

Studies on the cultural methods for the reduction of root-knot nematode damage to crops in warm upland farming

鈴木, 崇之

(独)農研機構九州沖縄農業研究センター都城研究拠点 / 九州大学生物資源環境学府

<https://doi.org/10.15017/25175>

出版情報：九州大学，2012，博士（農学），課程博士
バージョン：
権利関係：



暖地畑作物のネコブセンチュウ害軽減のための 耕種的手法に関する研究

第1章 序論

1.1 本研究の背景

南九州地域（宮崎県および鹿児島県）は日本の代表的な暖地畑作地帯である．この地域では温暖な気候を生かして多くの作物で高生産性の二毛作・二期作が可能である．しかし，この地域を含め日本における畑地の耕地利用率は一貫して減少しており（農林水産省大臣官房統計部 2011），潜在的な耕地の生産力は必ずしも生かされていない．岩田（1983）およびTanaka（1987）によると，南九州地域の畑作付体系は，1955年代までは夏作がサツマイモ（*Ipomoea batatas* (L.) Lam.）を主体とし，冬作は麦類またはナタネ（*Brassica napus* L.）の1年2作が最も多かったが，1965年代以降，作目が多様化し輪作体系が崩れ，その後飼料作物が多くの面積を占めると同時に高収益作物の専作化が急速に進んだとされる．1992年から1995年にかけて宮崎県都城市月之原台地で実施された調査では，飼料作物や多種の野菜類が栽培され，作付体系が多様化している一方で，飼料作物や根菜類での単作化が進み（生駒ら 1997），休閑も増加している．この原因として持田（2000）は，収益性の高い作物を連作するために土壌消毒の期間が新たに追加され，マルチ資材の利用により作期が前進し，結果として栽培期間が長くなったため，前後作を単作で導入する時間的余裕がなくなった等の理由を指摘している．

こうした南九州地域における作付体系の状況は，連作障害，特に，線虫害の多発生を引き起こしている．植物寄生性線虫による線虫害は世界中で大きな問題となっており，九州にも多種の植物寄生性線虫が分布している（後藤 1976）．特にネコブセンチュウ（*Meloidogyne* spp.）は汎世界的に分布し，農業生産上最も重要な植物寄生性線虫と考えられている（奈良部 2004）．ネコブセンチュウは寄主の根にこぶを形成し，養水分を奪い生育を阻害し，感受性の高い作物で激発すれば枯死に至らせる．さらに根菜類では，根が商品部位であるため商品価値の低下を引き起こす．

ネコブセンチュウのうち，サツマイモネコブセンチュウ（*M. incognita* (Kofoid &

White)), アレナリアネコブセンチュウ (*M. arenaria* (Neal)), キタネコブセンチュウ (*M. hapla* Chitwood), およびジャワネコブセンチュウ (*M. javanica* (Treub)) の4種は、世界的に重要とされる有害線虫である (Moens *et al.* 2009). 中でもサツマイモネコブセンチュウは、サツマイモが生産される世界のほとんどの地域で優占しており (Overstreet 2009), 南九州地域も例外ではない (岩堀ら 2000, 岩堀 2010).

南九州地域では、サツマイモは澱粉用, 青果用, 菓子原料用, および焼酎原料用等の仕向けがあり, 災害に強く少肥・少労で収量・価格が概して安定していることに加え, 定植期・収穫期に幅があり比較的大面積に作付可能なため, 一定面積が栽培されている (久保田ら 2009). このため, 南九州地域におけるサツマイモの作付面積は2007年産で17000 haに達しており (農林水産省生産局生産流通振興課 2010), 夏季の基幹作物となっている. 一方で, サツマイモはサツマイモネコブセンチュウの好適寄主である. 後述の通り, 一部の品種はこの線虫に抵抗性を持つものの, 南九州地域の主力品種として栽培される青果用の「高系14号」および焼酎原料用の「コガネセンガン」はいずれも線虫に感受性であるため, 線虫の加害による塊根の外観悪化や減収が, 生産上の大きな問題となっている. これら2品種の作付面積割合は, 2007年産においてそれぞれ「高系14号」が宮崎県で38%, 鹿児島県で11%, 「コガネセンガン」が宮崎県で54%, 鹿児島県で43%であり (農林水産省生産局生産流通振興課 2010), 南九州地域で生産される, サツマイモの大部分を占めている.

一方で, 南九州地域では秋冬季に収益性の高いダイコン (*Raphanus sativus* L.) 等の露地野菜が栽培される場合が多い. このため, 単作化が進んでいるとはいえ, サツマイモと露地野菜栽培を組み合わせた夏季サツマイモー秋冬季露地野菜体系は, 現在でも多くの耕種農家で見られる. サツマイモネコブセンチュウは寄主範囲が広く, これらの露地野菜のほとんどを含めた, 九州で栽培される多くの商品作物に寄生し加害する (古賀 1992). そのため, 商品作物のみを組み合わせた作付体系では, 通常この線虫の被害を回避することは困難である.

現在, サツマイモおよび露地野菜の線虫防除は殺線虫剤処理に大きく依存している. 特に, サツマイモの線虫害対策にはくん蒸剤であるD-D剤の効果が高く, 日本では広く用

いられている。サツマイモの線虫害に対する薬剤防除面積は73%、線虫害の被害面積は19%（九州各県の平均）であり、特に九州中南部地域ではD-D剤の使用量が多い（古賀1995）。しかし、D-D剤の主成分1, 3-ジクロロプロペンは皮膚刺激性および催涙性を持っており、突然変異誘発性についても示唆されている（Lorenzo *et al.* 1977）。また、土壌微生物群集や有機物の分解にも影響を与える（和田ら 2008）。さらに、現在では殺線虫剤処理は安価な防除手法であるが、殺線虫剤の価格は社会情勢等の影響を受けるので、将来も安価であるとは限らない。このような状況下で、殺線虫剤の使用に関しては少量、簡易かつ安全性の高い薬剤や施用法が検討されており、例えばホスチアゼート剤（小柳ら 1998）やイミシアホス剤（大崎・福地 2010）といった粒剤型の殺線虫剤が開発されている。また、馬門ら（2010）は、くん蒸剤を対象にした畝立同時施薬作業技術を開発している。しかし同時に、環境や人体に対する影響がより小さい代替技術として、耕種的線虫防除技術の開発が求められている。

耕種的線虫防除についてはこれまで多くの技術が開発されている。例えば、サツマイモネコブセンチュウに対しては、その栽培により線虫の増殖が抑制される作物、いわゆる線虫抑制作物（対抗植物）の効果が高く、これまで多くの線虫抑制作物が見いだされている（鳥越 1992, 佐野 1995, 山田ら 2000, McSorley 2001, 立石ら 2003, 水久保ら 2004）。ただし、これらの線虫抑制作物は夏季に栽培される作物がほとんどであるため、夏季サツマイモ-秋冬季露地野菜体系に導入する場合、当年はサツマイモを栽培することができない。これまでに、夏季にサツマイモ栽培と線虫抑制作物栽培を隔年で繰り返す体系ではサツマイモの線虫害を軽減できることが明らかになっているものの（Johnson *et al.* 1996）、夏季のサツマイモ栽培が隔年になることは収益性の面で農家にとって許容できない場合が多い。近年ではサツマイモと作期が重複しない線虫抑制作物も探索され、九州中部ではエンバク（*Avena sativa* L.）「たちいぶき」を初秋から初冬にかけて栽培することで線虫を抑制し、後作サツマイモの線虫害も抑制できることが明らかになっている（Tateishi *et al.* 2008）。ただし、この場合でもサツマイモ栽培後作として導入できるのは早堀り栽培（4月頃に挿苗し、8月に収穫）の場合に限られ、普通堀り栽培（5月から6月頃に挿苗し、9月から11月に収穫）の後作として導入できる線虫抑

制作物は、現段階では存在しない。

他の耕種的線虫防除技術として、前年夏に太陽熱処理を実施することでサツマイモのネコブセンチュウ害を軽減できることも明らかになっている (Niimi *et al.* 2006) が、夏季の線虫抑制作物栽培同様、当年はサツマイモを栽培することができない。さらに、サツマイモ栽培体系内での、線虫寄生性細菌 *Pasteuria penetrans* のネコブセンチュウ密度抑制に対する有効性も明らかになっている (Tateishi *et al.* 2007) が、その効果の発現は緩慢であり、処理当夏に対する効果は認められなかった。

このように、夏季サツマイモー秋冬季露地野菜体系内での利用を想定した場合、これまで開発されてきた耕種的防除法には多くの問題が存在している。そのため、新しい耕種的線虫防除技術、特に収益を確保するために既存の夏季のサツマイモ生産および秋冬季の露地野菜生産を継続しながら、同時に各作物の線虫害を軽減できる技術の開発が求められている。

1.2 本研究の目的

本研究では、いくつかの耕種的手法に着目し、暖地畑作物の線虫害軽減法の開発を試みた。対象作物としては夏季に栽培されるサツマイモに加えて、秋冬季に栽培される露地野菜の例として、南九州地域で広く栽培され、線虫害が問題となるダイコンを用いた。

第2章では、線虫抵抗性サツマイモ品種の導入によるサツマイモおよびダイコンの線虫害軽減法について検討した。サツマイモでは線虫抵抗性が品種間で大きく異なり、線虫抵抗性品種を導入することで線虫密度抑制と後作物の被害軽減が可能である。そこで線虫抵抗性品種の夏季サツマイモー秋季ダイコン二毛作体系への効果的な導入法について検討し、両作物の線虫害軽減を試みた。またサツマイモ品種間での線虫害発生や線虫の増殖特性の違いについても検討した。

第3章では、線虫感受性サツマイモ品種の栽培を前提に、栽培環境が線虫密度および線虫害に及ぼす影響について検討した。特に、これまで検討されていない作型およびマルチ資材の影響を、主に挿苗前および挿苗時の地温条件に着目して検討した。さらに、複数作物を時系列的に連続して同一畦で栽培する畦連続利用体系が線虫害に及ぼす影響に

についても検討した。これらの試験では、前後作として導入できるダイコン栽培についても検討を加えた。

第4章では、線虫感受性サツマイモ品種の栽培を前提に、ベルマン法と植物検定法の二つの線虫密度推定法を用いて、サツマイモの線虫害の推定を試みた。

第5章では、本研究で得られた結果についてまとめ、将来の展望について論じた。

1.3 本研究に共通する試験・調査方法

本項目では、本研究中複数の試験に共通する試験・調査方法について記載した。なお、試験によっては詳細が異なる場合もあるが、その場合は個々の試験内で記述した。

(1) 線虫密度の推定方法

土壌中の線虫密度は、移植こてを用いて採土した土壌サンプルを供試し、ベルマン法および植物検定法の2手法を適宜用いて推定した（図1-1）。

1) ベルマン法

佐野（2004）の方法に準じて線虫を分離した。ここでは、和紙を1枚敷いた網皿に生土重で20 gの線虫汚染土壌を入れ、下部に回収用の管瓶を取り付けて水道水を充填した漏斗（直径9 cm）上に、土壌が水に浸るように静置した。室温（約25℃）条件下で3日間分離を継続し、3日後に土壌から遊出した2期幼虫を管瓶から懸濁液ごと回収した。懸濁液中の頭数を光学顕微鏡下で計数した。

2) 植物検定法

植物検定法による推定には、ハウセンカ（*Impatiens balsamina* L.，椿咲八重混合，サカタのタネ）を用いた。育苗土（ナプラ養土，ヤンマー）を充填したセルトレイ（128穴，30mm角×深さ45mm）に、セル当たり1粒のハウセンカを播種し、25℃条件で2～4週間程度栽培し、根鉢が形成され、本葉4枚程度となった苗を供した。生土重で150 gの線虫汚染土壌を黒丸ポット（直径9 cm）に充填後、上述のセル苗を定植し、室温25℃に設定

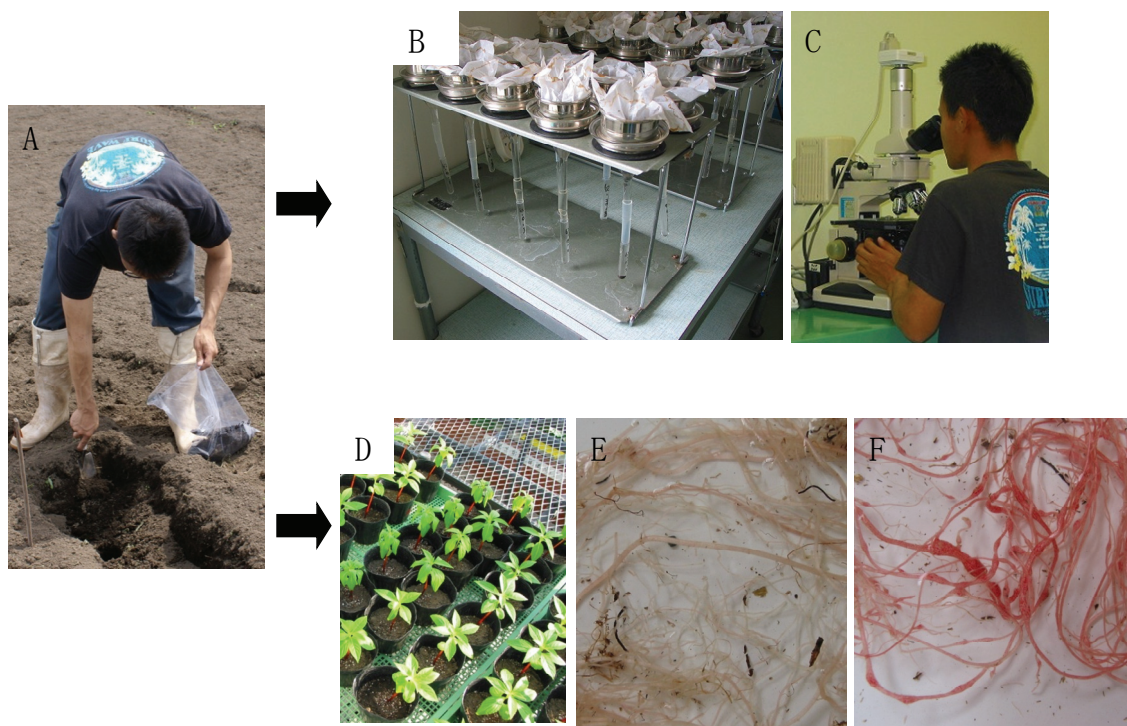


図1-1 線虫密度の調査法

A：土壌採取，B：ベルマン法による分離，C：計数，D：植物検定法における
 ホウセンカ栽培，EおよびF：ホウセンカ根に着生した根こぶの評価（Eは根こ
 ぶなし，Fは根こぶ着生）。

した自然光条件の人工気象室で3～4週間栽培した。栽培したハウセンカの根株を水洗し、0から4までの5段階（0：無，1：少，2：中，3：多，4：甚）で根にできた根こぶの着生程度（以下，根こぶ程度）を判定し（図1－2），式（根こぶ指数＝調査区の根こぶ程度の平均値/4×100）により百分率に換算した根こぶ指数により線虫密度を推定した。

(2) 試験圃場の条件

圃場試験は，九州沖縄農業研究センター都城研究拠点（宮崎県都城市）内の，線虫に汚染された複数の圃場（腐植質黒ボク土）で実施した。圃場のネコブセンチュウの種については，サツマイモに対してアレナリアネコブセンチュウ，キタネコブセンチュウ，およびジャワネコブセンチュウが寄生性を有するとの報告（佐野・岩堀 2001）はあるものの，日本の線虫害の原因として報告されている線虫はサツマイモネコブセンチュウであること，および九州における各種の分布状況の報告（岩堀ら 2000，岩堀 2010）からサツマイモネコブセンチュウであると考えられる。ただし，アレナリアネコブセンチュウ等が混発している可能性は考えられる。

(3) サツマイモの栽培方法

サツマイモは畦間75 cm，株間30 cmで栽培し，斜め植えて挿苗した。苗は「コガネセンガン」ではウイルスフリー苗（ジェイエイ・アグリシード株式会社）を供試し，他品種（「高系14号」，「九州139号（育成中系統）」，「ムラサキマサリ」，「ジェイレッド」，「サニーレッド」，「タマオトメ」，「ダイチノユメ」，「タマアカネ」，および「こなみずき」）では拠点内に設置した苗床で育苗した苗を用いた。サツマイモ栽培前には，基肥として，窒素5 g m⁻²，リン酸7 g m⁻²，およびカリ12 g m⁻²を施した。サツマイモ栽培期間中は殺虫剤散布，除草剤散布，および手取り除草を適宜用い，地上部害虫および雑草の防除を行った。

(4) サツマイモの線虫害調査法

サツマイモは人力で株毎にできるだけ細根をつけた状態で掘り上げた。根株の細根は，

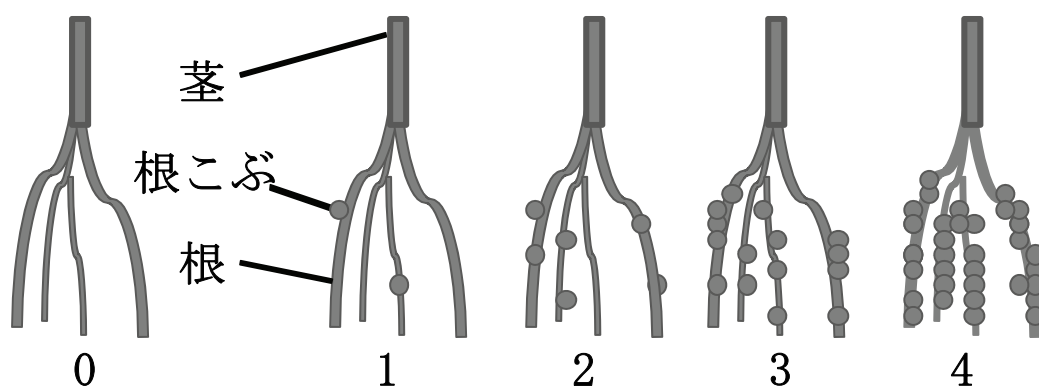


図1-2 ホウセンカ細根における根こぶの着生程度
上図の通り0（無）～4（甚）の5段階で判定した。

必要な場合は適宜水洗し、ハウセンカでの方法に準じて0から4までの5段階（0：無，1：少，2：中，3：多，4：甚）で根こぶ程度を判定した．調査区内に複数の株がある場合は，ハウセンカでの方法と同様の式（根こぶ指数＝調査区の根こぶ程度の平均値/4×100）により百分率に換算した根こぶ指数を算出して線虫の寄生程度を評価した．

塊根の線虫害は達観で評価した．塊根の線虫害は裂開症状，くびれ症状，およびくぼみ症状が主であった（図1－3AおよびB）．本研究では，これらの症状等を総合し評価した．被害の程度は，試験によって2または3階級に分類した（図1－4）．まず，無被害塊根（被害が全くない，もしくは商品化可に相当する軽微な被害のみの塊根）と被害塊根（甚大な被害があり商品化不可）に二分した．また3.3の試験では，無被害塊根をさらに階級0（被害無し）と階級1（商品化可に相当する軽微な被害のみの塊根）に分け，階級2とした被害塊根を含め3階級で比較した．なお，線虫以外の病虫害（コガネムシ類による食害等）および皮色の異常については判定から除外した．

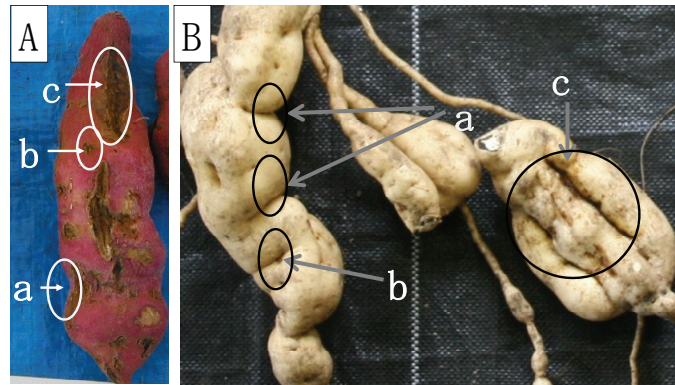


図1-3 サツマイモ塊根の線虫害

AおよびBはそれぞれ「高系14号」および「コガネセンガン」の、典型的な線虫害症状。a：くびれ，b：くぼみ，c：裂開。

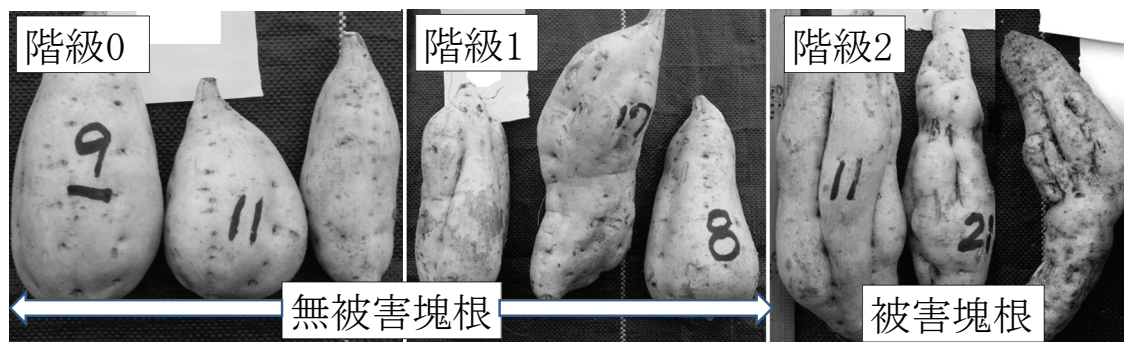


図1-4 サツマイモ塊根の線虫による被害程度の階級分け

階級0は被害無し，階級1は軽微な被害・変形あり（商品化可に相当），階級2は甚大な被害・変形あり（商品化不可に相当）。

第2章 サツマイモの線虫抵抗性の品種間差を利用した線虫密度抑制

2.1 緒言

サツマイモは一般的にはネコブセンチュウの好適寄主であるが，品種により線虫抵抗性（以下，抵抗性）が大きく異なることが知られ，抵抗性品種の育成が行われている（Cervantes-Flores *et al.* 2002, Piedra-Buena *et al.* 2011）．日本でも抵抗性に関する研究および抵抗性品種育成の歴史は古く，Shibuya（1952）はサツマイモへの線虫寄生程度の品種間差について報告し，菊川・坂井（1969）は抵抗性品種の育種方法について報告している．圃場における線虫の増殖は，品種の抵抗性により左右されるので（近藤 1972），線虫の増殖が抑制される抵抗性品種を栽培することで線虫密度低減が可能であり，後作の線虫害を軽減することができる（稲垣・百田 1983，上田ら 1986）．

このような，線虫抑制作物としての抵抗性サツマイモ品種の利用は，他の多くの線虫抑制作物が夏作物であるため，サツマイモの夏作を前提とすると作期が重複する問題点を回避できる．また，現在存在する線虫抑制作物の多くは緑肥作物や飼料作物として用いられるが，サツマイモを生産する耕種農家は，これらの作物を栽培するために必要な作業機械を所持していないことも多い．従って，商品性と線虫密度抑制の両立が期待できる線虫抵抗性サツマイモ品種の導入は，農家にとっては取り入れやすい技術と言える．

2.2 線虫抑制型夏季サツマイモー秋季ダイコン二毛作体系の開発

近年，日本では多くの新しいサツマイモ品種が育成されており，そのほとんどの品種が抵抗性品種である．これらの抵抗性品種は，育種の過程では主に塊根の被害症状や細根への根こぶ形成を基準に選抜されており（樽本 1992），線虫の増殖特性は確認されていない．このため，品種間で線虫の増殖率には大きな違いが存在し，線虫抑制に抵抗性品種を用いるには，線虫の増殖を抑制する抵抗性品種を選定する必要がある（佐野ら 2002）．ここでは，ほぼ完全に線虫の増殖を抑制し，1作後の線虫密度が非常に低くなることを期待できる場合は高度線虫抵抗性（以下，高度抵抗性），完全には線虫の増殖を抑制せず，1作後の線虫密度がやや増殖，維持またはやや抑制される程度と考えられる場合は中程度線虫抵抗性（以下，中程度抵抗性）として分けて論ずる．

南九州のサツマイモ栽培では、後作の野菜と組み合わせられた夏季サツマイモー秋季露地野菜の二毛作体系が可能であるが、露地野菜の中にも線虫が寄生してその被害が問題になる作物は多い。導入した高度抵抗性品種が、もし当年後作の露地野菜と次年夏作のサツマイモの双方に対して被害を抑制すれば、畑地の高度利用による高収益と殺線虫剤を用いない線虫害抑制の両立が可能と考えられる。線虫感受性（以下、感受性）品種の栽培は一作で線虫密度を激増させるため、露地野菜の前作としては不適當であると考えられるが、高度抵抗性品種と中程度抵抗性品種を隔年で栽培して、ある程度密度を低く維持することで、毎年のダイコン生産が可能と考えられる。

そこで、本試験では近年育成された抵抗性品種と南九州で代表的な秋季の露地野菜であるダイコンを用い、線虫抑制型夏季サツマイモー秋季ダイコン二毛作体系の開発を試みた。

材料および方法

(1) サツマイモおよびダイコンの栽培

試験は2003年～2006年に実施した。2002年の試験前作として、感受性サツマイモ品種「高系14号」を圃場全面で栽培した。試験は夏季サツマイモー秋季ダイコンの二毛作体系で実施し、サツマイモ導入品種の違いと殺線虫剤処理の有無が、収量と線虫害に及ぼす影響を検討した（表2-1）。供試したサツマイモ品種は、高度抵抗性品種が「ジェイレッド」および「サニーレッド」、中程度抵抗性品種が「九州139号（育成中系統）」および「ムラサキマサリ」、感受性品種が「高系14号」であった。「九州139号」および「ムラサキマサリ」の抵抗性は佐野ら（2002）の報告では高度抵抗性および感受性とされていたが、これらの品種は後述の通り本試験では中程度抵抗性と判定された。

本試験では、高度抵抗性品種と中程度抵抗性品種を隔年で栽培した、線虫抑制型の2体系（CR1およびCR2）と、CR1体系の高度抵抗性品種に替えて感受性品種を栽培した、線虫増殖型の1体系（CS）を比較した。具体的には、2003年、2004年、2005年、および2006年の順に、CR1体系では、「ジェイレッド」、「ムラサキマサリ」、「ジェイレッド」、および「高系14号」、CR2体系では「九州139号」、「サニーレッド」、「ムラサキマサリ」、および「高

表2-1 異なるサツマイモ導入品種と殺線虫剤処理の有無を組み合わせた
サツマイモダイコン体系の試験計画

作付 体系	殺線虫剤 処理	試験年とサツマイモ品種				反復
		2003	2004	2005	2006	
CR1	対照	J	M	J	K14	6~3 ¹⁾
CR2	対照	K139	S	M	K14	6~3 ¹⁾
CS	対照	K14	M	K14	K14	4
NR1	殺線虫剤処理	J	M	J	K14	3
NR2	殺線虫剤処理	K139	S	M	K14	3
NS	殺線虫剤処理	K14	M	K14	K14	2

略称	サツマイモ品種名	予想された抵抗性 ²⁾	本試験での結果に基づいた抵抗性
J	ジェイレッド	高度抵抗性	高度抵抗性
S	サニーレッド	高度抵抗性	高度抵抗性
K139	九州139号 ³⁾	高度抵抗性	中程度抵抗性
M	ムラサキマサリ	感受性	中程度抵抗性
K14	高系14号	感受性	感受性

1) CR1体系とCR2体系においては6区中3区を2003年のダイコン栽培前にデータから除いた。

2) 佐野ら（2002）の報告からこれらの品種の抵抗性を予想した。

3) 育成中系統。

作付体系の呼称については、Cは対照、Nは殺線虫剤処理を示し、これらをサツマイモ導入品種の3通りの呼称（R1, R2, およびS）と組みあわせた。

ダイコンは全区および全試験年で同一品種「耐病総太り」を栽培した。殺線虫剤処理はD-D剤（1,3-ジクロロプロペン 97%）をサツマイモ栽培前に、ホスチアゼート剤（ホスチアゼート 1.5%）をダイコン栽培前に処理した。

