

令和 7 年 5 月 1 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K05879

研究課題名（和文）作物生育と微生物活動に着目した水分移動過程における畑地土壌中の窒素動態

研究課題名（英文）Nitrogen dynamics in upland soils associated with soil water flow, crop growth, and microbial activity

研究代表者

武藤 由子（MUTO, Yoshiko）

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：30422512

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：土壌中での窒素炭素動態の理解は、農業の持続的展開や気候変動への適応などの課題解決のために重要である。しかし、これらと土壌微生物活動や植物の生長といった生物活動を関連付けた研究は極めて遅れている。そこで本研究では、コマツナの根の分布・吸水・窒素吸収および微生物活動が水分移動過程における土中の窒素動態に与える影響を明らかにするための一次元カラム実験を行い、実験結果の数値モデルでの再現を試みた。その結果、コマツナの根が水と窒素を吸収するという現象と土壌中の水分および窒素分布の変化との相互作用についての新たな知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界的な食料問題の解決において、農業の持続的展開・気候変動への適応・生態/環境との調和・エネルギーの節減は喫緊の課題である。これらは土壌中における窒素炭素動態と関わっているため、現象に関わる物理的・化学的・生物学的諸条件の相互的な関連を明らかにしてメカニズムの解明を進める必要がある。本研究の特色は「根の分布・吸水・窒素吸収」と「硝化・脱窒」を関連付けて土中の窒素動態を扱った点であり、その成果は、研究が加速している土壌物質動態解析を含む作物生長モデルの高精度化や、ICTを導入した灌水と施肥技術の開発に必要な実際の農地に即した土壌条件での窒素動態を予測に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：Understanding nitrogen and carbon dynamics in soils is essential for addressing challenges such as sustainable agricultural development and adaptation to climate change. However, research that links these dynamics with biological activities, such as soil microbial processes and plant growth, is still significantly lagging behind. In this study, we observed soil water and nitrogen profiles during Komatusna growth and investigated the effect of root water and nitrogen uptake and microbial activity to the profiles. The results provide new insight into the effects of water and nitrogen uptake by the roots of Komatusna on changes in soil water and nitrogen distribution.

研究分野：土壌物理学

キーワード：窒素動態 水分移動 作物生育 土壌微生物

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界的な食料問題の解決において、農業の持続的展開・気候変動への適応・生態/環境との調和・エネルギーの節減は喫緊の課題である。これらは全て、土壌中における窒素炭素動態と関わっている。窒素炭素動態については、植物生理に基づく研究や、大気海洋の循環を考えた研究など様々な分野において調査やモデル化が進んでいるが、分野間での連携は必ずしも進んでいない。土壌中については、これまでに物理的・化学的な要素研究が多くなされてきた。しかし、これらと土壌微生物活動や植物の生長といった生物活動を関連付けた研究は極めて遅れている。食料問題や気候変動といった土壌中の窒素炭素動態に関わる種々の問題を解決するためには、現象に関わる物理的・化学的・生物的諸条件の相互的な関連を明らかにしてメカニズムの解明を進める必要がある。温暖化を挙げれば、近年、世界中で人命を脅かす気象災害が多発しており、更に強力な温暖化緩和策が急務と IPCC でも報告されている。農業生産も温室効果ガス(亜酸化窒素・メタン)の大きな発生源であり、今後も食料不足が問題となっている国々の食料生産量の増大により温室効果ガスの発生量が増す可能性がある。土壌中での窒素炭素動態は、水分溶質移動・土壌微生物活動・植物の根からの吸収の相互作用の結果である。今後、この三者の関係が明らかとなり、作物の栽培管理や施肥・水管理の方法といった技術開発が進めば、温室効果ガス発生量の軽減が期待できる。そこで、申請者らはこれまでに水分移動(灌水・蒸発)と土壌微生物活動の関係に着目した研究を行ってきた。しかし、農地では作物の根による吸水と窒素の吸収を無視できない。

