszkodzenia na igłach sadzonek świerka pojawiają się po okresie 10 tygodni działania SO₂ w stężeniu 0,2 ppm. Wyniki obserwacji uszkodzeń drzew wysadzonych w pobliżu huty miedzi, emitującej do atmosfery duże ilości SO₂ oraz toksycznych metali wykazały, że choć świerk pospolity jest bardziej drażliwy od świerka kłującego (*Picea pungens*) i wielu gatunków drzew liściastych, to jednak bardziej tolerancyjny niż sosna wydmowa (*Pinus contorta*), sosna zwyczajna (*P. sylvestris*), sosna wejmutka (*P. strobus*), a nawet sosna czarna (*P. nigra*) uważana za mało drażliwą (RACHWAŁ 1983). Na skażenie powietrza przez mieszaninę tlenków azotu, związków siarki, fluoru i amonu, siewki świerka pospolitego są mniej drażliwe niż sosny zwyczajnej (HUTTUNEN 1978). Spośród zanieczyszczeń gazowych, świerk pospolity jest stosunkowo mało drażliwy na działanie ozonu (O₃). Wskazuje na to analiza porównawcza wyników

wielu laboratoryjnych i terenowych badań, przeprowadzona przez SUCHARĘ (1980) oraz BIAŁOBOKA i współpracowników (1984). Wyniki długoterminowych ekspozycji na O_3 przeczą jednak tej opinii. Na przykład według RANTANENA i współpracowników (1994b) siewki świerka wykazują odporność na ten gaz, w stężeniu przekraczającym około 1,5 razy jego zawartość w powietrzu atmosferycznym tylko przez 1, a najwyżej 2 sezony wegetacyjne. Także badania wpływu O_3 w warunkach kontrolowanych, przeprowadzone przez SKEFFINGTONA i ROBERTSA (1985) wykazały, że siewki świerka pospolitego są bardziej wrażliwe na ten gaz od siewek sosny zwyczajnej.

Świerk pospolity jest gatunkiem wrażliwym także na inne zanieczyszczenia niż gazowe. Porównywalne stężenia jonów glinowych wywoływały większe zahamowanie wzrostu siewek świerka pospolitego niż sosny zwyczajnej (AROVAARA i ILVESNIEMI 1990). GODBOLD i współpracownicy (1985a) określając zahamowanie wzrostu i masy pędów oraz korzeni, a także obniżenia zawartości chlorofilu, natężenia fotosyntezy, oddychania i transpiracji siewek świerka pospolitego, stwierdzili następującą kolejność pod względem toksyczności kationów metali: $Hg > Pb > Cd > Zn$. Gatunek ten jest także bardzo wrażliwy na pyły cementowe (CZAJA 1962), które krystalizują na powierzchni igieł w postaci CaO . Tlenek wapnia po rozpuszczeniu przechodzi w $Ca(OH)_2$, dostaje się do przestrzeni międzykomórkowych i powoduje plazmolizę, a w efekcie tego śmierć komórek. Przy jednoczesnym działaniu SO_2 i toksycznych metali (Cu , Zn , Cd , Pb) świerk pospolity wykazywał nieznacznie mniejszą wrażliwość od sosny zwyczajnej (BALSBERG-PÄHLSSON 1989).

Duże znaczenie gospodarcze świerka pospolitego jest przyczyną, że gatunek ten jest chętnie wykorzystywany w badaniach zmierzających do ustalenia mechanizmów reakcji drzew na działanie toksycznych zanieczyszczeń. Przeprowadzanie badań u świerka pospolitego ma również swoje uzasadnienie ze względu na dużą rozpię-

tość zróżnicowania w stopniu tolerancji, w ramach tego gatunku. Tłumaczy to dużą rozbieżność ocen wrażliwości na zanieczyszczenia przemysłowe, a jednocześnie umożliwia wyselekcjonowanie osobników i klonów (ROHMEDEK i SCHÖNBORN 1965), a nawet całych populacji (BIAŁOBOK i wsp. 1980), stosunkowo tolerancyjnych na wpływ różnego typu szkodliwych imisji.

