

九州における緑肥作物を活用した 持続型農業への取り組み

1.はじめに

九州沖縄農業研究センター（以下、九州沖縄農研）都城研究拠点では、これまで南九州地域の畑作物に被害を与える有害線虫の作付体系による防除技術の研究が活発に行われてきた。有害線虫には、様々の種類があることが知られており、九州地域においてはサツマイモネコブセンチュウ、ミナミネグサレセンチュウなどが問題となっている。これらの有害線虫は広い範囲の畑作物や露地野菜に被害を与えるため、栽培指針や農業技術書を見ると、線虫の被害を受けやすい作物の栽培前には殺線虫剤を用いて土壤消毒を行うことが勧められている。こうして、九州地域では毎年大量の土壤消毒剤が使用されており、生産コストを高めているのみならず、農業生産環境への影響が懸念されている。最近、原油価格や肥料原料鉱石価格の高騰など農業を巡る直接的・間接的な状況が厳しくなっている。長期的視野に立てば地球上の資源は有限であるので、資源をできるだけ節約しながら有効利用する技術が今後いっそう重要となると考えられる。農業の持続性を考える場合には、こうした資源を節約する視点を持つことが大切である。こうした意識から、私達は一貫して持続型畑作農業を推進するために、過剰な農薬や化学肥料の使用を節減する減農薬・減化学肥料栽培技術の開発に取り組んでいる。

ここで、南九州地域の畑作物の中の基幹作物の一つであるサツマイモについて見ると、品種「コガネセガン」や「高系14号」は栽培開始時の有害線虫サツマイモネコブセンチュウの生息密度条件に応じて線虫被害を受け、収穫時には有害線虫の密度が極端に高まる現象がしばしば観察される。このため、これらの線虫被害を受けやすいサツマイモ品種の栽培前には、有害線虫の密度を低く制限し、線虫被害を抑えるために土壤消毒が一般的に行われている。

一方、作物の中には栽培することにより土壤中の有害線虫の密度を低減（抑制）してくれる作物があ

ることが知られており、「線虫対抗植物」あるいは「線虫抑制作物」と呼ばれている。よく知られている線虫対抗植物には、マリーゴールド、ギニアグラス、クロタラリアなどがある。また、サツマイモ品種には有害線虫に対する抵抗性には大きな違いがあり、品種の中には極めて抵抗性が強い品種「ジェイレッド」などがあることが知られている⁵⁾。ジェイレッドを栽培することにより土壤中のサツマイモネコブセンチュウ密度を低く維持する効果があることが確認された⁶⁾。こうした有害線虫の密度を低く抑制し、後作物の線虫被害を抑えてくれる線虫抑制作物の利用技術について、ここでは「緑肥作物の利用」の視点から私達の研究についていくつか紹介する。線虫抑制作物であるクロタラリア（ネマコロリ）とソルガム（つちたろう）の生育の様子を写真1と写真2に示す。



写真1 狭条播種栽培された「ネマコロリ」(ドリルシーダーによる、条間約25cm)。



写真2 狭条播種栽培された「つちたろう」(ドリルシーダーによる、条間約25cm)。

2. 線虫抑制作物クロタラリア (ネマコロリ、ネマキング) とソルガム (つちたろう) の緑肥作物としての栽培試験

九州沖縄農研・都城研究拠点では、これまでに線虫抑制作物クロタラリアや線虫抑制性ソルガムあるいは飼料作物ソルガムの無除草剤条件の栽培試験を行い、異なる栽培様式(散播/条播)の下での作物生育の比較と雑草抑制効果について報告した¹⁾。ここでは、2003年夏作より2005年夏作まで夏季3作・冬季2作の緑肥作物栽培を伴う輪作試験について紹介する。試験圃場(黒ボク土、45m×34m)に19m×8.5mの大きさの区画を8区設け、表1に示す通りの8栽培処理区を3年5作の輪作体系として設計した。緑肥作物栽培においては無除草剤条件とした。

