

サツマイモネコブセンチュウ防除に及ぼす市販線虫対抗植物の持続効果並びに 対抗植物と線虫天敵細菌*Pasteuria penetrans*との組み合わせ効果の検討

水久保隆之*1・清水 啓*2・相場 聡*1・伊藤賢治*1・奈良部孝*3

目 次

I はじめに	1	IV 考察	8
II 材料および方法	2	1. 試験1 (冬作対抗植物)	8
1. 試験1 (冬作対抗植物)	2	2. 試験2 (夏作対抗植物)	9
2. 試験2 (夏作対抗植物)	2	3. 試験3 (夏作対抗植物と線虫天敵細菌の 併用効果)	10
3. 試験3 (夏作対抗植物と線虫天敵細菌の 併用効果)	3	V まとめ	11
III 結果	4	VI 摘要	12
1. 試験1 (冬作対抗植物)	4	引用文献	13
2. 試験2 (夏作対抗植物)	5	Summary	15
3. 試験3 (夏作対抗植物と線虫天敵細菌の 併用効果)	6		

I はじめに

有害線虫類による全世界の全農作物の平均減収率はおよそ12%と試算され⁽³⁰⁾, 線虫は作物全般の重要な生産阻害因子と考えられている。わが国では経済作物である野菜類の有害線虫の防除に特に大きな努力が払われてきた⁽¹³⁾。土壌線虫類は連作障害(嫌地〈いやぢ〉と呼ばれた)の主要な要因である⁽¹⁸⁾が, 原因が知られなかった時代から, 嫌地対策には輪作が採用されてきた⁽¹⁹⁾。これは結果的に線虫等土壌病害虫が増えにくい作物と増えやすい作物を交互に作付けする耕種的防除方法であった。現在では線虫密度を減少させる植物種群の探索と利用研究が進み, これらは線虫対抗植物(略して対抗植物 antagonistic plants or enemy plants)と総称され, 線虫の耕種的防除法の代表的な地位を占めている。対抗植物のマリーゴールド(*Tagetes patula* L. and *T. erecta* L.)の線虫防除効果は1930年代から知ら

れ⁽³⁵⁾, 有効成分である α -ターチニエールの解明^(36,37)と実用化研究^(6,12,23,38)が進められた。我が国では1970年代から神奈川県三浦半島でマリーゴールドがダイコンのキタネグサレセンチュウの防除を目的に普及に移された^(4,20)。その後も, 対抗植物のスクリーニングが種苗会社の自社開発^(7,41)と平行して, 国立研究機関⁽²⁹⁾や国の予算を得た公立の試験研究機関の共同研究として⁽¹⁰⁾, あるいは県単研究^(11,15,16,21,32,34,39)として積極的に推進された。1990年代には公立試験研究機関の線虫防除研究の4割が耕種的防除関連研究であり, その半分は対抗植物関連研究であった⁽¹⁴⁾。その結果, ネグサレセンチュウを対象にしてマリーゴールド, ギニアグラス, また, ネコブセンチュウを対象にクロタラリア(*Crotalaria juncea* L.), 野生エンバク, ソルゴー等の有力品種が確立した。対抗植物には複数の有害線虫に等しく

平成14年9月27日受付 平成15年7月16日受理

*1 虫害防除部

*2 元 農業研究センター 病害虫防除部

*3 現 北海道農業研究センター 畑作研究部

防除効果を示す草種はほとんどなく、多くの場合、作用スペクトラムはネコブセンチュウかネグサレセンチュウかのいずれかに偏っている。主な対抗植物とその適用線虫は総説等にも紹介されている^(7,22,27,28)。イネ科緑肥作物には集積塩類の除去、土壌への有機物還元、圃場の風蝕防止等の効果があり、野菜生産団地に集中的に導入されたものもある。ギニアグラスの「ナツカゼ」⁽²⁾、エンバク野生種 (*Avena strigosa*) の「ヘイオーツ」^(40,41)、ソルゴーの「つちたろう」⁽⁸⁾ は、その代表である。

パスツールシア・ペネトランス (*Pasteuria penetrans*) はネコブセンチュウの絶対寄生性天敵細菌であり、環境保全型線虫防除を可能にする線虫防除資材として注目されてきた^(14,17)。本菌を主成分とするパスツールシア・ペネトランス水和剤 (商品名: パストリア水和剤, ネマテック) は日本で開発され、1998年にトマト、ナス、メロン、サツマイモ、イチジクのサツマイモネコブセンチュウを対象とする生物農薬として登録された。この天敵は 1×10^4 /土1gの密度でネコブセンチュウを防除する^(5,9,31) が、施用以降効果が発現するまでに最低3作⁽⁵⁾、または多く

の場合5作を要する⁽¹⁴⁾。したがって、効果が発現しないラグ期間には農薬等他の防除手段との併用が不可欠になる。対抗植物は線虫密度を著しく低下させることが可能な手段であり、環境負荷が少ないことから、パスツールシア菌との補完的利用が期待できる。

本試験は農業研究センタープロジェクト第2研究チームを中核に推進された地域先導技術総合研究「関東平野における高品質野菜の環境保全型生産技術の確立」の下に、課題名「有害線虫の耕種的防除技術の評価」の一部として実施された。この課題は土壌線虫害回避のための総合防除技術体系の構築と農薬使用量の50%削減を目標としており、対抗植物はその達成手段の一つであった。ここでは、1) 既存の対抗植物による線虫害回避程度の評価、2) 線虫天敵細菌 (パスツールシア・ペネトランス水和剤) の併用が対抗植物の線虫害回避効果に及ぼす補強効果の検討の結果を報告する。

本稿は、中央農業総合研究センターの梅川学環境保全型農業研究官のご指導なしには執筆されなかった。ここに記して御礼申し上げる。

II 材料および方法

1. 試験1 (冬作対抗植物)

栽培試験を1997年11月から1998年5月にかけて、農業研究センター内C-4病害虫特殊圃場のサツマイモネコブセンチュウ汚染圃 (Cブロック) で実施した。ここには千葉県旭市のサツマイモに由来する系統 (嚶鳴系統) が導入されていた。検定植物「品種」には「ライ麦ライ太郎」 (タキイ種苗, *Secale cereale* L.) と野生エンバク「ネサレタイジ」 (タキイ種苗, *Avena sterilis* L.) を供試し、対照を休耕とした。試験区制は1区9.7m²の9試験区を3×3ラテン方格で配置した (3反復)。試験区間には約1mの間隔を設けた。各区にCDU化成 (N-P-K: 10-12-10) 100 kg/10 a (約1 kg/区) を基肥として混和した。両品種とも24g/区 (2.5 kg/10 a) の種子を11月6日に90 cm幅で条播した。線虫密度調査は1997年11月19日 (出芽時) と1998年5月7日 (終了時) に採取した土壌に基づいて2回実施した。サツマイモネコブセンチュウに対する抑制効果は、ベルマン法による線虫2期幼虫密度並びに0~4段階評

価に基づく供試作物の根こぶ指数によって判定した。

2. 試験2 (夏作対抗植物)

初回栽培試験は1997年5月28日から9月10日に至る105日間、農業研究センター内C-4病害虫特殊圃場のサツマイモネコブセンチュウ汚染圃 (Qブロック) で実施した。供試作物 (供給元、学名、播種量) は以下のものであった: ネコブキラーⅡ (タキイ種苗, *Crotalaria breviflora* DC., 5 kg/10 a), ギニアグラス「ナツカゼ」 (タキイ種苗, *Panicum maximum* Jacq., 2 kg/10 a), ベールスーダンHS9401 (タキイ種苗, *Sorghum sudanense* Stapf, 5 kg/10 a), ラッキーソルゴーⅡ (タキイ種苗, *Sorghum vulgare* Pers., 5 kg/10a), アフリカンマリーゴールド (タキイ種苗, *Tagetes electa* L., 0.5 kg/10 a), ギニアグラス「ソイルクリーン」 (雪印種苗, *Panicum maximum* Jacq., 2 kg/10 a), ソルゴー「SS701」 (雪印種苗, *Sorghum vulgare*, 5 kg/10 a, 商品名「つ

ちたろう」). 対照をナス「千両 2 号」(タキイ種苗, *Solanum melongana* L.) と休耕区とした. 試験区制は 1 区 12 m² の 27 区に 9 処理をランダムに配置した (3 反復). 各区に基肥として CDU 化成 (N-P-K: 10-12-10) 100 kg/10 a (約 1 kg/区) を混和した. 種子は 90 cm 幅で条播し, 播種後にペンディメタリン乳剤 (除草剤: 商品名ゴーゴーサン乳剤) を処理した. 栽培期間中, 適宜手取り除草を実施した. 土壌線虫密度調査は, 5 月 28 日 (播種時), 7 月 16 日 (中間), 9 月 10 日 (試験終了時) に採土した土壌に基づいて 3 回実施した. 試験中途

(7 月 16 日) に対抗植物の草丈を, また, 終了時に対抗植物の草丈および 1 m² 当たり生草重を計量した. なお, 試験終了後の茎葉部は切断して, それぞれの栽培区にすき込んだ.

