

## STRESZCZENIE

### Biogeochemia azotu wysokogórskich zbiorowisk roślinnych Karkonoszy

Azot jest jednym z najważniejszych zasobów, niezbędnych do rozwoju i wzrostu roślin w ekosystemach lądowych i wodnych. Tak istotna rola tego pierwiastka, wynika z fundamentalnych funkcji które pełni w organizmach żywych. Wciąż niewiele wiadomo na temat roli azotu i poszczególnych jego form w funkcjonowaniu ekosystemów wysokogórskich, szczególnie subalpejskich i alpejskich na glebach kwaśnych. Niewiele jest też danych i opracowań które by w sposób szerszy i wieloczynnikowy podejmowały tematykę biogeochemii związków azotu w tych wysoko położonych, unikalnych środowiskach.

Głównymi celami przeprowadzonych badań było: 1) Udoskonalenie metodyki pomiarów reduktazy azotanowej (NR) u roślin w warunkach *in situ*, 2) Charakterystyka różnorodności strategii asymilacji azotu mineralnego roślin naczyniowych piętra subalpejskiego i alpejskiego Karkonoszy w naturalnych warunkach, w kontekście pozycji taksonomicznej, formy wzrostu i siedliska, 3) Analiza w aspekcie porównawczym i sezonowym biogeochemii azotu czterech zbiorowisk roślinnych piętra subalpejskiego i alpejskiego Karkonoszy. W celu realizacji zaplanowanych zadań zaprojektowano i wykonano urządzenie (zgłoszone jako wynalazek w Urzędzie Patentowym RP) - terenową łaźnię wodną, która umożliwia bezpośredni pomiar w terenie aktywności reduktazy azotanowej (NRA), jednego z najważniejszych enzymów asymilacji azotu u roślin.

Po udoskonaleniu metodyki pomiaru NRA, kolejnym etapem badań było poznanie różnorodności strategii asymilacji azotu mineralnego dominujących gatunków roślin naczyniowych siedlisk wysokogórskich na podstawie pomiaru NRA. Ostatnim etapem badań była porównawcza i sezonowa charakterystyka przemian przemiany azotu w czterech wysokogórskich zbiorowiskach roślinnych. Zbiorowiska te badano pod względem 10 zmiennych środowiskowych: wysokość nad poziomem morza oraz w glebach odczyn, zawartość azotu amonowego, azotanów, rozpuszczonego azotu organicznego (DON), azotu całkowitego, węgla całkowitego, stosunku C:N, sumę azotu mineralnego po inkubacji laboratoryjnej oraz stosunek azotu azotanowego do amonowego po inkubacji. Dodatkowo dla czterech gatunków dominujących zbiorowisk (*Nardus stricta*, *Calluna vulgaris*, *Rumex alpinus*, *Pinus mugo*) mierzono aktywność reduktazy azotanowej i zawartość azotu całkowitego w liściach.

Stwierdzono dużą zmienność aktywności NR w zależności od gatunku: 1. od niewykrywalnej i bardzo niskiej (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *V. myrtillus*, *Salix lapponum*, *Pinus mugo*, *Picea abies*, *Empetrum nigrum*, *Calluna vulgaris*), 2. poprzez umiarkowaną (*Aconitum plicatum*, *Athyrium distentifolium*, *Calamagrostis arundinacea*, *C. villosa*, *Carex bigelowii*, *Deschampsia caespitosa*, *D. flexuosa*, *Hieracium alpinum*, *Homogyne alpina*, *Luzula sudetica*, *Nardus stricta*, *Senecio hercynicus*, *Solidago alpestris*, *Sorbus aucuparia*) do 3. wysokiej (*Urtica dioica*, *Rumex alpestris*, *R. alpinus*, *Polygonum bistorta*). Takie zróżnicowanie wskazuje, że wśród tych gatunków występują takie, które są preferują jony amonowe, inne azotany, a jeszcze inne obie formy, jako główne źródło azotu. Stwierdzono także różnice NRA w zależności od form wzrostu: formy o pędach zdrewniałych (krzewinki, krzewy i drzewa) charakteryzowały się najniższą, paprocie, sity, turzyce, trawy i dwuliścienne zioła umiarkowaną, natomiast dwuliścienne zioła nitrofilne najwyższą aktywnością. NRA zależy głównie od pozycji taksonomicznej rośliny, a w mniejszym stopniu od warunków ekologicznych i jest prawdopodobnie specyficzną gatunkowo normą reakcji. Wykazano, że w wysokogórskich partiach Karkonoszy dominują powierzchniowo siedliska o glebach ekstremalnie do silnie kwaśnych, ubogich w azotany, w których przeważającą część puli azotu mineralnego stanowią jony amonowe.