緑肥作物として、クロタラリア(ネマコロリ、ネマキング)、ソルガム(つちたろう)を7月中旬播

種した。播種量は、2003年夏と2004年夏にはクロタラリア9g/m²、つちたろう5g/m²で手播き・散播し、2005年夏には狭条播種機(ドライブハロー+クリーンシーダー、条間18cm)により条播(播種量クロタラリア9g/m²、つちたろう5.8g/m²)した。施肥は、苦土石灰100kg/10aを施した後、クロタラリアについては基肥量N3.6kg、P₂O₅10.2kg、K₂O9.6kg/10a、つちたろうについては基肥量N9kg、P₂O₅9kg、K₂O7.2kg/10aとした。10月上旬にフレールモア+ロータリですき込みを行った。緑肥作物の収量調査、雑草調査、土壌有機物含量調査を行った。なお、冬季~春季トンネル・ダイコン栽培は、ダイコン品種「春風太」、播種12月中旬、収穫4月上旬の条件でトンネル栽培した。

- ① 緑肥作物の地上部乾物収量(図1左)はネマコロリとつちたろうでは約700~900g/m²と高く、土壌への有機物供給量は多かった(2004年夏季では台風の影響により減収した)。ネマキングでは約400~600g/m²とやや低かった。
- ② 輪作体系下の雑草乾物重(緑肥収穫時)は、つちたろう栽培区では3年間を通して0.3~1.1g/m²(雑草/作物比0.002以下、図1右)と極めて低く、安定した雑草制御能が確認できた。クロタラリアについては、ネマコロリで18g/m²(雑草/作物比0.03)、69g/m²(同0.22)、ネマキングでは87g/m²(同0.15)とやや多いあるいは多い年があった。2005年夏に18cm狭条播種(機械播き)すると、つちたろうとネマコロリでは雑草量は少なく、ネマコロリ区の雑草制御能が向上した。
- ③ 緑肥すき込みがダイコン栽培前(土壌採取12月上旬)の土壌有機物量に及ぼす影響を、2mmふるい分け+土壌焼却減量法により分析した(図2)。土壌有機物量(焼却減量、2mm以下)は、1年目においてつちたろう区で休閑区と比べて約1%増加した(図2左)。つちたろうの2年連作で漸増する可能性があった(図2右)。マメ

表1 3年5作(夏季3作・冬季2作)の輪作試験における8栽培処理区的设计

処理区	2003年夏	2003冬-2004春	2004年夏	2004冬-2005春	2005年夏
プロット1(P1)	つちたろう	T・ダイコン	つちたろう	T・ダイコン	サツマイモ
プロット2(P2)	夏季休閑	T・ダイコン	夏季休閑	T・ダイコン	サツマイモ
プロット3(P3)	ネマコロリ	T・ダイコン	ネマコロリ	T・ダイコン	サツマイモ
プロット4(P4)	ネマキング	T・ダイコン	つちたろう	T・ダイコン	サツマイモ
プロット5(P5)	ネマコロリ	T・ダイコン	サツマイモ	T・ダイコン	ネマコロリ
プロット6(P6)	ネマキング	T・ダイコン	サツマイモ	T・ダイコン	ネマキング
プロット7(P7)	つちたろう	T・ダイコン	サツマイモ	T・ダイコン	つちたろう
プロット8(P8)	夏季休閑	T・ダイコン	サツマイモ	T・ダイコン	夏季休閑

備考:①T・ダイコンは、12月中旬播種-4月上旬収穫のトンネル・ダイコン栽培を示す。ダイコン品種は「春風太」を供試した。

②サツマイモ品種は「コガネセンガン」を供試した。

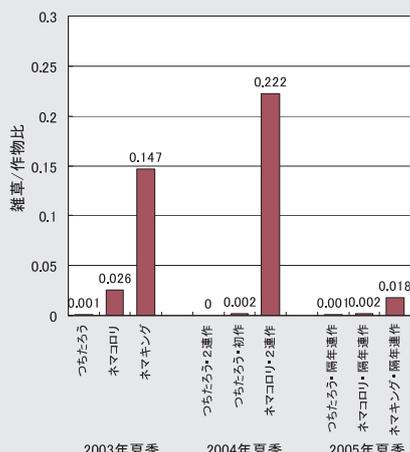
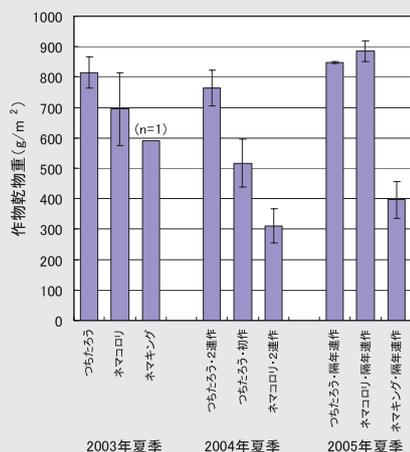
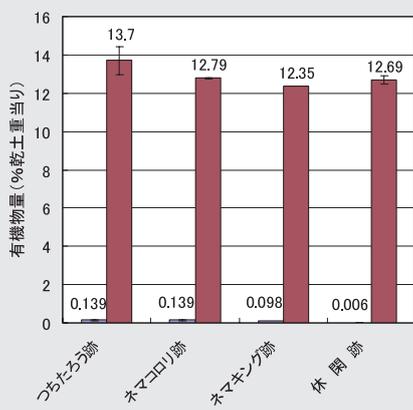


