

PIOTR KAROLEWSKI, STEFAN BIAŁOBOK

Wpływ dwutlenku siarki, ozonu, mieszaniny tych gazów i fluowodoru na uszkodzenie igieł modrzewia europejskiego*

Z rodzimych lasotwórczych gatunków drzew iglastych najbardziej wytrzymałym na działanie emisji przemysłowych wydaje się modrzew europejski. Zbyt mało jest informacji o zmienności stopnia odporności na emisje przemysłowe modrzewia europejskiego i jego odmian występujących na terenie Polski, jak też pochodzących z introdukcji.

Z tych też powodów podjęliśmy prace w celu zbadania możliwości selekcji z posiadanych na plantacji nasiennej w Instytucie Dendrologii w Kórniku klonów reprezentujących drzewa doborowe modrzewi tych osobników, które mogłyby być przydatne do zadrzewień w okręgach przemysłowych.

Wiele uwagi poświęcili badaniom odporności na działanie SO_2 modrzewia europejskiego i japońskiego oraz ich mieszańców Schönbach, Dässler i inni (1964) oraz Vogl, Schönbach i Haedicke (1968), którzy stwierdzili większą odporność na ten gaz modrzewia japońskiego.

Stosując podobną metodę działania dwutlenku siarki, Bartkowiak, Białobok i Rachwał (1975) stwierdzili również większą tolerancję na działanie SO_2 drzew *Larix leptolepis* różnych pochodzeń, *L. potaninii* i *L. gmelini*, jak i *L. decidua*. Kluczyński (1976) przytacza dane własne i innych autorów z których wynika, że duża jest skala zmienności stopnia odporności igieł modrzewia europejskiego na oddziaływanie fluoru i jego związków w obrębie kilku gatunków modrzewia a mianowicie: *Larix decidua*, *L. leptolepis*, *L. sibirica* i *L. occidentalis*. Kluczyński (1975) w badaniach wpływu Huty Aluminium w Koninie na rośliny drzewiaste, stwierdził średnią odporność modrzewia europejskiego na działanie emisji tego zakładu. Dmuchowski i Molski (1974) przytaczają opinię Wójcickiej, która uważa modrzew europejski za wrażliwy na działanie fluoru, a Taylor, Thopson, Tingey i Reinert (1975) zaliczają go też do drzew wrażliwych na NO_2 .

* Praca była częściowo finansowana przez Instytut Ekologii PAN z tematu 10.2.07.02 i przez Ministerstwo Rolnictwa USA (FG-Po-326).

Bardzo wrażliwy na HCl okazał się modrzew europejski i japoński, jak wynika z danych podanych przez Guderiana (1977). Natomiast obserwacje Wentzela — za Guderianem (1977) wskazują, że modrzew jest jednym z bardziej odpornych drzew iglastych na długotrwałe oddziaływanie niskich stężeń SO_2 i dlatego nadaje się do rekultywacji zadrzewień w okręgach przemysłowych. Guderian (1977) przytacza też wyniki badań innych autorów, którzy ustalali graniczne wartości stężeń SO_2 wywołujące pierwsze symptomy uszkodzeń igieł modrzewia. Mianowicie: Sheffer i Hedgcock stwierdzają wystąpienie uszkodzeń igieł u *Larix occidentalis* po działaniu na nie dwutlenkiem siarki w stężeniu 0,5 ppm w ciągu 7 godzin, a Katz i McCallum zaobserwowali wystąpienie uszkodzenia igieł u *Larix decidua* po 8 godzinach działania SO_2 w stężeniu 0,3 ppm. Guderian (1977) zaobserwował też uszkodzenie igieł u modrzewia europejskiego po działaniu na nie przez 2 godziny SO_2 w stężeniu 0,45 ppm.

Z przedstawionych danych wynika, że informacje o stopniu wytrzymałości różnych gatunków modrzewi na emisje przemysłowe są bardzo niedostateczne. Wobec czego celowe było zbadanie reakcji klonów modrzewi na kilka różnych gazów, gdyż gatunek ten jest coraz częściej wprowadzany do upraw leśnych i zadrzewień.

