

FIZJOLOGIA ROŚLIN: WCZORAJ, DZIŚ I JUTRO

Plant physiology: yesterday, today and tomorrow

Zofia STARCK, Barbara NIEMYSKA

Summary. The very short history of plant physiology is presented. Looking back to the history of plant physiology, the dominant impression is that much important discoveries, concerning fundamental description of physiological processes were done during the first 30–50 years of the 20th century, in spite of very few number of plant physiologists at that time. In the next period our basic knowledge of plant processes increased very fast mainly due to improvement of experimental methods. Development of biochemistry and then molecular biology succesively dominated over plant physiology researches. In the last few years the tools of molecular biology, gene cloning and plant transformations allowed for unimaginable expansion of these plant field areas. This situation is reflected in journals, some of which becomes strictly biochemical or presented a great deal of papers concerning molecular biology at the cost of plant physiology. The increasing interest in molecular biology was accompanied by a shift from whole plant physiology to research in biochemistry and biophysics or molecular biology. Some scientists considered these disciplines almost as a synonym of plant physiology, whereas plant physiology is interested in individual proceses, especially in the whole integrated organism instead of isolated organs or even their part. Problems of plant physiology concern the whole, intact plant, and especially undersanding the nature and integration of life processes as well as ability of plant to respond to fluctuation of the environmental conditions. In the very last period plant physiologists changed their view understanding, that development of plant physiology requires research at all levels: molecular, cellular, organismal and community. They try to co-operate more closely with molecular biologists. In the near future different biological discyplins should be closely integrated perhaps with the central position of plant physiology or new inter-disciplinary science of plant biology would be created.

Key words: biochemistry, definitions, history, molecular biology, perspective, plant physiology.

Prof. Zofia Starck, dr Barbara Niemyska, Katedra Fizjologii Roślin, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Rakowiecka 26/30, 02–528 Warszawa.

Fizjologia roślin wg definicji Stewarda [14], jest to „długotrwała podróż, przypuszczalnie nigdy nie zakończona, prowadząca do pełnego zrozumienia istoty życia” roślin. Celem fizjologii roślin, zgodnie z definicją Marre, jest opis i zrozumienie istoty integracji procesów życiowych [9]. Wskazanie daty początku jej dziejów jest dość subiektywne. W wielu przypadkach za ojca fizjologii roślin uważa się S. Halesa, który dziełem „Vegetable Staticks” w 1727 r., czyli 270 lat temu, zapoczątkował rozwój tej dyscypliny. Opis dalszych dziejów można znaleźć w „Historii botaniki” Hryniewieckiego. Początkowy okres wiąże się między innymi z nazwiskami

I. Ingen Housza, N. Th. de Saussure, J. Priestleya, J. B. Boussingaulta, K. A. Timiriazewa, J. Sachs, E. Godlewskiego i wielu innych uczonych, którzy położyli podwaliny pod dalsze badania procesów życiowych roślin. Pierwszą w Polsce Katedrę Fizjologii Roślin założył w SGGW, w 1922 r. M. Korczewski.

Rozwój fizjologii roślin, podobnie jak innych nauk eksperymentalnych, był początkowo powolny, a uzyskiwane wyniki badań, prowadzące do formułowania podstawowych poglądów na temat życia roślin nie tylko natrafiały na bardzo niechętną akceptację, lecz często prowadziły do ostrych protestów. Z taką reakcją spot-

kało się np. stwierdzenie Ingen Housza (1730–1799), że rośliny nie tylko wydzielają tlen w procesie fotosyntezy (o którym nie wiele jeszcze wiedzano), ale również pochłaniają go w procesie oddychania. Senebier określił to stwierdzenie kalumnią rzuconą na Naturę. Panował bowiem pogląd, że rola roślin polega na „oczyszczaniu” powietrza „zepsutego” przez świat zwierząt i człowieka. W tym okresie piśmiennictwo było bardzo ubogie. W Polsce po raz pierwszy w 1804 roku pojawił się podręcznik botaniki Jundziłła zawierający, obok anatomii i morfologii, również dział poświęcony fizjologii roślin.

Od 1887 r. rozpoczęto edycję *Annals of Botany*, czasopisma zamieszczającego również prace z zakresu fizjologii roślin. Od 1923 r. prace eksperymentalne publikowano w Polsce w jednym z najstarszych czasopism botanicznych, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, organie Polskiego Towarzystwa Botanicznego. Nieco później, bo od 1926 roku datuje się początek edycji czasopisma *Plant Physiology*, organu Amerykańskiego Towarzystwa Fizjologów Roślin, założonego w 1924 r.

W miarę upływu czasu rozwój fizjologii roślin na całym świecie stawał się coraz szybszy, choć naukowców zajmujących się tą dyscypliną było jeszcze bardzo mało. Osiągnięcia badawcze wynikały wówczas głównie z geniuszu umysłu ludzkiego i precyzji dobrze przemyślanych doświadczeń, pomimo bardzo prymitywnych metod badawczych. Jako przykład może posłużyć fakt, że hipoteza tłumacząca mechanizm transportu odbywającego się przez floem, zaprezentowana przez Müncha w latach 30. obecnie jest uznawana za najbardziej prawdopodobne wyjaśnienie mechanizmu tego procesu.