図1 輪作体系下における緑肥作物の地上部乾物重及び雑草/作物比(乾物重比)

備考: 2003年では処理区に2反復あり。2004年と2005年においては、処理区の反復がないので、1処理区につき定面積調査を2箇所行い平均値と2点間のSDを算出した。

1年目 土壤有機物量(ダイコン栽培開始前)
土壤採取日: 2003年12月3日



2年目 土壤有機物量(ダイコン栽培開始前)
土壤採取日: 2004年12月2日

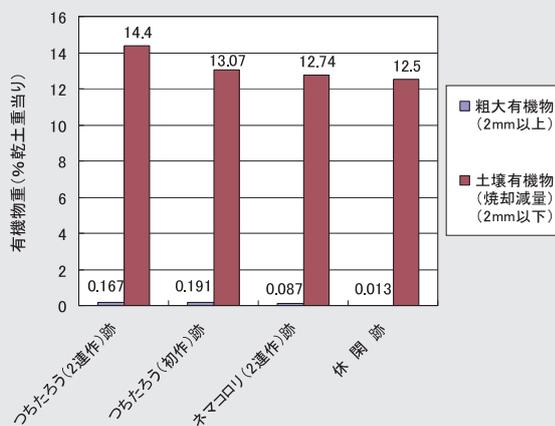


図2 輪作体系下における緑肥すき込みによるダイコン栽培前の土壤有機物量

備考: 2003年(1年目)では処理区に2反復あり。2004年(2年目、緑肥連作区のみ表示)においては、処理区の反復はない。

すき込み日(1年目): つちたろう 9月19日、ネマコロリ・ネマキング 10月6日、すき込み日(2年目): つちたろう・ネマコロリ 10月4日

科緑肥ネマコロリ・ネマキングのすき込み後の分解は、つちたろうよりも早いことが確認できた。

- ④ 本輪作試験のサツマイモ栽培において、サツマイモ塊根(品種「コガネセンガン」)に線虫被害は見られなかった。また、ダイコン栽培では、2003年冬~2004年春(1年目)において、緑肥すき込みによるダイコンの分岐根割合の有意な増加はなかったが、緑肥のすき込み時期とすき込み後の耕うん回数には注意が必要と言える。

緑肥作物栽培を伴うこの輪作試験で得られた結果から、次のように考察した。

- ① 緑肥作物「つちたろう」の乾物収量は高く、雑草抑制効果も極めて高いため、安定した有機物供給と除草剤を用いない雑草制御能が期待できる。ソルガムは南九州地域の黒ボク土壌地帯で連作す

ると初期生育障害(下位葉へのアントシアン発現)を特徴とする連作障害が発生することが知られている。また、この連作障害には品種間差があることも知られている。つちたろうを連作した場合には、初期生育障害の症状が現れたので(症状は軽かった)、連作する場合には注意が必要である。

- ② 供試したクロタラリアの内、「ネマコロリ」は「ネマキング」に比べて乾物収量が高く、雑草抑制効果もネマキングよりも安定していた。一方、有害線虫の制御能においては、ネマキングは抗線虫スペクトルが広く¹³⁾、この点ではネマキングはネマコロリよりも優位である。また、クロタラリアは一般に湿害に弱いという弱点があり、播種時期や栽培圃場条件(排水性等)に注意が必要である。ネマコロリとネマキングを比較すると、ネマ

