

**SZYMON PAJĄK, TOMASZ DURAK**

Zakład Ekologii, Pozawydziałowy Instytut Biotechnologii, Uniwersytet Rzeszowski  
e-mail: spajak@ur.edu.pl; tdurak@univ.rzeszow.pl

**REAKCJE ROŚLIN NA POZIOMIE ANATOMICZNYM,  
FIZJOLOGICZNYM I MOLEKULARNYM NA GLOBALNE  
ZMIANY ŚRODOWISKA**

*Rośliny w trakcie ewolucji dostosowały się do siedlisk, w których obecnie bytują. W wyniku wytworzenia różnorodnych mechanizmów na poziomie anatomiczno-fizjologicznym oraz molekularnym potrafią one reagować na naturalne zaburzenia występujące w środowisku. W ostatnich dziesięcioleciach obserwuje się jednak intensywne, kierunkowe zmiany warunków środowiskowych spowodowane działalnością człowieka. W obliczu tych zmian duża część roślin staje przed poważnym problemem związanym z przetrwaniem w granicach ich naturalnego zasięgu, z powodu zbyt małej tolerancji na zachodzące zmiany. W konsekwencji, globalne zmiany środowiska w dużym stopniu przyczyniają się do gwałtownego spadku bioróżnorodności ekosystemów lądowych w skali kuli ziemskiej. Artykuł przedstawia mechanizmy dostosowujące rośliny do głównych zmian warunków środowiskowych takich jak: susza, spadek odczynu gleby oraz wzrost temperatury na Ziemi.*

**Słowa kluczowe:** czynniki środowiskowe, globalne ocieplenie, bioróżnorodność, epigenetyka, mikroewolucja

**I. WSTĘP**

Czynniki środowiskowe determinują rozmieszczenie roślin na kuli ziemskiej. Zmiany optymalnych wartości tych czynników obserwowane na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci doprowadziły do zmniejszenia liczebności populacji wielu gatunków roślin. Powodem niekorzystnych zmian w środowisku jest silna antropopresja oraz niektóre naturalne czynniki geograficzne np. wahania promieniowania słonecznego [Kundzewicz 2011]. Ograniczenie zasięgu występowania wielu gatunków prowadzi do spadku bioróżnorodności ekosystemów lądowych [Kędziora i Karg 2010]. Niekorzystnym skutkiem zmniejszenia różnorodności biologicznej jest zaburzenie równowagi ekologicznej. Wyginięcie jednego gatunku często powoduje wymarcie gatunków zależnych od niego, co dodatkowo destabilizuje ekosystem [Clergue i in. 2005]. Poznanie mechanizmów odbioru sygnałów środowiskowych oraz późniejszej aklimatyzacji roślin do zaistniałych zmian, pozwoli na opracowanie metod ochrony *in situ* oraz restytucji gatunków.

## II. METODYKA

W artykule opisano główne mechanizmy odpowiedzi roślin na zmiany zachodzące w środowisku na poziomach anatomiczno-fizjologicznym oraz molekularnym. Uwagę skupiono na takich zmianach środowiskowych jak: susza, spadek odczynu gleby oraz wzrost temperatury na Ziemi. Artykuł ma charakter przeglądowy. Stanowi studium oparte o najnowszą literaturę dotyczącą poruszanego tematu. Do zrealizowania podjętego problemu zastosowano metodę analizy literatury oraz wybranych publikacji książkowych.

## III. REKACJE ROŚLIN NA POZIOMIE ANATOMICZNO – FIZJOLOGICZNYM

### *Niedobór wody – susza*

Woda w stanie ciekłym jest niezbędna dla rozwoju wszystkich organizmów na Ziemi. Stanowi ona doskonały rozpuszczalnik oraz jest nośnikiem wielu ważnych substancji np. składników pokarmowych. W przypadku roślin niezbędna jest również w procesie fotosyntezy. Niedobór wody w środowisku stanowi podstawową przyczynę powstawania zjawiska suszy. Pojęcie to, nie odnosi się jedynie do sytuacji realnego jej braku w przestworach glebowych, ale również do zjawiska kiedy jest ona obecna, ale nie może być pobrana przez system korzeniowy np. z powodu zamarznięcia lub zasolenia gleby [George i in. 2017]. Najbardziej widocznym skutkiem suszy jest zahamowanie wzrostu nadziemnych części roślin. Niedobór wody powoduje również przedwczesne starzenie się oraz zmiany nekrotyczne liści.