Rozwój dalszych badań i zmiany poglądów na temat funkcjonowania organizmów roślinnych można odtworzyć na podstawie kolejno ukazujących się, przykładowo przytoczonych podręczników: Sachs (1887), Benecke i Josta (1924), Maksimowa (1930, polskie tłumaczenie – 1950), Curtisa i Clarka (oryginał 1950, polskie tłumaczenie 1958), Salisbury i Rosa (oryginał z 1969, tłumaczenie z 1975). Następnie w Polsce pojawiło się kilka podręczników polskich auto-

Tabela 1. Przykładowo wybrane czasopisma o tematyce obejmującej problematykę fizjologii roślin

Table 1. Some examples of journals considering problems of plant physiology.

<i>Acta Societatis Botanicorum Poloniae</i>
<i>Acta Physiologiae Plantarum</i>
<i>Annals of Botany</i>
<i>Plant Physiology</i>
<i>Physiologia Plantarum</i>
<i>Planta</i>
<i>Journal Experimental Botany</i>
<i>Physiologie Vegetale</i> (obecnie <i>Plant Physiology and Biochemistry</i>)
<i>Zeitschrift für Pflanzenphysiologie</i> (obecnie <i>Journal Plant Physiology</i>)
<i>Fizjologia rastienii</i>
<i>Canadian Journal Botany</i>
<i>Australian Journal of Plant Physiology</i>
<i>New Phytologist</i>
<i>Biologia Plantarum</i>
<i>Photosynthetica</i>
<i>Photosynthetic Research</i>
<i>Plant and Soil</i>
<i>Plant Growth Regulation</i>
<i>Annual Review of Plant Physiology</i> , od 1988 r – <i>Annu. Rev. Plant Physiol.</i> , <i>Plant Molecular Biology</i>
<i>Plant Journal</i>
<i>Plant Cell</i>
<i>Plant Molecular Biology</i>
<i>Plant and Cell Environment</i>
<i>Plant and Cell Physiology</i>
<i>Trends in Plant Science</i>
<i>Journal Agronomy</i>
<i>Crop Science</i>
<i>Hort Science</i>

rów: P. Strebeyki, F. Górskiego, J. Dudy i St. Gumińskiego, a następnie St. Gumińskiego, W. Czerwińskiego oraz kilku autorów, pod redakcją J. Zurzyckiego i M. Michniewicza (1977) a w ostatnich latach – Z. Piskornika i A. Szweykowskiej. Analizując materiały zawarte w tych kolejno wymienionych podręcznikach, ma się wrażenie studiowania historii fizjologii roślin. Początkowo autorzy podawali opis poszczególnych procesów i zmiany ich natężenia, nie wy-

jaśniając współzależności pomiędzy nimi i mechanizmów uczestniczących w ich regulacji. Brak też było prezentacji procesów metabolicznych i sposobu reagowania rośliny na czynniki środowiska. Pojawiały się jedynie próby takich wyjaśnień. Curtis i Clark w swoim podręczniku bardzo sugestywnie przestrzegają fizjologów przed wyjaśnianiem mechanizmów procesów życiowych w sposób teleologiczny czyli przyczynowy, z podkreśleniem celowości (telos – po grecku znaczy cel). Na taką nie prawidłową interpretację przebiegu procesów życiowych dają wiele przykładów np.: CO₂ wnika do liścia ponieważ jest wykorzystywany w procesie fotosyntezy. Tymczasem potrzeba nie jest przecież przyczyną zjawiska. W tego typu interpretacji przypisywano roślinom zdolność rozumowania i przewidywania czyli był to pewnego rodzaju antropomorfizm. Podobna tendencja, częściowo wynikająca z małej precyzji terminologii, wzorowanej na fizjologii zwierząt, coraz częściej znajduje nawet obecnie swój wyraz w żargonie naukowym. Powszechnie stosowanym stało się określenie „strategia obronna” roślin bądź ich „odpowiedzi” na bodźce. Na tego typu sformułowania ostro protestuje Beevers [1] w swych autobiograficznych refleksjach p. t. „Forty years in new world.”

Salisbury i Ross w latach 60. przed przystąpieniem do opracowania tekstu podręcznika rozesłali ankietę do 50 naukowców z prośbą o wskazanie najbardziej aktualnych problemów fizjologii roślin. Były to wówczas: regulatory wzrostu, fotosynteza w aspekcie różnorodności mechanizmów asymilacji CO₂ i fotooddychanie. Już w tym okresie rozwój fizjologii roślin stawał się nierozzerwalnie związany z początkami dynamicznego rozwoju biochemii (dla przykładu chemizm fotosyntezy u roślin C₃ i C₄, oddychanie roślin, opis różnych reakcji enzymatycznych, biosyntezy białek i kwasów nukleinowych oraz ich funkcji). Lata 50–60 to okres badań struktury i funkcji wielu związków, w tym fitohormonów. Początkowo najwięcej uwagi poświęcano najwcześniej odkrytym auksynom, głównie dzięki badaniom Wentta i Thimanna, a następnie giberelinom, których liczba sukcesywnie wzrastała od kilku do około 100. Odkry-