キングの方が湿害に弱い。クロタラリアを緑肥として利用する場合には、こうしたクロタラリアの特徴（長所・短所）を理解した上で選択を行うことになる。

- ③ 緑肥作物栽培・すき込みによる土壌有機物量の増加が有意に確認できた。化学肥料主体あるいは化学肥料のみで作物栽培を行っている圃場では、定期的な（数年に一回程度）緑肥作物栽培とすき込みは、土壌の有機物含量を高め、土壌の物理性（膨軟さ）を改善する効果が期待できる。
- ④ 今後の課題として、緑肥作物栽培導入を促進するためには、輪作体系へ緑肥作物栽培を導入することのプラス効果を農家に説明し、実感してもらう必要がある。この際、圃場条件・輪作条件・畑作物/露地野菜の作目・品種の条件等により、適切な緑肥作物・品種の選択が求められる。それぞれの緑肥作物・品種においても、個々の長所を伸ばしつつ、短所を補う栽培技術が求められる。

3. 線虫抑制作物エンバク「たちいぶき」の利用技術の開発

エンバクは緑肥作物および飼料作物として全国に59,800ha栽培されている（平成18年産農林統計より）。この内、飼料用の作付面積は6,950haと約12%を占めている。しかし、九州沖縄地域（8県）では大部分が飼料利用されており、作付面積5,123haの内の約96%（4,904ha）が飼料用である。九州沖縄地域各県の作付面積は、鹿児島県2,530ha、宮崎県1,520ha、長崎県659ha、熊本県190ha、の順となっている。

エンバク「たちいぶき」（写真3）は、九州沖縄農研で育成された品種で、熊本県における栽培試験では9月上旬～下旬播種・年内収穫する夏播き栽培条件で、有害線虫サツマイモネコブセンチュウの増殖を抑える効果があることが確認された^{7,9,13)}。立石らは、「たちいぶき」夏播き栽培が後作サツマイモのサツマイモネコブセンチュウによる被害を抑制することを報告した⁸⁾。「たちいぶき」は飼料作物として利用できるため、サツマイモや露地野菜を栽培する耕種農家が「たちいぶき」を緑肥作物兼飼料作物として輪作体系へ導入すれば、飼料需要のある畜産農家との間のエンバク収穫物の受け渡しシステムを構築することにより耕畜連携の可能性がある。



写真3 エンバク「たちいぶき」の草姿

4. 南九州地域におけるソルガム連作障害の原因解明と回避方策に関する研究

ソルガムは飼料作物および緑肥作物として全国に34,000ha栽培されている（平成19年産農林統計より）。この内、飼料用の作付面積は19,000haと約56%を占めている。九州沖縄地域（8県）では、作付面積16,566haの内の約75%（12,464ha）が飼料用である。九州沖縄地域各県の作付面積は、宮崎県4,910ha、鹿児島県3,150ha、長崎県2,970ha、熊本県2,900ha、大分県1,080ha、の順となっている。

ソルガムは生育が早く、再生による年2回刈りも可能であるという特徴を持つ。ソルガム「つちたろう」はサツマイモネコブセンチュウ抑制効果が高いソルガムとして知られており、極晩生である。私達は、サツマイモ栽培を伴う輪作栽培試験において線虫抑制作物（緑肥作物）として利用している。

南九州地域の黒ボク土壌地帯においてソルガムを栽培すると、1970年頃より連作障害の発生が問題になってきた。その症状は、発芽後10日目から2週間目頃より下位葉へのアントシアン発現を伴う初期生育障害である（写真4）。この連作障害の原因解明については、長年にわたり多くの研究が行われた^{2,3,11,12)}。連作土壌をオートクレーブ滅菌するとこの初期生育障害は消失するので、原因は土壌の生物性であることが分かっているが、原因微生物が何であるのか依然として解明されていない。この連作障害には、障害が強く現れる品種や比較的障害が軽い品種があり、ソルガム品種間で発生程度に差があった。この連作障害は堆肥の施用により緩和されることが知られている¹⁰⁾。緑肥作物「つちたろう」の利用においても、軽度の連作障害の発生を確認している。緑肥利用の場合は、夏季連作となるケースは少ないと考えられるが、堆肥の施用量を多めにす



写真4 ソルガム連作障害（初期生育障害）の発生の様子

ることが連作障害発生程度の緩和につながる。都城研究拠点では、グレイン型ソルガム品種とスーダン型ソルガム品種を交互作用することにより、（ソルガム夏季連作するときの）連作障害の回避を試みたが、連作障害の出やすい品種が交互作用体系に入ると、連作障害の完全な制御は難しいという結果を得た。現在、土壌消毒を全く行わない輪作体系試験として、線虫抑制作物（緑肥作物）として「つちたろう」を3年に1回およびクロタリヤを3年に1回組み込んだ3年一巡の輪作試験を実施しているが、この条件であればソルガム連作障害は問題にならないだろうと判断している。