MATERIAŁ I METODA

Badania mające na celu ustalenia stopnia odporności igieł modrzewia na działanie dwutlenku siarki, ozonu, mieszaniny tych dwu gazów i fluorowodoru, przeprowadzono na 56 osobnikach modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) reprezentujących 20 klonów.

Z każdego drzewa odcinano po 8 pędów, które przewożono w pojemnikach z wodą. Przed rozpoczęciem doświadczenia pędy przycinano pod wodą i umieszczano w naczyniach z wodą. Doświadczenia wykonano w cieplarniach w warunkach kontrolowanych, które opisali Białobok, Karolewski i Rachwał (1978). Cztery pędy z każdego osobnika umieszczano w komorze ekspozycyjnej i poddano działaniu gazów, a cztery włożono do komory kontrolnej. Szesnaście klonów z dwudziestu było reprezentowane przez 48 osobników, a cztery przez 8 drzew. Opis dozowania dwutlenku siarki, ozonu i mieszaniny tych dwóch gazów oraz pomiarów stężeń gazów przedstawiono w pracy Karolewski, Białobok (1978). Natomiast powietrze skażone fluorowodorem przygotowano wprowadzając wodny roztwór kwasu fluorowodorowego do węzownicy spiralnej ogrzewanej elektrycznie a odparowywany w ten sposób gazowy HF wprowadzano do strumienia powietrza. Wartości stężenia fluorowodoru w powietrzu regulowano przez zastosowanie roztworu kwasu fluorowodorowego w odpowiednim stężeniu. Dokładnego pomiaru stężenia

HF dokonywano metodą miareczkowania kompleksometrycznego za pomocą azotanu toru oraz metodą oznaczania kalorymetrycznego przy użyciu laku cyrkonowo-alizarynowego (Bumsted i Wells, 1952). Stężenie gazów jak też ich czas działania na rośliny dobrano w ten sposób by jak najbardziej wyraźnie zróżnicować stopień uszkodzeń igieł w obrębie badanych 20 klonów modrzewia.

Ekspozycję roślin na działanie dwutlenku siarki, fluorowodoru i mieszaniny dwutlenku siarki i ozonu przeprowadzano przy świetle naturalnym, na działanie ozonu przy świetle sztucznym stosując lampy żarowo-rtęciowe.

Czasy ekspozycji roślin na działanie gazów wynosiły 5 - 25 godzin, po 5 godzin dziennie z ich początkami między godzinami 8⁰⁰ a 10⁰⁰. Po okresie jednej doby od chwili zakończenia ekspozycji roślin na działanie gazu oceniono stopień ich uszkodzenia. Przy ocenie roślin posługiwano się 6-cio stopniową skalą uszkodzeń według Schönbacha i in. (1964) przedstawionej również w pracy Białobok, Karolewski (1978). Oceniano stopień uszkodzenia poszczególnych krótkopędów na pędach posiadających około 10 do 15 krótkopędów.

BADANIA WŁASNE

Przed przystąpieniem do badań nad ustaleniem stopnia odporności klonów modrzewi na działanie SO₂, O₃, HF i mieszaniny SO₂ i O₃ przeprowadziliśmy metodyczne doświadczenie. Celem jego było stwierdzenie czy wyniki uszkodzenia igieł badanych klonów przez gaz powtórzą się w następnych kolejnych badaniach przeprowadzonych w innych terminach w okresie wegetacyjnym. Do tego metodycznego doświadczenia wzięto przykładowo dwutlenek siarki, najbardziej istotny dla nas składnik emisji przemysłowych. Potwierdzenie powtarzalności wyników stopnia uszkodzenia igieł modrzewia przez ten gaz, ma podstawowe znaczenie dla selekcji osobników charakteryzujących się wyższą odpornością na działanie tego gazu. Będą one też prawdopodobnie miały znaczenie dla za-drzewień terenów przemysłowych.

W tabeli 1 przedstawiono wartości średnich stopni uszkodzenia igieł krótkopędów modrzewia poddanych działaniu dwutlenku siarki w trzech różnych terminach.

Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że najodporniejsze igły na działanie dwutlenku siarki miały, w pierwszym doświadczeniu, drzewa klonów oznaczonych symbolami: K-10-25, K-10-23 i K-10-26. Dwa z nich (K-10-25 i K-10-26) charakteryzują się dość wysoką odpornością w pozostałych dwóch terminach (doświadczenia nr 2 i 3). Wysoka odporność igieł osobników klonu K-10-23 w pierwszym terminie nie została jednak potwierdzona w pozostałych doświadczeniach. Większą grupę sta-

nowią osobniki klonów o większej wrażliwości igieł na co wskazują stosunkowo wysokie stopnie ich uszkodzenia stwierdzone we wszystkich trzech doświadczeniach. Do najbardziej wrażliwych zaliczono osobniki klonów oznaczonych symbolami K-10-01 i K-15-85. Wrażliwymi są także we wszystkich trzech doświadczeniach K-10-17, K-15-19, K-10-27, K-15-16, K-10-20 i K-10-05.

Tabela 1

Średnie wartości stopni uszkodzenia igieł krótkopędów, osobników 20 klonów modrzewia europejskiego poddanych działaniu SO₂

Symbol klonu	Stężenie SO ₂ (ppm)		
	4,0	4,0	4,0
	czas ekspozycji roślin (h)		
	20,0	20,0	5,0
	data doświadczenia		
	1 - 4. 6. 1976	14 - 18. 6. 1976	12. 7. 1977
	numer doświadczenia		
	1	2	3
stopień uszkodzenia			
K-10-25	0,48 a	1,12 a	0,76 a
K-10-23	0,74 a	1,71 b	2,59 b
K-10-26	0,85 a	1,02 a	0,67 a
K-10-13	1,46 b	1,41 a	3,24 c
K-15-88	1,55 b	0,97 a	0,52 a
K-10-02	1,59 b	1,98 b	3,69 c
K-15-63	1,62 b	1,38 a	0,85 a
K-10-03	1,70 b	2,03 b	2,20 b
K-15-17	1,77 b	1,46 b	1,71 b
K-10-08	1,78 b	1,77 b	3,44 c
K-15-80	1,81 b	1,98 b	1,98 b
K-15-65	1,81 b	0,80 a	0,67 a
K-10-05	1,84 b	1,87 b	3,05 c
K-10-20	2,29 b	1,67 b	2,21 b
K-15-16	2,42 b	1,88 b	2,83 b
K-10-27	2,47 b	1,96 b	3,66 c
K-15-19	2,57 b	2,68 c	2,54 b
K-10-17	2,69 b	2,16 b	3,39 c
K-15-85	3,57 c	3,08 c	3,51 c
K-10-01	4,29 c	3,97 d	4,40 c

Symbole literowe w tabelach 1 i 2 oznaczają przynależność do grup wewnętrznie jednorodnych dla poziomów istotności 0,05. W grupowaniu zastosowano test Duncana.

Wartości stopni uszkodzenia igieł krótkopędów modrzewia poddanych działaniu dwutlenku siarki, ozonu, mieszaniny dwutlenku siarki i ozonu oraz fluorowodoru przedstawiono w tabeli 2.

Podane wartości stopni uszkodzenia w tablicy 2 wskazują, że odporniejsze igły na działanie ozonu mają osobniki klonów oznaczonych jako K-10-23, K-15-88, K-10-25, K-15-17. Największą wrażliwość natomiast wykazały K-10-05, K-15-65, K-10-20 oraz K-10-17. Działanie mieszaniny dwutlenku siarki i ozonu wywołuje najmniejsze uszkodzenia igieł u osobników, klonów oznaczonych symbolami K-15-63 i K-10-05. Zdecydowa-

Tabela 2

Średnie wartości stopni uszkodzenia igieł krótkopędów, osobników 20 klonów modrzewia europejskiego poddanych działaniu SO₂, O₃, SO₂ + O₃ i HF

