

論文の内容の要旨

農学国際専攻

平成 12 年度博士課程進学

岡本美輪

指導担当教官 岡田謙介

論文題目 **Studies of available forms of nitrogen in soils and their differential utilization by gramineous crops**
(土壌中に存在する利用可能な窒素の形態と数種のイネ科作物による吸収に関する研究)

1. 研究の背景と目的 (第 1 章)

農業における有機物の施用は、作物に必要な窒素 (N) を緩効的に供給して環境負荷を抑えるとともに、資源の有効利用という観点から、持続的な作物生産を行う上で重要な技術である。土壌に施用された有機物中の N は、微生物による分解を受けながら有機態 (タンパク質, アミノ酸等) を経て、最終的に無機態 (アンモニウム, 硝酸) へと無機化され、植物に吸収される。しかし、低温等で有機物の無機化が遅い環境条件に適応した植物では、無機態 N よりも土壌に蓄積しやすい有機態 N を優先的に吸収することが証明されている。農業生態系においても、無機化を待たずに有機態 N を吸収できる植物は、無機態 N のみしか吸収できない植物に比べて、窒素競合の面で有利であると考えられる。作物ではこれまでに、イネとトウモロコシがアミノ酸を吸収することが確認されている。一方、ソルガムとパールミレットは、世界の収穫面積がコムギ、イネ、トウモロコシ、オオムギに次ぐ重要な穀類であるが、有機態 N 吸収の可能性についてはまだ調べられていない。そこでまず、この 2 作物がおもに栽培される熱帯地域について、土壌中の各種 N 形態分布を調査し、有機態 N の相対的重要性を解明した。さらに、この 2 作物にイネ、トウモロコシを加えたイネ科 4 作物について、無機態および有機態 N に対する N 吸収特性を比較し、有機態 N 吸収の可能性を検討した。

2. 各種土壌中の窒素形態分布 (第 2 章)

アジア、南アメリカ、西アフリカの各地から集めた温帯性および熱帯性土壌 23 種を分析に供した。これらの土壌から、可給態 N として、2 M KCl 抽出法による無機態 N (アンモニウム, 硝酸) と、リン酸緩衝液抽出法による有機態 N (PEON: phosphate-buffer-extractable organic nitrogen) を抽出し、分析した。

PEON は、土壌の種類に関係なく一様に、分子量約 8,000 Da の N 化合物を含むことが、分子篩クロマトグラフィーによる分析から示唆された (図 1)。同様の傾向はこれまで日本の土壌分析では認められていたが、外国の熱帯性の土壌にも共通の物質が存在することを証明したのは本研究が初めてである。

各種土壌中の PEON 量は無機態 N 量のおよそ 4 倍であり、温帯性の土壌でおおむね多く、熱帯性の土壌で少ない傾向であった。一方、土壌全 N に占める PEON の割合は、温帯性の土壌で逆に低く、熱帯性の土壌で高かった。すなわち、熱帯性の土壌では PEON が主要な可給 N 形態であり、土壌 N における有機態 N の重要性が高いと考えられた。

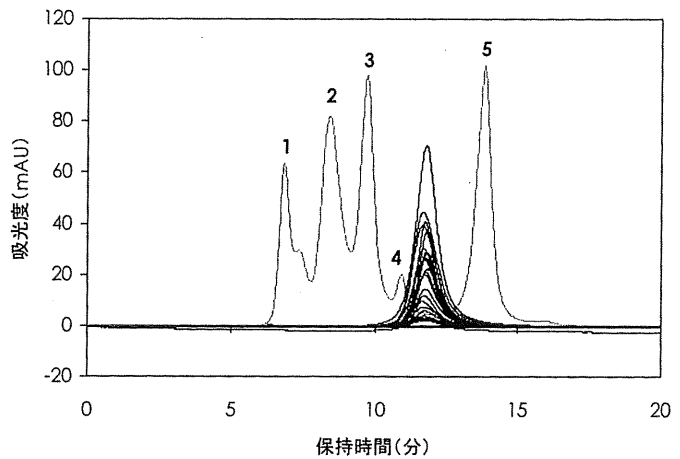


図 1 23 種類の土壌から抽出された PEON の分子篩 HPLC クロマトグラム。赤線は標準物質 1: Thyroglobulin (670,000 Da), 2: Gamma globulin (158,000 Da), 3: Ovalbumin (44,000 Da), 4: Myoglobin (17,000 Da), 5: Vitamin B-12 (1,350 Da)。

3. 有機態窒素に対するイネ科作物の反応特性 (第 3 章)

2000 年と 2001 年の 2 年間にわたり、茨城県つくば市において圃場試験を実施した。無 N 区 (0 kg N ha^{-1})、無機態 N 区 (150 kg N ha^{-1} , 尿素)、有機態 N 区 (150 kg N ha^{-1} , 米糠と稲わらの混合物, C/N 比 20) の 3 区を設け、ソルガム、イネ、トウモロコシ、パールミレットを栽培した。