5. 今後の展望

—線虫抑制作物を飼料作物として利用することによる耕種農家と畜産農家のお互いにメリットのある耕畜連携の構築—

全国でも有数の畜産地帯である南九州地域では、大量の家畜ふん尿が発生し、過剰に存在する家畜ふん堆肥の利用促進が求められている。そこで、耕畜連携により、畜産農家のみならず耕種農家も地域に過剰に存在する家畜ふん堆肥をより積極的に利用して減化学肥料・堆肥活用型作物生産技術へ移行することが、地域農業の持続性の観点からも重要と言える。しかし、家畜ふん堆肥の受け渡しの一方向の連携では、耕畜連携は強固なものとは言い難いと考えられる。一方では、自給飼料生産促進の要望も高まっている。もし、耕種農家が所有する農地の輪作体系の中で飼料作物を生産し、これを畜産農家へ受け渡すというシステムの構築が可能となれば、耕畜連携は一方向性から双方向性へと深まり、いっそう強固な耕畜連携を醸成できる。私達は、この家畜ふん堆肥および飼料作物生産の受け渡しシステム構築による双方向の耕畜連携システムの構築が地域農業の維持・発展のために極めて重要であると判断してい

る。この際に重要なポイントとなることは、飼料作物生産が耕種農家の基幹作物（サツマイモおよび露地野菜）栽培に対して積極的メリットを持つかどうかである。具体的には、有害線虫抑制作用、土壤病害抑制作用、雑草抑制作用⁴⁾あるいは菌根菌活性化作用¹⁾などであり、飼料作物生産のメリットを、例えば、線虫抑制作物としての有用性により積極的に説明できることが重要である。飼料作物を線虫抑制作物として（線虫抑制作物を飼料作物として）利用することによる耕種農家と畜産農家のお互いのメリットのある耕畜連携の構築が可能となると考える。こうした視点から、私が飼料作物育種研究者や種苗メーカーに期待するのは、飼料作物育種における有害線虫抑制性の強化である。例えば、現在の線虫抑制性ソルガム「つちたろう」は極晩生であり、出穂・稔実に伴う植物体内硝酸態窒素濃度の低下が遅れるため、飼料作物として高度利用するために早生型の線虫抑制性ソルガムの育種を期待している。

6. おわりに

今回、「九州における緑肥作物を活用した持続型農業への取り組み」と題して、緑肥作物栽培を伴う輪作試験の紹介から、線虫抑制作物エンバクの成果の紹介、さらには飼料作物あるいは緑肥作物であるソルガムの連作障害に関する研究の紹介、そして、線虫抑制作物を飼料作物として利用する展望、とかなり飛躍した展開となったように思います。しかし、私達地域農業試験研究機関研究者の目的は地域農業の活性化であり、持続的な地域農業の発展です。私達の行っている「緑肥作物」をキーワードとする試験研究の一こま一こまが「持続型農業」につながる意識の下に取り組みされていることが伝わったとすれば幸いです。

〈参考文献〉

- 1) 安達・小林・鈴木、九州沖縄農業研究センター報告、49:1-10(2008)
- 2) 安達・持田・小林・新美、九州農業研究、64:65(2002)
- 3) 後藤・市来・末永、鹿児島県農業試験場報告、17:25-48(1989)
- 4) 小林・安達・鈴木、日本作物学会九州支部会報、71:82-84(2005)
- 5) 佐野・岩堀・立石・甲斐、日本線虫学会誌、32:77-86(2002)
- 6) 鈴木・佐野・小林・安達・持田・岩堀・立石、日本作物学会九州支部会報、71:44-46(2005)
- 7) 立石・岩堀・上杉・佐野・我有・桂、九州沖縄農業研究成果情報、21:427-428(2006)
- 8) 立石・岩堀・上杉、九州沖縄農業研究成果情報、22:89-90(2007)
- 9) 立石・佐野・岩堀・上杉・桂・我有、日本線虫学会誌、38:1-7(2008)
- 10) 田中、Food & Fertilizer Technology Center(ISSN0379-7597)、265:23-36(1987)
- 11) 白山・小松・山方、日本草地学会誌、40:137-143(1994)
- 12) 白山・小松、Grassland Science、42:251-254(1996)
- 13) 橋爪、新版 緑肥を使いこなす—上手な選び方・使い方、農文協(2007)