ギニアグラス「ソイルクリーン」, ソルゴー「SS701」の栽培跡地に限り, トマト「強力米寿」6 葉苗を 9 月 24 日に定植し, 11 月 19 日まで 56 日 (8 週) 間栽培した. 試験終了時にベルマン法による線虫密度および根こぶ指数調査を実施した.

翌 1998 年には上記 7 種線虫対抗植物栽培区跡および休耕区にニンジン「アスベニ五寸」を栽培した. 栽培期間は 4 月 20 日から 7 月 15 日に至る 86 日間であった. CDU 化成 (N-P-K: 15-15-15) 10 kg/10 a および苦土石灰 100 kg/10 a を施肥し, 株間 15 cm, 畝幅 90 cm の 4 条播きで播種した. 線虫密度調査は播種時 (4 月 20 日) と試験終了時 (7 月 15 日) に採取した土壌に基づき 2 回実施した. また, ニンジンの収量を計量した. サツマイモネコブセンチュウに対する抑制効果は, ベルマン法による線虫 2 期幼虫密度, 0 ~ 4 段階で評価したニンジン細根の根こぶ指数, 収量の検定結果に基づき判定した.

3. 試験 3 (夏作対抗植物と線虫天敵細菌の併用効果)

初回栽培試験は 1999 年 (平成 11 年) 5 月 26 日から 8 月 23 日に至る 89 日間, 農業研究センター内 C-4 病害虫特殊圃場のサツマイモネコブセンチュウ汚染圃 (P ブロック) で実施した. 供試作物 (供給元, 学名) は以下の通りであった: アフリカントール (カネコ種苗, *Tagetes electa*), トール混合 (サカタのタネ, *Tagetes electa*), スダックス (カネコ種苗, *Sorghum vulgare*), ソルゴー系統名「SS701」

(雪印種苗, *Sorghum vulgare*: 商品名つちたろう). ネコブセンチュウ感受性品種のトマト「大型福寿」(カネコ種苗, *Lycopersicon esculentum*) および休耕を対照とした. 区制は 1 区 7.5 m² (3 m × 2.5 m) の 3 連制であった. 播種量と播種密度 (栽植距離, 畦間) は次の通りであった: マリーゴールド 2 品種は 0.4 kg/10 a を 4 条播 (畝幅 60 cm), ソルガム 2 品種は 4 kg/10 a を 4 条播 (畝幅 60 cm), トマトは 6 葉苗を畝幅 80 cm, 株間 80 cm で 3 条植えた (12 本/区). 処理区間に共通して 14-14-14 化成 100 kg/10 a を施用し, トマトには苦土石灰 100 kg/10 a を処理した. 線虫密度調査は播種時 (5 月 26 日), 中間 (7 月 23 日), 栽培終了時 (8 月 23 日) に採取した土壌に基づき 3 回実施した. 根こぶ指数は収穫時 (8 月 23 日) に処理区の中央の畝の 6 株を調査した結果から算出した. また, ソルゴー 2 種 (スダックス, SS701) について, 7 月 23 日および 8 月 23 日に処理区の中央の畝 2 列を各 1 m 刈り取ってそれぞれの生草重を調査した.

本試験の継続栽培試験 (2000 年) では, 前年度の対抗植物試験区をそれぞれ 2 等分し, 通常の栽培区とネコブセンチュウの天敵細菌 *Pasteuria penetrans* (パストリアベネトランス水和剤) を処理する区: 以下パストリア区 (各 3.75 m² (1.5 m × 2.5 m)) を設けた. パストリア区には定植 1 週間前の 4 月 24 日にドリルで深さ 40 cm の孔を 40 cm 格子に穿ち, 耕耘した. その後, 製剤粉末 (1 g 当たり天敵細菌胞子を 1 × 10⁹ 個含む) を水道水に懸濁し, 10 リットルの水と共に 1 m² 当たり 2.5 g (2.5 × 10⁹ 個) の濃度で土壌表面に散布した. 散布の翌日に天敵細菌を処理した試験区耕土をロータリーで耕耘し, 作土層にパストリアを均一に混和した. この試験区に 14-14-14 化成 100 kg/10 a, 苦土石灰 100 kg/10 a を施肥し, トマト「強力米寿」(タキイ種苗) を 5 月 2 日から 9 月 11 日に至る 132 日間栽培した. トマトは株間 60 cm の 1 条植え (4 本/区) とした. 線虫密度調査は処理前 (4 月 14 日) および試験終了時 (9 月 11 日) に採取した土壌に基づきベルマン法によって 2 回実施した. また, トマトの根こぶ指数を収穫時 (9 月 11 日) に調査した.

線虫密度調査における土壌サンプルは, 全試験を通じて試験区の 5, 6 か所で採取した深さ 5 ~ 15 cm の作土土壌を混和したものであった. また, 線虫は

概ね25℃の室温において土壌20gからベルマン法72時間3反復で分離した。根こぶ程度は0～4の5段階に基づく指数および0～10の11段階⁽⁴²⁾で評価した。5段階階級値の評価は、以下の基準によった。

- 0：根系全体に根こぶを全く認めない。
- 1：根系に数個のこぶが認められる（こぶをわずかに認める）。
- 2：根系にこぶが散見されるが、繋がっていない（こぶの形成が中程度）。
- 3：繋がったこぶが認められる（こぶの数が多い）。

い）。

4：こぶが特に多く、かつ大きい。

これから以下の式によって根こぶ指数を算出した：

$$\Sigma (\text{被害程度階級値} \times \text{階級値別調査個体数}) / (\text{全調査個体数} \times 4) \text{ の百分率}$$

検定に当たって、線虫密度データは $\log_{10}(n+1)$ に変換した。また、根こぶ指数や百分率データはその平方根を逆正弦変換した。データは一元配置分散分析で検定し、有意な場合はTukey法 ($p=0.05$) によって区間の差異を検定した。

Ⅲ 結 果

1. 試験1（冬作対抗植物）

作物栽培前ネコブセンチュウ2期幼虫の密度（初期密度）と栽培後の密度（最終密度）は処理区間で異ならなかった。全試験区の本線虫初期密度（11月時点）は土壌20g（約20ml）当たり100頭前後であったが、翌年5月のその密度は同60頭前後に減少した。また、休耕区を対照としたとき、冬作対抗植物

のエンバクとライムギのサツマイモネコブセンチュウの補正密度指数はそれぞれ117および98となり、密度の変動も休耕と同じであった（表1）。草丈はエン麦がライ麦より高く、生草重ではエンバクがライムギの約2倍であった。供試作物の根系に根こぶは認められなかった。

表1 冬作対抗植物の生育・収量とネコブセンチュウ2期幼虫の密度変動（1997年～1998年）

対抗植物	初期密度 (Pi)	収穫時密度 (Pf)	増殖率 (Pf/Pi)	補正密度指数	草丈 (cm) ± 標準偏差	生草重 (g/m ²) ± 標準偏差
エンバク	83	56	0.67a	117a	162 ± 9.6	3,230 ± 270
ライムギ	130	73	0.56a	98a	93 ± 4.5	1,447 ± 112
休 耕 区	100	57	0.57a	100a	—	—

注1) 線虫密度はベルマン法72時間分離、土壌20g当たり幼虫数。

注2) 添え字の同一アルファベットは分散分析で処理区間に有意差 ($p<0.05$) がないことを示す。

表2 対抗植物等栽培によるネコブセンチュウの密度の時間的变化

供 試 対 抗 植 物	対 抗 植 物					ト マ ト			ニ ン ジ ン			
	播種前	中間	収穫時	増殖比	補正密	収穫時	増殖比	補正密	播種前	収穫時	増殖比	補正密
	5/28/97	7/16/97	9/10/97	(Pf/Pi)	度指数	11/19/97	(Pf/Pi)	度指数	4/20/98	7/15/98	(Pf/Pi)	度指数
クロタリヤ「ネコブキラーⅡ」	3.8	0.4	6.1	1.6	467	—	—	—	0.7	4.3a	0.7	20
ギニアグラス「ナツカゼ」	4.3	0.0	2.2	0.5	149	—	—	—	0.0	14.0a	6.4	178
ベールスーダン「HS9401」	4.9	0.2	4.3	0.9	255	—	—	—	1.0	15.0a	3.5	97
ソルゴー「ラッキーソルゴーⅡ」	2.3	3.8	7.4	3.2	936	—	—	—	0.7	24.0a	3.2	91
アフリカンマリーゴールド	6.3	0.2	5.3	0.8	245	—	—	—	1.0	7.3a	1.4	38
ギニアグラス「ソイルクリーン」	5.3	0.6	2.1	0.4	115	0.5	0.3	3	0.3	5.7a	10.7	299
ソルゴー「SS701」	15.1	0.9	0.8	0.1	15	1.2	1.5	183	0.3	39.3a	32.8	916
休 耕 区	9.6	0.7	3.3	0.3	100	2.7	0.8	100	0.0	9.7a	3.6	100
ナス「千両2号」	3.0	—	231.0	77.0	22,400	—	—	—	—	—	—	—

