

JERZY PREWYSZ-KWINTO, TOMASZ STASZEWSKI

ZMIANY ULTRASTRUKTURY KOMÓRKI POD WPLYWEM ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

W szeregu dotąd opublikowanych prac przedstawiono niektóre aspekty związane z oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza na rośliny (Katz i wsp. 1939, Thomas 1961, Godzik i Piskornik 1969, Piskornik i Godzik 1970, Bytnarowicz i Molski 1974, Dmuchowski i Molski 1975, Godzik 1976, Weinstein 1977, Karweta 1978 i inni). Nie ma więc potrzeby przedstawiania skali ujemnych oddziaływań i uzasadniania celowości badań biologicznych w tym zakresie. Mimo iż obserwacje w mikroskopie świetlnym dostarczyły wielu cennych informacji z tego zakresu (Sorauer i Raman 1899, Katz i wsp. 1939, Solberg i Adams 1956, Hölte 1958), to w poniższym artykule przedstawione zostaną zasadniczo wyniki, jakie uzyskano stosując mikroskop elektronowy. Można wymienić dwie zasadnicze przyczyny badań z zastosowaniem tej techniki:

a) poszukiwania specyficznych zmian dla poszczególnych (lub przynajmniej niektórych) czynników fitotoksycznych (widoczne objawy uszkodzeń są bowiem bardzo mało — lub niespecyficzne)

b) określenie wczesnych zmian, gdy zewnętrznie liście (igły) nie wykazują jeszcze żadnych widocznych objawów uszkodzeń. Jest to również jeden z aspektów określenia tzw. stężeń granicznych.

W większości przypadków badania nad zmianami struktury komórek roślinnych prowadzono stosując określone czynniki fitotoksyczne w znanych stężeniach. Z tego względu w poniższym artykule zachowano również taki układ przedstawiania wyników badań.

Ozon, PAN, NO₂

Ozon i PAN (peroxy — acetyl — nitrate) są zanieczyszczeniami wtórnymi powstającymi w powietrzu w wyniku reakcji fotochemicznych. Dwutlenek azotu jest składnikiem zanieczyszczeń emitowanych do powietrza atmosferycznego i sta-

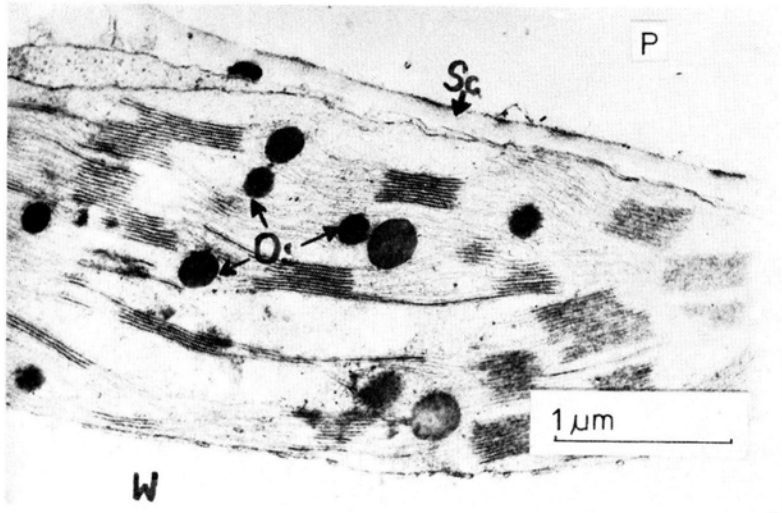
nowi substancję wyjściową dla tworzenia ozonu i PAN-u w powietrzu w wyniku reakcji fotochemicznych. Te ostatnie dwa związki należą do najsilniej działających czynników fitotoksycznych w smogu.