cie cytokinin w latach 50. wiąże się z nazwiskami Skooga i Millera. W następnej kolejności do listy hormonów dołączono w latach 60. kwas abscysynowy i etylen. Po tym etapie nastąpił okres badań możliwości ich praktycznego wykorzystania i opracowanie metod ilościowego ich oznaczania, początkowo przy pomocy biotestów. Dopiero w latach 80. pojawiają się próby wyjaśnienia mechanizmu działania tych regulatorów. Jednocześnie rozpoczęto dyskusje, toczące się do dnia dzisiejszego, jakie jeszcze związki można (czy trzeba) zaliczyć do hormonów i który termin spośród poniżej wymienionych: substancje wzrostowe, fitohormony czy hormony, regulatory wzrostu lub wzrostu i rozwoju jest najbardziej prawidłowy.

Stopniowy, stosunkowo szybki rozwój fizjologii roślin do lat 70. był uwarunkowany opracowaniem nowych technik badawczych. Dla przykładu – wykorzystanie izotopów radioaktywnych i stabilnych umożliwiło rozwój badań dotyczących przebiegu asymilacji CO₂ mechanizmów transportu zarówno asymilatów jak i jonów i in. Przy szybko rozwijającej się technice, obejmującej również zastosowanie mikroskopii elektronowej, obserwuje się dynamiczny rozwój badań struktur komórkowych. Różnorodne wyniki dotyczące struktury floemu doprowadziły do opracowania szeregu, częściowo kontrowersyjnych hipotez, wyjaśniających mechanizm transportu odbywającego się przez floem.

Omawiany okres zbiega się ze wzrostem liczebności fizjologów roślin. W tym czasie liczba fizjologów roślin w USA podwajała się co 10 lat. Refleksje na temat rozwoju tej dyscypliny w latach 1930–1970, czyli w okresie 40-letniej pracy naukowej prezentuje Kramer [7] w *Annual Review of Plant Physiology*. Jest on współtwórcą fizjologii roślin drzewiastych i współautorem, wraz z T. T. Kozłowskim, powszechnie cenionego podręcznika, wydanego w 1960 r., p.t. „Physiology of Trees”.

Wykładniczy wzrost publikowanych informacji w różnych periodykach a w pewnym okresie – na różnym poziomie merytorycznym, stawał przed naukowcami trudne zadanie przestudiowania wszystkich prac. W wielu przypad-

Tabela 2. Analiza rozwoju czasopism: *Plant Physiology* i *Journal of Experimental Botany* w okresie 30 lat.Table 2. Analysis of development of *Plant Physiology* and *Journal of Experimental Botany*: 30-year profile.

Charakterystyka Classification	<i>Plant Physiology</i>				<i>Journal of Experimental Botany</i>			
	1965	1980	1990	1996	1965	1980	1990	1996
Liczba tomów Volume number	1	2	3	3	1	1	1	1
Liczba numerów w tomie Number of issues in volume	6	12	12	12	4	4	6	12
Liczba stron rocznie Page numbers per year	1200	2400	4700	4600	755	1755	1750	1900
Liczba artykułów w roku Number of papers per year	217	484	731	501	62	163	200	169

kach, już w latach 70., fizjologowie zaczęli się ograniczać do przeglądania samych streszczeń artykułów. Stwarzało to bardzo niebezpieczne zagrożenie dla prawidłowego rozwoju intelektu naukowców. Ograniczenie się do zapamiętywania faktów, bez analizy ich wartości i przestudiowania dyskusji wyników może być zdaniem Kramera [7] „groźniejsze od zanieczyszczenia powietrza”; należy tu przypomnieć, że zdanie to było pisane w 1973 r. Inne, nie mniej groźne niebezpieczeństwo – to zbyt daleko posunięta specjalizacja naukowców, zawężająca ich horyzonty. Skutkiem obu niekorzystnych zjawisk była, zdaniem Kramera, dysproporcja pomiędzy rozwojem technik badawczych a nowymi, oryginalnymi koncepcjami badawczymi. Wydaje się, że wszystkie powyżej omówione zagrożenia nasilają się w ostatnim okresie.

Wykładnią aktywności naukowców jest ich dorobek publikacyjny. Jak już wspomniano w latach 30. niewiele było periodyków, poświęconych wyłącznie problematyce fizjologicznej. Stopniowo jednak liczba czasopism z zakresu fizjologii roślin lub różnych działów botaniki uwzględniających również prace fizjologiczne wzrastała (Tab. 1). W tym okresie wiodącą rolę odgrywały czasopisma: w Polsce – *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, a poza jej granicami – *Plant Physiology*, *Annals of Botany*, *Physiologia Plantarum*, *Planta*, *Journal of Experimental Botany*, publikujące oryginalne prace badawcze

oraz czasopismo przeglądowe wydawane od 1950 r. – *Annual Review of Plant Physiology*.

