

(論文内容の要旨)

近年、人為的な窒素酸化物排出量の増加に伴う窒素降下物量の増大が懸念されている。降下した窒素は様々な形態をとるが、このうち硝酸態窒素は負電荷を持つため土壌の負電荷と反発して生態系外に流出しやすい。窒素降下物として生態系に供給される窒素量が、生態系が保持できる量を超えると、余剰の窒素は硝酸態窒素となり生態系外に溶脱して地下水や河川水を汚染する。しかし、植生がある地域では植物が硝酸態窒素を吸収・同化することにより硝酸態窒素の系外への流亡が軽減される。アジア地域では今後更なる窒素降下物量の増大が予想されるため、水源に多く位置する森林生態系の水質浄化機能は重要である。とりわけ、日本では大陸からの季節風が吹き込む冬季に降下物量が多くなることが示唆されている。このため、冬季も含めた森林植物の硝酸態窒素利用特性の理解が急務である。本論文では森林植物の硝酸態窒素利用に関して、成長期だけではなく冬季も含めた季節性を考慮して調査を行った。本論文は以下に示した6つの章から構成されている。

第1章では、植物の窒素源としての硝酸態窒素の重要性と森林生態系の窒素循環における森林植物による硝酸態窒素利用の役割の概要を説明し、森林植物の硝酸態窒素利用を冬季も含めて明らかにする重要性を指摘した。

第2章では、落葉広葉樹のコナラを材料として、窒素の安定同位体で標識した硝酸態窒素を吸収させる試験を成長期と冬季にそれぞれ行い、硝酸態窒素利用を評価した。その結果、硝酸態窒素は成長期には樹冠において新葉の形成に寄与した一方、冬季にも硝酸態窒素が吸収・同化されて根に保持された。落葉樹のコナラは冬季には葉をつけていないにもかかわらず、硝酸態窒素利用を行うことが明らかとなった。

第3章では、常緑針葉樹のアカマツを材料として、冬季の硝酸態窒素の吸収試験を行い、アカマツも硝酸態窒素を冬季に吸収し、大部分を根に保持することを明らかにした。また、常緑樹であるアカマツの葉では窒素濃度が冬季に低下したが、あらかじめ冬芽を除去した個体では葉の窒素濃度の低下は見られなかったことから、冬季には葉から芽への窒素の転流が起こることが示唆された。すなわち休眠期とされてきた冬季にもアカマツは地下部では硝酸の形態で窒素の獲得を行い、地上部では窒素配分の最適化を行うことが示唆された。

第4章では、近年西日本を中心に分布拡大が報告されているモウソウチクの硝酸態窒素利用を調査した。モウソウチクは旺盛な成長によって分布の拡大を可能にしているが、その成長に関わる窒素利用についてはほとんど知見がない。本章では、植物の硝酸態窒素

利用の指標となる硝酸還元酵素活性(Nitrate Reductase Activity: NRA)を用いてその季節性を調査した。モウソウチクでは葉・枝・稈・根のいずれの部位においても年間を通してNRAが検出され、冬季も含めて年間を通して硝酸態窒素を利用できることが示唆された。さらに、タケノコの成長期にはタケノコとタケノコの皮において高いNRAが検出されたことから、成長中の部位における硝酸態窒素の利用が盛んに起こっていることを示唆した。