Pierwsze zmiany, jakie można stwierdzić w komórce po ekspozycji na ozon, dotyczyły chloroplastów, a zwłaszcza stromy (Thomson i wsp. 1966). Występowały one jeszcze przed pojawieniem się widzialnych uszkodzeń. Stroma niektórych chloroplastów była w całości ziarnista, co prowadziło do znacznego wzrostu jej gęstości elektronowej. W innych chloroplastach ziarnistość występowała jedynie w części stromy, w pewnych komórkach, w stromie chloroplastów tworzyły się uporządkowane szeregi ziaren o średnicy 85 Å, oraz pakiety płyt lub fibryli. Często ich ilość wynosiła 40—50 w grupie. Powstawanie ziaren i fibryli w chloroplastach miało miejsce również przed pękaniem plazmalemy i tonoplastu. Mitochondria nie wykazywały żadnych zmian. Znaczniejsze zmiany w organizacji komórki występowały w liściach wykazujących średnie, silne lub bardzo silne uszkodzenia (liście fasoli były ekspozowane na ozon w stężeniach 0,6—1 ppm * przez 0,5 godz., pobór próbek po 0,5, 1, 2, 3, 8 i 24 godz.). Najwcześniejszą oznaką ogólnego zniszczenia struktury komórki była plazmoliza (plazmalemma odstawała od ścian komórki) i łączenie się wakuoli z organellami komórki oraz cytoplazmą. Cała ta zbita masa przemieszczała się w kierunku środka komórki. Membrany ograniczające chloroplastów zaczynały pękać, a większą część stromy zajmowały pakiety fibryli. W silniej uszkodzonych komórkach występowało całkowite zniszczenie plazmalemy, tonoplastu i membran ograniczających chloroplasty. W przypadku mitochondriów następowało ich pęcznienie i akumulacja elektronowo gęstej substancji wewnątrz i w ich pobliżu. W najsilniej uszkodzonych komórkach zawartość komórki była zbita w jej centrum. W masie tej zdołano zidentyfikować pozostałości systemu membran chloroplastów oraz uporządkowane szeregi ziarnistości i fibryli. Większość innych membran była zniszczona całkowicie, lub występowały tylko ich małe fragmenty. Opisane zmiany można ogólnie podzielić na dwie fazy, a mianowicie: wczesną — charakteryzującą się zmianami w stromie chloroplastów bez naruszenia organizacji komórki i drugą fazę niszczącą, gdzie obok zmian struktury organelli następuje zniszczenie organizacji komórki i jej śmierć.

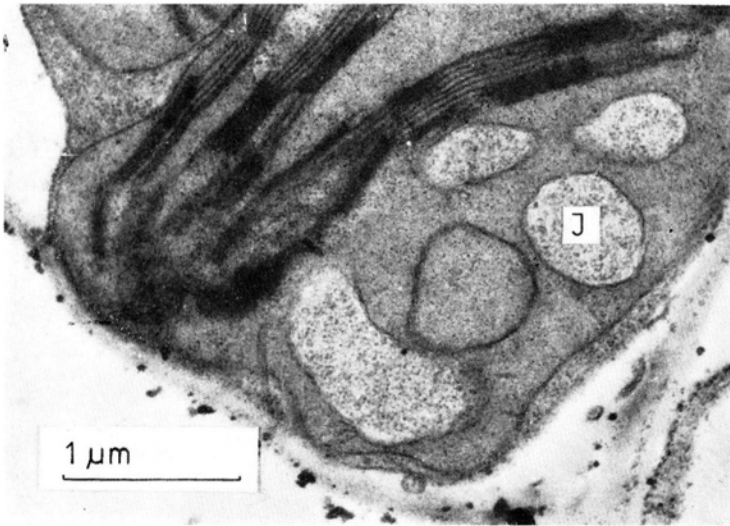
Obserwacje te wydają się potwierdzać tezę, że utleniacze działają przez uszkodzenie membran (Giese i Christiansen 1954, Scott i Leshner 1963, Rich 1964, Thomson i wsp. 1966). Opisany przebieg uszkodzania komórek nie wydaje się jednak być zjawiskiem powszechnym. Nouchi i wsp. (1977) badając wpływ ozonu na powój (*Pharbitis nil* var. Skarlet O'hara) (0,15 ppm od 2 do 8 godzin) podali bowiem następujące stadia zmian chloroplastów.

1. Chloroplasty zmieniały swój normalny kształt na nieregularny.
2. Stopniowo zmniejszały swoją wielkość, w końcowej fazie osiągając 2 μm.
3. Systemy lamelli pozostawały nieuszkodzone, ale stroma zaczynała wykazywać oznaki pęknięcia (disruption). Wraz z przedłużeniem czasu ekspozycji na ozon, systemy lamelli w chloroplastach zanikały.

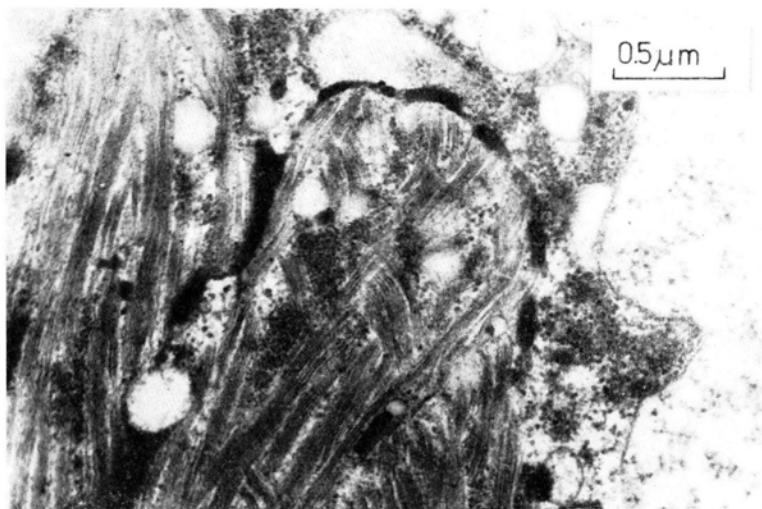
* 1 ppm ≈ 40,9 × M. cz. substancji gazowej = x μg. cm⁻³



