

窒素過剰施用条件下におけるクロタラリアの生育と窒素吸収

大段秀記^{1,2)}・大門弘幸^{*1)}

(¹⁾大阪府立大学, ²⁾学振特別研究員)

要旨: マメ科緑肥作物として利用されているクロタラリア (*Crotalaria juncea* L., 品種: ネマコロリ) を窒素集積土壌におけるクリーニング作物として導入するための基礎的知見を得るために, 窒素施用量の異なる火山灰土壌を充填した大型コンテナポットで栽培し, 重窒素標識肥料を用いて窒素吸収量を供給される窒素の由来別に調査し, トウモロコシ (*Zea mays* L., 品種: ゴールドデント DK 789) と比較した. 播種後 60 日目の地上部乾物重は, 両作物ともに過剰施用区 (70 gN/m²) が少量施用区 (3 gN/m²) よりも多く, 両区間の差はトウモロコシで著しく大きかった. 過剰施用区ではトウモロコシはクロタラリアの約 3.5 倍の乾物生産を示した. 地上部全窒素含有量は乾物重と同様に, 両作物ともに播種後 60 日目では過剰施用区が多く, 少量施用区との差はトウモロコシのほうが大きかった. 過剰施用区ではトウモロコシの全窒素含有量はクロタラリアの約 1.8 倍であった. クロタラリアの地上部全窒素含有量に占める固定窒素の割合は, 少量施用区では約 75% であったが過剰施用区では 1% 未満であり, 根粒の着生はほとんど認められなかった. 過剰施用区におけるクロタラリアの吸収窒素量は 1 m² あたり換算で約 35 g となり, 窒素集積土壌においては固定窒素に依存せずに多量の窒素を吸収することが示された. すき込み資材の分解速度の指標の一つである C-N 率は, クロタラリアで約 15 と低く, 刈取り後に有機物資材として利用する際に容易に分解されることが示唆された.

キーワード: クリーニング作物, クロタラリア, 窒素過剰土壌, 窒素固定, 緑肥作物.

葉菜類の周年栽培が行われているハウスなどの施設内の土壌では, 降雨による肥料分の流亡がないために表層に塩類が集積して, 土壌が劣悪化することがしばしば問題となる. 特に収量や品質を大きく左右する無機成分である窒素は 1 年に 10 a あたり 100 kg 以上も施用されることが珍しくなく, 過剰塩類による生育阻害が発生している土壌もしばしば認められる (谷本ら 1985, 山下ら 1992). 集積した塩類を除去するための方策として湛水除塩が行われているが, 水源が近くにあり十分な水量が確保されており, 湛水後にそれらをハウス外に洗い流すことができるなどの条件が整っている必要があることから, 湛水除塩ができない施設も多い (石川・中村 1985). このような施設では, トウモロコシやソルガムのような生育旺盛な作物をクリーニング作物 (塩類除去作物) として栽培して土壌中の過剰塩類を吸収させ, それらを刈取ることによる塩類除去を試みている.

強靱で耐久性のある繊維を生産するクロタラリア (*Crotalaria juncea* L.) は, 熱帯から亜熱帯にかけて広く栽培されている熱帯原産のマメ科植物である. 著者ら (Yano ら 1994, Daimon ら 1995, Ohdan ら 1995, 大段・大門 1998 a) がすでに緑肥作物としての導入を試みている本植物は, 夏季に旺盛に生育することからこれらの土壌におけるクリーニング作物としての導入も期待される. しかし, クロタラリアにおいては塩類集積土壌における養分吸収に関する研究はほとんど行われておらず, 導入に先立ってその吸収特性を把握する必要がある. そこで本研究では, 本植物を化学肥料の過剰施用土壌における塩類

除去を目的としたクリーニング作物として導入するために, 特に窒素成分に着目して, 重窒素標識肥料を用いてこれらの条件下におけるクロタラリアの窒素吸収量を窒素固定, 肥料, 土壌のそれぞれから由来する窒素別に評価するとともに高い吸肥力をもつトウモロコシとの比較を行った.