土壌中の窒素動態に着目すると、好氣的条件下では無機化と硝化、嫌氣的条件下では脱窒が主にみられる。これら一連の窒素の形態変化は一次反応式で近似されることが多く、これを水分溶質移動式に組み込むことで水分移動にともなう各態窒素の移動と予測が可能である。申請者らは、一次反応式に用いる土壌微生物反応の程度を表す速度定数に対し、水分移動とその速度が及ぼす影響を組み込んだモデルを構築した。しかし、これは無植生の条件であった。灌水や蒸発だけでなく根の吸水も土壌水分量や Eh, pH を変化させ、硝化や脱窒の速度定数に影響すると考えられる。加えて、根系の発達透過係数や熱伝導率といった土壌の物理特性を変化させることで土壌微生物活動に影響することも考えられる。もちろん、根は無機態窒素の吸収に受動的あるいは能動的に関与し土中の窒素動態に直接影響する。無機態窒素の吸収は一見単純そうだが、吸水速度と硝酸の吸収速度が異なるとする報告もある。また、有機態窒素を直接吸収するという新しい知見もある。つまり、作物の生長段階で変化する根系分布・根の吸水・窒素吸収が硝化・脱窒に与える影響を考慮しなければ、農地での水分移動過程における窒素動態について、更なる現象の理解と現実に即した予測は不可能といえる。

2. 研究の目的

本研究では、コマツナの生育過程における土壌中の水分量・アンモニア態窒素量・硝酸態窒素量・根密度分布の変化を観測するためのコマツナ栽培下における次元カラム実験を行った。具体的には、実験条件として日射量と初期条件の窒素濃度を変化させ、コマツナによる吸水速度・窒素の吸収濃度・土壌中の水分量・アンモニア態窒素量・硝酸態窒素量、また、アンモニア態窒素濃度・硝酸態窒素濃度の分布の変化の相互関係を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

実験には岩手大学圃場の休耕畑表層から採取した黒ボク土の 2 mm ふるい通過分を用いた。土粒子密度は 2.69 g/cm^3 、土性は砂質土壌であった。これを内径 8 cm、高さ 25 cm(5 cm \times 5 層)のアクリル製カラムに乾燥密度 0.9 g/cm^3 、体積含水率 $\theta = 0.4$ になるよう KNO_3 溶液を加えながら充填し、ここに育苗ポットで本葉が二枚になるまで育てたコマツナを移植した。TEROS21(METER 社)で 2.5, 12.5, 22.5 cm 深さの土中水圧 h を測定した。コマツナの吸水量と吸水速度はカラム全体の質量変化から求めた。これを気温 25°C 、日照時間を 24 時間($14, 42 \text{ kW/m}^2$)の人工気象器に入れて実験を開始した(図 1)。加えた KNO_3 は 0.0013 g/g 、 0.0002 g/g で、実験期間は核実験の積算吸水量が 230 g となるよう定めた。給水は無しとした。実験開始時と途中、終了時にカラム内の θ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 量、 $\text{EC}_{1:5}$ 、pH、根長分布、コマツナ地上部の全窒素量を測定した。実験結果の解析には Hydrus1D 及び HP1 プログラムを用いた。

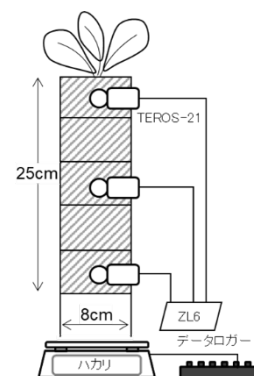


図 1 実験装置図

4. 研究成果

(1) 吸水速度

日射量の異なる条件下でのコマツナによる積算吸水量と吸水速度の関係を調べた(図 2)。吸水速度はコマツナの生長に伴って増加したが、土壌水分量が減少すると減少した。吸水速度が減少に転じた積算吸水量での土中水圧は成長阻害水分点付近であった。また、吸水速度は日射量の