13.1.1. Wrażliwość świerka pospolitego w obrębie rodzaju *Picea*

Świerk pospolity zaliczany jest na ogół do bardziej wrażliwych gatunków z rodzaju *Picea*, na zanieczyszczenia przemysłowe. Z przytoczonych rezultatów badań (tab. 13.1) oraz analizy danych literaturowych, przeprowadzonych przez SUCHARĘ (1980) oraz BIAŁOBOKA i współpracowników (1984) wynika, że jest on bardziej wrażliwy niż inne gatunki świerka na związki fluoru i chloru, SO_2 i amoniak (NH_3), a mniej wrażliwy tylko na ozon.

Jednym z czynników decydujących o wrażliwości jest pojemność buforowa (PK) soku komórkowego. Wiąże się to ze zdolnością do neutralizacji nadmiernego zakwaszenia lub alkalizacji, wywołanych przez zanieczyszczenia. Spośród 4 gatunków świerka wartość PK u drzew z terenu skażonego przez SO_2 była kolejno: *Picea abies* > *P. pungens* > *P. omorica* > *P. mariana* (PASUTHOVÁ 1981). Jednakże w doświadczeniu z 4-letnimi sadzonkami, przeniesionymi w teren skażony, po roku gaz powodował obniżenie PK u wszystkich gatunków poza *P. omorica*, a w drugim roku także i tego gatunku.

Nie wydaje się, aby przyczyną większej wrażliwości świerka pospolitego na gazowe zanieczyszczenia powietrza niż innych gatunków z tego rodzaju, były różnice w natężeniu wymiany gazowej, a tym samym ilości pochłoniętych toksycznych gazów. Wszystkie gatunki świerków cechuje niska zdolność asymilacyjna, przeciętnie – $3,6 \text{ mg CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ suchej masy (LARCHER 1969).

W ramach rodzaju *Picea* istnieje niewielkie zróżnicowanie w natężeniu tego procesu, a jedynie świerk sitkajski charakteryzuje się wyższą zdolnością asymilacyjną niż inne – 10,2 mg CO₂ h⁻¹ g⁻¹ suchej masy (za SZANIAWSKIM i wsp. 1977). Ten gatunek świerka jest jednak bardziej tolerancyjny na zanieczyszczenia przemysłowe niż świerk pospolity (tab. 13.1).

13.1.2. Wewnątrzgatunkowe zróżnicowanie wrażliwości

Jak wspomiano powyżej, wrażliwość roślin na toksyczne gazy o charakterze kwasowym uzależniona jest od pojemności buforowej tkanek (SCHOLZ i KNABE 1976; PASUTHOVÁ 1981). Pierwsi z wymienionych wykazali, że klony świerka pospolitego o większej pojemności buforowej były bardziej odporne na działanie SO₂ i HF. PASUTHOVÁ (1977) stwierdziła, że SO₂ powoduje 60–100% obniżenie pojemności buforowej soku komórkowego igieł świerka pospolitego, ale brak było istotnego wpływu zróżnicowania międzypopulacyjnego u 10 badanych przez nią populacji.

Wyniki większości badań wskazują jednak, że wrażliwość świerka na zanieczyszczenia przemysłowe uzależniona jest od jego pochodzenia. W doświadczeniach z wpływem nadmiernego zakwaszenia, wykonanych na różnych populacjach z terenu Finlandii wykazano, że niskie pH (pH 3, H₂SO₄+HNO₃) powoduje największe uszkodzenia igieł południowych, mniejsze – północnych, a najmniejsze centralnych populacji świerka pospolitego (BALSBERG-PÅHLSSON 1989). Podobnie 12-tygodniowa ekspozycja na jony glinowe powodowała zahamowanie wzrostu siewek świerka pospolitego pochodzącego z południa Finlandii przy niższym stężeniu (1,85 mM) niż z centralnej części tego kraju (2,78 mM) (AROVAARA i ILVESNIEMI 1990). Większa wrażliwość populacji korelowała z większym pochłanianiem jonów glinu przez korzenie. Jednocześnie wyższej zawartości jonów Al

towarzyszyło niekorzystne obniżenie poziomu jonów wapnia i magnezu. HODSON i WILKINS (1991) wykazali, że siewki świerka pospolitego uzyskane z nasion drzew reprezentujących populacje z terenów o wysokiej kwasowości gleby są bardziej tolerancyjne na jony glinowe niż z rosnących na glebach wapiennych. Istotną rolę w mechanizmie przeciwstawiania się wpływowi Al upatrują autorzy w intensywniejszym wbudowywaniu się jonów krzemu (Si), w ściany komórkowe korowej frakcji korzeni siewek bardziej tolerancyjnej populacji.