系14号」をそれぞれ栽培した。CS体系では、「高系14号」、「ムラサキマサリ」、「高系14号」、および「高系14号」の順に栽培し、以上3体系において2003年～2005年に栽培するサツマイモ品種の組み合わせを変化させた。2006年には「高系14号」を全体系で栽培して前3年間の影響を比較した。さらにCR1, CR2, およびCS体系に加え、殺線虫剤処理を実施し、かつこれらの区と同様に管理した3体系を設定した(NR1, NR2, およびNS)。殺線虫剤処理は、サツマイモ栽培前にD-D剤 (1, 3-ジクロロプロペン 97%) による処理を慣行に準じ実施し、さらにダイコン栽培前にホスチアゼート剤 (ホスチアゼート 1.5%) による処理を慣行に準じ実施した。各体系の反復数は2～6であった。各区の面積は 4.0×6.75 mであり、中央 1.8×2.25 m を調査に供した。

サツマイモは黒ポリマルチ栽培とした。サツマイモは2003年, 2004年, 2005年, および2006年の順にそれぞれ4月25日, 5月10日, 4月28日, および4月27日に挿苗し, 9月2日, 9月8日, 8月29日, および8月28日に収穫した。栽培日数は111～122日であった。ダイコン「耐病総太り」は2003年, 2004年, および2005年の順にそれぞれ9月29日, 9月27日, および9月21日に播種し, 12月1日, 12月8日, および12月7日に収穫した。栽培日数は63～77日であった。ダイコンは条間50 cm, 株間 30 cm (2004年のみ25 cm) で栽培した。ダイコン栽培前には基肥として, 窒素 15 g m^{-2} , リン酸 20 g m^{-2} , およびカリ 13 g m^{-2} を施した。生育期間中は適宜地上部害虫および雑草の防除を行った。

(2) 線虫密度調査

土壌はサツマイモ栽培前に調査区の深さ10～15 cmから, サツマイモ収穫時は調査区内の畦の中腹からそれぞれ採取し, 線虫密度の推定に供した。採土はほぼ等量の土壌を区内4箇所から採取し混和して1サンプルとした。線虫はベルマン法により2または3連で分離し, 計数に供した。

(3) 被害調査

サツマイモの調査では調査区内 (18株相当) のサツマイモ植物体を収穫し, 調査に供した。ダイコンの調査では各区20株をランダムに採取し調査した。人力で株ごとにでき

るだけ細根をつけた状態で掘り上げ，必要な場合は適宜水洗し，ハウセンカおよびサツマイモでの方法に準じて0から4までの5段階（0：無，1：少，2：中，3：多，4：甚）で根こぶ程度を判定し，根こぶ指数を算出した．さらに，根部の生重を調査するとともに，線虫害として本試験では先端部のくびれ症状の程度を調査した．2003年は5段階（0：無，1：小，2：中，3：大，4：甚），2004年および2005年は3段階（0：無，1：中，2：甚）で達観により判定し，0～100に換算した被害度（2003年の被害度＝調査区の被害程度の平均値/4×100，2004年および2005年の被害度＝調査区の被害程度の平均値/2×100）により，線虫害を評価した（図2-1）．

（4）統計解析

本試験の統計解析には統計解析ソフト「SAS 9.2」（SAS Institute）を用いた．試験開始前の線虫密度および土壌養分条件は処理間で同等であったため，完全無作為化法による分散分析を，GLMプロシジャを用いて実施した．処理区間で反復数が異なるため，解析にはタイプ2の平方和を用いた．

結 果

（1）線虫密度の変動

サツマイモ挿苗前と収穫時における，線虫密度の4年間の推移を図2-2に示した．各処理区における2003年のサツマイモ挿苗前の密度は，それぞれ101～149頭/20 g土壌であった．2003年収穫時の線虫密度は栽培した品種により大きく異なった．高度抵抗性の「ジェイレッド」を栽培したCR1体系では密度が低かったのに対し，感受性の「高系14号」を栽培したCS体系では密度が大きく上昇した．中程度抵抗性の「九州139号」を栽培したCR2体系では密度はCR1およびCS体系の中間値であった．殺線虫剤処理を実施したNR1，NR2，およびNS体系においてもほぼ同様の傾向が認められた．2004年は高度抵抗性の「サニーレッド」を栽培したCR2体系において密度が減少した．CR1体系およびCS体系では中程度抵抗性の「ムラサキマサリ」を栽培したが，CR1体系において密度が低く保たれたのに対し，CS体系においては栽培後の密度は高かった．2005年では，感受性の「高系14号」を

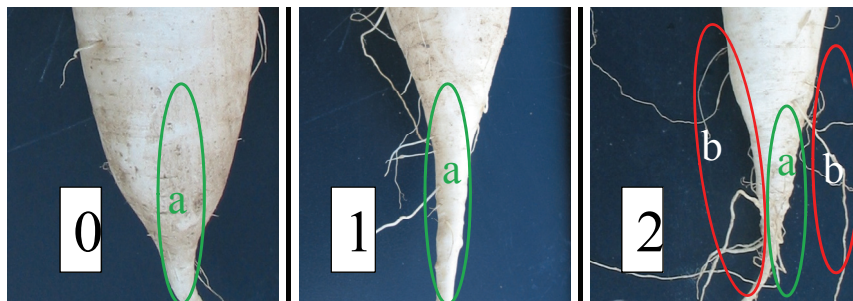


図2-1 ダイコンの被害症状

a: ダイコン先端のくびれ症状. 症状の程度は, 0: 被害無し, 1: 被害中程度, および2: 被害甚で判定し (2004年), 0~100の被害度に換算した. b: 細根 (根こぶ程度の判定に供した).

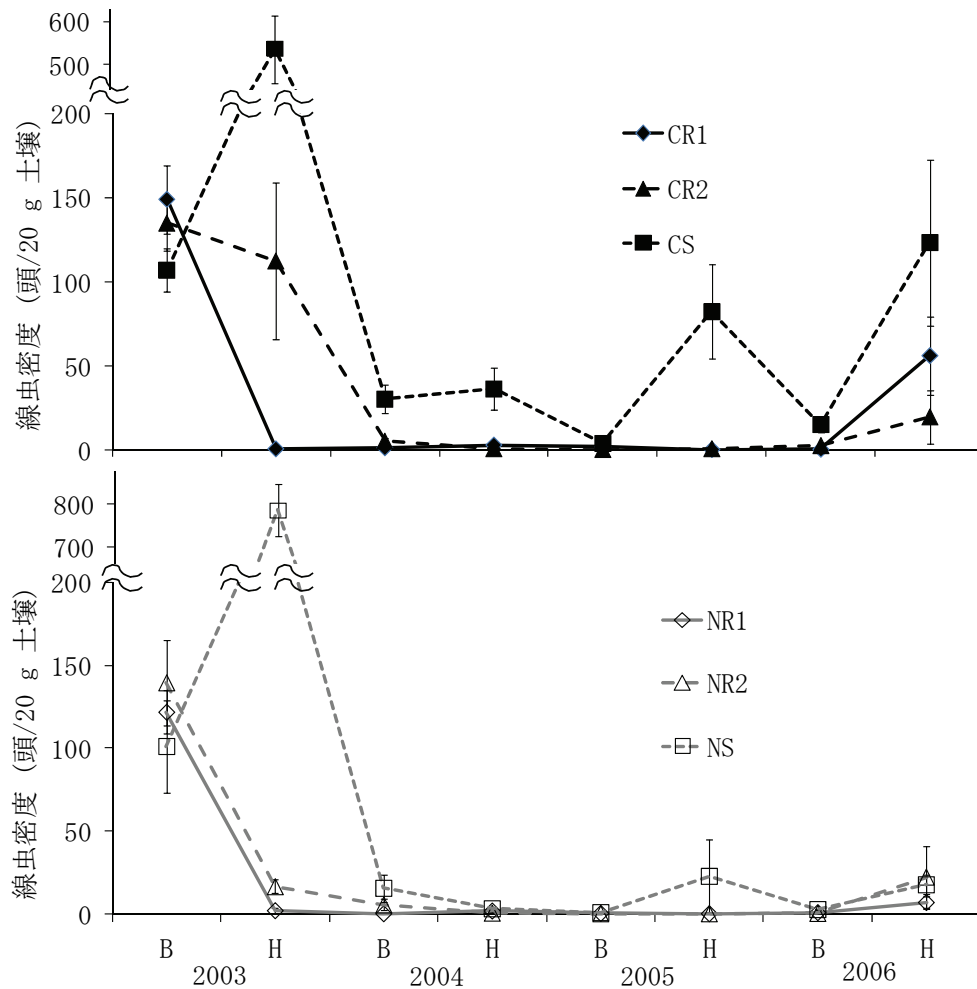


図2-2 線虫密度の各体系における4年間の変動 (平均値±標準誤差)
B: サツマイモ挿苗前, H: サツマイモ収穫時

栽培したCS体系に対し、高度抵抗性の「ジェイレッド」を栽培したCR1体系および中程度抵抗性の「ムラサキマサリ」を栽培したCR2体系でサツマイモ栽培後の密度が低かった。2006年は、CS体系でサツマイモ挿苗前の密度が高かった。感受性の「高系14号」の栽培後は全ての体系で密度が上昇した。

各体系におけるサツマイモの根こぶ指数は、2003年～2006年の間、導入したサツマイモ品種の影響を受けた（表2-2）。また、殺線虫剤処理も根こぶ指数に影響し、無処理区に対し殺線虫剤処理区で根こぶ指数は低かった。根こぶ指数は「高系14号」で高く、「九州139号」および「ムラサキマサリ」では中程度であり、「ジェイレッド」および「サニーレッド」ではほとんど根こぶが観察されなかった。

各体系におけるダイコンの根こぶ指数は、無処理区に対し殺線虫剤処理区で低く、前作に栽培したサツマイモ品種の影響も受けた。CS体系では2003年～2005年の間継続して根こぶ指数が高かった（表2-3）。

(2) 作付体系が作物の生産性に及ぼす影響

1) サツマイモ

「高系14号」では試験を通じて塊根に線虫害が観察された。全塊根数に対する被害塊根の割合は、2003年のCS体系では72%、NS体系では54%、2005年のCS体系では37%、NS体系では2%であった。「ジェイレッド」、「九州139号」、および「ムラサキマサリ」では試験を通じていずれの体系・年次でも、塊根の線虫害はほとんど観察されなかった。2004年のCR2体系およびNR2体系で栽培された「サニーレッド」では、線虫害とは関係なく塊根の形状が悪く、線虫害の評価は不可能であった。

2003年～2005年における、各体系がサツマイモの塊根収量と塊根数に及ぼす影響については、殺線虫剤処理区で2003年に塊根収量が高く、塊根数が多かった（表2-4）。2004年および2005年では、殺線虫剤処理は塊根収量および塊根数には影響を及ぼさなかった。

2006年の「高系14号」栽培における各体系が塊根収量と線虫害に及ぼす影響については、殺線虫剤処理と前年までの導入品種は、塊根収量と無被害塊根収量に影響した（表2-5）。特に、CS体系では塊根収量と無被害塊根収量双方とも低かった。

表2-2 異なる作付体系がサツマイモの根こぶ指数に及ぼす影響

作付体系	試験年			
	2003	2004	2005	2006
CR1	0 ¹⁾	19 ⁴⁾	0 ¹⁾	48 ⁵⁾
CR2	48 ³⁾	1 ²⁾	12 ⁴⁾	51 ⁵⁾
CS	90 ⁵⁾	26 ⁴⁾	49 ⁵⁾	79 ⁵⁾
NR1	1 ¹⁾	10 ⁴⁾	0 ¹⁾	26 ⁵⁾
NR2	23 ³⁾	0 ²⁾	5 ⁴⁾	27 ⁵⁾
NS	85 ⁵⁾	13 ⁴⁾	20 ⁵⁾	40 ⁵⁾
2元 分散分析				
殺線虫剤処理	***	*	**	***
導入品種	***	**	***	***
殺線虫剤処理×導入品種	***	NS	**	NS

各株細根の根こぶを0（無）から4（甚）で判定し，0～100の根こぶ指数に換算した．

品種：1) ジェイレッド，2) サニーレッド，3) 九州139号，4) ムラサキマサリ，5) 高系14号

分散分析における*，**，および***はそれぞれ5%，1%，および0.1%水準で有意差があることを示し，NSは5%水準で有意差がないことを示す．

表2-3 異なる作付体系がダイコンの根こぶ指数に及ぼす影響

作付体系	試験年		
	2003	2004	2005
CR1	16	32	14
CR2	36	16	24
CS	63	63	52
NR1	4	1	0
NR2	16	1	3
NS	17	0	18
2元 分散分析			
殺線虫剤処理	***	***	***
導入品種	***	***	***
殺線虫剤処理×導入品種	**	***	NS

各株細根の根こぶを0（無）から4（甚）で判定し、0～100の根こぶ指数に換算した。

分散分析における**および***はそれぞれ1%および0.1%水準で有意差があることを示し、NSは5%水準で有意差がないことを示す。

表2-4 異なる作付体系が2003年～2005年のサツマイモの塊根収量と塊根数に及ぼす影響

作付体系	試験年			2003			2004			2005		
				塊根収量 (g m ⁻²)	塊根数 (No. m ⁻²)		塊根収量 (g m ⁻²)	塊根数 (No. m ⁻²)		塊根収量 (g m ⁻²)	塊根数 (No. m ⁻²)	
CR1				2752 ¹⁾	13.5 ¹⁾		2613 ⁴⁾	17.4 ⁴⁾		3677 ¹⁾	18.5 ¹⁾	
CR2				2037 ³⁾	10.2 ³⁾		2866 ²⁾	15.6 ²⁾		2970 ⁴⁾	20.1 ⁴⁾	
CS				1331 ⁵⁾	10.2 ⁵⁾		2486 ⁴⁾	15.9 ⁴⁾		2711 ⁵⁾	16.0 ⁵⁾	
NR1				2912 ¹⁾	16.9 ¹⁾		2716 ⁴⁾	17.9 ⁴⁾		3626 ¹⁾	20.2 ¹⁾	
NR2				2742 ³⁾	15.1 ³⁾		3173 ²⁾	18.8 ²⁾		2978 ⁴⁾	20.6 ⁴⁾	
NS				1869 ⁵⁾	13.8 ⁵⁾		2548 ⁴⁾	16.0 ⁴⁾		3237 ⁵⁾	16.2 ⁵⁾	
2元 分散分析												
殺線虫剤処理				***	***		NS	NS		NS	NS	
導入品種				***	***		**	NS		***	***	
殺線虫剤処理×導入品種				NS	NS		NS	NS		NS	NS	

品種：1) ジェイレッド, 2) サニーレッド, 3) 九州139号, 4) ムラサキマサリ, 5) 高系14号
分散分析における**および***はそれぞれ1%および0.1%水準で有意差があることを示し, NSは5%水準で有意差がないことを示す.

表2-5 異なる作付体系が2006年の「高系14号」の塊根収量と線虫害に及ぼす影響

作付体系	塊根収量 (A) (g m ⁻²)	無被害塊根収量 (B) (g m ⁻²)	Aに対するBの比 (%)
CR1	1868	1617	86.6
CR2	1596	1464	91.7
CS	1119	761	68.0
NR1	2335	1795	76.9
NR2	2266	1983	87.5
NS	1853	1499	80.9
2元 分散分析			
殺線虫剤処理	***	**	
導入品種	***	**	
殺線虫剤処理×導入品種	NS	NS	

分散分析における**および***は、それぞれ1%および0.1%水準で有意差があることを示し、NSは5%水準で有意差がないことを示す。

2) ダイコン

各体系が2003年～2005年のダイコンの生重と線虫害に及ぼす影響については、3年間とも殺線虫剤処理により被害度が低下した（表2-6）。サツマイモの導入品種は2003年および2005年に被害度に影響を及ぼした。根部重は試験年により大きく変動したが、2004年の根部重は導入品種の影響を受けた。CS体系における被害度は3年間を通じて全体系の中で最も高かった。

考 察

夏季サツマイモー秋季ダイコン二毛作体系では、サツマイモ導入品種の違いが線虫密度に影響した（図2-2）。CS体系における感受性品種「高系14号」の栽培は2003年および2005年に密度を上昇させた。対照的にCR1およびCR2体系においては、高度抵抗性品種「ジェイレッド」および「サニーレッド」の栽培では密度は上昇せず、これらの品種では根こぶもほとんど形成されなかった（表2-2）。なお、2003年は栽培前の密度が非常に高い条件であったにもかかわらず、「ジェイレッド」の栽培により大きく密度が低下したことは注目に値する。これらの結果は、高度抵抗性品種の高い導入効果を示すものと考えられる。

2005年のサツマイモ収穫時の線虫密度は、CS体系に対しCR1およびCR2体系では低かった。このことが、2006年の感受性品種「高系14号」栽培における、塊根収量と線虫害の体系間の違いに反映されたと考えられる（表2-5）。一方、2006年のサツマイモ収穫時の線虫密度については、CS体系だけではなく、前年までに高度抵抗性品種を導入していたCR1およびCR2体系でも増加した。この結果は、感受性品種を栽培する場合には、高度抵抗性品種の導入が及ぼす効果は1年のみであることを示している。

佐野ら（2002）は、「ジェイレッド」および「サニーレッド」が本試験地で採取された個体群（以下、都城個体群）を含む、日本の異なる4カ所から採取されたサツマイモネコブセンチュウ個体群に対して高度抵抗性であることを明らかにしている。また、「九州139号」は都城個体群に対し高度抵抗性であったが、「ムラサキマサリ」は感受性と判定されていた。本研究でも同一の結果が予想されたが、「九州139号」および「ムラサキマサリ」

表2-6 異なる作付体系が2003年～2005年のダイコンの生重と線虫害に及ぼす影響

作付体系	試験年		2003		2004		2005	
	根部重 (g plant ⁻¹)	被害度 (0～100)	根部重 (g plant ⁻¹)	被害度 (0～100)	根部重 (g plant ⁻¹)	被害度 (0～100)	根部重 (g plant ⁻¹)	被害度 (0～100)
CR1	555	16	708	41	1335	27		
CR2	505	27	723	19	1233	40		
CS	550	47	657	67	1324	72		
NR1	565	12	845	14	1313	7		
NR2	610	20	815	14	1336	23		
NS	571	19	624	3	1192	34		
2元 分散分析								
殺線虫剤処理	NS	*	NS	**	NS	***		
導入品種	NS	*	*	NS	NS	***		
殺線虫剤処理×導入品種	NS	NS	NS	*	NS	NS		

分散分析における*, **, および***はそれぞれ5%, 1%, および0.1%水準で有意差があることを示し, NSは5%水準で有意差がないことを示す. ダイコンの線虫害は先端部の障害を判定し, 被害度に換算した.

の抵抗性は予想と異なり、中程度抵抗性と判定された（表2-1）。この原因としては供試した圃場が異なるため、存在する線虫個体群の寄生性が異なる可能性が考えられる。本研究での2003年の根こぶ指数と線虫密度の結果は、「九州139号」が「高系14号」と「ジェイレッド」の中間の性質を示し、抵抗性がこれらの品種の中間に位置することを示唆している。また、2004年の「ムラサキマサリ」における根こぶ指数と線虫密度の結果からも、「ムラサキマサリ」の抵抗性は中程度と言える。中程度抵抗性品種にもある程度の密度抑制効果はあると考えられ、Lawrence *et al.* (1986) も、初期密度が高い時には、中程度抵抗性品種に比べ感受性品種では密度が増加することを示している。

一方、挿苗時の線虫密度が高い条件であった2003年では、「高系14号」だけでなく、抵抗性品種の「ジェイレッド」および「九州139号」の塊根収量および塊根数が減少した（表2-4）。皆川（1976）は、線虫がサツマイモの塊根数を減少させ、収量に影響することを日本の感受性品種において報告しているが、抵抗性品種においても同様の現象が観察されたのは興味深い。線虫は感受性品種と同様に、抵抗性品種の根にも侵入することが知られており（Komiya *et al.* 2006）、根あるいは植物体に何らかの影響を与えていると推察される。同様に、キャッサバ（*Manihot esculenta* Crantz）でも、塊根数に対する影響が報告されている（Makumbi-Kidza *et al.* 2000）。さらに、線虫はサツマイモに対し吸収根の減少を引き起こすことも知られており（山下 2003）、養水分吸収や塊根肥大に対する影響も今後検討していく必要がある。

本試験の「高系14号」の栽培では、2003年、2005年、および2006年（表2-5）の栽培で線虫害が発生した。2003年は初期密度が非常に高かったため、殺線虫剤を実施しても線虫害が激発したと考えられるが、密度が比較的低かった2005年および2006年の栽培では線虫害の発生が少なかった。しかし、殺線虫剤処理区においても、線虫密度は「高系14号」の栽培期間中に回復した。この結果は上述の高度抵抗性品種導入時と同じであり、これらの対策の効果が1年間しか継続しないことを示している。

本試験では、線虫はダイコンに寄生し根こぶを形成し（表2-3）、またダイコンの線虫害も発生させた（表2-6）。ダイコンには線虫が寄生し、中南部九州での秋播き栽培では線虫害が発生することが知られている（荒城・飯塚 1991）。ダイコンの線虫害およびダ

ダイコンの根こぶ指数はサツマイモ導入品種と殺線虫剤処理双方の影響を受けた。さらに、根こぶ指数および被害度はCS体系では高く維持され、CR1およびCR2体系の高度抵抗性品種導入後では低かった。これらの結果は、高度抵抗性品種の導入はダイコンの線虫害軽減に有効であることを示している。

以上の結果から、夏季サツマイモー秋季ダイコン二毛作体系において、線虫抵抗性サツマイモ品種を導入することで線虫密度が抑制され、サツマイモおよびダイコンの線虫害も軽減できることが明らかとなった。

2.3 サツマイモ品種間の線虫抵抗性の比較

2.3.1 緒言

2.2では、線虫抵抗性サツマイモ品種導入の作物の生産性に対する効果が明らかになった。サツマイモには多くの品種が存在し、品種間で大きく抵抗性反応が異なる。これまで日本の品種における線虫の増殖については佐野ら（2002）により詳細に調べられ、また、根こぶの形成については品種育成の段階で評価が実施されている。一方で、塊根の被害状況や収量に関する報告は少なく、南九州において栽培面積が「高系14号」よりも広い感受性品種「コガネセンガン」の線虫害の評価については、「高系14号」と直接比較したデータがない。また、最近多くの線虫抵抗性品種が育成されてきているが、圃場での線虫密度低減効果については確認されていない。そこで、これらの点について検討を行った。

2.3.2 感受性品種「高系14号」および「コガネセンガン」の線虫害の比較

圃場での線虫密度の段階的制御には困難が伴う。そこで、本試験では線虫密度を段階的に制御できるポット、具体的にはサツマイモの挿苗75日後には線虫の典型的な被害症状が観察可能である（佐野 1994）ことを考慮して、75日以上栽培が可能な1/2000 aワグネルポットを用い、感受性品種である「高系14号」および「コガネセンガン」の線虫害の発生について検討した。

材料および方法

実験は室温25℃に設定したファイトロンで2007年、2008年、および2009年に実施した。雑草が生えないように定期的に耕耘し、線虫が含まれていないことをベルマン法により確認した圃場の土（以下、無耕作土）と線虫汚染圃場の土壌（ベルマン法により線虫数を計数）を適宜混和して1/2000 aワグネルポットに充填し、ポット当たりの処理線虫数を制御した8処理区を設けた（表2-7）。なお、各年で供した線虫汚染土重は各年で異なるが、無耕作土重を調整し、各年の乾土換算した総土重はほぼ同一になるように調整した。「高系14号」および「コガネセンガン」を試験に供し、本試験に限り両品種ともウイルスフリー苗（ジェイエイ・アグリシード株式会社）を増殖して供した。苗は最上位展開葉から6節を残して採苗し、下部3節が地中に入るよう直立挿しで挿苗した。土壌充填時に植物検定法により各ポット1連で挿苗時の線虫密度を調査した。8処理×2品種×3連の計48ポットを一度に栽培し、3年にわたって3回試験を行った。挿苗および収穫は、2007年が挿苗8月31日、収穫12月3日（挿苗後94日）、2008年が挿苗8月29日、収穫12月3日（挿苗後96日）、2009年が挿苗8月18日、収穫11月27日（挿苗後101日）とした。基肥としてポットあたり窒素0.24 g、リン酸0.36 g、およびカリ0.6 g相当量を施した。サツマイモ生育期間中は、灌水、ポットの位置移動、殺虫剤散布および手取り除草を実施した。収穫時にサツマイモ細根の根こぶ程度および塊根の被害度を調査した。塊根の被害度は、3 g以上の塊根を対象に、塊根のくびれ症状、くぼみ症状、および裂開症状を0から4までの5段階（0：無、1：微、2：中、3：大、4：甚、2以上がほぼ商品化不可に相当）で判定し、これら3症状中の最大値を各塊根の被害程度として、式（被害度＝各ポット内にある塊根の被害程度の平均値/4×100）により各ポットの被害度を求め評価した。処理線虫数と植物検定法による挿苗時の線虫密度との関係は、年次内では一致したが年次間では一致しなかった。そこで、植物検定法による挿苗時の線虫密度と、サツマイモ細根の根こぶ程度および塊根の被害度との関係について解析した。相関の有意性の検定には統計解析ソフト「エクセル統計2008」（株式会社 社会情報サービス）を使用した。

表2-7 ポット試験における線虫密度の設定

処理線虫数 (頭数 ¹⁾ pot ⁻¹)	混和した線虫汚染土重 (g)		
	2007	2008	2009
0	0	0	0
48	32	7	36
96	64	14	71
192	128	27	142
384	256	54	284
768	512	108	569
1536	1024	217	1138
1536+オートクレーブ ²⁾	1024	217	1138

1) 供試した線虫汚染土からベルマン法で分離した線虫数より換算した． 2) 線虫汚染土を121℃で60分間処理後混和した．

結果および考察

植物検定法による線虫密度とサツマイモの根こぶ程度との間には、両品種とも3年間それぞれ、および3年間を合計して解析しても有意な正の相関が得られた（図2-3）。切片はいずれの年次・品種でも1程度であり0にはならなかったが、これは植物検定法で供試した土壌が150 gであり、ポット全体の土壌（生土換算で約8 kg）に対する割合が小さく、植物検定法で検出されなかった線虫が、サツマイモ細根では検出されたためと考えられる。品種間で比較すると、2009年では「高系14号」で高い傾向が確認されたが、2007年および2008年では同等であった。植物検定法による線虫密度とサツマイモ塊根の被害度との関係について、両品種の3年間それぞれ、および3年間を合計して解析したところ、2009年の「コガネセンガン」を除き有意な正の相関が得られた（図2-4）。得られた相関の切片はいずれもほぼ0であったが、傾きは3年合計、2007年および2008年とも「高系14号」に比べ「コガネセンガン」で小さい傾向がみられた。以上の結果は、「高系14号」に比べ「コガネセンガン」では塊根の線虫害が発生しにくいことを示している。なお、2008年の線虫密度は他の年次に比べ全体的に低い傾向が見られたが、原因は不明である。ただし、供した線虫汚染土の線虫密度が他の年次に比べ高く、同一頭数の処理区でも混和した線虫汚染土の量は少なかったため（表2-7）、何らかの原因で密度が低下した可能性が考えられる。

なお、「コガネセンガン」では裂開の一部が治癒しているのが観察された。サツマイモの塊根では裂開は容易に発生するが、生育期間中に治癒する場合も多いことが知られている（小柳ら 1987）。本試験での被害度では治癒した裂開症状を被害に含めたが、この症状は焼酎原料用として用いる「コガネセンガン」の生産上は問題にはならないと考えられ、被害に含めなければさらに両品種間の被害度の差は大きくなると考えられる。

2.3.3 圃場での線虫害発生と線虫密度抑制効果の品種間比較（1）

2.3.2の試験結果から、「コガネセンガン」に比べ「高系14号」では塊根の線虫害が発生しやすいことが明らかになったが、圃場での栽培では生育期間が長くなり、栽培環境も大きく異なる。そこで、感受性品種の「高系14号」および「コガネセンガン」に抵抗