W celu przeanalizowania dynamiki rozwoju poszczególnych działów problematyki badawczej, przykładowo wybrano dwa czasopisma: *Plant Physiology* i *Journal of Experimental Botany* z lat 1965 i 1980, oraz 1990 i 1996. W latach 1965–1996 objętość *Journal of Experimental Botany* wzrosła tylko 2,5-krotnie, natomiast *Plant Physiology* wzrosła prawie czterokrotnie, co było wynikiem większej liczby publikowanych tam prac. Średnia objętość jednej pracy w tym czasopiśmie wzrosła z 5,5 do 9,2 stron, przy bardzo małych różnicach w *Journal of Experimental Botany*; średnio miały one objętość 12,2 stron w 1965 r. i 11,2 stron, w 1996 r. (Tab. 2). W latach 1965–1990 liczba drukowanych w ciągu roku prac w obu czasopismach wzrastała. W ostatnim okresie (1990–1996) w obu periodykach zmalała jednak liczba artykułów. Spadek ten wynika prawdopodobnie z pojawienia się w tym czasie nowych czasopism, zamieszczających również prace z zakresu szeroko pojętej biologii roślin.

Edycja nowych czasopism z zakresu biologii roślin rzutuje również na wyniki analizy publikowanej problematyki, której klasyfikacje przeprowadzono wzorując się na działach spisu treści *Plant Physiology* z lat 1990 i 1996. Z analizy treści *Plant Physiology* wynika, że w roczniku 1965, którego wydanie zbiega się z początko-

Tabela 3. Analiza problematyki publikacji w *Plant Physiology* i w *Journal of Experimental Botany* w okresie ostatnich 30 lat (w % liczby artykułów w poszczególnych latach).Table 3. Analysis of subject matter areas in the pages of *Plant Physiology* and *Journal of Experimental Botany* in the last 30-year profile.

Problematyka Subject matter	<i>Plant Physiology</i>				<i>J. Experimental Botany</i>			
	1965	1980	1990	1996	1965	1980	1990	1996
Biochemia i enzymologia <i>Biochemistry and enzymology</i>	32.2	45.0	32.7	19.0	21.0	30.8	19.5	24.3
Bioenergetyka <i>Bioenergetic</i>	10.1	10.0	12.0	4.4	11.3	6.7	12.0	7.7
Regulacja genów, molekularna genetyka, biologia komórki <i>Gene regulation, molecular genetic and cell biology</i>	–	–	13.1	25.2	–	3.0	2.5	7.7
Rozwój i regulatory wzrostu <i>Development and growth regulators</i>	27.6	13.4	15.9	12.2	40.4	30.0	22.5	19.5
Fizjologia całej rośliny (stresy, czynniki) <i>Whole plant and stress physiology</i>	29.0	27.7	18.6	23.4	19.3	27.0	35.0	31.9
Inne; w tym: recenzje książek (roślinami- kroorganizmy), prace przeglądowe, polemiki (rejestr genów)* <i>Others: book reviews (plant-micro- organisms), reviews (gene register)*</i>	0.5	3.9	7.7	15.2	8.0	2.5	8.0	8.9

* – dotyczy tylko *Plant Physiology** – concerns only *Plant Physiology*

wym, lecz bardzo dynamicznym rozwojem biochemii i fascynacją naukowców uzyskiwanymi w tym okresie wynikami, prawie połowa artykułów dotyczy problematyki biochemicznej (Tab. 3). Do tej grupy zagadnień wliczono różne artykuły biochemiczne i enzymologię oraz problemy bioenergetyki, obejmujące zagadnienia fotosyntezy i oddychania roślin w aspektach biofizycznym i biochemicznym. W 1980 r. zdominowały one problematykę fizjologiczną, szczególnie badania prowadzone na całych roślinach. Do tej grupy zagadnień włączono również rozwój i zagadnienia związane z regulatorami wzrostu; łącznie prace te stanowiły ok. 40% wszystkich artykułów. Wzrastające zainteresowanie problematyką biochemiczną, biofizyczną i fizjologią komórki odciąga w tym okresie uwagę fizjologów roślin od trudnych zagadnień związanych z funkcjonowaniem całej rośliny.

Tymczasem są to w fizjologii roślin priorytetowe tematy badawcze, warunkujące poznanie mechanizmów przebiegu procesów życiowych w zintegrowanym systemie czyli w organizmie, na co szczególną uwagę zwracali już w latach 70. Steward [14], pionier badań fizjologicznych prowadzonych metodą *in vitro*, i Kramer [7]. Ponadto powyższe zagadnienia są ściśle związane z fizjologią plonowania. Podkreśla to A. Paszewski [10], wskazując na najpilniejsze zadania stojące w latach 80. przed fizjologią roślin: w związku z koniecznością wzrostu plonów – produkcja roślinna oraz, na skutek rozwoju przemysłu, powodującego zanieczyszczenia chemiczne atmosfery i gleby – ochrona środowiska. Tematyka ta pojawia się w analizowanych czasopismach. Wracając do ilościowej analizy problematyki publikacji zamieszczonych w *Plant Physiology* w następnym okresie

(w latach 90.) zauważa się stopniową dominację biologii molekularnej nad biochemią. Od 1991 r. pojawia się tam nowy dział – Rejestr genów. Problematyka fizjologiczna w aspekcie omówionym powyżej, nieznacznie przekracza zaledwie 30% ogółu prac (Tab. 3.). Jako reakcja na „zalew informacji,” w latach 80., w wielu czasopismach, dotychczas publikujących wyłącznie prace eksperymentalne, pojawiają się różnego typu prace przeglądowe. W *Plant Physiology* do chwili obecnej publikowane są artykuły dyskusyjne i przeglądowe, pod różnymi tytułami: Update to, Viewpoints, Scientific correspondence.

