



Jeszcze w zielone gramy

Klaudia Staśkiewicz

Koło Naukowe Botaniki UW,

Warszawskie Stowarzyszenie Biotechnologiczne „Symbioza”

Wyobraź sobie, że grasz w grę, w której jesteś komórką i bierzesz udział w igrzyskach. Uczestnicy konkurują ze sobą nawzajem o zasoby, a celem jest przetrwanie w zmiennych warunkach środowiska. Możesz wybrać, w którym kierunku będziesz się rozwijać i jakie cechy wykształcać, aby zwiększyć szansę zwycięstwa. Nie bez znaczenia będzie obrana strategia. Możesz zdecydować się na samodzielność lub współpracę z pozostałymi konkurentami. Oczywiście każdy chciałby wygrać, zatem warto opierać się na swoich własnych umiejętnościach.

W tym punkcie okazuje się, że warto być zielonym. Rośliny, protisty roślinopodobne i niektóre bakterie np. *Cyanobacteria*, znane pod nazwą „sinice”, zawdzięczają swój zielony kolor barwnikom z grupy chlorofili. Te barwniki są związkami absolutnie kluczowymi w procesie fotosyntezy – niczym molekularne koszycki łapią kwant światła, rozpoczynając sztafetę energetyczną na trasie błony tylakoidu.

Decydując się na **fotoautotrofię** jako strategię w igrzyskach, warto zapoznać się z opisem tego skilla. Komórki organizmu fotoautotrofa syntezują materię organiczną (zwykle w postaci glukozy) od zera ze związków nieorganicznych (w przypadku fotosyntezy jest to CO_2) z wykorzystaniem wody jako donora elektronów oraz energii świetlnej docierającej do komórek w postaci kwantów światła.

Cała akcja rozpoczyna się wewnątrz **chloroplastów**, w błonach struktur zwanych **tylakoidami**. Kwant światła, a więc paczuska z energią trafia do jednego z kompleksów enzymatycznych obecnych w błonie tylakoidów – nazwijmy go **fotosystemem II**. Znajduje się tam wiele cząsteczek chlorofilu. Elektrony należące do tych cząsteczek dostają w ten sposób porcję energii, co sprawia, że skaczą jak na skakance po wyższych poziomach energetycznych ilustrowanych często jako powłoki elektronowe. Nazywa się to **stanem wzbudzenia** takiej cząsteczki. Tutaj właśnie

zaczyna się sztafeta. Energia w postaci elektronów wybitych z powłok jest piłeczką skaczącą po cząsteczkach chlorofilu. Skacze aż do momentu, gdy trafi na cząsteczkę chlorofilu stanowiącą centrum reakcji fotosystemu, skąd elektrony przekazywane są na kolejne białka.

Należy tu odpowiedzieć na trzy ważne pytania. Co dzieje się z deficytem elektronów, które uciekły z fotosystemu II? Taki niedobór uzupełniany jest przez donor elektronów, czyli w tym przypadku cząsteczkę wody, która w procesie fotolizy rozpada się na tlen cząsteczkowy i protony z wydzieleniem elektronów. To właśnie wtedy uwalniany jest tlen, którym oddycha wiele żywych organizmów. Można zatem zadać kolejne pytanie – co dzieje się z elektronami na końcu ich sztafety? Zostają wykorzystane do redukcji nośnika elektronów NADP^+ do formy $\text{NADPH}+\text{H}^+$, która stanowi niezwykle ważny element siły asymilacyjnej, zatem można określić ją jako magazyn energii. Trzecie pytanie dotyczy celu tej zabawy: po co elektrony są przekazywane w tej sztafecie? Ich transport przez kolejne białka błony tylakoidu w sposób określony przez ich budowę i aktywność generuje powstawanie gradientu protonów, które na drodze tej sztafety są pompowane przez wspomniane białka do wnętrza tylakoidu. Protony zgromadzone w środku będą dążyły do wyrównania swoich stężeń po obu stronach błony, a więc do wydostania się ze środka. Taka okazja nadarzy się w świetle **syntazy ATP** – genialnego enzymu, który niczym turbina napędzany biernym przepływem protonów, syntezuje ATP z ADP, a więc finalnie zamyka energię świetlną w postaci energii wiązań chemicznych. Po zewnętrznej stronie błony tylakoidu powstaje ostatecznie komplet składników siły asymilacyjnej: ATP, $\text{NADPH}+\text{H}^+$, które następnie zostaną wykorzystane w syntezie cukrów prostych.

W tym momencie kończy się faza fotosyntezy zależna od światła i rozpoczyna faza ciemna, zwana **cyklem Calvina**. Jej zasadniczym celem jest przekształcenie siły asymilacyjnej w cukry proste. Chloroplast wykonuje to zadanie w stromie w trzech krokach w obecności świetnego narzędzia: związku RuBP (1,5-bisfosforybulozy) i najbardziej rozpowszechnionego białka w biosferze – enzymem **RuBisCO** (karboksylaza 1,5-bisfosforybulozy). Pierwszym krokiem jest karboksylacja RuBP, czyli przeprowadzenie cząsteczki węgla w formę organiczną. Powstały produkt jest nietrwały i od razu rozpada się do dwóch cząsteczek 3-fosfoglicerynianu. Drugim krokiem jest redukcja tego związku do aldehydu 3-fosfoglicerynowego i fosfodihydroksyacetonu, które następnie ulegają kondensacji i powstaje ufosforylowana fruktoza, a następnie zwykle glukoza. Trzecim krokiem jest odtworzenie 1,5-bisfosforybulozy.

Cały ten mechanizm pozwala na przejście komórki roślinnej lub całego organizmu przez igrzyska w stanie całkowitej samowystarczalności, co daje silną przewagę nad heterotroficznymi współzawodnikami. Warto mieć o tym zielone pojęcie!