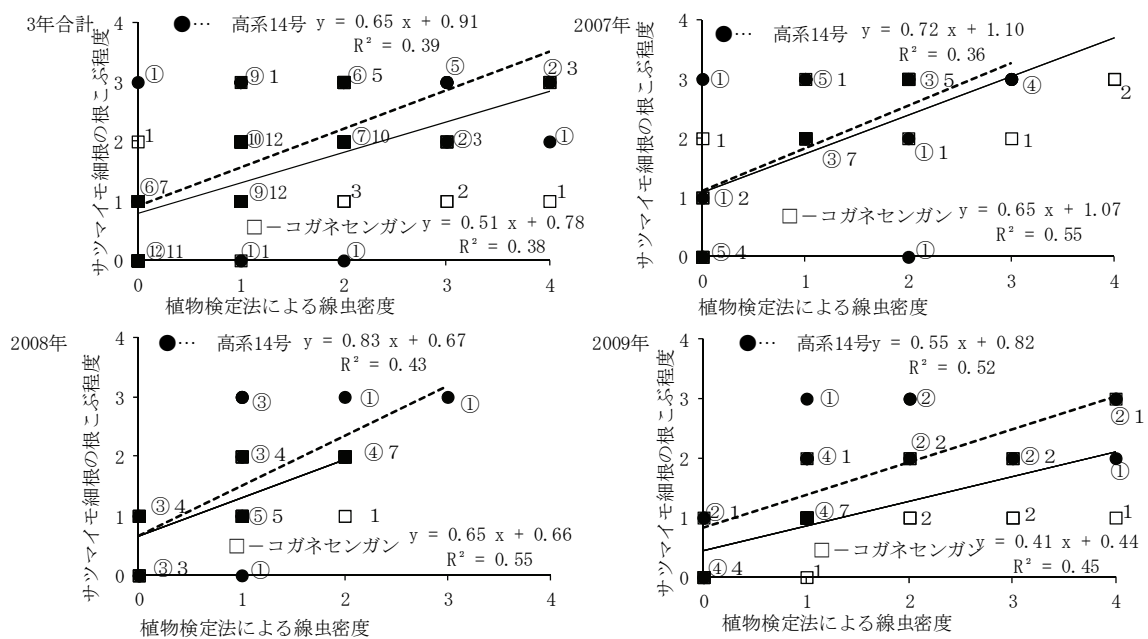


図2-3 植物検定法による線虫密度とサツマイモ細根の根こぶ程度との関係
丸数字は「高系14号」のサンプル数を、数字は「コガネセンガン」のサンプル数を示す。備考：■は「高系14号」と「コガネセンガン」の値が重複している。

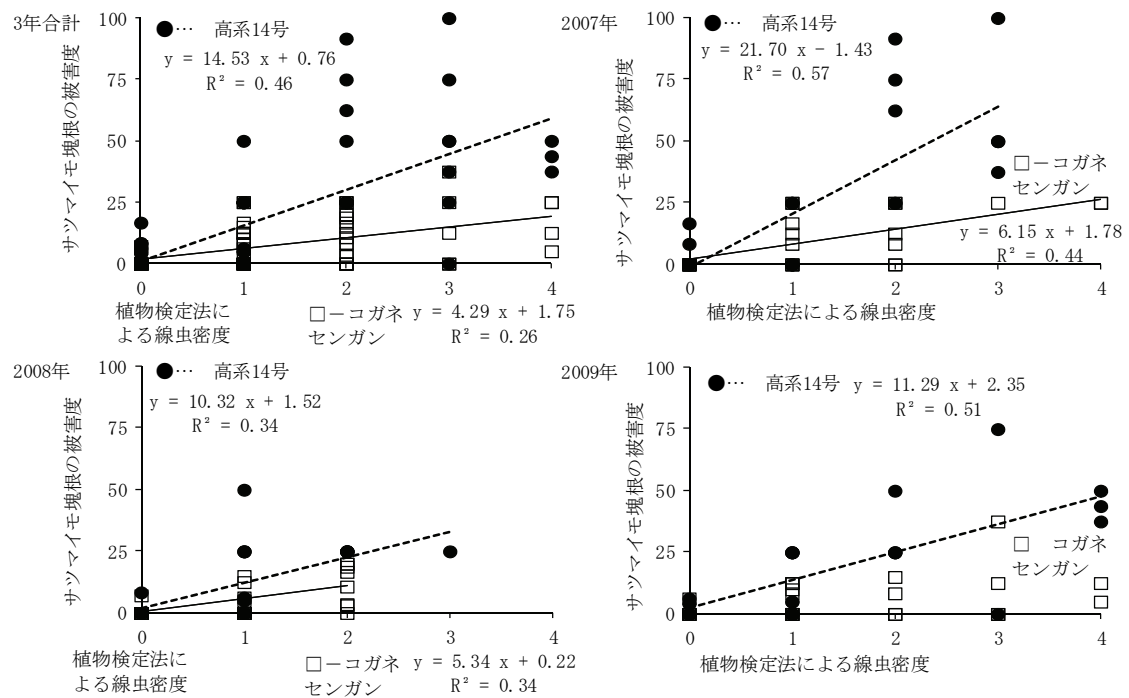


図2-4 植物検定法による線虫密度とサツマイモ塊根の被害度との関係
備考：■は「高系14号」と「コガネセンガン」の値が重複している。

性品種3品種を加え、各品種における線虫害と線虫密度動態について圃場で検討した。

材料および方法

試験は2006年に実施した。処理区として栽培前の線虫密度を低く制御した低密度区（以下、LD区）と高めた高密度区（以下、HD区）を設けた。各区は10 m×12 m（16畦，うち15畦を供試）とした。試験前年の2005年にLD区では高度抵抗性品種の「ジェイレッド」を，HD区では感受性品種の「高系14号」をそれぞれ栽培し，試験前の線虫密度を調整した。2006年の3月8日の深さ10～15 cmにおけるサツマイモ栽培前線虫密度（頭数/20 g土壌）は，LD区で3，HD区で174であった。LD区ではさらにD-D剤（1,3-ジクロロプロペン 97%）による殺線虫剤処理を慣行に準じ3月24日に実施した。

本試験では線虫感受性品種の「高系14号」および「コガネセンガン」，さらに2.2で中程度抵抗性品種と判定された「ムラサキマサリ」，佐野ら（2002）によって高度抵抗性品種とされている「タマオトメ」および「ジェイレッド」を供試し，各品種とも3畦を用いて栽培した。黒ポリマルチ栽培とし，5月18日に挿苗した。8月29日（挿苗103日後）および10月11日（挿苗147日後）に中央の畦に調査区（2.475 m²，11株相当）を設置し，調査区内のサツマイモ全株を収穫し調査した。塊根は上下直径1 cmで切り，塊根長および塊根最大直径についても調査した。収穫時に畦内から土壌を採取し，ベルマン法による線虫密度を調査した。線虫害は全塊根数に対する被害塊根の割合で評価した。

結 果

「高系14号」では被害塊根の割合が高く，収量もHD区で減少した（表2-8，2-9）。被害塊根の割合はHD区で極めて高く，LD区でも103日後では高かった。「コガネセンガン」では「高系14号」に対して被害塊根の割合が低い傾向が認められ，HD区では高かったが，LD区では低かった。これら2品種に比べ，他の3品種では被害塊根の割合が低い傾向が認められた。いくつかの例外は見られたが，LD区に対しHD区では塊根長が短く，塊根幅が太くなる傾向が認められた（表2-8）。

また，いくつかの例外は見られたものの，塊根重はLD区に対しHD区で低い傾向があり，

表2-8 線虫がサツマイモ塊根の外観に及ぼす影響

品種	挿苗後 日数	被害塊根の割合 ¹⁾ (%)		塊根長 (cm)		最大直径 (cm)	
		HD	LD	HD	LD	HD	LD
高系14号	103 日後	58	48	NA ²⁾	NA ²⁾	NA ²⁾	NA ²⁾
	147 日後	40	0	NA ²⁾	NA ²⁾	NA ²⁾	NA ²⁾
コガネセンガン	103 日後	22	6	14.2	15.6	5.1	4.9
	147 日後	23	2	15.8	15.3	6.5	6.1
ジェイレッド	103 日後	0	0	16.2	18.0	4.8	4.9
	147 日後	0	0	13.6	17.1	6.7	6.5
タマオトメ	103 日後	8	13	16.6	18.8	5.3	4.5
	147 日後	14	6	15.2	18.5	6.9	6.1
ムラサキマサリ	103 日後	0	0	15.9	16.5	4.1	3.9
	147 日後	0	0	16.3	16.4	4.7	4.5

1) 全塊根数に対する被害塊根数の割合を示す。

2) 外観がきわめて悪化していたため、塊根長と最大直径は調査せずNA（該当無し）とした。

表2-9 線虫がサツマイモの塊根数および塊根重に及ぼす影響

品種	挿苗後 日数	塊根重 (FWg/plant)			塊根数 (No./plant)		
		HD	LD	HD/LD (%)	HD	LD	HD/LD (%)
高系14号	103 日後	128	262	49	3.1	3.7	83
	147 日後	174	582	30	2.8	3.3	86
コガネセンガン	103 日後	514	510	101	5.5	5.0	109
	147 日後	643	860	75	4.6	5.2	89
ジェイレッド	103 日後	438	562	78	4.1	5.9	69
	147 日後	625	938	67	3.5	4.5	80
タマオトメ	103 日後	472	515	92	3.3	3.9	84
	147 日後	714	860	83	3.2	4.5	71
ムラサキマサリ	103 日後	392	490	80	5.3	4.9	108
	147 日後	583	731	80	4.9	6.3	77

塊根数もLD区に対しHD区で低い傾向があった。塊根重のLD区に対するHD区の比(%)は品種で異なったが、「高系14号」では103日後および147日後ともきわめて小さかったのに対し、「コガネセンガン」では103日後では同等であり、147日後でのみ低下した(表2-9)。

サツマイモ収穫時の線虫密度については、「高系14号」および「コガネセンガン」では高く、「ムラサキマサリ」では中程度であり、「タマオトメ」および「ジェイレッド」では低かった。一方、根こぶ指数は「高系14号」では高く、「コガネセンガン」および「ムラサキマサリ」では中程度であり、「タマオトメ」および「ジェイレッド」では低かった(表2-10)。

考 察

本試験では、高度線虫抵抗性品種を栽培することで線虫密度を低下させることができることを明らかになった。すなわち、供試した高度抵抗性品種「タマオトメ」および「ジェイレッド」では根こぶがほとんど形成せず、線虫もほとんど増殖しなかった(表2-10)。この「ジェイレッド」での結果は2.2での結果と一致した。一方、2.2の試験で中程度抵抗性と判定された「ムラサキマサリ」では、2.2での結果同様線虫が増殖し、塊根の線虫害はほとんど発生しないものの、線虫密度抑制には効果がないことが確認された。なお、「タマオトメ」では被害塊根率がいずれの処理区および挿苗後日数でも10%前後となったが、処理区間で差が認められなかったことと根こぶがほとんど形成されなかったことから、この形状の悪化は線虫以外の要因により引き起こされたと判断された。

感受性品種の「高系14号」および「コガネセンガン」について考察すると、「高系14号」では「コガネセンガン」と比較して被害度が高かった(表2-8)。この結果は2.3.2でのポット試験での結果と一致し、「高系14号」では「コガネセンガン」に比べ被害が発生しやすいことを示している。また、塊根重においても「高系14号」では挿苗後日数にかかわらず大きく低下したのに対し、「コガネセンガン」の103日後時点では同等であった(表2-9)。これは、「高系14号」では初期から影響を受けて塊根数が減少するのに対して、「コガネセンガン」では103日時点では塊根数が影響を受けなかったのが原因と

表2-10 サツマイモ収穫時の線虫密度と根こぶ指数

品種	挿苗後 日数	線虫密度 (頭数/20 g 土壌)		根こぶ指数	
		HD	LD	HD	LD
高系14号	103 日後	608	36	73	48
	147 日後	155	0	65	39
コガネセンガン	103 日後	164	12	41	11
	147 日後	155	0	28	18
ジェイレッド	103 日後	4	0	3	5
	147 日後	7	0	14	2
タマオトメ	103 日後	0	0	NA ¹⁾	NA ¹⁾
	147 日後	0	0	0	0
ムラサキマサリ	103 日後	40	1	28	20
	147 日後	27	3	25	11

1) 欠測のためNA (該当無し) とした.

考えられる。一方、線虫密度は「コガネセンガン」でも栽培後に大きく上昇し、挿苗後147日時点では「高系14号」と同等であったことから、後作では「高系14号」と同程度の線虫対策が必要になると考えられる。

本試験では、供試したほとんどの品種および栽培日数で、LD区に対しHD区で塊根数が減少する傾向が認められた。塊根数が減少する傾向は2.2での結果と一致し、抵抗性にかかわらず線虫密度が高い条件では塊根数は減少することが示唆された。一方で、LD区に対しHD区で塊根が短く・太くなる傾向が認められた。塊根数が減少し、塊根長も短くなったため、個々の塊根については補償的に肥大が促進された可能性が考えられる。

2.3.4 圃場での線虫害発生と線虫密度抑制効果の品種間比較 (2)

これまで論じてきた品種以外にも、日本では多くの線虫抵抗性サツマイモ品種が育成されてきている。ここでは新しく育成された抵抗性品種数品種を対象に、塊根の線虫害発生程度および線虫密度低減効果について検討した。

材料および方法

2010年に「コガネセンガン」を全面で栽培した圃場（第4章の試験に供試した圃場）を用いて、2011年に試験を実施した。2010年の「コガネセンガン」栽培後はほぼ圃場全面で線虫密度が上昇し、2011年3月17日のベルマン法による線虫密度は、深さ10～15 cmで 59 ± 30 （平均値±標準偏差、頭数/20 g土壌、 $n=18$ ）であった。抵抗性品種4品種「ダイチノユメ」、「こなみずき」、「ムラサキマサリ」、および「タマアカネ」を供試し、対照の感受性品種として「コガネセンガン」を供試した。「コガネセンガン」については、サツマイモ栽培前の3月14日にD-D剤（1, 3-ジクロロプロペン 97%）による処理を慣行に準じ実施した後に栽培する区も設けた。以上6処理区を3反復で圃場内に配置した。挿苗は5月17日（「こなみずき」の1反復のみ5月26日）、収穫は10月31日（挿苗後167日）とし、栽植様式は本試験に限り畦間90 cm、株間40 cmとした。各試験区は4 m×6.3 m（7畦）とし、2.4 m×2畦を調査に供した。栽培翌年の2012年3月12日および13日に栽培翌春の線虫密度をベルマン法により調査した。なお、この時に限り採土には直径5.5 cmの円筒状の

採土管を用い、深さ10～15 cmから実施した。

結果および考察

各区における線虫害および根こぶ指数から、「コガネセンガン」では塊根の線虫害が発生したが、殺線虫剤処理は線虫害を抑制したことが示された（図2-5）。一方、「ムラサキマサリ」、「ダイチノユメ」、「こなみずき」、および「タマアカネ」では、塊根収量には品種間差が認められたが、線虫害はほとんど発生しなかった。根こぶ指数は、「コガネセンガン」では殺線虫剤処理の有無にかかわらず高く、他の4品種では低かった。

栽培翌春の線虫密度は、「コガネセンガン」の栽培後では殺線虫剤処理の有無にかかわらず高く、「ムラサキマサリ」でも「コガネセンガン」と同様に高かったが、「ダイチノユメ」、「こなみずき」、および「タマアカネ」栽培後では減少した（表2-11）。以上から、本圃場のような線虫に高密度に汚染された圃場条件では、「コガネセンガン」では殺線虫剤処理翌年でも密度が高いため、殺線虫剤処理は毎年必要であると考えられるが、「ダイチノユメ」、「こなみずき」、および「タマアカネ」では塊根の線虫害が発生せず、栽培後に線虫密度も減少することが明らかとなった。

2.4 結論

(1) サツマイモ品種の線虫抵抗性について

2.2および2.3での試験結果より、サツマイモでは、①線虫抵抗性品種間で線虫の増殖特性は異なること、また、②感受性品種間で塊根の線虫害の発生程度は異なることが確認された（表2-12）。作物の線虫抵抗性を考える上で、線虫の増殖と植物の被害は現象としては独立したものであり（西澤 1973）、ワタ（*Gossypium hirsutum* L.）においても線虫の増殖率と減収率の相関が低い事例が報告されている（Davis and May 2003）。サツマイモでもこの両者にはある程度関係はあるが、必ずしも一致しないことが示された。このことについては佐野ら（2002）およびTateishi（2003）も言及している。

2.2の試験結果から、線虫の増殖特性が異なる高度抵抗性品種と中程度抵抗性品種を1年おきに栽培する交互作体系では、サツマイモおよび秋季に栽培したダイコンの線虫害

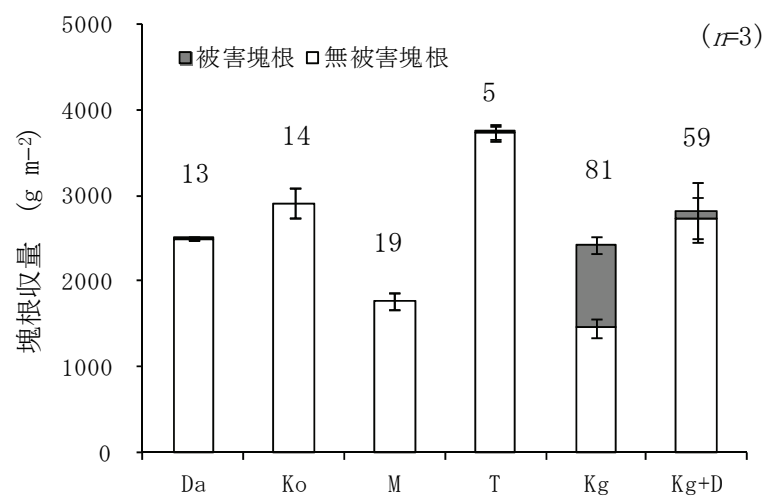


図2-5 サツマイモ品種による収量，線虫害および根こぶ指数の違い
 品種・処理はDa: ダイチノユメ，Ko: こなみずき，M: ムラサキマサリ，T: タマアカネ，Kg: コガネセンガン，Kg+D: コガネセンガン+殺線虫剤（D-D剤）処理とした．エラーバーは標準誤差，棒上の数字は根こぶ指数（0～100）を示す．

表2-11 サツマイモ栽培翌春の線虫密度

品種	線虫密度 (頭数/20 g 土壌)
コガネセンガン	29±12
コガネセンガン+殺線虫剤処理	20±11
ムラサキマサリ	32± 9
ダイチノユメ	0
こなみずき	0
タマアカネ	2± 1
平均値±標準偏差	

表2-12 本研究の試験結果からのサツマイモ線虫抵抗性品種のグループ化

品種	抵抗性	線虫増殖	塊根被害
高系14号	無 (感受性)	増殖	大
コガネセンガン	無 (感受性)	増殖	中
ムラサキマサリ，九州139号	有 (中程度抵抗性)	やや増殖～ やや抑制	ほとんど無
ジェイレッド，タマオトメ， ダイチノユメ，こなみずき， タマアカネ	有 (高度抵抗性)	抑制	ほとんど無

を軽減でき、線虫密度を低く保つことが可能であることが示された。この交互作体系には高度抵抗性品種の連作と比較して二つのメリットがあると考えられる。一つは、抵抗性品種の個々の需要が必ずしも多くない現状で、様々な抵抗性レベルを持った多様な品種を導入できることは農家の経営上取り組みやすいことである。もう一つは、抵抗性打破個体群の発達を防ぐことができることである。サツマイモ線虫抵抗性品種の連作は抵抗性打破個体群の増加を引き起こすと考えられ（西澤 1974）、実際に福永・岩堀（2002）は、線虫抵抗性サツマイモ品種を輪作に導入した際、線虫抵抗性品種「シロユタカ」の連作3、4年目には線虫密度が増加したことを報告し、抵抗性を打破する線虫個体群が発生した可能性を指摘している。

2.3.2および2.3.3の試験結果からは、線虫害の発生程度は「コガネセンガン」に比べ「高系14号」で高いことが確認された。線虫害の発生程度には品種間差が存在する（百田ら 1988）が、品種間で塊根の形状や肥大特性にはそもそも差がある（佐々木ら 2004）ため、塊根が障害を受けたときの症状も当然異なると考えられる。上田ら（1987）も同様に塊根の被害程度と収穫時の線虫密度または根こぶの着生程度は一致せず、抵抗性反応は品種により異なることを報告しており、原因として塊根自体の抵抗性の差異に加えて、表皮の強弱や肥大の時期および速さ等の塊根形成要因が複雑に関与していることを示唆している。

さらに、サツマイモでは、用途により求められる外観品質の水準が異なる。「高系14号」のような青果用サツマイモでは、線虫は少発生の場合でも塊根にひび割れや裂開を生じて品質を著しく損ねるため重大な障害であり、農家は完璧な防除を求めているとされる（上田 1995）。これは外観品質の向上に伴い、価格が大きく上昇するためである。一方、「コガネセンガン」のような焼酎原料用サツマイモでは、加工時に塊根の腐敗した部位のトリミングが必要であり（鮫島 1992）、外観の悪化は加工上の歩留まりを低下させ労力の増加を招く。しかしながら、ある一定程度以上の外観であれば、直接価格に反映するわけではない。

このように、「高系14号」の栽培では線虫害が発生しやすい上に、青果用に栽培されるため完璧な防除が求められる。一方、「コガネセンガン」の栽培では線虫害が比較的発生

しにくく、さらに焼酎原料用に栽培されるため、軽微な被害は許容できる。このため、殺線虫剤処理に比べれば防除効果が劣ることの多い耕種的防除法を活用しやすいと考えられる。そこで、第3章以降では「コガネセンガン」を対象として線虫害軽減法を検討することとした。

(2) 夏季サツマイモー秋季ダイコン体系への高度線虫抵抗性品種の導入

2.2の試験結果から、夏季サツマイモー秋季ダイコン体系に高度抵抗性サツマイモ品種を導入すると、サツマイモ栽培後の線虫密度が抑制され、ダイコンの線虫害も軽減されることが明らかとなった。高度抵抗性サツマイモ品種の導入は、当作で被害が発生せず、次作のダイコン前の線虫密度が抑制されて被害が軽減され、さらに次々作のサツマイモ栽培前の線虫密度も抑制されて被害が軽減されるので、複数の作物に効果を及ぼすという点で合理的な技術と言える。線虫密度が高い条件で感受性品種を栽培する場合には栽培前の殺線虫剤処理が必須であるが、栽培後には密度が上昇するので、次作のダイコン、次々作のサツマイモ栽培と、毎作の殺線虫剤処理が必要となる。

ただし、現状では線虫抵抗性品種のほとんどは原料用・加工用の品種であり、本試験で供した線虫抵抗性品種も「九州139号」を除き、すべて原料用・加工用である。原料用・加工用品種の栽培では収量が重視されるため、長期栽培あるいは遅掘り栽培の場合も多く、秋季の後作に露地野菜を導入できる場面は限られる。この問題を解決するためには、早掘り栽培が多い青果用品種における同様の体系の開発が望まれる。現時点では、青果用の線虫抵抗性品種は少なく、体系への導入を試みた例も限られている（千吉良ら2012）ので、青果用線虫抵抗性品種のさらなる育成が求められる。また、今後は技術の適応範囲を広げるため、対象とする露地野菜の種類および作型について、事例を積み重ねることが必要である。

第3章 サツマイモの栽培環境が線虫密度および線虫害に及ぼす影響

3.1 緒言

作物はその用途，収穫時期および栽培する農家の状況等に応じ，様々な作期および方法で栽培されている．これらの作期や栽培方法の違いは，作物が生育し，線虫が生息する環境条件に影響を及ぼし，線虫害の発生および線虫の密度動態に影響を及ぼす．特に，作期，地温，および土壌水分は，線虫害の発生および線虫の密度動態に影響する（Roberts *et al.* 1981, Johnson and Motsinger 1991, 玉田・赤坂 1991, Wheeler *et al.* 1991, 浦上ら 2005）．従って，栽培環境が線虫害の発生および線虫の密度動態に及ぼす影響について解明することは，耕種的防除法の基礎になると考えられる．

焼酎原料用として栽培される線虫感受性サツマイモ品種「コガネセンガン」の栽培では，作期の違いに対応したマルチ資材を用いた，複数の作型が成立している．これら作型の違いによる地温等の違いは，線虫害の発生に影響を及ぼすと考えられるが，これまで報告はない．また，サツマイモと露地野菜の二毛作では，前後作となる露地野菜栽培がサツマイモの線虫害や線虫密度にも影響する可能性があるが，この点についても報告はない．

さらに，サツマイモとダイコンの組みあわせでは，ダイコン栽培後にサツマイモを連続して同一畦で栽培する「畦連続利用体系」の採用が可能である．この体系ではサツマイモ栽培前の畦内の土壌の移動および地温条件が慣行と異なるので，サツマイモの線虫害や線虫密度の状況も慣行と異なる可能性がある．

そこで本章では，サツマイモの栽培環境が線虫害および線虫密度に及ぼす影響について検討した．

3.2 作型，マルチの種類，および前作ダイコンが線虫密度およびサツマイモの線虫害に及ぼす影響

焼酎原料用として栽培される「コガネセンガン」は南九州地域では4月から6月にかけて植え付けられ，多様な作期で栽培されている．さらに，作期の違いに対応したマルチ資材が用いられており，作型は，3月下旬から4月に植え付けて8月中旬から10月にかけて

収穫する透明マルチ栽培，4月下旬から5月に植え付けて10月から12月に収穫する黒マルチ栽培，5月から6月に植え付けて10月から12月に収穫する無マルチ栽培に分けられる（西原 2010）．

本試験では，これらの作型がサツマイモの線虫害に与える影響を検討し，作型により異なるサツマイモ栽培時のマルチの種類・有無の影響について検討を加えた．その上でサツマイモおよびダイコンの二毛作を想定し，ダイコンの栽培とその作期が，ダイコンおよび後作サツマイモの線虫害に及ぼす影響について検討した．

材料および方法

（1）線虫密度の調査

線虫密度の調査には，前述の植物検定法とベルマン法を用いた．植物検定法での調査は供試土壌あたり2または3反復（一部反復なしの場合があり表3-1に注記）で実施し，平均値を測定値とした．ベルマン法での調査は，供試土壌あたり2または3反復（一部反復なしの場合があり表3-1に注記）で実施し，平均値を測定値とした．

（2）試験1：サツマイモの作型が線虫密度および線虫害に及ぼす影響

サツマイモの以下の三つの作型，4月挿苗の透明ポリマルチ栽培（以下，4月透明マルチ），5月挿苗の黒ポリマルチ栽培（以下，5月黒マルチ），6月挿苗の無マルチ栽培（以下，6月無マルチ）の違いが線虫害に及ぼす影響を検討した．試験には，圃場A（2008年および2009年），B（2009年），C（2008年），およびD（2010年，6月無マルチ区は設定なし）のデータを用いた（表3-1）．各試験区は，圃場C以外は4.2 m×3.0 m（4畦）とし，各調査には中央部の2.4 m×1.5 m（以下，調査区）を供した．圃場Cでは，試験区および調査区をそれぞれ2.25 m×3.75 m（5畦）および0.9 m×2.25 mとした．

試験期間中の線虫密度の推移は，2009年に圃場AおよびBで検討した．サツマイモは各作型とも2回の時期に分けて栽培し（表3-1），さらにサツマイモを栽培しない対照区として，放任管理した放任管理区および各区の畦立て作業と同一日にロータリ耕を実施した耕耘管理区を加え，以上の計8区を反復なしでランダムに配置した．各区挿苗日前後2

表3-1 圃場およびサツマイモ作型の詳細

圃場名	サツマイモ 栽培年 (圃場面積)	試験 前作	試験前線虫密度 (深さ10～15 cm)			試験 3 ⁶⁾	サツマイモ 作型・試験	挿苗日	収穫日	栽培日数	
			植物検定法 (0～4)								
			最小値	最大値	ベルマン法 (線虫数± 標準偏差 ²⁾)						
圃場A	2008年 (435 m ²)	ソバ	2.0	3.0	5.0±2.8 ³⁾	○	4月透明マルチ	4/16	9/22	159	
							5月黒マルチ	5/14	10/20	159	
							6月無マルチ	6/13	11/10	150	
	2009年 (180 m ²)	サツマ イモ	2.0	3.5	3.5±2.0 ⁴⁾ (<i>n</i> =8, 3月5日採土)	4月透明マルチ	4/13	9/14	154		
							4/27	10/8	164		
						5月黒マルチ	5/11	10/19	161		
圃場B	2009年 (241 m ²)	サツマ イモ					6月 無マルチ	6/5	11/10	158	
							6/19	11/16	150		
	圃場C	2008年 (528 m ² , 1 ¹⁾)	サツマ イモ	3.5	4.0	56.2±28.7 ⁴⁾ (<i>n</i> =8, 3月5日採土)	圃場Aの2009年 と同様	4月透明マルチ	4/18	9/25	160
								5月黒マルチ	5/14	10/22	161
							6月無マルチ	6/13	11/11	151	
圃場D	2010年 (485 m ²)	ソバ	3.0 ³⁾	4.0 ³⁾	10.3±9.5 (<i>n</i> =24, 前年8月27日採土)	○	4月透明マルチ	4/9	9/8	152	
							5月黒マルチ	5/10	10/12	153	
							試験2	5/13	10/14	154	

1) 圃場内一部試験区のデータのみを用いた. 2) 20 g 土壌あたりで示した. 3) 検定または線虫計数の一部で反復なし. 4) 線虫計数の反復なし. 5) 調査を実施せず. 6) ○ではサツマイモ栽培前年からダイコンを栽培し, 前作ダイコンの影響を試験3で検討 (試験前作はダイコンの前作を示す).