Zbiorowiska roślinne różnią się pod względem wielu aspektów przemian azotu. Wrzosowiska wysokogórskie z *C. vulgaris* charakteryzują się najmniejszą pulą azotu mineralnego i rozpuszczonego organicznego (DON) oraz najwyższym stosunkiem C:N w glebie. Ponadto mineralizacja netto azotu i jej tempo są w tych siedliskach również najniższe. Dodatkowo, *C. vulgaris* charakteryzuje się najniższymi zawartościami azotu całkowitego i NRA. W opozycji do tego zbiorowiska znajdują się nitrofilne ziołorośla z *R. alpinus*. W glebach tych fitocenoz dominującą formą azotu mineralnego są azotany, mineralizacja azotu i jej tempo są najwyższe z dominacją nitryfikacji oraz mają one najniższy stosunek C:N. Dominant tego zbiorowiska charakteryzuje się wielokrotnie wyższymi od innych aktywnościami NR i zawartością azotu całkowitego w liściach. Zarośla kosodrzewiny charakteryzują się umiarkowaną zawartością azotu mineralnego w glebie z przewagą jonów amonowych, ale najwyższą zawartością DON, najniższym pH oraz jednym z najwyższych stosunków C:N. Tempo mineralizacji, w porównaniu do dwóch poprzednich zbiorowisk, jest umiarkowane ze zbalansowanym układem amonifikacji do nitryfikacji. W liściach dominanta tego zbiorowiska, *P. mugo*, stwierdzono najniższą zawartość azotu całkowitego oraz jedną z najniższych aktywności NR. Gleby muraw bliźniczkowych, tak jak zarośla kosodrzewiny, charakteryzują się umiarkowaną zawartością azotu mineralnego z przewagą jonów amonowych, jednymi z najwyższych zawartościami DON oraz umiarkowanym stosunkiem C:N. Tempo mineralizacji jest również umiarkowane z przewagą nitryfikacji. W liściach dominanta, tzn. *N. stricta*, stwierdzono umiarkowaną (w porównaniu do wrzosowisk wysokogórskich oraz nitrofilnych ziołorośli) zawartość azotu całkowitego oraz NRA.

Analizy wielowymiarowe (PCA, DCA, CCA) wskazały, że najważniejsze czynniki środowiskowe w różnicowaniu przemian azotu w zbiorowiskach wysokogórskich to wysokość nad poziomem morza oraz pH, stosunek azotu azotanowego do amonowego i zawartość jonów amonowych w glebach.

16.07.2018

Adam Rejsz

## Summary

### Nitrogen biogeochemistry in high-mountain plant communities of the Karkonosze

Nitrogen is one of the most important resources necessary for plants growth and development in terrestrial and aquatic ecosystems. High importance of this element results from the fundamental role that it plays in living organisms. Still little is known about the role of nitrogen and its various forms in high-mountain ecosystems functioning, especially in subalpine and alpine ecosystems on acidic soils. There are few data and surveys that broadly deal with the subject of nitrogen biogeochemistry in these highly situated, unique environments.

The main objectives of the study were: 1) improving the methodology of nitrate reductase activity (NRA) measurements in plants *in situ*, 2) Characterization of the diversity of mineral nitrogen assimilation strategies by vascular plants from subalpine and alpine belts of Karkonosze mountains in native conditions in the context of taxonomic position, growth forms and habitats, 3) Comparative and seasonal analysis of nitrogen biogeochemistry of four plant communities from Karkonosze subalpine and alpine levels.