多い条件で大きかった。添加 KNO_3 量の異なる条件下でのコマツナによる積算吸水量と吸水速度の関係調べた (図 3)。吸水速度はコマツナの生長に伴って増加したが、土壌水分量が減少すると減少した。また、吸水速度は積算吸水量が 70g 程度までは添加 KNO_3 量による違いは見られなかったが、その後は KNO_3 量が少ない条件で大きかった。

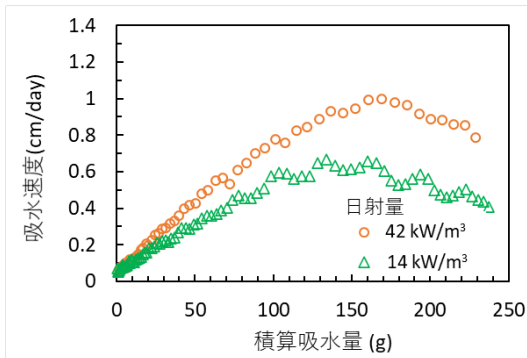


図 2 日射量の異なる条件下での吸水速度
添加 KNO_3 0.0013g/g

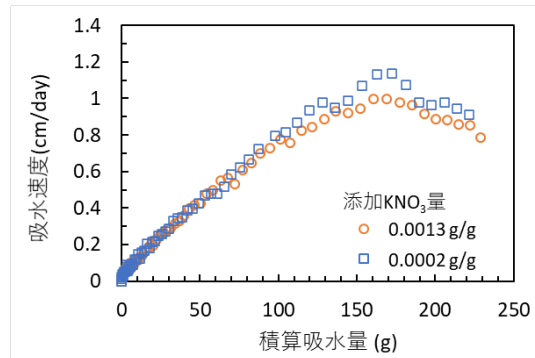


図 3 添加 KNO_3 の異なる条件下での吸水速度
日射量 42kW/m³

(2) 根長分布

根は添加した KNO_3 量が少ない条件では上層で多く下層で少なく分布したが、添加した KNO_3 量が多い条件では上層と下端での分布量の差が小さかった。

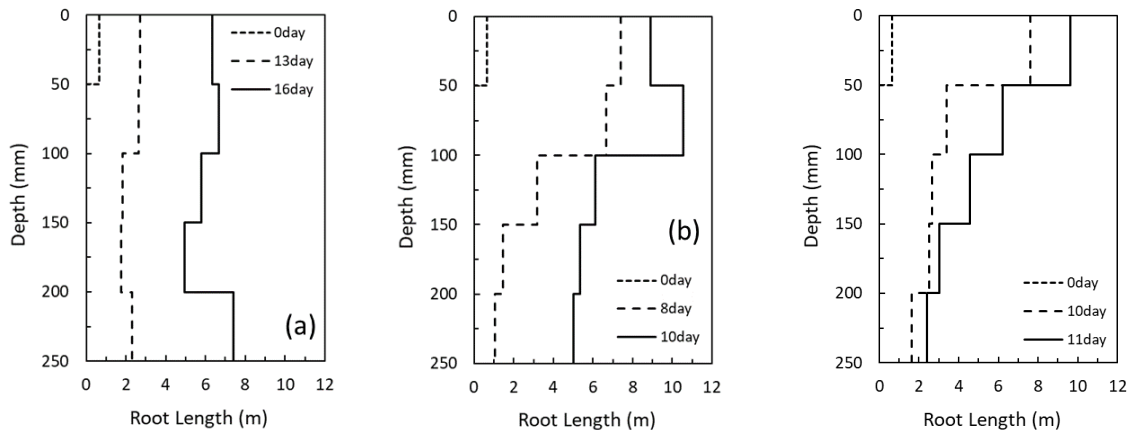


図 4 根長分布 (a) KNO_3 0.0013g/g, 14kW/m³, (b) KNO_3 0.0013g/g, 42kW/m³, (c) KNO_3 0.0002g/g, 42kW/m³