材料と方法

1. 窒素過剰施用土壌の設定

火山灰土壌 (pH (H₂O): 5.8, EC: 108 μ S/cm, TN: 0.13%, TC: 2.77%) を充填したポリプロピレン製の 200 L 容コンテナポット (56×80 cm: 深さ 48 cm) を大阪府立大学農学部実験圃場にある透明ビニールで雨よけしたパイプハウス内に設置した. コンテナポット側面下部に開いている孔に挿入した塩化ビニール製パイプに, 給水用 20 L 容タンクを装着し, 適宜水を供給した. コンテナポットには土壌表面から 32 cm の位置に排水口を設けた.

各コンテナポットに過磷酸石灰 36 g と硫酸カリウム 9 g を施用した. 窒素については少量施用区として重窒素標識 (10.3 atom%) 硝酸ナトリウムを 7.7 g 施用する区 (N 3 区) と過剰施用区として重窒素標識 (5.09 atom%) 硝酸ナトリウムを 180 g 施用する区 (N 70 区) の 2 処理区を設けた. なお, 過剰施用区における窒素施用量については土壌診断基準の目安 (加藤 1996) から算出した. いずれの肥料も全量基肥で施用した.

2. 栽培と試料の分析

1997年6月16日にクロタラリア (*C. juncea* L., 品種: ネマコロリ) とトウモロコシ (*Zea mays* L., 品種: ゴールドデント DK 789) を上述のコンテナポットに50個体となるように播種した。播種後にクロタラリアには根粒菌 (011-2-3株) を接種した。試験は各区3反復で行った。

両作物ともに播種後20, 40, 60日目に各コンテナポットにおける生育の中庸な5個体をそれぞれ地際から刈取り、70°Cで48時間乾燥させて乾物重を測定した。常法により粉碎した後、試料の全窒素含有量と全炭素含有量をN.C.ANALYZER (SUMIGRAPH NC-80, 住友化学工業社製) で測定した。さらに、試料をガンニング変法により分解して、高周波ガス化装置 (YH-5型, 昭光通商株式会社製) を用いた発光分光分析法 (熊澤・有馬 1982) によって重窒素濃度を測定した。トウモロコシを対照作物として、全窒素含有量に占める窒素固定、肥料、土壌それぞれに由来する窒素の割合を以下の式 (米山・河内 1990) によって算出した。

窒素固定に由来する割合 (%) =

$$\left(1 - \frac{\text{クロタラリアの } ^{15}\text{N 濃度 (atom\% excess)}}{\text{トウモロコシの } ^{15}\text{N 濃度 (atom\% excess)}}\right) \times 100$$

肥料に由来する割合 (%) =

$$\frac{\text{植物体の } ^{15}\text{N 濃度 (atom\% excess)}}{\text{施用した肥料の } ^{15}\text{N 濃度 (atom\% excess)}} \times 100$$