日以内に挿苗した区の畦内から、および放任管理区と耕耘管理区では深さ10～15 cmから採土を行い、植物検定法により線虫密度を調査した。

各作型の挿苗30日後までの畦内の地温は、圃場Bの隣接地に畦のみを立てサツマイモの地上部がない条件で調査し、4月透明マルチでは4月20日、5月黒マルチでは5月20日、6月無マルチでは6月20日を基準日として、畦頂部から深さ10cmのところにボタン型の温度計（SEC-CD16TB、三洋電機株式会社）を埋設し、各基準日から30日間測定したデータを用いた。

サツマイモの線虫害については、計5圃場・栽培年のサツマイモの無被害塊根率（無被害塊根重/全塊根重×100（%））を各作型で比較した。圃場A（2009年）およびBでは、各作型2回の時期の平均値を比較に供した。圃場A（2008年）、C、およびDでは試験区がそれぞれ4、2、および4反復であったが、これらの反復はいずれも作型に関しては無作為化されていないため、圃場の平均値を比較に供した。

(3) 試験2：マルチの種類がサツマイモの線虫害に及ぼす影響

試験は2010年に圃場Dの一部で実施した。試験区は2.1 m（7株相当）×4.5 m（6畦）とし、両側1畦を除いた4畦に、畦をポリマルチ3種（透明マルチ、黒マルチ、および白黒ダブルマルチ（表面が白色で裏面が黒色））で被覆した区（以下、それぞれ透明、黒、および白黒）、および畦を被覆しない無マルチ区（以下、無マルチ）、計4処理区を畦ごとにランダムに配置した。この試験区を、線虫汚染区および殺線虫剤処理を実施した対照区（各20.0 m×4.5 m）内にそれぞれ配置した。対照区では3月17日にD-D剤（1，3-ジクロロプロペン 97%）による殺線虫剤処理を慣行に準じ実施した。

なお、圃場Dの本試験に供した部分では、本試験の前に後述の試験3が実施されていた。試験3では、この部分にある二つのブロックで、ダイコンが作期を変えた3処理区（早播区、中播区、および晩播区）で栽培されており、加えて休閑区も設置されていた。そこで前歴の影響を考慮し、本試験では各ブロック跡を線虫汚染区と対照区とし、試験区はダイコン栽培跡（早播区、中播区、および晩播区）にのみ配置し、各栽培跡に2反復ずつ、計6反復で配置した。ただし、試験3で後述する通りダイコン栽培跡の線虫密度について

は、植物検定法およびベルマン法のいずれにおいても各栽培跡で同等であった。

サツマイモは5月13日に挿苗し、挿苗154日後の10月14日に収穫した（表3-1）。サツマイモの調査には、試験区の中央1.5 m（5株相当）から対象株または隣接株が欠株の株を除き、処理あたり計28～30株を供した。挿苗53日後の7月6日には各株最長茎の長さを測定した。生育初期の地温については、対照区の調査対象株のある位置で、畦頂部から深さ10 cmのところにボタン型の温度計（SEC-CD18TB, 三洋電機株式会社）を埋設し、挿苗翌日以降の地温を調査した。

植物検定法による線虫密度およびサツマイモの根こぶ程度ではSteel-Dwassの方法、ベルマン法による線虫密度、最長茎長、地上部重、塊根重、無被害塊根重、無被害塊根率、塊根数、および無被害塊根数ではTukey-Kramerの方法により、処理区間で平均値を比較した。

(4) 試験3：ダイコン栽培の有無・作期が線虫密度、ダイコンの線虫害、および後作サツマイモの線虫害に及ぼす影響

試験は圃場A（2007年～2008年）および圃場D（2009年～2010年）の2回に分け実施した。サツマイモの作型および前作ダイコンの有無・作期は分割法により割り付けた。各圃場を2ブロックに分け、サツマイモの作型3水準（4月透明マルチ、5月黒マルチ、および6月無マルチ）を主試験区としてブロック内に割り付けた。前作のダイコン品種は「耐病総太り」を供試し、作期3水準（早播区、中播区、および晩播区）と休閑区の合計4水準を、副試験区として主試験区内に割り付けた。副試験区については各圃場6反復で試験を実施した、ただし引き続きサツマイモ栽培については、いずれの圃場とも1ブロックのみで試験を実施した。各区は4.2 m×3 mとした。

圃場Aでは早播区で2007年8月24日、中播区で9月20日、晩播区で10月19日にダイコンを播種し、早播区で10月22日、中播区で11月29日、晩播区で2008年3月4日に収穫した。圃場Dでは早播区で2009年9月1日、中播区で9月25日、晩播区で10月14日にダイコンを播種し、早播区で10月28日、中播区で12月1日、晩播区で2010年1月12日に収穫した。ダイコンの施肥は全量基肥として、窒素15 g m⁻²、リン酸15 g m⁻²、およびカリ15 g m⁻²を施し、

株間30 cm，条間50 cmで栽培した．生育期間中は適宜害虫および雑草の防除を実施した．
休閑区および各区の栽培前後には，手押し式の耕耘機で除草を行った．

ダイコン収穫時に，圃場Aでは各処理区から中央4条，10株中で隣接株が欠株の株を除き全株を，圃場Dでは各処理区から中央4条，8株中で隣接株が欠株の株は除きランダムに20株を調査に供した．根部の生重を測定するとともに，圃場Dでは線虫の関与が大きい岐根の発生を調査した．根部を0～2の3段階の被害程度（0：無，1：わずかに被害はあるが商品化可能なもの，2：被害甚で商品化不可能なもの）で達観により判定し，0～100に換算した被害度（被害度＝調査区の被害程度の平均値/2×100）により評価した．また，圃場Dでは各処理区から別途4株を根部にできるだけ細根を残して収穫し，2.2と同様の方法で細根の根こぶ指数を評価した．さらに，根に着生した卵のうを伊藤（2004）に準じて被害根ごとフロキシシンB水溶液（150 mg L⁻¹）で処理し，染色された卵のう数を肉眼で計数した．

ダイコン栽培後の線虫密度は，深さ10～15 cmおよび30～35 cmを対象に，圃場Aでは3月31日にサツマイモ栽培に供したブロックからのみ，圃場Dでは1月26日に2ブロック双方から採土を行い，植物検定法およびベルマン法（圃場Dのみ）により調査した．これらのブロックでは引き続き表3-1の通りサツマイモを挿苗および収穫し，収穫時の調査を実施した．圃場Dでは6月無マルチについては試験を実施せず，当該区の圃場は試験2に供した．

ダイコンの根こぶ指数および被害度ではSteel-Dwassの方法，根部重および卵のう数ではTukey-Kramerの方法により平均値を比較した．植物検定法による線虫密度ではSteel-Dwassの方法，ベルマン法による線虫密度ではTukey-Kramerの方法により平均値を比較した．

（5）統計解析

Tukey-Kramerの方法による検定は「SAS 9.2」を用いて，Steel-Dwassの方法による検定は統計解析ソフト「R version 2.12.1」（The R Foundation for Statistical Computing）を用いて実施した．

結 果

(1) 試験1：サツマイモの作型が線虫密度および線虫害に及ぼす影響

2009年の圃場AおよびBにおける，植物検定法による線虫密度の各挿苗時期における増減については，圃場AおよびBの畦内，放任管理および耕耘管理のいずれにおいても，密度は挿苗時期が遅くなるに従い減少する傾向を示した（図3-1）．ただし，6月19日挿苗時点でも線虫は残存していた．

基準日から30日間の無挿苗畦の畦内地温の推移については，日平均地温では作型間の高低は日によって異なったが，日最高地温は4月透明マルチおよび5月黒マルチで6月無マルチよりも高い傾向を示し，日最高地温の30日間の平均値は，4月透明マルチで36℃，5月黒マルチで32℃となり，6月無マルチでの27℃に対し高かった（図3-2）．

計5圃場・栽培年における，作型がサツマイモの無被害塊根率に及ぼす影響については，圃場・栽培年の間で無被害塊根率は異なるが，遅い時期の作型で無被害塊根率が高い傾向が認められた（図3-3）．4月透明マルチでは5圃場・栽培年のうち三つで線虫害が激発し，無被害塊根率が50%未満となった．一方，6月無マルチでの無被害塊根率は，4圃場・栽培年のうち最も低い値でも89%であった．

(2) 試験2：マルチの種類がサツマイモの線虫害に及ぼす影響

畦内におけるサツマイモ生育初期の日最高地温および日平均地温の推移については，挿苗後日数を横軸にとると，挿苗後の日最高地温および日平均地温には日間変動があったが，約30日目までの同一日では透明で最も高く，次いで黒，白黒，の順となり，無マルチでは白黒と同等か最も低かった（図3-4）．なお，挿苗後約30日以降では，マルチの種類・有無による影響はほとんどみられなかった．挿苗後約30日目までの最高値は，日最高地温では透明で36℃，黒で34℃に，日平均地温では透明で28℃，黒で27℃に達した．

マルチの種類・有無はサツマイモの地上部生育，塊根重，および線虫害に影響した（表3-2）．線虫汚染区では生育中の最長茎長は透明および黒で長く，次いで白黒となり，無マルチで短かった．収穫時の地上部重も同様の傾向であった．根こぶ程度は透明および黒で高く，次いで無マルチとなり，白黒で低かった．塊根重は透明，黒および白黒で同

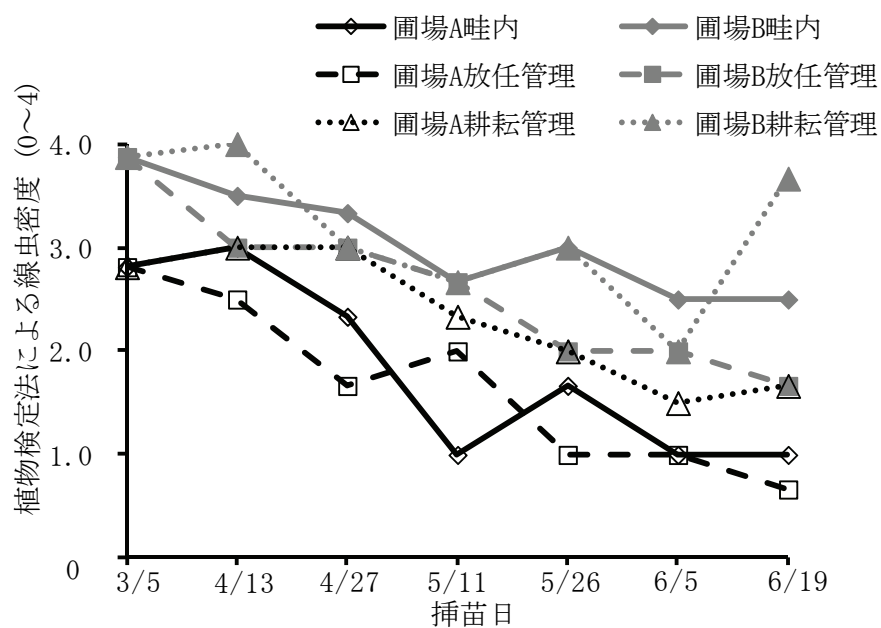


図3-1 各挿苗時期における植物検定法による線虫密度の増減
調査は2009年に実施した。土壌は挿苗前の3月5日、および挿苗日から各区前後2日以内に採取し、植物検定法により線虫密度を求めた。3月5日の値は各圃場の平均値 (表3-1参照)。

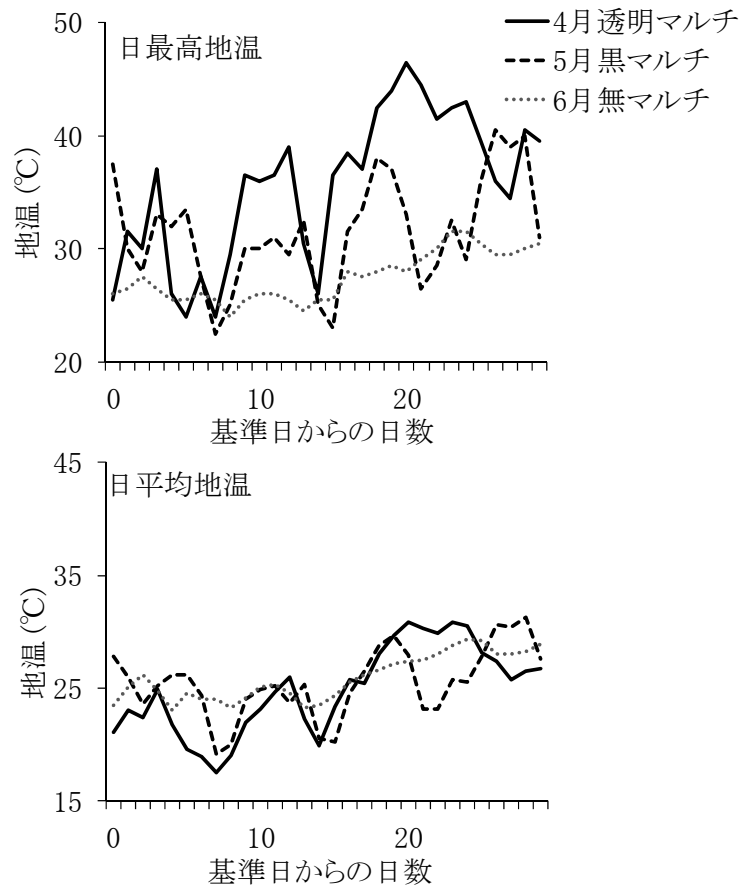


図3-2 作型が日最高地温（上図）および日平均地温（下図）に及ぼす影響（2009年）
 サツマイモ地上部の被覆がない条件での、畦頂上から深さ10 cmの地点での値を示す。基準日は4月透明マルチが4月20日、5月黒マルチが5月20日、6月無マルチが6月20日である。

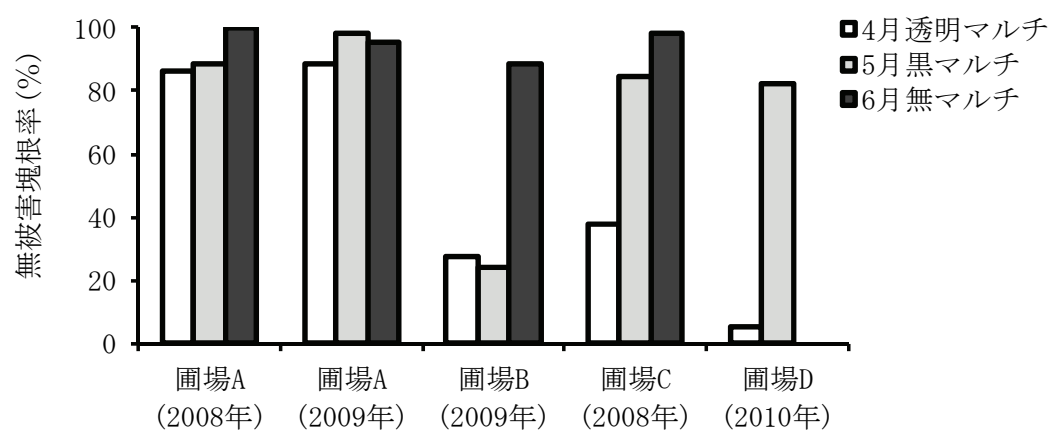


図3-3 作型がサツマイモの無被害塊根率に及ぼす影響

圃場A (2009年) およびB (2009年) は各圃場2反復の平均値を示す。圃場A (2008年), C (2008年), およびD (2010年) はそれぞれ4, 2, および4反復の平均値 (ただし作型に対して無作為化されていない) を示す。圃場Dの6月無マルチは設定なし。

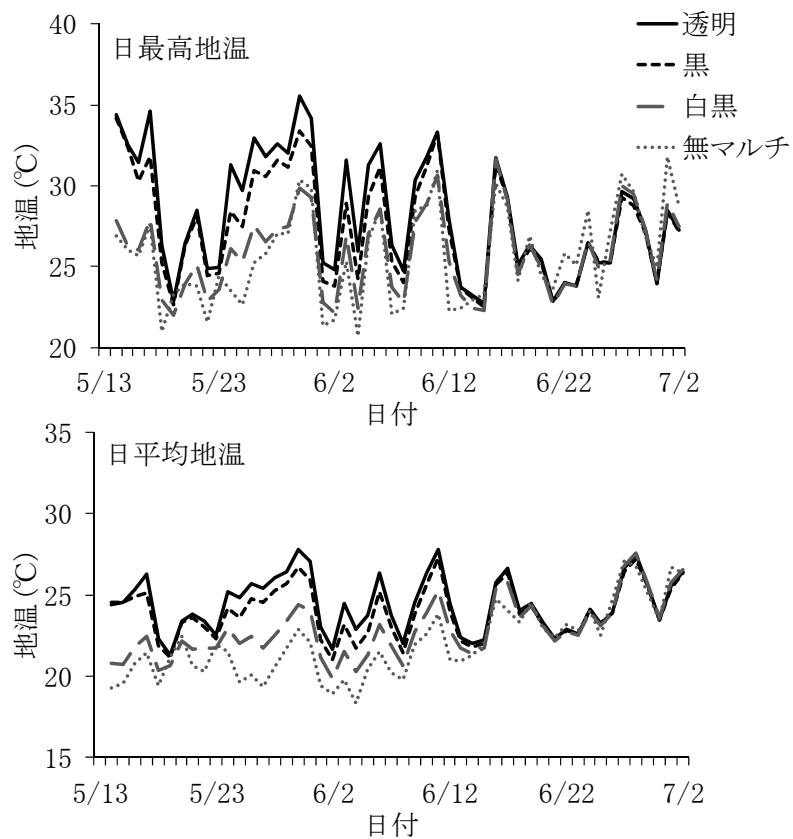


図3-4 マルチの種類・有無がサツマイモ生育初期の日最高地温（上図）および日平均地温（下図）に及ぼす影響(2010年)
 畦頂上から深さ10 cmの地点での、株元と株間の平均値を示す。

表3-2 マルチの種類・有無がサツマイモの地上部生育、塊根重、および線虫害に及ぼす影響

区	マルチ の種類 ・有無	生育中				収穫時			
		最長茎長 (cm)	地上部重 (g plant ⁻¹)	根こぶ 程度 (0~4)	塊根重 (g plant ⁻¹)	無被害 塊根重 (g plant ⁻¹)	無被害 塊根率 (%)	塊根数 (No. plant ⁻¹)	無被害 塊根数 (No. plant ⁻¹)
線虫 汚染区	透明	76 a	249 a	3.8 a	760 a	271 b	36 c	2.9 ab	1.2 b
	黒	70 a	247 a	3.8 a	771 a	442 ab	57 bc	3.0 ab	1.7 b
	白黒	52 b	183 b	2.8 c	632 a	539 a	85 a	3.1 a	2.8 a
	無マルチ	24 c	92 c	3.2 b	342 b	262 b	77 ab	2.2 b	1.8 b
対照区	透明	107 a	410 a	1.7 a	968 a	965 a	100 a	3.3 a	3.2 a
	黒	94 b	399 a	1.7 a	892 a	892 a	100 a	2.9 ab	2.9 ab
	白黒	70 c	351 a	1.5 a	995 a	985 a	99 a	3.5 a	3.4 a
	無マルチ	40 d	173 b	1.5 a	477 b	454 b	95 a	2.5 b	2.4 b

試験は圃場Dで2010年に実施した。生育中の最長茎長は挿苗53日後に調査した。表中の縦軸方向の同英小文字間には、線虫汚染区、対照区それぞれ区内で比較して5%水準で有意差がない（根こぶ程度はSteel-Dwass検定、その他はTukey-Kramer検定による）。

等であり、無マルチで低かった。無被害塊根重は白黒で高く、透明および無マルチで低くなり、黒では中間の値を示した。塊根数は白黒で多く、無マルチで少なくなり、透明と黒ではその中間の値を示した。無被害塊根数は白黒で透明、黒および無マルチに対し多かった。

これに対し、対照区では生育中の最長茎長は透明で最も長く、黒、白黒の順となり、無マルチで最も短かった。地上部重は透明、黒、および白黒では同等であり、無マルチで低かった。根こぶ程度は線虫汚染区と比べいずれの処理でも低く、処理間では同等であった。線虫害はほとんど発生せず、塊根重と無被害塊根重はほぼ同等であり、塊根数と無被害塊根数もほぼ同等であった。塊根重および無被害塊根重は、透明、黒、および白黒では同等であり、無マルチで低かった。塊根数および無被害塊根数は透明および白黒で多く、無マルチで少なくなり、黒ではそれらの中間の値を示した。

(3) 試験3：ダイコン栽培の有無・作期が線虫密度、ダイコンの線虫害および後作サツマイモの線虫害に及ぼす影響

作期はダイコンの根部重および線虫害に影響した（表3-3）。根部重は圃場Aでは中播区で早播区および晩播区に比べ高かった。圃場Dでは中播区で早播区に比べ高く、晩播区ではその中間の値を示した。圃場Aでは線虫以外の病虫害が多く発生し、欠株や根部表面が損傷した株が多く調査が困難であったため、線虫害については圃場Dの結果のみを示した。根こぶ指数は、早播区および中播区で、晩播区に比べ高かった。卵のう数は早播区で中播区および晩播区に比べ高く、特に晩播区では卵のうはほとんど確認できず、植物体あたりの平均値は0であった。被害度は統計的に有意ではないものの、早播区で最も高く、中播区、晩播区の順となり、根こぶ指数および卵のう数と同様の傾向を示した。

ダイコン栽培の有無・作期がダイコン栽培後の線虫密度に及ぼす影響については、圃場Aの植物検定法、圃場Dの植物検定法およびベルマン法のいずれの土壌深度（10～15 cm, 30～35 cm）の結果においても区間に有意差はなく、ダイコン栽培の有無・作期は線虫密度に影響を及ぼさなかった（表3-4）。

後作サツマイモにおける収量および線虫害については、ダイコン栽培の有無・作期と

表3-3 作期がダイコンの根部重および線虫害に及ぼす影響

ダイコン 作期	圃場 (試験年), 反復数				
	圃場A (2007～ 2008年), $n=6$	圃場D (2009～2010年), $n=6$			
	根部重 (g plant ⁻¹)	根部重 (g plant ⁻¹)	根こぶ指数 (0～100)	卵のう数 (No. plant ⁻¹)	被害度 (0～100)
早播区	533 b	522 b	82 a	17 a	52 a
中播区	902 a	673 a	68 a	6 b	38 a
晩播区	476 b	609 ab	20 b	0 b	33 a

表中の縦軸方向の同英小文字間には5%水準で有意差がない(根こぶ指数および被害度ではSteel-Dwass検定, 根部重および卵のう数ではTukey-Kramer検定による).

