

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06142

研究課題名（和文）微量窒素同位体比分析を用いた北方林生態系における樹木の硝酸態窒素利用実態の解明

研究課題名（英文）Investigation of nitrate utilization in a boreal forest ecosystem using nitrogen isotope analysis

研究代表者

小田 あゆみ (Oda, Ayumi)

信州大学・学術研究院農学系・助手

研究者番号：40571609

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、これまで北方林や高標高域の低温環境下の森林土壌中に少なく、樹木の窒素源として考慮されていなかった硝酸態窒素について、樹木の窒素源としての役割と樹種ごとの吸収利用能力について明らかにした。その結果、硝酸態窒素は樹種によって吸収能が異なり、吸収利用している樹種でも、斜面内の位置や標高などの生育環境によって吸収量が変化することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、これまで土壌中の存在量が少なく、通常の分析では検出が難しかった硝酸態窒素の樹種ごとの利用実態を明らかにし、北方林樹木の生産性に関わる土壌からの窒素吸収モデルを精緻化できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the role of nitrate as a nitrogen source for trees and the plasticity of their ability to uptake nitrogen, which has not been considered as a nitrogen source for forest trees in boreal forests or in low-temperature environments at high elevations. As a result, the absorptive capacity of nitrate-nitrogen differed among tree species, and even among tree species using nitrate-nitrogen absorption, the amount of nitrate-nitrogen absorbed varied depending on the growth environment, such as elevation. Nitrate requires more energy for assimilation than other forms of nitrogen. This study showed that forest trees in low temperature and oligotrophic environments adjust their ability to use and absorb nitrate according to their growth environment.

研究分野：樹木生理生態学、森林科学

キーワード：窒素同位体比 北方林 硝酸態窒素 窒素利用

1. 研究開始当初の背景

窒素は植物の成長に不可欠の元素であり、窒素の利用可能性は森林の成長量を決定する主要因である (Vitousek and Howarth 1991; LeBauer and Treseder 2008)。森林生態系中に存在する窒素には様々な化学形態があり、その一つである硝酸態窒素は、熱帯や温帯の森林樹木の重要な窒素源だが、低温環境下では生成されにくいと考えられており、北方林生態系の窒素源として考慮されていなかった。しかし近年、同位体分析技術の発展により、土壌中には見えない硝酸態窒素も植物の窒素源となっていることが報告され (Liu et al. 2018)、北方林の窒素循環量を過小評価している可能性が指摘されている。北方林の高い炭素蓄積量を支える樹木の窒素吸収利用について硝酸態窒素を含めた窒素利用の実態を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本課題では、北方林などの低温環境下にある森林の窒素源の一つとして、硝酸態窒素の利用実態と重要性を明らかにすることを目的とする。これまで、硝酸態窒素が北方林樹木の窒素源として考えられてこなかった理由として、硝酸態窒素の同化に必要な酵素が基質誘導性であるため、土壌中の硝酸態窒素濃度の低い環境では利用が少ないと予想されたこと、同化の際にも大きな還元エネルギーが必要という点等が考えられる (小山 2004)。そのため、硝酸態窒素の利用効率は樹種や生育環境により異なることから、樹種ごとに葉内に存在する硝酸態窒素の濃度を調べ、土壌中の硝酸態窒素の存在量とその吸収量について評価することを目的とした。

3. 研究の方法

調査地として、北方林の南限に位置し、北方林を構成するマツ属、カラマツ属、カンバ属など複数の樹種が生育するモンゴル国立大学の Udleg 演習林とした。2019年8月に森林内の斜面に調査プロットを設置し、約20~30m間隔に等高線方向に5本、斜面方向に3本の調査ラインを設定し、ラインの交点となる15か所から土壌と周辺に生育する樹木の葉を採取した。植物試料は乾燥・粉砕後に葉内の窒素を抽出し、微量同位体比測定システムにより窒素濃度および窒素同位体比を測定した。土壌試料は抽出液中の無機態窒素濃度を比色定量した後、微量同位体比測定システムにより形態別の同位体比を測定した。2020年以降も調査を継続する予定であったが、COVID-19の世界的な流行により、モンゴルへの渡航および微量同位体比測定システムが難しくなったため、調査地を北方林と構成樹種が共通し、低温環境下にある日本の山岳地帯に変更した。信州大学の西駒および乗鞍ステーションに設置された標高の異なる定点観測プロットを利用し、様々な生育環境下から複数の樹種を対象として樹木葉と土壌中の窒素動態の測定を実施した。

4. 研究成果

(1) 樹種による葉内硝酸態窒素濃度の違い

モンゴル国立大学の Udleg 演習林に生育する5種の樹木の葉内に存在する硝酸態窒素の濃度を調べたところ、シラカバが最も高く、ヨーロッパアカマツが最も低かった。北方林に生育するカンバ属の樹木は、春の展葉期に特に硝酸還元酵素の働きが活発になることが報告されており (Koyama and Kielland 2022)、本調査地においても硝酸態窒素が重要な窒素源である可能性が示された。ただし、十分な個体数が確保できなかったため、今後の調査が必要である。