W przypadku zanieczyszczeń przemysłowych, których dominującą część stanowią związki gazowe, HUTTUNEN (1978) stwierdziła, że bardziej tolerancyjnymi były siewki tych populacji, których igły wykazywały większą kseromorficzność i posiadały grubszą kutykulę. TUOMISTO (1988) twierdzi, że różnice w reakcji świerka pospolitego na zanieczyszczenia powietrza w dużym stopniu uzależnione są od struktury wosków epikutylarnych. Według tego autora wiąże się to ściśle z pochodzeniem populacji, a stopień degradacji struktury woskowej może być wykorzystywany jako wskaźnik stopnia skażenia atmosfery.

Wewnątrzgatunkowe zróżnicowanie w tolerancji na działanie toksycznych gazów może zależeć od natężenia wymiany gazowej. Stwierdzono, że w przypadku wpływu ozonu drzewa o wyższym natężeniu fotosyntezy są w większym stopniu uszkodzane (HAVRANEK i wsp. 1990). W przypadku skażenia gleby drzewa z lepiej rozwiniętym systemem korzeniowym także bardziej intensywnie pochłaniają toksyczne substancje, na przykład jony glinowe (AROVAARA i ILVESNIEMI 1990).

13.1.3. Czynniki modyfikujące wrażliwość

Wrażliwość świerka pospolitego na wpływ zanieczyszczeń przemysłowych uzależniona jest zarówno od czynników wewnętrznych (stadium rozwoju i wieku poszczególnych

organów oraz drzew), jak i wielu czynników zewnętrznych (temperatury i wilgotności powietrza oraz gleby, natężenia oświetlenia, nawożenia itp.).

13.1.3.1. Wpływ czynników wewnętrznych

Wykazano, że młodsze roczniki igieł świerka pospolitego charakteryzują się mniejszą wrażliwością na działanie SO_2 (FÜHRER 1993; HÜVE i wsp. 1995) oraz O_3 (FÜHRER 1993), niż starsze. Dodatkowo HÜVE i współpracownicy (1995) stwierdzili, że działanie dwutlenku siarki powoduje znacznie większą akumulację siarczanów w igłach starszych niż młodszych roczników. Potwierdza to sugestię dotyczącą wpływu SO_2 na rośliny, jaką wysunęli między innymi MALHOTRA i KHAN (1980). Twierdzą oni, że młodsze, a tym samym bardziej aktywne metabolicznie tkanki roślin, zdolne są do wykorzystywania większej ilości siarki niż starsze o mniejszej aktywności metabolicznej. Także KLUMPP i współpracownicy (1989) stwierdzili, że działanie mieszanin gazowych (SO_2 , O_3 i NO_2) powoduje większy wzrost zawartości wolnej proliny i aktywności peroksydazy – wskaźników doznanego stresu, u dwuletnich niż jednorocznych igieł świerka pospolitego. Natomiast wzrost aktywności oksydazy nadtlenkowej (SOD) – dobrego wskaźnika przebiegu procesów obronnych, wykazywały tylko jednoroczne igły. Inną przyczyną, którą z kolei sugerują SEKIYA i współpracownicy (1982) może być większa zdolność przekształcania pochłoniętego SO_2 do H_2S i wydalania go na zewnątrz przez młodsze niż starsze liście.

W przypadku terenów objętych emisjami pyłów toksycznych metali, ilości pochłoniętych metali przez igły różnych roczników świerka pospolitego zależą od stopnia skażenia. Przy niewielkim skażeniu (Cu, Zn, Pb, Cd) igły bieżącego rocznika akumulowały znacznie mniej tych pierwiastków niż jedno- i dwuletnie (BALSBERG-PÄHLSSON 1989). Jednakże w terenie bardziej skażo-

nym, zawartość sumarycznie oznaczanych metali była największa w przypadku igieł bieżącego rocznika, mniejsza u jedno- i najmniejsza u dwuletnich igieł. Zróżnicowanie akumulacji metali przez igły poszczególnych roczników zależało od rodzaju metalu, a w ramach tego samego metalu od stopnia skażenia terenu.