表3-4 ダイコン栽培の有無・作期がダイコン栽培後の線虫密度に及ぼす影響

圃場 (試験年), 反復数	ダイコン 有無・作期	深さ10-15 cm				深さ30-35 cm			
		植物検定法 (0~4)		ベルマン法 (線虫数 ¹⁾)		植物検定法 (0~4)		ベルマン法 (線虫数 ¹⁾)	
		平均値	最大値	最小値		平均値	最大値	最小値	
圃場A (2007~ 2008年), n=3	早播区	1.5 a	2.0	1.0	NA	2.8 a	3.0	2.5	NA
	中播区	1.2 a	1.5	1.0	NA	1.8 a	2.0	1.5	NA
	晩播区	1.3 a	2.0	1.0	NA	2.2 a	2.5	2.0	NA
	休閑区	1.2 a	1.5	1.0	NA	2.3 a	3.0	2.0	NA
圃場D (2009~ 2010年), n=6	早播区	1.8 a	2.0	1.5	1 a	3.6 a	4.0	2.5	15 a
	中播区	1.8 a	2.0	1.0	0 a	3.7 a	4.0	3.0	12 a
	晩播区	1.6 a	2.0	1.0	0 a	3.8 a	4.0	3.5	13 a
	休閑区	2.0 a	2.0	2.0	1 a	3.8 a	4.0	3.0	14 a

圃場Aでは2008年3月31日に、圃場Dでは2010年1月26日に採土を行った。ベルマン法による調査は圃場Aでは実施せず。表中の縦軸方向の同英小文字間には圃場内で比較して5%水準で有意差がない（植物検定法ではSteel-Dwass検定、ベルマン法ではTukey-Kramer検定による）。

1) 20 g土壌あたりで示した。

の関係は明瞭ではなく、圃場やサツマイモの作型間で異なった（表3-5）。圃場Aの6月無マルチでは収量が低かったものの、線虫害がほとんど発生しなかった。圃場Dでは4月透明マルチ区で線虫害が激発し、無被害塊根収量がきわめて低かった。

考 察

(1) 試験1：サツマイモの作型が線虫密度および線虫害に及ぼす影響

サツマイモネコブセンチュウ密度は、九州中部平地では春季に徐々に低下することが知られている（皆川 1978）。一方で、佐野（1990）は越冬した線虫の多くが5月下旬まで生存することを明らかにしている。本試験でも線虫密度は時期が遅くなるにつれて低下するが、6月においても一定数の線虫は残存しており（図3-1）、これらの報告における結果と一致している。

無被害塊根率は遅い時期の作型で高い傾向があり、ここで解析した圃場・栽培年の範囲では、6月無マルチではほとんど線虫害が発生しなかった（図3-3）。線虫密度と線虫害の傾向が一致していたことから、線虫密度は挿苗時期が遅くなるに伴い低下し、線虫害発生程度も低下すると考えられる。

一方で、無挿苗畦の畦内地温から地上部が繁茂する前の生育初期の畦内地温について考察すると、日最高地温は4月透明マルチおよび5月黒マルチで高く、6月無マルチで低くなり、線虫害の結果と一致していた（図3-2）。サツマイモを栽培した畦では挿苗穴があること、また部分的にはあるが地上部が被覆していることから、無挿苗畦の畦内地温は挿苗畦よりもやや高く推移していると考えられるが、大まかな傾向はほぼ同様と考えられる。次の試験2で考察するが、高地温状態は短時間でも線虫の作物への寄生、増殖を促進するので、本試験でも作型間の線虫密度の違いに加え、日最高地温の違いが、線虫害の違いに影響した可能性が考えられる。

(2) 試験2：マルチの種類がサツマイモの線虫害に及ぼす影響

サツマイモの生育初期では地上部がまだ繁茂していないため、マルチの種類・有無が直接地温に影響する。透明および黒は地温を上昇させるが、黒の効果は透明にやや劣り、

表3-5 ダイコン栽培の有無・作期が後作サツマイモの収量および線虫害に及ぼす影響

圃場 (試験年)	ダイコン 有無・ 作期	サツマイモ作型									
		4月透明マルチ				5月黒マルチ				6月無マルチ	
		塊根収量 (g m ⁻²)	無被害 塊根収量 (g m ⁻²)	無被害 塊根率 (%)	無被害 塊根収量 (g m ⁻²)	無被害 塊根収量 (g m ⁻²)	無被害 塊根収量 (g m ⁻²)	無被害 塊根率 (%)	無被害 塊根収量 (g m ⁻²)	無被害 塊根収量 (g m ⁻²)	無被害 塊根率 (%)
圃場A (2007～ 2008年)	早播区	3848	2726	71	4003	3431	2682	86	2682	2682	100
	中播区	3888	2900	75	3109	2682	2537	86	2537	2537	100
	晩播区	3942	3942	100	3528	3285	2593	93	2593	2593	100
	休閒区	3687	3671	100	4328	3889	2732	90	2732	2696	99
圃場D (2009～ 2010年)	早播区	3019	86	3	2995	2648		88			
	中播区	2714	181	7	2953	2133		72			
	晩播区	2702	130	5	3338	2398		72			
	休閒区	2897	222	8	3034	2945		97			

圃場Dでは6月無マルチ区は設置せず。

また白黒は透明および黒に比べ地温を抑制する（マルチ栽培研究会 1995）．本試験でもマルチの種類は地温に影響し，日最高地温は透明で最も高く，次いで黒，白黒の順となり，平均地温でも処理間の差は小さくなったものの同様の順であった（図3-4）．これらの傾向は過去のサツマイモ栽培での報告と同一であった（吉岡ら 1989，門脇ら 2009，蔵之内ら 2010）．なお，日最高地温は透明または黒では約35℃に達したが，これまでも透明では生育初期の晴天時にはかなりの地温上昇（地表下5 cmで約50℃）がみられることが示されている（内村ら 1968）．

本試験では，塊根重は透明，黒，白黒で同等であった（表3-2）．しかし，根こぶ程度は白黒で低く，白黒では線虫の寄生が抑制されたと考えられる．さらに，無被害塊根重，無被害塊根率，および無被害塊根数の結果から，白黒では線虫害の発生も抑制された．このことは地温が線虫の寄生や線虫害の発生に影響していることを示唆している．Fortnum *et al.* (1997) もトマト (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 栽培においてポリマルチの色と線虫害との関係を検討しており，白マルチでは黒マルチに比べ地温が低いこと，また線虫密度が高い条件では，前者では後者に比べ収量が高いことを報告している．

これまで地温は線虫の寄主への侵入に影響することが知られており，サツマイモ挿苗時に想定される地温の範囲では，高温ほど侵入が促進されと考えられる．日高・田中(1967) はサツマイモネコブセンチュウの寄主体への侵入は侵入数および侵入率ともに $28^{\circ}\text{C} > 22^{\circ}\text{C} > 10^{\circ}\text{C}$ であり，高温ほど短時間で起こると述べている．透明および黒では日平均地温が高く推移したことから線虫の侵入は促進されたと考えられる．さらに，線虫の寄主への侵入は短時間でおこることから，日最高地温が高いこれらの区では，その影響はさらに大きい可能性がある．実際に夜温を一定とし，昼温を変化させた場合，恒温区よりも昼間高温区で根こぶ指数が高いことが報告されている（Jatala and Russell 1972，岡本・三井 1977）．サツマイモネコブセンチュウはサツマイモ不定根の発生初期から侵入し塊根形成を阻害する（佐野 1994）が，塊根の被害の発生は侵入した線虫の寄生により，塊根の肥大が局所的に妨害されることにより引き起こされと考えられる（荒城 1982）ので，侵入数の増加は被害の増加につながると考えられる．

一方で、地温はサツマイモの生育に影響する。サツマイモの発根最適地温には品種間差があるが、「コガネセンガン」では30℃前後であり（中谷ら 1989）、地温がまだ低い早春では、ポリマルチによる地温上昇は活着を促進する。さらに、低地温条件では養分吸収が抑制され、生育初期の乾物生産も抑制される（津野・藤瀬 1964）。本試験でも生育中の最長茎長について無マルチを除いた三つの処理間で比較すると、線虫汚染区および対照区の双方で透明および黒に対し白黒で短く、低地温が地上部の初期生育を抑制したと考えられる。特に、線虫汚染区では収穫時の地上部重は透明および黒に対し白黒で低く、初期生育が抑制された影響が収穫時まで残ったと考えられる。ただし、塊根重に関しては、線虫汚染区および対照区の双方で三つの処理間で有意な差は認められなかったことから、いずれの処理でも塊根の肥大に必要なある程度の地上部生育は確保されていたと考えられる。なお、ポリマルチ栽培では地温の上昇に加えて養分の溶脱が防止され、また水分および通気性の面で良好な畦内の土壌環境も保たれることから、サツマイモの生育が促進され増収することが報告されている（市来ら 1973, 内村 1975, 上妻・江畑1981）。本試験の無マルチでも、地上部重および塊根重の双方が線虫汚染区および対照区の双方で低かった。特に本試験では追肥を実施していないため、基肥の溶脱が大きく影響した可能性が考えられる。さらに、都城市での2010年における6月から7月にかけての降水量は平年値の190%、日照時間は平年値の73%であり（注：気象庁 気象統計情報 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>）、多雨で日照時間が少なく、無マルチ栽培には不適な条件であったことも生育に影響したと考えられる。

本試験での結果は、ポリマルチによる地温上昇は線虫害の発生を促進することを示しているが、同様の例がサツマイモ立枯病でも知られ、猪野ら（1985）は、植付時期から生育初期にかけての高温および乾燥条件によりサツマイモの立ち枯れ症状は助長されるため、透明および黒マルチ栽培に比べ、白黒マルチ栽培で被害を軽減できることを報告している。このように、土壌病虫害の発生防止の面からは、サツマイモ栽培における過剰な地温上昇は望ましくないと考えられるので、作期を考慮しながら、初期生育に必要とする以上に地温を上昇させるマルチ資材の利用は避けること、さらに土壌病虫害が発生する危険性が高い作型では、特に適切な防除を実施することが重要と思われる。

(3) 試験3：ダイコン栽培の有無・作期が線虫密度，ダイコンの線虫害，および後作サツマイモの線虫害に及ぼす影響

試験開始前の線虫密度は，圃場A，圃場Dともに圃場全体で高く，線虫害が発生する条件であったと考えられ，ダイコンには実際に線虫害が発生した．線虫害の発生について解析できたデータは圃場Dのみであったが，ダイコンの作期はダイコンへの線虫寄生およびダイコンの線虫害に影響した（表3-3）．すなわち栽培時期が遅くなるほど根こぶ指数，卵のう数，および被害度は低下することが示され，特に卵のうがほとんど確認できなかった晩播区では産卵にほとんど至らず，増殖しないと考えられた．サツマイモネコブセンチュウの発育には，前述の通り温度が関与するが，その発育零点は12℃と報告されており（後藤ら 1973，佐野 1978），晩播区では線虫の1世代発育に必要な地温が確保されなかったと考えられる．

一方，いずれの土壌深度（10～15 cmおよび30～35 cm），密度調査方法（植物検定法およびベルマン法）でも，ダイコン栽培後の線虫密度にはダイコン栽培の有無・作期は影響を及ぼしていない（表3-4）．従って本試験での作期の範囲では，ダイコンの作期は卵のうの着生に影響するが，後作サツマイモ栽培前の線虫密度にはほとんど影響しないことが明らかとなった．この原因としては，生育初期に寄生した線虫は卵のうを形成し増殖した可能性があるものの，生育中期以降に寄生した線虫はダイコンの作期を考えると1世代発育に至らなかったこと，さらに作物の根圏から離れた部分の線虫はダイコンに寄生できず，土壌中に残存していることが考えられる．

実際に，ダイコン栽培の有無・作期は後作サツマイモの線虫害に影響を及ぼしていなかった（表3-5）．この結果は，区間でサツマイモ栽培前の線虫密度が同等であったことを反映していると言える．なお，圃場Dの4月透明マルチでは線虫害が激発し，無被害塊根収量はほぼ皆無であったが，この結果は，圃場Aに比べ圃場Dでは線虫密度が高かったことと，サツマイモの作型が線虫害の発生しやすい4月透明マルチであったことを反映していると考えられる．

3.3 畦連続利用体系が線虫密度およびサツマイモの線虫害に及ぼす影響

線虫は土壌下層深くまで分布していることが知られている。これは、土壌改良を目的とした有機物の土壌下層への施用やトレンチャーを用いたゴボウ等の長大根菜類の栽培等、土壌の下層深くまで土壌が攪乱される場合が多いこと、また、サツマイモおよびゴボウ等多くの根菜類では根域が地下深くまで広がっていることが原因と考えられる。(萩谷 1991)。サツマイモ栽培圃場においても深層に生息する線虫の密度は安定しており、汚染源として重要であることが示唆されている(中園ら 1986)。

一方で、労働費の削減と資源の有効利用は畑作における重要な課題である。このため労働費とマルチ資材の削減を目指し、梶本・江藤(1977)は圃場で複数作物を同一畦で時系列的に連続して栽培する体系、すなわち畦連続利用(Continuous Ridge Use, 以下、CRU)体系を用いて栽培することを試みている。近年、新美ら(2011)は冬季ダイコンと夏季サツマイモを組み合わせた二毛作体系において、CRU体系の採用により春季の作業競合を効果的に回避することができること、またCRU体系は作物が養分を有効に利用することができる点で有利であることを示した。

慣行体系とCRU体系では、栽培期間中の土壌の移動が大きく異なる。慣行体系では、ダイコン栽培のため立てられた畦は収穫後に次のサツマイモ栽培の準備のために壊され、土壌はロータリ耕と畦立て作業により攪乱される。これとは対照的に、CRU体系では畦内の土壌は移動せず、また前作ダイコンの根が畦内に残される。CRU体系は耕耘・畦立ての省略とダイコン栽培が加わる点で慣行体系と大きく異なるので、耕耘・畦立ておよびダイコン栽培の要因が線虫害や線虫密度に影響を及ぼしている可能性が考えられる。実際に予備試験では、サツマイモ単作に比べ、CRU体系ではサツマイモの線虫害が減少した。

そこで、CRU体系を含めて耕耘・畦立てがサツマイモの線虫害に及ぼす影響を検討し(試験1)、さらに耕耘・畦立ておよびダイコン栽培がサツマイモの線虫害と線虫密度に及ぼす影響を検討した(試験2)。

材料および方法

(1) 畦連続体系，ダイコン栽培，およびサツマイモ栽培

本試験ではダイコンとサツマイモのCRU体系で試験を行った（図3-5）。本試験ではダイコンとサツマイモを連続して栽培できる位置を確保するため，中高平高畦を用いた。この畦の断面は角張った半円筒状であり，畦表面はポリマルチ（試験1ではKOGマルチ，試験2ではKOBマルチ，いずれもみかど化工株式会社）で被覆した。頂部の高さは25 cm，肩部の高さは20 cm，肩部の幅は65 cm，下部の幅は80 cmであった。

作期については，12月から翌年3月または4月にかけてダイコンを栽培し，4月から9月または10月にかけてサツマイモを栽培した（表3-6）。ダイコンは「春風太」を供試し，畦の両肩部に2条で播種し，株間は試験1では25 cm，試験2では20 cmとした。冬季のダイコン栽培中は不織布による被覆を行った（表3-7）。収穫時に生重，線虫害，および細根への根こぶの着生を調査したが，本試験ではダイコンは順調に生育し，根こぶも着生しなかった（データ略）。ダイコン収穫後，サツマイモ「コガネセンガン」の苗を畦頂部に1条，株間30 cmで挿苗した（図3-5）。

ダイコンには基肥として窒素15 g m⁻²，リン酸15 g m⁻²，およびカリ15 g m⁻²を畦立て前に施した。サツマイモには基肥として，窒素5 g m⁻²，リン酸7 g m⁻²，およびカリ12 g m⁻²を後述の方法で施した。耕耘および畦立て作業は22～25 kWのトラクタを用い実施した。

(2) 線虫密度およびサツマイモ塊根の線虫害の調査

本試験では直径5.5 cmの円筒状の採土管を用い土壌を採取し，ベルマン法による線虫密度は体積あたりに換算して示した。植物検定法およびベルマン法ともに測定の反復数は2または3とした。

本試験に限り，サツマイモ塊根の線虫害は無被害塊根を前述の通り階級0および1の2階級に分け，被害塊根を階級2として，階級0～2の3階級に分けて解析を実施した。

(3) 試験1：耕耘・畦立てが線虫害に及ぼす影響

冬季ダイコンー夏季サツマイモ二毛作体系において，サツマイモ栽培前の耕耘・畦立

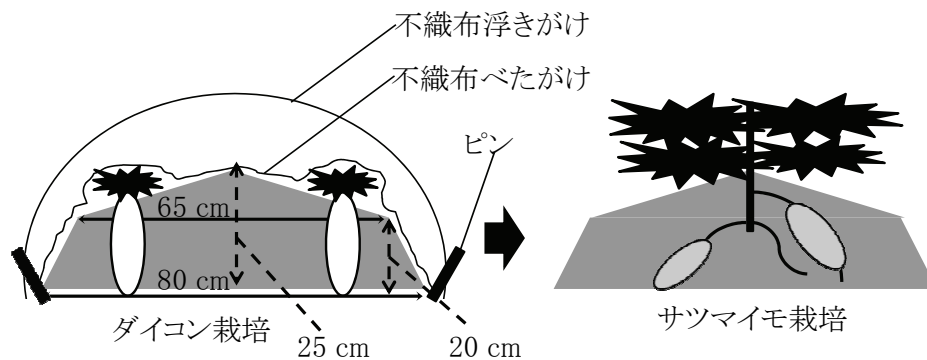


図3-5 ダイコンとサツマイモの畦連続利用体系

表3-6 ダイコンおよびサツマイモの作期

試験 (試験年)	ダイコン		サツマイモ	
	播種日	収穫日	挿苗日	収穫日
試験1 (2008～2009)	12月1日	3月23日	4月24日	10月8日
試験2 (2010～2011)	12月17日	4月11日	4月27日	9月27日

表3-7 ダイコン栽培時の不織布被覆

試験 (試験年)	べたがけまたは 浮きがけ ¹⁾	開始	終了
試験1 (2008～2009)	浮きがけ	12月16日	3月23日
	べたがけ ²⁾	12月2日	3月23日
試験2 (2010～2011)	浮きがけ	12月17日	4月11日
	べたがけ	12月17日	2月8日

1) 違いは図3-5参照.

2) ダイコンの生育を妨げないように2月2日に片側のピンを外した.

てに関する以下の3処理区，(1) 圃場を2回耕耘し畦立てする区 (TR+D)，(2) 圃場は耕耘せず畦のみ立て直す区 (R+D)，および (3) 畦連続体系により栽培する区 (C+D) を比較した (表3-8，+Dはダイコン栽培有りを示す)．また参考のため，TR+D区と同様の栽培管理をするがダイコン播種前にD-D剤 (1，3-ジクロロプロペン 97%) による殺線虫剤処理を慣行に準じ実施したNTR+D区も設けた．処理区は乱塊法により2反復で圃場内に配置した．畦間は120 cmとし，各区は7.0 m×3.6 m(3畦)とし，中央4.8 m×1.2 m(1畦) を調査に供した．

最初にダイコンを全処理区で栽培した．ダイコン栽培後 (4月8日) の線虫密度を植物検定法により調査したところ，根こぶ指数はTR+D区，R+D区，およびC+D区でほぼ同等であり，NTR+D区で低かった (表3-9)．ダイコン収穫後，各処理区に前述の通り耕耘・畦立て処理を施した．サツマイモの基肥はTR+D区およびNTR+D区では1回目の耕耘前に区全体に施し，R+D区およびC+D区では畦間に施した．その後サツマイモを栽培し，収穫時に調査区内の全株 (16株に相当) を調査した．

(4) 試験2：耕耘・畦立ておよびダイコン栽培が線虫密度および線虫害に及ぼす影響

耕耘・畦立ておよび前作ダイコン栽培の2要因が線虫害および線虫密度に及ぼす影響について検討した．処理区としてTR+D区，C+D区，冬季は休閑としてTR+Dと同じ処理を施したTR-D区，およびC+D区同様に畦を立て，ダイコンは栽培せずサツマイモのみ栽培したC-D区とした．各区は4.2 m×1.2 m(1畦)とし，中央3.0 m×1.2 m(1畦) を調査に供した．処理区は圃場内に4反復の乱塊法で配置した．

ダイコン栽培前 (12月16日) の線虫密度をベルマン法により調査した．密度は処理区間でほぼ同等であった (表3-10)．ダイコンはTR+D区およびC+D区で栽培した．ダイコン収穫後，各処理区に前述の通り耕耘・畦立て処理を施した．

土壌サンプルは耕耘・畦立て前 (4月14日および18日) に，TR-D区では地表面から深さ0～10 cm，10～20 cm，および20～30 cmについて，TR+D区，C+D区，およびC-D区では畦の東側の肩から深さ0～10 cm (畦内上部)，10～20 cm (畦内下部)，および20～30 cm (畦下部) から採取し，TR+D区およびTR-D区からは畦立て後 (4月26日) も採取した．線虫密

表3-8 試験1および試験2における処理区

試験 (試験年)	処理	ダイコン栽培前	ダイコン栽培 (+D)	サツマイモ栽培前	
		殺線虫剤 (N)		耕耘 (T)	畦立て (R)
試験1 (2008～2009)	NTR+D	+	+	+	+
	TR+D	-	+	+	+
	R+D	-	+	-	+
	C+D	-	+	-	-
試験2 (2010～2011)	TR+D	-	+	+	+
	TR-D	-	- 1)	+	+
	C+D	-	+	-	-
	C-D	-	- 2)	-	-

1) 冬期は休閑とし，耕耘および畦立てはTR+Dと同様に実施．

2) 畦はC+D区と同様に立てたがダイコンは栽培せず．

表3－9 試験1のダイコン栽培後（4月8日）における
植物検定法による線虫密度（根こぶ指数）

処理	採土位置と深さ（cm）		
	畦肩部		通路
	0-20	20-35	0-15
NTR+D	4	4	4
TR+D	25	54	54
R+D	21	54	38
C+D	17	46	54

2反復の平均値.

表3－10 試験2のダイコン栽培前（12月16日）に
おけるベルマン法による線虫密度（頭数/cm³）

処理	深さ（cm）	
	10-15	30-35
TR+D	10 ± 4	12 ± 4
TR-D	12 ± 2	9 ± 3
C+D	10 ± 3	12 ± 5
C-D	9 ± 3	12 ± 5

4反復の平均値±標準誤差.

度はベルマン法および植物検定法により調査した．地温はボタン型の温度計（SEC-CD18TB，三洋電機株式会社）をC+D区およびC-D区の畦頂部から10 cmの部位に埋設し，1時間間隔で測定した．TR-D区では地表面から10 cmで測定した．12月19日（ダイコン播種2日後）から4月27日（サツマイモ挿苗日）までの有効積算温度を算出した．低温閾値は3.2と同様12℃とした（後藤ら 1973）．他の調査方法および栽培方法は試験1に準じた．

(5) 試験1および2の統計解析

解析には「SAS9.2」を用いた．試験2におけるベルマン法による線虫密度については， $\log(X + 0.5)$ で変換後，TTESTプロシジャを用い対応のあるt検定を実施した．根こぶ程度および塊根の線虫害のデータについては，試験1ではNTR+D区を除いた3処理区について，制御因子である耕耘・畦立ての1要因にブロック因子1要因を加え解析した．試験2では制御因子である耕耘・畦立ておよびダイコン栽培の2要因にブロック因子1要因を加え解析した．根こぶ程度の割合と各階級別の塊根の割合についてはLOGISTICプロシジャを用い，累積ロジットモデルを前提としたカイ2乗検定により解析した．比例オッズの推定条件を満たさない場合，階級別の塊根の割合については，無被害塊根の2階級（0および1）を統合し，無被害塊根と被害塊根との関係について二項ロジットモデルで再解析した．試験2の根こぶ程度の解析では，4ブロック中1ブロックで欠測があったため，このブロックを除いた3ブロックについて解析を実施した．全塊根収量と無被害塊根収量については，試験1では反復数が2であったため解析せず，試験2のみを対象にGLMプロシジャを用いた分散分析を行った．

結 果

(1) 試験1：耕耘・畦立てが線虫害に及ぼす影響

塊根の外観には処理区間で違いが観察された（図3-6）．TR+D区，R+D区，およびC+D区では，サツマイモの根こぶ程度は有意にTR+D区に対しC+D区で低かった（図3-7A）．無被害塊根の割合は有意にR+D区およびC+D区でTR+D区に対し高かった（図 3-7B）．反復数が



図3-6 耕耘・畦立てがサツマイモ塊根の線虫害に及ぼす影響（試験1）

2であったため、塊根生重については統計解析を実施しなかったが、無被害塊根の生重はC+Dで高く、R+Dで中程度、TR+Dで低い傾向であった(図3-7C)。NTR+Dでは他の区に比べ、根こぶ程度が低く、上位階級の塊根の割合が高く、無被害塊根の生重も高い傾向がみられた(3-7A, B, およびC)。

(2) 試験2：耕耘・畦立ておよびダイコン栽培が線虫密度および線虫害に及ぼす影響

ダイコン収穫期(耕耘・畦立て前)におけるベルマン法による畦内の線虫密度は、畦が立っている状態から採土したC+D区、C-D区、およびTR+D区ではほぼ同等であり、畦の東側肩部からの深さが0~10 cmで低く、10~20 cmで次ぎ、20~30 cmで高かった(図3-8A, B, およびC)。休閒状態から採土したTR-D区では、地表面からの深さが0~10 cmで低く、10~20 cmおよび20~30 cmで高かった。耕耘・畦立てを実施したTR+D区では、0~10 cmの密度が、有意ではないものの($P = 0.07$)、耕耘・畦立て後に増加する傾向がみられたが、この増加する傾向は10~20 cmと20~30 cmではみられなかった(図3-8BおよびC)。なお、TR+D区の耕耘・畦立て後の密度は0~10 cm および10~20 cmでTR-D区と同等であった(図3-8AおよびB)。植物検定法における線虫密度についても、ベルマン法同様にTR+D 区の0~10 cmでは耕耘・畦立て後に増加する傾向がみられた(図3-8D)が、この増加する傾向は10~20 cmと20~30 cmではみられなかった(図3-8EおよびF)。

サツマイモの根こぶ程度の割合は比例オッズ推定的前提を満たさなかったが、根こぶ程度が1の割合はC-D区で最も高く、C+D区、TR-D区の順となり、TR+D区で最も低い傾向であった(図3-9A)。耕耘・畦立ては有意に無被害塊根の割合を減少させ、前作ダイコンは有意に無被害塊根の割合を増加させた(図3-9B)。耕耘・畦立ては全塊根生重には影響しなかったが、有意に無被害塊根の生重を減少させた。ダイコン栽培は全塊根重および無被害塊根の生重に影響しなかった。これらの主効果は有意な交互作用によって限定された(図3-9C)。

12月19日(播種2日後)から4月27日(サツマイモ挿苗日)にかけての有効積算温度はC-D区、C+D区、およびTR-D区でそれぞれ425, 231, および147 日度であった。TR+D区の有効積算温度は、ダイコン栽培管理が同様であるC+D区と同等と推察された。

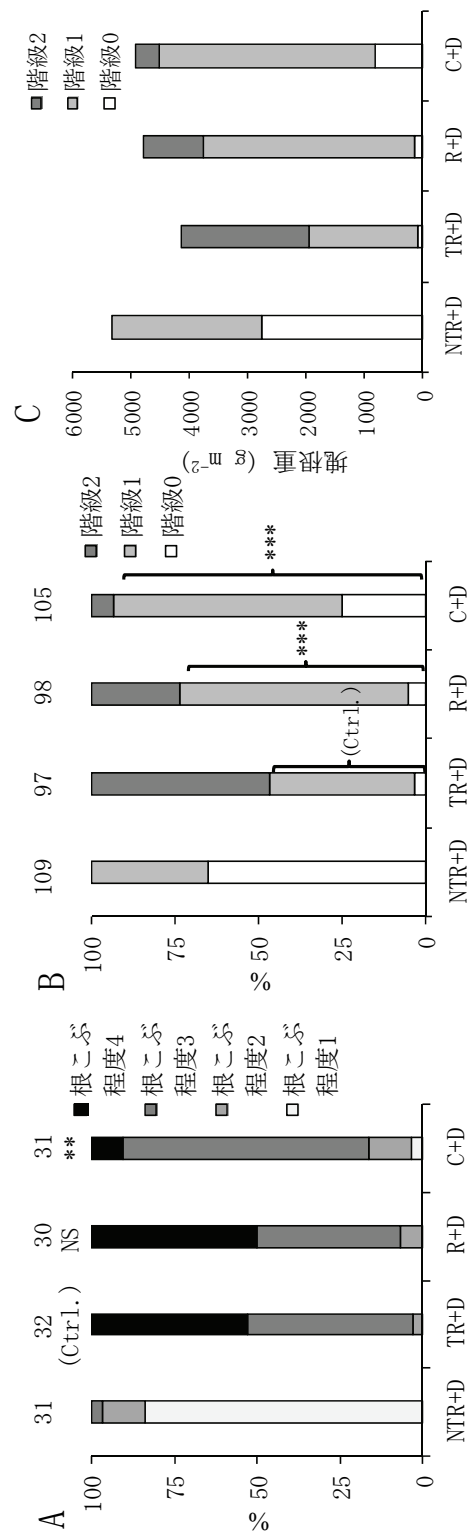


図3-7 耕耘・畦立てがサツマイモの線虫害に及ぼす影響 (試験1)

A : 根こぶ程度, B : 塊根の階級, C : 階級別塊根収量. 根こぶ程度の階級データは累積ロジットモデルを前提としたカイ2乗検定により解析し, 塊根の階級データは無被害塊根の割合を二値ロジットモデルを前提としたカイ2乗検定により解析した. **および***はそれぞれ1%および0.1%水準で有意差があることを示し, NSは5%水準で有意差がないことを示す. 階級別塊根収量については2連であったため統計解析を実施せず. 図AおよびBの棒の上部の数字は植物体数および塊根数を示す.

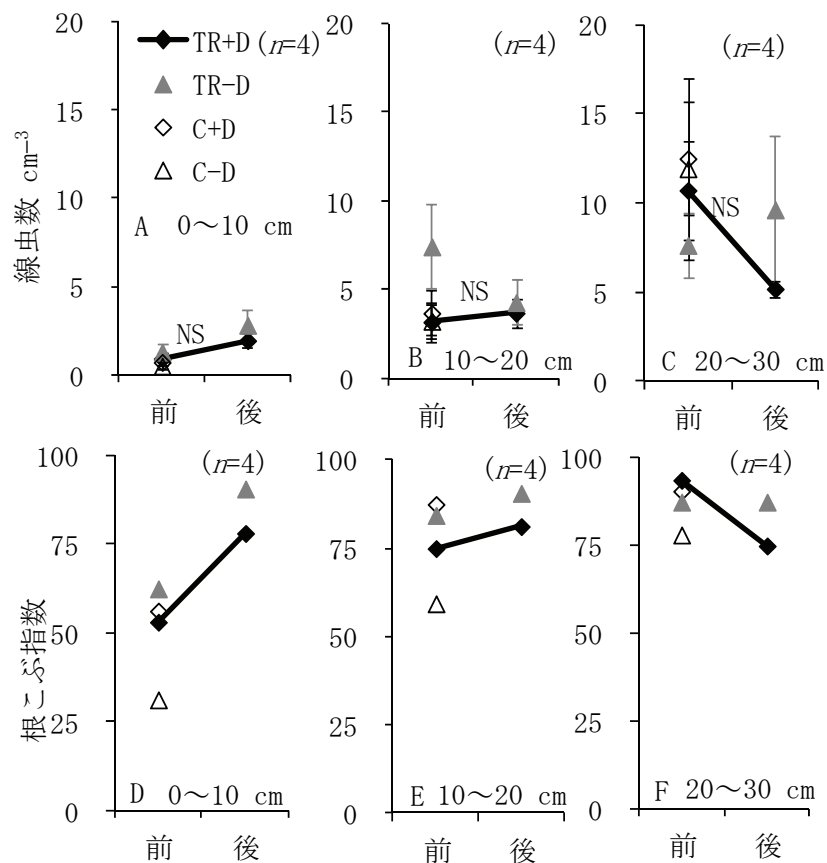


図3-8 耕耘・畦立てが線虫密度に及ぼす影響（試験2）

図A, BおよびC：ベルマン法による線虫密度. D, EおよびF：植物検定法における根こぶ指数. 土壌は地表面から（TR-Dの耕耘および畦立て前）または畦の東側肩部から（他サンプル）の深さ0~10, 10~20もしくは20~30 cmから採取された. 図A, BおよびCのTR+D区のデータは $\log(X + 0.5)$ 変換後の値を対応のあるt検定にて解析した. NSは5%水準で有意差なしを示す. エラーバーは標準誤差を示す. 前：耕耘・畦立て前, 4月14日または18日. 後：耕耘・畦立て後, 4月26日.