Symbol klonu	Działający gaz			
	SO ₂	O ₃	SO ₂ + O ₃	HF
	Stężenie gazu (ppm)			
	4,0	1,0	2,0+0,5	1,0
	czas ekspozycji roślin (h)			
	5,0	25,0	15,0	5,0
	data doświadczenia			
	12. 7. 1977	21 - 25. 6. 1977	21 - 23. 6. 1977	30. 5. 1978
	numer doświadczenia			
	3	4	5	6
stopień uszkodzenia				
K-15-88	0,52 a	0,03 a	2,59 de	3,95 fgh
K-15-65	0,67 a	1,29 de	2,56 cde	3,98 fgh
K-10-26	0,67 a	0,26 ab	1,67 ab	2,91 cdef
K-10-25	0,76 a	0,09 a	2,24 bcd	2,00 abc
K-15-63	0,85 a	0,30 abc	1,23 a	3,67 efgh
K-15-17	1,71 b	0,03 a	2,68 de	0,91 a
K-15-80	1,98 bc	0,16 ab	1,57 ab	1,61 ab
K-10-03	2,19 bcd	0,12 ab	2,30 bcd	3,22 cdefg
K-10-20	2,21 bcd	1,11 de	2,63 de	3,62 defg
K-15-19	2,54 cde	0,31 abc	2,78 de	2,60 bcde
K-10-23	2,59 cde	0,00 a	2,26 bcd	4,34 gh
K-15-16	2,83 def	0,27 ab	3,27 e	3,76 efgh
K-10-05	3,06 efg	1,62 e	1,25 a	3,43 defg
K-10-13	3,23 efg	0,11 ab	2,76 de	3,16 cdefg
K-10-17	3,39 fg	0,96 cde	2,80 de	2,81 bcdef
K-10-08	3,44 fg	0,76 bcd	1,56 ab	2,64 bcde
K-15-85	3,50 fg	0,61 abcd	1,89 abc	4,96 h
K-10-27	3,66 g	0,77 bcd	2,96 de	4,33 gh
K-10-02	3,69 g	0,24 ab	2,56 cde	2,33 bcd
K-10-01	4,39 h	0,73 abcd	4,20 f	3,37 defg

nie najwrażliwszymi na działanie tej mieszaniny okazały się osobniki klonu K-10-01. Do bardziej wrażliwych należy zaliczyć także osobniki klonu K-15-16. Największą odporność na działanie fluorowodoru wykazały igły osobników, klonów K-15-17, K-15-80 i K-10-25. Największy stopień uszkodzenia pod wpływem fluorowodoru miały igły osobników następujących klonów: K-15-85, K-10-23, K-10-27, K-15-65, K-15-88, K-15-16 oraz K-15-63.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

W celu porównania zróżnicowania w stopniu uszkodzenia igieł modrzewia w trzech kolejnych terminach gazowania SO₂ obliczono współczynniki korelacji dla średnich wartości uszkodzeń obliczonych dla osobników poszczególnych 20 klonów. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Stwierdzone duże wartości współczynników korelacji wskazują na wy-

soki stopień powtarzalności wyników w trzech terminach gazowania SO_2 . Wynik ten ma dużą wartość selekcyjną dla drzew, mających znaczenie dla zadrzewień terenów przemysłowych.

Podobnie jak w powyższym przypadku porównano zróżnicowanie stopni uszkodzenia igieł osobników 20 klonów modrzewi poddanych działa-

Tabela 3

Tabela współczynników korelacji pomiędzy średnimi wartościami stopni uszkodzenia igieł przez SO_2 w trzech testach selekcyjnych

II Numer doświadczenia	I	Numer doświadczenia	
		1	2
2		0,8413 × ×	—
3		0,6247 × ×	0,7602 × ×

× × istotność na poziomie ufności 0,01.

Tabela 4

Tabela współczynników korelacji pomiędzy średnimi wartościami stopni uszkodzenia igieł modrzewia przez SO_2 , O_3 , $\text{SO}_2 + \text{O}_3$ i HF

II	I	SO_2	O_3	$\text{SO}_2 + \text{O}_3$
		numer doświadczenia		
		3	4	5
O_3	4	0,2662	—	—
$\text{SO}_2 + \text{O}_3$	5	0,3799	-0,0558	—
HF	6	0,1573	0,3088	0,0685

niu trzech różnych gazów: SO_2 , O_3 , HF i mieszaniny gazów SO_2 i O_3 , obliczając współczynniki korelacji. Wartości współczynników korelacji pomiędzy stopniami uszkodzenia igieł, obliczonymi dla 20 klonów, przez poszczególne gazy przedstawiono w tabeli 4. Niskie wartości współczynników korelacji świadczą o słabej zależności pomiędzy stopniami uszkodzenia igieł przez te gazy. Największa z wartości współczynnika korelacji pomiędzy stopniami uszkodzenia igieł przez SO_2 i mieszaniną SO_2 i O_3 wynosi 0,3799 i jest istotna dopiero przy poziomie ufności = 0,1.

