

# 緑肥作物の 有効活用に向けた新情報



千葉県

千葉県農林水産技術会議



# はじめに

緑肥作物は、土壌の肥沃度を高めたり土壌病害虫を抑制することなどを目的に、生産現場で導入されている。本資料は、緑肥作物をさらに有効活用するため、千葉県農林総合研究センターで得られた知見を農業技術の指導者各位に紹介することを目的に作成した。Ⅲ章とⅣ章では、緑肥作物導入によるリン酸減肥や畑地からの硝酸態窒素の溶脱抑制といった新たな利用目的を紹介し、Ⅱ章とⅤ章では、緑肥作物すき込み後の分解特性やヒョウタンゾウムシを増やさない緑肥作物の紹介といった、緑肥作物を導入する際に留意すべき事項を紹介した。

本資料が野菜などの高品質安定生産と環境保全に向けた緑肥作物の有効活用の一助になれば幸いである。

## 目次

I	緑肥作物の紹介	1
1	主な緑肥作物	1
II	緑肥作物の播種時期とすき込み適期について	3
1	緑肥作物の適切な播種時期	3
2	緑肥作物のすき込み後の分解特性	4
III	緑肥作物を用いたキャベツとニンジンのリン酸減肥栽培	7
1	夏まきソルガムー冬どりキャベツの作型におけるキャベツのリン酸減肥	7
2	春まきエンバクー秋冬ニンジンの作型におけるニンジンのリン酸減肥	8
3	ソルガムの導入における注意点	10
4	緑肥作物導入による土壌中のリンの動態	11
IV	緑肥作物による硝酸態窒素の溶脱抑制とすき込み後の基肥窒素代替	14
1	緑肥作物が吸収できる硝酸態窒素の深さと量	14
2	緑肥作物による硝酸態窒素溶脱抑制	19
3	緑肥作物が吸収した窒素による次作の基肥窒素代替効果	19
V	害虫ヒョウタンゾウムシを増やさない緑肥作物	22
1	ヒョウタンゾウムシ類の生態	22
2	緑肥作物を餌とした場合のヒョウタンゾウムシの増殖及び生育	23
3	ヒョウタンゾウムシの生息地における緑肥作物の利用の適否	25

# I 緑肥作物の紹介

緑肥作物とは、土壌を肥沃にする目的で栽培され、腐熟させずに土壌にすき込まれる作物のことである。土壌への有機物補給、後作物への養分供給、理化学性の改善や有害センチュウ類の抑制など様々な目的で利用されている。

## 1 主な緑肥作物

### (1) エンバク (イネ科、写真1)

春まき栽培(3月上旬～5月下旬まき)及び秋まき越冬栽培(10月中旬～11月上旬まき)を行う。生育が旺盛なため、すき込みにより土壌に補給される有機物量が多いという特徴がある。

一部の品種には、キタネグサレセンチュウの抑制効果がある。



写真1 エンバク

### (2) ライムギ (イネ科、写真2)

春まき栽培(3月上旬～4月中旬まき)及び秋まき越冬栽培(9月下旬～12月上旬まき)を行う。エンバクと比べて耐寒性に優れる。低温期の発芽と生育が良く、冬期の土壌飛散防止効果も有する。一方、すき込み時の生育量は、エンバクと比べてやや少ない。



写真2 ライムギ

### (3) カラシナ (アブラナ科、写真3)

秋まき栽培(10月中旬～11月上旬まき)及び春まき栽培(3月～4月まき)を行う。アブラナ科植物に特徴的な「グルコシノレート」を多く含み、一部の品種では、土壌にすき込むことで、土壌病害の低減効果が期待できる。



写真3 カラシナ

(4) ソルガム (イネ科、写真4)

初夏～夏まき栽培 (5月中旬～8月中旬まき) を行う。一般的なイネ科緑肥の中では、最も生育が旺盛なため、すき込みにより土壌に大量の有機物を補給できる。一部の品種には、サツマイモネコブセンチュウの抑制効果がある。



写真4 ソルガム

(5) クロタラリア (マメ科、写真5)

初夏～夏まき栽培 (5月下旬～7月中旬まき) を行う。窒素固定による土壌肥沃度の向上が期待できる。ネコブセンチュウの抑制効果がある。



写真5 クロタラリア

## Ⅱ 緑肥作物の播種時期とすき込み適期について

### 技術のポイント

すき込み時に十分な生育量を確保できる播種時期は、春まき緑肥作物（エンバク、ライムギ及びカラシナ）では3月下旬～4月上旬、夏まき緑肥作物（ソルガム及びクロタラリア）では6月である。緑肥作物のすき込みから後作物の作付けまでの期間を1か月以上とすることで、発芽不良や初期生育の抑制といった後作物への影響を回避できる。

緑肥作物の生育量を確保するためには、適切な時期に播種する必要がある。また、緑肥作物を土壌にすき込んだ後、分解が不十分なまま後作物を栽培すると、発芽不良や初期生育を抑制する可能性がある。ここでは、主な緑肥作物の適切な播種時期とすき込み後の分解特性を紹介する。

### 1 緑肥作物の適切な播種時期

#### (1) 春まき緑肥作物

エンバク、ライムギ及びカラシナを秋冬どり露地野菜の前作として導入し、6月上旬にすき込む場合の播種適期は3月下旬～4月上旬である。これにより、十分な生育量を確保することができる（表1）。

表1 春まき緑肥作物の播種時期とすき込み時の生育

緑肥作物	播種時期	すき込み時の生育		
		草丈 (cm)	地上部 新鮮重 (t/10a)	C/N比
エンバク	3月下旬	133	2.9	31.1
	4月上旬	113	3.4	26.9
	4月中旬	62	1.5	23.4
ライムギ	3月下旬	69	2.7	18.0
	4月上旬	59	2.5	15.7
	4月中旬	45	1.3	13.9
カラシナ	3月下旬	144	2.8	20.6
	4月上旬	112	2.9	16.7
	4月中旬	79	1.7	14.7

注1) 供試品種はエンバクが「ヘイオーツ」(アウエナ ストリゴサ (エンバク野生種))、ライムギが「R-007」、カラシナが「辛神」(いずれも雪印種苗(株))

2) 播種日は平成29年3月23日、4月6日、4月20日、すき込み日は6月7日

3) 10a当たりの播種量はエンバクが15kg、ライムギが10kg、カラシナが1kg

4) 10a当たりの施肥量は窒素5kg、リン酸6.3kg、加里3.8kg

## (2) 夏まき緑肥作物

ソルガム及びクロタラリアを緑肥作物として導入し、9月下旬にすき込む場合、土壌への有機物補給が目的であれば、播種時期は6月が望ましい。これにより、十分な生育量（新鮮重で10t/10a以上）を確保することができる。後作物への肥料的効果を期待する場合は、ソルガムの播種時期は8月上旬、クロタラリアの播種時期は7月中旬が望ましい。これにより、C/N比が20を下回るため、すき込み後の速やかな分解による窒素肥効が期待できる（表2）。

表2 夏まき緑肥作物の播種時期とすき込み時の生育

緑肥作物	播種時期	すき込み時の生育		
		草丈 (cm)	地上部 新鮮重 (t/10a)	C/N比
ソルガム	6月下旬	193	12.1	35.5
	7月中旬	148	3.3	23.2
	8月上旬	115	2.0	17.7
クロタラリア	6月中旬	126	11.0	24.3
	6月下旬	114	6.6	22.3
	7月中旬	68	3.5	17.0

注1) 供試品種はソルガムが「つちたろう」、クロタラリアが「ネマックス」（いずれも雪印種苗(株)）

2) ソルガムの播種日は平成29年6月22日、7月13日、8月3日、すき込み日は9月29日、クロタラリアの播種日は同年6月15日、6月29日、7月13日、すき込み日は9月29日

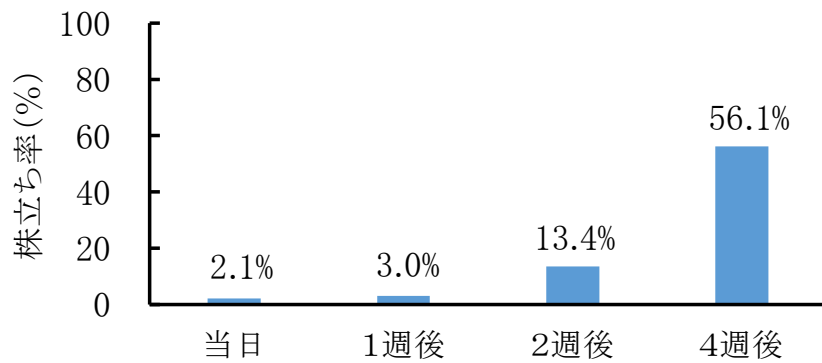
3) 10a当たりの播種量はソルガムが5kg、クロタラリアが9kg

4) 10a当たりの施肥量は窒素5kg、リン酸6.3kg、加里3.8kg

## 2 緑肥作物のすき込み後の分解特性

緑肥作物をすき込む際には、ロータリー耕の前に、地上部をモア等で粉砕することが望ましい。後作物を作付けするまでの耕うん回数は、すき込み時を合わせて3回以上とする。緑肥作物のすき込みから後作物の作付けまでの期間を1か月以上とすることで、発芽不良や初期生育の抑制といった後作物への影響を回避できる。

