

Agnieszka Ligeża

Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Instytut Chemii i Ochrony Środowiska
42-201 Częstochowa, al. Armii Krajowej 13/15
e-mail: a.ligeza@wsp.czyst.pl

POMIAR ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA PRZY UŻYCIU BIOINDYKATORÓW ROŚLINNYCH

Streszczenie: Rośliny posiadają zdolność pochłaniania (kumulacji) zanieczyszczeń atmosferycznych w swoich tkankach. Zanieczyszczenia mogą wywoływać wizualne efekty w postaci, np. chloroz czy nekroz. Niektóre rośliny są dobrymi bioindykatorami (biowskaźnikami) zanieczyszczeń powietrza. Metody bioindykacyjne z użyciem roślin pozwalają na określenie rodzajów oraz ilości zanieczyszczeń zawartych w atmosferze, przez rozpoznanie skutków ich działania na organizmy roślinne.

Wprowadzenie

Poziom zanieczyszczenia atmosfery można wyznaczyć stosując dwie metody: chemiczną (analiza chemiczna) i biologiczną. Metoda biologiczna jest metodą bioindykacyjną, tzn. posługuje się organizmami żywymi (roślinami, grzybami, zwierzętami) jako wskaźnikami zanieczyszczenia powietrza. Najlichnieszą grupą bioindykatorów stanowią rośliny, zwane fitoindykatorami lub fitotestami.

Fitoindykacja wykorzystuje zjawisko oddziaływania pierwiastków chemicznych lub ich związków na życie roślin, w tym przede wszystkim mechanizm biokumulacji, czyli gromadzenia przez organizmy roślinne wewnątrz tkanek lub na ich powierzchni zanieczyszczeń pobieranych z atmosfery (wskaźniki roślinne akumulujące) oraz zjawisko oddziaływania zanieczyszczeń dające wizualne efekty w postaci np. zmian barwy liści, ich kształtu itp. (wskaźniki roślinne reagujące – właściwe). Niektóre substancje zanieczyszczające środowisko zawierają pierwiastki biogenne (tzn. niezbędne dla życia roślin); jeśli nie przekraczają one określonych stężeń, mogą odgrywać pozytywną rolę w procesach fizjologicznych roślin (np. SO_2). Zapotrzebowanie roślin na pierwiastki biogenne może być bowiem realizowane także na drodze wymiany gazowej pomiędzy wnętrzem organu, np. liścia a zanieczyszczoną atmosferą. Zatem nie każdy rodzaj i nie każda ilość zanieczyszczeń atmosfery stanowi czynnik zagrożenia dla danych roślin. Zagrożeniem będą

takie pierwiastki lub ich związki oraz takie ich ilości, które potencjalnie lub faktycznie wpływają negatywnie na życie roślin, ponieważ każdy gatunek posiada określoną zdolność pochłaniania zanieczyszczeń bez szkody dla swojego organizmu. Jednakże przekroczenie tych zdolności powoduje określone skutki dla rozwoju danego gatunku – ich występowania, budowy i czynności życiowych.

Tym, co wyróżnia fitoindykatory spośród innych roślin jest duża wrażliwość na określone zanieczyszczenia powietrza, której przejawem są charakterystyczne, mierzalne objawy. Przyjmuje się, że biondykatory roślinne posiadają łącznie następujące cechy:

- są stenobiontami, czyli organizmami o wąskim zakresie tolerancji, tj. występują w ściśle określonych przedziałach zanieczyszczeń,
- wykazują specyficzne reakcje na działanie jednego czynnika środowiskowego,
- specyficzne reakcje bioindykatorów odpowiadają określonym stężeniom zanieczyszczeń powietrza,
- są organizmami o dobrze poznanej biologii, pozwalającej na interpretowanie zachodzących reakcji i są genetycznie jednolite,
- są pospolite i szeroko rozprzestrzenione oraz łatwe w hodowli, jeśli służą do laboratoryjnej analizy testowej.

