ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA
VOL. XXIX, 29 SECTIO C 1974

Instytut Biologii UMCS
Zakład Systematyki i Geografii Roślin

Jan BYSTREK

Wrażliwość porostów na zanieczyszczenia atmosferyczne

Чувствительность лишайников на загрязнение воздуха

The Sensitivity of Lichens to Air Pollution

W ostatnich latach szczególną uwagę zwraca się na zanieczyszczenia powietrza substancjami chemicznymi. Zanieczyszczenia atmosfery są ważnym czynnikiem ekologicznym, który należy uwzględniać przy planowaniu urbanistycznym oraz przy gospodarce żywymi zasobami przyrody. Trucizny emitowane do atmosfery wywierają istotny wpływ na wszystkie części składowe ekosystemów. Badania zanieczyszczeń powietrza prowadzone wokół licznych ośrodków przemysłowych i w miastach wykazały (5), że do atmosfery emitowane są: związki siarki (szczególnie SO_2 i H_2S), fluoru, chloru, tlenki azotu, amoniak, różne związki organiczne pochodne etylenu, a także ich połączenia określane mianem „smog" i „ozon". Obliczono toksyczność poszczególnych związków, a także dopuszczalne normy ich stężenia w atmosferze. Wykazano, że śmiertelna dawka SO_2 dla roślin waha się w granicach 0,1—0,4 mg/m^3 powietrza, związków fluoru tylko w 0,1 mg/m^3, związków chloru 0,88 mg/m^3, tlenku azotu ok. 80 mg/m^3, amoniaku 58 mg/m^3, pochodnych aldehydów w granicach 0,05—0,125 mg/m^3, a siarkowodoru 557 mg/m^3 powietrza.

Na ujemne działanie substancji fitotoksycznych na wegetację porostów, zwłaszcza zaś trujące działanie SO_2 zwrócono uwagę w połowie XIX w., podczas badań flory porostów w miastach. Wspomina o tym Nylander w r. 1866 opracowując porosty Parku Luksemburg w Paryżu oraz Arnold w r. 1892, badając porosty Monachium i okolic. Szczegółowe badania wpływu zanieczyszczeń powietrza na wegetację porostów rozpoczął Sernander w Sztokholmie (6). Są one kontynuowane po dzień dzisiejszy (1, 2, 3, 4, 7, 12). Potwierdzono wielokrotnie, że miasta i ośrodki przemysłowe są środowiskiem nieodpowiednim dla życia porostów. Potwierdzono istnienie pustyń porostowych, opisanych przez Sernandera, a porosty uznano za najczulsze wskaźniki zanieczyszczeń atmosfery. Główną przyczynę ich zaniku wokół ośrodków przemysłowych i w miastach upatrywano w obecności w powietrzu związków siarki, szczególnie zaś w fitotoksycznym działaniu SO_2. Inny pogląd reprezentował Rydzak (9—12), który uzależniał zanik porostów w miastach od warunków wilgotnościowych, a wokół zakładów azotowych —

od emisji amoniaku i saletry amonowej; dwutlenkowi siarki zbyt silnego działania fitotoksycznego nie przypisywał.

Wrażliwość porostów na zmiany warunków wilgotnościowych, szczególnie zaś zachwianie rytmiki nawilgotnienia plech, zanieczyszczenie atmosfery oraz na zmiany w mikroklimacie siedlisk wynika z budowy plech oraz sposobu odżywiania się i pobierania wody. Porosty nie posiadają żadnych organów do pobierania i magazynowania wody, nie czerpią jej z podłoża (przynajmniej gatunki o plechach listkowatych i krzaczkowatych), nie mają też zdolności transportowania jej wewnątrz organizmu. Wodę pobierają całą powierzchnią plechy. Silna higroskopijność plech pozwala porostom korzystać z rosy i pary wodnej jako podstawowych źródeł wody niezbędnej do procesów życiowych. Woda zatruta związkami fitotoksycznymi, podobnie jak substancje lotne, jest szkodliwa, hamuje wzrost i rozwój porostów, szczególnie zaś procesy fotosyntezy i oddychania, powoduje zmiany w funkcjonowaniu enzymów, hamuje kiełkowanie spor. Wielokrotnie udowodniono, że SO_2 zawarty w powietrzu w niewielkim nawet procencie, działa hamująco na aktywność peroksydazy, zwiększa aktywność oksydaz. Związki fluoru wstrzymują procesy enzymatyczne w łańcuchu glikozydowym, wzmagają działanie katalazy, peroksydazy i oksydazy cytochromowej (13). Substancje chemiczne unoszące się w powietrzu w postaci aerosolu powodują mechaniczne uszkodzenia plech, niszczą warstwę korową plechy, a następnie powodują śmierć całych odcinków i doprowadzają do obumierania całych organizmów.