注1) 線虫密度は土20g当たりベルマン法72時間分離数。

注2) 補正密度指数＝当該区における線虫増殖率（最終線虫密度／初期線虫密度）÷対照区における線虫増殖率×100
但し、ニンジン栽培後の増殖比と線虫補正密度指数は前年最終作物収穫時の密度を初期密度と仮定して算出した。

注3) 添え字の同一アルファベットは分散分析で処理区間に有意差 ($p<0.05$) がないことを示す。

注4) 生データが紛失したため、97年度データの区間差の有意性検定は実施していない。

2. 試験2（夏作対抗植物）

1) 初作における線虫密度の動態

初作では対照のナスで線虫の密度が著しく増大した（初期密度の約80倍）。一方、7種夏作対抗植物栽培区と休耕区の線虫密度は定植前と同等の10頭以下の低いレベルに留まった。ソルゴー「SS701」栽培区の補正密度指数は15となり、休耕区より低かったが、他の草種栽培区の補正密度指数は休耕と同程度（ナツカゼ、ベールスーダンHS9401、アフリカンマリーゴールド、ソイルクリーン）か、むしろ休耕より高くなった（ネコブキラーⅡ、ラッキーソルゴーⅡ）（表2）。

対抗植物栽培後直ちにトマトを定植した3区では、休耕区およびギニアグラス「ソイルクリーン」跡区でトマト栽培後も線虫密度が低く抑えられていたが、ソルゴー「SS701」跡区では線虫密度が回復する傾向があった（表2）。これらの区間ではトマ

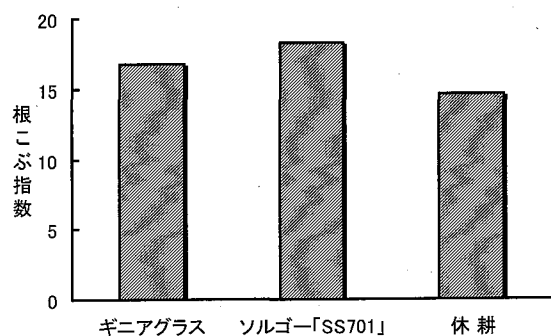


図1 対抗植物後作トマトにおける根こぶ指数（0～4段階）の比較

注) 97, 11, 19調査 ベルマン法72時間分離土壌20g当たり幼虫数
ネコブ指数：8株平均値。

トの根こぶ指数（0-100）は15～18で、ほぼ等しかった（図1）。

2) 初作における対抗植物の生育と収量

試験中途の対抗植物の草丈（中間草丈）（表3）は、ベールスーダンHS9401、ラッキーソルゴーⅡ、ソルゴー「SS701」で130 cm前後となり、他草種の2倍以上の高さであった。収穫時の草丈はソルゴー「SS701」、ベールスーダンHS9401で3 mを超えて最も高く、次いでギニアグラス「ソイルクリーン」、ラッキーソルゴーⅡ、ギニアグラス「ナツカゼ」が2mを超える草丈であった。クロタラリア「ネコブキラーⅡ」およびアフリカンマリーゴールドの草丈は最も低い1m半ば弱であった。生草重はソルゴー「SS701」が最も重く、10a換算で約13 tの収量であった。他草種はその30～60%の収量であった。

3) 後作ニンジンにおける線虫密度の動態と被害

対抗植物を栽培した翌年の1998年4月20日の調査では、対抗植物跡区のネコブセンチュウ2期幼虫は概ねベルマン法の検出限界付近の低い密度であった。しかし、ニンジン作1作した後はすべての区で線虫密度が上昇し、特に2種のソルゴーでは相対的に高い密度となった。前年度トマト栽培後の休耕区の線虫密度を基準に算出した補正密度で見ると、ソルゴー「SS701」の補正密度指数値は対照区の9倍であり、区間で最も高かった。一方、この指数はネコブキラーで20%、アフリカンマリーゴールドで38%と低かった。区当たりの総収量は試験区内の振れが大きく、区間に有意な差は認められなかった（ $p>0.05$, 分散分析）。1本当たり根重も、試験区内の振れが大きかったため、区間で有意に異ならなか

表3 初作対抗植物の生育と収量の比較（平均値, n=3）

供試作物	中間	収穫時	
	草丈	草丈	生草重
クロタラリア「ネコブキラーⅡ」	31	122	7.7 (4,260)
ギニアグラス「ナツカゼ」	63	210	13.7 (7,590)
ベールスーダン「HS9401」	124	310	12.7 (7,040)
ソルゴー「ラッキーソルゴーⅡ」	144	250	9.7 (5,370)
アフリカンマリーゴールド	44	135	9.3 (5,190)
ギニアグラス「ソイルクリーン」	76	257	11.0 (6,110)
ソルゴー「SS701」	138	317	22.7 (12,590)
ナス「千両2号」	—	—	—

注) 生草重：畝1m当たり重量（kg），かっこ内は10a当たりへの変換値（kg）。

表4 対抗植物後作ニンジンの生育、収量および被害の比較 (n=3)

供試作物	総収量/区	根重/本	根こぶ指数		
	重量(g) (休耕比)	重量(g) (休耕比)	平均値	標準偏差	(対休耕比)
ラリア「ネコブキラーⅡ」	2,310a(118)	144a(177)	26.6±	22.1a	(81)
ギニアグラス「ナツカゼ」	2,163a(111)	90a(111)	25.0±	13.6a	(76)
ベールスーダン「HS9401」	2,313a(118)	96a(118)	23.4±	1.6a	(71)
ソルゴー「ラッキーソルゴーⅡ」	2,557a(131)	107a(131)	34.4±	2.7a	(105)
アフリカンマリーゴールド	2,190a(112)	91a(112)	28.6±	13.1a	(87)
ギニアグラス「ソイルクリーン」	2,145a(110)	134a(164)	37.5±	0.0a	(114)
ソルゴー「SS701」	2,410a(123)	100a(123)	19.8±	15.7a	(60)
休耕区	1,957a(100)	82a(100)	32.8±	12.4a	(100)

注1) 根こぶ指数は0-4の5段階評価を指数化した。

注2) 根こぶ指数はデータの平方根値を逆正弦変換して検定した。

注3) 添え字の同一アルファベットは分散分析で処理区間に有意差 (p<0.05) がないことを示す。

ったが、ネコブキラーⅡ (144 g)、ラッキーソルゴーⅡ (107 g)、およびギニアグラス「ソイルクリーン」 (134 g) は対照区 (82 g) より高い傾向を示した (表4)。ニンジンの線虫被害程度 (根こぶ指数) は全体に軽微であり、反復内の振れが大きく区間に有意な差が無かった (表4)。

3. 試験3 (夏作対抗植物と線虫天敵細菌の併用効果)

1) 線虫密度の動態と根こぶ指数

試験区のネコブセンチュウの初期密度は処理区間

で異ならなかった。植物作付の2カ月後 (中間密度調査時点) および3カ月後 (栽培終了時点) では、トマト栽培区の同線虫密度はそれぞれで約50倍および90倍に増加した。一方、4種の対抗植物栽培区および休耕区では、これらの時点の線虫密度は初期密度より低かった (表5)。中間調査時点および栽培終了時点の各対抗植物区におけるネコブセンチュウの実密度は、いずれも休耕区の同線虫の実密度と同レベルであり、補正密度指数で比較しても異ならなかった。栽培終了後の4種対抗植物の根には根こぶが認められなかった (根こぶ指数=0) が、トマト

表5 マリーゴールドとソルゴー作付前後のネコブセンチュウ2期幼虫の密度変動 (n=3)

供試品種	ネコブセンチュウ幼虫数/±20g			中間補正密度	最終補正密度	根こぶ指数 (0~4段階)
	播種前 5/26	中間 7/23	最終 8/23			
マリーゴールド「アフリカントール」	37a	15a	29a	142a	595a	0
マリーゴールド「トール混合」	33a	15a	9a	159a	216a	0
ソルゴー「スタックス」	50a	17a	7a	120a	110a	0
ソルゴー「SS701」	37a	33a	7a	320a	147a	0
トマト「大型福寿」	42a	2,012 b	3,566 b	17,026 b	63,635 b	93
休耕	46a	13a	6a	100a	100a	—