Rośliny wytworzyły wiele mechanizmów chroniących tkanki ustroju przed odwodnieniem. Ochroną dla rośliny na poziomie anatomiczno – fizjologicznym jest proces zwijania i przedwczesnego zrzucania liści w wyniku czego ograniczona zostaje intensywność transpiracji nadziemnych części rośliny. Asymilaty wytworzone w liściach ulegają przemieszczeniu, a następnie zostają zakumulowane w korzeniu, co zapewnia im dostateczną ilość energii na wzrost wydłużeniowy (w głąb profilu glebowego), jak i wykształcenie odgałęzień bocznych (penetrujących powierzchniowe warstwy gleby). Tak rozbudowany system korzeniowy istotnie zwiększa zasięg i efektywność pobierania składników pokarmowych i wody. W reakcji na suszę, liście jako organy o największej powierzchni u niektórych gatunków roślin mogą zostać pokryte kutnerem (gęsta płatanina martwych włosków epidermalnych), który dzięki swej budowie intensywnie rozprasza promienie światła chroniąc w ten sposób roślinę przed nadmierną utratą wody z tkanek. Dodatkową ochronę może stanowić intensywna synteza i wydzielanie na zewnątrz epidermy związków lipidowych, takich jak: kutyna i kutań wchodzących w skład tzw. nablönka rośliny, czyli kutykuli. Warstwa ta, skutecznie chroni tkanki liścia przed utratą wody pokrywając powierzchnię blaszek liściowych [Kopcewicz i Lewak 2009].

Kutykularyzacja tkanki epidermalnej liścia nie obejmuje porów pomiędzy aparatami szparkowymi [Müller i Riederer 2005]. Zmniejszenie transpiracji (strat wody) w miejscach występowania aparatów szparkowych możliwe jest dzięki mechanizmowi regulacji procesu otwierania i zamykania szparek stymulowanego przez fitohormon, jakim jest kwas abscysynowy (ABA). Związek ten gromadząc się w komórkach liści otwiera kanały potasowe w błonie komórek szparkowych prowadząc do ucieczki jonów potasowych z tych komórek. W konsekwencji wzrasta potencjał wody w komórkach szparkowych, co skutkuje jej osmotycznym wypływem i spadkiem turgoru komórek szparkowych. W efekcie następuje zamknięcie szparki. [Daszkowska-Golec i Szarejko 2013]. Ostatnie badania wykazały, że

w odpowiedź aparatów szparkowych na stres związany z suszą zaangażowane są również fitohormony, takie jak: kwas jasmonowy, brasinosteroidy, cytokiny oraz etylen.

Innym mechanizmem zabezpieczającym rośliny przed stresem suszy jest wzmożona synteza dehydryn. Białka te, jak wykazano na przykładzie soi zwyczajnej posiadają zdolność ochrony ważnych enzymów biorących udział w szlakach metabolizmu podstawowego przed denaturacją [Yamasaki i in. 2013]. W okresie trwania stresu suszy u roślin może dochodzić również do wzmożonego gromadzenia w wakuoli lub cytoplazmie osmolitów np. soli amoniowych (betainy), aminokwasy (prolina), cukry proste (glukoza, fruktoza) lub cukrole (mannitol), których zadaniem jest obniżenie potencjału wody w komórce w celu zwiększenia poboru wody [Rabbani 2017]. W warunkach niedoboru wody, takie zjawisko zaobserwowano w komórkach selera, gdzie przy udziale mannozo-6-fosforanu dochodziło do odkładania mannitolu. Transformacja roślin *Arabidopsis thaliana* nie produkujących mannitolu genami pochodzącymi z selera zwyczajnego pozwoliła na uzyskanie roślin o zwiększonej odporności na stres. Wzrost udziału osmolitów w reakcji na stres zasolenia (zjawisko suszy fizjologicznej) zaobserwowano również u pomidora, gdzie w wakuolach komórek syntetyzowana była sacharoza [Burg i Ferraris 2008].