W celu określenia zmian zachodzących w porostach rosnących na obszarach narażonych na działanie substancji fitotoksycznych znajdujących się w powietrzu porównano *Evernia prunastri*, *Parmelia furfuracea* *P. physodes*, *P. sulcata* i *Usnea hirta*, pospolite gatunki, zebrane z lasów okolic Puław, Żyrzyna, Budy Stalowskiej (Jadachy i Stale) z tymi samymi gatunkami pochodzącymi z lasów okolic Krasnobrodu, Kosobud, Suśca i Janowa Lub. — obszarów odległych od aglomeracji przemysłowych, gdzie nie działają substancje chemiczne albo ich działanie jest bardzo małe.

Plechy porostów z lasów narażonych na pyły przemysłowe (Zakłady Azotowe, Siarkopol) są w stosunku do plech z lasów Roztocza (Susiec Krasnobród, Kosobudy) bardziej kruche, słabiej przytwierdzone do podłoża, posiadają bardziej pomarszczoną korę, zmienioną barwę, liczne ślady uszkodzeń warstwy korowej, zmieniony pokrój (szczególnie u gatunków krzaczkowatych) i liczne obumarłe części odcinków plech. Na przekrojach anatomicznych stwierdza się u osobników pochodzących z obszarów o dużych skażeniach powietrza martwe komórki glonów, niekiedy całe warstwy martwych komórek z glonami pozbawionymi chlorofilu i splazmolizowanymi komórkami strzępek grzyba (podobne zjawisko zaobserwowali Rydzak i Stasiak 11).

Krzaczkowate plechy *Parmelia furfuracea* na obszarach skażonych przyjmują postać rozetki przytwierdzonej do korowiny drzew wtórnymi przyczepami na końcach odcinków, często z bocznymi, krótkimi gałązkami podobnymi do izidiów i nadającymi plechom wygląd mu-

rawkowaty. Zachowane u niektórych osobników odcinki dłuższe są najczęściej na końcach obłamane lub obumarłe. Tak zmieniona postać *P. furfuracea* ma znacznie mniejszą powierzchnię.

Usnea hirta var. *hirta* i var. *villosa* zebrane z obszarów skażonych substancjami fitotoksycznymi są drobne, często murawkowate, nie przekraczają 3 cm długości, z brunatnymi, obumarłymi końcami odcinków i licznymi, bardzo łatwo odłamującymi się bocznymi gałązeczkami. Kora starszych odcinków w stosunku do osobników z Roztocza jest o 10—15 μ grubsza i wyraźnie w zewnętrznej warstwie ciemno zabarwiona.

Evernia prunastri na tych obszarach występuje w postaci pojedynczych, zwisających lub nieznacznie odstających, nieregularnie widełkowato rozgałęzionych odcinków, zwiniętych rynienkowato, często nieregularnie skręconych, po obu stronach jednakowo szarozielono lub żółtawo zabarwionych, na zakończeniach brunatnych lub białawych, albo przyjmuje postać rozetki lub nieregularnie krzaczkowatą, o odcinkach ± płaskich, z licznymi, krótkimi, niektórymi odstającymi bocznymi gałązeczkami, również na zakończeniach brunatniejącymi, łatwo odłamującymi się w wodzie. Górna strona odcinków plechy jest pomarszczona i popękana, z białawymi i brunatnymi plamami oraz licznymi płatami pozbawionymi kory, nie spotykanymi wśród okazów z Roztocza. Całe plechy są często pokryte licznymi epifitycznymi glonami.

Plechy *Parmelia physodes* w lasach okolic Puław i Tarnobrzegu są drobne, 2—3 cm średnicy, rzadziej większe, na górnej stronie pomarszczone, z licznymi brunatnymi plamami i punktami pozbawionymi kory. Centralna część plechy jest często zupełnie martwa. Liczne osobniki nie tworzą sorediów.