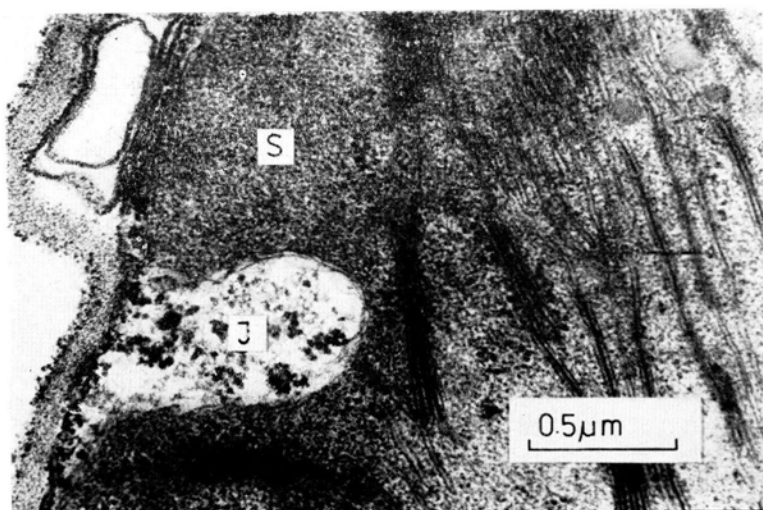
1. *Phaseolus vulgaris*. Chloroplast wyrosniętego liścia (kontrola). Układ tylakoidów, ciała osmofilne (Os), ściana komórkowa (Sc), przestrzeń międzykomórkowa (P), wakuola (W). (fot. S. Godzik)



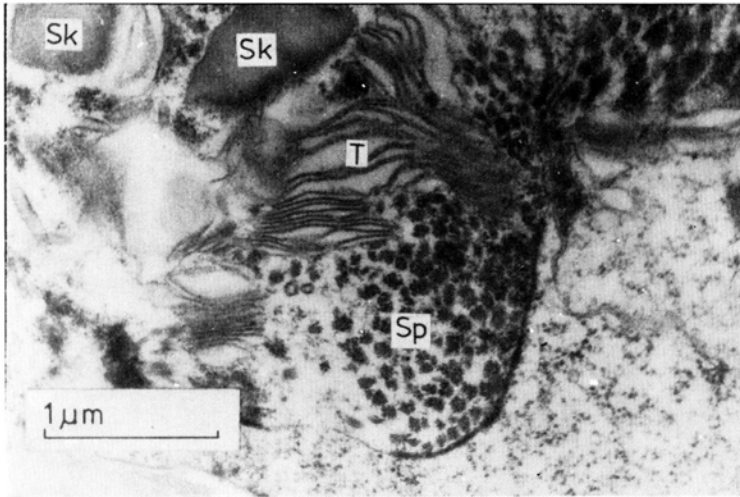
2. *Phaseolus vulgaris*. Chloroplast po ekspozycji na SO_2 . W stromie jaśniejsze fragmenty (I) ograniczone membraną podwójną. (fot. S. Godzik)



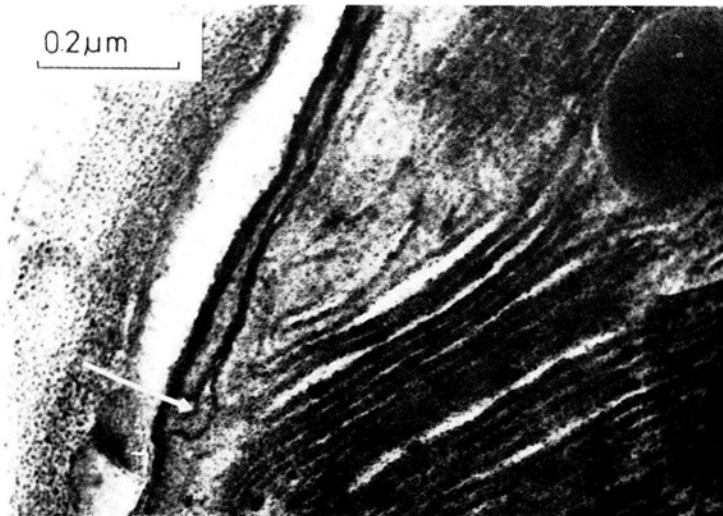
3. *Phaseolus vulgaris*. Układ pałeczkowatych ciał w zanieczyszczonym chloroplaście. (fot. S. Godzik)