In order to realize the planned goals, a prototype of portable water bath (reported as invention in the Patent Office of the Republic of Poland) has been designed - a portable water bath allows direct measurement of plant nitrate reductase activity in field conditions, one of the most important enzymes of nitrogen assimilation in plant cell. The next stage of the research was to investigation of mineral nitrogen assimilation strategies diversity of the dominant vascular plant species from high-mountain habitats, basing on the NRA measurements. The last stage of the research was a comparative and seasonal characterization of the nitrogen transformations in four high-mountain plant communities. 10 environmental variables were examined in the communities: altitude a.s.l., soil pH, ammonium, nitrates and dissolved organic nitrogen content, soil total nitrogen, total carbon, soil C:N ratio, sum of mineral nitrogen content after four months of laboratory incubation, and the nitrate to ammonium ratio. Additionally the four dominant species of the communities (*Nardus stricta*, *Calluna vulgaris*, *Rumex alpinus*, *Pinus mugo*) were studied in context of leaf nitrate reductase activity and total leaf nitrogen content.

There was a high variation in NR activity depending on the species: from 1) undetectable and very low (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *V. myrtillus*, *Salix lapponum*, *Pinus mugo*, *Picea abies*, *Empetrum nigrum*, *Calluna vulgaris*), to 2) moderate (*Aconitum plicatum*, *Athyrium distentifolium*, *Calamagrostis arundinacea*, *C. villosa*, *Carex bigelowii*, *Deschampsia caespitosa*, *D. flexuosa*, *Hieracium alpinum*, *Homogyne alpina*, *Luzula sudetica*, *Nardus stricta*, *Senecio hercynicus*, *Solidago alpestris*, *Sorbus aucuparia*) and 3) very high (*Urtica dioica*, *Rumex alpestris*, *R. alpinus*, *Polygonum bistorta*). Observed diversity indicates that some of the studied species prefer ammonium, others prefer nitrate still others prefer both of the mineral N forms as a main nitrogen source.

There are also NRA differences between different growth forms: woody species (dwarf shrubs, shrubs and trees) are characterized by the lowest NRA values, whereas ferns, rushes, sedges and dicotyledonous herbs exhibited moderate NRA, whereas dicotyledonous nitrophilous herbs showed the highest NR activities.

NRA value depends on the plant taxonomic position mainly, and to a lesser extent on the ecological conditions and it probably falls within the species specific a reaction norm. It has been shown that in the highly situated habitats of Karkonosze, with extremely high acidic, poor in nitrates soils, ammonium ions predominate in the mineral nitrogen pool.

Studied plant communities vary in many aspects of nitrogen transformations. Dwarf scrub heaths dominated by *C. vulgaris* are characterized by the lowest mineral nitrogen pool and DON, but the highest soil C:N ratio. Moreover, the rate of net nitrogen mineralization is lowest in this

community. Additionally *C. vulgaris* exhibit the lowest leaf total nitrogen content and leaf NRA. Contrary to this community there are nitrophilous tall-forb former pasture dominated by *R. alpinus*. Soil of this community is dominated by nitrate nitrogen and the rate of net N mineralization is the highest one with the prevalence role of nitrification. Soil C:N ratio in this community is the lowest one. *R. alpinus* is characterized by total leaf N content and leaf NRA many fold higher than in other species. Dwarf mountain pine scrub is characterized by moderate soil inorganic nitrogen content, but the highest amounts of DON and the lowest pH. The soil C:N ratio is one of the highest. The net N mineralization rate, compared to two earlier mentioned communities, is moderate with nearly equal rate of nitrification and ammonification processes. *P. mugo* - the dominant species of this community, exhibit the lowest total leaf nitrogen content and one of the lowest leaf NRA. Soil of subalpine acidic swards, similarly to dwarf mountain pine scrubs, are characterized by moderate soil mineral nitrogen content, with the prevalence of ammonium, and moderate C:N ratio. Soil DON content in this community show one of the highest values of the studied communities. The net N mineralization rate is moderate with prevalence of nitrification processes. In the *N. stricta* leaves the total N content and NRA show moderate values (compared to tall-forb former pasture and dwarf scrub heaths).

Multivariate analyses (PCA, DCA, CCA) indicated that the most important environmental factors which influence nitrogen transformations in high altitude plant communities are: the height above sea level, pH, soil nitrate to ammonium ratio and soil ammonium content.

16.07.2018

Adam Rysz