Do typowych, najczęściej stosowanych roślinnych bioindykatorów zanieczyszczeń atmosfery zalicza się:

- a) porosty – z uwagi na to, że wykazują szczególnie dużą wrażliwość na zanieczyszczenia powietrza, gdyż wymiana gazowa odbywa się całą powierzchnią ich ciała, tzw. plechy, co powoduje, że wszelkie zanieczyszczenia bez trudu dostają się do jego wnętrza,
- b) mchy – z uwagi na to, że nie posiadają warstwy ochronnej, tzw. kutykuli, jak np. liście drzew, przez co łatwo pobierają do wnętrza substancje osiadające na ich powierzchni,
- c) niektóre gatunki roślin uprawnych i kwiatowych – z uwagi na to, że wykazują określoną odporność na zanieczyszczenia (małą albo dużą), która objawia się w zmianach w ich biologii (np. wzroście, kwitnieniu, wysokości plonów),
- d) niektóre gatunki drzew – z uwagi na to, że wykazują różną wrażliwość na zanieczyszczenia,
- e) organy wegetatywne niektórych gatunków roślin (blaszki liściowe, szpilki) – z uwagi na to, że są czułymi narządami wymiany gazowej o sprawdzalnej (morfologicznie i chemicznie) zdolności kumulacji zanieczyszczeń,
- f) kora niektórych gatunków drzew - z uwagi na to, że jest tkanką styku drzewa z otaczającym środowiskiem gazowym, która gromadzi zanieczyszczenia.

Wyznaczenie roślin wskaźnikowych (fitotestów) było możliwe po uprzednim zestawieniu i porównaniu stężeń zanieczyszczeń powietrza, uzyskanych w rezultacie badań chemicznych, z wynikami obserwacji biologicznych flory. Badania te posłużyły opracowaniu i usystematyzowaniu relacji zachodzących pomiędzy stężeniami określonych zanieczyszczeń a występowaniem lub stanem zdrowia określonych roślin. Zakresy występowania fitoindykatorów odpowiadają przedziałom zanieczyszczeń w atmosferze. Ustalono w ten sposób zakresy tolerancji - górne progi występowania dla poszczególnych roślin wskaźnikowych, po przekroczeniu których roślina ginie (np. obecność na pniach drzew porostu - granicznika płucnika *Lobaria pulmonaria*, określa stężenie SO_2 w przedziale od 5 do 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, po przekroczeniu stężenia 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 porost ten nie występuje).

Metody bioindykacyjne z użyciem fitotestów przeprowadzane są na czterech poziomach, które odpowiadają różnym ujęciom organizmu roślinnego, jako przedmiotu oddziaływania zanieczyszczeń zawartych w atmosferze. Kryterium podziału stanowi rodzaj efektu wywołanego przez skażenie. Efektem tym jest:

- I zmiana w składzie gatunkowym roślin (ujęcie gatunkowe - systematyczne),
- II uszkodzenia zewnętrzne w organizmie rośliny (ujęcie makroskopowe),
- III uszkodzenia wewnętrzne w organizmie rośliny (ujęcie mikroskopowe)
- IV zmiany w składzie chemicznym roślin (ujęcie chemiczne).

Do poszczególnych metod bioindykacyjnych mają zastosowanie wybrane, właściwe dla każdej z nich, wcześniej wymienione biowskaźniki roślinne. Tylko niektóre z nich są wykorzystywane w kilku metodach (np. pustułka pęcherzykowa).

I Analiza składu gatunkowego roślin

Bioindykatorami, które wykorzystuje się w analizie składu gatunkowego są przede wszystkim porosty i rośliny naczyniowe (zielne i drzewa).

Dla porostów, które reagują na kwaśne zanieczyszczenia powietrza, opracowano skalę biologiczną porostów epifitycznych (nadrzewnych) (Hawksworth, Rose 1970), dostosowaną do polskiej flory przez prof. J Kiskę¹. Metoda ta pozwala na określenie przedziałów zawartości SO_2 w atmosferze w oparciu o odnalezione na pniach drzew wskaźnikowe gatunki porostów. Jest to jednak metoda wymagająca dobrej znajomości epifitycznej flory porostów.