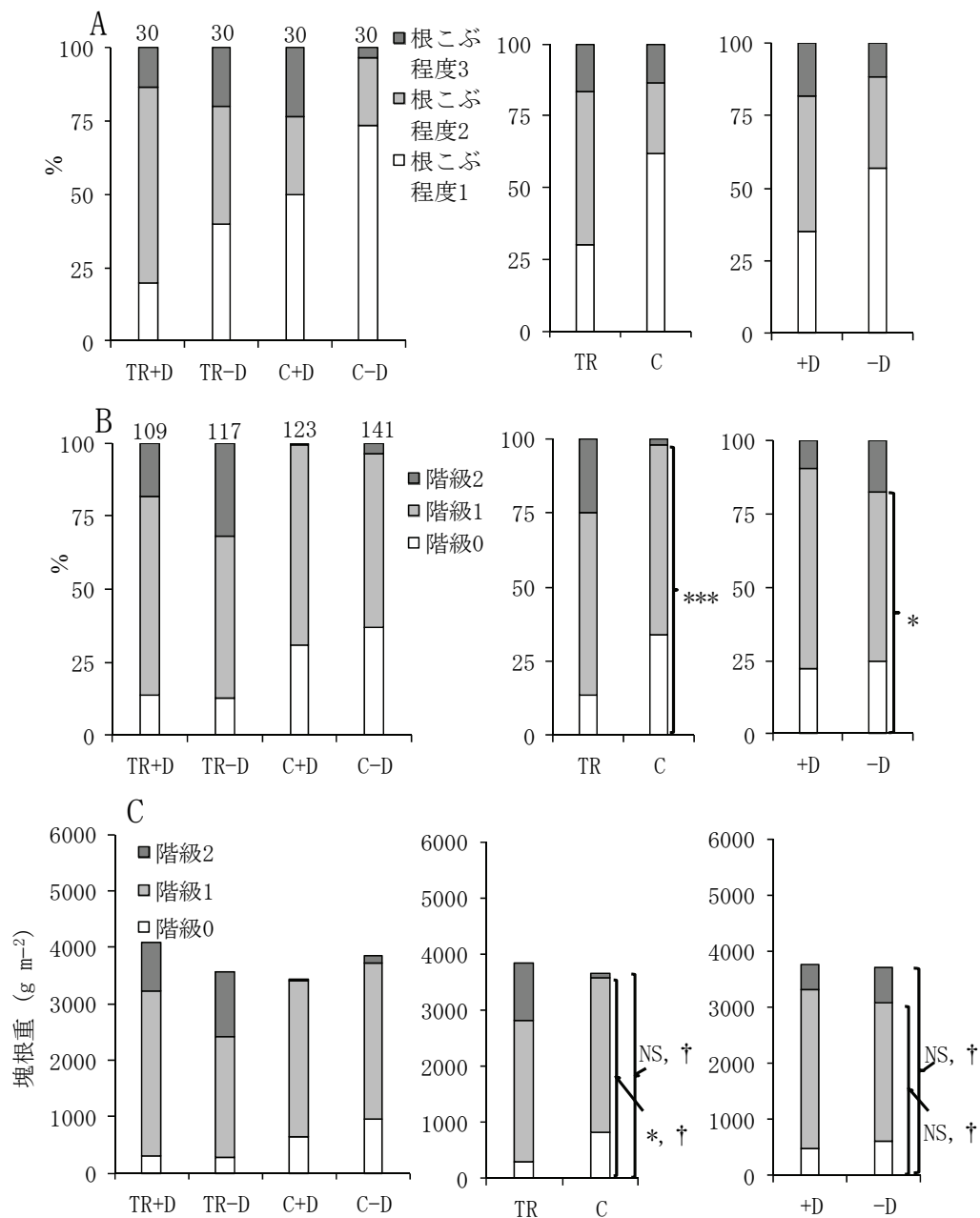


図3-9 耕耘・畦立ておよびダイコン栽培がサツマイモの線虫害に及ぼす影響（試験2）
A：根こぶ程度，B：塊根の階級，C：階級別塊根収量．図Aのデータは統計解析を実施せず．図BおよびCは4区の平均値．図Bの塊根の階級データは無被害塊根の割合を二値ロジットモデルを前提としたカイ2乗検定により解析した．図Cでは無被害塊根収量と全塊根収量を対象に分散分析を実施した．*，**および***はそれぞれ5%，1%および0.1%で有意であることを示し，NSは5%水準で有意でないことを示す．†は5%水準で有意な交互作用によりその主効果が限定されることを示す．図AおよびBの棒の上部の数字はそれぞれ植物体数および塊根数を示す．

考 察

本試験の結果は、CRU体系がサツマイモの線虫害削減に有効であることを示した。線虫害は、試験1および試験2のTR+D区に対しCRU体系（C+D区）で減少した（図3-7および図3-9）。試験1におけるR+D区での線虫害はTR+D区およびC+D区の中間の傾向を示した。これらの結果は耕耘・畦立てが線虫害を増加させることを示唆している。一方でNTR+D区の結果は、CRU体系による線虫害の減少効果がくん蒸型殺線虫剤処理の効果に及ばないことを示している。

試験2での線虫密度（図3-8）について考察すると、春のダイコン収穫時期に畦内の深い位置および休閑の地表面から深い位置で密度が高く、0～10 cmの深さの密度が耕耘・畦立て後に高くなる傾向が、ベルマン法および植物検定法の双方で確認された。この結果は、耕耘・畦立てによる土壌の移動に伴う線虫の移動がサツマイモの線虫害増加の一因であるという仮説を支持している。

サツマイモネコブセンチュウの侵入から産卵開始までに必要な有効積算温度は265日度である（後藤ら 1973）。ダイコンにおいて根こぶが観察されなかったこと、および有効積算温度が試験2では231日度であったことから推定すると、試験2では線虫はダイコンの根に感染した可能性はあるが、増殖はしなかったと考えられる。寄主作物がない条件では、圃場での線虫密度は温度と湿度に応じ減少するとされ（Evans and Perry, 2009）、例えば10℃以上を有効積算とすると、500日度において線虫は初期密度の10%未満に減少する（Goodell and Ferris, 1989）。本試験では、畦内の土壌はポリマルチで覆われ地温は高く保たれていたため、線虫密度の減少に適した条件であったと思われる。本試験におけるステージ別の線虫の割合は不明であるが、卵については孵化が早まり、2期幼虫の死亡率もおそらく畦内では高まったと推察される。

春季の畦内の密度は低かったのに対し、畦下の密度は高く保たれた（図3-8）。慣行体系では、土壌は多くの理由（除草、碎土、堆肥、肥料、および殺虫剤の施用）で耕耘され、その後畦立てされる。これらの土壌の移動は高密度に線虫に汚染された下層の土壌が移動する頻度を高める可能性があり、線虫害に影響を及ぼすと考えられる。実際に圃場で太陽熱消毒を行う場合、消毒後に土壌を移動させない作業体系を用いることで線虫

害軽減の効果が高まることが知られている（皆川ら 2004）。

試験2では、ダイコン栽培がサツマイモの線虫害に及ぼす影響についても解析を試みたが、結果は不明瞭であった。無被害塊根の割合はダイコン栽培が線虫害を減少させることを示唆したが（図3-9）、サツマイモの根こぶ程度の傾向とは一致しなかった。C-D区における畦内での有効積算温度はC+D区およびTR+D区より高く、これはC-D区では畦を被覆するダイコンの作物体が存在しないことと、植え付け穴が開いていないことが原因と考えられる。さらに、測定位置が異なるため直接の比較は適当ではないが、TR-D区における作土での有効積算温度は他の区に比べ低かった。このように処理区によって地温が異なり、その影響が結果に干渉したことが、ダイコン栽培がサツマイモの線虫害に及ぼす影響を複雑にしたと考えられる。

ロータリ、畦立て機、トラクタのタイプや土壌条件は、土壌および線虫の移動に影響する可能性がある。また、耕耘・畦立ておよびダイコン栽培は、線虫に影響を及ぼす土壌構造、通気性、および土壌微生物にも影響すると考えられるが（古賀 1978, Koenning *et al.* 1996, 佐野・中園 1997, McSorley *et al.* 2006, Eo *et al.* 2007, Stirling *et al.* 2011）、これらの影響は本試験では十分検討されておらず、今後検討すべき課題である。

3.4 結論

以上の3.2および3.3の二つの試験から、栽培環境が線虫害に及ぼす影響について、いくつか重要な知見が得られた。

第1に、春季に線虫密度が低下する現象の重要性である。これまで春季に地温の上昇とともに線虫密度が低下することは知られていたが、サツマイモの線虫害軽減につながることは、本研究において初めて明らかになった。また、CRU体系においては、ダイコン収穫後サツマイモ挿苗までの間、畦内の土壌はポリマルチで覆われた状態であったために温度と水分が保たれ、寄主作物も存在しなかったため、線虫密度の減少に適していたと考えられる。このような“wet fallow”（Evans and Perry, 2009）は、線虫害軽減に比較的容易に活用できると考えられる。例えば耕耘、畦立て作業のみを早春の地温上昇前

に実施し、地温が上昇するまで放置した後に作物を栽培することで、線虫害を軽減できる可能性がある。

第2に、サツマイモ挿苗時の畦内の地温が線虫害発生に影響することである。この結果と春季に線虫密度が低下することを総合すると、作期の前進化は線虫害の激発を引き起こす可能性が高いと言える。現状では焼酎原料用サツマイモの出荷価格は早掘り栽培で高く、農家は作期の前進化を求める傾向があるが、早掘り栽培では特に線虫害の発生に留意する必要があると言える。さらに青果用サツマイモでは、ハウスやトンネル被覆を用いて地温を上げ、挿苗を冬季から春季にかけて行う作型も存在する。このような作型では端境期に出荷できるので高収益が期待できるが、挿苗時に線虫密度は高く保たれており、かつ春季には被覆によって地温が高まりやすいことを総合すると、線虫害が激発する危険性が高いと言える。一方で、遅植えの無マルチ栽培では、線虫害の危険性は低い。以上から、作型を考慮に入れることで、的確な線虫防除が可能になると考えられる。

第3に、ダイコンの秋冬季栽培の作期は被害程度に影響するものの、後作に対する影響は小さいことである。秋冬季栽培では地温が徐々に低下するため、温度に依存して増殖する線虫にダイコン栽培が与える影響は小さいと考えられる。従って、輪作体系の中で線虫を抑制するためには、夏季の作物を重視して体系を組み立てることが重要であると言える。

第4に、栽培前の耕耘・畦立てという、一般的に行われている農作業が、サツマイモの線虫害の発生に影響することである。今後は、圃場における土壌の移動に着目して検討を進めることで、CRU体系のような、線虫害が発生しにくい栽培方法を開発できる可能性がある。

これらの知見は耕種的手法を利用した線虫害軽減型体系の開発に利用できるが、今後は、本試験では十分検討ができなかった微生物および土壌の影響を含めた、広義の栽培環境要因が線虫密度や線虫害に及ぼす影響について、解明していくことが必要である。

第4章 ベルマン法と植物検定法を用いた線虫密度およびサツマイモの線虫害の推定

4.1 緒言

多くの線虫種で初期線虫密度と作物の線虫害の発生には密接な関係があることはよく知られており、両者の関係を解明しようとする試みは多い（横尾ら 1959, 佐野 1988, 及川ら 1993, 山田・河合 2008, Chandra *et al.* 2010）.

サツマイモのネコブセンチュウ害については、上田（1995）がベルマン法で土壌20 g当たりの線虫密度が数頭の低レベルであっても顕著な被害を及ぼすと述べているなど、被害許容密度はかなり低いと考えられる．線虫の検出によく用いられるベルマン法は、分離効率が約50%と低いため検出感度が低く、また専門家による計数が必要とされる．サツマイモで予想される、被害許容密度が低い条件で被害を予測するためには、より検出感度が高く、生産者レベルで簡便に検出できる方法の開発が望まれる．Min *et al.* (2011) はリアルタイムPCRを用いて、ベルマン法では線虫が検出できない低密度条件での線虫検出が可能であることを示しているが、実施には専門技術や高額な装置が必要である．

これまでに専門技術や高額な装置が不要な線虫診断手法として、植物検定法による線虫密度の推定と被害予測が試みられてきた（伊藤ら 2004, Gugino *et al.* 2008）. 日本における寄主植物を用いたネコブセンチュウの検出には、2章および3章でも用いてきたハウセンカがよく用いられており（田渕・坂本 1983, 佐野 1995, 猪野・鈴木 1999, 甲斐ら 2002）、ベルマン法よりも検出感度が高いと報告されている（中園・古賀 1991）. 実際に、水越ら（1995）は北海道のハウス果菜類栽培において、サツマイモネコブセンチュウの存否の判定にはハウセンカが、密度の推定にはニンジンが適していることを明らかにし、さらに被害許容密度についても検討している（水越ら 1997）. サツマイモにおいても、冬春季に採土した土壌に播種したハウセンカの根こぶ指数と収穫期の根こぶ指数との関係が検討され、火山灰土壌で両者に相関関係が認められることが示され（小林・深沢 1965）、さらには減収率の推定が可能とされている（静岡県農業試験場 1960）. しかし、南九州でのサツマイモ「コガネセンガン」栽培における被害許容密度については調査が行われていない.

4.2 「コガネセンガン」における線虫密度と線虫害との関係

本章では、本研究で用いてきた2種類の線虫密度推定法、すなわち、ハウセンカを用いた植物検定法およびベルマン法を用い、南九州の黒ボク圃場における「コガネセンガン」栽培を対象に、線虫密度からの線虫害の推定を試みた。また接種試験により、接種線虫数とハウセンカの根こぶ形成との関係についても調査した。

材料および方法

(1) サツマイモネコブセンチュウ接種頭数がハウセンカの根こぶ程度および根こぶ数に及ぼす影響

試験は前述の植物検定法に準じて実施した。ポット栽培したトマト「プリッツ」で予め増殖させたサツマイモネコブセンチュウの都城個体群（九州沖縄農業研究センター線虫害研究グループから分譲）2期幼虫を、トマトの根に形成された卵のうから水中でふ化させて回収し、20頭/mLの線虫懸濁液を作出した。オートクレーブ処理された黒ボク土壌をポットに充填し、ポットあたり各8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, および1024頭の線虫を接種した。具体的には、8, 16, 32, および64頭処理区では、20頭/mLの線虫懸濁液をそれぞれの頭数にあわせて希釈後、総量6.4 mLの希釈液を4回に分け接種し、128, 256, 512, および1024頭処理区では、20頭/mLの線虫懸濁液をそれぞれの頭数になるように総量6.4 mL以上の範囲で量を変え、4回以上に分けて接種した。接種は線虫懸濁液がハウセンカセル苗の植え穴にできるだけ広がるように土壌表面から実施した。また、ポット内の初期水分量が同一になるように各処理区に蒸留水を加えた。反復数は上記接種頭数順に各10, 8, 6, 4, 4, 4, 4, および3連とした。ポットは、接種当日は室内に静置し、翌日ファイトトロンに移し、植物検定法に準じて栽培した。接種21日後に根こぶ程度および根こぶ数を調査した。

(2) 圃場試験における線虫密度とサツマイモ「コガネセンガン」線虫害との関係

1) 同一圃場における試験

試験は2010年に実施した。各処理区は4.2 m × 3 m (4畦) とし、中央2.4 m × 1.5 m

(2畦)を調査区とした．圃場を4ブロックに分け，前年の2009年に各処理区に線虫抵抗性の異なるサツマイモ7品種（「ジェイレッド」，「ダイチノユメ」，「べにはるか」，「ムラサキマサリ」，「コナホマレ」，「シロユタカ」，および「コガネセンガン」）を各ブロック1連で栽培し，線虫密度の異なる各処理区を設定した．土壌は2009年12月1日（以下，12月），2010年1月25日（以下，1月），および3月11日（以下，3月）に採取した．いずれも深さ10～15 cmから，調査区内の4点からほぼ等量の土壌を採取し，よく混和してサンプルとした．2010年1月25日には，深さ30～35 cmからも採土した．線虫密度は，植物検定法およびベルマン法を用い2反復（一部のサンプルのみ欠測のため反復無し）で調査した．ベルマン法による線虫密度（Z）については， $\log(Z + 0.5)$ で対数変換後に解析に供した．

2010年の「コガネセンガン」栽培については，4月19日および5月13日に2ブロックずつ挿苗を行い，収穫調査を4月19日挿苗分は挿苗後147～148日目の9月13～14日に，5月13日挿苗分は挿苗後166日目または168日目の10月26日または28日に実施した．収穫時にサツマイモ細根の根こぶ程度および塊根の線虫害を調査した．

2) 複数圃場，複数年次における回帰式の適用

本試験圃場で得られた線虫密度と線虫害との間の回帰式が，他試験圃場で得られた結果に対しても適用できるかを検討した．具体的には，本試験圃場における3月採土の線虫密度と無被害塊根率との間の回帰式が，表3-1に示した本研究での他試験（4月挿苗での5圃場，計14点，採土日等は表4-1に再整理した）の結果に対して適用できるかを解析した．圃場A，B，およびCでは，3月～4月に採土した線虫密度の値をそのまま解析に用い，圃場Dでは，本試験圃場で得られた1月の線虫密度と3月の線虫密度との間の回帰式を用い，1月の線虫密度を3月の線虫密度に換算した値を用い解析した．

(3) 統計解析

関連の有意性の検定には統計解析ソフト「エクセル統計2008」を使用した．

表4-1 複数圃場，複数年次における回帰式の適用の検討に
用いた圃場と採土日

圃場名	試験年	採土日	サンプル数	ベルマン法 供試	植物検定法 供試
圃場A	2008	3月31日	4		○
	2009	3月5日	2		○
圃場B	2009	3月5日	2	○	○
圃場C	2009	4月8日	2	○	○
圃場D	2010	1月26日 ¹⁾	4	○	○

圃場名は表3-1と同一である．

1) 1月の線虫密度から3月の密度を換算して解析した．換算式は，
ベルマン法で $y=0.72x+0.11$ ，植物検定法で $y=0.98x-0.09$ ．

結 果

(1) サツマイモネコブセンチュウ接種頭数がハウセンカの根こぶ程度および根こぶ数に及ぼす影響

8頭接種区から1024頭接種区までの根こぶ程度および512頭接種区までの根こぶ数は、接種頭数の増加に伴い有意に増加した（表4-2）。また、8頭接種区の10反復においては、全ての株で根こぶの着生が確認された。ただし、8頭接種区と16頭接種区、および256頭接種区と512頭接種区では、根こぶ程度は同等であり、本試験の判定基準では差を検出できなかった。また、根こぶ数も256頭接種区と512頭接種区では同等であった。

(2) 圃場試験における線虫密度とサツマイモ「コガネセンガン」線虫害との関係

深さ10cmのベルマン法における、2009年12月の線虫密度と2010年3月の線虫密度との間には有意な正の相関が認められ、回帰直線の傾きは0.63であった（図4-1A）。また両者の植物検定法における関係にも有意な正の相関が認められ、回帰直線の傾きは0.92であった（図4-1B）。

対数変換したベルマン法による線虫密度と、サツマイモ収穫時の線虫害および収量との関係を図4-2に示した。4月挿苗では、線虫密度とサツマイモ細根の根こぶ指数（図4-2A）および塊根収量（図4-2B）の間には有意な相関が認められなかったが、無被害塊根率（図4-2C）および無被害塊根収量（図4-2D）の間には有意な負の相関が認められた。5月挿苗では、いずれの項目でも有意な相関が認められなかった。

4月挿苗における各採土時期・深さでの対数変換したベルマン法による線虫密度と、サツマイモ無被害塊根率との関係には、いずれの採土時期・深さにおいても有意な負の相関が認められた（図4-3A, B, C, およびD）。

4月挿苗における各採土時期・深さでの植物検定法による線虫密度と、サツマイモ無被害塊根率との関係を図4-4に示した。1月採土の深さ30～35 cmからの採土では有意な相関が認められなかった（図4-4C）が、深さ10～15 cmではいずれの時期の採土でも有意な負の相関が認められた（図4-4A, B, およびD）。

他圃場の試験結果を加えた場合の線虫密度と無被害塊根率との関係については、圃場D

表4-2 サツマイモネコブセンチュウ2期幼虫（J2）接種頭数と，ハウセンカを用いた植物検定法における，根こぶ程度および根こぶ数との関係

接種区 (J2/pot)	<i>n</i>	根こぶ程度				根こぶ数
		最小値	中間値	最大値	平均値	平均値±標準偏差
8	10	1	1	1	1.00	3± 2
16	8	1	1	1	1.00	9± 3
32	6	1	1	2	1.17	17± 3
64	4	1	2	2	1.75	27± 7
128	4	2	2	2	2.00	37± 5
256	4	3	3	3	3.00	64±11
512	4	3	3	3	3.00	64±20
1024	3	3	4	4	3.67	NA

1024頭接種区における根こぶ数は，根こぶ程度が4に達したポットがあったため測定せず。

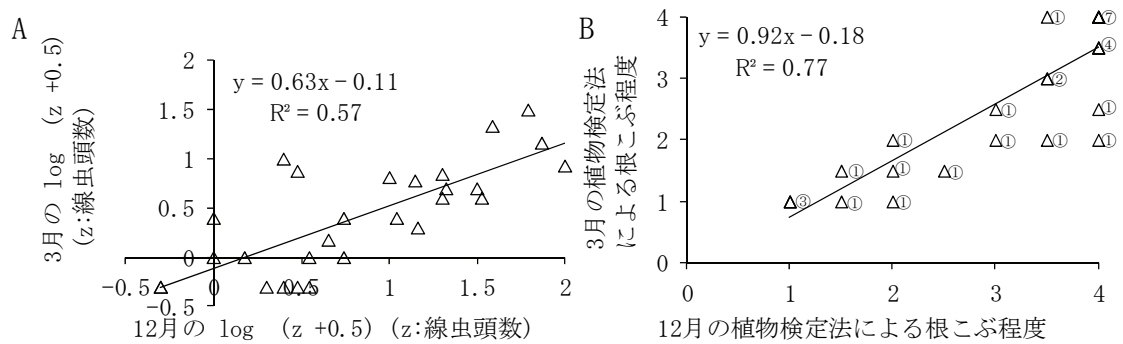


図4-1 12月時点および翌年3月時点での線虫密度の関係

A: ベルマン法による線虫密度, B: 植物検定法による線虫密度.
いずれも深さ10~15 cmから採土. 丸数字はサンプル数を示す.
相関は全て5%水準で有意.

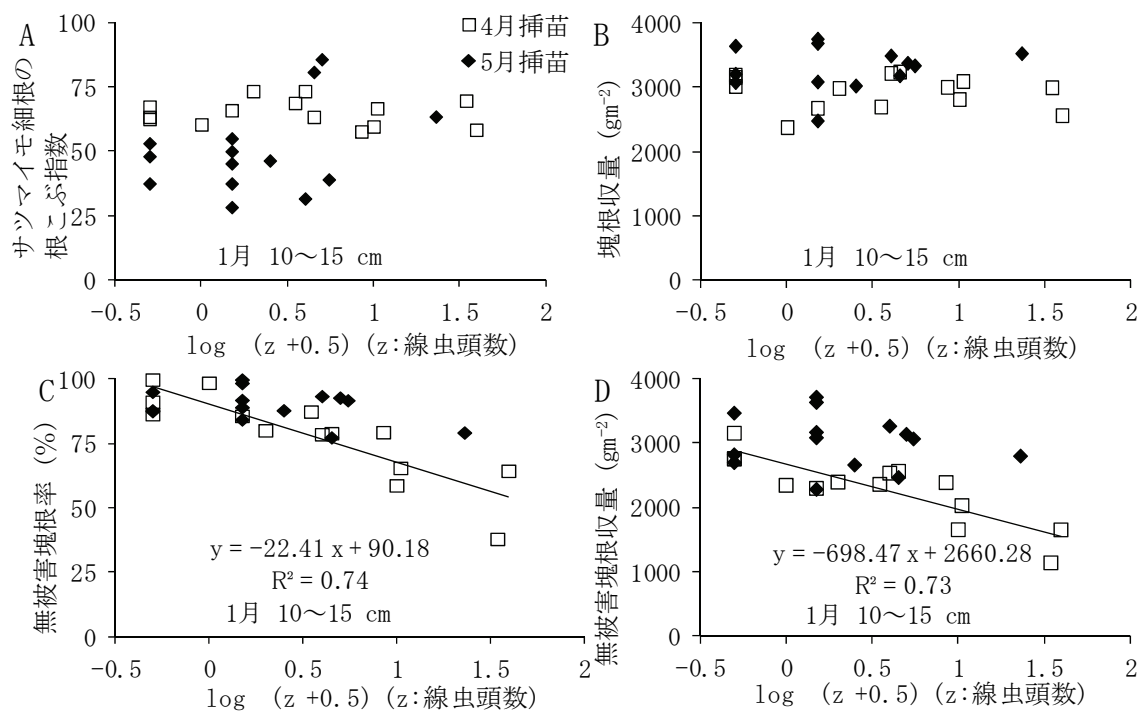


図4-2 ベルマン法による線虫密度がサツマイモに及ぼす影響

A: サツマイモ細根の根こぶ指数に及ぼす影響, B: 塊根収量に及ぼす影響, C: 無被害塊根率に及ぼす影響, D: 無被害塊根収量に及ぼす影響.
いずれも1月に深さ10~15 cmから採土. 4月挿苗では5%水準で有意な相関のみ直線と回帰式を示した. 5月挿苗ではいずれの図でも5%水準で有意な相関は無し.

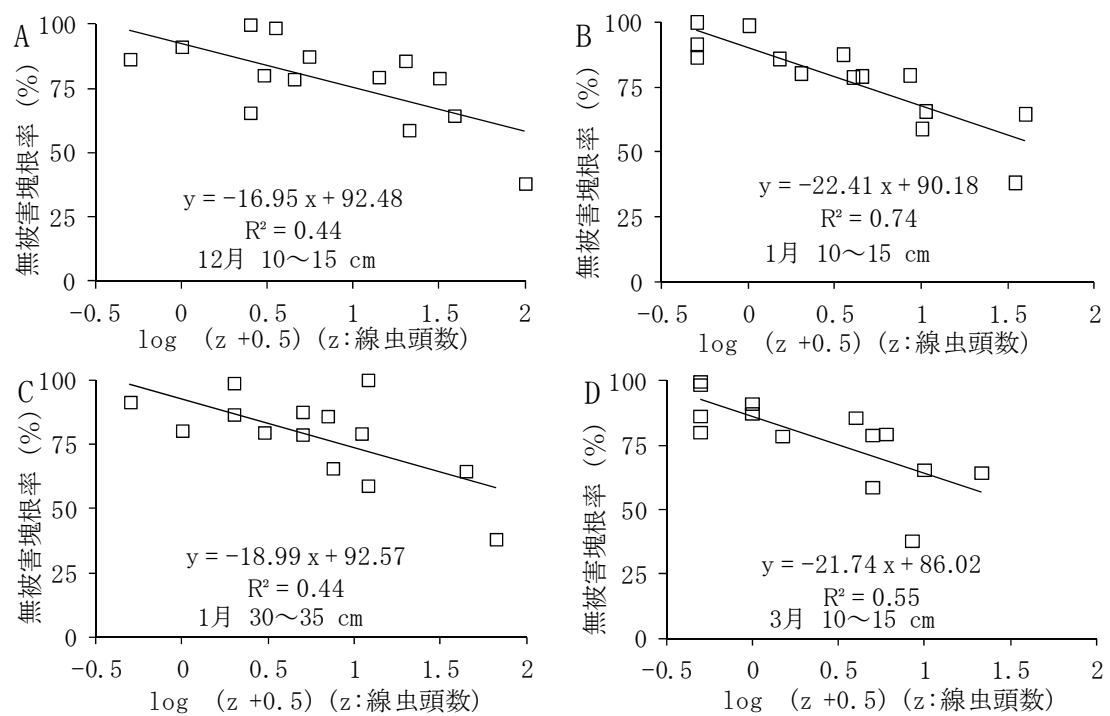


図4-3 ベルマン法による線虫密度が無被害塊根率に及ぼす影響

A : 12月に深さ10~15 cmから採土, B : 1月に深さ10~15 cmから採土, C : 1月に深さ30~35 cmから採土, D : 3月に深さ30~35 cmから採土. 相関は全て5%水準で有意.

