

重窒素標識された緑肥由来窒素の黄色土における有効化

糟谷真宏*

摘要：重窒素で標識したソルガム、ギニアグラス、クロタラリア、セスバニアをライシメータに充填した黄色土に鋤き込み、339日間、3作の野菜を栽培して、緑肥由来窒素の作物吸収量と降下浸透量を測定した。

緑肥由来窒素の339日間の有効化率（投入量に対する作物吸収量と降下浸透量の合計量の割合）は、クロタラリアが43%と最も高く、ソルガム21%、ギニアグラス18%、セスバニア22%であった。いずれも、第1作での有効化率が高く、第2作以降の作物吸収、降下浸透はともに少なかった。特にクロタラリアとセスバニアでは、第1作の有効化率がそれぞれ36%、18%と高く、キャベツの窒素吸収に占める比率も、それぞれ31%、18%であり、肥料効果が期待できた。

以上の結果から、緑肥由来窒素のうち、肥料効果の期待できる易分解性窒素画分は、クロタラリアやセスバニアの方がソルガム、ギニアグラスより多く、易分解性窒素画分が発現した後の窒素肥効はどの緑肥作物も非常に緩やかであることが示唆された。

キーワード：緑肥作物 ^{15}N ラベル緑肥、窒素有効化、黄色土

Availability of Nitrogen from ^{15}N -labeled Green Manure in Yellow Soil

KASUYA Masahiro

Abstract : Four types of green manure were labeled with ^{15}N and applied to lysimeters containing yellow soil in which vegetables were cultivated from August 2004 to July 2005. Nitrogen uptake by the vegetables and the amount of nitrogen that percolated through the soil in the lysimeter were determined.

The availability of nitrogen for sorghum, guinea grass, sunhemp, and sesbania throughout the investigation period of 339 days was 43%, 21%, 18%, and 22%, respectively. Sunhemp and sesbania showed a high availability rate of 36% and 18%, respectively, during the first crop period after green manure application.

It is suggested that a higher amount of easily decomposable nitrogen is present in sunhemp and sesbania compared to sorghum and guinea grass; moreover, the nitrogen from each type of green manure decreases progressively in yellow soil after the easily decomposable nitrogen is released.

Key Words : Green Manure, ^{15}N -labeled Green Manure, Availability of Nitrogen, Yellow Soil

本研究は農林水産省指定試験「赤黄色土露地野菜地帯における環境負荷物質制御技術の開発」の一環として実施した。

*東三河農業研究所

(2007.9.10 受理)

緒言

赤黄色土は、固相率が高く、透水性、保水性に劣り、保肥力が小さいなど、作物生産に不利な条件を有している。このような土壌の物理性、化学性を改善するために、家畜ふん堆肥等の有機質資材の施用が欠かせない技術として普及している。その他、土壌改良に有効な有機質資材として緑肥作物が考えられ、作土および下層土の透水性の改善等の他、養分供給の面でも効果が期待される^{1, 2)}。また、平成11年に施行された「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」でも、緑肥作物の利用が「有機物の施用技術」の一つとして位置づけられ、環境保全型農業の推進にあたってその活用が推奨されている。

一方、集約的露地野菜栽培地帯では、余剰の窒素が夏季の休閑期に大量に降下浸透、流出することが懸念されるが、その対策として、夏季休閑期への緑肥作物の導入は、裸地期間の短縮、余剰窒素の吸収、肥料代替としての再利用によって、地下水の硝酸態窒素高濃度化³⁾の抑制に効果を発揮できる可能性があり、緑肥作物の露地野菜栽培体系への導入を検討することは意義深い。

これまで、赤黄色土の地力増強の観点からソルガムの施用が有効である可能性が指摘されているが^{4, 5)}、上記の環境保全的な観点から導入した緑肥作物の肥効に関する報告は少ない。

そこで、本報告では、ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)、ギニアグラス (*Panicum maximum* Jacq.)、クロタラリア (*Crotalaria juncea* L.)、セสบانيا (*Sesbania cannabina* (Retz.) Poir.) を対象として、緑肥の肥料代替効果を評価するため、黄色土を充填したライシメータを用いて、重窒素 (¹⁵N) でラベルした緑肥由来窒素の露地野菜栽培における有効化の程度を評価した。

材料と方法

1 重窒素ラベル緑肥の作成

供試した緑肥作物は、イネ科のソルガム (タキイ種苗) とギニアグラス (ソイルクリーン、雪印)、マメ科のクロタラリア (ネマコロリ、雪印) とセสบانيا (田助、雪印) である。細粒黄色土を充填して裸地状態のまま3年間経過した面積0.66 m²、深さ0.6 mの排水口付きコンテナに、2004年5月13日には種し、週2~3回、