Niektóre gatunki roślin uprawnych, tj. zboża, warzywa, owoce oraz wybrane gatunki roślin kwiatowych, używane są do określania przedziału zanieczyszczenia atmosfery dwutlenkiem siarki (SO_2) i fluorowodorem (HF)². Metoda ta wymaga pewnej wiedzy z zakresu agronomii, gdyż naukowo istotny jest tutaj aspekt wzrostu, kwitnienia i wydawania plonów przez rośliny

uprawne. SO_2 wpływa niekorzystnie na aparat fotosyntetyzujący roślin hamując u nich proces fotosyntezy, co skutkuje obniżoną żywotnością roślin i zmniejszoną plennością. Dużą wrażliwość na stężenia SO_2 w powietrzu, której oznakami są wyżej wskazane nieprawidłowości w funkcjonowaniu roślin, wykazują następujące gatunki:

- koniczyna, lucerna, łubin, bób - powyżej $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- jęczmień, owies, pszenica, rzepak - powyżej $0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- kukurydza, ziemniaki, buraki, kapusta - powyżej $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fluorowodor jest związkiem toksycznym, którego działanie jest szczególnie groźne dla roślin w ich początkowym okresie rozwoju, biokumulacja tego związku w roślinach objawia się m.in. zaburzeniami wzrostu. Poziomy stężenia HF w powietrzu, które są dostrzegalne już w pierwszym etapie wegetacji, wyznaczają takie gatunki biowskaźników, jak:

- cebula, por, mieczyk, krokus, konwalia - powyżej $0,0003 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- lucerna, wyka, poziomka, porzeczka - powyżej $0,0005 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ziemniaki, pomidor, kapusta, wrzosa - powyżej $0,0014 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Różne gatunki drzew (zarówno liściastych i iglastych) charakteryzują się odmienną wrażliwością na zanieczyszczenia gazowe atmosfery. Drzewa wykorzystywane są do ogólnej oceny skażenia powietrza². Wyniki uzyskane po wykorzystaniu drzew jako biowskaźników nie są dokładne, dają tylko orientacyjne pojęcie o panującym w powietrzu zanieczyszczeniu (małym, średnim albo dużym). Gatunki drzew, które są bioindykatorami i które cechuje stopniowalna podatność na skażenia gazowe to:

- jodła, świerk, lipa szerokolistna – są to gatunki bardzo nieodporne na zanieczyszczenia, których występowanie i prawidłowy wzrost świadczą o czystości powietrza,
- wiąz, jarzab, kasztanowiec – gatunki mniej wrażliwe od wyżej wymienionych; wyznaczają mały stopień zanieczyszczenia,
- modrzew polski i europejski, dąb, jawor – gatunki mało wrażliwe, informują o średnim zanieczyszczeniu,
- sosna czarna, sosna wejmutka, osika, robinia – jako gatunki najodporniejsze występują nawet przy dużych zanieczyszczeniach powietrza.

Metoda z wykorzystaniem drzew, ze względu na powszechną znajomość pospolitych gatunków drzew, może być wykorzystywana przy popularyzacji ekologii jako nauki stosowanej. Omawianą metodą można posługiwać się na wstępnym etapie badań środowiska atmosferycznego.

Biowskaźnikami zanieczyszczeń mogą być różne rodzaje zbiorowisk roślinnych - układy określonych gatunków roślin, np. typy zbiorowisk leśnych. W tym wypadku analiza składu gatunkowego następuje przez sprawdzenie, czy na badanym terenie występują gatunki charakterystyczne dla danego typu zbiorowiska roślinnego, np. czy jest obecny żywiec dziewięciolistny (*Dentaria enneaphyllos*) w żyznej buczynie sudeckiej (*Dentario enneaphyllidis* – *Fagetum*)³. Jeżeli nie stwierdza się występowania jednego albo kilku gatunków

typowych dla danego rodzaju zbiorowiska roślinnego, można przypuszczać, że zanieczyszczenie atmosferyczne w tym miejscu jest wysokie i długotrwałe. Metoda zbiorowisk roślinnych wymaga dobrej znajomości flory i stosunków fitosocjologicznych.