(3) 体積含水率, $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布の変化

各実験条件における、体積含水率, $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布の変化を図 5～図 7 に示した。全ての条件において、体積含水率は全層で等しく減少した (図 5～図 7 の(a))。積算吸水量を等しくしたため、実験終了時の体積含水率も等しくなった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 量も全ての実験条件において全層でほぼ等しく、若干の増減はあるものの大きな変化は見られなかった (図 5～図 7 の(b))。易分解性有機物の無機化による増加と硝化による減少が $\text{NH}_4\text{-N}$ 量に影響したと考えられる。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の全体量は全ての実験条件において、コマツナによる吸収で減少した。一方、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量の分布は添加した KNO_3 量によって異なった。添加した KNO_3 量が多い条件では、実験期間中に上層での $\text{NO}_3\text{-N}$ 量が増加し、下層では減少した (図 5 と図 6 の(c))。この $\text{NO}_3\text{-N}$ の分布を濃度に換算してみると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は実験期間中に上層で大きくなり、下層ではあまり変化しなかった (図 5 と図 6 の(d))。また、コマツナの全窒素量と吸水量から求めた、コマツナが吸収した $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は土中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度よりも小さかった (図 5 と図 6(d)の実線)。添加した KNO_3 量が少ない条件では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量の分布は常に全層でほぼ等しく減少した (図 7 の(c))。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は上層で若干が増加したが、大きな変化は見られなかった (図 7 の(d))。また、コマツナが吸収した $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は土中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度よりも若干大きい程度でほぼ等しかった (図 7(d)実線)。このような $\text{NO}_3\text{-N}$ 分布の違いには、コマツナの吸水に起因する水移動および、土中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度とコマツナが吸収する $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度との関係が影響していると考えられる。

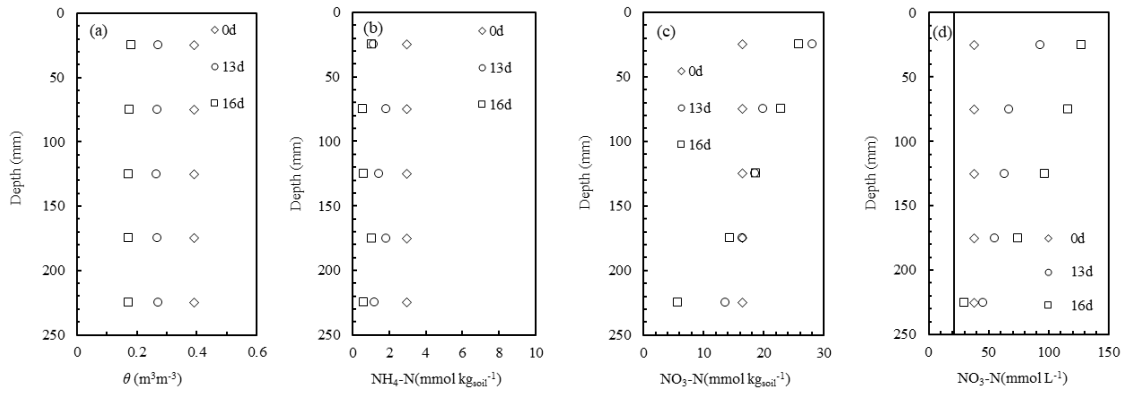


图 5 体積含水率, $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布 (KNO_3 0.0013g/g, 14kW/m^3)