Wrażliwość w dużym stopniu uzależniona jest od stadium rozwoju igieł – okresu w sezonie wegetacyjnym. Najmniejsze pochłanianie fluoru i proporcjonalnie do tego zahamowanie natężenia asymilacji igieł świerka pospolitego obserwowano w czerwcu, większe w sierpniu, a największe we wrześniu (KELLER 1977b). Natomiast HAUT i STRATMANN (1960) oraz HÖRNTVEDT i ROBAK (1975) stwierdzili, że wyższą wrażliwość wykazują igły w momencie zakończenia wzrostu elongacyjnego, niż igły młodsze i starsze od nich. Jeszcze inne wyniki uzyskali LALK i współpracownicy (1992a). Autorzy ci stwierdzili, że największą wrażliwość na działanie SO_2 i NO_2 wykazują bardzo młode igły na wiosnę, a najmniejszą w pełni rozwinięte – zimą. Wynika z tego, że problem zależności stopnia wrażliwości igieł świerka pospolitego od stadium ich rozwoju nie jest jednoznacznie wyjaśniony i wymaga dalszych badań.

Stwierdza się również zróżnicowanie w stopniu uszkodzenia przez SO_2 i zawartości siarki nieorganicznej w obrębie igieł. Największy jej poziom wykazują wierzchołki igieł świerka pospolitego, od których postępuje nekrotyzacja tkanek w kierunku nasady (JÄGER 1976).

Wrażliwość uzależniona jest także od wieku drzew. KELLER (1977b) stwierdził, że igły świerka pospolitego w początkowym stadium rozwoju były bardziej wrażliwe na imisje związków fluoru u młodszych niż u starszych drzew. Ten sam autor wykazał także, że 3-letnie sadzonki świerka pospolitego, rozmnożone z młodszych (40-letnich) drzew, były bardziej wrażliwe na działanie imisji związków fluoru niż ze starszych (120-letnich) (KELLER 1976b). Chociaż przedstawione powyżej dane wskazują, że starsze

drzewa świerka pospolitego są bardziej tolerancyjne od młodszych, wniosek ten oparty jest na wynikach niewielkiej ilości badań prowadzonych w tym kierunku.

13.1.3.2. Wpływ czynników zewnętrznych

Ustalając oddziaływanie określonego rodzaju zanieczyszczenia należy uwzględnić możliwość istotnego wpływu na wynik wielu innych czynników. Przedstawione w tym rozdziale przykłady wskazują, że jednocześnie działanie większej ilości czynników może mieć charakter: synergistyczny, potencjujący, neutralizujący lub antagonistyczny. Najczęściej mamy do czynienia z pierwszą z wymienionych rodzajów interakcji pomiędzy dwoma czynnikami. Przykładem tego mogą być wyniki badań KLUMPPA i współpracowników (1989). Autorzy wykorzystali do oceny stopnia wrażliwości drzew na toksyczne gazy jeden z czułych fizjologicznych wskaźników – zmiany poziomu wolnej proliny. Stwierdzili oni, że działanie SO_2 w stężeniu 0,034 ppm na 4-letnie sadzonki świerka pospolitego przez okres 22 tygodni nie powodowało w igłach istotnych zmian poziomu wolnej proliny. Działanie ozonu (0,065 ppm) powodowało wzrost zawartości iminokwasu o kilka do kilkadziesiąt procent. Natomiast SO_2 w tej samej dawce jak poprzednio zwiększało prawie 6-krotnie zawartość iminokwasu, gdy działał jednocześnie z O_3 (0,043 ppm). Szkodliwe działanie ozonu jest potęgowane przez kwaśne opady. W doświadczeniu z kontrolowanym wpływem O_3 ROBERTS i współpracownicy (1987) wykazali, że jednocześnie działanie kwaśnej mgły (H_2SO_4 , pH 3) zwiększało nawet o 50% uszkodzenia igieł świerka pospolitego przez ten gaz. Mimo, że spośród gazów emitowanych często przez zakłady przemysłowe najmniej toksyczne są tlenki azotu, to w połączeniu z innymi gazami znacznie zwiększają one uszkodzenia drzew. U świerka pospolitego wykazano to w doświadczeniach z wpływem pojedynczo działających oraz miesza-

nin gazów: O_3+NO_2 i $\text{O}_3+\text{SO}_2+\text{NO}_2$ (GUDERIAN i wsp. 1985).

