

Okno oksydacyjne – granica życia i śmierci

Z cyklu

„Wiadomości z Ogrodów Kórnickich”

Czy wiesz, że o losie kiełkującego nasiona decyduje niezwykle delikatna równowaga chemiczna? Kluczową rolę pełnią reaktywne formy tlenu (ROS), które chociaż kojarzą się zwykle ze stresem oksydacyjnym i starzeniem, w świecie roślin mogą pełnić funkcję sygnałową, aktywując życie uśpionego zarodka. Należą do nich m.in. anion ponadtlenkowy ($O_2^{\cdot-}$), nadtlenek wodoru (H_2O_2) i rodnik hydroksylowy ($\cdot OH$). Powstają one naturalnie w komórkach roślin, np. podczas oddychania mitochondrialnego, w peroksysomach czy chloroplastach. Istnieje jednak cienka granica – tzw. okno oksydacyjne – które decyduje czy nasiono zakiełkuje, czy zginie.

Jak naukowcy odkryli istnienie tego „okna”? Jakie znaczenie ma ono dla hodowli roślin i przechowywania nasion? Dlaczego zbyt duża lub zbyt mała ilość wolnych rodników może zatrzymać lub uszkodzić proces kiełkowania? To fascynująca podróż do świata, którego nie widać gołym okiem, a który decyduje o plonach i różnorodności roślin w naszym ogrodzie, polu i lesie.

Czym właściwie są ROS? To cząsteczki tlenu o bardzo wysokiej reaktywności. W umiarkowanych ilościach pełnią funkcję przekazników informacji, sterując procesami rozwojowymi. Jednak gdy ich stężenie przekroczy zdolności obronne komórki, pojawia się stres oksydacyjny. Dlatego współcześnie coraz częściej mówi się nie tylko o „stresie oksydacyjnym”, ale o „sygnale oksydacyjnym”, który reguluje życie komórki. Zakres optymalnych stężeń ROS nazywamy oknem oksydacyjnym. Jest to swoisty złoty środek: poniżej niego rośliny nie są w stanie wykiełkować, z kolei powyżej mogą się uszkodzić, co może zahamować kiełkowanie lub nawet doprowadzić do śmierci rośliny.

Kiełkowanie to dla rośliny proces ryzykowny. Kiedy nasiono jest całe i jego wnętrze jest odcięte od środowiska, brakuje w nim tlenu. To prowadzi do zatrzymania działania enzymów kontrolujących stężenia ROS, więc ich ilość się zwiększa. Do tego pęknięcie łupiny nasiennej i początek kiełkowania wiąże się też z rozpoczęciem oddychania komórkowego – procesu produkującego energię dla organizmu, ale też duże ilości wolnych rodników. Łącznie oznacza to, że stężenia ROS mogą łatwo przekroczyć próg wyznaczany przez okno oksydacyjne i spowodować śmierć rośliny.



Siewki (zdjęcie z pixabay)

Jednak im dłużej nasiono zwleka, tym więcej reaktywnych form tlenu tworzy się z procesów, które samoistnie zachodzą w komórce i tym bardziej ryzykowne staje się kiełkowanie. Ich ROS gwałtownie rośnie także podczas pobierania wody (tzw. imbibicji). To dlatego wczesne etapy kiełkowania są tak wrażliwe na zakłócenie równowagi oksydacyjnej.

Jak roślina radzi sobie z tym ryzykiem? Pomagają jej enzymy i cząsteczki ochronne. Jedne przekształcają groźne formy tlenu w bardziej stabilne (np. w H_2O_2 – wodę utlenioną), inne neutralizują je całkowicie. Dodatkowo niektóre cząsteczki, jak witamina C czy glutation, „wyłapują” nadmiar reaktywnych form, chroniąc komórki przed uszkodzeniem. Ten system nazywany jest systemem ochronnym (antyoksydacyjnym) ROS – nie chodzi tylko o ich eliminację, ale także o wytwarzanie i wykorzystywanie ich jako sygnałów rozwojowych.

Co ciekawe, ROS ściśle współdziałają z fitohormonami. Obniżają poziom kwasu abscysynowego (ABA), który utrzymuje spoczynek nasion, a jednocześnie pobudzają syntezę giberelin (GA) i etylenu – hormonów sprzyjających kiełkowaniu.

Wiedza o roli ROS w kiełkowaniu i funkcjonowaniu nasion pozwala nam na określenie czasu, przez który nasiona mogą być przechowywane, ponieważ im dłuższy czas przechowywania, tym więcej reaktywnych form tlenu gromadzi się w nasieniu. Jeśli zgromadzi się ich zbyt wiele, ich stężenie przekroczy górną granicę wyznaczoną przez okno oksydacyjne i nasiono nie wykiełkuje.

Ta wiedza ma również praktyczne zastosowanie. Dzięki badaniom nad reaktywnymi formami tlenu możemy określać, jak długo nasiona zachowują zdolność do kiełkowania podczas przechowywania. Im dłużej leżą, tym więcej gromadzi się w nich ROS, a gdy ich stężenie przekroczy górną granicę okna oksydacyjnego, kiełkowanie staje się niemożliwe.

Co ciekawe, niewielka dawka H_2O_2 potrafi niekiedy pobudzić uśpione nasiona, bo ROS działają jak sygnał do „obudzenia się”. Mogą też wspomagać rozkład bielma – tkanki odżywczej nasiona – ułatwiając start niektórym gatunkom, które bez tego nie byłyby w stanie wykiełkować.

Reaktywne formy tlenu są więc dla roślin jak ostrze noża – niezbędne, ale niebezpieczne. **To właśnie okno oksydacyjne wyznacza granicę między życiem a śmiercią nasiona: poniżej tej granicy pozostaje ono uśpione, a powyżej – obumiera.** Tylko w wąskim przedziale stężeń ROS może rozpocząć się nowe życie. Czyż nie fascynujące, że coś, co zwykle kojarzymy z niszczeniem, w rzeczywistości stanowi klucz do narodzin roślin?

♦ Aleksandra Setecka,
Hanna Fuchs,
Ewelina Ratajczak
Instytut Dendrologii PAN