緑肥作物のすき込みから後作物のニンジンを播種するまでの期間を変えた試験結果を図1に示した。緑肥作物のすき込みから10週後にニンジンの株立ち率を調査したところ、緑肥作物のすき込みから2週間までにニンジンに播種した区では、苗の立ち枯れが多発し、株立ち率が低下した。緑肥作物のすき込みからニンジンに播種までの期間を4週間とすることで、株立ち率が著しく向上した。



緑肥作物のすき込みからニンジンを播種するまでの期間

図1 緑肥作物のすき込みから10週後のニンジンの株立ち率

- 注1) 供試した緑肥作物はエンバク「ヘイオーツ」(アウエナ ストリゴサ (エンバク野生種)、雪印種苗(株))、播種量は6 kg/10a  
 2) 緑肥作物のすき込み日は平成30年4月24日、すき込み時の草丈は88cm、10a当たりの地上部新鮮重は3.9t、ロータリー耕は、緑肥すき込み時とニンジン播種時の2回実施  
 3) ニンジンの品種は、「愛紅」(住化農業資材(株))、株間7cmでクリーンシーダーにより播種  
 4) 株立ち率 (%) = 生存株数 ÷ 播種粒数 × 100

緑肥作物のような有機物が土壌中で分解される場合、有機物に含まれる炭素(C)と窒素(N)の比率(C/N比)が分解速度に影響し、C/N比が低いほど速やかに分解される。C/N比は緑肥作物の種類や生育ステージなどによって異なる。

緑肥作物の種類を変えて土壌における分解速度を比較した結果を図2に示す。この試験では、緑肥作物を土壌にすき込むことを想定し、細断した緑肥作物と土壌を混和して不織布袋に充填し、土壌中に埋設した。緑肥作物の分解の程度は、炭素残存率として示している。土壌に埋設した緑肥作物が含む炭素量を100%とし、炭素残存率が低いほど、埋設した緑肥が分解したことを意味する。4月上旬に播種し、6月上旬にすき込んだエンバク、ライムギ及びカラシナの分解速度を比較したところ、ライムギ(C/N比13.8)は、同じイネ科緑肥のエンバク(C/N比21.1)と比較して速やかに分解する。カラシナ(C/N比14.2)は、埋設後2週間までは速やかに分解するが、それ以降の分解速度はエンバクと同等である。C/N比が高い緑肥をすき込んだ場合は、分解期間を長く取る必要がある。

また、緑肥作物のC/N比は、生育ステージが進むほど高くなる傾向がある。特に、イネ科の緑肥作物は、出穂後にC/N比が高くなる。このため、イネ科の緑肥作物を土壌中で速やかに分解させたい場合は、出穂前にすき込むことが大切である。



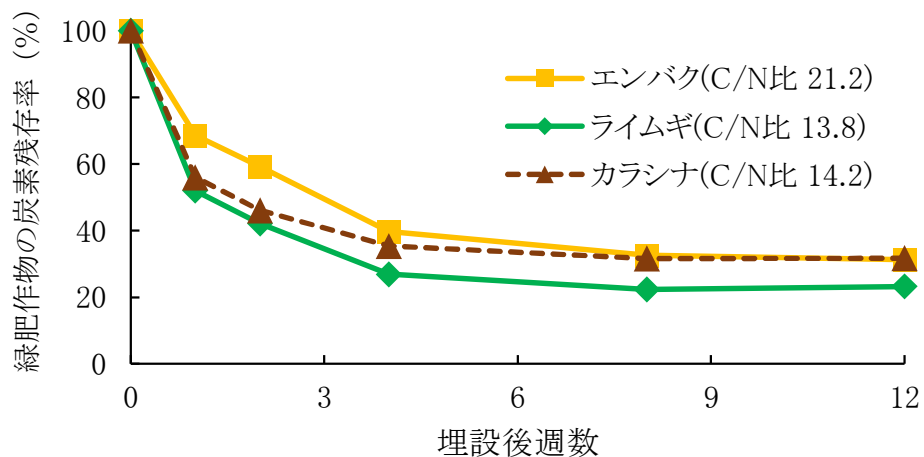


図2 土壌に埋設した緑肥作物の炭素残存率の推移

- 注1) 緑肥作物の播種日は平成29年4月6日、刈り取り日は5月31日、細断後に冷凍保存し、解凍後に供試した。供試品種は表1と同じ
- 2) 埋設日は平成29年6月16日、ポリエチレン製の不織布袋に炭素量で0.5g相当の緑肥作物の地上部と乾土10g相当の生土(黒ボク土)を混和して施設圃場の深さ10cmに埋設
- 3) 緑肥作物の炭素残存率(%) = (掘り上げ時の緑肥作物由来の炭素量) ÷ (埋設開始時の緑肥作物由来の炭素量) × 100
- 緑肥作物由来の炭素量 = (緑肥作物と土壌を混和した埋設サンプルの炭素量) - (土壌のみの埋設サンプルの炭素量)

#### 参考文献

- (1) 千葉県(2019) 緑肥すき込み後のニンジンの播種可能時期と緑肥の分解特性、令和元年度試験研究成果普及情報、  
<https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyuu/documents/53r1-15.pdf>
- (2) 千葉県(2021) 緑肥作物の上手な利用方法～春まき緑肥作物の適切な播種時期とすき込み後の分解特性～、フィールドノート、  
<http://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/network/field-r3/rojiya-2021-4.html>

### Ⅲ 緑肥作物を用いたキャベツとニンジンのリン酸減肥栽培

#### 技術のポイント

緑肥作物を導入することで、後作の野菜のリン酸施用量を2割減らしても慣行栽培と同程度の収量を得ることができる。ここでは、夏まきソルガム—冬どりキャベツ及び春まきエンバク—秋冬ニンジンの作型でリン酸減肥を行った事例を紹介する。

全国的に農耕地土壌中の可給態リン酸含量の増加傾向が認められており、将来的な肥料高騰も懸念される中、土壌に蓄積しているリン酸の有効利用を進める必要がある。これまで、緑肥作物をすき込むことで、後作野菜の窒素及び加里の減肥が可能であることが報告されているが、リン酸の減肥に関する知見は少ない。そこで、緑肥作物を活用した後作野菜のリン酸減肥技術の開発を目指した。ここでは、夏まきソルガム—冬どりキャベツと春まきエンバク—秋冬ニンジンの作型でリン酸減肥を行った事例を紹介する。また併せて、試験中に明らかとなったソルガムを導入する際の注意点を紹介する。最後に、ソルガムのすき込みが土壌中のリンの動態に及ぼす影響について述べる。

#### 1 夏まきソルガム—冬どりキャベツの作型におけるキャベツのリン酸減肥

可給態リン酸含量4 mg/100gの土壌に、ソルガム「ジャンボ」(商品名「つちたろう」雪印種苗(株))を草丈191cm、C/N比19ですき込んだ(写真6、写真7)。ソルガムをすき込んでキャベツのリン酸を標準量施肥した区と20%減肥した区、ソルガムを栽培せずにリン酸を標準量施肥した区と20%減肥した区を設けた。施肥は表3のとおりに行った。キャベツ「YR春系305号」(株増田採種場)を栽培し、収量を調査した。

ソルガムをすき込んでリン酸を20%減肥した区のキャベツの収量は、ソルガム無栽培の標準施肥区と比べて有意な差はなかった(図3)。ソルガムのすき込みによって、後作キャベツのリン酸20%減肥が可能であった。



写真6 すき込み時のソルガム



写真7 フレールモアによる細断

表3 キャベツの施肥設計

試験区	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg/10a)		
	基肥	追肥	合計
標準施肥	19-25.0-19	8-1.8-5.3	27-26.8-24.3
リン酸20%減肥	19-19.6-19	8-1.8-5.3	27-21.4-24.3

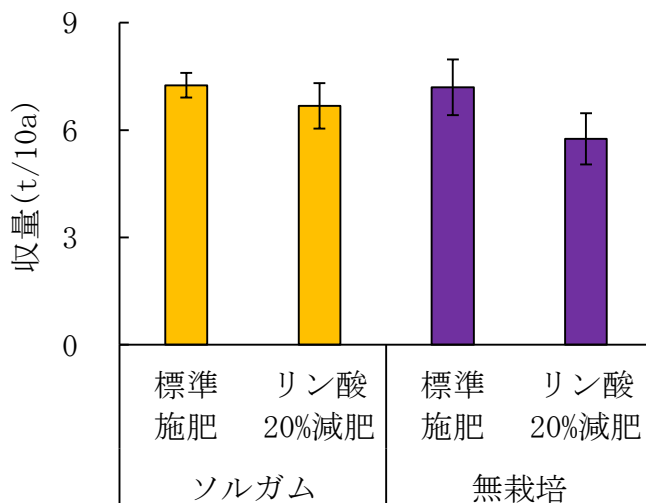


図3 ソルガムすき込み後のキャベツの収量

注1) 平成30年5月28日、全試験区に窒素5kg/10a、加里5kg/10aを施肥。5月29日にソルガムを5g/m<sup>2</sup>播種し、8月21日にすき込み、キャベツ定植までの期間に3回耕うん。9月12日に基肥を施用し、9月13日にキャベツを株間40cm、畝間60cmで定植。10月2日及び10月24日に追肥を施用。12月3日に収穫