W *Journal of Experimental Botany*, we wszystkich badanych okresach dominuje problematyka fizjologiczna (50–60 % prac), natomiast największą liczbę publikacji o problematyce biochemicznej zanotowano w 1980 r. (ponad 30% prac, Tab. 3.). W tym czasopiśmie występuje stały dział „Recenzje książek”. Początkowo w *Journal of Experimental Botany* nie zamieszczano prac przeglądowych. W latach 90. rozpoczęto publikowanie pełnych materiałów Konferencji i Sympozjów naukowych, wydając je jako „Special Issue”. Analizując zmiany profilu obu czasopism w ostatnim okresie (lata 90.) należy zaznaczyć, że są one wynikiem pojawiania się w latach 80. i 90. nowych periodyków, głównie dotyczących biochemii i biologii molekularnej. W konsekwencji tego faktu udział prac dotyczących biochemii w analizowanych czasopismach maleje. Ponadto zacierają się stopniowo granice pomiędzy fizjologią roślin a dyscyplinami badającymi procesy życiowe na poziomie molekularnym bądź na fragmentach roślin, najczęściej w kulturach *in vitro*. Znalazło to też swój wyraz m. in. w zmianie tytułu *Annual Review of Plant Physiology* na *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* (w 1988 r.) oraz we wprowadzeniu do literatury terminu molekularna fizjologia roślin (np. w spisie treści *Journal of Experimental Botany*, w 1997 r.). Dynamiczny rozwój fizjologii roślin stworzył trudności przestudiowania wszystkich oryginalnych prac eksperymentalnych już w latach 50. Z tych faktów wynikała potrzeba opublikowania 18-tomowego dzieła: *Encyclopaedia of*

Plant Physiology, (lata 1955–1967, wyd. Springer Verlag). Stosunkowo długi okres wydawniczy, przy jednoczesnym, skokowym rozwoju tej dyscypliny spowodował, że w chwili zakończenia publikacji, treści pierwszych tomów były już przestarzałe. Podjęto wówczas decyzję wydania *Encyclopaedia of Plant Physiology*, New Series. Ukazała się ona w 20 tomach, w latach 1975–1993. W tym nowym cyklu pierwsze 2 tomy poświęcono procesom transportu wewnątrz komórkowego i floemowego (głównie na duże odległości). Problematyka ta w pierwszym zestawie tomów Encyklopedii Fizjologii Roślin była zaprezentowana bardzo skrótowo. Rozbudowano też zagadnienia fotomorfogenezy i wprowadzono nowe działy – fizjologii chorej rośliny, ekofizjologii i tom poświęcony wtórnym metabolitom roślinnym.

W latach 90. oszałamiający rozwój techniki prowadzi niemal do rewolucyjnych zmian w różnorodności narzędzi i metod badawczych. Dla przykładu – pozwalają one na prowadzenie pomiarów zjawisk biologicznych, przebiegających w czasie krótszym od sekundy, oglądanie struktur komórkowych wielkości rzędu nanometrów. Z dużą dokładnością oznaczany jest obecnie skład chemiczny soku floemowego, pochodzącego nawet z jednej rurki sitowej. Oznaczana jest wartość pH w poszczególnych strukturach komórkowych. Można tu wymienić również metody izotopowe np. znakowanie asymilatów izotopem ^{14}C (izotop o bardzo krótkim, 20. minutowym okresie połowicznego zaniku) niezastąpionym w badaniach transportu czy metabolizmu związków węglowych. Metody immunologiczne wykorzystywane są do ilościowych oznaczeń różnorodnych związków organicznych, m.in. hormonów roślinnych. Szerokie spektrum metod fluorescencyjnych stwarza możliwości oceny stanu i aktywności fotosystemów I i II; umożliwiają one subkomórkową lokalizację wielu związków i jonów np. Ca^{2+} , co jest wykorzystywane między innymi w badaniach foto- i grawitropizmu. Prowadzenie doświadczeń na genetycznie modyfikowanych organizmach (nowy skrót GMO) lub różnego typu mutantach daje biologom roślin nowe możliwości prowadzenia badań. Wymienione metody

nie zawsze są znane wszystkim czytelnikom. Być może jest to powodem, że w kilku czasopismach (np. *The Plant Cell*, *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*) metodyka badań, której brak znajomości nie utrudnia w sposób zasadniczy zrozumienia omawianych wyników, umieszczona jest na samym końcu pracy. W ostatnich latach obserwuje się ogromną specjalizacją publikowanych prac oraz stosowanie wielu literowych skrótów (czasami nie objaśnianych), zmniejszających czytelność tekstów.