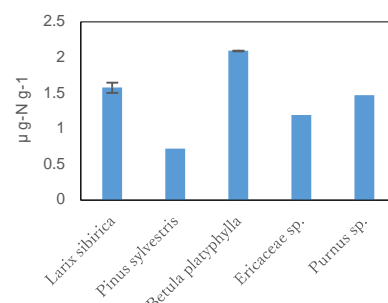


図1 樹種別の葉内硝酸濃度

(2) 硝酸態窒素濃度と樹木の吸収利用の関係

森林土壌中にはアンモニア態窒素の存在量が多く、硝酸態窒素は斜面上部で多く、下部で少なかった (図2)。調査地の森林では、尾根部には乾燥に強いヨーロッパアカマツが生育し、斜面中腹にカラマツとシラカバが混交する。葉内硝酸態窒素濃度の高いシラカバが優占する斜面下部では、土壌中の硝酸態窒素量も少なかった (図2)。窒素同位体比を測定し

たところ、土壌中のアンモニア態窒素の同位体比はおよそ-2‰であったのに対し、硝酸態窒素は-4 -9‰であった(図 2)。硝化過程で窒素同位体比が約-5 ‰低下するため、同位体比の違いは硝化による同位体分別のためと考えられた。ただし、斜面下部では硝酸態窒素の存在量が少なく、同位体測定に必要な試料量を確保できなかった。

樹木葉の窒素同位体比は樹種ごとに異なったものの、高木種で低木種より高い傾向があった。菌根菌などの窒素同位体比に影響を与える要因が複数ある中でも、高木の葉ではアンモニア態窒素の同位体比に近い高い値を示したのに対し、低木では硝酸態窒素に近い値を示すものが多かった。樹種ごとに葉内に存在する硝酸態窒素量に違いがあるほか、硝酸態窒素の吸収利用様式には樹種特性や生育環境による違いがあることが明らかになった。

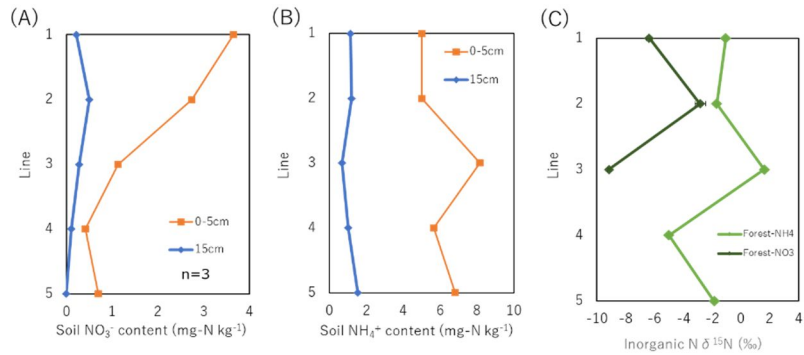


図 2 土壌中の無機態窒素濃度(A:硝酸態窒素、B: アンモニア態窒素)と同位体比(C)

(3) 日本の山岳域での成果

山岳地帯の標高差を利用したプロットでは、樹種ごとの硝酸態窒素利用可能性を明らかにするため、複数の樹種を対象として根系を掘り出し、窒素溶液に一定時間浸漬し濃度変化を求める浸漬法による調査をおこなった。その結果、日本の山岳地域でも、硝酸態窒素の吸収利用は樹種特性や生育環境による違いがあることが明らかになっている (Ito et al. 2023)。温暖化により、北方林や高標高域の有機物分解が進み、森林の窒素循環が変化する可能性が指摘されているが、窒素循環そのものが解明されていない部分も多く、今後も森林樹木の窒素吸収の種特性や生育環境との関連等を明らかにする必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ito, T., Tanaka-Oda, A., Masumoto, T., Akatsuki, M., & Makita, N.	4. 巻 28
2. 論文標題 Different relationships of fine root traits with root ammonium and nitrate uptake rates in conifer forests	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 25-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/13416979.2022.2102752	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤拓生・小田あゆみ・増本泰河・橋本裕生・宮本裕美子・牧田直樹
2. 発表標題 山岳域における樹木細根の窒素吸収機能の全容：標高による変化の解明
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田あゆみ・伊藤拓生・武居玄・牧田直樹・小林元
2. 発表標題 山岳域の標高に沿った土壌中の無機態窒素濃度と植物根による吸収量の変化
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Ito, Ayumi Oda, Maiko Akatsuki, Taiga Masumoto, Naoki Makita
2. 発表標題 The relationship of inorganic nitrogen uptake with fine root traits of four conifers in cool temperate forest
3. 学会等名 International Society of Root Research 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤拓生・小田あゆみ・増本泰河・橋本裕生・牧田直樹
2. 発表標題 山岳域の樹木細根による無機態窒素吸収は標高差によって変化するのか？
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田あゆみ・安江恒・城田徹央・Gerelbaatar Sukhbaatar・Soronzonbold Bayarbaatar・Baatarbileg Nachin・山中典和
2. 発表標題 モンゴル森林ステップの森林と草原に生育する木本種の炭素および窒素同位体比
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	小林 元 (Kobayashi Hajime)	信州大学・農学部	
研究協力者	牧田 直樹 (Makita Naoki)	信州大学・理学部	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
モンゴル	National Univercity of Mongolia			