土壌に由来する割合 (%) =

$$100 - (\text{肥料に由来する割合} + \text{窒素固定に由来する割合})$$

全窒素含有量にそれぞれの割合を乗じた値を固定由来、肥料由来、土壌由来窒素量とした。

3. 統計処理

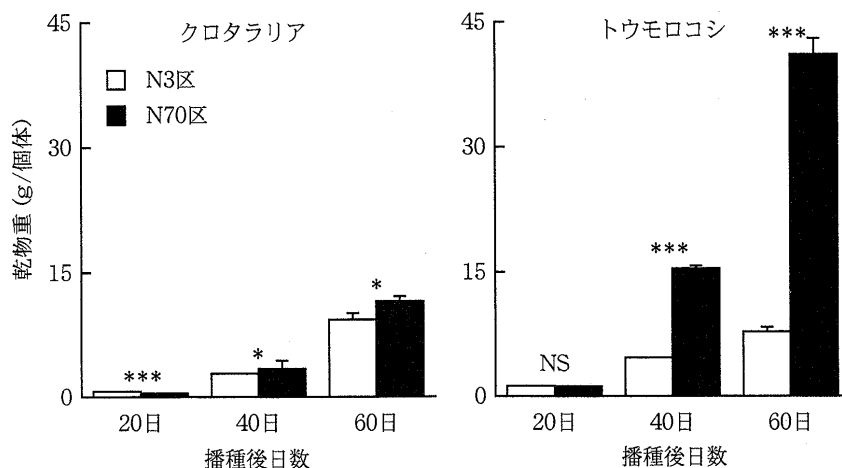
各調査日における両作物の窒素施用区間における乾物重

ならびに全窒素含有量の平均値の差の検定はt検定により行った。

結果と考察

第1図にクロタラリアとトウモロコシの地上部乾物重を示した。トウモロコシでは、播種後20日目において両施用区間で差異は認められなかったが、40日目においては過剰施用区であるN70区が少量施用区であるN3区よりも明らかに高い値を示し、60日目ではその差がさらに拡大した。一方、クロタラリアでは、20日目においてN3区がN70区よりも高い値を示したが、40日目ではN70区が高い値を示した。60日目ではその差が大きくなったものの、同時期のトウモロコシの施用区間における差と比べると小さかった。両作物間で地上部乾物重を比較すると、N3区では明確な差異は認められなかったが、N70区ではトウモロコシのほうが明らかに多く、60日目ではクロタラリアの約3.5倍となった。

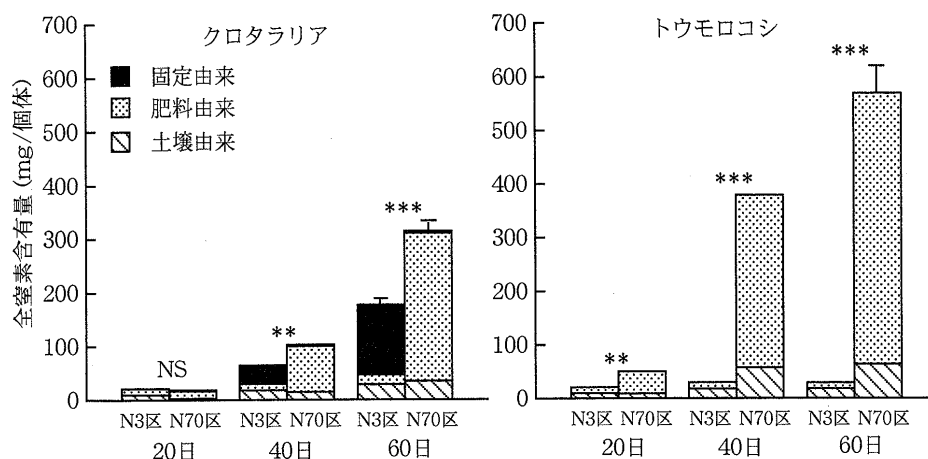
第2図に両作物の全窒素含有量とその由来を示した。トウモロコシでは、播種後20日目からN70区のほうが多く、40日目および60日目にはN70区では著しい増大が認められたものの、N3区ではほとんど増大せず、施用区間の差は著しく拡大した。クロタラリアでは、20日目には差が認められなかったが、40日目にはN70区が多くなり、60日目にはその差が拡大したものの、乾物重と同様にトウモロコシと比較すると施用区間の差は小さかった。両作物を比較すると、60日目において、N3区では明らかにクロタラリアが多かったが、N70区ではトウモロコシのほうが多く、クロタラリアの約1.8倍であった。また、60日目における両作物の肥料由来窒素の吸収量については、N3区では明確な差異は認められなかったが、N70区ではクロタラリアが276 mg、トウモロコシが505 mg とトウモロコシのほうが多くの肥料窒素を吸収した。