4. *Phaseolus vulgaris*. Chloroplast po ekspozycji na SO_2 . Widok boczny fragmentu jaśniejszego (I), stroma (S), tylakoidy. (fot. S. Godzik)



5. *Phaseolus vulgaris*. Chloroplast po ekspozycji na SO₂. Widoczne resztki tylakoidów (T), skrobia asymilacyjna (Sk), pałeczkowate ciała (Sp). (fot. S. Godzik)



6. *Phaseolus vulgaris*. Fragment chloroplastu po ekspozycji na SO₂ z początkiem drugiej membrany (→). (fot. S. Godzik)

4. W stromie pojawiały się osmofilne globule, a ich wielkość i liczba były proporcjonalne do czasu ekspozycji. Zaobserwowano również tworzenie się fitoferytyn w stromie.

5. Struktura membran ograniczających chloroplasty nie uległa zmianie nawet w silnie uszkodzonych liściach. Ten ostatni wniosek pozostaje w sprzeczności z obserwacjami przytoczonymi wcześniej. Nie stwierdzono również występowania zmian w stromie w postaci powstawania ziarnistości lub fibryli. Być może, iż brak zgodności w opisie zmian jest rezultatem różnic w warunkach prowadzonych doświadczeń, oraz użyciem różnych gatunków roślin.

Badając wewnętrzną strukturę chloroplastów zaobserwowano zmniejszenie rybosomów chloroplastów, a stosując badania mikrospektrofotometryczne stwierdzono zmniejszenie ilości RNA w rybosomach. Ilość RNA zmniejszała się wraz ze wzrostem czasu ekspozycji na ozon (przy tym samym stężeniu). W przypadku mitochondriów grzebienie pęczniały zajmując średnio 45—60% całego mitochondrium. Matriks mitochondrialna stawała się ziarnista, a gęstość elektronowa zwiększała się (Nouchi i wsp. 1977).

W przypadku ekspozycji fasoli na PAN zmiany obserwowane w strukturze chloroplastów nie różnią się w istotny sposób od opisanych dla ozonu (Thomson i wsp. 1965). Zdaniem Nouchi i wsp. (1977) przebieg i objawy zmian są jednak różne. Wyniki ekspozycji powoju (*Pharbitis nil* var. Skarlet O'hara) na PAN wykazały łagodniejszy wpływ na ultrastrukturę komórki niż w przypadku ozonu. System lamelarny jak i objętość chloroplastów nie zmieniły się. Jednak w stromie tworzyła się duża ilość fitoferytyn jak w przypadku ozonu. Kształt i rozmiar mitochondriów nie zmieniały się, lecz występowało silne pęcznienie grzebieni. Jądro komórkowe nie wykazywało zmian nawet przy silnym uszkodzeniu liści. Zależnie od czasu ekspozycji rybosomy 80 S w cytoplazmie zmniejszały się i zanikały; nie stwierdzono natomiast zmian rybosomów w jądrze i membranie jądrowej, nawet jeżeli liście wykazywały silną nekrozę (Nouchi i wsp. 1977).

Jak wykazują badania, najistotniejsze i najnowocześniejsze zmiany spowodowane oddziaływaniem stosowanych związków można stwierdzić w stromie chloroplastów. Dotyczy to szczególnie występowania struktur kryształopodobnych. Pierwsi stwierdzili ich występowanie w chloroplastach liści fasoli Thomson i wsp. (1965, 1966), a potwierdzili to Thomson i Swanson (1972) dla chloroplastów liści bawełny. Tworzenie się tych struktur tłumaczą oni występowaniem stresu wodnego indukowanego działaniem utleniaczy. Tego rodzaju zmiany w strukturze komórek wywołane oddziaływaniem ozonu i PAN nie są specyficzne. Podobne zmiany stwierdza się w komórkach roślin eksponowanych na NO_2 i SO_2 (patrz poniżej). Kryształopodobne struktury tworzą się również w chloroplastach komórek roślin poddawanych stresowi wodnemu (De Greef i Verbelen 1973).

Obserwacje te korespondują z wynikami wcześniejszych badań prowadzonych z izolowanymi chloroplastami w środowisku hipertonicznym (Perner 1962, 1963 i Shumway i wsp. 1967). Jeżeli stres wodny nie jest silny, to szeregi kryształopodobne zanikają po dodaniu wody (Wischer 1973).