注1) 補正密度指数は播種時の休耕区を基準に算出。

注2) 添え字の同一アルファベットはTukeyの多重比較で有意差 (p<0.05) がないことを示す。

表6 マリーゴールドとソルゴーの生草重 (kg/10a) の比較 (n=3)

供試品種	播種後 58日後	播種後 89日後	合計
マリーゴールド「アフリカントール」	—	4,080	4,080a
マリーゴールド「トール混合」	—	5,120	5,120a
ソルゴー「スタックス」	6,347	2,427	8,773 b
ソルゴー「SS701」	7,707	2,507	10,213 b

注1) 10a当たり収量は畝2列各1メートルの坪刈り結果から概算。

注2) 添え字の同一アルファベットはTukeyの多重比較で有意差 (p<0.05) がないことを示す。

の根には甚だしい根こぶの形成が確認された（根こぶ指数=93）（表5）。

2) 対抗植物の収量

播種58日後のソルゴー2品種の生草重はおおよそ相当7トンに達した。この時点のソルゴー「SS701」とスダックスの収量は有意に異ならなかった（ $p>0.05$, t検定）（表7）。また、播種89日後の総収量はマリーゴールド2品種では4, 5t程度であり、品種間に有意な差は無かった。播種89日後のソルゴーの再生生草重は両品種とも約2t半であった。58日後の生草重と併せるとソルゴー「SS701」の総生草重は10tを超えたものの、スダックスの総生草重（8.8t）と有意に異ならなかった（表6）。

3) 次作トマトの根こぶ被害度

0～4段階による根こぶ指数調査では、同一対抗植物の栽培跡区のパスツールリア処理と無処理区間に有意な差はなかった（表7）。パスツールリア無処理の区間で比較すると、アフリカントール区の根こぶ指数がトマト連作区より有意に抑制されていた。一

方、パスツールリア処理区間でみるとトール混合とソルゴー「SS701」の跡作区で、休耕跡区、トマト連作区、スダックス跡区よりも有意に根こぶ指数が低かった（表7）。

0～10段階による根こぶ指数調査法の結果では、スダックス跡作区とソルゴー「SS701」跡作区のパスツールリア処理区の根こぶ指数はそれぞれの天敵無処理区の根こぶ指数より有意に低かった（表8）。マリーゴールドの2品種跡作区、トマト連作区および休耕区ではパスツールリア処理の有無は根こぶ指数に影響しなかった。パスツールリアを処理しなかった区間で比較すると、アフリカントール区と休耕区がトマト連作区より有意に根こぶ指数が小さかった。一方、パスツールリアを処理した対抗植物跡作区間には、根こぶ指数に関して有意な差が認められなかった。

4) 次作トマトの収量に及ぼす前作物とパスツールリア処理の影響

トマトの株当たり総収量、個数および可販果実数

表7 トマトの根こぶ指数に及ぼす前作物と天敵細菌の処理の影響
I. 0-4段階調査法 (n=3)

前作物	天敵細菌 無処理	天敵細菌 処理	天敵処理・無 処理間の差
マリーゴールド「アフリカントール」	85± 9.5 a	92± 9.5 ab	ns
マリーゴールド「トール混合」	90±13.0 ab	88±10.8 a	ns
ソルゴー「スダックス」	98± 3.6 ab	100± 0.0 b	ns
ソルゴー「SS701」	92±14.4 ab	85± 9.5 a	ns
トマト「大型福寿」	100± 0.0 b	100± 0.0 b	ns
休耕	98± 3.6 ab	98± 3.6 b	ns

注1) 数字は平均値±標準偏差。

注2) 添え字の同一アルファベットはTukeyの多重比較で有意差（ $p<0.05$ ）がないことを示す。

表8 トマトの根こぶ指数に及ぼす前作物と天敵細菌の処理の影響
II. 0-10段階調査法 (n=3)

前作物	天敵細菌 無処理	天敵細菌 処理	天敵処理・無 処理間の差
マリーゴールド「アフリカントール」	51± 6.3 a	50±5.0 a	ns
マリーゴールド「トール混合」	57± 7.2 ab	52±6.3 a	ns
ソルゴー「スダックス」	62± 6.3 ab	50±5.0 a	*
ソルゴー「SS701」	63± 6.3 ab	51±5.2 a	*
トマト「大型福寿」	72±10.1 b	59±8.8 a	ns
休耕	53± 2.5 a	56±3.8 a	ns

注1) 数字は平均値±標準偏差。

注2) 添え字の同一アルファベットは分散分析で有意差（ $p<0.05$ ）がないことを示す。有意差がある場合はTukeyの多重比較の検定結果を示した。

表9 トマト果実収量に及ぼす前作作物と天敵細菌の処理の影響 (n=3)

前年度作物	総収量/(株)			個数/株			可販個数		
	Pp(-)	Pp(+)	Pp(-/+)	Pp(-)	Pp(+)	Pp(-/+)	Pp(-)	Pp(+)	Pp(-/+)
マリーゴールド「アフリカントール」	2,839a	2,764a	ns	18.0a	20.8a	ns	14.9a	15.9a	ns
マリーゴールド「トール混合」	2,769a	2,984a	ns	20.2a	22.0a	ns	14.9a	16.4a	ns
ソルゴー「スダックス」	2,358a	2,479a	ns	17.3a	17.8a	ns	12.4a	13.5a	ns
ソルゴー「SS701」	3,000a	2,788a	ns	18.7a	19.5a	ns	16.3a	15.5a	ns
トマト「大型福寿」	354 b	335 b	ns	3.3 b	3.1 b	ns	2.0 b	1.7 b	ns
休 耕	2,304a	2,482a	ns	16.3a	18.3a	ns	13.6a	13.8a	ns

注1) Pp(-): 天敵細菌無処理区, Pp(+): 天敵細菌処理区.

注2) Pp(-/+): 天敵細菌無処理と天敵細菌処理間の平均値差の両側検定結果.

注3) 添え字の同一アルファベットはTukeyの多重比較で処理区間に有意差 ($p<0.05$) がないことを示す.

表10 トマトのネコブセンチュウ2期幼虫の密度に及ぼす前作作物と天敵細菌の処理の影響 (n=3)

前 作 作 物	初期密度 (Pi)	最終密度(Pf)			増殖率(Pf/Pi)			補正密度指数	
		Pp(-)	Pp(+)	Pp(-/+)	Pp(-)	Pp(+)	Pp(-/+)	Pp(-)	Pp(+)
マリーゴールド「アフリカントール」	4.0a	562a	928a	ns	303a	367a	ns	110	168
マリーゴールド「トール混合」	1.9a	400a	432a	ns	175a	247a	ns	63	113
ソルゴー「スダックス」	5.1a	577a	608a	ns	138a	260a	ns	50	119
ソルゴー「SS701」	3.6a	580a	251ab	ns	529a	160a	ns	191	73
トマト「大型福寿」	50.6 b	310 b	138 b	ns	8 b	2 b	*	3	1
休 耕	4.0a	887a	700a	ns	276a	218a	ns	100	100

注1) Pp(-): 天敵細菌無処理区, Pp(+): 天敵細菌処理区.

注2) Pp(-/+): 天敵細菌無処理と天敵細菌処理間の平均値差のt検定結果.

注3) 添え字の同一アルファベットはTukeyの多重比較で処理区間に有意差 ($p<0.05$) がないことを示す.

(千葉県基準で規格がSSS以上の果実=概ね90g以上)は, 対抗植物跡作区および休耕跡区間では有意に異ならなかった(表9). 一方, トマト連作区の総収量, 個数および可販個数は対抗植物跡作区および休耕跡区のどの区と比べても著しく低かった ($p<0.05$, tukey法). 前年の同一作物処理区間ではパスツリアの処理は, 総収量, 総個数および可販個数のどれに関しても有意な影響を与えなかった.