#### *Spadek odczynu gleby*

Głównymi naturalnymi przyczynami wzrostu zakwaszenia gleb jest: wymywanie metali alkalicznych w głąb profilu glebowego oraz skład chemiczny skał macierzystych często pozbawionych składników zasadowych. Do czynników antropogenicznych zwiększających zakwaszenie gleb możemy zaliczyć np. kwaśne deszcze powstające w wyniku reakcji wody z takimi gazami, jak: dwutlenek siarki, tlenek azotu lub dwutlenek węgla. Gleba posiada naturalne mechanizmy buforujące zmiany jej odczynu, dzięki obecności w niej węglanów wapnia. Zawartość tego związku w glebach ciągle maleje, ponieważ wchodzi on bardzo łatwo w reakcję z atmosferycznym dwutlenkiem węgla przechodząc w łatwo rozpuszczalne wodorowęglany, które wymywane są w głąb gleby [Prusinkiewicz i in. 1983].

Większość makro- i mikroelementów wydajnie pobierana jest przez rośliny przy odczynie gleby równym  $\text{pH} = 6,5$ . Jednak optymalne  $\text{pH}$  poboru pierwiastków są różne dla poszczególnych jonów. Spadek odczynu gleby automatycznie powoduje zmniejszenie wydajności przyswajania pierwiastków przez komórki korzenia.

Rośliny wykształciły mechanizm łagodzący stres związany ze spadkiem odczynu gleby, którym jest reutilizacja, która polega na przenoszeniu pierwiastków ze starych liści do młodych [Fife i in. 2008]. W przypadku niedoboru któregoś z makro- lub mikroelementów pierwiastek wycofany ze starzejących się liści służy jako budulec w trakcie wzrostu liści młodych. Badania tego zjawiska dokonano przeprowadzając obserwacje drzew sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* [Helmisaari 1992].

#### *Wzrost temperatury na Ziemi*

Na przestrzeni ostatniego stulecia temperatura powietrza na Ziemi wzrosła średnio o  $0,7-0,8^{\circ}\text{C}$ . Przyczyną obserwowanych zmian są m.in. gazy cieplarniane utrudniające wydostawaniu się promieniowania podczerwonego z powierzchni naszej planety [Kundzewicz 2011].

Rośliny wykształciły wiele mechanizmów pozwalających im na tolerowanie wysokiej temperatury. Enzymy uczestniczące w szlakach metabolicznych roślin dobrze przystosowanych do dużych zmian temperatury charakteryzują się zwiększoną termostabilnością. Stabilność błon komórkowych utrzymywana jest dzięki zwiększonemu udziałowi nasyconych kwasów tłuszczowych w lipidach. Zapobiega to ich upłynnianiu się

pod wpływem wysokiej temperatury [Filek i in. 2017]. Stres termiczny uruchamia również syntezę białek szoku cieplnego, których głównym zadaniem jest zapobieganie nieprawidłowemu fałdowaniu się białek organizmu, co mogłoby spowodować utratę ich funkcji. Innym rodzajem białek syntetyzowanych podczas odpowiedzi na stres termiczny są białka LEA (ang. late-embryogenesis abundant proteins), które prawdopodobnie pełnią funkcję stabilizującą błony. Niektóre badania wskazują również, że mogą pełnić one rolę „wypełniacza przestrzeni”, tzn. chronią struktury komórkowe podczas silnego zmniejszenia objętości komórki [Li i in. 2017].