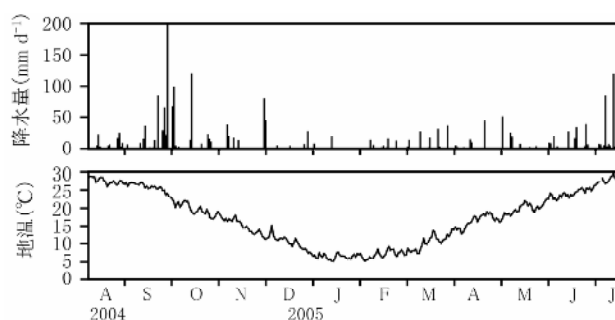


図1 試験期間の降水量と深さ10 cmの地温の推移

5 atom % の¹⁵Nを含む尿素を液肥として施用して87日間栽培した。施用した窒素量は、各緑肥作物共通に合計23.7 g N m⁻²であった。

2 野菜の栽培試験

豊橋市飯村町の東三河農業研究所内ほ場に、細粒黄色土 (LiC、矢田統、電気伝導率:0.10 dS m⁻¹、pH:5.1、全窒素含有率:0.48 g kg⁻¹、全炭素含有率:4.5 g kg⁻¹) を55 cmの厚さで充填したライシメータ (大起理化学工業株式会社製キャピラリーライシメータ、COMH-9、サイズ0.3×0.6 m; 0.18 m²、深さ0.6 m) を、上端が地表面より5 cm高くなるように埋設した。このライシメータに、¹⁵Nラベル緑肥を長さ10 cm以下に切断して、2004年8月10日に鋤き込んだ。鋤き込み量は各緑肥作物の生長量から決定し、ソルガム、ギニアグラスで6.7 kg FW m⁻²、クロタラリア、セสบانياで5.6 kg FW m⁻²とした。その後、第1作に年内どりキャベツ (YRしぶき (石井育種場) 栽培期間2004年8月25日~11月12日)、第2作に春どりキャベツ (YR春系305号 (増田採種場) 同2004年11月12日~2005年4月14日)、第3作にスイートコーン (味来390 (パイオニアエコサイエンス) 同2005年5月11日~7月15日) を各ライシメータで1株ずつ栽培した。緑肥を鋤き込まない区を対照区として2連で実験を行った。施肥は、被覆尿素配合肥料 (N:16%、P₂O₅:6%、K₂O:16%) により、第1作のみ対照区:30 g N m⁻²、緑肥区:24 g N m⁻²とし、第2作は全区30 g N m⁻²、第3作は全区25 g N m⁻²とした。

栽培期間中の日降水量と深さ10 cmの日平均地温を図1に示した。全期間の降水量は2110 mmであった。特に2004年10月は、692 mmと非常に多かった。地温は30 弱から徐々に低下し、12月中旬から3月中旬まで10 を下回り、再び上昇した。

表1 緑肥作物の生育、窒素吸収およびライシメータへの鋤き込み量

緑肥作物	は種量 g m ⁻²	生育量 kg FW m ⁻²	乾物率	窒素含有率 g kg Dw ⁻¹	窒素吸収量 g m ⁻²	¹⁵ N濃度 atom %	C/N比	ライシメータ 鋤き込み量 kg FW m ⁻²
ソルガム	6.0	6.7	0.306	6.6	13.5	3.713	67	6.7
ギニアグラス	1.5	6.9	0.317	6.8	14.9	4.105	65	6.7
クロタリヤ	6.0	5.3	0.242	22.2	28.6	2.136	20	5.6
セスバニア	5.0	5.8	0.278	18.7	30.2	3.011	24	5.6

3 分析方法

緑肥作物および野菜の作物体は、栽培終了後、地上部全体を採取し、風乾、微粉碎後、窒素含有率をNCアナライザー⁶⁾で、¹⁵N濃度を昭光通商への依頼分析(使用機器:EA1110-DELTApplus Advantage ConFlo System)で測定した。

浸透水は、ライシメータ下部の集水槽から、降雨後、随時、ペリスタルティックポンプで採水し、全窒素を化学発光法⁷⁾(三菱化学TN-100)で、硝酸態窒素をイオンクロマトグラフ(横河電機IC-7000)で測定した。¹⁵Nは浸透水を窒素濃度100~2000 mg N L⁻¹程度に濃縮して、作物体と同様に昭光通商株式会社への依頼分析により測定した。