Pomimo stwierdzenia braku korelacji pomiędzy wartościami stopni uszkodzenia igieł modrzewia przez stosowane przez nas gazy są spośród 20 testowanych takie klony, których igły posiadają stosunkowo dużą, względnie bardzo niską odporność nie tylko na działanie jednego gazu, ale także dwóch, a nawet trzech. Tak też, osobniki klonu oznaczonego symbolem K-15-88 mają igły odporniejsze na działanie SO_2 jak i O_3 . Podobnie odporniejsze igły na działanie tych dwóch gazów mają osobniki klonów K-10-25 i K-10-26. Odporniejszymi na działanie SO_2 i $\text{SO}_2 + \text{O}_3$ są K-15-63 i K-10-26. W przypadku O_3 i mieszaniny SO_2 i O_3 zwięk-

szoną odpornością igieł charakteryzują się osobniki klonów K-10-26, K-15-63 i K-15-80. Igiły osobników klonu K-10-25 są odporniejsze na działanie SO_2 i HF. Odporniejsze na działanie O_3 i HF są K-10-25, K-15-17 i K-15-80. Podwyższoną odporność na działanie HF i mieszaniny SO_2 i O_3 wykazały igiły osobników klonu K-15-80.

Cztery z 20 klonów są odporniejsze na działanie aż trzech gazów. Igiły osobników klonów K-16-26 i K-15-63 są odporniejsze na działanie SO_2 , O_3 i mieszaniny SO_2 i O_3 , klonu K-10-25 na działanie SO_2 , O_3 i HF a K-15-80 na działanie O_3 , $\text{SO}_2 + \text{O}_3$ i HF.

Podobnie w przypadku zwiększonej wrażliwości igieł, osobniki niektórych klonów posiadają bardzo wrażliwe igiły na działanie dwóch i więcej gazów. I tak igiły wrażliwsze na działanie aż trzech spośród gazów, mają osobniki pięciu klonów. Najbardziej wrażliwe igiły na działanie dwutlenku siarki, fluorowodoru i mieszaniny dwutlenku siarki i ozonu mają osobniki trzech klonów oznaczonych symbolami: K-10-01, K-10-27 i K-10-13. Osobniki klonu K-10-05 mają bardzo wrażliwe igiły na działanie dwutlenku siarki, ozonu i fluorowodoru, a klonu K-10-17 na działanie dwutlenku siarki, ozonu i mieszaniny tych dwóch gazów.

Pomimo więc braku istotnej korelacji pomiędzy stopniami uszkodzenia igieł osobników wielu klonów przez różne gazy istnieją jednak takie, które są odporniejsze na działanie dwóch czy nawet więcej gazów. Stwierdzenie wystąpienia cechy zwiększonej odporności na działanie kilku gazów u igieł osobników niektórych klonów może być wykorzystane w badaniach mechanizmów odporności. Wystąpienie cechy zwiększonej odporności na działanie gazów ma także niewątpliwie znaczenie w hodowli drzew odpornych na działanie wymienionych gazów jak i w badaniach dziedziczenia tej cechy lub też mogą być wykorzystane w ochronie środowiska w okręgach przemysłowych, po przeprowadzeniu kontrolnych doświadczeń polowych, gdyż warunki laboratoryjne (szczególnie warunki glebowe) różnią się znacznie od tych jakie napotyka roślina w okręgach przemysłowych.

Instytut Dendrologii
Kórnik k. Poznań

LITERATURA

1. Bartkowiak S., Białobok S., Rachwał L. — 1975. Ocena stopnia uszkodzeń drzew i krzewów przez SO_2 dla potrzeb ich hodowli. Arboretum Kórnickie. XX; 375 - 384.
 2. Białobok S., Karolewski P., Rachwał L. — 1978. Charakterystyka urządzenia do badania wpływu gazów toksycznych na rośliny. Arboretum Kórnickie. XXIII.
- Białobok S., Karolewski P., — 1978. Ocena stopnia odporności drzew mącznych sosny zwyczajnej i ich potomstwa na działanie SO_2 i O_3 oraz mieszaniny tych gazów. Arboretum Kórnickie. XXIII.