第5章では、京都市内の二次林において土壌の硝酸態窒素の可給性を明らかにするために、硝酸態窒素の現存量・生成速度の季節性を測定した。同時に、針葉樹・常緑広葉樹・落葉広葉樹を含む対象植生に優占する10種を選び、根のNRAの季節変化を調べた。さらに植物にとって、土壌中の窒素を巡る競争相手として重要である土壌微生物の現存量の季節変化を測定した。その結果、硝酸態窒素現存量には有意な季節変動は見られず、土壌中には年間を通して硝酸態窒素が存在することがわかった。一方、硝酸態窒素生成速度は植物の成長期には不動態化傾向が見られたのに対し、冬季には硝酸態窒素生成が活発に起こることがわかった。微生物現存量は成長期に増加、冬季に減少し、冬季に微生物から窒素が放出されることがわかった。植物のNRAの変動はほとんどの種で冬季に高くなる傾向が見られた。以上のことから、土壌の硝酸態窒素可給性は微生物の減少の影響を受けて冬季に高まり、植物の硝酸態窒素利用も冬季に活発になる可能性が示唆された。結果として、本調査地のように冬季に硝酸態窒素の可給性が高まる場所では、冬季に硝酸態窒素を利用することは植物にとって適応力を高める上で重要であることを指摘した。森林生態系の窒素循環において、微生物の働きが小さく、硝酸態窒素が盛んに生成される冬季に植物が硝酸態窒素吸収能を保持していることは、窒素の系外への流亡を軽減する上で重要である可能性を示した。

第6章では、第2章から第5章までの結果を総括し、森林植物の硝酸態窒素利用について、植物の部位レベル・個体レベルから森林生態系の窒素循環までの様々なスケールで議論を行った。

以上のように、本論文は、常緑性ならびに落葉性の森林植物について硝酸態窒素利用の季節性を冬季も含めて調査し、植物の部位レベル・個体レベルから森林生態系における微生物－土壌－植物間の窒素循環までの様々なスケールで森林植物の冬季の硝酸態窒素利用特性を明らかにし、その重要性を見出した。

(論文審査の結果の要旨)

森林生態系の窒素循環に関する研究において、森林植物による窒素利用様式は最も理解が遅れている分野の一つである。とりわけ、硝酸態窒素は土壌中での移動性が高く、近年では人為的な窒素酸化物排出量の増加に伴う森林生態系への降下量の増大から硝酸態窒素の系外への流出が懸念され、森林植物の硝酸態窒素利用特性を明らかにすることが急務である。本論文は、常緑性ならびに落葉性の森林植物の硝酸態窒素利用特性について、植物個体および森林生態系レベルから明らかにすることを、これまで植物の休眠期とされてきた冬季も含めて試みたものである。特に評価すべき点は、以下のとおりである。

1. 落葉広葉樹のコナラについて、冬季の硝酸態窒素吸収量を定量し、さらに吸収された硝酸態窒素の大部分が同化されたことを明らかにした。これは落葉性の植物の葉がない時期の窒素獲得を示す重要な知見である。

2. 常緑針葉樹のアカマツについても、冬季の硝酸態窒素吸収量を定量し、各部位への配分を明らかにした。このことから、窒素が成長を制限する環境への植物の適応を理解する上で冬季の窒素獲得も含めて考える必要性を指摘した。

3. 分布拡大が報告されるモウソウチクについてNRAの測定から、モウソウチクは冬季も含めて年間を通して硝酸態窒素利用を行うことを示唆した。さらに、成長期にはタケノコとタケノコの皮で高い活性が検出され、成長中の器官において硝酸態窒素利用が盛んに起こることを示唆した。このことは、モウソウチクの旺盛な成長を可能にする窒素利用機構を解明する上で重要な知見である。

4. 土壌から植物への硝酸態窒素可給性の季節的な変化について冬季も含めた調査を行い、植物にとって窒素を巡る競争相手である土壌微生物の動態が植物への硝酸態窒素可給性に大きく影響し、微生物現存量が減少する冬季には植物への硝酸態窒素可給性が増す可能性を指摘した。このことから、硝酸態窒素の生態系外への流出を軽減するために森林植物が果たす役割を評価する際に冬季も含めた包括的な調査が必要であることを示した。

以上のように、本論文は、植物の部位レベル・個体レベルから森林生態系における微生物－土壌－植物間の窒素循環までの様々なスケールで森林植物の硝酸態窒素利用について調査し、特にこれまで休眠期とされてきた冬季の硝酸態窒素利用について明らかにしたものであり、植物栄養学、森林育成学および森林生態学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成21年7月15日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。