各作物体の生育量、浸透水量および作物体と浸透水の全窒素濃度、¹⁵N濃度から各サンプルに含まれる緑肥由来窒素量を算出した。

結果と考察

1 緑肥作物の成分特性

表1に、緑肥作物の生長量と窒素吸収量および¹⁵N濃度を示した。栽培期間がやや長かったため、ソルガムとギニアグラスでは、窒素含有率は0.7%弱でC/N比は65程度と高かった。一方、クロタリヤとセスバニアでは、それぞれ、窒素含有率は2.22%、1.87%、C/N比は20、24であった。収穫時の緑肥作物の¹⁵N濃度は、最も低いクロタリヤで2.136 atom %で、最も高いギニアグラスでは4.105 atom %であった。マメ科のクロタリヤとセスバニアは、イネ科2種より¹⁵N濃度は低く、また液肥として与えた窒素量以上に窒素を吸収しており、空中窒素の固定が行われたと考えられる。

2 窒素収支

(1) 降下浸透水中の窒素濃度

図2に、降下浸透水中の全窒素濃度の推移を示した。

試験期間全体を通じて、全窒素のうちほぼ100%が硝酸態窒素であった。浸透水の窒素濃度はマメ科緑肥ではイネ科2種に比べて高濃度で、特にクロタリヤでは鋤き込み直後の第1作期間で顕著で緑肥由来窒素の寄与も大きかった。このことは、マメ科緑肥では、植物

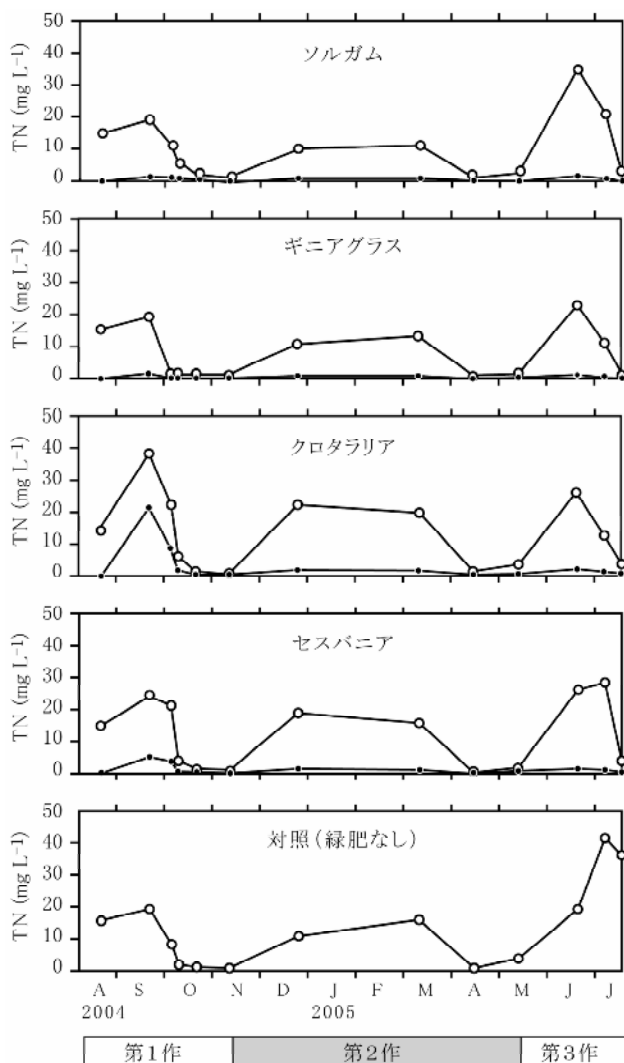


図2 緑肥を鋤込んだライシメータにおける降下浸透水中窒素濃度の推移
全窒素 うち緑肥由来窒素

体の中で易分解性窒素画分の割合が多い、あるいは植物体全体としてC/N比がイネ科に比べて低いため分解も早いことに原因する可能性がある。鋤き込み後の浸透水中窒素濃度が高くなることは水質保全上問題であるが、後述するように、鋤き込んだ窒素量と比べて降下浸透した量はそれほど多くはない。また、2004年9月中に50 mm以上の降雨イベントが3回あったが、本試験は土壌構造が発達せず、水保持力が小さく亀裂面に沿って降下浸透するライシメータ土壌を用いたものであるため、現実のほ場より流出しやすい条件での結果と考えられ、窒素浸透流出量に関しては過大評価になっている可能性もある。一方、ソルガムとギニアグラスでは、降下浸透水中の窒素のうち緑肥由来窒素の割合は、鋤き込み後339日間を通して極めて低く推移した。C/N比が大きいために分解速度が低いことが原因として推測される。これらのイネ科2種では、鋤き込み後、緑肥中の窒素が速やかに分解して浸透流出する危険性はほとんどないと考えられる。