5) 次作トマトのネコブセンチュウの密度に及ぼす前作物と天敵細菌処理の影響

トマト連作区の初期密度は平均で50頭/±20 gであり, 他の区より有意に高かった(表10). 前年の対抗植物区および休耕区の初期密度は10頭以下であり, これらの区間に有意な差は無かった. トマトを一作した後の最終密度は, パスツリア無処理区内で比較すると, トマト連作区における最終密度が他の区より有意に低かった(表10). 一方, パスツリアを処理した区内で比較するとトマト連作区は, アフリカントール, スダックスおよび休耕跡区より

有意に低密度であったが, トール混合, ソルゴー「SS701」とは有意差が無かった. 各対抗植物跡区の最終密度は, どの前作区にも天敵処理区と無処理区間に有意差はなかった ($p>0.05$, t検定). 天敵を処理しない区の増殖率はトマト連作区が8倍で最も低かったが, 他の区では100倍以上に増殖した. 天敵処理区でもトマト連作区の増殖率が約2倍で著しく低かった. 他の区では天敵無処理区と同様に100倍以上の増殖率であった. トマト連作区では天敵処理区の線虫密度が処理しない区より有意に少なかったが, その他の前作区では天敵の処理と無処理の増殖率は同等であった. 休耕区の増殖率を基準に各処理区の平均値から算出した補正密度指数は, トマト連作区では天敵無処理区で3, 処理区で1と極めて小さい値であった. 補正密度指数は天敵を処理していない場合はソルゴー「SS701」で最も高く191であった. 一方, 天敵を処理した場合はアフリカントールで最も高く168であった.

IV 考 察

1. 試験 1 (冬作対抗植物)

ネグサレセンチュウの密度抑制に効果があるとされているが、ネコブセンチュウ抑制効果は未知である。2 種の冬作対抗植物市販品種 (エンバクおよびライムギ) を供試した。冬の低温条件ではサツマイモネコブセンチュウは感染できない。もしネコブセンチュウ幼虫がこれらの対抗植物の根に感染するのであれば、土壌中の多くの幼虫は対抗植物にトラップされ、初夏 (5 月) の刈取時の対抗植物区の線虫密度は休耕区よりも低下したはずである。しかし、対抗植物区における刈取時のネコブセンチュウの最終密度は、土壌 20g 当たり 56 頭と 73 頭の高密度であり、休耕区の線虫密度と同等であった。このことはネコブセンチュウ幼虫がこれらのイネ科対抗植物に感染しなかったことを示唆している。ライムギにはネコブセンチュウとの親和性に品種間差異がある可能性があり、Potter⁽²⁴⁾ は本種をサツマイモネコブセンチュウの寄主とし、Bergson⁽³⁾ は非寄主としている。一方、エンバクには一般にサツマイモネコブセンチュウの卵嚢が形成される⁽²⁹⁾ が、本試験ではエンバクの根に根こぶの形成を認めなかった。播種した植物は 11 月 19 日頃に発芽したが、つくば市観音台地区の 1997 年 11 月中旬の作土層 (地表下 10cm) の平均地温は 14.2℃ であり、下旬の地温は 13.1℃ であった。平均地温は 12 月上旬には 11℃ に低下した。サツマイモネコブセンチュウの発育零点は 11~12℃ である⁽¹⁾ から、発育零点に近いこの低い地温では線虫の感染は阻害されたであろう。一方、刈取を行った 1988 年の 5 月上旬の平均地温は 19.4℃ で、4 月下旬から 18℃ 以上の地温が確保されていた。この温度ではネコブセンチュウ幼虫は活動しており、根への侵入が可能であるにもかかわらず、土壌中の密度が低下することもなく、根こぶも形成されなかった。したがって、試験に供試したエンバクとライムギの品種は試験圃場のサツマイモネコブセンチュウの系統 (嚙鳴系統) に対しては非寄主であり、線虫をトラップしてその土壌中密度を積極的に低下させる機能を有さなかったと考えられる。また、線虫密度に影響を与えなかったので線虫の活性を阻害する物質を生産している可能性は低い。試験結果から、非寄主型の冬作対抗植物の利用は合理的ではなく、供試したエ

ンバクとライムギの品種はサツマイモネコブセンチュウの防除には利用できないと結論される。冬作ではむしろ、播種期または収穫期がネコブセンチュウの活動期に短期間重なる線虫の寄主作物の栽培が合理的である。このタイプの作物には線虫が寄生するが、低温のために線虫の発育と産卵は阻害されるから、結果的に線虫をトラップして、密度を低下させることになる。今後、この目的にかなった作物を検索する必要がある。

2. 試験 2 (夏作対抗植物)

1) 初作の密度抑制効果

7 種の夏作対抗植物を検討した結果、すべての品種で栽培後に線虫密度の抑制効果が認められたが、検出限界密度以下に低下したものは無かった。また、対照の休耕区でも同程度に線虫密度が低下しており、対抗植物による密度抑制の程度は休耕区と同程度であったと考えられる。休耕区を基準とした補正密度指数ではソルゴー「SS701」が最も低く、同じソルゴーのラッキーソルゴーⅡが最も高くなった。単純に除算するとラッキーソルゴーⅡがソルゴー「SS701」の 62 倍も線虫を増やしたことになるが、初期密度も最終密度も一桁の低密度であることから、土壌のサンプリング誤差、ベルマン法の線虫抽出誤差が重なって、差を大きく見せている可能性を否定できない。この試験の野帳は紛失しており、統計処理が行えないため、対抗植物間に線虫密度抑制効果の有意な差があったのかどうか判定はできなかった。

ギニアグラス「ソイルクリーン」およびソルゴー「SS701」の線虫密度抑制効果を判定するために行った後作トマトの栽培試験は、9 月から 11 月にかけて実施した。この時期は地温が次第に低下し、線虫の活動も抑制されることから、対抗植物の線虫密度抑制効果を生物検定する上で必ずしも適期ではなかった。また、野帳が紛失し統計的な検定も行えなかった。したがって、数値の上で示されたソルゴー「SS701」跡の線虫密度回復とギニアグラス跡の密度低下の普遍妥当性は不確実であった。

2) 対抗植物の収量

ソルゴー系の 3 草種、即ちバールスーダン

HS9401, ラッキーソルゴー II, およびソルゴー「SS701」の初期生育は他草種を遙かに凌駕した。本試験の範囲ではソルゴー「SS701」は供試した草種中で最も多収であり、有機物供給に適した草種であると考えられる。

3) ニンジンによる生物検定結果

1998年度(平成10年度)には対照の前年休耕区と比較してサツマイモネコブセンチュウ抑制効果の持続性を検討した。線虫抑制効果の持続性は試験区跡に作付けしたニンジンにおける線虫増殖率(Pf/Pi 値)、ネコブセンチュウの被害を表す根こぶ指数および収量から判定できる。線虫増殖率は、対照である休耕区のニンジン播種前の線虫密度がベルマン法の検出限界値付近の低密度であったため、前年最終作物収穫時の密度を初期密度と仮定して算出した。ギニアグラス「ソイルクリーン」跡区、ソルゴー「SS701」跡区および休耕跡区には、前述の通り前年にトマトを作付けしたため、その影響がニンジン跡線虫密度に表れたと想像され、トマトを作付けしなかった他の対抗植物跡区と同列に比較することはできないが、増殖率からはネコブキラーIIやアフリカンマリーゴールドの持続効果は高い傾向があると言える。一方、根こぶ指数(表7)およびニンジンの収量(表4)の両形質についても処理間に有意な差が認められず、これらから判断すると対抗植物間に線虫抑制効果の差がなく、どの対抗植物も休耕と同程度の密度低減効果を示したと言える。

なお、前年にトマトを作付けした3区については、ニンジン収穫時でもソルゴー「SS701」跡区で線虫密度が前年比で32倍に増加し、一方ギニアグラス「ソイルクリーン」では11倍の増加にとどまったことから、線虫密度でみるとソルゴー「SS701」跡区では密度回復があった、言い換えれば密度抑制の持続効果が無かったかのように見えるが、後作ニンジン根こぶ指数(表7)およびニンジン収量(表4)には有意差がなく、被害の抑制程度には相違がないと判断される。

3. 試験3(夏作対抗植物と線虫天敵細菌の併用効果)

1) 初作対抗植物における線虫密度の動態ならびに収量

この試験では、ソルゴーSS701とマリーゴールド

アフリカントールが試験2と共通して用いられたので、これらに関するデータは前試験の反復に位置づけられる。但し、試験1ではネコブセンチュウの初期密度が概ね1桁(小発生)であったが、この追試では2桁(中, 多発生)であった。試験3では、ネコブセンチュウの初期密度が高く、その最終密度も検出限界を上回った。試験1の結果と対比すると、高い線虫初期密度に対応して、対抗植物栽培後の残存線虫密度も高くなるように思われた。初期線虫密度の相違は対抗植物の密度抑制程度に影響した。統計的検定の結果、対抗植物の線虫密度低減効果は休耕区のそれと同等であることが明らかにされた。反当換算生草重は、試験1ではソルゴー「SS701」は反当12.0t, アフリカントールは5.2tであった(表3)が、試験3ではソルゴー「SS701」が10.2t, アフリカントールが4.1tであった(表9)から、それぞれ前試験より減収する傾向があった。この相違には、気象条件、播種量、栽植密度等の違いが影響したもののと思われる。