2) 二元配置分散分析の結果、試験区間の有意差はなし。図中のバーは標準誤差(n=3)を示す

## 2 春まきエンバクー秋冬ニンジンの作型におけるニンジンのリン酸減肥

可給態リン酸含量4mg/100gの土壤に、エンバク「ヘイオーツ」(雪印種苗(株))、アウエナストリゴサ(エンバク野生種)を2月及び3月に播種し、2月播種は草丈78cm、C/N比25(出穂期)で、3月播種は草丈53cm、C/N比13(栄養生長期)ですき込んだ。2月及び3月に播種したエンバク区とエンバクを栽培しない無栽培区それぞれに、リン酸を標準量施肥した区とリン酸を20%減肥した区を設けた。施肥は表4のとおりに行った。ニンジン「愛紅」(住化農業資材(株))を栽培し、収穫調査を行った。

二元配置分散分析の結果、2月播種エンバク区のニンジン可販収量が、無栽培区に比べて高かった(図4)。また、2月及び3月播種エンバクのリン酸20%減肥区の可販収量は、無栽培の標準施肥区と比べて有意な差がなかったことから、エンバクすき込み後のニンジンのリン酸20%減肥が可能であった。規格別本数割合は、無栽培区と比べて2月及び3月播種エンバク区でM以上の割合が高く、エンバクのすき込みによって根部の肥大が促進された(図5)。

表4 ニンジンの施肥設計

試験区	施用量 (kg/10a)		
	窒素	リン酸	加里
標準施肥	10	25	10
リン酸20%減肥	19	20	19

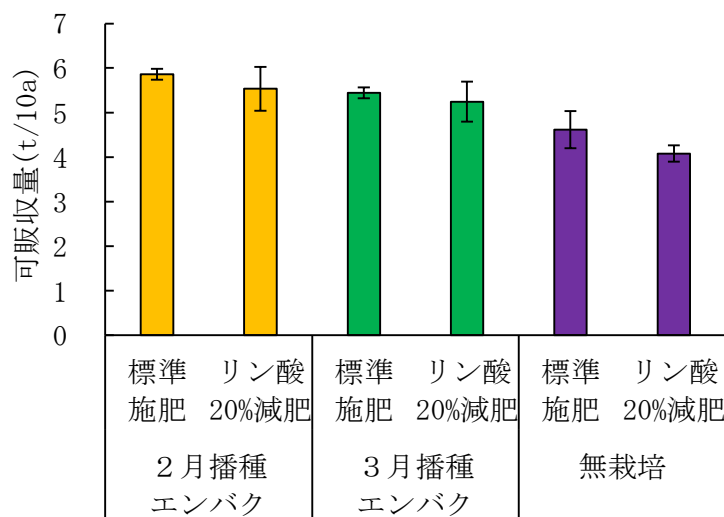


図4 エンバクすき込み後のニンジン可販収量

- 注1) エンバクの播種前日、全試験区に窒素 10kg/10a、加里 10kg/10a を施肥。平成 29 年 2 月 20 日及び 3 月 13 日にエンバクを 10g/m<sup>2</sup> 播種。5 月 25 日にすき込み、ニンジン播種までの期間に 6 回耕うん。7 月 24 日に施肥し、7 月 25 日にニンジンを株間 6 cm、畝間 70cm、条間 15cm で播種。11 月 7 日収穫
- 2) 二元配置分散分析の結果、2 月播種エンバク区と無栽培区に 5% 水準で有意差あり、施肥の相違（標準施肥、リン酸 20% 減肥）と緑肥×施肥に有意差なし。多重比較（Tukey-Kramer 法）の結果、全ての試験区間に有意差なし。図中のバーは標準誤差(n=3)を示す

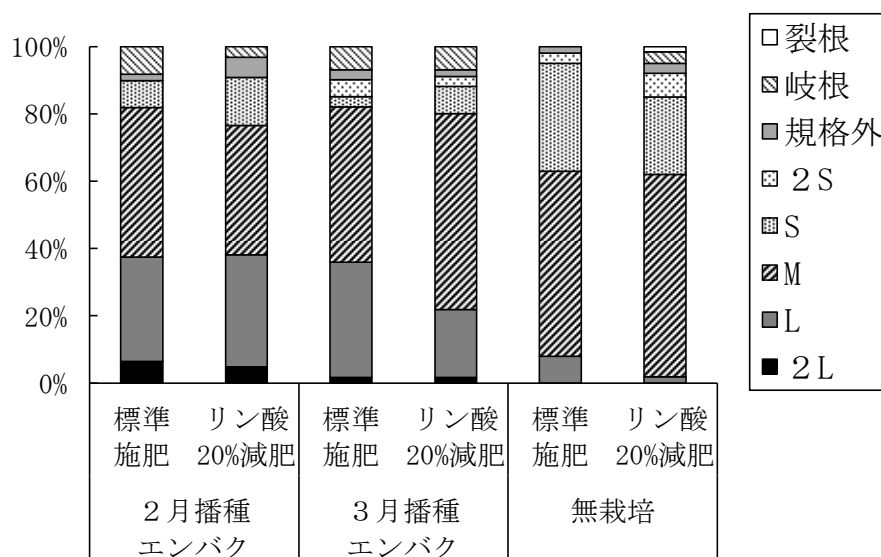


図5 エンバクすき込み後ニンジン規格別本数割合

- 注) 出荷規格は、2L : 300~449g、L : 200~299g、M : 120~199g、S : 80~119g、2S : 60~79g (以上が可販) とし、規格外を 60g 未満とした

### 3 ソルガムの導入における注意点

#### (1) ソルガムの連作障害

ソルガムは連作障害が発生することがあり、出芽から数週間後頃に葉が赤紫色になり、その後生育が停滞する。この連作障害はソルガムを1～2年間休閑すると生育が改善された（写真8）。対策としては、ギニアグラスなど他のイネ科緑肥を栽培する方法が挙げられる。



写真8 休閑1～2年によるソルガム「ジャンボ」の連作障害の軽減効果

#### (2) 過剰に生長したソルガムのすき込みによる後作への影響

植物体として大きくなりすぎたソルガム（草丈260cm、C/N比48）をすき込むと、ソルガムの分解が十分に進まず、キャベツ定植後に生育障害が生じて減収した。すき込みから定植までの期間の耕うん回数を3回から6回に増やし、ソルガムの分解を促すことで生育障害及び減収は軽減された（図6）。しかし、ソルガムを6回耕うんした区においても、リン酸20%減肥区の収量は標準施肥区と比べて低く、大きくなりすぎたソルガムをすき込んだ影響が残った。リン酸減肥を目的にソルガムを導入する場合は、過剰に生長したソルガムのすき込みを避ける必要がある。

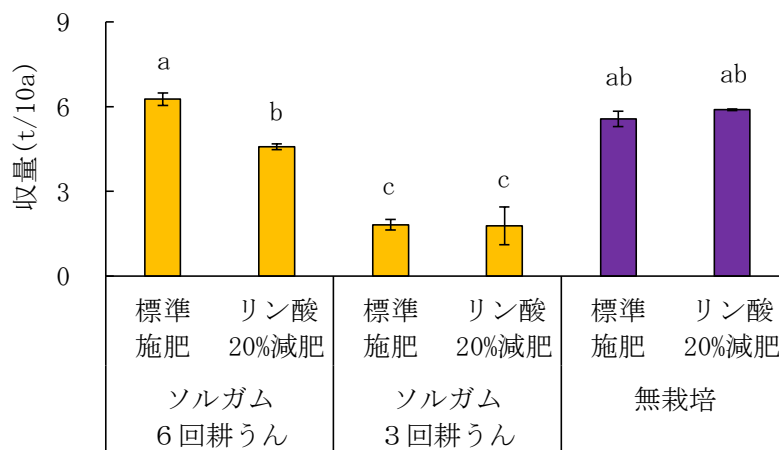


図6 草丈260cm、C/N比48のソルガムすき込み後のキャベツ収量

- 注1) 平成29年5月17日にソルガムを播種（品種、施肥、播種量は図1と同じ）。8月2日に260cm、C/N比48ですき込み。9月13日の粗大有機物乾物重は、6回耕うん区が156kg/10a、3回耕うん区が565kg/10a。9月13日に基肥。9月13日にキャベツを定植。10月5日及び10月24日に追肥。12月5日に収穫。その他の耕種概要は図1と同じ
- 2) 異なるアルファベット間には多重比較（Tukey-Kramer法）により5%水準で試験区間に有意差があることを示す。図中のバーは標準誤差（n=3）を示す

#### 4 緑肥作物導入による土壤中のリンの動態

##### (1) 土壤中のリンの動態

土壤中のリンは、植物が利用できる可給態リン酸の他に、植物が利用できない難溶性無機態リンと有機態リンが存在する（図7）。これらのリンは、リン溶解菌やホスファターゼの活性により植物が利用できるようになる。また、土壤微生物が体内に取り込んだリンである土壤のバイオマスリンは、微生物の死後、リンが放出されて植物が利用できる。

