

GLOBALNE ZMIANY: AZOT – LAS – ALERGIA?

W ostatnich kilkudziesięciu latach doszło do zachwiania równowagi pomiędzy procesami cyklu obiegu azotu w środowisku. Co to oznacza dla lasów, ziemi i atmosfery?

Emilia Pers-Kamczyc

Instytut Dendrologii
Polskiej Akademii Nauk w Kórniku

W ostatnim czasie coraz częściej dostrzegamy skutki zmieniającego się klimatu. Nasila się częstotliwość występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak długotrwałe susze czy silne i gwałtowne opady deszczu. W wielu krajach obserwuje się wzrastającą liczbę dni z ekstremalnie wysoką temperaturą. Globalne zmiany klimatu, a szczególnie wzrost koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze, który został powiązany ze wzrostem średniej temperatury powietrza, są faktami i dla większości społeczeństwa nie podlegają dyskusji. Intensywny rozwój przemysłu wskazywany jest jako główna przyczyna tych zmian, ponieważ związany jest on

ze spalaniem paliw kopalnych, w wyniku którego do atmosfery emitowana jest duża ilość gazów cieplarnianych – w tym dwutlenku węgla oraz metanu. Te z kolei przyczyniają się do intensyfikacji efektu cieplarnianego. Dynamiczny rozwój przemysłu prowadzi również do emisji do powietrza zanieczyszczeń w postaci dwutlenku siarki i tlenków azotu. Ich wzrost związany jest bezpośrednio ze wzrostem liczby ludności na świecie, a w szczególności z zapotrzebowaniem na energię i pożywienie.

Do początku XIX w. liczba ludności rosła stosunkowo powoli, więc zaspokojenie większego zapotrzebowania w obszarze produkcji żywności wymagało jedynie powiększenia powierzchni upraw. Jednak II połowa XIX w. to niemal wykładniczy wzrost liczby ludności i prawie potrojenie liczby ludności na świecie oraz konieczność efektywniejszej produkcji żywności na tym samym obszarze. Zwiększenie produkcji roślinnej wymagało więc zastosowania efektywniejszych środków. Z pomocą przyszły odkrycia naukowe I połowy XX w., m.in. metody syntezy amoniaku z wodoru i azotu, syntezy mocznika czy też metoda produkcji

nitrofoski (nawozu zawierającego azot, fosfor i potas, czyli ważnych dla roślin składników pokarmowych), a o ich istotnym znaczeniu dla ludzkości świadczy uhonorowanie twórców jednej z nich Nagrodą Nobla.

Azot to jeden z pierwiastków biogennych, który wraz z węglem, tlenem, wodorem, siarką i fosforem, odgrywa kluczową rolę w budowie żywych organizmów. W komórkach roślinnych spotykany jest jako składnik organicznych zasad azotowych, te zaś budują monomery kwasów nukleinowych (RNA, DNA), jak również biorą udział w przenoszeniu energii (ATP, GTP), elektronów i kationów wodorowych. Azot jest składnikiem istotnych dla funkcjonowania komórki roślinnej związków, jak chlorofil, cytochromy, cytokininy, ale również metabolitów wtórnych, które biorą udział w reakcjach obronnych roślin na patogeny. Głównym źródłem azotu dla roślin w glebie są mineralne formy azotu (jony azotanowe i jony amonowe), ale i proste związki organiczne (mocznik czy aminokwasy), a ich dostępność dla roślin zmienia się w zależności od typu podłoża, odczynu gleby, natlenienia gleby, jak i obecności i rodzaju mikroorganizmów glebowych. Pobierany przez rośliny azot może zostać zmagazynowany (głównie w wakuolach) lub ulec asymilacji (włączeniu w struktury komórkowe), a procesy te zachodzą zarówno w korzeniu, jak i części nadziemnej rośliny. Niestety, większość obecnego w glebie azotu występuje w niedostępnej dla roślin formie organicznej. Dostępność tego pierwiastka w glebie jest czynnikiem ograniczającym wzrost i rozwój roślin, a jego niedobór uzupełniany jest poprzez stosowanie nawozów mineralnych.

Sztuczne nawozy mineralne a emisja gazów cieplarnianych

Produkcja nawozów mineralnych wykonywana jest na skalę przemysłową, a poziom ich konsumpcji związany jest z rozwojem rolnictwa w danym kraju.