Wiadomości dotyczące skutków oddziaływania samego NO₂ jest niewiele. Wynika z nich jednak, że uszkodzenia powodowane przez NO₂ nie są tak znaczne jak przy oddziaływaniu SO₂. Działanie NO₂ w stężeniu 1% przez 1—2 godz. na fasolę powodowało powstawanie „wypustek” (elongated protrusion) w chloroplastach, oraz tworzenie się w stromie chloroplastów struktur kryształopodobnych (Doltzman i Urlich 1966). Podobny obraz zmian w fasoli eksponowanej przez 15 godz. na takie samo stężenie NO₂ podaje Thomson (1975). Objawy zmian struktury chloroplastów są podobne do opisywanych dla innych czynników fitotoksycznych, są więc niespecyficzne.

Odosobniony jest pogląd Matsuschimy (1977), zdaniem którego zanikanie lamelli w chloroplastach jest objawem specyficznym dla oddziaływania NO₂. Znacznie niższe dawki (1—2 ppm — 1 godz.) NO₂ stosowane przez Wellburna i wsp. (1972) powodowały jedynie odwracalne pęcznienie tylakoidów. Dla wywołania takiego samego efektu uszkodzeń przez NO₂, musiano stosować wyższe stężenie niż przy SO₂. Nie udało się zaobserwować żadnych innych zmian poza stwierdzonymi w chloroplastach (Wellburn i wsp. 1972).

SO₂

W liściach roślin eksponowanych na SO₂ występuje cały szereg zmian w ultrastrukturze komórki. Zmiany te występują już w komórkach liści, które nie wykazują żadnych zmian morfologicznych w porównaniu do kontroli. Zmiany ultrastruktury chloroplastów są prawdopodobnie pierwszymi zmianami w komórce roślinnej (badania prowadzono na fasoli $0,7 \pm 0,1$ ppm) jakie można stwierdzić pod mikroskopem elektronowym (Godzik i Sassen 1974). Autorzy ci podają następujący obraz przebiegu zmian w chloroplastach:

1. zmniejszenie liczby tylakoidów gran, przy równoczesnym wzroście dobrze widocznych tylakoidów stromy. Membrany zewnętrzne nie wykazywały żadnych widocznych zmian,

2. wewnętrzna membrana z otaczających chloroplast tworzyła inwaginacje, które w wielu przypadkach wykazywały łączność z dalszymi dwoma membranami biegnącymi równolegle do istniejących. Zjawisko to występuje najczęściej w części chloroplastu zwróconej do ściany komórkowej. Sugeruje to, że SO₂ powoduje zaburzenia w oddzielaniu się membran tylakoidów od membrany zewnętrznej (Mühlethaler i Frey-Wyssling 1959),

3. w peryferialnej części stromy chloroplastów występowały puste, lub elektronowo mniej gęste miejsca. W pierwszym przypadku w stromie występowały najpierw silnie barwiące się krople, które prowadziły następnie do powstawania opisanych pustych miejsc. W drugim przypadku chodzi o głębokie inwaginacje zewnętrznych membran chloroplastu, do których wnika cytoplazma, o słuszności tego poglądu zdaje się świadczyć fakt ograniczenia tych miejsc podwójną membraną.

4. w peryferyjnych częściach chloroplastu (oś dłuższa) występują protuberancje, które następnie tworzą ezowate „oczka”. Protuberancje te wydają się być zbliżone do opisanych przez Nicholisa i wsp. (1967) zmian degeneracyjnych u narcyzów. Wydaje się prawdopodobne, iż zmiany obserwowane w chloroplastach (pod wpływem SO_2), są oznakami zmian degeneracyjnych.

5. Obok zmienionych membran tylakoidów, w peryferyjnych częściach w stromie tworzyły się pałeczkowate struktury. Występowały one już w chloroplastach, które posiadały swe nieuszkodzone membrany zewnętrzne. W niektórych komórkach chloroplasty ztracały swój normalny kształt, a membrany swój normalny układ. Jest trudnym do rozpoznania, czy obserwuje się membrany tylakoidów, czy nowo tworzące się pałeczkowate struktury. W przypadku całkowicie zniszczonych chloroplastów widoczne były różnorodne przekroje poprzeczne struktur pałeczkowatych. Nie można jednoznacznie stwierdzić, czy struktury te są identyczne. Gdyby jako kryterium przyjąć wielkość powstających kryształopodobnych struktur — można by wnosić o dwu różnych rodzajach tych struktur. Bardzo zbliżone struktury w chloroplastach fasoli eksponowanych na ozon, PAN i NO_2 opisano wcześniej w tym przeglądzie. Przytoczony opis zmian chloroplastów jest zbieżny z obserwacjami innych autorów (Wellburn i wsp. 1972, Fischer i wsp. 1973, Godzik i Knabe 1973, Masuch i wsp. 1973, Malhotra 1976, Wong i wsp. 1977).