4. Dmuchowski W., Molski B. — 1974. Wpływ fluoru na szatę roślinną. Wiadomości Botaniczne. XVIII (4); 59 - 71.
5. Guderian R. — 1977. Air Pollution. Ecological Studies 22. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
6. Hornstedt R., Robak H. — 1975. Relative susceptibility of eleven conifer species to fluoride air pollution. Reports of Norwegian Forest Research Institut. 32 (5); 190 - 206.
7. Kluczyński B. — 1975. Wpływ związków fluoru na stan zdrowotny drzew i krzewów przy Hucie Aluminium „Konin”. Arboretum Kórnickie. XX; 317 - 343.
8. Kluczyński B. — 1976. Oddziaływanie fluoru i jego związków na rośliny. Arboretum Kórnickie. XXI; 401 - 418.
9. Schönbach H., Dässler H., Enderlein H., Bellman E., Kästner — 1964. Über den unterschiedlichen Einfluss von Schwefeldioxid auf die Nadeln verschiedener 2 jähriger Lärchenkreuzungen. Der Zuchter. 34 (8); 312 - 316.
10. Taylor O. C., Thompson C. R., Tingey D. T., Reinert R. A. — 1975. Oxides of nitrogen. (6); 121 - 139. Mudd J. B., Kozłowski T. T. Responses of plants to air pollution. Academic Press. New York, San Francisco, London.
11. Vogt M., Schönbach H., Headicke E. — 1968. Experimentelle Untersuchungen zur relativen Rauchhärte im Rahmen eines Provenienzversuches mit der japanischen Lärche. Arch. Forstwes. 17; 1001 - 1013.

PIOTR KAROLEWSKI, STEFAN BIAŁOBOK

Effect of sulphur dioxide, ozone, a mixture of these gases and of hydrogen fluoride on the damage to needles of European Larch

Summary

Detached shoots of 20 *Larix decidua* clones have been subjected to the action of the studied gases in specially adapted fumigation chambers using various concentrations of these gases and durations of exposition so as to observe differences in the degree of needle damage. The results obtained permitted a classification of the studied clones according to resistance to the individual gases. The treatments with SO₂ were repeated thrice in various seasons and good repeatability was obtained. There were no correlations between level of resistance to the different gases but some clones exist which have a high resistance to two or even three of the gases used.

ПЕТР КАРОЛЕВСКИ, СТЕФАН БЯЛОБОК

Оценка степени устойчивости хвои клонов лиственницы европейской по отношению к действию SO₂, O₃, HF и смеси SO₂ и O₃

Резюме

На отрезанные побеги, представляющие 20 клонов лиственницы европейской действовали сернистым ангидридом, озоном, смесью этих газов и фтороводородом. Раствения газировали в специально для этой цели созданных камерах, которые дают

возможность получить значительную дифференциацию повреждений хвои у различных особей. На основании полученных результатов проведено сравнение степени дифференциации хвои испытуемых клонов лиственницы под влиянием действия выше указанных газов. В случае, когда на побеги лиственницы действовали в трех сроках SO_2 была найдена существенная корреляция, что свидетельствует о большой повторяемости получаемых результатов. Проведенный анализ показал отсутствие существенной корреляции между степенью повреждения хвои вызываемой действием различных газов. Констатировано однако, что деревья нескольких клонов характеризовались повышенной устойчивостью к действию двух или даже трех применяемых в опыте газов.

zmniejsza się, a w tym czasie zwiększa się wydajność reakcji. Wzrost wydajności reakcji jest spowodowany przez zwiększenie powierzchni styku między dwoma cząstkami. Wzrost wydajności reakcji jest spowodowany przez zwiększenie powierzchni styku między dwoma cząstkami. Wzrost wydajności reakcji jest spowodowany przez zwiększenie powierzchni styku między dwoma cząstkami.