#### **IV. REAKCJE ROŚLIN NA POZIOMIE MOLEKULARNYM**

Wyróżnia się dwa mechanizmy umożliwiające dostosowanie roślin do zmieniających się warunków środowiskowych. Są nimi: mikroewolucja oraz zmiany epigenetyczne.

Mikroewolucja polega na odpowiedzi roślin na zmiany warunków siedliskowych poprzez modyfikację sekwencji materiału genetycznego. Proces ten odbywa się w wyniku zachodzących mutacji. Osobniki o genotypach warunkujących cechy najbardziej dostosowane do zaistniałej zmiany środowiskowej są selekcjonowane poprzez dobór naturalny [Bone i Farres 2001].

Przykładem mikroewolucji są populacje roślin rosnące w pobliżu kopalni metali ciężkich, które uodporniły się na ich toksyczne właściwości w okresie 150 lat. Również wiele podatnych na herbicydy chwastów wytworzyło odporność na stosowane środki w ciągu zaledwie dwóch pokoleń [Bone i Farres 2001].

Drugim mechanizmem jest zmienność epigenetyczna roślin, w której materiał genetyczny nie ulega zmianom. Ekspresja genów modyfikowana jest dzięki kontrolowaniu stopnia kondensacji chromatyny. DNA w komórkach organizmów posiadających jądro zorganizowane jest w strukturę zwaną chromatyną. Występują dwa rodzaje chromatyny: heterochromatyna (skondensowana) i euchromatyna (bardziej rozproszona). Podstawową jednostką tej struktury jest nukleosom, czyli fragment łańcucha DNA nawinięty na oktamer histonowy (białkowy rdzeń). Geny znajdujące się w heterochromatynie ze względu na stopień jej upakowania nie ulegają ekspresji. Udowodniono, że modyfikacje histonów, takie jak: przyłączanie grupy acetylowej lub metylowej wpływa na stopień kondensacji chromatyny, co może powodować włączenie lub wyłączenie genów warunkujących reakcje rośliny na czynniki środowiskowe. Opisane zmiany mogą być zapoczątkowywane zmianami czynników zewnętrznych (np. środowiskowych). Wprawdzie nie wpływają na sekwencję DNA, jednak są przekazywane kilku kolejnym pokoleniom [Wierzbicki 2004].

Przykładem takiego zjawiska jest zdolność zakwitania przez rośliny po przejściu odpowiednio długiego okresu zimna. Zimno powoduje wyłączenie ekspresji genu hamującego kwitnienie bez ingerencji w strukturę materiału genetycznego. Możliwe jest to dzięki modyfikacji ogonów białek histonowych (metylacji) w wyniku czego chromatyna jest bardziej skondensowana. Chroni to roślinę przed wytworzeniem kwiatów jesienią [Sung i Amasino 2004].

Jak dotychczas nie sprawdzono dokładnie roli mechanizmu dziedziczenia epigenetycznego w odpowiedzi na zmienne warunki środowiskowe. Chociaż może odgrywać on znaczącą rolę w przystosowywaniu się osobników bez konieczności zmian w materiale genetycznym.