II Analiza uszkodzeń zewnętrznych rośliny

Uszkodzenia zewnętrzne (morfologiczne) roślin są łatwo dostrzegalne i występują w częściach najbardziej narażonych na zanieczyszczenia powietrza, takich jak liście (blaszki liściowe, szpilki), czy delikatne plechy porostów; stanowią rezultat ostrego lub chronicznego oddziaływania zanieczyszczeń na rośliny. Typowymi uszkodzeniami zewnętrznymi są: zmiany barwy liści (bielenie, brązowienie, żółknięcie, czernienie), zamieranie brzegów blaszek liściowych lub całych liści oraz powstanie chloroz (punktowych zaników chlorofilu) i nekroz (martwic tkanek). Wskazane zmiany morfologiczne są następstwem zaburzeń w procesach fizjologicznych komórek, np. zahamowania procesu fotosyntezy, transpiracji. Szczególnie niebezpieczne dla roślin są chlorozy i nekrozy. Chlorozy, które mają postać miejscowych odbarwień, są uszkodzeniami łagodnymi lub chronicznymi. Odbarwienia te nie zanikają i następnie przeistaczają się w bardziej zaawansowane formy uszkodzeń - nekrozy. Chlorozy powstają, np. na skutek długotrwałych działań związków siarki o niskich stężeniach, które uszkadzają aparat fotosyntetyzujący roślin ⁴ (Rabe i Kreeb 1979, Kozłowski 1980), powodując powstanie żółtawych lub białych plam na powierzchni liści. Z kolei nekrozy są uszkodzeniami silnymi i ostrymi, powstającymi najczęściej na brzegach blaszek liściowych i pomiędzy nerwami liści. Nekrozy mają postać brązowych plam w miejscach występowania martwej tkanki. Informują one np. o wystąpieniu krótkotrwałych i bardzo wysokich stężeń SO_2 [4] za (Unsworth i in. 1972, Kozłowski 1985) albo wysokich stężeń ozonu. Rozpoznając typ zewnętrznych uszkodzeń roślin można określić rodzaj (związek chemiczny) oraz wielkość zanieczyszczenia zawartego w powietrzu, a także ustalić okres oddziaływania tego skażenia.

Do oceny stopnia zanieczyszczenia atmosfery związkami kwaśnymi jest wykorzystywana również plecha (ciało nie posiadające organów i tkanek) pospolicie występującego porostu – pustułki pęcherzykowej *Hypogymnia physodes*. Metodę tę określa się mianem testu płytkowego ⁵. Służy ona do określenia zasięgu oddziaływania emitora punktowego (np. zakładu przemysłowego) na środowisko atmosferyczne i pozwala na precyzyjne wskazanie kierunku największego i najmniejszego napływu zanieczyszczeń. Do badań zbiera się plechę pustułki pęcherzykowej rosnącej na nieskażonym terenie, np. w większym kompleksie leśnym. Zebrany porost, umieszczony na drewnianych płytkach, pozostawia się w terenie wokół emitora punktowego. Następnie dokonuje się systematycznej obserwacji tempa zamierania plech porostu (kurczenia i czernienia plechy) na poszczególnych stanowiskach.

Szybsze tempo zamierania plech (sprawdzone makroskopowo) świadczy o ogólnie (bez wskazania na typ skażenia) wyższym zanieczyszczeniu powietrza w danym punkcie pomiarowym.

III Analiza uszkodzeń wewnętrznych

Analiza uszkodzeń wewnętrznych (anatomicznych) roślin może być dokonana tylko w warunkach laboratoryjnych, przy użyciu przyrządów powiększających, np. mikroskopu. Organizmem roślinnym, który znalazł zastosowanie także w tych badaniach jest porost - pustułka pęcherzykowa⁶. Plechy porostu zebrane z czystych terenów przenosi się na stanowiska badawcze. Po określonym czasie ekspozycji w terenie każda plecha porostu jest poddawana badaniom anatomicznym w laboratorium. Z każdej plechy wykonuje się serię preparatów mikroskopowych, w których następnie określa się liczbę obumarłych komórek glonu (jednego, obok grzyba komponentu porostu). Liczba obumarłych komórek glonu wyznacza wprost proporcjonalnie ogólny stopień zanieczyszczenia środowiska na danym terenie.