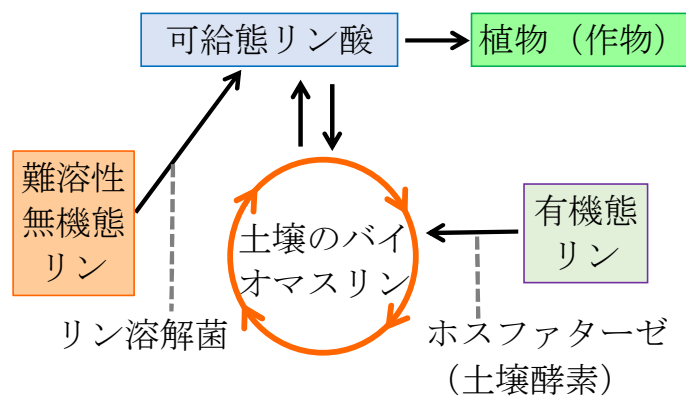


図7 作物の吸収に関与する土壤中のリンの動態

##### (2) ソルガムのすき込みが土壤中のリンの動態に及ぼす影響

可給態リン酸含量 3 mg/100g の土壤に、ソルガム（草丈 223cm、C/N 比 30）をすき込んだ。すき込み 4 週間後の土壤の可給態リン酸含量は無栽培区と比べて有意な差がなかった（図8）。一方、土壤のバイオマスリンは無栽培区と比べて有意に高かった（図9）。また、ホスファターゼの一種であるホスホモノエステラーゼの活性とリン溶解糸状菌の数が有意に高かった（データ省略）。よって、ソルガムのすき込みにより、ソルガムに含まれていたリンと土壤酵素・微生物活性が高まることで溶解された土壤のリンを微生物が取り込み、土壤のバイオマスリンが増加したと考えられた。

ソルガムすき込み後にリン酸無施肥でキャベツを栽培した。キャベツ定植前の土壤のバイオマスリンとキャベツのリン酸吸収量は正の相関があった（図10）。キャベツのリン酸吸収に土壤のバイオマスリンが関与している可能性があり、キャベツ生育期間中に土壤微生物からリンの供給が行われたと考えられた。

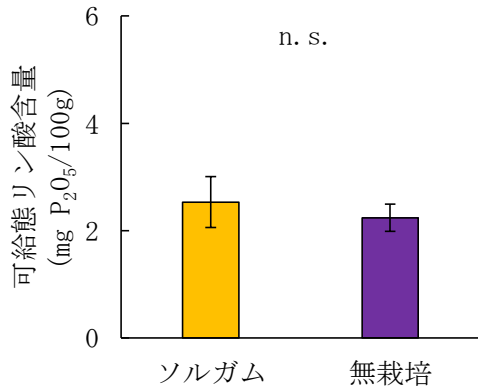


図8 ソルガムすき込み4週間後の可給態リン酸含量

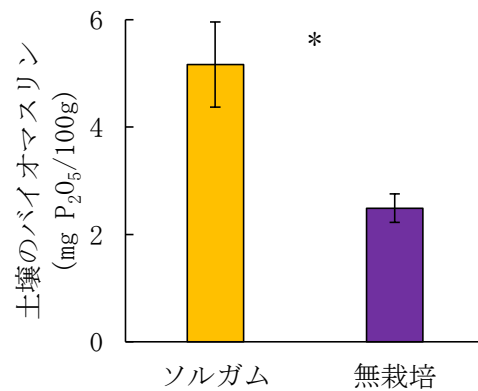


図9 ソルガムすき込み4週間後の土壌のバイオマスリン

- 注1) 平成27年6月15日にソルガムを播種 (品種、施肥、播種量は図1と同じ)。9月14日にすき込み、3回耕うん
- 2) n. s. は t 検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。図中のバーは標準誤差 (n=3)を示す

- 注1) 耕種概要は図8と同じ
- 2) \*は t 検定の結果、5%水準で有意差があることを示す。図中のバーは標準誤差 (n=3)を示す

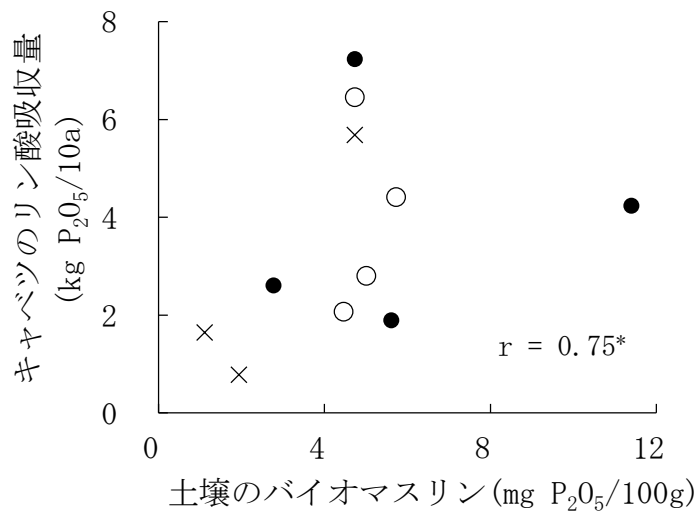


図10 キャベツ栽培前土壌のバイオマスリンとキャベツのリン酸吸収量との関係

- 注1) 平成28年5月2日、6月15日にソルガムを播種 (品種、施肥、播種量は図1と同じ)。8月12日に5月播種は草丈227cm、C/N比35、6月播種は143cm、C/N比22ですき込み。9月12日に採土し、窒素、加里ともに19kg/10aを施肥。9月13日にキャベツを定植 (品種、栽植密度は図1と同じ)。10月18日、11月7日に合計窒素8kg/10a、加里5.3kg/10aを施肥。12月6日に収穫
- 2) 図中の各点は無栽培区、ソルガム5月播種区、ソルガム6月播種区の結果を示す
- 3) \*は5%水準で有意であることを示す

なお、本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「生産コストの削減に向けた有機質資材の活用技術の開発」（2015～2019年度）で実施した。

#### 参考文献

- (1) 唐澤俊彦 編 (2020) 5-8-2 ニンジンのリン酸減肥 (千葉県)、緑肥利用マニュアルー土づくりと減肥を目指して一、36-37、(国研)農研機構 中央農業研究センター、つくば市
- (2) 千葉県 (2020) 緑肥すき込み後に栽培する野菜のリン酸減肥、令和2年度試験研究普及成果情報、[https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyuu/documents/r2\\_06\\_02.pdf](https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyuu/documents/r2_06_02.pdf)
- (3) 一般社団法人 農山漁村文化協会 (2021) 最新農業技術土壌施肥 vol. 13 p81-87
- (4) 株式会社誠文堂新光社 (2021) 農耕と園芸 2021. 3 春号 p31-34



## IV 緑肥作物による硝酸態窒素の溶脱抑制とすき込み後の基肥窒素代替

### 技術のポイント

野菜などの作付けの間に緑肥作物を導入することにより、畑地からの硝酸態窒素の溶脱を抑制することができる。特に、夏作のソルガム及び冬作のエンバクは、硝酸態窒素が下層に残存する場合でも溶脱を抑制する。栽培後の緑肥は、すき込むことで次作の基肥窒素の代替として利用できる。

野菜などを収穫した後の土壌に残存する硝酸態窒素は、降雨にともない溶脱して地下水を汚染することが懸念される。緑肥作物を野菜などの作付けの間に導入し、作土層より下層にある硝酸態窒素を緑肥作物に吸収させることができれば、地下水への溶脱を抑制でき、次作の基肥窒素の代替として再利用できると考えられる（図 11）。

ここでは、緑肥作物が硝酸態窒素を吸収できる深さと量を紹介する。そして、栽培後にすき込んだ緑肥作物が分解して窒素を放出し、次作の基肥として利用できることを紹介する。



図 11 緑肥作物による硝酸態窒素の溶脱抑制とすき込み後の基肥窒素代替

### 1 緑肥作物が吸収できる硝酸態窒素の深さと量

夏作と冬作の緑肥作物が吸収できる硝酸態窒素の深さと量を明らかにするため、硝酸態窒素が残存する深さを変えた試験区を設定し、緑肥作物が吸収した窒素量を測定した。

(1) 硝酸態窒素が残存する深さを変えた試験区の設定

試験は黒ボク土の露地畑で実施した。硝酸態窒素が残存する深さを変えるため、緑肥作物の播種前に時期を変えて硝酸加里を窒素成分で 15kg/10a 施用した。硝酸加里の施用日は、夏作緑肥作物が播種の 13、59 及び 132 日前、冬作緑肥作物が播種の 13、55 及び 86 日前である。硝酸加里の施用から播種までの期間が長いほど積算の降水量が多くなるため、土壌水の移動により硝酸態窒素が深くまで浸透させることができた。ここでは、硝酸加里の施用から播種までの期間が短い区から順番に上層区、中層区及び下層区とした。夏作緑肥作物播種時に硝酸態窒素含量が高かった深さは、上層区が地表下 10~20cm、中層区が 30~40cm、下層区が 60~70 cmであった (図 12)。冬作緑肥作物播種時に硝酸態窒素含量が高かった深さは、上層区が地表下 10~20cm、中層区が 30~40cm、下層区が 50~60cm であった。