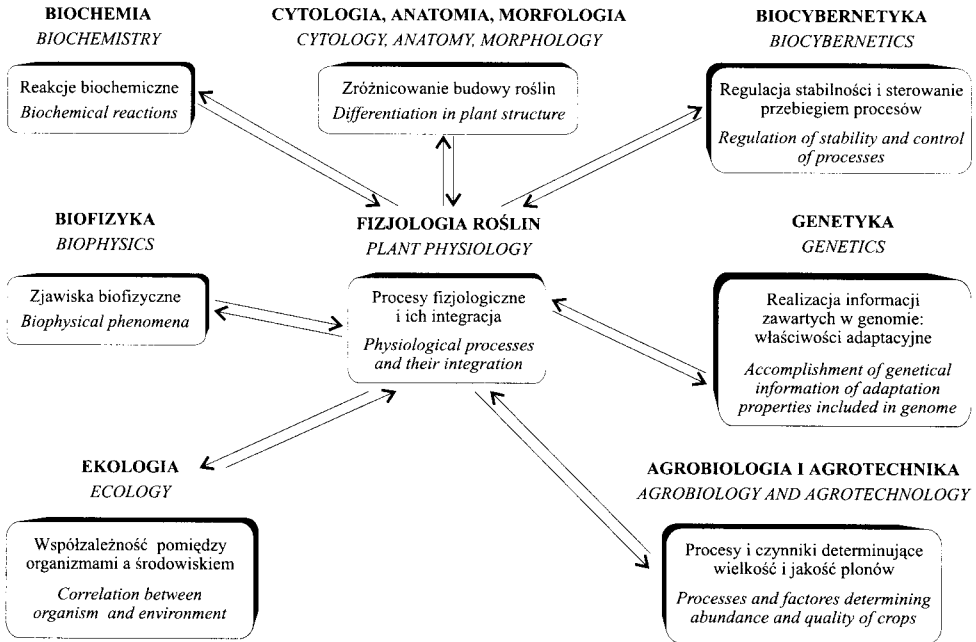
Preferencja badań procesów fizjologicznych na poziomie molekularnym lub struktur komórkowych nie pozwala na uzyskanie odpowiedzi na liczne pytania, dotyczące przebiegu poszczególnych procesów i ich regulacji na poziomie zintegrowanego całego organizmu roślinnego. Badanie wpływu różnych warunków na zmiany aktywności określonych enzymów lub hormonów, w większych lub mniejszych fragmentach organizmu lub w roślinach transgenicznym nie zawsze pozwala na wyciąganie wniosków dotyczących zmian tych aktywności w całym organizmie. Klasycznym tego przykładem były wyniki badań, w których metodami transgenicznymi zwiększono aktywność enzymu syntazy fosforanu sacharozy (SPS) u pomidorów. Spowodowało to zwiększoną syntezę sacharozy przy obniżonym poziomie skrobi. Badania prowadzone na całej, transgenicznej roślinie wykazały, że zaopatrzenie korzeni w produkty fotosyntezy u takich roślin było obniżone. Ponadto zmniejszyła się wrażliwość SPS na światło. W naturalnych warunkach wrażliwość ta jest jednym z elementów regulacji metabolizmu cukrowców w zmiennych warunkach świetlnych w ciągu doby; (patrz [13] – praca przeglądowa). Powyższe badania rodzą wątpliwość, dyskutowaną m.in. przez Geiger i Servaites [4], w jakim stopniu wyniki badań, uzyskane na fragmentach roślin zmodyfikowanych genetycznie mogą być wykorzystywane do interpretacji przebiegu badanego procesu w całym organizmie?

Zdominowanie badań fizjologicznych, poszukujących odpowiedzi na pytania dotyczące procesów życiowych, przebiegających w całych roślinach, przez szeroko pojętą biologię molekularną powoduje u wielu fizjologów roślin

obawy o dalsze losy rozwoju tej dyscypliny. Nie wynika to ani z braku możliwości metodycznych ani braku specjalistycznej kadry naukowców. Wiele laboratoriów dysponuje najnowocześniejszą aparaturą pozwalającą na prowadzenie tego typu badań na całych roślinach. Populacja fizjologów roślin jest duża; samych tylko członków Federacji Europejskich Towarzystw Fizjologii Roślin (FESPP) jest obecnie około 3 tysiące osób z 30 krajów. W Polsce jest ponad 200 członków Sekcji Fizjologii i Biochemii Roślin PTB, z których prawie połowa – to członkowie FESPPu.