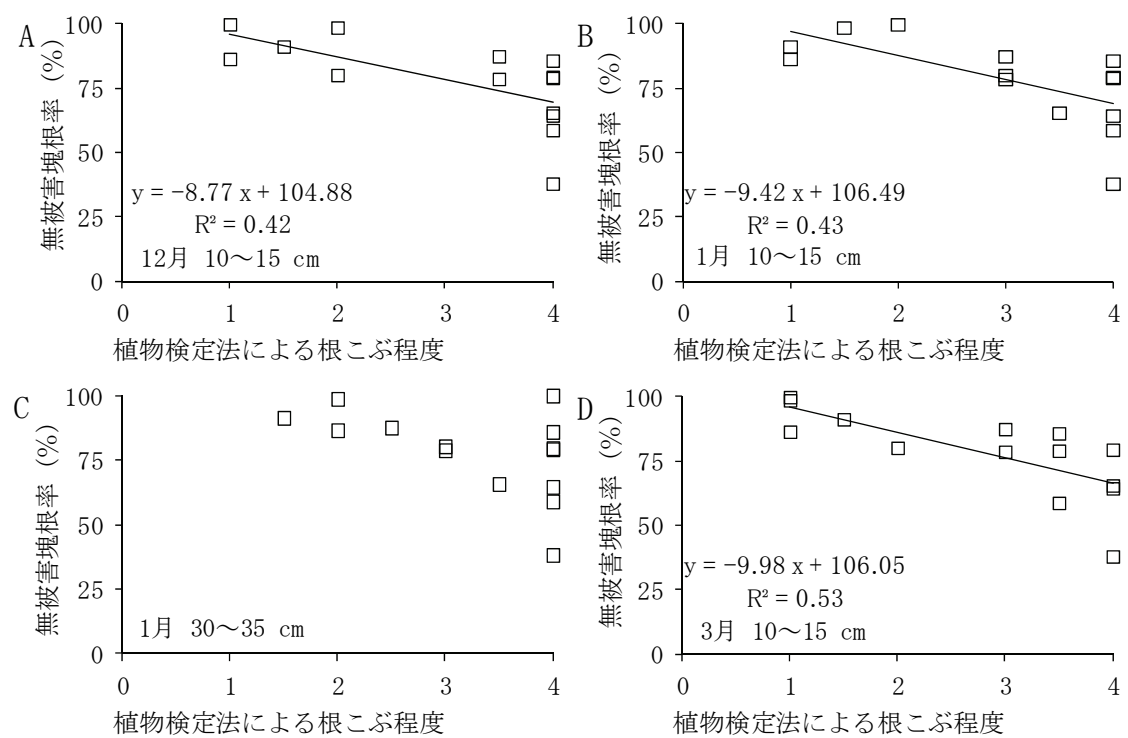


図4-4 植物検定法による線虫密度が無被害塊根率に及ぼす影響

A : 12月に深さ10~15 cmから採土, B : 1月に深さ10~15cmから採土, C : 1月に深さ30~35 cmから採土, D : 3月に深さ30~35 cmから採土. 5%水準で有意な相関のみ直線と回帰式を示した.

での値がベルマン法および植物検定法の両方で、本試験での回帰式から大きく外れており、密度が低くても線虫害が激発した。植物検定法では、圃場BおよびCの根こぶ程度4の場合で回帰式から外れた値が確認された（図4-5）。

考 察

(1) サツマイモネコブセンチュウ接種頭数がハウセンカの根こぶ程度および根こぶ数に及ぼす影響

接種頭数の増加に伴い根こぶ数および根こぶ指数が増加したことは、植物検定法による線虫密度の推定が可能であることを示唆している（表4-2）。本研究での植物検定法では、150 gの生土を供して線虫密度を推定しており、ポット当たり8頭の接種はベルマン法で供試する20 gの生土に換算すると約1 頭である。ポット当たり8頭の接種においても植物検定法で線虫が検出されたことは、ベルマン法での検出限界に近い条件でも、植物検定法によって線虫を検出することが可能であることを示しており、土壌中の頭数が少ない場合の密度推定には、植物検定法は適した方法と考えられる。一方、頭数が多い場合、根こぶ数はポット当たり256頭以上では増加しなくなった。接種試験では土中での線虫の分布が均一ではないため、根への根こぶの着生が若干不均一であった問題点はあるものの、頭数が256頭以上では根こぶが数珠状になっており計数が困難となることから、根こぶ数を用いた密度の推定は不可能と考えられる。一方根こぶ程度では、ポット当たり1024頭までは線虫密度の推定が可能と考えられた。従って、以下の圃場試験では根こぶ程度を用いて考察する。

(2) 圃場試験における線虫密度とサツマイモ「コガネセンガン」線虫害との関係

2009年12月と2010年3月（深さ10～15 cm）のベルマン法における線虫密度の関係（図4-1A）から考察すると、線虫密度は秋季から春季にかけて低下する傾向が認められた。これらの傾向は12月から1月にかけて、および1月から3月にかけてもほぼ同様であった（データ略）。ベルマン法は線虫の移動を利用する分離方法であるため、線虫の活動力が分離率に影響する。そのため冬季に地温が低下するのに伴い活動力が低下し、分離率が

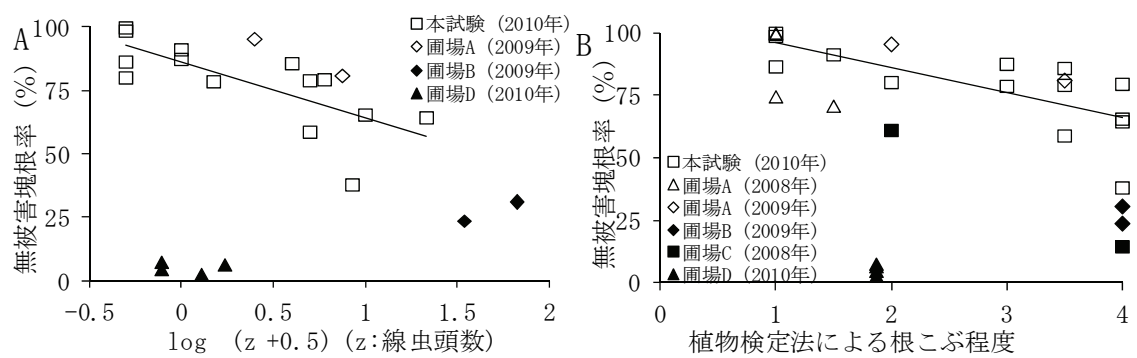


図4-5 他圃場・年次（圃場A～D）の試験結果を加えた場合の，線虫密度と無被害根率との関係

A：ベルマン法，B：植物検定法．直線は本試験の回帰直線を示す．

低下したと考えられる。冬季においてベルマン法での分離率が徐々に低下することは、皆川（1978）も指摘している。

なお本研究では、土壌を10℃で保存後に、2～3日の加温を行いベルマン法に供した。これまで、Ohba *et al.*（1982）は土壌の貯蔵温度とベルマン法による線虫密度との関係を考察しているが、25℃では3日貯蔵で分離頭数が最高値を示した。また、著者の予備試験でも同様の結果が得られ、この加温方法によりある程度分離率を確保できたと考えられる。ただし、分離頭数と加温日数との関係には採土時期が影響する（三枝 1964）ため、今後、採土時期に応じたベルマン分離法を検討することで分離率を向上させることが可能と考えられる。

対数変換したベルマン法による線虫密度とサツマイモ細根の根こぶ指数との間には相関が認められず（図4-2A）、これまでの本研究の他試験とは結果が異なった。この理由として、本試験では根こぶを含め根全体が腐敗している根が多く存在する一方で、新しいと思われる根が数多く見られたことから、根こぶの判定が困難であったため差が検出できなかったと考えられる。Belair and Boivin（1988）は、ニンジンで前作の根こぶの着生程度から後作の線虫害を予測しており、本研究の他の章でも根こぶ指数を線虫寄生の指標として用いてきたが、本試験のように根に腐敗が多い場合は評価に注意が必要と考えられる。また、対数変換したベルマン法による線虫密度と塊根収量の間にも相関は認められなかった（図4-2B）。2.3.3でも線虫密度が塊根重に及ぼす影響は小さいことが示されており、本試験での結果と一致している。

作型が線虫害に大きく影響することは第3章で示したが、本試験でも作型が線虫害の発生に影響した。すなわち、5月挿苗ではほとんど線虫害が発生せず、線虫密度と線虫害との関係は明瞭ではなかった。これに対し4月挿苗では、対数変換したベルマン法による線虫密度と無被害塊根重、無被害塊根率との間に有意な負の相関がみられ、線虫害の推定が可能であった（図4-2CおよびD）。無被害塊根率の推定は、調査したいずれの採土時期・深さでも可能であった（図4-3）。これらの採土時期・深さで得られた回帰式では、被害許容水準を無被害塊根率80%と仮定すると、ベルマン法による線虫密度で20 g生土あたり1～5頭となり、予想と大きな相違は認められなかった。

ベルマン法と同様、ハウセンカを用いた植物検定法による線虫密度と無被害塊根率との間にも、4月挿苗で一部を除き有意な負の相関が認められた。このことは、植物検定法を用いても線虫害の推定が可能であることを示している（図4-4）。また、植物検定法ではベルマン法と異なり、12月から3月にかけて線虫密度があまり低下しなかった（図4-1B）。冬季の線虫密度の変動が小さく、採土時期を詳しく考慮する必要のないことは、被害予測を単純化できる点で、現場における線虫の存否の判断に適している可能性がある。なお、根こぶの形成時期については、25℃条件での予備試験の結果、線虫汚染土壌へのハウセンカ定植後2週間では根こぶの形成が不十分であったが、3週間以上で十分に根こぶが形成され、この場合育苗期間をあわせて5週間以上あれば検定が可能であった。このことから、植物検定法では冬季の限られた期間においても生産者が線虫の存否を判定することが可能と考えられる。

一方、他試験圃場を総合して比較した場合、植物検定法では、根こぶ程度が4の場合に無被害塊根率の変動し、本試験で得られた回帰式への適合性が低かった（図4-5）。根こぶ程度は4が上限であるため、一定以上の線虫が土壌中に高密度で存在した場合、植物検定法では密度を推定できないことが原因と考えられる。この問題点については、根こぶ程度が4になる高密度の場合は検定土壌を線虫を含まない土で希釈する等、検定値が適切な範囲に当てはまる方法を検討することで、回帰式を改善できると考えられる。ただし、供試する土量が少なくなると、ハウセンカへの根こぶの着生にばらつきが発生する懸念があるので、適切な供試土量と希釈法については検討が必要である。また、圃場Dのように、ベルマン法および植物検定法の双方で線虫密度が低いにもかかわらず線虫害が激発する場合があることも確認された。この原因は明らかではないが、病害の複合発生や土壌環境の影響等、本研究では未検討の、何らかの栽培環境要因が関係していると考えられる。Min *et al.* (2011) も、リアルタイムPCRを用いて検出された線虫密度とサツマイモ塊根の線虫害との関係は圃場間で異なり、その原因解明が将来の課題であることを指摘している。

4.3 結論

本章では、線虫密度からサツマイモ「コガネセンガン」の被害予測を試みたところ、ベルマン法および植物検定法により推定された線虫密度から被害を推定できる回帰式が得られた。また植物検定法により線虫密度を低密度でも簡便に推定できた。ただし、同一密度でも圃場間で被害程度が大きくばらつく問題が残された。

線虫の初期密度から最終密度や被害量を推定するモデルは、密度の正確な推定が困難であること、線虫の増殖率や被害量に土壌要因・気象的要因、作型が影響することおよび線虫と併発する土壌病害の影響から、一般化が困難であるとされている（水久保・竹原 2005）。本研究では、本章および第3章で密度の推定および作型等栽培環境の影響についていくつかの知見を提示することができた。しかし、線虫害の発生については未解明の要因も多く残されており、一般化したモデルを提示するにはこれらの要因の解明が必要と考えられる。

第5章 総合考察

本研究では、既存の夏季のサツマイモ生産および秋冬季の露地野菜生産を継続しながら、各作物のネコブセンチュウ害を同時に軽減できる技術として、いくつかの耕種的手法について検討した。

第2章では、夏季サツマイモー秋季ダイコン二毛作体系において、サツマイモの高度線虫抵抗性品種と中程度線虫抵抗性品種を1年毎に交互に栽培することで、サツマイモおよびダイコンの線虫害を軽減でき、線虫密度を低く保つことが可能であることを示した (Suzuki *et al.* 2012)。また、近年育成されたいくつかの品種は高度線虫抵抗性品種であり、線虫抑制作物として利用できることを確認した。さらに線虫に感受性のサツマイモ品種の中で、「コガネセンガン」では「高系14号」と比較して線虫害の発生程度が低いことを示した。

第3章では、サツマイモの栽培環境が線虫害の発生に影響することを明らかにした。作型・マルチ資材 (鈴木ら 2013) および耕耘・畦立てといった栽培管理は線虫害に大きく影響した。また、ダイコンの作期はダイコンの線虫害に影響を及ぼすが、ダイコンーサツマイモ体系におけるダイコン栽培の有無・作期は、後作サツマイモ栽培前の線虫密度およびサツマイモの線虫害にはほとんど影響しないことも明らかにした (鈴木ら 2013)。

第4章では、線虫密度からのサツマイモ「コガネセンガン」の被害予測を試みた。「コガネセンガン」では、ベルマン法および植物検定法による線虫密度から被害の推定が可能であること、植物検定法により線虫密度を低密度でも簡便に推定できることを明らかにした。ただし、同一密度でも圃場間で被害程度が大きくばらつく問題が残された。

ここで第2章および第3章の結果から、耕種的手法を利用した線虫害軽減型体系の提示を試みる。夏季サツマイモー秋冬季ダイコンの二毛作体系で、サツマイモの品種は、感受性品種の中では比較的被害が発生しにくい「コガネセンガン」の栽培を想定する。サツマイモを4月から9月にかけて栽培し、その直後にダイコンを栽培する体系を考えると、この体系ではサツマイモおよびダイコンに線虫害が発生しやすいため、各作物の栽培ごとに殺線虫剤処理が必要である。この体系に、①高度線虫抵抗性サツマイモ品種を隔年で栽培し、「コガネセンガン」を栽培する年には、ダイコンの作期を遅い時期に移動する、

②サツマイモおよびダイコンの作期を遅い時期に移動し、さらにダイコン後作のサツマイモを畦連続利用体系により栽培する、といった変更を加えることで、線虫害をある程度軽減できると考えられる（図5-1）。

ただし、これらの耕種的手法により暖地畑作物の線虫害を、栽培開始時の線虫密度と関連して定量的にどの程度軽減できるかについては、十分なデータが得られていない。耕種的手法の効果は、線虫密度に大きく影響される場合が多く、生産現場で線虫害を安定して回避していくためには、線虫密度とそれに対応した適切な手法との組み合わせについて検討する必要がある。すなわち、暖地畑作物の線虫防除に対しては、作付体系を考慮し、密度調査、輪作・抵抗性品種の利用、殺線虫剤の利用等を有効に組み合わせた、総合防除技術体系の確立が求められていると言える。

サツマイモを例とすると、品種、作型、および線虫密度が線虫害に影響することが明らかとなっているので、これらの要因等を組み込んだ、総合防除モデルを想定することができる（図5-2）。今後は、第4章でも試みた、線虫密度の簡便な推定法の確立、および第3章および第4章で指摘した、栽培環境要因が線虫害に及ぼす影響についてのさらなる解明が必要であろう。稲垣（1976）も言及しているが、線虫密度から被害を推定する予測式に必要な要因が解明されることで、適切な防除法を選択することが可能になると考えられる。

現在、生産現場では「土壌消毒は基本技術」とも言われており、前作の状況や栽培環境条件には関係なく、多くの作物で毎作殺線虫剤処理が行われているのが実情である。しかし、このような防除法は過剰である場合が少なくなく、総合防除技術を導入することにより、殺線虫剤処理の量や回数を削減できる可能性がある。加えて総合防除技術は、個々の防除技術の寿命を長引かせるのに有効である。線虫は、単一の方法による防除に対しては、将来抵抗性あるいは耐性を獲得する可能性があり、その防除技術の効果が低下することが予測される。従って、殺線虫剤および耕種的防除のどちらにおいても、単一の防除手段に依存するのは望ましくない。実際に第2章で述べたように、線虫抵抗性品種の連作は容易に抵抗性打破個体群の発生・増殖を引き起こす可能性がある。

作物の生産性は、作物の遺伝子（G）、作物にとっての環境（栽培技術を含む）（E）、お

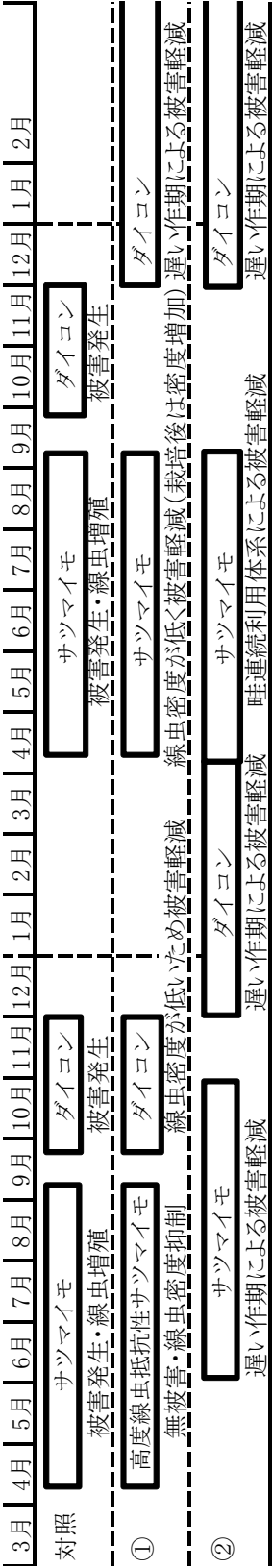


図5-1 耕種的手法を利用した線虫害軽減型体系

サツマイモの品種はコガネセンガンを想定した。対照：サツマイモを4月から9月にかけて栽培し、その直後にダイコンを栽培、①：隔年の高度線虫抵抗性品種の栽培とダイコンの作期移動、②：サツマイモの作期移動、ダイコンの作期移動、および畦連続利用体系による栽培。

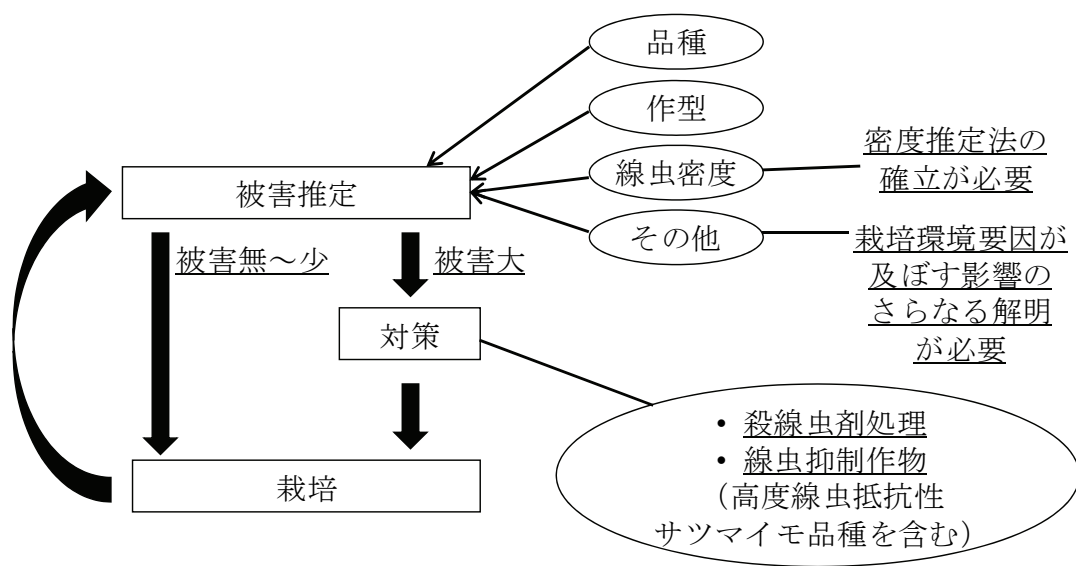


図5-2 サツマイモにおける線虫の総合防除モデル

よびそれらの交互作用により決定される（中川 2009）。作物の線虫害発生は、これらに加えて、線虫の遺伝子が関与する、いわば3元のGE交互作用が発生する複雑な問題である。しかし、ジャガイモ（*Solanum tuberosum* L.）におけるジャガイモシストセンチュウ（*Globodera rostochiensis* (Wollenweber)）の防除（山田 1992）や、ダイコンにおけるキタネグサレセンチュウ（*Pratylenchus penetrans* (Cobb)）の防除（近岡・大林 1992）では、多面的な検討の結果、総合防除技術体系が提案されるに至っている。サツマイモのネコブセンチュウ害についても、被害に関係する要因を着実に解明していくことで、総合防除技術体系を開発することが可能であろう。

摘 要

典型的な日本の暖地畑作地帯である南九州地域（宮崎県および鹿児島県）では，夏季の基幹作物としてサツマイモ（*Ipomoea batatas* (L.) Lam.）が栽培され，秋冬季に露地野菜が栽培されている．この作物の組みあわせは農家にとって収益性が高いが，ネコブセンチュウ（*Meloidogyne* spp.）は双方に甚大な被害を引き起こす．収益の確保と持続性を両立させるには，現在の生産体系を維持しながら線虫害の軽減が可能な，新しい技術が望まれる．そこで，本研究ではいくつかの耕種的手法による，暖地畑作物の線虫害軽減法の開発を試みた．

1. サツマイモの線虫抵抗性の品種間差を利用した線虫密度抑制

夏季サツマイモー秋季ダイコン（*Raphanus sativus* L.）二毛作体系に線虫抵抗性サツマイモ品種を導入し，線虫密度抑制と複数作の線虫害軽減を試みた．2003年から2006年にかけて，3種の作付体系に殺線虫剤処理の有無を加え，全6体系の圃場試験を実施した．2003年から2005年は，高度線虫抵抗性品種と中程度線虫抵抗性品種を隔年で栽培する線虫抑制型2体系と，線虫感受性品種の「高系14号」と中程度線虫抵抗性品種を隔年で栽培する線虫増殖型1体系で試験を実施した．2006年は全体系で「高系14号」を栽培し，前3年間の線虫抑制効果を評価した．高度線虫抵抗性品種の導入により線虫密度は低下し，線虫抑制型体系では低密度が維持された．「高系14号」では試験を通じて塊根に線虫害が観察されたが，他の品種では観察されなかった．ダイコンの線虫害は殺線虫剤処理後，もしくは，高度線虫抵抗性品種栽培後作で軽減された．「高系14号」を栽培することにより，高度線虫抵抗性品種導入後や殺線虫剤処理後でも線虫密度は上昇した．さらに，以上の試験に関連し，最近育成されたいくつかの品種が高度線虫抵抗性を持つことが確認された．また，線虫感受性品種の間では，「高系14号」に比べ「コガネセンガン」で，塊根の線虫害が発生しにくいことが，ポット試験および圃場試験で示された．この結果は，被害許容密度がきわめて低いと考えられる「高系14号」と比較して，耕種的手法による線虫害軽減技術の活用には，「コガネセンガン」が適していることを示している．

2. サツマイモの栽培環境が線虫密度および線虫害に及ぼす影響

(1) 作型、マルチの種類、および前作ダイコンが線虫密度およびサツマイモの線虫害に及ぼす影響

4月挿苗の透明ポリマルチ栽培、5月挿苗の黒ポリマルチ栽培、および6月挿苗の無マルチ栽培の三つの作型がサツマイモの線虫害に及ぼす影響を比較したところ、遅い時期の作型では挿苗時の線虫密度および線虫害が減少した。次に、線虫密度条件が同一である同一作期で、マルチの種類が線虫害に及ぼす影響を検討したところ、透明ポリマルチ栽培および黒ポリマルチ栽培に比べ、地温が低い白黒ダブルポリマルチ栽培および無マルチ栽培で線虫害が軽減され、地温が線虫害の発生程度に影響することが示唆された。また、ダイコンの作期はダイコンの線虫害に影響を及ぼすが、ダイコン栽培の有無・作期は、後作サツマイモ栽培前の線虫密度およびサツマイモの線虫害には、ほとんど影響しないことが示された。

(2) 畦連続利用体系が線虫密度およびサツマイモの線虫害に及ぼす影響

冬季ダイコンー夏季サツマイモ二毛作の畦連続利用体系（複数作物を同一畦で連続して栽培する体系）では、慣行の耕耘・畦立て体系と比較して、サツマイモの線虫害が軽減された。ダイコン収穫時の線虫密度は畦内上層部位で低かった。慣行の耕耘・畦立て体系では、サツマイモ栽培前の耕耘・畦立てにより畦内上層部位の線虫密度が増加する傾向が認められた。耕耘・畦立てにより線虫害は増加したが、ダイコン栽培の影響は不明瞭であった。これらの結果は、畦連続利用体系はサツマイモの線虫害軽減に有効であることを示している。

3. ベルマン法と植物検定法を用いた線虫密度およびサツマイモの線虫害の推定

ベルマン法と植物検定法の二つの線虫密度推定法を用いて、ある一圃場のサツマイモの線虫害を評価した。どちらの方法で推定された線虫密度も、無被害塊根率（無被害塊根重/全塊根重×100（%））と有意な負の相関を示した。植物検定法は簡便であり、低密度条件における線虫密度の推定に適していた。ただし、供試圃場で得られた回帰式を他

の圃場・年次では適用できない場合も存在した．このことから，線虫害の発生には，将来解明が必要な，未解明の要因が影響していることが示唆される．

本研究では，いくつかの耕種的手法が，暖地畑作物のネコブセンチュウ害軽減に効果的であることが明らかになった．これらの知見は，新しい線虫抑制型作付体系や，暖地畑作物の線虫に対する総合防除技術の開発に利用することができる．

引用文献

- 荒城雅昭 1982. ネコブセンチュウ汚染圃場におけるサツマイモ塊根部異常症の発生経過. 九病虫研会報 28:223-224.
- 荒城雅昭・飯塚隆治 1991. サツマイモネコブセンチュウによるダイコンの被害およびD-D剤の防除効果. 日線虫誌 21:53-54.
- Belair, G. and G. Boivin 1988. Spatial pattern and sequential sampling plan for *Meloidogyne hapla* in muck-grown carrots. *Phytopathology* 78:604-607.
- Cervantes-Flores, J. C., G. C. Yencho and E. L. Davis 2002. Host reactions of sweetpotato genotypes to root-knot nematodes and variation in virulence of *Meloidogyne incognita* populations. *Hortscience* 37:1112-1116.
- Chandra, P., R. Sao, S. K. Gautam and A. N. Poddar 2010. Initial population density and its effect on the pathogenic potential and population growth of the root knot nematode *Meloidogyne incognita* in four species of Cucurbits. *Asian J. Plant Pathology* 4:1-15.
- 千吉良敦史・高野幸成・鈴木健司 2012. 線虫対抗植物及び抵抗性サツマイモ品種が後作サツマイモに及ぼす影響 (第2報). 園学研 11:132.
- 近岡一郎・大林延夫1992. キタネグサレセンチュウの総合防除. 線虫研究の歩みー日本線虫研究会創立20周年記念誌. 中園和年編. 日本線虫研究会, つくば市. 290-294.
- Davis, R. F. and O. L. May 2003. Relationships between tolerance and resistance to *Meloidogyne incognita* in cotton. *J. Nematol.* 35:411-416.
- Eo, J., T. Nakamoto, K. Otobe and T. Muzukubo 2007. The role of pore size on the migration of *Meloidogyne incognita* juveniles under different tillage systems. *Nematology* 9:751-758.
- Evans, A. A. F. and R. N. Perry 2009. 9 Survival mechanisms. *In: Root-knot Nematodes.* (Perry, R. N., Moens, M. and Starr, J. L., eds.), CAB International, Oxfordshire. 201-222.