施用 N 形態の違いに対する作物の生育反応は大きく 2 つのパターンに分かれた。ソルガムとイネは、米糠・稲わらを施用した有機態 N 区でもっとも生育がよく (図 2)、N 吸収量も高かった。一方、トウモロコシとパールミレットでは、処理間に生育の差は認められなかった (図 2)。いずれの作物も、開花後は処理間差がみられなくなった。

そこで、開花前の時期について土壌中の N を調べたところ、無機態 N 量は処理間差がみられなかったのに対し、PEON 量は有機態 N 区でもっとも高かった。すなわち、ソルガムとイネの生育は土壌中の有機態 N 量と、トウモロコシとパールミレットは無機態 N 量とそれぞれ対応することが明らかとなった。

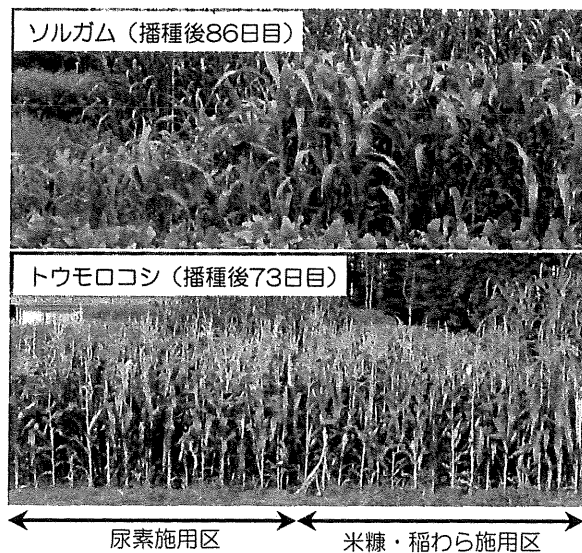


図 2 圃場におけるソルガムとトウモロコシの生育。

4. イネ科作物による有機態窒素吸収の可能性の検討 (第 4 章)

次に、人工気象室内でポット試験を行った。パーミキュライトを添加した畑土壌に、N量として $500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ soil}$ を、硝酸アンモニウム（硝安区）、米糠（米糠区、C/N比12）、米糠と稲わら（米糠・稲わら区、C/N比20）の形態でそれぞれ施用し、対照区（無N区）にはNを施用しなかった。また、リンとカリウムの施用量は、有機物に含まれる量を考慮して、各処理区で統一した。各土壌を 25°C で14日間培養後、4作物を移植し、室温 25°C の人工気象室内で21日間栽培した。

土壌中の無機態N量は、硝安区でもっとも高く、つづいて米糠区、米糠・稲わら区、無N区の順に低くなった（図3）。一方、PEON中のタンパク態N量は、米糠・稲わら区でもっとも高く、米糠区がそれに次ぎ、硝安区と無N区は低い値であった（図3）。

作物の生育反応は、圃場試験と同様に、大きく2つのパターンに分かれた。すなわち、ソルガムとイネは、硝安よりも有機物を施用した区でN吸収量が高くなる傾向がみられ（図4）、土壌中のタンパク態N量を反映した結果となった。それに対し、トウモロコシとパールミレットのN吸収量は土壌中の無機態N量の傾向と類似していた（図4）。根の長さ、表面積、フラクタル次元などの根系形質には処理間差があまりなかったことから、生育の違いは根系構造ではなく栄養条件の違いによってもたらされたと考えられた。