2) 次作トマトの根こぶ被害度および収量および前作と天敵細菌の効果

ここでは、対抗植物跡区の半分にパスツールアを処理することにより、対抗植物とパスツールアの相乗的あるいは相加的な被害等抑制効果の有無について検討を試みた。客観性を期するため、根こぶ被害度を2通りの方法で判定し、各判定は別個人が担当した。0~10段階調査法は0~4段階調査法の量的な被害度階級をただ細分しただけのものではなく、異なった根こぶの現れ方を判別の基準にしているため、両者は区分の相違だけではなく、質的にも異なっている。0~4段階調査法では、対抗植物とパスツールアの組み合わせに相乗的な効果は認められなかったが、0~10段階調査法では、2種ソルゴー跡にパスツールアを処理した場合に、処理しない場合より根こぶ指数が有意($p<0.05$, t 検定)に低下していた。しかし、2つの調査法の結果が一致しなかったため、ソルゴーとパスツールアの同時処理に根こぶ被害の抑制に関する相乗作用があったと結論することは避けた。パスツールアが入らない場合は、2種調査法に共通してアフリカントール跡区の根こぶ被害が最も軽い傾向があったものの、対抗植物間では被害程度(根こぶ指数)に差がなかった。一方、パスツールアを組み合わせた場合は、0~4段階調

査法と0～10段階調査法の結果は一部で異なっていたものの、アフリカントール跡区に根こぶ指数の低下傾向はなかった。また、トマト連作区では著しい減収があったものの、前作の対抗植物、パスツールリア処理の有無は収量に全く影響しなかった。本試験の範囲では、対抗植物跡にパスツールリアを入れても後作物の根こぶ指数は直ちに大きく抑制されることはない結論される。

3) 次作トマトにおける線虫密度の動態

トマトの連作区ではパスツールリアの処理の有無に拘わらず、栽培途中で植物が枯死する現象が認められた。トマトの枯死は、この区の高い線虫初期密度と直接関係している。トマト連作区の最終線虫密度が他区より有意に抑制された原因は、根の腐敗が進行したことによる雌成虫の脱落、新たな雌の定着阻害、幼虫の再生産の阻害によって説明できる。表10は、トマト連作区では休耕を含めた他の全ての処理区より有意に線虫密度が低く、パスツールリアを処理したトマト連作区の最終密度は、同じく天敵処理を行ったトール混合跡区やソルゴー「SS701」跡区と有意差がないことを示している。二元配置分散分析(データ省略)は、処理間(パスツールリアの処理と無処理)には有意差が無いが、列間(植物間)に有意な差($P<0.01$)があり、交互作用は有意でないことを示した。パスツールリアの処理は処理の初年度で

は、線虫密度の低下に有意に寄与しなかった。したがって、対抗植物跡にパスツールリアを入れても処理年度の線虫密度の顕著な抑制はないと結論される。また、施用初年度の結果を見る限り、パスツールリアと対抗植物の処理間には収量、根こぶ被害、線虫密度に関する相乗効果は認められなかった。しかし、パスツールリア単独処理区では導入の初年度に無処理区と同等かそれ以上の線虫害が発生し著しく減収したのに対し、前作に対抗植物が入ったパスツールリア処理区では線虫被害が大きく抑制され、収量が維持されたことに、大きな応用上の意義が認められる。従来の天敵細菌施用試験例⁽¹⁴⁾は、単独処理区のパスツールリア孢子密度が第2作で線虫害を抑制する水準に決して至らないことを示していた。それは当然であり、線虫の過寄生で根の腐敗脱落(枯死)に至る場合は必ず線虫最終密度が激減し、その必然としてパスツールリアはほとんど再生産されない。逆に言えば、パスツールリアが速やかに増殖し、定着するためには、「多すぎず少なすぎない」一定のネコブセンチュウの密度が必要である。対抗植物跡区における線虫密度の緩やかな回復はパスツールリアの再生産に好都合な線虫密度条件を与えると期待される。この意味で、対抗植物の導入はパスツールリアの線虫抑制効果を短期間に発現させる有効手段となる可能性がある。

V まとめ

本試験で供試した夏作対抗植物の線虫密度抑制効果は、休耕と同じ水準であった。これら夏作対抗植物の線虫防除効果は、対抗植物栽培前の線虫の初期密度に依存しており、初期密度が10頭以下の場合には次年度の作物の線虫被害を抑制したが、初期密度が30頭以上のときには次年度の作物に線虫害が生じた。しかし、本試験は対抗植物の線虫密度抑制効果が低いと結論するものではない。農薬も含め、線虫害抑制手段の効果は概して密度依存的であり、線虫が高密度のときには通常不十分な密度抑制効果しかもたらさない。夏季の長期除草休閑(裸地休閑)の線虫密度抑制効果はしばしば殺線虫剤の使用に匹敵する^(25, 26)ため、本試験の除草休耕の防除効果も線虫剤利用の場合と同水準であったと考えられる。

しかし、除草には耕耘作業や除草剤散布等の労力と費用を要する。さらに、除草休耕によって裸地化した圃場は、作土層の風食によって地力が低下するだけでなく、菌根菌のような有用微生物も失われる⁽³³⁾。一方、対抗植物の栽培は線虫の防除だけに留まらず、除塩、有機物の供給、土壤物理性の改善等多様な効果を持っている。しかも、豊富な有機物の供給は線虫の天敵として機能する捕捉性菌類が増殖する絶対条件である。したがって、休耕と同様の高い線虫防除効果が得られる場合は、対抗植物の栽培は栽培上有利な選択である。

作物の線虫対策の要点は、線虫の初期密度を要防除水準以下に抑制することであるが、要防除水準は作物によって異なる。作物の要防除水準が低い場合

や線虫の初期密度が高い場合に、線虫防除をただひとつの手段にだけ頼ることは危険である。対抗植物は線虫防除の有力な手段の一つではあり、環境保全型防除の一翼を担うものであるが、他の手段と同様、

その線虫防除効果には一定の限界がある。対抗植物も体系防除のなかで合理的な利用を図っていく必要がある。

VI 摘 要

1) 冬作線虫対抗植物の「ライ麦ライ太郎」、野生エンバク「ネグサレタイジ」のサツマイモネコブセンチュウ（以下ネコブセンチュウまたは線虫と略称）に対する防除効果評価試験栽培を1997年11月から1998年5月の間に実施した。対照を休耕とした。最終密度（60頭前後/土20g）は休耕と同様高かった。対照区を基準としたエンバクとライムギの線虫補正密度指数は、それぞれ117および98であり、密度の変動も休耕と同様であった。エンバクの生草重はライムギの約2倍であった。供試作物の根系に根こぶは認められなかった。供試したエンバクとライムギの品種はネコブセンチュウの非寄主であり、線虫をトラップして土壤中の密度を低下させる機能がないと考えられることから、この線虫の防除には活用できない。

2) 夏作線虫対抗植物のクロタラリアの「ネコブキラールⅡ」、ギニアグラス「ナツカゼ」、スーダングラス「ベールスーダンHS9401」、ソルゴー「ラッキーソルゴーⅡ」、マリーゴールド「アフリカンマリーゴールド」、ギニアグラス「ソイルクリーン」、ソルゴー「SS701」（商品名「つちたろう」）のネコブセンチュウ防除評価試験を1997年に実施した。対照はナス「千両2号」と休耕区とした。7種の夏作対抗植物栽培区の線虫密度は定植前も栽培終了後も10頭以下の低いレベルであった。概して対抗植物栽培区の線虫補正密度指数は休耕と同程度か高かったが、ソルゴー「SS701」栽培区の線虫の補正密度指数は休耕区より著しく低かった。本試験の線虫密度は初期値も最終値も一桁の低密度であったため、サンプリング誤差、線虫分離誤差が重なって補正密度指数の差が過大に表現された可能性がある。生草重はソルゴー「SS701」が最も重く、10a換算で約13tの収量であった。他草種はその半以下の収量であった。

3) 上記試験のソイルクリーン、SS701および対照の休耕区跡に試験終了直後の9月から3ヶ月間トマト「強力米寿」を栽培し、線虫防除効果を生物検

定した。根こぶ指数は3処理区とも15前後の低い値であり、トマト栽培後の線虫密度も3処理区で3頭/20g土以下の低い密度であった。

4) 対抗植物栽培翌年の線虫密度抑制効果の持続性を評価するため、1998年に上記7種線虫対抗植物栽培区跡にニンジン「アスベニ五寸」を4月から86日間栽培した。ニンジン栽培後は全区で線虫密度が上昇した。根こぶ指数は全体に軽微（30前後）であった。対抗植物跡区および休耕跡区の処理区間には線虫密度、総収量、根こぶ指数の全てについて有意差がなかった。供試した対抗植物はいずれも翌年までネコブセンチュウの防除効果を維持したが、草種間に防除効果の差がなく、休耕と同等の防除効果を示した。