IV Analiza chemiczna zanieczyszczeń pochłoniętych przez rośliny wskaźnikowe

Analizy chemiczne polegają na określeniu ilości pochłoniętych z atmosfery związków chemicznych. Zanieczyszczenia te są pobierane wraz z powietrzem na drodze pasywnej lub aktywnej i następnie kumulowane w tkankach roślin. Materiałem do badań są np. liście (blaszki liściowe lub szpilki), kora drzew lub całe osobniki (porosty, mchy). Liście są organami najbardziej wrażliwymi na zanieczyszczenia powietrza, ponieważ są narażone na bezpośredni kontakt z zanieczyszczoną atmosferą. Najczęściej stosowanymi biowskaźnikami, określającymi stopień skażenia środowiska siarką, są szpilki sosny zwyczajnej *Pinus silvestris*^{7,8} a także dwa gatunki mchów szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenia metalami ciężkimi: rokitnik pospolity (*Pleurozjum schreberi*)^{9,10} i gajnik lśniący (*Hylocomium splendens*)¹⁰. Procedura postępowania w celu przygotowania materiału do analiz chemicznych w każdym przypadku (blaszek liściowych, szpilek, kory, plech porostów czy mchów) ma podobny przebieg i sprowadza się do zbioru, wysuszenia, rozdrobnienia i mineralizacji w specjalnych piecach tkanek roślinnych. Uzyskane w ten sposób próby analizuje się przy użyciu specjalistycznej aparatury, otrzymując bardzo precyzyjne wyniki określające rodzaj i ilość pierwiastków zgromadzonych przez rośliny.

Innym przykładem sprzężenia badań biologicznych i chemicznych jest metoda woreczkowa: „moss – bag”, polegająca na ekspozycji wskaźnikowych gatunków mchów¹¹. Zastosowanie w powyższej metodzie znalazły takie gatunki, jak: rokitnik pospolity (*Pleurozjum schreberi*), gajnik lśniący

(*Hylocomium splendens*), mech torfowiec (*Sphagnum sp.*). Badania rozpoczyna się od wystawienia w terenie mchu umieszczonego w woreczkach (siatkach) o dużych oczkach, które zawiesza się np. na gałęziach drzew. Tak odizolowany od podłoża mech może pobierać związki chemiczne tylko z powietrza, toteż analiza zawartości pierwiastków w jego tkankach w pełni odwzorowuje zanieczyszczenia panujące w atmosferze. Metodę woreczkową najczęściej wykorzystuje się do pomiaru zanieczyszczenia atmosfery metalami ciężkimi (kadm, ołów, cynk).

Podsumowanie

Metody bioindykacyjne z wykorzystaniem roślin znajdują szerokie zastosowanie w pomiarach zanieczyszczeń powietrza. W badaniach tych uzyskuje się informacje o wysokości stężeń poszczególnych związków, ale przede wszystkim jest to miara biologicznej odpowiedzi organizmów żywych na zanieczyszczenia atmosfery. Metody bioindykacyjne są dostępne i niedrogie, ponieważ umożliwiają wykonywanie badań bez konieczności używania skomplikowanych i drogiej urządzeń pomiarowych oraz korzystania z usług wyspecjalizowanych laboratoriów. W bioindykacji, poza nielicznymi wyjątkami (metody wspomagane analizami chemicznymi – patrz pkt IV), wykorzystywane są bowiem podstawowe przyrządy badawcze (lupy, mikroskopy). Ponadto niektóre metody bioindykacyjne (np. metoda testu płytkowego, metoda analizy wrażliwości różnych gatunków roślin) nie wymagają od badacza dogłębnej wiedzy biologicznej i chemicznej. Zatem te metody można zalecić dla obszarów nie objętych konwencjonalnym monitoringiem jakości powietrza, tzn. terenów, na których nie rozmieszczono stacji pomiarowych. Szybkość uzyskiwania obiektywnych wyników to możliwość wczesnego wykrycia i zdiagnozowania zanieczyszczeń w układzie ekologicznym, przez rozpoznanie skutków ich oddziaływania na organizmy roślinne. Pomiar zanieczyszczeń powietrza z użyciem fitotestów jest wskazany na tych terenach, gdzie poziomy stężenie zanieczyszczeń atmosfery ulegają znacznym wahaniom. Bioindykatory pozwalają na jednoznaczne określenie średniego przedziału długotrwałych zanieczyszczeń, bez potrzeby przeprowadzania wielokrotnych pomiarów, jak w badaniach fizykochemicznych. W odróżnieniu od metod chemicznych, metody bioindykacyjne, których istotą jest ocena wpływu zanieczyszczeń na organizmy żywe, dają rzeczywisty obraz stanu środowiska naturalnego. Ich wyniki mogą stanowić bodziec do rozpoczęcia szczegółowych analiz fizykochemicznych w przypadku zjawisk szczególnie niepokojących.