Zwiększenie stopnia wrażliwości świerka pospolitego na gazy (SO_2 , O_3) następuje w przypadku dodatkowego wystąpienia suszy (DOBSON i wsp. 1990; MAIER-MAERCKER i KOCH 1992a). Według tych autorów związane jest to z naruszeniem prawidłowej kontroli bilansu wodnego, nadmierną utratą wody w procesie transpiracji i zmniejszeniem natężenia fotosyntezy. Z drugiej strony, umiarkowana susza powoduje naturalne zamykanie szparek i redukcję wnikania gazu, łagodząc skutki wpływu gazu nawet przez długi okres czasu. Ponadto, nawet silny stres wywołany dużym deficytem prężności pary wodnej w powietrzu może przez krótki okres łagodzić działanie toksycznego gazu o wysokim stężeniu. Tego typu zależności u świerka pospolitego, w doświadczeniach z wpływem ozonu, stwierdzili WIESER i HAVRANEK (1993).

Wrażliwość roślin na zanieczyszczenia uzależniona jest także od zasobności gleby, a zależności te są złożone. Na przykład, KELLER (1976b) stwierdził, że nawożenie azotowe początkowo powodowało zmniejszenie uszkodzeń (nekroz) igieł 3-letnich siewek świerka pospolitego, spowodowanych przez związki fluoru. Po 3 latach „uszkodzenia fizjologiczne” (redukcja poziomu chlorofilu, wzrost zawartości rozpuszczalnych cukrów, fenoli i wolnych aminokwasów) były jednak większe u nawożonych niż nienawożonych siewek. Należy również wziąć pod uwagę, w przypadku drzew rosnących na terenach zurbanizowanych i w pobliżu szlaków komunikacyjnych, możliwości dodatkowo niekorzystnego wpływu stosowanych w zimie środków odładzających – głównie NaCl. W odróżnieniu od innych gatunków świerka (*P. asperata*, *P. pungens*, *P. sitchensis*), świerk pospolity jest bardzo wrażliwy na zasolenie (BURG 1981).

Podobnie jak czynniki zewnętrzne wpływają na stopień wrażliwości drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, tak i imisje toksycznych substancji zmieniają wrażliwość drzew na różne, abiotyczne czynniki

Tabela 13.1. Wrażliwość świerka pospolitego na zanieczyszczenia przemysłowe w ramach rodzaju *Picea*. (W – wrażliwy, Ś – średnio wrażliwy, T – tolerancyjny, typ doświadczenia: l – laboratoryjny, t – terenowy)

Badane gatunki	Rodzaj zanieczyszczenia	Typ dośw.	Wrażliwość	Autorzy
<i>P. abies</i> <i>P. engelmannii</i> <i>P. omorica</i>	HF, F2	t	W W W	ROBAK 1969
<i>P. abies</i> <i>P. omorica</i> <i>P. pungens</i>	SO ₂	l	W W Ś	RANFT i DÄSSLER 1970
<i>P. abies</i> <i>P. pungens</i>	F	l	W W	DÄSSLER i wsp. 1972
<i>P. abies</i> <i>P. engelmannii</i> <i>P. omorica</i>	F	t	Ś Ś W	HÖRNTVEDT i ROBAK 1975
<i>P. abies</i> <i>P. pungens</i>	F	t	Ś Ś	KLUCZYŃSKI 1975
<i>P. abies</i> <i>P. mariana</i> <i>P. omorica</i> <i>P. pungens</i>	SO ₂ +inne	t	W T Ś Ś	RYŠKOVÁ 1977
<i>P. abies</i> <i>P. alba</i> <i>P. engelmannii</i> <i>P. glauca</i> <i>P. mariana</i> <i>P. omorica</i> <i>P. abies</i> <i>P. engelmannii</i> <i>P. glauca</i> <i>P. omorica</i> <i>P. abies</i> <i>P. glauca</i>	SO ₂ HF O ₃	l	W Ś W-Ś Ś-T W W W W Ś-T W T T	MOOI 1982
<i>P. abies</i> <i>P. pungens</i>	SO ₂ + toksyczne metale	t	W Ś	RACHWAŁ 1983
<i>P. abies</i> <i>P. pungens</i>	SO ₂	t	W Ś	HÜVE i wsp. 1995
<i>P. abies</i> <i>P. sitchensis</i>	SO ₂ , O ₃ , SO ₂ +O ₃	t/l	T T	PEARCE i McLEOD 1995