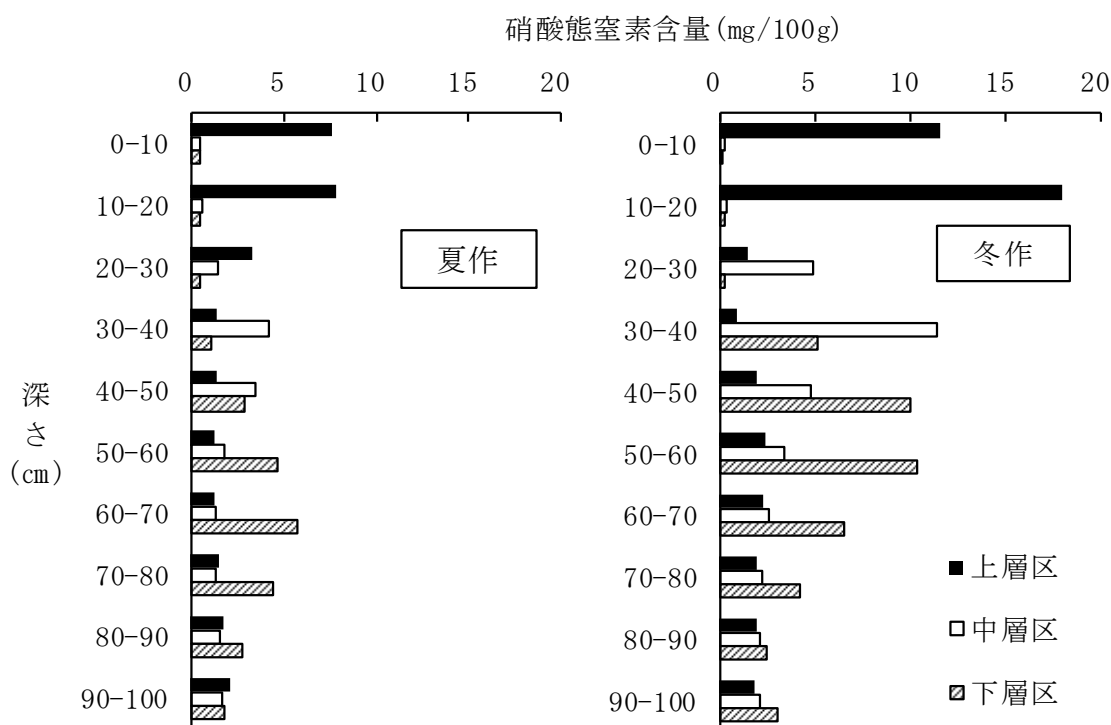


図 12 緑肥作物播種前の土壌の深さ別硝酸態窒素含量

注 1) 緑肥作物の播種前に時期を変えて硝酸加里を窒素成分で 15kg/10a 施用した (リン酸は無施用)。硝酸加里の施用日は、夏作緑肥作物が播種の 13、59 及び 132 日前、冬作緑肥作物が播種の 13、55 及び 86 日前とした

2) 緑肥作物の播種前に各試験区 1 か所から深さ 0~100cm まで 10cm ごとに土壌を採取した

(2) 夏作緑肥作物の生育量及び窒素吸収量

硝酸態窒素が残存する深さを変えた試験区において、夏作緑肥作物のソルガム (「つちたろう」雪印種苗 (株))、スーダングラス (「ねまへらそう」雪印種苗 (株)) 及びギニアグラス (「ソイルクリーン」雪印種苗 (株)) を平成 21 年 7 月 9 日に播種し、55 日間栽培した。

その結果、ソルガムの地上部新鮮重は、上層、中層及び下層のいずれの試験区においても7～9 t/10aであり、スーダングラス及びギニアグラスと比べて重かった（表5）。また、スーダングラス及びギニアグラスの地上部新鮮重は、残存する硝酸態窒素が深い区ほど軽くなる傾向を示した。

窒素吸収量は、上層区ではスーダングラスが最も多かったが、中層区及び下層区ではソルガムが最も多かった。ギニアグラスの窒素吸収量は、いずれの試験区でも最も少なかった。ソルガムの窒素吸収量は硝酸態窒素が残存する深さに関わらず20kg/10a程度であった。一方、スーダングラス及びギニアグラスの窒素吸収量は残存する硝酸態窒素が深い区ほど少ない傾向を示した。施用量の15kg/10aを上回る窒素吸収量は、ソルガムが全ての試験区において、スーダングラスが上層区と中層区において、ギニアグラスでは上層区において認められた。

表5 夏作緑肥作物の地上部新鮮重と窒素吸収量

緑肥	試験区	地上部新鮮重 (t/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)
ソルガム	上層	7.4	18.8
	中層	8.3	20.4
	下層	9.3	19.8
スーダングラス	上層	6.6	21.6
	中層	5.7	15.1
	下層	4.7	10.0
ギニアグラス	上層	6.1	16.0
	中層	3.7	10.3
	下層	2.1	5.6

注1) 平成21年7月9日に播種し、55日間栽培した。栽培終了日に各区の生育が中庸な条から1m分の緑肥作物を採取した

2) 窒素吸収量は、採取した緑肥作物を通風乾燥後、粉碎してNCアナライザー（住化分析センター製、スミグラフNC-900）を用いて分析した。地上部と地下部の合量

### (3) 冬作緑肥作物の生育量、窒素吸収量及び土壌の硝酸態窒素残存量

冬作緑肥作物として、エンバク（「ヘイオーツ」雪印種苗（株）、アウエナ ストリゴサ（エンバク野生種））及びイタリアンライグラス（「タチムシャ」雪印種苗（株））を平成21年12月2日に播種し、155日間栽培した。

その結果、地上部新鮮重はエンバクが4.5～5.1t/10a、イタリアンライグラスが3.1～3.6t/10aであり、試験区による大きな差はなかった（表6）。

窒素吸収量は、エンバクが16.9～18.7kg/10a、イタリアンライグラスが11.3～13.9kg/10aであり、地上部新鮮重と同様に試験区による大きな差はなかった。エンバクでは全ての試験区で窒素吸収量が施用量の15kg/10aを上回った。

表6 冬作緑肥の地上部新鮮重と窒素吸収量

緑肥	試験区	地上部新鮮重 (t/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)
エンバク	上層	4.9	18.2
	中層	5.1	16.9
	下層	4.5	18.7
イタリアン	上層	3.6	13.9
ライグラス	中層	3.1	11.3
	下層	3.1	12.4

注1) 平成21年12月2日に播種し、155日間栽培した。栽培終了日に各区の生育が中庸な条から1m分の緑肥作物を採取した

2) 窒素吸収量は、採取した緑肥作物を通風乾燥後、粉碎してNCアナライザー（住化分析センター製、スミグラフNC-900）を用いて分析した。地上部と地下部の含量

#### (4) 緑肥作物栽培後の土壌の硝酸態窒素量

緑肥作物栽培後に深さ1mまで10cmごとの硝酸態窒素含量を調査し、緑肥作物を栽培しなかった無作付けと比較した。

夏作緑肥作物のソルガム及びスーダングラス栽培後の土壌の硝酸態窒素含量は、全ての試験区で無作付けと比べて低かった(図13)。一方、ギニアグラス栽培後の土壌の硝酸態窒素含量は、上層区では無作付けと比べて低かったが、中層区及び下層区ではその差が小さかった。こうした違いが生じる原因の一つとして、根群の深さの相違が挙げられる。夏作緑肥作物栽培後の下層区において根の分布を観察したところ、ソルガムの根の伸長は地表下80cm程度まで認められたのに対し、ギニアグラスでは地表下40cm程度までであった(写真9)。

冬作緑肥作物のエンバク及びイタリアンライグラス栽培後の土壌の硝酸態窒素含量は、両緑肥作物の上層区とエンバクの中層区及び下層区において無作付けと比べて低かった(図14)。しかし、イタリアンライグラスの中層区及び下層区では、その差がみられなかった。