(2) 野菜の窒素吸収および窒素収支

表2に窒素収支をまとめた。ここで、第1作期間は、緑肥鋤き込みから収穫まで、第2、3作の期間は、それぞれ、前作収穫時点から当該作の収穫までとした。ライシメータへの窒素のインプットとして肥料と緑肥の投入量を、アウトプットとして野菜による吸収と降下浸透量を示した。また、アウトプットおよび未回収分の各欄の括弧内に緑肥由来窒素量を示した。

第1作の年内どりキャベツでは、期間の平均地温は23.3、降水量は合計で1015 mmであった。施肥量を対照区に比べて2割減らしたことから、キャベツの生育量は対照区と比べて小さく、窒素吸収量も少なかった。

しかしながら、緑肥由来窒素の吸収量は、ソルガム、ギニアグラスで1 g N m⁻²程度であったのに対して、クロタラリアでは5.4 g N m⁻²、セスバニアでは2.9 g N m⁻²と、マメ科緑肥ではより多く吸収された。また、キャベツの窒素吸収量に占める緑肥由来窒素の割合でみると、ソルガム11.4%、ギニアグラス8.9%、クロタラリア31.1%、セスバニア17.5%であり、イネ科2種では1割程度であったのに対し、マメ科2種では、その割合が高かった。すなわち、クロタラリアやセスバニアでは、鋤き込み直後の秋作では、明らかに肥料的効果が期待できる。

同時に、前述のとおり、降下浸透した窒素量もイネ科2種では少なく、クロタラリア、セスバニアでは対照区より多くなり、緑肥由来窒素もクロタラリアで5.3 g N m⁻²、セスバニアでは2.1 g N m⁻²が流出した。

第2作期間は、平均地温は9.8と低く、降水量は462 mmであった。緑肥由来窒素の吸収量は、ソルガム、ギニアグラスで0.4 g N m⁻²、セスバニアでは0.5 g N m⁻²と少なく、クロタラリアでは0.8 g N m⁻²とわずかに他より多かった。

第3作期間は、平均地温は22.3、降水量は560 mmであった。緑肥由来窒素の吸収は、第2作と同様の傾向で、ソルガム、ギニアグラス、セスバニアで0.6 g N m⁻²と少なく、クロタラリアでは1.0 g N m⁻²とわずかに他より多かった。第2作、第3作では、野菜の窒素吸収量に占める緑肥由来窒素の割合は、最大でもクロタラリアの5~6%とわずかであり、他の3種では3%程度と非常に小さかった。これらのことは、第1作の結果とあわせて考察すると、緑肥中の易分解性窒素画分が発現した後の窒素肥効は非常に緩やかであり、易分解

表2 緑肥を鋤き込んだライシメータでの野菜栽培における窒素収支 (単位 g m⁻²)

緑肥作物	第1作				第2作			第3作			3作合計					
	インプット		アウトプット		インプット		アウトプット	インプット		アウトプット	インプット		アウトプット			未回収
	施肥	緑肥	吸収	浸透	施肥	吸収	浸透	施肥	吸収	浸透	施肥	緑肥	合計	吸収	浸透	
ソルガム	24.0	13.5	12.0	6.6	30.0	15.2	2.8	25.0	18.4	4.3	79.0	13.5	92.5	45.7	13.7	33.2
			(1.1)	(0.5)		(0.4)	(0.1)		(0.6)	(0.2)				(2.1)	(0.7)	(10.7)
ギニアグラス	24.0	13.5	11.9	4.2	30.0	14.6	2.2	25.0	19.1	2.0	79.0	14.4	93.4	45.5	8.4	39.4
			(1.0)	(0.3)		(0.4)	(0.1)		(0.6)	(0.1)				(2.0)	(0.5)	(11.8)
クロタラリア	24.0	29.9	17.2	11.3	30.0	14.5	4.3	25.0	18.5	2.5	79.0	29.9	108.9	50.2	18.2	40.5
			(5.4)	(5.3)		(0.8)	(0.3)		(1.0)	(0.2)				(7.2)	(5.7)	(16.9)
セスバニア	24.0	28.9	16.5	11.2	30.0	15.3	3.6	25.0	20.2	4.6	79.0	28.9	107.9	52.0	19.4	36.5
			(2.9)	(2.1)		(0.5)	(0.2)		(0.6)	(0.1)				(4.1)	(2.4)	(22.4)
対照(緑肥なし)	30.0	0	21.9	5.4	30.0	16.0	2.7	25.0	13.3	6.9	85.0	0	85.0	51.2	15.1	18.7