Młodzianowski i Białobok (1977) prowadząc badania nad oddziaływaniem SO_2 na *Larix leptolepsis* (2,5 ppm przez 3 dni po 8 godz.) również stwierdzili zmiany w chloroplastach. Według tych autorów istnieją dwa typy degradacji chloroplastów. Jeden, w którym tylakoidy zanikają pierwsze, podczas gdy matriks pozostaje gęsta, i drugi, charakteryzujący się pęcznieniem tylakoidów i granulacją lub zanikaniem matriks. Wydaje się, że pierwszy typ uszkodzeń przeważa u roślin bardziej odpornych na SO_2 . Oprócz doskonale widocznych zmian chloroplastów, obserwowano także degradację retikulum endoplazmatycznego, zlepienie się chromatyny i plazmolizę komórki (Młodzianowski i Białobok 1977).

Fluor

Podobnie jak w przypadku związków omawianych poprzednio, pierwsze zmiany w ultrastrukturze komórki występują przed pojawieniem się widzialnych objawów uszkodzeń (Wei i Miller 1972). Najbardziej charakterystyczną zmianą jest zmniejszenie się wielkości chloroplastów oraz zmniejszenie rozmiaru membran intergranarnych. Liczba gran maleje i zmniejsza się ich wielkość. Obserwuje się także wzrost wielkości i liczby osmofilnych globuli (Engelbrecht i Louw 1973). Zmiany występują również w mitochondriach, których grzebienie ulegają rozgałęzieniu. Zmiany te dają się zauważyć w komórce jeszcze młodej, której cytoplazma jest bazofilna. Retikulum, które normalnie jest niemal zawsze ziarniste rozszerza się w kuliste pęcherzyki (Pilet i Roland 1972). Wei i Miller (1972) zaobserwowali uszkodzenie tonoplastu, co powoduje niekontrolowane mieszanie się zawartości wakuoli z cyto-

plazmą, prowadząc do dezintegracji struktury komórki. Istnieje duża ilość dowodów, że przemiany i pękanie tonoplastu odgrywają kluczową rolę w starzeniu się prowadzącym do degeneracji i śmierci komórki (Matile 1969, Matile i Witkenbach 1971, Holub 1977).

Etylen

W przypadku działania etylenem znacznie wzrasta w chloroplastach ilość osmotycznie czynnych globuli oraz zwiększa się ich wielkość. Występują zaburzenia w rozwoju pęcherzyków Golgiego; w niektórych komórkach zauważono również wzrost wakuol (Matsushima 1977).

Valdovinos i wsp. (1972) badając tkankę odcinającą liści tytoniu eksponowanych na etylen stwierdzili degradację ścian komórkowych i cytoplazmy. Zaobserwowano również nagromadzenie i wzrost retikulum endoplazmatycznego. Zwiększenie ilości retikulum endoplazmatycznego koreluje ze wzrostem RNA i protein w komórkach tkanki odcinającej (Osborn 1968). Sugeruje to, że wzrost ten jest związany z produkcją degradujących enzymów biorących udział w starzeniu się roślin (Sacher 1973).

Ołów

Rebechini i Hanzely (1974), badając strukturę komórki roślin wodnych hodowanych w środowisku zawierającym $Pb/NO_3/2$, chelatowany EDTA, stwierdzili silne zmiany w strukturze chloroplastów. Najbardziej zauważalną cechą była zmiana organizacji systemu lamelarnego. Ilość stromy w stosunku do systemu lamelarnego była znacznie zmniejszona, pozostawiając małe niezajęte matriks w organelli. Plastoglobule wykazywały całkowitą stratę gęstości elektronowej, wymiary malały, natomiast zwiększała się ich ilość. Wyniki tych badań sugerują, że zmiany w chloroplastach są pierwszymi efektami fitotoksycznego oddziaływania ołowiu na komórkę.

Skaar i wsp. (1973) badali mszaki, którym dostarczano 1—2 razy dziennie roztwór octanu ołowiu. W jądrach komórkowych stwierdzono występowanie elektronowo gęstych inkluzji, które zidentyfikowano jako kompleksy ołowiowe. Potwierdza to wyniki badań Dalenbacha (1964), który wykazał, że ^{210}Pb wbudowuje się w jądro komórkowe, oraz Yodaikena (1968), który metodą atomów znaczących ustalił inkorporowanie ołowiu w jądrze i mitochondriach. Jednakże Skaar i wsp. (1973) nie stwierdzili występowania ołowiu w innych częściach komórki mszaków. Tłumaczy się to faktem tworzenia stabilnych kompleksów ołowiu wewnątrz membran jądrowych.

Podsumowanie

Przytoczone dane wskazują na to, że oddziaływanie substancji toksycznych rozpoczyna się na poziomie podkomórkowym, a dalsze widzialne zmiany typu chloroz czy nekroz są konsekwencją postępujących przemian w organizacji i strukturze komórek.