Stosowanie większości metod bioindykacyjnych jest uzależnione od okresu wegetacji roślin (badania są prowadzone są od wiosny do jesieni). Ponadto interpretacja wyników uzyskanych w drodze zastosowania metod bioindykacyjnych może przysparzać trudności. Na rośliny, oprócz powietrza i zawartych w nim zanieczyszczeń, oddziałują bowiem równocześnie dwa

pozostałe czynniki abiotyczne gleba – woda, których jakość wpływa na zdrowie tych organizmów. O kondycji roślin decydują także czynniki biotyczne, takie jak wzajemne oddziaływanie na siebie organizmów żywych (np. konkurencja międzygatunkowa, pasożytnictwo, rozkład produktów przemiany materii itp.). Skutki oddziaływań tych czynników mogą zniekształcać wyniki badań bioindykacyjnych. Jednak główną wadą metod biologicznych jest uzyskiwanie względnych wyników (przedziałów zanieczyszczeń). Dlatego też kompleksowy monitoring zanieczyszczeń powietrza powinien być prowadzony dwutorowo – badaniom biologicznym powinny towarzyszyć badania fizykochemiczne.

LITERATURA

1. J. Kiszka, Wpływ emisji miejsko-przemysłowych na florę porostów Górnego Śląska i okolicy, *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej PAN*, XXI, Kraków 1993
2. W. Jankowski, Zastosowanie bioindykacji w praktyce monitoringu środowiska na przykładzie północno-wschodniej Polski, *Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ*, Warszawa 1994
3. W. Matuszkiewicz, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, PWN, Warszawa 2001
4. K. Sawicka-Kapusta, Reakcja roślin na dwutlenek siarki i metale ciężkie w środowisku – bioindykacja, *Wiad. Ekologiczne*, 1990, XXXVI, 95
5. W. Fałtynowicz, Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza, *Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi*, Krosno 1995
6. L. Betleja, Badania morfologii plech *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. w płatach pni sosny (*Pinus silvestris*) w borach województwa katowickiego, *Mat. V Zjazdu Lichenologów Polskich*, Inst. Badań i Ekspertyz Naukowych, Gorzów Wielkopolski 1991
7. K. Grodzińska, Zawartość siarki ogólnej w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris*) z Puszczy Niepołomickiej, *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej PAN*, IX, Kraków 1981
8. W. Dmuchański, A. Bytnerowicz, Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) needles, *Environmental Pollution* 1995, 87
9. K. Grodzińska, R. Laskowski (red.), Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa), *Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ*, Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN, Instytut Biologii Środowiskowej UJ, Warszawa 1996

10. B. Godzik, K. Grodzińska, Metale ciężkie w mchach Mazurskiego Parku Krajobrazowego, *Ochrona Przyrody*, PAN 1991, R. 49, cz. I, 81
11. Zanieczyszczenie powietrza Częstochowy wybranymi metalami określone metodą bioindykacyjną (moss – bag) [w:] Informacja o stanie środowiska przyrodniczego województwa częstochowskiego w 1993 roku, *Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ*, Częstochowa 1994

Agnieszka Ligęza

Air contamination measurement using plant bio-indicators

Abstract: Plants possess an ability to absorb (accumulate) atmospheric contaminations in their tissues. Some plants are good bio-indicators (indicator plants) of air contamination. Bio-indication methods with the use of plants allow to define air contamination types and quantities, through the recognition of the results of their effects and impacts upon plant organisms.

BG WSP



250900