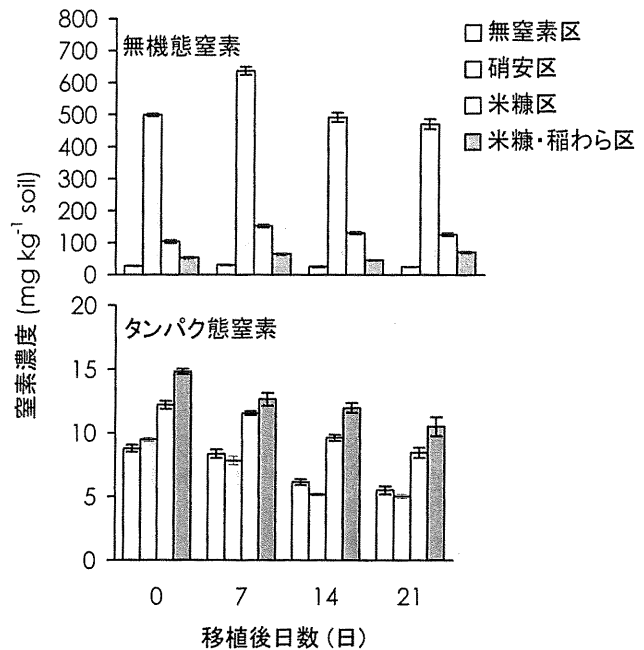


図3 非栽培土壌中の無機態およびタンパク態窒素濃度の推移。グラフの値は平均値±標準誤差。

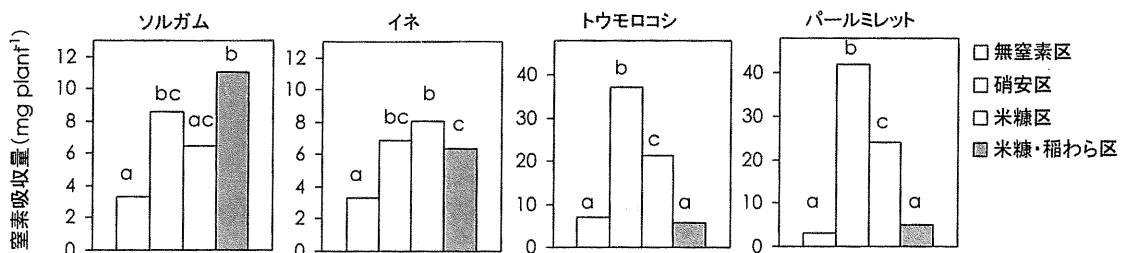


図4 移植後21日目における4作物の窒素吸収量。図中の異なるアルファベットは5%水準で有意な処理間差があることを表す。

そこで、無機態Nである硝酸が吸収される際にカウンターイオンとして同時に吸収が高まるカリウムについて、各作物の含有率を調べたところ、ソルガムとイネでは処理間差がほとんどみられなかったのに対し、トウモロコシとパールミレットでは硝安区で特に高かった。このことから、トウモロコシとパールミレットは、N源としておもに無機態Nを吸収していると考えられた。一方、ソルガムとイネの生育が、土壌無機態N量の少なかった米糠区や米糠・稲わら区で高まった理由として、これら2作物が無機態Nだけでなく、タンパク質のような有機態Nも吸収しているためと考えられた。

また、ソルガムの米糠区と米糠・稲わら区では、栽培土壌中の無機態N量が、非栽培土壌中に比べて減少しておらず（表1）、この両区では無機態Nが吸収されていなかったと考えられた。

一方イネではこの両区においても無機態 N 吸収が認められた。したがって、ソルガムの N 吸収は、土壤中の N 条件により、無機態か有機態のいずれかに偏る傾向があり、それに対しイネでは、N 条件にかかわらず、無機態と有機態を同時に吸収するという傾向の違いが示唆された。

表 1 移植後 21 日目における非栽培および栽培土壤中の無機態窒素量。() 内は非栽培土壌に対する割合%。

処理区	窒素濃度 (mg kg ⁻¹ soil)				
	非栽培土壌	ソルガム	イネ	トウモロコシ	パールミレット
無窒素区	24	16 (64)	11 (45)	15 (61)	12 (49)
硝安区	471	375 (80)	410 (87)	361 (77)	295 (63)
米糠区	126	132 (105)	96 (76)	79 (63)	39 (31)
米糠・稲わら区	71	78 (110)	27 (38)	14 (20)	18 (26)

5. イネ科作物による有機態窒素吸収速度の検討 (第 5 章)

さらに水耕試験を行い、有機態 N の吸収速度について検討した。水耕試験では有機態 N 源としてアミノ酸を用いることが多いが、本研究ではアミノ酸よりも土壌中の存在量が多いタンパク態 N を、土壌から直接抽出・精製して使用した。その結果、ソルガムとイネはトウモロコシよりも有機態 N 吸収速度が高く、パールミレットはほとんど吸収しないことが証明された (図 5)。

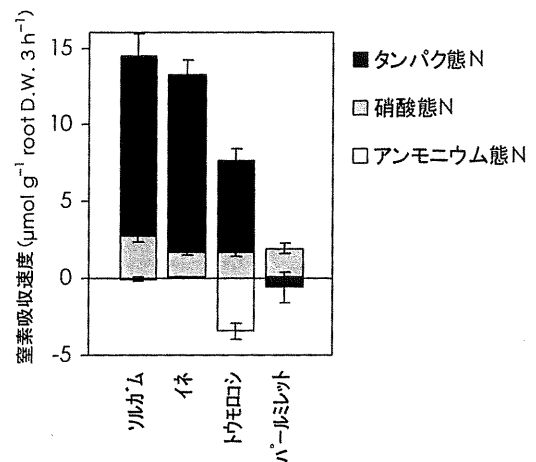


図 5 単位根あたり窒素吸収速度。グラフの値は平均値±標準誤差。

6. まとめ (第 6 章)

本研究により、土壌中のリン酸緩衝液抽出性有機態 N は、土壌の種類にかかわらず分子量がほぼ一定の均質な物質を含むと考えられ、特に熱帯性の土壌において重要な N 形態であることが明らかになった。また、世界的に主要な作物である、ソルガム、イネ、トウモロコシ、パールミレットについて、有機態 N 吸収能力を検討した結果、ソルガムとイネは土壌中の有機態 N を吸収する能力が高く、逆にトウモロコシとパールミレットは無機態 N 吸収に依存する傾向が強いことが示された。これまでイネとトウモロコシに関しては、有機態 N 吸収特性について既にいくつかの知見が報告されているが、ソルガムとパールミレットの特性の違いを明らかにしたのは本研究が初めてである。ソルガムとイネの有機態 N 利用特性は、有機態 N の相対的重要性が高い熱帯地域の土壌において、特に生育初期の N を効率よく獲得する上で有効に働くと考えられる。