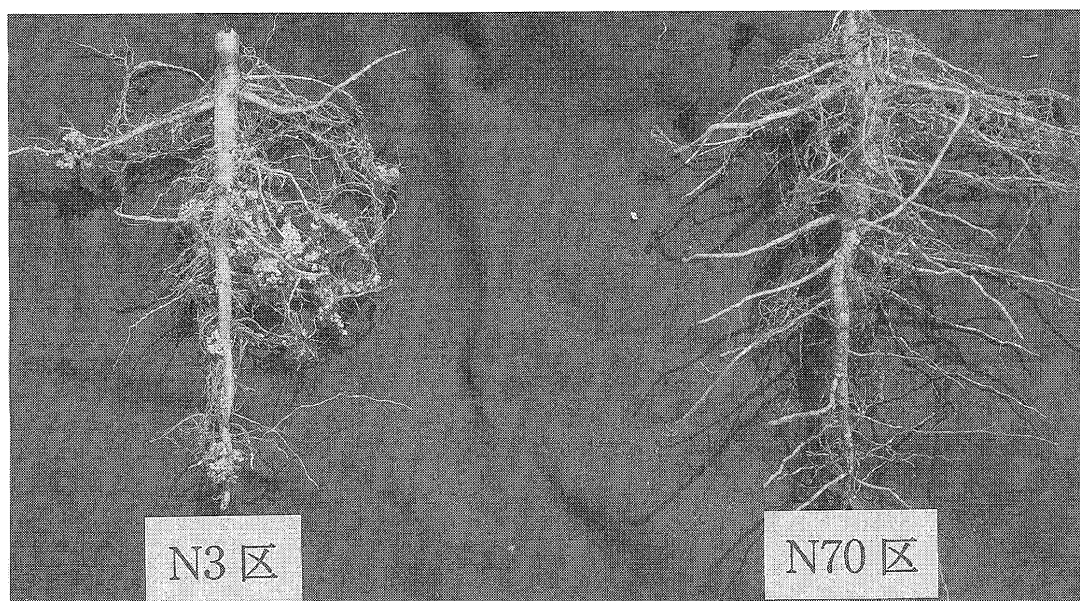
第1図 異なる窒素施用条件下におけるクロタラリアとトウモロコシの地上部乾物重 (*, *** は同一作物において窒素施用区間にそれぞれ5%, 0.1%で有意差があることを示す。NSは有意差なし。誤差線は標準誤差を示す)。
N3区: 窒素少量施用区, N70区: 窒素過剰施用区。

クロタラリアの吸収窒素を由来別にみると、N70区では窒素固定に由来する窒素の割合は1%未満であり大部分は肥料由来窒素であった。一方、N3区では窒素固定に由来する割合が約75%を占めた。多量の施用窒素によるマメ科作物の窒素固定の抑制はよく知られており、その抑制には根粒形成過程の抑制と根粒形成後の窒素固定酵素の活性の抑制が挙げられる。本実験では、第3図に示したように播種後60日目においてN3区のクロタラリアの根には多くの根粒が着生していたが、N70区の根には根粒がほとんど認められず、根粒形成そのものが強く抑制された。一般に、根粒の形成は根圏における根粒菌の増殖にはじまり、菌の侵入、根粒原基の形成といったいくつかの過程を経るが、窒素過剰施用によるクロタラリアの根粒形成の阻害機構については今後の調査を待たねばならない。

播種後60日目におけるN70区のトウモロコシの肥料由来窒素量をコンテナポットに施用した窒素肥料の量で割ることによって算出した施用窒素の利用率は約85%と高かった。一方、クロタラリアではその値は約47%となり、土壌中の窒素のクリーニングという観点で考えるとトウモロコシのほうがクロタラリアよりも明らかに優れていた。コンテナポットを用いた試験であるので単純には圃場条件下での吸収量を推定できないものの、本実験の結果からクロタラリアの肥料由来窒素と土壌由来窒素を合わせた根からの窒素吸収量は1m²あたり35gとなり、トウモロコシには及ばないものの、多量の窒素を吸収する可能性が示された。著者ら(Yanoら1994, Daimonら1995, 大段・大門1998a)は、本実験で刈取りを行った60日目以降にもクロタラリアは旺盛に生育することをすでに示した。す



第2図 異なる窒素施用条件下におけるクロタラリアとトウモロコシの地上部の由来別全窒素含有量 (**, *** は同一作物において窒素施用区間にそれぞれ1%, 0.1%で有意差があることを示す。NSは有意差なし。誤差線は標準誤差を示す)。
N3区: 窒素少量施用区, N70区: 窒素過剰施用区。



第3図 異なる窒素施用条件下における播種後60日目のクロタラリアの根粒着生の様相。
N3区: 窒素少量施用区, N70区: 窒素過剰施用区。

なわち、本植物は生育期間をさらに長くすることによって、より多くの窒素を吸収することができると考えられ、種々の作付体系に導入する際には生育期間と窒素吸収量の推移についてさらなる検討が望まれる。