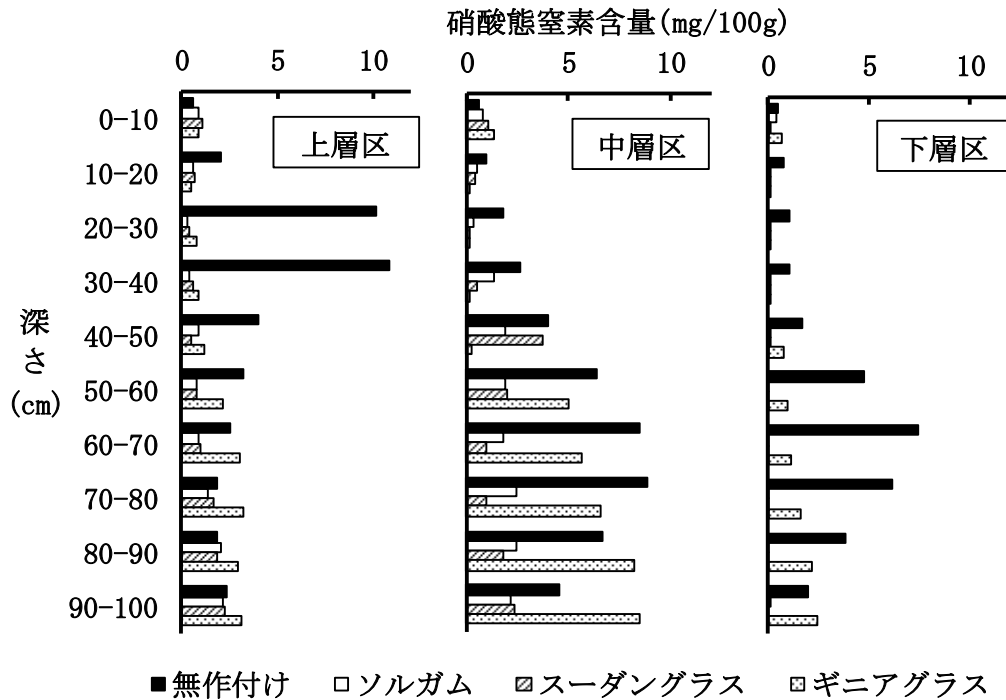


図 13 夏作緑肥作物栽培後の土壌の深さ別硝酸態窒素含量

注) 緑肥作物栽培終了日に各試験区の条と条間の 2 か所から深さ 0～100cm まで 10cm ごとに土壌を採取した

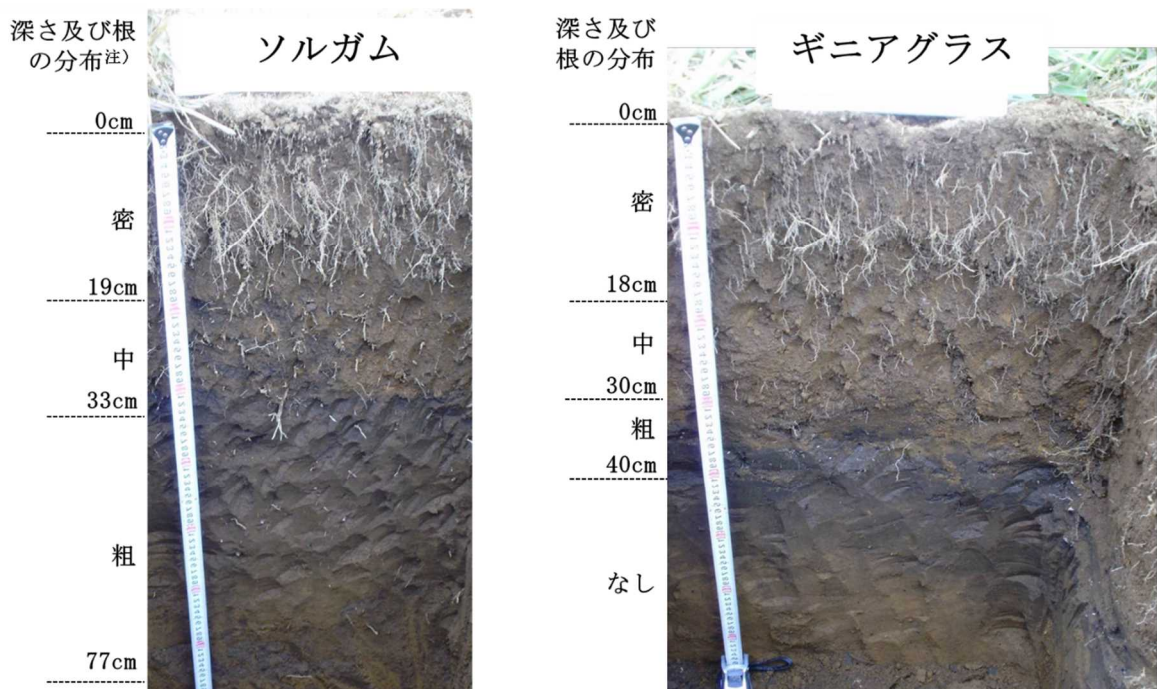


写真 9 下層区栽培終了時のソルガム及びギニアグラスの根の分布

注) 土壌断面における植物根が占める面積割合を表わす(達観による値)。密は 10%以上、中は 5～10%、粗は 5%以下、なしは 0%

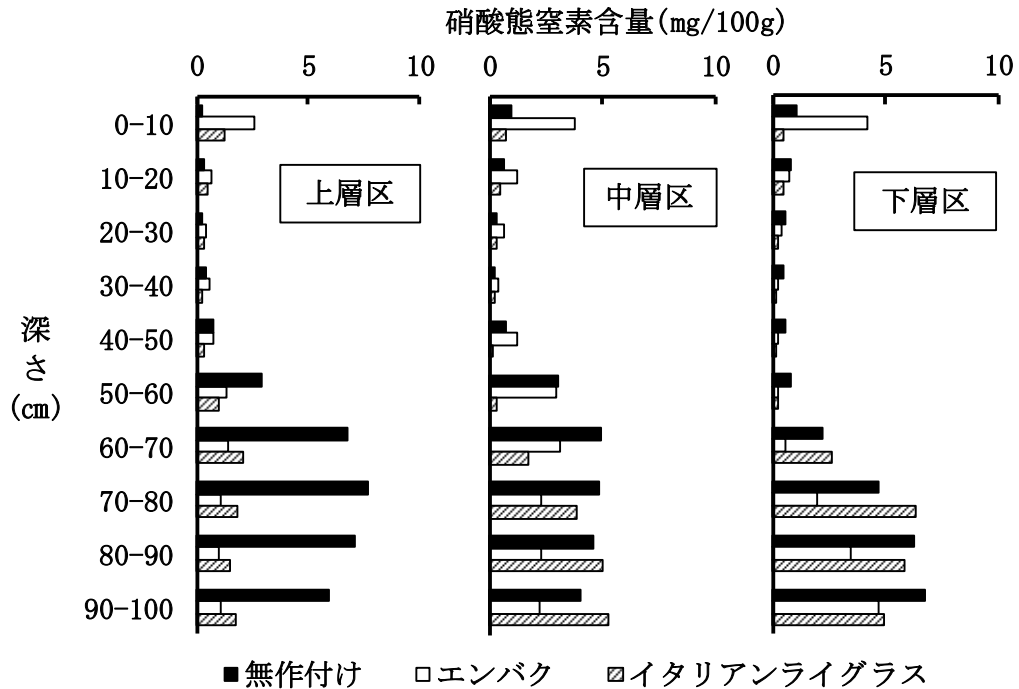


図 14 冬作緑肥作物栽培後の土壌の深さ別硝酸態窒素含量

注) 緑肥栽培終了日に各試験区の条と条間の2か所から深さ0~100cmまで10cmごとに土壌を採取した

## 2 緑肥作物による硝酸態窒素溶脱抑制

ソルガム、スーダングラス、ギニアグラス、エンバク及びイタリアンライグラスの窒素吸収量は、それぞれ18.8~20.4kg/10a、10.0~21.6kg/10a、5.6~16.0kg/10a、16.9~18.7kg/10a及び11.3~13.9kg/10aであった。これらの窒素吸収量は、土壌中の硝酸態窒素を溶脱させずに地上に回収した量とも考えられ、硝酸態窒素溶脱抑制の指標の一つと考えられる。特に、硝酸態窒素が土壌の上層に残存する条件において、イタリアンライグラス以外の緑肥は、施用量の15kg/10aを上回る窒素を吸収した。また、下層区におけるソルガム及びエンバクの窒素吸収量は、それぞれ19.8kg/10a及び18.7kg/10aと他の緑肥と比べて多い結果となった。このことから、両緑肥作物は、硝酸態窒素が下層に残存する場合でも、溶脱を抑制する能力を有すると考えられる。このことは、ソルガム及びエンバク栽培後の下層区における土壌の硝酸態窒素含量が、無作付け区と比べて少なかったことから確認できた。

## 3 緑肥作物が吸収した窒素による次作の基肥窒素代替効果

緑肥作物が吸収した窒素をどの程度次作の基肥窒素として利用できるのか、コマツナを栽培して検討した。10a当たり12kgの窒素を吸収したソルガム(C/N比32)及びエンバク(C/N比24)をすき込み、基肥窒素を段階的に削減した試験区を設定してコマツナ(「きよすみ」(株)サカタのタネ)を播種した。播種までの耕うん回数は、すき込み時とコマツナの施肥時を合わせて計4

回である。コマツナの播種日は、ソルガムすき込み 28 日後の平成 24 年 10 月 16 日、エンバクすき込み 33 日後の平成 24 年 6 月 25 日であり、収穫日はそれぞれ 12 月 10 日及び 7 月 23 日である。慣行区の施肥窒素量は千葉県の施肥基準に準じて 12kg/10a とした。その結果、ソルガム及びエンバクの窒素吸収量の 50%相当量である 6 kg/10a を基肥から削減しても、慣行栽培と同程度の収量が得られた（写真 10、図 15）。