5) 夏作線虫対抗植物のマリーゴールド「アフリカントール」、同トール混合、ソルゴー「スダックス」および同「SS701」のネコブセンチュウ防除効果評価試験栽培を1999年の5月から89日間実施した。ネコブセンチュウ感受性品種のトマト「大型福寿」および休耕を対照とした。線虫密度は対抗植物栽培区および休耕区で経時的に低下した。中間調査時点および栽培終了時点の4種の対抗植物区におけるネコブセンチュウの実密度および補正密度指数は、常に休耕区と同線虫の密度と同等であった。4種対抗植物の根には根こぶが認められなかった。ソルゴー「SS701」の総生草重（10t）とスダックスの総生草重（8.8t）は有意に異ならなかった。

6) 上記試験区を次年度（2000年）にそれぞれ2等分し、通常の栽培区とパスツアリアの製剤を処理する区を設けて、線虫害抑制に及ぼす対抗植物とパスツアリアの組み合わせ効果の判定に供した。これらの区にトマト「強力米寿」を5月から132日間栽培した。常法の5段階（0～4）の調査に基づく根こぶ指数は、どの処理区でも80以上と高くなり、ネコブセンチュウ防除効果は持続しなかったと判断された。根こぶ指数は、トマト連作区を除き、前作の

対抗植物の間で有意に異ならず，同一対抗植物の栽培跡のパスツリア処理区と無処理区間には有意差がなかった．前作の対抗植物の種類，パスツリア処理の有無はトマト果実収量（株当たり総収量，個数および可販個数）に影響しなかった．トマト連作

区ではパスツリアの処理の有無にかかわらず，休耕を含めた他の全ての処理区より著しく減収した．収量，根こぶ被害，線虫密度に関するパスツリアと対抗植物の処理の相乗効果は施用初年度には認められなかった．

引用文献

1. 安達 宏・奈良部 孝・百田洋二 (1992) 毛状根によるサツマイモネコブセンチュウの培養．応動昆，36，225-230.
2. 荒城雅昭・林田至人・須藤 允 (1990) 市販飼料作物の線虫抑制効果．九病虫研会報，36，129-131.
3. Bergson, G. B. (1971) Response of muskmelon to fumigation for control of *Meloidogyne incognita* following one year of a non host crop. Pl. Dis. Repr., 55, 55-56.
4. 近岡一郎 (1983) キタネグサレセンチュウによる作物被害と防除に関する研究，特に対抗植物の利用について．神奈川農総研報，125，1-72.
5. Chen, Z. X., D. W. Dickson, R. McSorley, D. J. Mitchell and T. E. Hewlett (1996) Suppression of *Meloidogyne arenaria* race 1 by soil application of endospores of *Pasteuria penetrans*. J. Nematol., 28, 159-168.
6. Hackney, R.W., and O.J. Dickerson (1975) Marigold, castor bean, and chrysanthemum as controls of *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus alleni*. J. Nematol., 7, 84-90.
7. 橋爪 健 (1995) 緑肥を使いこなす．農文協，東京，132pp.
8. 橋爪 健 (1998) 「つちたろう」(SS701)の成績紹介と使い方＝サツマイモネコブセンチュウ対抗ソルゴー＝．牧草と園芸，46(6)，10-13.
9. Kasumimoto, T., R. Ikeda, and H. Kawada (1993) Dose response of *Meloidogyne incognita* infected cherry tomatoes to application of *Pasteuria penetrans*. Jpn. J. Nematol., 23, 10-18.
10. 北上 達・大久保憲秀・山本敏夫 (1993) *Crotalaria spectabilis*を対抗植物としたサツマイモネコブセンチュウの防除技術．三重農技センター研報，21，13-20.
11. 古賀成司・古閑孝彦 (1981) ネコブセンチュウの耕種的防除法に関する研究．熊本農試研報，7，51-91.
12. Miller, P. M. and J. F. Ahrens (1969) Influence of growing marigolds, weeds, two cover crops and fumigation on subsequent populations of parasitic nematodes and plant growth. Pl. Dis. Repr., 53, 642-646.
13. 水久保隆之 (2000) 最近の線虫研究の動向と線虫問題．植物防疫，54，11-22.
14. 水久保隆之 (2001) 線虫防除剤－パストリア水和剤の利用－．農及園，76，162-169.
15. 水越 亨 (1997) 北海道のハウス果菜類に発生したサツマイモネコブセンチュウの防除対策．第4報 対抗植物の効果．北農，64(1)，32-38.
16. 宮田将秀・大沼 康 (1994) マリーゴールドの間植によるキュウリのサツマイモネコブセンチュウ防除．宮城農セ報，60，39-47.
17. 西沢 務 (1990) 線虫の天敵細菌．植物防疫，44，524-530.
18. 農林水産技術会議事務局 (1977) 連作障害要因に関する研究．研究成果，98，204 p.
19. 農林水産技術会議事務局 (1981) 地力維持，連作障害克服のための畑地管理技術指針，505 p.
20. 大林延夫 (1989) ダイコンを加害するキタネグサレセンチュウの防除技術に関する研究．神奈川園試研報，39，1-90.
21. 大石剛裕・小林義明・池田二三高・杉山芳浩・水口長八 (1993) 対抗植物とD-D剤によるヤマトイモのネコブセンチュウの防除効果．関東病虫研報，40，303-304.
22. 大島康臣 (1989) 病虫害雑草制御技術 1. 生

- 物的制御技術 (1) 天敵生物利用 3) トラップ植物, 対抗植物の利用. p.38-44. 農林水産技術会議事務局編. 農林水産文献解題No.15 自然と調和した農業技術編. 農林統計協会. 東京.
23. Oostenbrink, M., K. Kuiper and J. J. Sijacob (1957) *Tagetes* als Feindpflanzen von *Pratylenchus*-Arten. *Nematologica Suppl.*, 2, 424S-433S.
24. Potter, J. W., J. L. Townshend and T. R. Davidson (1969) Wild and cultured grass hosts of the southern root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Nematologica*, 15, 29-34.
25. Reynolds, H. and J. H. O'Banion (1966) The efficacy and residual nature of experimental chemicals for controlling *Meloidogyne incognita* acrita on Deltapine cotton in Arizona. *Pl. Dis. Repr.*, 50, 512-515.
26. Rhoades, H. L. (1964) Effects of fallowing and flooding on root-knot in peat soil. *Pl. Dis. Repr.*, 48, 303-306.
27. 佐野善一 (1990) 対抗植物による線虫防除. 植物防疫, 44(12), 531-534
28. 佐野善一 (1992) 対抗植物と抵抗性作物の線虫密度抑制効果. 253-257. 中園和年編. 線虫研究の歩み. 日本線虫研究会. つくば.
29. 佐野善一 (1995) サツマイモネコブセンチュウの密度抑制に有効な輪作用植物の探索. 九州農試報, 28(3), 175-183.
30. Sasser, J. N., and D. W. Freckman. (1987) A world perspective on nematology: The role of the society. pp. 7-14 in J. A. Veech and D. W. Dickson, eds. *Vistas on nematology*. Society of Nematologists.
31. Stirling, G. R. (1984) Biological control of *Meloidogyne javanica* with *Bacillus penetrans*. *Phytopathology*, 74, 55-60.
32. 谷口達雄 (1994) キタネグサレセンチュウに対する対抗植物の検索. 関西病虫研報, 32, 72.
33. Thompson, J.P. (1987) Decline of vesicular-arbuscular mycorrhizae in long fallow disorder of field crops and its expression in phosphorus deficiency of sunflower. *Aust. J. Agr. Res.*, 38, 847-867.
34. 鳥越博明 (1992) 黒ボク土壌での線虫対抗植物の探索. 九病虫研会報, 38, 105-108.
35. Tyler, J. 1938. Proceedings of the root-knot nematode conference, Atlanta, Georgia, February 4, 1938. *Pl. Dis. Repr. Suppl.*, 109, 133-151.
36. Uhlenbroek, J. H., and J. D. Bijloo. (1958) Investigations on nematocides. 1. Isolation and structure of a nematocidal principle occurring in *Tagetes* roots. *Rec. Trav. Chim. Pays-Bas Belg.*, 77, 1004-1009.
37. Uhlenbroek, J. H., and J. D. Bijloo (1959) Investigations on nematocides. 2. Structure of a second nematocidal principle isolated from *Tagetes* roots. *Rec. Trav. Chim. Pays-Bas Belg.*, 78, 382-390.
38. Winoto Suatmadji, R. (1969) Studies on the effect of *Tagetes* species on plant parasitic nematodes. *Stichting Fonds Landbouw Export Bureau publicatie 47*. Veenan und Zonen N.W., Wageningen, The Netherlands. 132 p.
39. 藪 哲男・八尾充睦・藤田和久・大江碩也・平井英行 (1993) ネコブセンチュウの耕種的防除法. 石川農試研報, 17, 63-75.
40. 山田英一 (1998) 緑肥作物 (ヘイオーツ) の線虫抑制効果. 牧草と園芸, 46(5), 8-14.
41. 山田英一・橋爪 健・高橋 稜・北島美津子・松井誠二・谷津英樹 (2000) 緑肥用ソルガム等イネ科作物のネコブセンチュウ及びネグサレセンチュウに対する密度低減効果. 日線虫誌, 30, 18-29.
42. Zeck, W. M. (1971) A rating scheme for field evaluation of root-knot nematode infestations. *Pflanzenschutz-Nachrichten*. Bayer AG, 24, 141-144.