Oddźwięk na niepokojącą sytuację dotyczącą zahamowania rozwoju badań z dziedziny fizjologii roślin na szczęście jest już widoczny. Sprowokował go fakt ograniczonej liczby prac o tematyce fizjologicznej, z dominacją prezentowanych wyników z zakresu biologii molekularnej i biochemii na X Kongresie Federacji Europejskich Towarzystw Fizjologii Roślin (FESPP), który się odbył w 1996 r. we Florencji. Prezentowane tam były głównie badania z zakresu biochemii i biologii molekularnej. Zaniepokojenie, a nawet protest przeciwko tej sytuacji wyraził Quarrie w *FESPP Newsletter* [11], przypominając, że fizjologia roślin to nauka wymagająca integralnego podejścia do badań, poszukująca odpowiedzi na pytanie – jak funkcjonuje cała roślina. Niewątpliwie dyscyplina ta musi korzystać zarówno z metod stosowanych w biologii molekularnej jak i z jej osiągnięć, ale stawiane pytania dotyczą funkcjonowania całego organizmu. Stąd niezaprzeczalnie wielkie osiągnięcia ostatnich lat biologii molekularnej mogą być tylko składową naszej wiedzy o życiu roślin. Pogląd ten bardzo mocno popiera Goren [5]. Jeszcze drastyczniej podkreśla on niebezpieczeństwo wprowadzania znaku równości pomiędzy fizjologią roślin i biologią molekularną. Wiedza biologa molekularnego ogranicza się do znajomości określonego fragmentu rośliny np. organellum lub jego części i to często wytworzonego w nienaturalnych warunkach *in vitro*.

Niektóre badania z ostatnich lat nasuwają jednak optymistyczne myśli, dotyczące powyżej naszkicowanego stanu rzeczy. W jednym z zesztytów czasopisma *The Plant Cell* (1996)



Rys. 1. Fizjologia roślin – dyscyplina integrująca różne dyscypliny biologiczne.

Fig. 1. Plant physiology – discipline integrating various sciences of plant biology.

z monotematyczną problematyką, Stitt [15] prezentuje bardzo obszerne wprowadzenie do całego zbioru artykułów jako „In this issue”. Na podstawie badań wielu autorów, w tym Russina i in. [12] prezentowany jest pogląd, że synteza transporterów sacharozy (zwanymi symporterami sacharozy) w komórkach liści jest wynikiem ekspresji innych genów w przypadku młodych, jeszcze nie w pełni wyrosniętych liści (akceptorów asymilatów) niż genów, których ekspresja ma miejsce w liściach prawie wyrosniętych, będących typowymi donorami produktów fotosyntezy. Taka interpretacja stanowi cząstkową odpowiedź na pytanie na czym polega fizjologiczna transformacja liścia z akceptora do donora (sink to source). Podobne wnioski wypływają z pracy Logan i in. [8], opublikowanej pod charakterystycznym tytułem „Plasma membrane transport systems in higher plant: from black boxes to molecular physiology”. Wykazano, że inne geny warunkują syntezę nośników i białek kanałów błonowych w liściach – akceptorach, a inne w liściach – donorach.

Od lat dyskutowana kontrowersyjna interpretacja problemu współzależności pomiędzy akceptorami i donorami w aspekcie wpływu akceptorów (sink) na intensywność fotosyntezy staje się bardziej zrozumiała w świetle ostatnich badań biochemicznych. Izoenzymy kwaśnej inwertazy, uczestniczącej w mechanizmie rozładunku floemu w akceptorach reagowały bardzo różnie na wzrastające stężenie glukozy. Może to tłumaczyć negatywny bądź pozytywny wpływ akceptora na intensywność fotosyntezy, na skutek hamowania lub sprawniejszego rozładunku floemu [4].

Ambitne badania Jackowskiego [6], dotyczące organizacji molekularnej struktur wchodzących w skład kompleksu: chlorofil a/b – białko fotosystemu II (skrót LHCII), w perspektywie miały na celu wyjaśnienie zarówno funkcji, jak i przyczyn występowania wielkiej heterogenności tych struktur. Na podstawie badań innych autorów, a częściowo również własnych, postawiono w tej pracy hipotezę, że obserwowana różnorodność jest związana z szerokim wa-

chlarzem możliwości reakcji roślin na niekorzystne warunki środowiska, w tym również na niską temperaturę powodującą fotoinhibicję fotosystemów chloroplastów.

Analizując problematykę fizjologiczną, prezentowaną w czasopismach od końca lat 80. do chwili obecnej, należy podkreślić, że dużo uwagi poświęcono reakcji roślin na różnego typu stresy. Bornman [2], redaktor naczelny *Physiologia Plantarum* ocenia udział tej problematyki w różnych czasopismach od 1987 r. na ok. 25%. Dużo publikacji poświęcono ostatnio fizjologicznym skutkom zanieczyszczeń środowiska, szczególnie ozonem i metalami ciężkimi. Wzrastające stężenie CO₂ w atmosferze jest przedmiotem badań nie tylko fizjologów, lecz również ekologów. Stosunkowo mało jest prac poświęconych problematyce mineralnego odżywiania roślin, natomiast zainteresowania fizjologów skupiają się wokół mechanizmów pobierania azotu w postaci różnych jonów oraz metabolizmu azotu, szczególnie w powiązaniu z metabolizmem produktów fotosyntezy.