Zmiany wywołane przez poszczególne rodzaje zanieczyszczeń (utleniacze, metale ciężkie, fluor, etylen, dwutlenek siarki) są dość zbliżone i trzeba je traktować jako niespecyficzne. Z tego powodu wyniki tych badań nie mogą służyć do celów diagnostycznych.

LITERATURA

- Bytnarowicz A., Molski B., (1974). Wpływ atmosferycznego SO_2 na rośliny. Wiadom. Bot. t. XVIII z. 3, 169—182.
- Dallenbach F. D., (1964). Arch. Path. Anat. 338, 91.
- Dmuchowski W., Molski B., (1975). Wpływ fluoru na szatę roślinną. Wiad. Bot., t. XIX z. 1, 59—71.
- De Greef J. A., Verbelen J. P., (1973). Physiological stress and crystallites in leaf plastids of *Phaseolus vulgaris* L. Ann. Bot. 37, 593—596.
- Dolzmann P., Ullrich H., (1966). Einige Beobachtungen über Beziehungen zwischen Chloroplasten und Mitochondrien in Palisaden parenchym von *Phaseolus vulgaris*. Z. Pflanzenphysiol. 55, 165—180.
- Engelbrecht A. H. P., Louw C. W., (1973). Hydrogen Fluoride Injury in Sugarane: Some ultrastructural changes. Proceeding of the 3rd. International Clean Air Congress of the IVAPPA. Düsseldorf. A—157.
- Fischer K., Kramer D., Ziegler H., (1973). Elektronenmikroskopische Untersuchungen SO_2 — begaster Blätter von *Vicia faba*, Beobachtungen an Chloroplasten mit akuter Schädigung. Protoplasma 76, 83—96.
- Giese A. C., Christiansen E., (1954). Effects of ozone on organisms. Physiol. Zool. 27, 101—115.
- Godzik S., (1976). Pobieranie $^{35}\text{SO}_2$ z powietrza i rozmieszczenie ^{35}S u niektórych gatunków drzew. Prace i studia 16. PAN, Wrocław Zakład Narodowy im. Ossolińskich.
- Godzik S., Piskornik Z., (1969). Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na rośliny. I. Wiadomości Botaniczne. 13, 239—248.
- Godzik S., Knabe W., (1973). Vergleichende elektronenmikroskopische Untersuchungen der Feinstruktur von Chloroplasten einiger Pinus — Arten aus den Industriegebieten an der Ruhr und in Oberschlesien. Proc. 3rd. International Clean Air Congress, A—164—169. Düsseldorf.
- Godzik S., Sassen M. M. A., (1974). Einwirkung von SO_2 auf die Feinstruktur von Chloroplasten von Bohnenblättern. Phytopathol. z. 79, 155—159.
- Holub Z., (1977). Fluórové zlúčeiriny v pletivách restlin. Biologické práce (XXIII) 5, 25—29.
- Hölte W., (1958). Zur Kenntnis von Wesen und Erscheinungsformen der Einwirkung von schwefeliger Säure auf die Pflanzenwelt. Zif. Pflanzenkr. 62 (32—36).
- Karweta S., (1978). Wpływ emisji metali ciężkich na rośliny i ich siedliska. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, 206, 57—63.
- Katz i wsp., (1939). Effect of sulphur dioxide on Vegetation. National Research Council of Canada. Ottawa.
- Malhotra S. S., (1976). Effects of sulphur dioxide on biochemical activity and ultrastructural organization of pine needle chloroplasts. New Phytol. 76, 239—245.
- Masuch G., Weinert H., Guderian R., (1973). Wirkungen von chlorwasserstoff und Schwefeldioxid auf die Ultrastruktur der Chloroplasten von *Spinacia de racea*. L. Proc. 3rd. International Clean Air Congress. A—160—163. Düsseldorf.
- Matile P., (1969). Plant lysosomes. In Lysosomes in Biology and Pathology (J. T. Dingle and H. B. Fell, eds), pp. 406—430. North-Holland Publ. Amsterdam.
- Matile P., Winkenbach F., (1971). Fuction of lysosomes and lysosomal enzymes in the senescing corolla of the morning glory. J. Exp. Bot. 22, 759—771.