Niezależnie od dużego zróżnicowania w ilości stosowanego nawozu w poszczególnych regionach świata obserwuje się gwałtowny wzrost globalnego zużycia nawozów azotowych (z 11,3 mln ton N w 1961 r. do 107,6 mln ton N w 2013 r.), jak również nawozów fosforowych (z 4,6 mln ton w 1961 r. do 17,5 mln ton P w 2013 r.). Tylko Chiny, Indie, USA, Brazylia i Kanada konsumują ponad 63% produkowanych azotowych nawozów mineralnych, a ilość stosowanych nawozów mineralnych wzrasta w tych krajach liniowo z każdym rokiem. Co więcej, nawozy mineralne stosowane są już nie tylko na obszarze Ameryki Północnej i Europy, ale dzięki rozwojowi rolnictwa obszar stosowania nawozów mineralnych powiększa się w kierunku wschodniej Azji.

Produkcja sztucznych nawozów mineralnych przyczyniła się do wzrostu produkcji żywności, ale spowodowała również wzrost emisji gazów cieplarnianych – dwutlenku węgla oraz podtlenku azotu. Wzrost produkcji nawozów sztucznych przyczynił się w ostatnim dwudziestolecu do ponad 13-krotnego wzrostu ilości azotu powstałego w konsekwencji działalności człowieka, w porównaniu z okresem sprzed rewolucji przemysłowej, a emitowana ilość przewyższa ilość azotu wiązane biologicznie. Dodatkowo znaczne ilości tlenków azotu emitowane są do atmosfery podczas spalania paliw i produkcji energii. Ponadto większa część dostarczanego w nawozach mineralnych azotu nie jest asymilowana przez rośliny i trafia do hydrosfery lub zostaje przekształcona przez mikroorganizmy glebowe. W konsekwencji, zarówno rewolucja przemysłowa, jak i zielona rewolucja przyczyniły się do ponaddwukrotnego zwiększenia ilości azotu krążącego w biosferze, a tym samym do zachwiania równowagi pomiędzy poszczególnymi etapami cyklu obiegu azotu w ekosystemie. Obieg pierwiastków, w tym azotu, to zjawisko stałego, cyklicznego krążenia pierwiastków w przyrodzie, z którym związane są procesy biologiczne, hydrologiczne, atmosferyczne i geologiczne.



dr inż. Emilia Pers-Kamczyc

Pracownik Instytutu Dendrologii PAN. Aktualnie zajmuje się odpowiedzialnością dwupiennych roślin drzewiastych na zróżnicowane warunki nawożenia. epk@man.poznan.pl



ne. W przypadku obiegu azotu składa się on z etapu wiązania azotu atmosferycznego przez symbiotyczne i wolno żyjące bakterie, pobierania związków azotu przez rośliny, amonifikacji (rozkładu związków organicznych zawierających azot), nityfikacji (utleniania amoniaku do azotanów) oraz denityfikacji (redukcji azotanów do tlenu azotu i azotu cząsteczkowego). Zanieczyszczenia powietrza nie mają wyłącznie lokalnego wpływu, a obecny w atmosferze azot może być transportowany na znaczne odległości, nawet tysiące kilometrów. Może to prowadzić do wzrostu ilości biologicznie aktywnych form azotu w ekosystemach lądowych, uważanych poprzednio za ubogie. Proces ten opisywany jest jako zwiększona depozycja azotu, czyli przemieszczanie się i nadmierne nagromadzenie się azotu w ekosystemie. Wzrost ilości tlenków azotu w atmosferze w wyniku osadzania się pyłów oraz opadów deszczu przyczynił się do zwiększenia depozycji azotu w zbiorowiskach roślinnych, zarówno w glebie, jak i w samych roślinach. Roczna depozycja atmosferycznego azotu różni się pomiędzy ekosystemami i waha się od $2-3\text{ kg N}$ na hektar na terenach arktycznych do $10-20\text{ kg N}$ na hektar w piętrach subalpejskich. Ekosystemy leśne większości terenów kontynentalnych Europy, jak i te zlokalizowane w jej północnej części są przykładem ubogich ekosystemów, w których obserwuje się niską dostępność azotu w glebie, a sam pierwiastek (łącznie z fosforem i potasem) określany jest jako podstawowy czynnik mineralny ograniczający wzrost roślin drzewiastych. Dotychczasowa dostępność minerałów w glebie, w tym szczególnie azotu, przyczyniła się do adaptacji roślin do życia w warunkach niskiej jego dostępności, dlatego też nadmiar azotu może powodować u roślin „stres”. Zwiększona emisja azotu do środowiska przyczynia się do zakłócenia naturalnego cyklu obiegu pierwiastków, a w konsekwencji konieczności dostosowania się ekosystemów do nowych warunków.