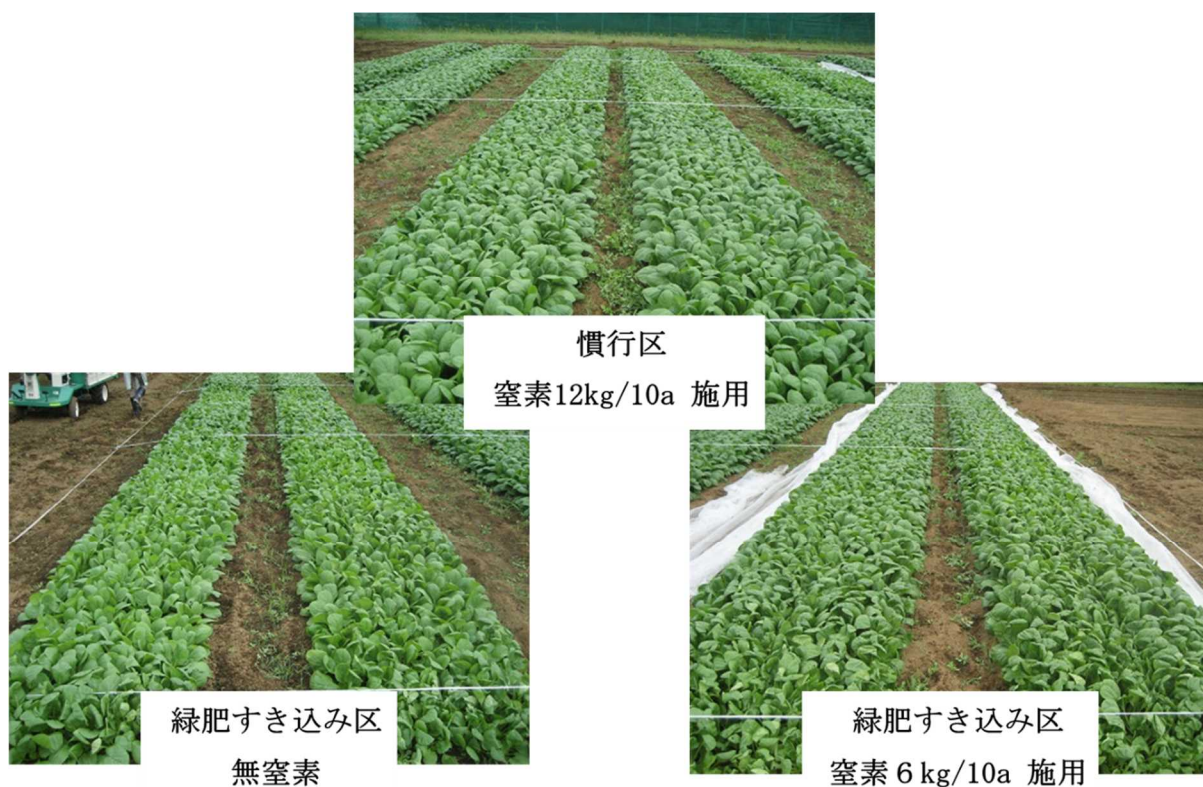


写真 10 エンバクすき込み後のコマツナの生育状況

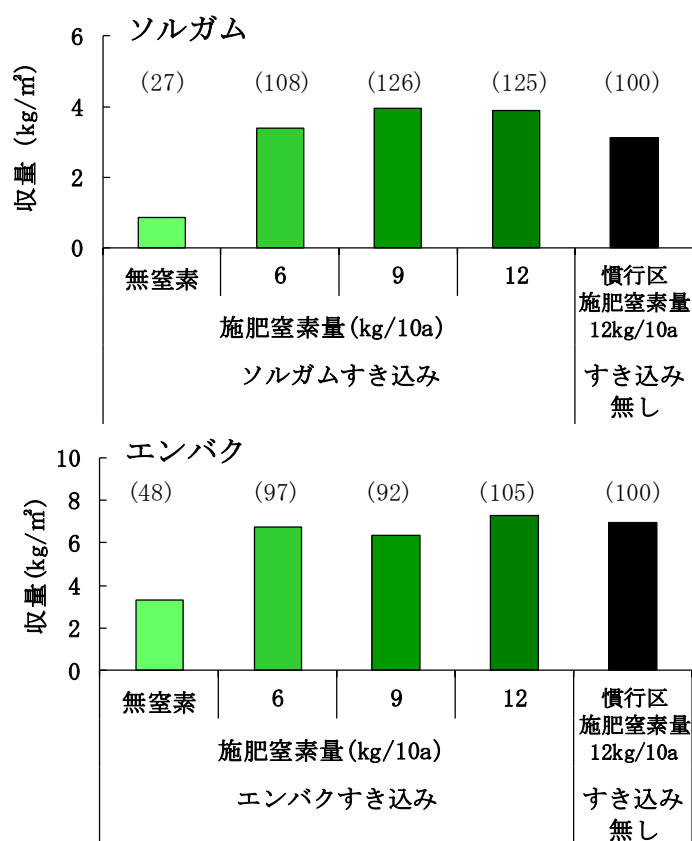


図 15 緑肥作物すき込み後に基肥を削減して栽培したときのコマツナの収量

注 1) ( ) 内は慣行区の収量を 100 とした割合

- 2) ソルガム及びエンバクは試験区外で栽培し、窒素吸収量 12kg/10a 相当量をすき込み区にすき込んだ
- 3) リン酸及び加里の施用量は、両成分とも全区で 12kg/10a
- 4) コマツナの播種日はソルガムすき込み 28 日後の平成 24 年 10 月 16 日、エンバクすき込み 33 日後の平成 24 年 6 月 25 日であり、収穫日はそれぞれ 12 月 10 日及び 7 月 23 日

#### 参考文献

- (1) 千葉県 (2015) 緑肥の硝酸態窒素溶脱抑制効果とすき込み後の基肥窒素代替効果、平成 25 年度試験研究成果普及情報、  
<https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyuu/documents/h25seika-nourin30.pdf>
- (2) 原田浩司・八槇敦・山本幸洋 (2014) 緑肥作物の窒素吸収特性と硝酸態窒素溶脱抑制効果、千葉農林総研研報 6、41-49
- (3) 山本幸洋 (2018) 緑肥作物による硝酸態窒素の溶脱抑制とすき込み後の基肥窒素代替～コマツナの基肥代替を例に～、土づくりとエコ農業 50 (2)、12-16



## V 害虫ヒョウタンゾウムシを増やさない緑肥作物

### 技術のポイント

トビイロヒョウタンゾウムシを増やさない緑肥作物を明らかにするため、7種についてゾウムシの生存や増殖に及ぼす影響を調査した。ソルガム及びスーダングラスでは成虫は産卵せず幼虫の羽化率も低いため、ゾウムシ被害がある圃場でも利用可能である。クロタラリアでは若干産卵するが、幼虫の餌として不適なため、本虫が少ない圃場で利用できると考えられる。

ヒョウタンゾウムシ類は野菜、畑作物等の害虫として古くから知られ、成虫が地上部を、幼虫が地下部を加害する。千葉県では特にニンジン、落花生、ゴボウなどで被害が問題になっている。

露地野菜や畑作物では土づくりや線虫害の対策として緑肥作物の導入が進んでいる。しかし、ヒョウタンゾウムシ類は多様な植物を餌として利用できるため、緑肥が餌となって本種を増やす可能性があることへの懸念から、ゾウムシの生息地では緑肥作物の導入が控えられてきた。そこで、線虫対抗植物や土壌病害対策として利用される緑肥作物7種についてゾウムシの生存や増殖に及ぼす影響を調査した。

### 1 ヒョウタンゾウムシ類の生態 (図 16)

害虫として問題となるヒョウタンゾウムシはトビイロ及びサビの2種類である。両種は酷似し、肉眼での見分けは困難であるが、防除対策は共通している。成虫の体長は6～9mm、体色は灰褐色や黒褐色である。後翅が退化し飛べないため、歩行のみによって移動する。卵は寄主植物の毛茸や株元の地表面等に産み付けられ、産卵直後は白いが、約1日経つと黒くなる。幼虫は乳色～黄白色で、脚はない。幼虫は体長約10mmまで発育した後、地中で蛹になる。25℃条件下では、産卵から約3か月で羽化する。越冬した成虫は4月中下旬から活動し、5月上中旬に産卵を開始し、

6～8月頃まで生存する。早い時期に産卵されて孵化した次世代の幼虫は7～8月に羽化するが、すぐに地表へ出現せず地中で越冬する個体が多いことがわかっている。一旦地表に出た成虫は再び地中に潜らずに、10月頃から雑草や冬作物の株元、枯れ草の下の地表面等で越冬する。



図 16 圃場におけるヒョウタンゾウムシ類の生活環

## 2 緑肥作物を餌とした場合のヒョウタンゾウムシの増殖及び生育

ヒョウタンゾウムシを増やさない緑肥作物を明らかにするため、以下の室内試験を行った。7種の緑肥作物について、羽化後未摂食のトビイロヒョウタンゾウムシ成虫に葉を与え、その後の生存や産卵に及ぼす影響を調査した（図 17）。また、孵化直後からニンジン根部切片を与えて 21 日間飼育した幼虫を、各種植物を植栽した遠沈管に移して飼育し、その後の生死及び羽化を調査した（図 18）。

マリーゴールドの葉を与えた成虫は落花生やニンジンと同様に多数産卵し、根を与えた幼虫の生存率も高いままであった。カラシナを与えた成虫の産卵数や生存期間が減少した。幼虫の生存率も低下したが、一部は成虫に羽化した。クロタラリア・スペクタビリス（以下、クロタラリア）を与えた成虫は若干産卵したものの産卵数はカラシナよりも少なかった。幼虫の生存率は極めて低く、生存期間も短かった。

イネ科の緑肥作物では、種間で傾向が大きく異なった。ライムギでは成虫の産卵数はニンジンや落花生と比べて少なかったものの、幼虫の生存率は高く、落花生と同様に多数が羽化した。エンバク（アウエナ ストリゴサ）では産卵数は極めて少なかった。幼虫の生存率も減少したが、カラシナと同様、一部が長く生存した。ソルガム及びスーダングラスの葉を与えた成虫では、産卵は全く見られず、スーダングラスでは 100 日以内に死亡した。これらの根を与えた幼虫の生存率も極めて低かった。