Parmelia sulcata na obszarach o znacznym stężeniu, substancjami fitotoksycznymi czerwienieje lub różowieje na całej powierzchni, a przy nieco mniejszym czerwoną lub różową barwę przybiera miąższ i soralia. Na górnej stronie plech występują liczne miejsca pozbawione kory. Czerwona barwa plech występuje nie tylko na obszarach skażonych, nie jest jednak zjawiskiem masowym.

Bardziej widoczne niż uszkodzenia plech są różnice w składzie gatunkowym i liczebności osobników na poszczególnych stanowiskach, w stopniu pokrycia plech na pniach. Są one widoczne na znacznych obszarach, odległych kilka do kilkudziesięciu kilometrów od źródła skażenia. Na obszarach tych zmniejsza się bardzo szybko liczba nadrzewnych gatunków porostów, gatunki pozostałe przy życiu występują w znacznie mniejszej liczbie osobników. Większe stężenia substancji fitotoksycznych w powietrzu i dłuższy okres ich działania doprowadzają do powstania pustyń porostowych. Pustynie takie stwierdzono między innymi w lasach grani-

czących z Zakładami Azotowymi w Puławach i w lasach graniczących z Tarnobrzeskim Zagłębiem Siarkowym. Pustynia porostowa w lasach okolic Puław pokrywa się, a miejscami przekracza linie określającą 0,1 mg SO_2 na 1 m^3 powietrza. W strefie tej nadrzewnych porostów zupełnie brak albo występują *Lepraria aeruginosa, Bacidia chlorococca, Lecanora varia* i sporadycznie na osikach i wierzbach *Physcia ascendens, Ph. tenella, Ph. stellaris, Ph. aipolia, Ph. ciliata, Physconia grisea, Ph. leucoleiptes* i *Xanthoria parietina*. U wszystkich gatunków listkowatych badanych na tym obszarze występowały przynajmniej ślady uszkodzeń plech, zwłaszcza kory. Stwierdzane na pniach niektórych drzew plechy *Parmelia physodes, P. sulcata, P. caperata* i *Evernia prunastri* były zupełnie martwe. Najczęściej występującymi epifitami są tu glony z rodzaju *Pleurococcus*, rosnące masowo na korze pni, gałęziach, szpilkach, liściach oraz na martwych i żywych plechach porostowych.

Na obszarach graniczących z pustynią porostową liczba gatunków wzrasta, lecz stopień pokrycia na pniach jest niski i nie przekracza 10% (licząc 5—10 drzew na 100 m^2 powierzchni lasu); obserwuje się zupełny zanik porostów krzaczkowatych i listkowatych w koronach drzew. Pospolitymi gatunkami są: *Lepraria aeruginosa, Bacidia chlorococca, Cladonia coniocraea* i miejscami *Parmelia physodes*, rosnące niezależnie od gatunku drzewa. Na sosnach ponadto występują: *Parmeliopsis aleurites, P. ambigua, Lecidea scalaris*, miejscami *Usnea hirta* i *Lecanora pinastri*; na dębach zaś: *Parmelia sulcata, P. exasperatula, P. fuliginosa, P. caperata, Ramalina pollinaria* var. *humilis* i *Lecanora angulosa*. Strefa ta rozciąga się na obszar leśny całego nadleśnictwa Puławy, lasu IUNG i leśnictw Piskory, Zagórki oraz części leśnictwa Wola Osińska — wokół Zakładów Azotowych, a w pobliżu Tarnobrzeskiego Zagłębia Siarkowego obejmuje prawie cały obszar lasów leśnictw Jadachy i Stale oraz znajdujące się w pobliżu Jeziórka lasy chłopskie. Bogatszą w porównaniu z omawianymi wyżej obszarami florę porostów nadrzewnych stwierdzono jedynie w leśnictwie Kozi Bór i Kotliny — nadleśnictwa Żyrzyn oraz w lasach dębowych nadleśnictwa Buda Stalowska, leśnictwa Berówka. W lasach tych nie stwierdzono gatunków z rodzaju *Bryopogon* ani *Usnea* (z wyjątkiem *U. hirta* i pojedynczych stanowisk *U. dasypoga, U. comosa*) oraz *Platysmatia glauca*.