stresowe. Ponieważ zanieczyszczenia powodują w dużym stopniu zaburzenia w gospodarce wodnej i w efekcie odwodnienie tkanek, dlatego też przy dodatkowo dużym (susza) odwodnieniu tkanek roślin wzmagają one niekorzystne zmiany metaboliczne. Na przykład PIERRE i QUEIROZ (1988) wykazali, że SO₂ potęguje obniżenie aktywności niektórych enzymów (dehydrogenaz: izocytrynianowej, glukozy-6-fosforanowej i glutaminianowej) w igłach siewek

świerka pospolitego, poddanych działaniu suszy. LALK i współpracownicy (1992a), wykorzystując zmiany zawartości wolnej proliny stwierdzili, że same gazy: SO₂, O₃ i SO₂+NO₂ nie powodowały istotnych zmian poziomu tego iminokwasu w igłach świerka pospolitego. Natomiast działanie tych gazów, poprzedzające 14-dniowy okres nie podlewania, powodowało większy wzrost poziomu proliny niż wywołany tylko suszą. Chociaż FEILER i współpracownicy

Tabela 13.2. Informacje o wewnątrzgatunkowej zmienności w reakcji świerka pospolitego na zanieczyszczenia przemysłowe

Materiał roślinny	Rodzaj zanieczyszczenia	Typ dośw.	Oceniane cechy	Autorzy
Osobniki	SO ₂	l	Asymilacja CO ₂ , pH soku komórkowego, zawartość S, wolnych aminokw., wglowod.	BÖRTITZ 1964
Klony,rody	F	t	Uszkodzenia igieł (nekrozy)	ROHMEDER i SCHÖNBORN 1965
Osobniki	SO ₂	t	Asymilacja CO ₂ , transpiracja	BÖRTITZ i VOGL 1972
Populacje	NO _x , S, F, NH ₄ ⁺	t	Wzrost siewek, uszkodzenia i morfologia igieł	HUTTUNEN 1978
Populacje	SO ₂	t	Uszkodzenia igieł	BIAŁOBOK i wsp. 1980
Klony	SO ₂	l	Asymilacja CO ₂ , zaw. S, kw. absyczyn., aktywnść peroksydazy	KELLER 1981
Populacje	SO ₂	t	Poj. buforowa, zaw. kw. organicznych	PASUTHOVÁ 1981
Klony	HF	l/t	Przyrost i struktura drewna	GREVE i wsp. 1983
Klony	SO ₂	l	Enzymy	SCHOLZ i BERGMANN 1984
Klony	SO ₂ , HF, O ₃	l/t	Enzymy	BERGMANN i SCHOLZ 1987
Populacje	SO ₂ +inne	t	Wzrost i przeżywalność siewek	RACHWAŁ i OLEKSYN 1987
Klony	O ₃	l	Uszkodzenia igieł, zaw. chlorofilu	DAVISON i wsp. 1988
Klony	Al ³⁺	l	Wzrost pędów i korzeni, zaw. Ca, K, Mg, Mn	ASP i wsp. 1988
Populacje i rody	SO ₂ , NO _x , O ₃	l	Natęż. fotosyntezy, oddychania ciemn. i transpiracji	SAXE i MURALI 1989a, b, c
Populacje i rody	SO ₂ +NO ₂	l	Natęż. fotosyntezy, oddychania ciemn. i transpiracji	SAXE 1989
Populacje	Al ³⁺	l	Wzrost siewek i korzeni, zaw. Ca, Ca/Al	AROVAARA i ILVESNIEMI 1990
Klony	O ₃ , kwaśne mgły	t	Pow. igieł, woski	BARNES i BROWN 1990
Klony	O ₃ +kwaśne mgły	l	Natęż. fotosyntezy	FÜHRER i wsp. 1990
Populacje	O ₃	l	Uszkodzenia igieł, natęż. fotosyntezy, zaw. barwników	HAVRANEK i wsp. 1990
Populacje	Al ³⁺	l	Zaw. Al, Cl, K, S, Si w korzeniach	HODSON i WILKINS 1991
Populacje	SO ₂ , Al, SO ₂ +Al	l	Uszkodz. igieł, wzrost pędów i korzeni	GEBUREK i SCHOLZ 1992
Populacje	pH3 (H ₂ SO ₄ +HNO ₃)	t/l	Uszkodz. igieł, uszkodz. struktur komórkowych	BÄCK i wsp. 1993