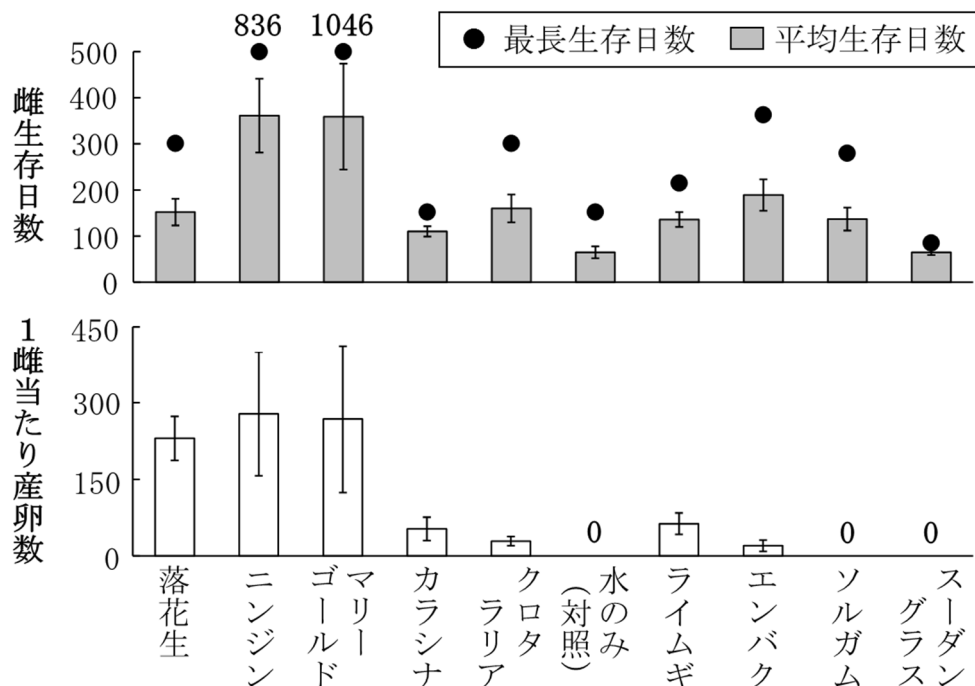


図 17 緑肥作物等の葉を与えたトビイロヒョウタンゾウムシ雌成虫の生存日数（上）及び産卵数（下）

注 1) 試験条件：25℃、16L：8D、供試数：各 10、エラーバーは標準誤差

2) 増殖に有効な孵化卵の数を産卵数として示した

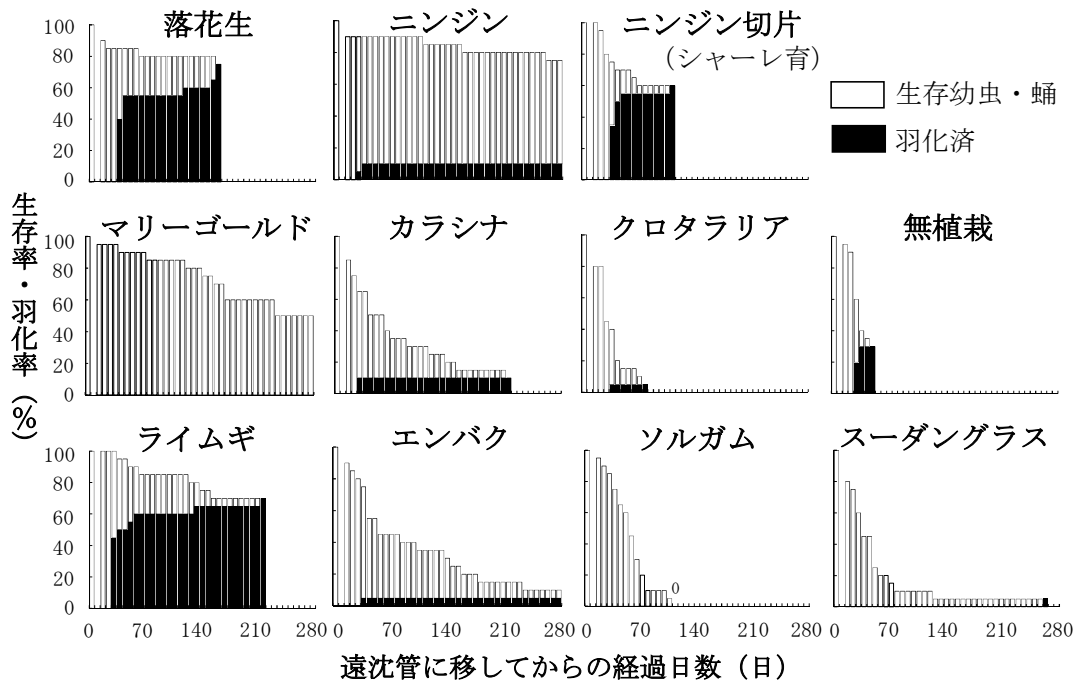


図 18 孵化後 21 日間ニンジン切片を与えたトビロヒョウタンゾウムシ幼虫に  
緑肥作物等の根部を与えた場合の生存率の推移

注) 飼育条件：24℃、16L：8D、供試個体数：各 20 頭

また、羽化したばかりの成虫を枠内に植栽した各種植物に放飼した圃場試験を行った（写真 11）。放飼の約 2 か月後には落花生やマリーゴールドでは地上部に成虫が寄生して食害し、地下部では多数の幼虫が見られた。一方、クロタラリアでは成虫の食害が見られるものの幼虫の発生はごくわずかであった。ソルガム及びスーダングラスでは地上部に成虫の食害はほとんど見られず、地下部の幼虫の発生も見られなかった（図 19）。



写真 11 圃場での放飼試験

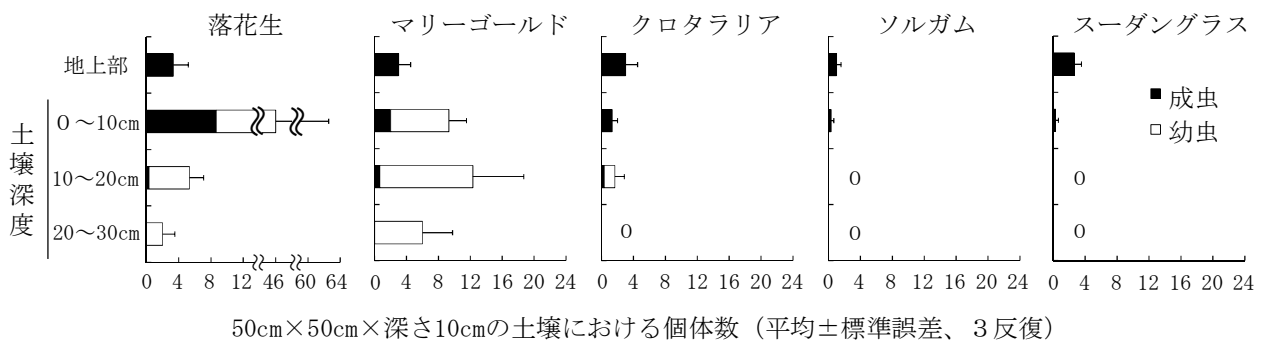


図 19 各餌種を植栽した枠圃場の地上部及び地下 30cm までの各土壌深度における  
トビロヒョウタンゾウムシの生息個体数

注) 平成 30 年 8 月 14 日に枠内に放飼してネットで被覆し、約 2 か月後に調査した

### 3 ヒョウタンゾウムシの生息地における緑肥作物の利用の適否

ソルガム及びスーダングラスは成虫が産卵せず、幼虫の羽化率も低く餌に適さないため、ゾウムシの生息地における緑肥として利用可能と考えられる(表7)。クロタラリアでは成虫が若干産卵するが、幼虫の餌には適さないため、ゾウムシが少ない圃場であれば利用できると思われる。一方、マリーゴールドやライムギは、落花生やニンジンと同様にゾウムシの増殖が可能であり、ヒョウタンゾウムシの被害が問題になるところでは、緑肥としての利用は適さないと考えられる。カラシナ及びエンバクはゾウムシをあまり増やさないと思われるが、成虫が産卵できることと、羽化率は低いものの幼虫がやや長く生存することに留意する必要がある。

表7 トビイロヒョウタンゾウムシの増加要因からみた7種植物の緑肥作物としての適否

評価項目	マリー ゴールド	カラシナ	クロタ ラリア	イネ科			
				ライムギ	エンバク	ソルガム	スーダン グラス
産卵数	極めて多い	少ない	ごく少ない	多い	ごく少ない	なし	なし
成虫の餌としての適性	高い	ある	低い	高い	ある	極めて低い	極めて低い
幼虫の生存、羽化率	高い	低い	極めて低い	高い	低い	なし	極めて低い
適否	×	△	○	×	△	◎	◎

注) ◎: 緑肥としての利用に適する、○: 利用可能、△: 注意を要する、×: 利用不可能

#### 参考文献

- (1) 大井田 寛・福田 寛・発地空介・清水敏夫・鈴木健司 (2019) ラッカセイおよび緑肥作物を植栽した柀圃場におけるトビイロヒョウタンゾウムシ(コウチュウ目:ゾウムシ科)の寄主植物適性の評価、応動昆 63、189-197
- (2) Hiroshi Oida, Hiroshi Fukuda & Kenji Suzuki (2021) Evaluation of seven green manure crops as antagonists against larvae of *Scepticus griseus* (Coleoptera: Curculionidae), an insect pest of vegetables and field crops, Applied Entomology and Zoology 56, 83-90
- (3) 大井田 寛 (2020) ヒョウタンゾウムシを増やさない緑肥作物、千葉の園芸 69、5

「私的使用のための複製」や「引用」など著作権法上認められた場合を除き、本資料を無断で複製・転用することはできません。

発 行 令和4年3月 千葉県・千葉県農林水産技術会議  
問い合わせ先 千葉県農林総合研究センター土壌環境研究室 TEL 043(291)9990