Poniżej przedstawiam listę gatunków porostów epifitycznych wrażliwych na zanieczyszczenia atmosfery, ginących wokół aglomeracji przemysłowych i wokół większych miast. Obejmuje ona gatunki rosnące na pniach sosny, dębu, brzozy, jesionu, olchy czarnej — drzew rosnących w lasach okolic Puław i Tarnobrzegu. Nie uwzględnia gatunków rosnących na bukach, jodłach, a także gatunków reglowych i porostów rosnących na tynkach, skałach i na ziemi.

Do porostów najbardziej wrażliwych na niewielkie nawet zanieczyszczenia powietrza należą na obszarach niżowej Polski prawie wszystkie gatunki rodzaju *Bryopogon*, a zwłaszcza *Br. implexus*, *Br. setaceus*, *Br. subcanus*, *Br. fuscescens*, *Br. fuscidulus*, *Br. positivus*, *Br. motykanus*; z rodzaju *Usnea*, szczególnie *U. cavernosa*, *U. ceratina*, *U. faginea*, *U. glauca*, *U. neglecta*, *U. fulvoreagens*, *U. laricina*, *U. silesiaca* i *U. wasmuthii*, gatunki z rodzaju *Parmelia*: *P. furfuracea*, *P. pertusa*, *P. bitteriana*, *P. revoluta*, *P. quercina*, *Platysmatia glauca*, *Evernia divaricata*, *Ramalina farinacea* var. *pendulina* i var. *gracilenta*, *R. baltica*, *R. crinalis*, *Lobaria pulmonaria*, *Cetraria sepincola*, *Lecania cyrtella*, gatunki z rodzajów *Calicium*, *Coniocybe*, *Chaenotheca* oraz liczne gatunki z rodzaju *Lecanora*. Bardzo wrażliwe są również *Parmelia physodes*, *P. tubulosa*, *P. cetrarioides*, *Cetraria pinastri*, *Usnea dasypoga* i *U. comosa*. Najdłużej przy życiu na obszarach skażonych substancjami fitotoksycznymi utrzymują się *Anaptychia ciliaris*, gatunki z rodzajów *Physcia*, *Physconia*, *Xanthoria* oraz *Parmelia exasperatula*, *P. fuliginosa*, *P. verruculifera*, *P. scortea*, *U hirta* i *Lecidea scalaris*. Na miejsce dawnej flory epifitycznej osiedlają się: *Lepraria aeruginosa*, *Bacidia chlorococca*, *Lecanora varia*, a z glonów rodzaj *Pleurococcus*.

WNIOSKI

1. Źródłem zatruć porostów epifitycznych są fitotoksyczne substancje emitowane do atmosfery, dostające się do plech wraz z wodą, rozpuszczone w kroplach rosy i w parze wodnej oraz w drodze wymiany gazowej, podczas procesów asymilacji i oddychania.

2. Przyczyną zamierania plech porostowych jest zachwianie równowagi w procesach asymilacji i oddychania oraz w aktywności enzymów, a przy większych stężeniach trucizn w powietrzu — uszkodzenia odcinków i zniszczenie warstwy korowej.

3. Zmniejszenie stopnia pokrycia na poszczególnych pniach jest spowodowane zamieraniem plech oraz zmianami zachodzącymi w korowinie drzew, a u sosny — nadmiernym łuszczeniem się jej.

4. Najszybciej zamiera flora porostów krzaczkowatych i listkowatych rosnących w koronach drzew, a na pniach — gatunki rodzaju *Bryopogon*, *Usnea* i krzaczkowate oraz szerokolistkowate gatunki rodzaju *Parmelia*.

5. Występowanie pustyń porostowych świadczy o wrażliwości porostów na zanieczyszczenia atmosfery. Giną one przy stężeniach, w których rośliny naczyniowe znajdują jeszcze względne warunki do życia.

6. Porosty dzięki swej wrażliwości na działanie substancji fitotoksycznych są doskonałym wskaźnikiem czystości powietrza i winny być

uwzględniane podczas badań zasięgu skażeń wokół aglomeracji przemysłowych.