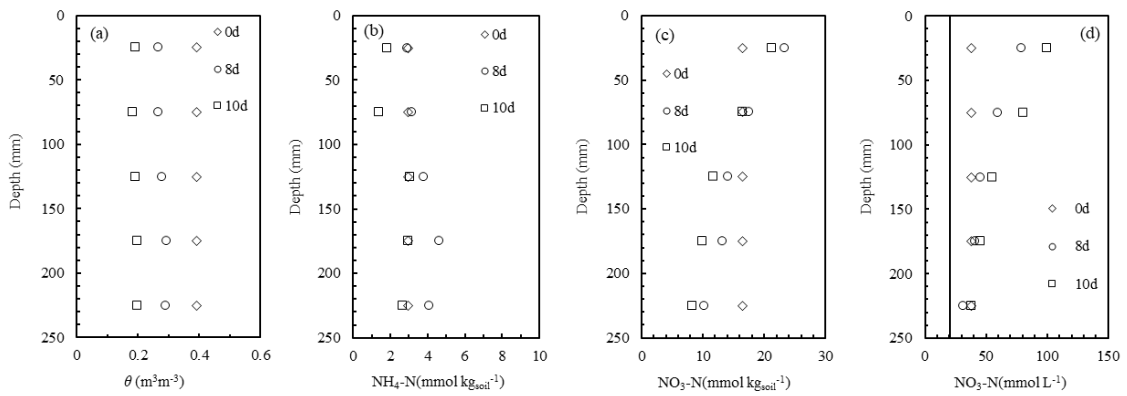


图 6 体積含水率, $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布 (KNO_3 0.0013g/g, 42kW/m^3)

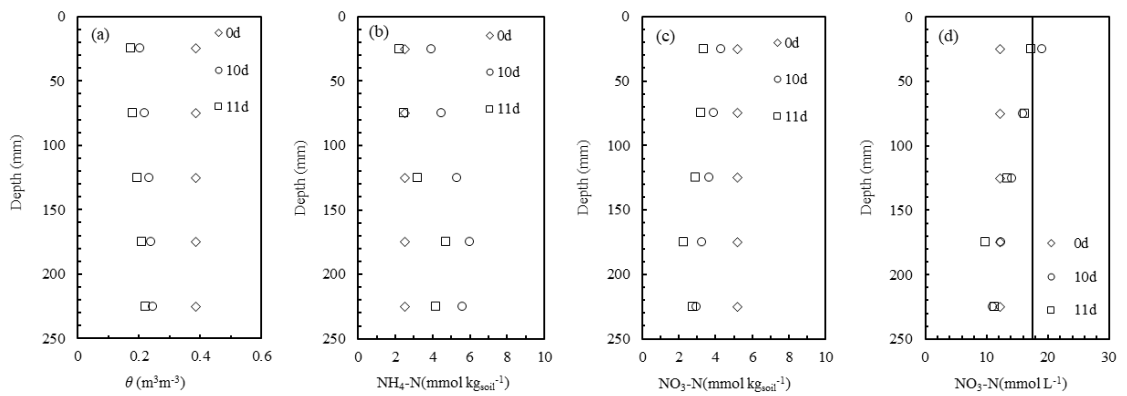


图 7 体積含水率, $\text{NH}_4\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布 (KNO_3 0.0002g/g, 42kW/m^3)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 茂庭里帆・渡辺晋生・武藤由子
2. 発表標題 コマツナの根による吸水と窒素吸収についての検討
3. 学会等名 2024年度農業農村工学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 MONIWA Riho, WATANABE Kunio, MUTO Yoshiko
2. 発表標題 Distribution of Soil Water and Nitrogen during the Growth of Komatsuna
3. 学会等名 PAWEES 2024 International Conference Taichung, Taiwan (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 武藤由子・渡辺晋生
2. 発表標題 土壌センサーTEROS-12を用いた土壌水分量と電気伝導率の推定
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2024年度福岡大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 茂庭里帆, 森谷泉水, 渡辺晋生, 武藤由子
2. 発表標題 コマツナの根が土壌水と硝酸態窒素の分布に与える影響
3. 学会等名 農業農村工学会大会後援会
4. 発表年 2023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 分担 者	渡辺 晋生 (Watanabe Kunio) (10335151)	三重大学・生物資源学研究科・教授 (14101)	

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
---------	---------