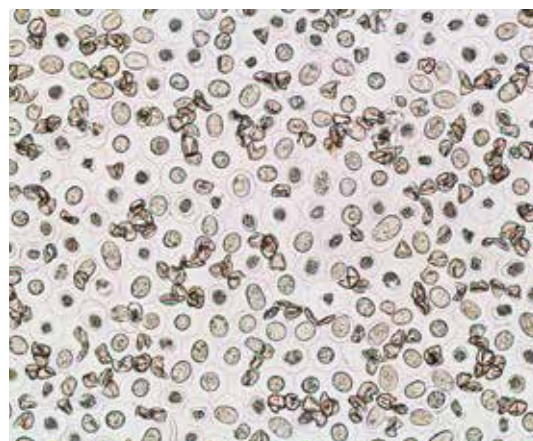
Redukcja różnorodności biologicznej

Liczne badania wskazują na istotny wpływ zwiększonej ilości azotu w środowisku na zmniejszenie bioróżnorodności zbiorowisk roślinnych klimatu umiarkowanego, już na poziomie 14 kg N na ha w ciągu roku przy jego długoterminowym oddziaływaniu. Efekt zwiększonej depozycji azotu zależy od wielu czynników, jednak zazwyczaj powoduje przeobrażanie się zbiorowisk roślinnych, również leśnych (np. znikanie wrzosowisk). Szczególnie widoczne jest to poprzez zmianę składu gatunkowego roślin zielnych w lasach klimatu umiarkowanego, na terenach górskich. Zwiększająca się ilość azotu w tych środowiskach związana jest z filtrującym działaniem koron drzew. Polega ono na osadzaniu się zanieczyszczeń na warstwie wosku pokrywającego igły czy też włoskach

liści. Jednocześnie wraz z opadaniem liści i igieł powoduje to zwiększoną depozycję azotu na danym terenie. Zwiększone zanieczyszczenie powietrza przyczynia się również do występowania opadów atmosferycznych charakteryzujących się kwaśnym odczynem, co z kolei przyczynia się do zakwaszania gleby. Zwiększenie ilości azotu w środowisku może więc przyczynić się do zmiany struktury gatunkowej w zbiorowiskach roślinnych, co w konsekwencji może doprowadzić do dominacji gatunków nitrofilnych (azotolubnych), które zastąpią gatunki o niższych wymaganiach.

Relacja roślina-patogen

Wzrost nagromadzenia azotu w środowisku przyczynia się również do zaburzeń relacji roślina-patogen, a tym samym do wzrostu ilości uszkodzeń roślin (np. borówki czarnej w lasach borealnych przy rocznym nagromadzeniu azotu w glebie na poziomie 6 kg N na hektar) czy też pojawienia się nowych, niewystępujących do tej pory w danym ekosystemie gatunków chorobotwórczych. Pomimo że zwiększona zawartość azotu poprawia warunki życia drzew, to równocześnie w wyniku gromadzenia substancji zapasowych w tkankach roślinnych zwiększa się ich wartość odżywcza, a tym samym drzewo staje się bardziej atrakcyjne dla szkodników, co może dalej prowadzić do częstszego ich występowania. Pierwiastek ten odgrywa istotną rolę w procesie wiązania węgla przez rośliny. Jego oddziaływanie na rośliny ekosystemów leśnych jest dwojakie. Pozytywny wpływ przejawia się np. poprzez zwiększenie wydajności fotosyntezy i znaczny przyrost biomasy, ale jego nadmiar może powodować zmniejszenie oddychania, wymywanie składników odżywczych w glebie i w konsekwencji obniżenie ilości energii nagromadzonej w roślinach. Ponadto nadmiar tlenków azotu powoduje uszkodzenie aparatu asymilacyjnego, co przejawia się obecnością czerwonych i rdzawych przebarwień na igłach. Toksyczne oddziaływanie tlenków azotu związane jest również z zaburzeniami metabolizmu komórki





oraz obniżeniem odczynu cytoplazmy i transportu jonów, dlatego też nadmiar, jak i niedobór substancji mineralnych, w tym azotu, może wpływać na kondycję zdrowotną drzew, a w konsekwencji doprowadzić do ich zamierania.