(1989) wykazali, że SO_2 może przez obniżenie ubytku wody z igieł świerka pospolitego (zamykanie szparek), przyczyniać się do utrzymania wyższej zawartości wody i przez to do lepszego przeciwstawiania się krótkotrwałemu działaniu suszy, to ze wzrostem czasu działania gazu zdolność do utrzymywania wody była redukowana.

Jak bardzo skomplikowany jest wpływ, chociażby tylko dwu czynników stresowych na reakcję roślin, wskazują wyniki badań przeprowadzonych przez grupę M. TESCHE (TESCHE i wsp. 1989; MICHAEL i wsp. 1989; FEILER i wsp. 1989). Efekt (synergistyczny, addytywny, antagonistyczny) wpływu SO_2 i suszy na siewki świerka pospolitego zależał od tego czy działały one jednocześnie, a jeżeli oddzielnie, to w jakiej kolejności po sobie. Miało to swoje odbicie w zmianach zawartości wolnej proliny w igłach i eksudatach korzeniowych.

Zanieczyszczenia przemysłowe powodują zwiększenie wrażliwości drzew także na działanie innych czynników stresowych. Na przykład KELLER (1981, 1982) oraz MICHAEL i współpracownicy (1982) wykazali, że SO_2 powoduje wzrost wrażliwości siewek świerka pospolitego na mróz. Stwierdzono, że działanie tego gazu potęguje obniżenie uwod-

nienia tkanek igieł i ich pojemności fotosyntetycznej następujące na skutek mrozu (LALK i wsp. 1992a) oraz suszy (CORNIC 1987). Według FEILER (1985) główną przyczyną zwiększenia wrażliwości świerka na mróz jest powodowanie przez SO_2 wzrostu przepuszczalności błon komórkowych i przez to wypływu elektrolitu na zewnątrz. Także w doświadczeniach z wpływem nadmiernego zakwaszenia wykazano, że niskie pH (pH 3, $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$) powoduje większe uszkodzenia igieł świerka pospolitego spowodowane przez niskie temperatury (BALSBERG-PÄHLSSON 1989). Zwiększenie uszkodzeń mrozowych igieł świerka pospolitego obserwuje się również na skutek wpływu gazów o charakterze utleniającym, takich jak ozon (DAVISON i wsp. 1988).

Powyższe przykłady wskazują jak trudno jest przewidzieć faktyczną reakcję nasadzeń świerka pospolitego w terenach objętych emisją zanieczyszczeń przemysłowych lub nawet po jej ustaniu, ale na powierzchniach uprzednio zdegradowanych. Zakumulowane w glebie toksyczne substancje mogą jeszcze przez długi okres same lub interferując z innymi, abiotycznymi czynnikami stresowymi, niekorzystnie oddziaływać na drzewa.

13.2. Zaburzenia procesów fizjologicznych i metabolizmu pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych

(Piotr Karolewski)

Duża wrażliwość świerka pospolitego na zanieczyszczenia przemysłowe (rozdz. 13.1) stała się powodem częstego wykorzystywania tego gatunku w fizjologiczno-biochemicznych badaniach mechanizmów reakcji drzew na te czynniki. Stosowanie świerka w zadrzewieniach, w tym i na obszarach objętych emisjami przemysłowymi oraz w aglomeracjach miejskich, pozwala

również na konfrontację wyników badań laboratoryjnych z uzyskanymi w doświadczeniach terenowych. Ponadto, gatunek tak rozpowszechniony w naszej strefie klimatycznej jak świerk pospolity może być wykorzystywany w biomonitoringu. Dotyczy to zarówno oceny stopnia skażenia środowiska jak i diagnozowania uszkodzeń drzew na wczesnym etapie, tak zwanych uszkodzeń