## V. PODSUMOWANIE

Odbiór czynników środowiskowych i odpowiednia reakcja organizmu roślinnego na zarejestrowaną zmianę warunków siedliska stanowi podstawowy mechanizm zabezpieczający rośliny przed niekorzystnymi warunkami środowiskowymi. Zdolność utrzymania homeostazy organizmu zmniejsza się wraz z wydłużeniem czasu oddziaływania czynnika zaburzającego. Gatunki roślin, które nie zdołają dostosować się do zmian zachodzących w środowisku skazane są na zmniejszenie liczebności ich populacji. Ograniczenie zasięgu występowania, będące efektem spadku liczebności populacji będzie się pogłębiać i prowadzić do zmniejszenia bioróżnorodności w ekosystemach lądowych. W związku z obserwowaną sytuacją niezwykle istotne znaczenie ma konieczność prowadzenia badań nad możliwościami aklimatyzacji roślin do zachodzących zmian środowiskowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bone E., Farres A. 2001. Trends and rates of microevolution in plants. *Genetica*. 112-113. 165-182.
2. Burg M.B., Ferraris J.D. 2008. Intracellular Organic Osmolytes: Function and Regulation. *J. Biol. Chem.* 283. 12. 7309-7313.
3. Clergue B., Amiaud F., Pervanchon F., Lasserre-Joulin S., Plantureux D. 2005. Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 25 (1). 1-15.
4. Daszkowska-Golec A., Szarejko I. 2013. Open or close the gate – stomata action under the control of phytohormones in drought stress conditions. *Front. Plant Sci.* 4 (138). 1-16.
5. Fife D.N., Nambiar K.S., Saur E. 2008. Retranslocation of foliar nutrients in evergreen tree species planted in a Mediterranean environment. *Tree Physiol.* 28 (2). 187-196.
6. Filek M., Rudolphi-Skórska E., Sieprawska A., Kvasnica M., Janeczko A. 2017. Regulation of the membrane structure by brassinosteroids and progesterone in winter wheat seedlings exposed to low temperature. *Steroids*. 128. 37-45.
7. George S., Manoharana D., Lib J., Britton M., Paridac A. 2017. Transcriptomic responses to drought and salt stress in desert tree *Prosopis juliflora*. *Plant. Gene*. 12. 114-122.
8. Helmisaari H.S. 1992. Nutrient retranslocation within the foliage of *Pinus sylvestris*. *Tree Physiol.* 10 (1). 45-58.
9. Kędziora A., Karg J. 2010. Zagrożenia i ochrona różnorodności biologicznej. *Nauka*. 4. 107-114.
10. Kopcewicz J., Lewak S. 2009. *Fizjologia roślin*. Wyd. PWN, Warszawa 2009.
11. Kundzewicz Z.W. 2011. Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. *Landform Analysis*. 15. 39-49.
12. Li N., Zhang S., Liang Y., Qi Y., Chen J., Zhu W., Zhang L. 2017. Label-free quantitative proteomic analysis of drought stress-responsive late embryogenesis abundant proteins in the seedling leaves of two wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *J. Proteomics*. 10 (172). 122-142.
13. Müller C., Riederer M. 2005. Plant surface properties in chemical ecology. *J. Chem. Ecol.* 31 (11). 2621-2651.
14. Prusinkiewicz Z., Kowalkowski A., Królikowski L. 1983. Ochrona i rekultywacja gleb leśnych. *Roczniki Gleboznawcze*. 34 (3). 185-201.
15. Rabbani G. 2017. Role of osmolytes in protein folding and aggregation in cells and its applications in biotechnology. *Int. J. Biol. Macromol.* doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.022.

16. Sung S., Amasino R.M. 2004. Vernalization and epigenetics: how plants remember winter. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7 (1). 4-10.
17. Wierzbicki A.T. 2004. Dziedziczenie epigenetyczne. *Kosmos.* 53 (3-4). 271-280.
18. Yamasaki Y., Koehler G., Blacklock B.J., Randall S.K. 2013. Dehydrin expression in soybean. *Plant Physiol. Biochem.* 70. 213-220.

## **PLANTS REACTION ON THE ANATOMICAL, PHYSIOLOGICAL AND MOLECULAR LEVEL FOR ENVIRONMENTAL GLOBAL CHANGES**

### Summary

*Plants are organisms deprived of the ability to actively move. The adaptations they created during the evolution allow them to survive adverse habitat changes. The recent decline in the diversity of plants on the globe is caused by changes in the environment too quickly. These processes lead to the extinction of plant populations without giving them time to create appropriate adaptations. In connection with the observed decline in biodiversity, it seems that research into the possibilities of adaptation of plants to changes in habitat conditions is extremely important for understanding the functioning of ecosystems and the protection of endangered species. The article focuses on the main mechanisms adapting plants to environmental changes such as: drought, decrease in soil pH and increase in temperature on the Earth.*

**Key words:** environmental factors, global warming, biodiversity, epigenetics, microevolution