- Matsushima J., (1977). Sensitivities of plants to ethylene and nitrogen dioxide, and the characteristic changes in fine structure of the cell. Proceeding of the 4th. International Clean Congress of the IVAPPA. Tokyo. 1—32.
- Młodzianowski F., Białobok S., (1977). The effect of sulphur dioxide on ultrastructural organization of larch needles. Acta Societatis Botanicorum Polonise vol. XLVI, 4, 620—634.
- Mühlethaler K., Frey-Wyssling A., (1959). J. Biophys. Biochem. Cytol. 6, 509.
- Nichols B. W., Stubbs J. M., James A. T., (1965). The lipid composition and ultrastructure of normal developing and degenerating chloroplasts. 677—690. In.: Goodwin T. W. Biochemistry of chloroplasts A. P. London, New York, 1967.
- Nouchi I., Sawada T., Ishiguro T., Toyama S., Lijima T., (1977). Studies on injury of morning glory leaves by photochemical oxidants. Proceedings of the 4th. International Clean Air Congress of the IVAPPA. Tokyo. 1—27.
- Osborne D. J., (1968). Hormonal mechanisms regulating senescence and abscission. The biochemistry and physiology of plant growth substances. 815—840. Rungo Press. Ottawa.
- Perner E., (1962). Elektronenmikroskopische befunde über Kristallgitter structuren in Stroma isolierter Spinachchloroplasten. Port. Acta Biol. Ser. A 6, 359—372.
- Perner E., (1963). Kristall, sationserscheinungen in Stroma isolierter Spinachchloroplasten guter Erhaltung. Naturwissenschaften 50, 134—135.
- Pilet P. E., Roland J. C., (1972). Effects physiologiques et ultrastructuraux du fluor sur des tissus de Ronce cultivés in vitro. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 82 (3), 269—283.
- Piskornik Z., Godzik S., (1970). Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na rośliny. II. Wiad. Bot. 14, 91—102.
- Rebechini H. M., Hanzely L., (1974). Lead-induced ultrastructural changes in chloroplasts of the hydrophyte. Z. Pflanzenphysiol. Bd. 73, s. 377—386.
- Rich S., (1964). Ozon damage to plants. Ann. Rev. Phytopathol., 2, 253—266.
- Sacher J. A. (1973). Senescence and postharvest physiology. Ann. Rev. Plant. Physiol. 24, 197—224.
- Scott D. B. M., Leshner E. C., (1963). Effect of ozone on survival and permeability of Escherichia coli. J. Bacteriol. 85, 567—576.
- Shumway L. K., Weier T. E., Stocking R. C., (1967). Crystalline structures in *Vicia faba* chloroplasts. Planta 76, 182—189.
- Skaar H., Ophus E., Cullvag B. M., (1973). Lead accumulation within nuclei of moss leaf cells. Nature 241, 215—216.
- Solberg R. A., Adams D. F., (1956). Histological responses of some plant leaves to Hydrogen fluoride and sulfur dioxide. 43, 755—760.
- Sorauer P., Ramann E., (1899). Sogenannte unsichtbare Rauchschädigungen. Bot. Chl. 80, 50—251.
- Thomas M. D., (1961) Effects of air pollution on plants. Air Poll. 233—279. WHO Geneva.
- Thomson W. W., Dugger W. M. Jr., Palmer R. L., (1965). Effects of peroxyacetyl nitrate on ultrastructure of chloroplasts. Bot. Gaz. 126, 66—72.
- Thomson W. W., Dugger W. M. Jr., Palmer R. L., (1966). Effects of ozone on the fine structure of the palisade parenchyma cells of bean leaves. Can. J. Bot. 44, 1677—1682.
- Thomson W. W., Swanson E. S., (1972). Some effects of oxidant air pollutants (ozone and peroxyacetyl nitrate) on the ultrastructure of leaf tissues. Proc. Electron. Microsc. Soc. Ammer. 30, 360—361.
- Thomson W. W., (1975). Responses of plants to air pollution. J. Brian Mudd., T. T. Kozłowski Academic Press New York 1975, 186.
- Wei L. L., Miller G. W., (1972). Effects of HF on the fine structure of mesophyll cells from *Glycine max* Merr. Fluoride 5, 67—73.
- Weinstein L. H., (1977). Fluoride and plant life. Journal of Occupational Medicine 19, 1, 49—78.
- Wellburn A. R., Majernik O., Wellburn F. A. M., (1972). Effects of SO₂ and NO₂ polluted air upon the ultrastructure of chloroplasts. Environ. Pollut. 3, 37—49.
- Wong C. H., Klein H., Jäger H. J., (1977). The effect of SO₂ on the ultrastructure of *Pisum* and *Zea* chloroplasts. Agnew. Botanik. 51, 311—319.

- Wischer M., (1973). Protein crystalloides in the stroma of bean plastids. *Protoplasma* 77, 141—150.
- Valdovinos J. G., Jensen T. E., Sicko L. M., (1972). Pine structure of abscission zones. IV. Effects of ethylene on the ultrastructure of abscission cells of tobacco flower pedicells. *Planta* 102, 324—333.
- Yodaiken R. F., (1968). *Lab. Invest.* 19, 78.

Adres autorów:

MGR JERZY PREWYSZ-KWINTO, MGR TOMASZ STASZEWSKI
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, ul. Curie-Skłodowskiej 34, 41-800 Zabrze