Procesy rozmnażania

Rośliny wykorzystują dostępne substancje mineralne na wzrost, ochronę i rozmnażanie. Ostatnie doniesienia naukowe wskazują na negatywny wpływ zwiększonego nagromadzenia azotu w środowisku na proces rozmnażania, a w szczególności jakością i ilościową produkcję nasion oraz ziarn pyłku. Zwiększona dostępność azotu dla roślin istotnie zwiększała liczbę produkowanych nasion dębu czerwonego, jednak wiązała się także ze zmniejszeniem liczby pozyskanych siewek z powodu większej liczby uszkodzonych lub zjedzonych nasion, co mogło wynikać ze wzrostu masy i/lub powiększonej zawartości substancji zapasowych w nasionach, m.in. węglowodanów czy też tłuszczów. Ponadto związana była ze zmniejszoną przeżywalnością jedno- i dwuletnich siewek świerka czerwonego, sosny wejmutki czy kłonu czerwonego, jak również zdolnością kiełkowania nasion jałowca pospolitego. Pomimo dobrze udokumentowanego wpływu nadmiaru lub niedoboru azotu na kondycję drzewostanów wciąż niewiele wiadomo na temat wpływu nadmiaru azotu na procesy związane z produkcją ziarn pyłku, czyli „roślinnych plemników”. Zwiększona dostępność azotu skutkowała zwiększoną ilością produkowanych ziarn pyłku dla cisia pospolitego, jak również jałowca pospolitego, jednak u obydwu gatunków zaobserwowano nega-

tywny wpływ długoterminowego dostępu azotu na potencjał kiełkowania ziarn pyłku w warunkach in vitro. Obniżenie żywotności produkowanych ziarn pyłku wynika również z bezpośredniego oddziaływania na nie obecnych w atmosferze zanieczyszczeń, tj. tlenków azotu, siarki i fosforu. W czasie ich bezpośredniego oddziaływania w ziarnach pyłku zaobserwowano liczne zaburzenia procesów biochemicznych oraz zmiany morfologii struktur komórkowych. Zwiększona dostępność azotu w środowisku może się więc przyczynić do wzrostu ilości produkowanych ziarn pyłku przy jednoczesnym obniżeniu ich jakości, a to może prowadzić do ograniczenia efektywnego przekazywania genów ojcowskich.

Ziarna pyłku a alergie

Zwiększona dostępność azotu przyczynia się do wzrostu liczby produkowanych ziarn pyłku, a dodatkowo obserwowane zmiany klimatyczne przyczyniają się do wydłużenia okresu kwitnienia i pylenia roślin drzewiastych (od 1995 r. do 2009 r. o średnio 13–27 dni). Liczba ziarn pyłku uwalniana przez rośliny lądowe, w tym rośliny drzewiaste, jest olbrzymia, co ma zapewnić rozprzestrzenianie materiału genetycznego i sukces reprodukcyjny gatunku. W szczycie sezonu pylenia liczba ziarn pyłku w atmosferze może dochodzić do kilku tysięcy w 1 m^3 . Badania przeprowadzone na terenie USA wskazały na obecność od 6 do 12 tys. ziarn pyłku w 1 m^3 powietrza dla dębów, orzeszników i brzoź w szczycie kwietniowo-majowego pylenia, podczas gdy dla jałowców liczba ta wynosiła do 15 tys. w 1 m^3 . Stężenia ziarn pyłku wywołujące reakcje alergiczne dla ponad 90% alergików wynoszą zaledwie 80 ziarn pyłku w 1 m^3 powietrza dla brzoź, a dla traw 50 ziarn pyłku w 1 m^3 . Nagromadzenia azotu w środowisku może się więc przyczynić do zwiększenia produkcji ziarn pyłku roślin drzewiastych, a tym samym do wzrostu ich stężenia w powietrzu, a w konsekwencji do wzrostu występowania alergii u ludzi, która aktualnie dotyka już od 10–30% populacji. Co więcej, z uwagi na znaczące ilości azotu zgromadzone w ziarnach pyłku ich intensywna produkcja może doprowadzić do wzbogacenia w pierwiastki biogenne pobliskich jezior i gleb. Ponadto ziarna pyłku transportowane są przez prądy powietrza na bardzo duże odległości, więc zmiana zasobności gleb i występowania alergii nie ma tylko wpływu lokalnego, ale również międzykontynentalny.

Wzrost liczby ludności na świecie, który powoduje konieczność zaspokojenia potrzeb żywieniowych, jak również rozwój przemysłu mogą prowadzić do dalszego zaburzenia cyklu obiegu pierwiastków, co może skutkować widocznymi zmianami w znanych nam ekosystemach, ale również przełożyć się na komfort życia wielu z nas.

ZDJĘCIA EMILIA PERS-KAMCZYC

Jałowiec pospolity
– pylenie