

# Epigenetyka roślin – zielona sztuka przetrwania

Z cyklu  
„Wiadomości z Ogrodów Kórnickich”

Rośliny nie mają kończyn. Nie mogą uciekać. Nie mają też mózgu ani układu odpornościowego jak ludzie czy zwierzęta. Mimo tego, doskonale radzą sobie w walce z wirusami, bakteriami, grzybami czy nicieniami. Jak to możliwe? Dzięki sprytniej broni, którą dierżą nie w dłoniach, lecz... w genach. A dokładniej – w ich regulacji.

Każda roślina dysponuje zestawem genów, lecz nie wszystkie z nich działają jednocześnie. Niektóre są jak nieużywane instrukcje, które oczekują na odpowiedni sygnał – taki jak światło, niska temperatura, woda albo impuls hormonalny, aby mogły zostać uruchomione. Kto kieruje o tym, co się dzieje? Epigenetyka – zbiór molekularnych mechanizmów decydujących o tym, które geny są aktywne, a które wyciszone. Żadnych zmian w DNA, czyli w zapisie genetycznym, który zawiera instrukcje potrzebne do działania komórek. Tylko molekularne „przełączniki” ustawiające dostęp do właściwych informacji. Sygnał? Odebrany. Reakcja? W trakcie. To jak wewnętrzna, skoordynowana operacja wojskowa: cicha, precyzyjna i skuteczna.

Kiedy patogeny zbliżają się do rośliny, ta najpierw korzysta ze swojej „straży granicznej”. Komórki rozpoznają ogólne sygnały zagrożenia – wzorce na powierzchni intruza, które wyglądają podejrzanie. W tym momencie uruchamiają alarm: coś tu jest nie tak. To pierwsza linia obrony. Roślina wzmacnia ściany komórkowe, wytwarza toksyny i inne środki odstraszające. Reakcja jest szybka, ale dość ogólna – na zasadzie: „nie mamy pojęcia, kim on jest, ale z pewnością nie przypomina nas”. Jeśli jednak wróg okaże się bardziej przebiegły i przebiję się przez te pierwsze zasieki, do akcji wkracza druga linia – precyzyjna i ukierunkowana, niczym jednostka specjalna. Patogen wysyła swoje **efektory** – białka, które mają za zadanie sabotować obronę i zakłócać komunikację. Roślina reaguje dzięki **białkom R** – swoistym „komandosom”, którzy identyfikują określone cząsteczki wroga i rozpoczynają kontratak. Często brutalny – zainfekowana komórka przechodzi w stan zaprogramowanej śmierci – poświęca się dla dobra całej rośliny, by powstrzymać inwazję. To jak wysadzenie własnego mostu, aby wróg nie mógł go przekroczyć.

Cały ten złożony system funkcjonuje dzięki temu, że epigenetyka na bieżąco monitoruje sytuację. To ona kontroluje, które geny odpornościowe są aktywne w danym momencie. Jak to robi?

Między innymi poprzez **metylację DNA** – małe znaczniki chemiczne, pełniące rolę etykiet: „włącz” lub „zablokuj”. Nie modyfikują samego genu, lecz wpływają na to, czy komórka może go „przeczytać” i wykorzystać. Metylacja działa jak taśma z napisem „nie dotykać”, którą czasem trzeba usunąć, gdy sytuacja staje się naprawdę gorąca.

Wyobraźmy to sobie w ten sposób: w centrum dowodzenia rośliny ktoś próbuje otworzyć sejf z planem obrony. Patogen podkłada fałszywe klucze, co uniemożliwia otwarcie zamków. Jednak roślina dysponuje molekularnymi ekspertami ds. kontrwywiadu – na przykład białkiem ROS1, które potrafi naprawić problem, eliminując błędne metylacje i przywracając dostęp do kluczowych genów.

Co więcej, rośliny potrafią przesyłać rozkazy z miejsca ataku do innych obszarów ciała. Używają do tego drobnych cząsteczek **siRNA**, które poruszają się naszym gońcy, informując o potrzebie

ko, gdy zobaczysz tego łobuza, od razu się broń”.

Naukownicy zaczynają odkrywać jak wykorzystywać te mechanizmy. Można w subtelny sposób poddać rośliny działaniu niskiej temperatury lub niegroźnemu patogenowi, aby uzyskać efekt pamięci. Również nowoczesne technologie, takie jak **CRISPR-dCas9**, mogą być stosowane – nie zmieniają DNA, lecz jedynie naciskają, aktywując odpowiednie „przełączniki”. To nie genetycznie modyfikowane organizmy (GMO) – to zaawansowane zarządzanie tym, co roślina już ma.

Po co to wszystko? Aby uprawiać rośliny bardziej odporne, samowystarczalne, mniej zależne od chemicznych środków ochrony. Rośliny, które lepiej radzą sobie z chorobami, brakiem wody czy zmianami klimatu. A wszystko to za sprawą niewidocznego stratega – epigenetyki – która od wieków działa wewnątrz komórek i prowadzi wojny na poziomie molekularnym.



uruchomienia konkretnej reakcji w odpowiednim czasie i miejscu. Dzięki temu obrona działa punktowo, bez niepotrzebnego zużycia energii.

Najciekawsze jest jednak to, że rośliny potrafią „pamiętać”, co się wydarzyło – oczywiście w przenośni. Jeśli uda im się przetrwać atak, w ich systemach pozostaje epigenetyczny ślad – coś na kształt notatki w dzienniku działań: „Ten wróg już tu był”. Dzięki temu, reagują szybciej i mocniej, gdy natrafiają na podobne zagrożenie ponownie. Co więcej, chociaż brzmi to jak fantastyka naukowa, niektóre z tych epigenetycznych „notatek” mogą być dziedziczone przez ich potomstwo. Jakby matka-roślina ostrzegęła: „Dziec-

Na zdjęciu widoczny jest liść ziemniaka odmiany ‘Sarpoka Mira’ z wczesnymi objawami reakcji obronnej przeciwko *Phytophthora infestans* – patogenowi odpowiedzialnemu za zarazę ziemniaka. W odpowiedzi na infekcję roślina aktywuje mechanizm **zaprogramowanej śmierci komórek** w miejscu zakażenia. Zainfekowane komórki ulegają kontrolowanemu obumieraniu, co ogranicza rozprzestrzenianie się patogenu i chroni pozostałe tkanki.