クリーニング作物の地上部は刈取り後に圃場外に持ち出され、有機物資材として利用することができる。これらを他の圃場に施用した場合、それぞれの資材が有する C-N 率やリグニン含量などの化学成分が施用後に栽培する作物の生育に及ぼす影響は大きい。たとえば、分解が遅い有機物をすき込んだ場合には、窒素飢餓の影響が考えられ、後作物への適切な窒素施用管理が必要となる。一般に、すき込む有機物の C-N 率は分解速度の指標の一つとして用いられている（今井ら 1992, Patra ら 1992）。そこで本実験で得られた両施用区の地上部の C-N 率について調査した。その結果、トウモロコシは両窒素施用区ともに生育が進むにつれて高くなり、N3 区では播種後 60 日目には約 106 と著しく高い値となった（第 4 図）。一方、クロタラリアは両窒素施用区ともに生育期間を通じて 10~20 と低い値で推移し、本実験で採取したクロタラリアの地上部は、窒素の施用量にかかわらず 60 日目においても易分解性であり、すき込み資材として優れていることが示唆された。

著者らは既報（Ohdan ら 1995）において、クロタラリアの地上部搾汁液を施用して生育させたコムギにおいて、その根系の生育が著しく抑制されることからクロタラリアにはアレロパシー物質が含まれる可能性を示した。また、ポットを用いた土耕栽培においてもクロタラリアを大量にすき込んだ場合にコムギの初期生育が阻害されることを示した（大段・大門 1998 b）。クロタラリアをクリーニング作物として利用し、得られた有機物を他の圃場に施用する

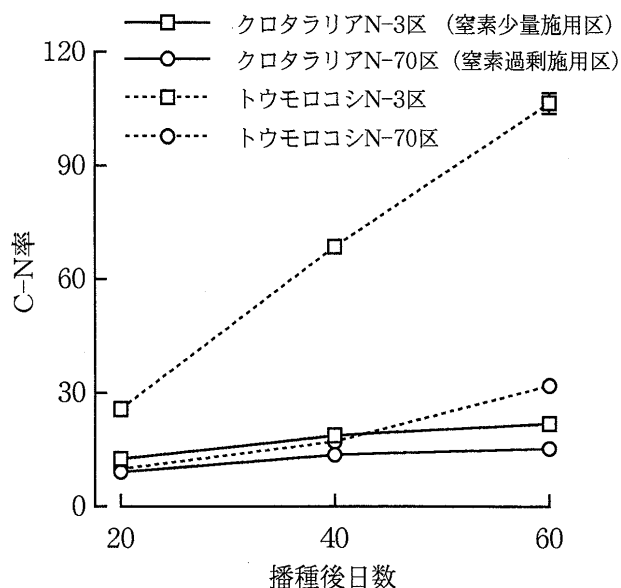
場合には、これらの資材の有する生育阻害要素についても十分な検討をする必要があろう。

クロタラリアはマメ科作物であるので基本的には窒素栄養は根粒菌との共生窒素固定に依存する。しかし、本実験のような窒素過剰条件下では窒素固定への依存度は低く、ほとんどを土壌中の窒素に依存した。また、本植物は、トウモロコシやソルガムとは異なり、下層土の塩類を吸収するとともに土壌の物理性を改善することができる深根的な根系構造をもつ（伊藤ら 1992）。さらに、土壌中に生息する植物寄生性有害センチュウに対してその密度を低減させる効果を持つことも報告されており（大島 1988, 荒城ら 1990）、環境保全に立脚した作物生産体系において本植物が塩類集積土壌におけるクリーニング作物の一つとして考慮される必要があろう。

謝辞：本研究を取りまとめるにあたり大阪府立大学農学部原田二郎博士ならびに大江真道博士にご助言を頂いた。また、実験の遂行にあたり山田忠夫氏に終始ご協力を頂いた。記して謝意を表する。