Evaluations for the Suppressive Effects of Some Commercialized Antagonistic Plant Cultivars Alone or with Joint Use of *Pasteuria penetrans* on *Meloidogyne incognita*

Takayuki Mizukubo^{*1}, Kei Shimizu^{*2}, Satoshi Aiba^{*1},
Kenji Itou^{*1} and Takashi Narabu^{*3}

Summary

The effects of antagonistic plants on root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Mi), were evaluated in a series of six field experiments. The effects of antagonistic plants in combination with application of *Pasteuria penetrans*, a biological-control agent of *M. incognita*, were also investigated.

1. The effects of the winter antagonistic plants rye *Secale cereale* cv. 'Raitaro' (Takii Seeds Co.) and wild oats, *Avena sterilis* cv. 'Negusare-Taiji' (Takii Seeds Co.) in control of root-knot nematode were evaluated in a field study conducted from November, 1997 to May, 1998 at the National Agriculture Research Center (NARC) Tsukuba, Japan. The control was a clean fallow kept free of plants. The average initial population (Pi) per 20 g soil was 100 J₂ in the field plots. Final populations (Pf) of Mi per 20 g soil after cultivation of rye, oats and clean fallow were 73, 56 and 57 J₂, respectively. The standardized reproduction indices of Mi (Pf/Pi ratio as percentage of Pf/Pi ratio of the control) in rye and oats were 117 and 98, respectively. Fresh shoot weight of oats was twice that of rye. None of the root systems of rye or oats were galled. Mi final populations in the plots of antagonistic plants and clean fallow suggested that rye and oats were not hosts and did not serve as trap crops for Mi J₂. It was concluded that although the winter antagonistic cultivars 'Raitaro' (rye) and 'Negusare-Taiji' (oats) maybe useful for some nematode species, they were not effective under the conditions of the experiment in control of Mi

2. The effects of the summer antagonistic plants crotalaria, *Crotalaria breviflora* cv. 'Nekobu Killer II' (Takii Seeds Co.), guinea grass, *Panicum maximum* cv. 'Natsukaze' (Takii Seeds Co.), sudan grass, *Sorghum sudanense* cv. 'Berusudan HS9401' (Takii Seeds Co.), sorghum, *Sorghum vulgare* cv. 'Lucky Sorugou II' (Takii Seeds Co.), African marigold, *Tagetes electa* cv. 'African marigold' (Takii Seeds Co.), guinea grass, *Panicum maximum* cv. 'Soil clean' (Snow brand Co.), and sorghum, *Sorghum vulgare* cv. 'SS701' (Snow brand Co.) on control of root-knot nematode were evaluated in field experiments conducted from May, 1997 to September, 1997 at the NARC in Tsukuba. Eggplant, *Solanum melongana* cv. 'Senryo' (Takii Seeds Co.) and clean fallow were the controls. The average initial population per 20 g soil in these plots was less than 10 J₂. The final populations of Mi per 20 g soil in the plots of the seven antagonistic plants were also all less than 10 J₂. Sorghum 'SS701' had the lowest reproduction index (15 %) standardized by the clean fallow. The other antagonistic plants had indices of 100 % or more. Fresh shoot weight of sorghum 'SS701' (1.3 t per 10 a) was nearly twice as much as the weights of the other cultivars.

3. The decrease in Mi populations after 'Soil clean' and 'SS701' cultivation were measured using a bioassay

Received: 16 July, 2003

^{*1} National Agricultural Research Center

^{*2} Retired: formerly National Agriculture Research Center

^{*3} National Agricultural Research Center for Hokkaido Region

with the Mi susceptible tomato cultivar 'Kyoryoku Beiju' (Takii seeds Co.). Seedlings were transplanted just after the antagonistic cultivars were harvested and were grown for three months. The clean fallow plot was also transplanted with tomato seedlings and served as the control. Root-knot indices of all plants were 14 to 18 (0-100 index). The Pfs of Mi per 20 g soil were also very low for all plots with values ranging from 0.5 to 2.7.

4. The persistence of the suppressive effects of antagonistic plant cultivation on Mi in the following year was measured using carrots, *Daucus carota* cv 'Asubeni Gosun' (Takii seeds Co.). Carrots were grown for 86 days from April to July 1998. Mi populations increased after carrot cultivation in all plots previously planted with the seven antagonistic cultivars. Relatively higher populations were present in plots previously planted with the two sorghum cultivars. Mi final populations in the plots that were previously clean fallow were used to standardize the reproduction index. The indices averaged 900 in plots that were previously 'SS701', 20 in plots previously 'Nekobu killer', and 40 in plots previously 'African marigold'. There were no significant differences in the total harvest (kg) of carrot or in gall indices between plots of treatments including the plots that were formerly clean fallow. The gall indices were commonly 30, irrespective of previous plantings. It was concluded that clean fallow and all the cultivars of antagonistic plants examined had similar effects on suppressing Mi in the next year of cropping.

5. The effects of the summer antagonistic plants marigold *Tagetes electa* cv. 'African Tall' (Kaneko Seeds Co.), marigold *Tagetes electa* cv. 'Tall Kongou' (Sakata Seeds Co.), sorghum *Sorghum vulgare* cv. 'Sudakkus' (Kaneko Seeds Co.), and sorghum *Sorghum vulgare* cv. 'SS701' (Snow brand Co.) on control of Mi were evaluated in a field experiment conducted from May to August, 1999 in a field at the NARC. A Mi susceptible tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. 'Ohgata-fukuju' and clean fallow were the controls. Populations of Mi in the antagonistic plant plots declined with time. Populations of Mi at the intermediate and final sampling period did not differ from those of the fallow. No galls were observed in the root systems of the four antagonistic plant cultivars. The yield or fresh shoot weight of sorghum 'SS701' was 10 t per 10 a, which did not significantly differ from the yield of 'Sudakkusu' (8.8 t / 10 a).

6. The combined effects of *Pasteuria* and the summer antagonistic plants marigold 'African Tall', marigold 'Tall Kongou', sorghum 'Sudakkus', and sorghum 'SS701' on Mi control were measured. In the year 2000 all plots described in previous heading 5 were divided into subplots without a *P. penetrans* application (Pp -) and subplots with a *P. penetrans* application (Pp +). A commercial product of *P. penetrans* containing 10^9 endospore per 1 g powder was applied to the Pp + plots at the densities of 2.5 g / m². Tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. 'Kyoryoku-beiju' was grown for 132 days in these plots from May to September. The gall indices of tomato roots were 80 or more (0-100 index), irrespective of the antagonistic plant cultivars previously planted. Moreover, there were no significant differences in gall indices between the previously antagonistic plant plots or between subplots with or without *Pasteuria* (Pp+ or Pp -) of the same antagonistic plant plots. There was significant yield reduction of tomato fruits in the continuous tomato cropping plots compared to plots previously planted with antagonistic plants. Neither previously planting an antagonistic plant nor application of *P. penetrans* had a significant affect on yield as expressed by total fruit yield (g) per plant, number of fruits per plant, and number of marketable fruits per plant. The Mi population in the continuous tomato-cropping plot was significantly lower than those in the antagonistic plant plots as well as the clean fallow. Mi populations did not differ significantly between plots previously planted with antagonistic plants and the clean fallow, irrespective of *P. penetrans* treatment (Pp+ or Pp-). *Pasteuria penetrans* treatment did not affect the Mi population within each of the antagonistic plant plots. It was concluded that the control effect of antagonistic plants was insufficient when Pi of Mi exceeded a certain threshold population (30 J₂ per 20 g soil just before the cultivation of an antagonistic plant). There was no synergistic effect between antagonistic plants and *P. penetrans* treatment on control of Mi in the first year of the *Pasteuria* application.