PIŚMIENNICTWO

1. Barkman J. J.: The Influence of Air Pollution on Bryophytes and Lichens. Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals. Wagenigen 1968.
2. Blanc Le F.: Influence de l'atmosphère polluée des grandes agglomerations urbaines sur les épiphytes corticoles. Rev. Canad. Biol. **20**:, 823—827 (1961).
3. Blanc Le F., Rao D. N.: Réaction des quelques lichens et mousses épiphytiques á anhydride sulphureaux dans la région de Sudbury, Ontario, Bryologist **69**, 338—346 (1966).
4. Brodo I. M.: Lichen Growth and Cities. A Study on Long Island. Bryologist **69**, 427—449 (1966).
5. Godzik S., Piskornik Z.: Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza oraz formy uszkodzeń roślin. Wiad. Bot. **13**, 239—247 (1969).
6. Hoeg O. A.: Zur Flechtenflora von Stockholm. Nyt Magaz. Naturvidenskap. **72**, 130—136 (1936).
7. Persoon L., Skye E.: Air Pollution Effects Pattern of Photosynthesis in *Parmelia sulcata* a Corticolus Lichen. Science **148**, 1600—1602 (1970).
8. Rydzak J., Krysiak K.: Lichen Flora of Tomaszów Mazowiecki. Vegetatio **21**, 375—397 (1970).
9. Rydzak J.: Rozmieszczenie i ekologia porostów miasta Lublina. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C **8**, 233—356 (1953).
10. Rydzak J., Piórecki J.: Stan flory porostów w okolicach tarnobrzeskiego zagłębia siarkowego. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C **26**, 343—352 (1971).
11. Rydzak J., Stasiak H.: Badania nad stanem flory porostów w rejonie przemysłu azotowego w Puławach. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio C **26**, 329—342 (1971).
12. Skye B.: Lichens of Air Pollution. Acta Phytogeogr. Suec. **50**, 285—287 (1968).
13. Świeboda M.: Niektóre zagadnienia wpływu na lasy przemysłowych zanieczyszczeń powietrza związkami fluoru. Sylwan **6**, 45—54 (1964).
14. Zurzycki M.: Badania nad nadrzewnymi porostami Krakowa i okolicy. PAU, Materiały do Fizjogr. Kraju **24**, 1—30 (1950).

РЕЗЮМЕ

Города и промышленные центры являются несоответствующей средой для жизни лишайников и по мере развития городов и промышленности флора лишайников очень быстро гибнет, образуются лишайниковые пустыни. Главной причиной умирания флоры лишайников являются химические вещества, эмиттированные в атмосферу, особенно SO_2, окиси азота, соединения фтора и хлора. Эти вещества в газообразном состоянии, а также растворенные в каплях росы и в водяном паре в воздухе тормозят рост и развитие плех, тормозят прорастание споров и

соредиев, вызывают изменения в активности ферментов, а также в процессах ассимиляции и дыхания, а при больших концентрациях — механическое повреждение плех, особенно сжирание коры и отмирание частей или целых отрезков.

Исследования повреждений лишайников велись на *Parmelia furfuracea, P. physodes, P. sulcata, Evernia prunastri, Usnea hirta.* Проследили тоже количественные изменения, разницы в степени покрытия стволов плохами в зависимости от расстояния источника заражения. Выделили также виды, наиболее чувствительные к промышленным засорениям. Исследования велись в лесах, находящихся вблизи больших промышленных предприятий, главным образом в округах Пулав и Тарнобжега и сравнивались с лишайниками в лесах, не подверженным непосредственно действию промышленных заражений, в лесах Центрального Розточа.

SUMMARY

Towns and industrial centres are an environment unsuitable for the life of lichens, and with the development of towns and industry the flora of lichens very quickly dies, and lichen deserts are created. The main cause of the disappearance of lichen flora are chemical substances emitted into the atmosphere, especially SO_2 nitrogen oxides and compounds of fluorine and chlorine. These substances in a gasiform or dissolved in drops of dew and in water vapour in the air cause the inhibition of the growth and development of thallus. They inhibit the germination of spores and soredia, cause alterations in the enzyme activity and in the assimilation and breathing processes. At larger concentrations they cause mechanical damage to the thallus, especially the corrosion of the core and the withering of a part or whole of thallus lobi.

The research on the damage to the lichen thallus was carried out on *Parmelia furfuracea, P. physodes, P. sulcata, Evernia prunastri* and *Usnea hirta.* Quantity changes, differences in the degree of the thallus cover on the stems, depending on the distance of the source of pollution, were also investigated. The species which are the most susceptible to industrial pollution were listed. The research was carried out in forests which border on larger industrial plants mainly in the region of Puławy and Tarnobrzeg. The lichens in these regions were compared with the lichens in the Central Roztocze forests which are not directly subjected to the activity of industrial pollution,