Przewidywania jak rozwinie się problematyka fizjologii roślin w nadchodzących latach i jaka będzie jej rola wśród innych działów biologii roślin nie są proste. Wydaje się niewątpliwym, że osiągnięcia biologii molekularnej oraz różnorodne, często przeciwstawne wyniki doświadczeń, prowadzonych na fragmentach roślin lub na roślinach transgenicznych bądź mutantach, po sprawdzeniu prawidłowości wyciągniętych wniosków w badaniach na całych roślinach, posłużą do opracowania syntez lub/i modeli funkcjonowania roślin. Pomogą one w sformułowaniu wniosków, dotyczących funkcjonowania całego organizmu roślinnego w zmiennych warunkach środowiska. Liczne hipotezy muszą „zaawansować” do teorii. W takim przypadku fizjologia roślin będzie nadal dyscypliną integrującą różne dziedziny biologii (Rys.1). Następnie wnioski te będą mogły być podstawą do wykorzystania ich w hodowli i genetyce oraz w szeroko pojętym rolnictwie, być może również przy uprawie nowych form roślin, po ich transgenicznych modyfikacjach.

Zdaniem Chrispeela [3], redaktora *Plant Physiology*, fizjologia roślin jest nauką łączącą

różne dyscypliny (cross-disciplinary science). Jej badania muszą opierać się na genetyce, biofizyce, biochemii i innych dyscyplinach biologii molekularnej, stawiając jednocześnie konkretne, interdyscyplinarne pytania w aspekcie poszukiwania mechanizmów przebiegu poszczególnych procesów, a w konsekwencji – zgłębienia istoty życia. Jego zdaniem może to doprowadzić do fuzji kilku nauk biologicznych tworząc nową makrodyscyplinę – biologię roślin. Fizjologia roślin będzie też w coraz większym stopniu teoretyczną „bazą informacji” dla dyscyplin szeroko pojętego rolnictwa. Rozwój poszczególnych dyscyplin ogrodniczych, rolniczych bądź związanych z leśnictwem będzie stawał przed fizjologami coraz to nowe zadania badawcze.

Można przypuszczać, że w XXI wieku rozwiną się również badania reakcji roślin na specyficzne warunki w Kosmosie, gdzie wyeliminowane są np. siły grawitacji. Kontynuowane będą próby produkcji *in vitro* roślin, które stanowiłyby pożywienie dla astronautów przebywających w Kosmosie.

Badania zachowania się roślin w raketach kosmicznych pozwolą też na opracowanie, wspólnie z ekologami, biologicznej charakterystyki zamkniętego, ekologicznego systemu. Już obecnie projektuje się założenie na początku XXI wieku Międzynarodowej Stacji Eksperymentalnej w Kosmosie.

LITERATURA

- [1] BEEVERS H. 1993. Forty years in the new world. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **44**: 1–12.
- [2] BORNMAN CH. H. 1997. Introduction by Editor in Chief. *Physiol. Plant.*, **100**, No. 2.
- [3] CHRISPEELS M. J. 1996. Plant physiology has become plant biology, a cross-disciplinary science. *Plant Physiol.*, **112**: 1–2.
- [4] GEIGER D. R., KOCH K. E., SHIEH W. J. 1996. Effects of environmental factors on whole plant assimilate partitioning and associated gene expression. *Jour. Exper. Bot.*, **47**: 1229–1238. (Special issue).
- [5] R. GOREN 1997. Opinion. *FESPP Newsletter*, No. 2. 14.
- [6] JACKOWSKI G., 1996. Kompleksy chlorofil a/b – białko fotosystemu II. *Wydawnictwo Naukowe UAM*.
- [7] KRAMER P. L. 1973. Some reflections after 40 years in plant physiology. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, **24**: 1–24.
- [8] LONGAN H., BASSET M., VERY A. A., SENTANAC H. 1997. Plasma membrane transport systems in higher

- plants: from black boxes to molecular physiology. *Physiol. Plant.*, **100**: 1–15.
- [9] MARRE E., 1991. Short story of plant physiologist and variations on the theme. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.*, **42**: 1–20.
- [10] PASZEWSKI A. 1985. Z historii fizjologii roślin, *Biologia w Szkole*, (194), **38**: 124–127.
- [11] QUARRIE S. 1997. Opinion, Time for the FESPP meeting to focus on plant physiology! *Newsletter*. No **21**: 11.
- [12] RUSSIN W. A., EVERT R. F., VANDERVEER P. J., SHARKEY T. D., BRIGGS P. 1996. Modification of a specific class of plasmodesmata and loss of sucrose export ability in the sucrose export defective 1 maize mutant. *The Plant Cell*, **8**: 645–658.
- [13] STARCK Z. 1995. Współzależność pomiędzy fotosyntezą i dystrybucją asymilatów a tolerancją roślin na niekorzystne warunki środowiska. *Post. Nauk Roln.* **3/95**: 19–35.
- [14] STEWARD F. C. 1971. Plant physiology: the changing problems, the continuing quest. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, **22**: 1–22.
- [15] STITT M. 1996. Plasmodesmata play an essential role in sucrose export from leaves: a step toward an integration of metabolic biochemistry and cell biology. *The Plant Cell.*, **8**: 565–571.