引用文献

- 荒城雅昭・林田至人・須藤充 1990. 市販飼料作物の線虫密度抑制効果。九州病害虫研究会報 36: 129—131.
- Daimon, H., S. Takada, M. Ohe and H. Mimoto 1995. Interspecific differences in growth and nitrogen uptake among *Crotalaria* species. Jpn. J. Crop Sci. 64: 115—120.
- 今井一男・平井義孝・菊地晃二 1992. 緑肥の乾燥および粉碎方法が土壌中での炭素の分解と窒素の放出に及ぼす影響。土肥誌 63: 470—472.
- 石川格司・中村毅 1985. ハウス土壌における集積塩類除去のための灌水効果。農及園 60: 49—52.
- 伊藤滋吉・塩谷哲夫・納口るり子・古賀野実爾 1992. 熱帯マメ科作物セスバニアを利用した重粘土転換畑の土壌改良。北陸農試報 34: 27—41.
- 加藤哲郎 1996. 土壌の化学性の診断方法と基準。藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎編、土壌診断の方法と活用。農文協、東京。87—112.
- 熊澤喜久雄・有馬泰紘 1982. 発光分光分析法による ^{15}N の測定。麻生末雄・石塚皓造・熊沢喜久雄・内藤博編、農学・生物学におけるアイソトープ実験法。養賢堂、東京。135—159.
- Ohdan, H., H. Daimon and H. Mimoto 1995. Evaluation of allelopathy in *Crotalaria* by using a seed pack growth pouch. Jpn. J. Crop Sci. 64: 644—649.
- 大段秀記・大門弘幸 1998a. クロタラリア属植物の窒素固定量の評価とそのすき込みが後作コムギの窒素吸収に及ぼす影響。日作紀 67: 193—199.
- 大段秀記・大門弘幸 1998b. 異なる地下水位条件下におけるクロタラリアとセスバニアの生育と後作ホウレンソウの窒素吸収。日作紀 67: 467—472.
- 大島康臣 1988. 農作物の線虫害と防除 (3). 農業技術 43: 395—400.
- Patra, D.D., S.C. Bhandari and A. Misra 1992. Effect of plant residues on the size of microbial biomass and nitrogen mineralization in soil: incorporation of cowpea and wheat straw. Soil Sci. Plant Nutr. 38: 1—6.



第4図 異なる窒素施用条件下におけるクロタラリアとトウモロコシの地上部の C-N 率（平均値±標準誤差）。
N3 区：窒素少量施用区，N70 区：窒素過剰施用区。

谷本俊明・上本哲・河嶋孝彦・山本賢二・中川剛彦 1985. 都市近郊軟弱野菜畑の土壤実態. 広島農試報告 49: 69—77.
山下純一・市来征勝・森清文・後藤忍 1992. 施設軟弱野菜畑の理化学性と肥培管理対策. 鹿児島農試研報 20: 25—34.
Yano, K., H. Daimon and H. Mimoto 1994. Effect of sunn hemp

and peanut incorporated as green manures on growth and nitrogen uptake of the succeeding wheat. Jpn. J. Crop Sci. 63: 137—143.

米山忠克・河内宏 1990. ^{15}N , ^{13}C の利用法. 植物栄養実験法編集委員会編, 植物栄養実験法. 博友社, 東京. 291—304.

Growth and Nitrogen-absorbing Activity of *Crotalaria juncea* under Application of Excess Nitrogen : Hideki OHDAN^{1,2)} and Hiroyuki DAIMON^{*,1)} (¹⁾*Coll. of Agr., Osaka Pref. Univ., Sakai 599-8531, Japan* ; ²⁾*JSPS Research Fellow*)

Abstract : Nitrogen-absorbing activity of *Crotalaria juncea* L. and *Zea mays* L. grown as a cleaning crop in nitrogen-accumulated soil was evaluated in an experiment conducted with 200 L-volume containers filled with volcanic ash soil using the ^{15}N dilution technique. At 60 days after sowing, the dry weight and total nitrogen content of the tops in both plant species under an excess nitrogen condition (70 g N/m^2) were significantly higher than those under a low nitrogen condition (3 g N/m^2). Under the excess nitrogen condition, the dry weight and total nitrogen content in the tops of *C. juncea* were 28% and 55% of those in *Z. mays*, respectively. The proportion of the fixed nitrogen to total nitrogen was approximately 75% in *C. juncea* under the low nitrogen condition, whereas it was less than 1% and nodulation was negligible under the excess nitrogen condition. The amount of nitrogen absorbed by *C. juncea* under the excess nitrogen condition was approximately 35 g/m^2 . The C-N ratio, which is one of the parameters of the decomposition rate of organic matter, was approximately 15 for the tops of *C. juncea* under the excess nitrogen condition. The results showed that *C. juncea* absorbed a large amount of nitrogen derived from soil and fertilizer under an excess nitrogen condition, and also suggested that yielded foliage would be useful as incorporating material.

Key words : Cleaning crop, *Crotalaria juncea*, Green manure, Nitrogen accumulated soil, Nitrogen fixation.