各緑肥作物の下段、アウトプットと未回収欄の括弧内は緑肥由来窒素を示す。

性窒素画分は、クロタラリアやセスパニアの方がソルガム、ギニアグラスより多いことを示唆している。

3作、339日間の合計では、ソルガム、ギニアグラスが対照区より窒素吸収量がやや少なく、クロタラリア、セスパニアは同等であった。降下浸透した緑肥由来窒素量は、イネ科2種が 1 g N m^{-2} に満たなかったのに対して、クロタラリアで 5.7 g N m^{-2} 、セスパニアでは 2.4 g N m^{-2} と多かったが、鋤き込んだ窒素量それぞれ 29.9 g N m^{-2} 、 28.9 g N m^{-2} と比べて小さい値であり、回収した余剰窒素が鋤き込み後直ちに再び環境への負荷となって系外へ流出するおそれは小さいと評価できる。

高橋・河合は、ソルガムの茎葉が豚ふんや鶏糞、野菜残渣よりセルロース含量が高く、有機態窒素や施肥窒素の残存率が高くなることを認め、地力増大への貢献度が高い可能性を指摘している⁴⁾。本実験でも緑肥由来窒素の土壤中に残存する未回収分は、ソルガム 10.7 g N m^{-2} 、ギニアグラス 11.8 g N m^{-2} 、クロタラリア 16.9 g N m^{-2} 、セスパニア 22.4 g N m^{-2} と非常に多かったことから、緑肥由来窒素の土壤中での動態については、より長いスパンでの検討が必要と考えられる。

緑肥由来窒素のうち、野菜による吸収および降下浸透量の合計の占める割合を窒素有効化率として図3に示した。クロタラリアでは339日間に43%が有効化したが、他の緑肥では有効化率は低く、ソルガム21%、ギニアグラス18%、セスパニア22%に過ぎなかった。いずれも、第1作での有効化率が高く、特にクロタラリアとセスパニアでは、それぞれ36%、18%と高かった。

以上の結果から、クロタラリアやセスパニアでは、緑肥由来窒素のうち、肥料効果が期待できる易分解性窒素画分はソルガム、ギニアグラスより多く、鋤き込み直後の作で、ある程度の肥効が望めることが示唆されたが、易分解性窒素画分が発現した後の窒素肥効はどの緑肥作物も非常に緩やかであり、緑肥由来窒素は徐々に有効化するものと考えられる。

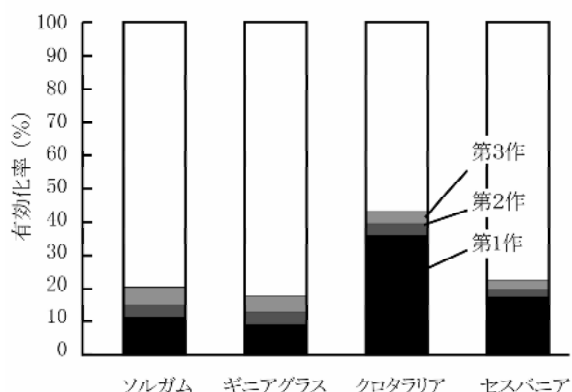


図3 緑肥をすき込んだライシメータにおける緑肥由来窒素有効化率

引用文献

1. 愛知県．愛知の土壌と土づくり． p.27-31 (2005)
2. 橋爪健． 緑肥を使いこなす． 農文協． 東京． p.39-47 (1995)
3. 糟谷真宏, 小竹美恵子, 寺井久慈, 松尾敬子, 豊田一郎． 愛知県における農耕地および農村集落の地下水の硝酸態窒素濃度とその支配因子． 水環境学会誌． 17, 578-586(1994)
4. 高橋和司, 河合伸二． 鉍質畑土壌に及ぼす影響からみた各種有機物の資材の特性 (第2法), 各種有機物の施用が土壌に及ぼす影響の解析． 愛知県農業総合試験場研究報告． 15, 541-552 (1983)
5. 高橋和司, 河合伸二． 鉍質畑土壌に及ぼす影響からみた各種有機物の資材の特性 (第4法). 特性の異なる各種有機物の施用効果比較． 愛知県農業総合試験場研究報告． 15, 541-552 (1983)
6. 土壌標準分析・測定法委員会編． 土壌標準分析・測定法． 博友社． 東京． p.77-85 (1986)
7. 日本規格協会． JIS K2609 (2005)