- Fortnum, B. A., D. R. Decoteau and M. J. Kasperbauer 1997. Colored mulches affect yield of fresh-market tomato infected with *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. 29:538–546.
- 福永求・岩堀英晶 2002. 線虫抵抗性原料用サツマイモとの輪作による青果用サツマイモのネコブセンチュウ密度抑制. 九病虫研会報 48:64–67.
- Goodell, P. B. and H. Ferris 1989. Influence of environmental factors on the hatch and survival of *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. 21:328–334.
- 後藤昭 1976. 日本の暖地・亜熱帯の植物寄生性線虫の概要. 九農試研究資料 54:1–61.
- 後藤昭・佐野善一・皆川望 1973. 有効積算温度によるサツマイモネコブセンチュウの侵入時期別発生予察. 九病虫研会報 19:124–128.
- Gugino, B. K., J. W. Ludwig and G. S. Abawi 2007. An on-farm bioassay for assessing *Meloidogyne hapla* infestations as a decision management tool. Crop Protection 27:785–791.
- 萩谷俊一 1991. 深耕に伴うネコブセンチュウの垂直分布と移動. 応動昆大会講演要旨 35:329.
- 日高醇・田中勝利 1967. サツマイモネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita* var. *acrita* Chitwood) のふ化状態と寄主体侵入に及ぼす温度の影響. 九病虫研会報 13:7–9.
- 市来秀夫・田上三夫・草野秀 1973. 南九州火山灰畑土壌の肥沃度増進に対する磷酸資材およびプラスチックマルチの効果. 九州農試報告 16:649–668.
- 生駒泰基・木方展治・今園支和・桃木徳博 1997. 南九州畑作地帯における作付体系の現状について—都城市月之原台地の調査事例より—. 日作九支報 63:69–72.
- 稲垣春郎 1976. 線虫の総合防除. 植物防疫 30:119–122.
- 稲垣春郎・百田洋二 1983. 線虫抵抗性サツマイモ品種によるサツマイモネコブセンチュウの防除とその効果の持続性. 関東東山病虫研会報 30:183–184.
- 猪野誠・篠原繁幸・屋敷隆士 1985. 千葉県におけるカンショ立枯症状の発生実態と発生条件. 千葉農試研報 26:25–37.

- 猪野誠・鈴木一男 1999. サツマイモに対する線虫対抗植物の導入効果. 日作関東支報 14:52-53.
- 伊藤賢治 2004. 4. 1. 3. 卵嚢着生数. 線虫学実験法編集委員会編, 線虫学実験法. 日本線虫学会, つくば. 104-105.
- 伊藤賢治・水久保隆之・渡邊貴由・皆川望 2004. ゴボウえ死斑によるキタネグサレセンチュウ圃場密度の推定とニンジンの被害予測への応用. 中央農研研報 4:17-24.
- 岩堀英晶 2010. 九州沖縄地域における有害線虫の分類と地理的分布. 植物防疫 64:239-246.
- 岩堀英晶・佐野善一・小川哲治 2000. 九州・沖縄地域のサツマイモおよびサトイモ圃場における主要有害線虫 1. 中南部九州（熊本県・宮崎県・鹿児島県）における調査とDNA解析による効率的な線虫種判別法の開発. 九病虫研会報 46:112-117.
- 岩田岩保 1983. 暖地畑作付体系と生産力向上技術. 九州農業研究 45:12-14.
- Jatala, P. and C. C. Russell 1972. Nature of sweet potato resistance to *Meloidogyne incognita* and the effects of temperature on parasitism. J. Nematol. 4:1-7.
- Johnson, A. W., C. C. Dowler, N. C. Glaze and Z. A. Handoo 1996. Role of nematodes, nematicides, and crop rotation on the productivity and quality of potato, sweet potato, peanut, and grain sorghum. J. Nematol. 28:389-399.
- Johnson, A. W. and R. E. Motsinger 1990. Effects of planting date, small grain crop destruction, fallow, and soil temperature on the management of *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. 22:348-355.
- 門脇正行・大木詩子・河原克明・安田登・山根智子 2009. 地温がサツマイモ塊根の生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 78 (別2) :210-211.
- 甲斐由美・中澤芳則・持田秀之・佐野善一・山川理 2002. 抵抗性サツマイモ系統によるサツマイモネコブセンチュウ抑制効果の指標植物を用いた評価. 育種学研究 4:301.
- 梶本明・江藤博六 1977. ポリマルチの連用が作物の生育収量におよぼす影響. 九州農業研究 39:43.
- 菊川誠士・坂井健吉 1969. 甘しょにおける線虫抵抗性品種の育成方法に関する研究. 九

- 農試彙報 14:365－397.
- 小林義明・深沢永光 1965. 早堀甘しょにおけるネコブセンチュウの防除要否の判定について. 関西病虫研会報 7:89.
- Koenning, S. R., S. A. Walters and K. R. Barker 1996. Impact of soil texture on the reproductive and damage potentials of *Rotylenchulus reniformis* and *Meloidogyne incognita* on cotton. J. Nematol. 28:527－536.
- Komiyama, A., Z. Sano, T. Murata, Y. Matsuda, M. Yoshida, A. Saito and A. Okada 2006. Resistance to two races of *Meloidogyne incognita* and resistance mechanism in diploid *Ipomoea trifida*. Breed. Sci. 56:81－83.
- 近藤鶴彦 1972. サツマイモの品種がサツマイモネコブセンチュウの増殖に及ぼす影響. 日線虫誌 2:16－19.
- 古賀成司 1978. 土壌線虫の耕種的防除法に関する研究 第5報 ネコブセンチュウの生存に及ぼす酸素と温度の影響. 九病虫研会報 24:148－150.
- 古賀成司 1992. 九州の線虫. 線虫研究の歩み－日本線虫研究会創立20周年記念誌. 中園和年編. 日本線虫研究会, つくば市. 330－333.
- 古賀成司 1995. 施設野菜の線虫防除の現状と展望. 日線虫誌 25:113－120.
- 小柳徹・今井修・吉田潔充 1998. 殺線虫剤ホスチアゼートの開発. 日農薬誌 23:174－183.
- 上妻道紀・江畑正之 1981. 甘しょの多収技術確立に関する研究 第1報 ポリマルチ・早植え条件での品種特性. 九州農業研究 43:45－46.
- 久保田哲史・金岡正樹・後藤一寿 2009. 第2章 需要構造変動下の南九州畑作農業の変容と模索. 福田晋編, 共生農業システム叢書 第6巻 西日本複合地帯の共生農業システム－中四国・九州. 農林統計協会, 東京. 64－106.
- 蔵之内利和・中村善行・高田明子・田宮誠司・中谷誠・熊谷亨 2010. サツマイモ蒸切干加工用品種の収量・品質関連形質に及ぼすマルチ被覆および気象の影響. 日作紀 79:491－498.
- Lawrence, G. W., C. A. Clark and V. L. Wright 1986. Influence of *Meloidogyne*

- incognita* on resistant and susceptible sweet potato cultivars. J. Nematol. 18:59–65.
- Lorenzo, F. D., S. Degl'Innocenti, A. Ruocco, L. Silengo and R. Cortese 1977. Mutagenicity of pesticides containing 1,3-Dichloropropene. Cancer Res. 37:1915–1917.
- 馬門克明 2010. 焼酎原料用サツマイモの畝立同時施肥・施薬作業技術 同時作業により省力・低コスト化. 機械化農業 3108:21–24.
- Makumbi-Kidza, N. N., P. R. Speijer and R. A. Sikora 2000. Effects of *Meloidogyne incognita* on growth and storage root formation of Cassava (*Manihot esculenta*). Suppl. to the J. Nematol. 32:475–477.
- マルチ栽培研究会 1995. 第4章 マルチフィルムの種類と、その特性・利用. マルチ栽培研究会編, マルチ栽培研究会30年史. マルチ栽培研究会, 市原. 80–88.
- McSorley, R. 2001. Multiple cropping systems for nematode management: a review. Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc. 60:132–142.
- McSorley, R., K. H. Wang, N. Kokalis-Burelle, and G. Church 2006. Effects of soil type and steam on nematode biological control potential of the rhizosphere community. Nematropica 36:197–214.
- Min, Y. Y., K. Toyota, K. Goto, E. Sato, S. Mizuguchi, N. Abe, A. Nakano and E. Sawada 2011. Development of a direct quantitative detection method for *Meloidogyne incognita* in sandy soils and its application to sweet potato cultivated fields in Tokushima prefecture, Japan. Nematology 13:95–102.
- 皆川望 1976. サツマイモネコブセンチュウによるカンショ農林1号の被害. 九病害虫研究会報 22:121–123.
- 皆川望 1978. サツマイモネコブセンチュウのほ場における発生経過と密度推定法. 植物防疫 32:247–252.
- 皆川望・相場聡・片山勝之・三浦憲蔵 2004. 夏季マルチ処理による露地太陽熱処理の線虫密度低減効果. 中央農研研報 4:25–34.

- 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6報 抵抗性品種の効果及び被害許容密度の設定. 北農 64 : 66-72.
- 水越亨・山田英一・高倉重義・山田進 1995. 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 I. 発生実態および簡易診断法. 北農 62 : 50-55.
- 水久保隆之・清水啓・相場聡・伊藤賢治・奈良部孝 2004. 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 との組みあわせ効果の検討. 中央農研研報 4:1-16.
- 水久保隆之・竹原利明 2005. 線虫と土壌病害の防除. 植物防疫 59:471-475.
- 持田秀之 2000. 畑作付体系の現状と今後の展開方向. 日作紀 69 (別2) :388-391.
- Moens, M., R. N. Perry and J. L. Starr 2009. 1 *Meloidogyne* species - a diverse
group of novel and important plant parasites. *In*: Root-knot Nematodes. (Perry,
R. N., Moens, M. and Starr, J. L., eds.), CAB International, Oxfordshire. 201
-222.
- 百田洋二・上田康郎・大島康臣 1988. 線虫によるサツマイモ塊根ひび割れ症発現の品種
間差異. 関東東山病虫研会報 35:209-210.
- 中川博視 2009. 作物生産性を決めるのは遺伝子か, 環境か. 日作紀 78 (別2) :386-387.
- 中園和年・古賀成司 1991. 黒ボク地帯のサツマイモ圃場におけるサツマイモネコブセン
チュウの垂直分布と燻蒸剤処理効果. 日線虫誌 21 : 49-52.
- 中園和年・佐野善一・荒城雅昭 1986. 生育初期サツマイモ畑における主要線虫の深度別
密度消長. 日線虫誌 16 : 56-63.
- 中谷誠・小柳敦史・渡辺泰・古明地通孝 1989. サツマイモ苗の発根に及ぼす地温の影
響 : 第2報 苗の発根最適地温並びに低地温での発根能力の品種間差異. 日作紀 58:35
-41.
- 奈良部孝 2004. 各論1 ネコブセンチュウ —*Meloidogyne*属—. 日本植物防疫協会編,
線虫の見分け方. 日本植物防疫協会, 東京. 11-16.
- Niimi, H., K. Otsuka, T. Ishii, K. Adachi and T. Kobayashi 2006. Control of root-knot
nematode injury on table-use sweetpotato by the treatment of solar heat

- disinfection. 2nd Japan-China-Korea workshop on sweetpotato “Innovative technologies for food, resources and environment.” National agricultural research center for Kyushu Okinawa region, NARO. Koshi, Kumamoto. 92–93.
- 新美洋・鈴木崇之・久保寺秀夫 2011. 焼酎廃液濃縮液を活用した春ダイコンー焼酎原料用サツマイモ有機畦連続使用栽培. 九農研発表要旨集 74:26.
- 西原悟 2010. 2. III章 サツマイモの生産と普及 2節 栽培・貯蔵 (3) 主要地域における栽培 オ 南九州 (鹿児島, でん粉および焼酎原料用). 財団法人いも類振興会編, サツマイモ事典. 財団法人いも類振興会, 東京. 175.
- 西澤務 1973. 作物の線虫害とその評価. 植物防疫 27:451–458.
- 西澤務 1974. 抵抗性サツマイモ品種に寄生増殖するサツマイモネコブセンチュウの一系統と系統識別のための2, 3の試み. 日線虫誌 4:37–42.
- 農林水産省大臣官房統計部 2011. 平成22年耕地及び作付面積統計 (併載 平成18年～21年累年統計). 220–221.
- 農林水産省生産局生産流通振興課 2010. いも・でん粉に関する資料. 38–39.
- Ohba, K., Y. Fujita and K. Hirooka 1982. Effects of the storage temperature of soil on number of *Meloidogyne incognita* larvae extracted by Baermann funnel method. Jpn. J. Nematol. 11:1–6.
- 及川一也・中南真理子・赤坂安盛・作山一夫 1993. ダイコン栽培におけるキタネグサレセンチュウの土壤中密度と被害の関係. 東北農業研究 46:273–274.
- 岡本好一・三井康 1977. サツマイモネコブセンチュウの寄生性に対する温度の影響. 日線虫誌 7:10–14.
- 大崎憲生・福地俊樹 2010. 新規線虫防除剤イミシアホス (ネマキック) 粒剤の特性と使い方. 植物防疫 64:333–337.
- Overstreet, C. 2009. Chapter 9 Nematodes. *In*: The Sweetpotato. (Loebenstein, G. and Thottappilly, G. eds.), Springer Science+Business Media, New York. 135–159.
- 小柳敦史・中谷誠・渡辺泰 1987. サツマイモ塊根裂開症の発症要因に関する研究. 日作紀 56:190–197.

- Piedra-Buena, A., J. A. Lopez-Perez, M. A. Diez-Rojo, L. Robertson, I. Castro-Lizazo and A. Bello 2011. Screening of three sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars for resistance to different virulence groups of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) under controlled conditions. *Crop Protection* 30:134–140.
- Roberts, P. A., S. D. Van Gundy and H. E. McKinney 1981. Effects of soil temperature and planting date of wheat on *Meloidogyne incognita* reproduction, soil populations, and grain yield. *J. Nematol.* 13:338–345.
- 三枝敏郎 1964. 冬季圃場のネコブ線虫の保温検出—ネコブ線虫の発生予察法. 植物防疫 18:45–48.
- 鮫島吉廣 1992. 焼酎製造におけるサツマイモの諸問題. 農業技術 47:252–256.
- 佐野善一 1978. サツマイモネコブセンチュウ幼虫の活動性に及ぼす低温の影響. 九病虫研究会報 24:144–147.
- 佐野善一 1988. 夏播きニンジンにおけるサツマイモネコブセンチュウの密度と被害. 九病虫研究会報 34:127–130.
- 佐野善一 1990. 九州中部平地におけるサツマイモネコブセンチュウの越冬経過. 日線虫誌 20:8–17.
- 佐野善一 1994. サツマイモ肥大初期におけるサツマイモネコブセンチュウの寄生状況. 九病虫研究会報 40:155.
- 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 28:175–193.
- 佐野善一 1997. 黒ボク土壌の団粒構造がサツマイモネコブセンチュウ2期幼虫の生存に及ぼす影響. 土と微生物 49:9–16.
- 佐野善一 2004. 2. 1. 1. ベルマン法. 線虫学実験法編集委員会編, 線虫学実験法. 日本線虫学会, つくば. 87–88.
- 佐野善一・岩堀英晶 2001. 4種ネコブセンチュウのサツマイモに対する寄生と増殖. 日線虫誌 31:37–42.
- 佐野善一・岩堀英晶・立石靖・甲斐由美 2002. サツマイモ品種・系統のサツマイモネ

- コブセンチュウ個体群に対する抵抗性の違い. 日線虫誌 32:77-86.
- 佐々木修・西原英典・津曲雄治・下田代智英 2004. カンショの塊根の肥大と形状の成立要因—塊根形状の異なる2品種の比較—. 日作紀 73:65-70.
- Shibuya, M. 1952. Studies on the varietal resistance of sweet potato to the root-knot nematode injury. Memo. Fac. Agric. Kagoshima Univ. 1:1-22.
- 静岡県農業試験場 1960. 昭和34年度土壌病虫害防除改善試験成績 II ネコブセンチュウの被害に関する試験 1. 秋作物の被害解析. 静岡県農試資料 435:6-11.
- Stirling, G. R., N. V. Halpin and M. J. Bell 2011. A surface mulch of crop residues enhances suppressiveness to plant-parasitic nematodes in sugarcane soils. Nematropica 41:109-121.
- 鈴木崇之・岩堀英晶・安達克樹・小林透 2013. 作型, マルチの種類および前作ダイコンがサツマイモのネコブセンチュウ害に及ぼす影響. 日作紀 (印刷中).
- Suzuki, T., T. Kobayashi, K. Adachi, H. Mochida, H. Iwahori, Y. Tateishi and K. Uesugi 2012. Effect of introducing nematode-resistant sweet potato cultivars on crop productivity and nematode density in sweet potato-radish double-cropping systems. Plant Prod. Sci. 15:48-56.
- 田渕尚一・坂本敏 1983. カンショ品種のサツマイモネコブセンチュウ抵抗性と線虫密度との関係. 九病虫研会報 29:126-129.
- 玉田ゆみ子・赤坂安盛 1991. ネグサレセンチュウの増殖と土壌環境要因. 東北農業研究 44:141-142.
- Tanaka, S. 1987. Utilization of upland field and development of new technology in Japan. ASPEC, Food and fertilizer technology center ed., Extension bulletin. Taipei city, Taiwan. 265: 25-35.
- 樽本勲 1992. サツマイモのネコブセンチュウ抵抗性品種の育種. 線虫研究の歩み—日本線虫研究会創立20周年記念誌. 中園和年編. 日本線虫研究会, つくば市. 282-285.
- Tateishi, Y. 2003. Increase of virulent *Meloidogyne incognita* populations on a resistant sweetpotato cultivar, Beniotome. Sweetpotato Res. Front 16: 4.

- Tateishi, Y., Z. Sano, H. Iwahori, K. Uesugi, M. Katsura and M. Gau 2008. Suppression of root-knot nematode damage to succeeding sweet potato by summer-sown cultivation of an oat variety, “Tachiibuki”. *Jpn. J. Nematol.* 38: 1–7.
- 立石靖・佐野善一・佐藤健次・小林良次・服部育男・松岡秀道 2003. ギニアグラス新品種「ナツコマキ」のサツマイモネコブセンチュウとアレナリアネコブセンチュウに対する抑制効果. *日線虫誌* 33:81–83.
- 鳥越博明 1992. 黒ボク土壌での線虫対抗植物の検索. *九州病害虫研究会報* 38:105–108.
- 津野幸人・藤瀬一馬 1964. 甘藷の乾物生産に関する研究：第3報 養分吸収と乾物生産との関係. *日作紀* 32:297–300.
- 内村力 1975. マルチ条件下における甘しょの生育収量の変化と養分吸収ならびに2・3の土壌環境要因について. *鹿児島県農試研報* 3:1–11.
- 内村力・今村実・宮下茂樹 1968. 南九州における畑夏作物のマルチ栽培に関する研究：第1報 主要夏作物のマルチ効果について. *日作九支報* 31:61–63.
- 上田康郎 1995. サツマイモのネコブセンチュウ防除の現状と展望. *日線虫誌* 25:106–112.
- 上田康郎・小川奎・千葉恒夫・渡辺健 1986. サツマイモにおけるネコブセンチュウ抵抗性品種作付け跡地での被害軽減効果. *関東東山病虫研会報* 33:229–230.
- 上田康郎・小川奎・渡辺健・戸嶋郁子・白石肇 1987. サツマイモネコブセンチュウに対するサツマイモの品種並びに系統の抵抗性. *関東東山病虫研会報* 34:192–193.
- 浦上敦子・森下昌三・廣兼久子・佐藤文生・徳田進一・東尾久雄 2005. エダマメ栽培における高地温と抵抗性ダイズによるダイズシストセンチュウの増殖抑制. *園学研* 4:219–223.
- 和田さと子・藤野智絵・豊田剛己・岡本保 2008. 1, 3-ジクロロプロペン, クロルピクリン及び太陽熱による土壌消毒がセルロース分解能及び硝化菌に及ぼす影響. *土と微生物* 21:21–31.
- Wheeler, T. A., K. R. Barker and S. M. Schneider 1991. Yield-loss models for tobacco

- infected with *Meloidogyne incognita* as affected by soil moisture. J. Nematol. 23:365–371.
- 山田英一 1992. 北海道におけるジャガイモシストセンチュウの総合防除. 線虫研究の歩み—日本線虫研究会創立20周年記念誌. 中園和年編. 日本線虫研究会, つくば市. 286–289.
- 山田英一・橋爪健・高橋穰・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およ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.
- 山田英一・河合勝 2008. 北海道におけるゴボウのキタネグサレセンチュウによる被害と耕起法の関係について. 日線虫誌 38:19–33.
- 山下正隆 2003. サツマイモの根系形成に及ぼすサツマイモネコブセンチュウの影響. 根の研究 12:115–118.
- 横尾多美男・阿部恭洋・大坪和昭 1959. サツマイモネコブセンチュウの生態に関する2, 3の知見. 九病虫研会報 5:74.
- 吉岡秀樹・坂本真一・加勇田誠 1989. 食用カンショのマルチ栽培用新素材の特性と効果. 九州農業研究 51:38.

Summary

Title: Studies on the cultural methods for the reduction of root-knot nematode damage to crops in warm upland farming

In the southern region of Kyushu (including Kagoshima and Miyazaki prefectures), an area of typical upland farming in Japan, sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) is a major summer crop, and vegetables are cultivated in fall and winter. This combination is profitable for farmers; however, root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) can cause severe damage to these crops. To ensure compatibility with earnings and sustainability, new methods are required to reduce crop damage under the current production systems. Accordingly, cultural methods designed to reduce nematode damage to crops in upland farming were examined.

1. Suppression of nematode population density using sweet potato cultivars with different nematode resistance

The suppression of nematode population density and of damage to multiple crops by introducing nematode-resistant sweet potato cultivars in summer sweet potato and fall radish (*Raphanus sativus* L.) double-cropping systems were investigated. Three cropping systems with and without nematicide treatment (6 systems in total) were examined from 2003 to 2006. In two nematode-suppressive cropping systems, highly nematode-resistant cultivars and moderately nematode-resistant cultivars were respectively cropped in alternate years from 2003 to 2005, beginning with the former or the latter. In the non-nematode-suppressive cropping system, a nematode-susceptible cultivar, 'Kokei No. 14' (K14), and a moderately nematode-resistant cultivar were cropped in alternate years from 2003 to 2005, beginning with the former. In all cropping systems, K14 was cropped in 2006 to assess

the nematode-suppressive effect of the preceding 3 years' cropping. Introduction of highly nematode-resistant cultivars to the cropping system decreased the nematode density, and the low density was maintained in the nematode-suppressive cropping systems. The tuberous roots of K14 were consistently damaged; however, the tuberous roots of the others cultivars remained uninjured. The damage to radish decreased after nematicide treatment and after cropping of highly nematode-resistant cultivars. The nematode population density, however, recovered during the cropping of K14 even after cropping of highly nematode-resistant cultivars or after nematicide treatment. In association with the experiment, it was confirmed that some recent sweet potato cultivars have high nematode resistance. In addition, the results of pot and field experiments showed that among the nematode-susceptible cultivars, the damage to 'Koganesengan' was less severe than that to K14. This result indicates that 'Koganesengan' is more suitable than K14 for the reduction of damage using cultural methods, because the tolerable pest density for K14 is probably very low.

2. Influence of growth environments on nematode density and damage in sweet potato

(1) Influence of cropping type, mulch materials, and preceding radish cropping on nematode density and damage in sweet potato

Among three cropping types, namely, cropping with transparent polyethylene mulch and planting in April, cropping with black polyethylene mulch and planting in May, and cropping without mulch and planting in June, the nematode density at the planting of sweet potato and damage were reduced in the late-cropping type. Damage was reduced in the cropping with white and black double-layered polyethylene mulch and the cropping without mulch compared to the cropping with transparent polyethylene mulch and black polyethylene mulch under the same cropping season and the density. This suggested that soil temperature has an influence on the extent of damage. The

cropping season of radish influenced the damage to radish. However, it was shown that radish cropping or its season has little influence on nematode density before the subsequent sweet potato cropping and on the damage to sweet potato.

(2) Influence of a continuous ridge-use system on nematode density and damage in sweet potato

In a double-cropping system comprising radish in winter and sweet potato in summer with continuous ridge use (multiple crops are grown continuously on the same ridge), nematode damage to sweet potato was reduced relative to that in a conventionally tilled and ridged field system. The nematode density at radish harvest was low in the upper area of the ridge. In the conventional system, tillage and ridging before sweet potato cropping tended to increase the nematode density in the upper area of the ridge. Nematode damage was increased by tillage and ridging; however, the influence of radish cropping was not clear. These results indicate that the continuous ridge-use system is effective in reducing nematode damage to sweet potato.

3. Estimation of nematode density and damage to sweet potato by using the Baermann funnel method and a plant assay

Nematode damage to sweet potato was assessed by using two methods to estimate nematode density—the Baermann funnel method and a plant assay—from the same field data. The nematode densities estimated using both methods were significantly negatively correlated with the percentage of the yield of non-injured tuberous roots to the yield of total tuberous roots. The plant assay was easy to perform and is suitable for low-density detection. However, the regression equation from the experimental field data could not be applied in certain cases for other experimental fields and years. This suggests that unknown factors, which require further

elucidation, could influence nematode damage.

In conclusion, certain cultural methods are effective for the reducing root-knot nematode damage to crops in warm upland farming. These findings can be utilized for new nematode-suppressive cropping systems and “integrated pest management” of nematode populations in warm upland farming.

謝 辞

本研究の遂行およびとりまとめにあたっては、九州大学大学院生物資源環境科学府持続型農業生産学研究分野の安達克樹教授および岩堀英晶准教授、土壤微生物学研究分野の酒井謙二教授、および植物病理学研究分野の土屋健一教授からご指導を頂いた。

安達克樹博士を含め、九州沖縄農業研究センター畑作研究領域の皆様からは、主に作物栽培面でのご助言・ご協力を頂いた。特に小林透氏からはサツマイモの栽培管理および調査方法について、新美洋氏からは畦連続栽培法について、甲斐由美氏からは線虫抵抗性サツマイモ品種の特性についてご助言を頂いた。さらに、供試したサツマイモ品種の一部はサツマイモ育種グループから分譲して頂いた。

岩堀英晶博士を含め、九州沖縄農業研究センター旧線虫制御研究室および線虫害研究グループの皆様からは、この研究に取り組む端緒となる、線虫研究の奥深さを教えて頂いた。また、線虫の分離・計数の面でご協力頂いた。加えて作物の線虫害評価に関しては元線虫制御研究室長の佐野善一博士から、線虫の計数については岩堀英晶博士から、分譲線虫の取り扱いについては立石靖博士からご教示頂いた。畦連続栽培に関する試験結果の解析については、上杉謙太博士から重要な示唆を頂いた。

東北農業研究センター研究領域長（元九州沖縄農業研究センター上席研究官）の持田秀之氏からは、線虫抵抗性サツマイモ栽培についてご助言を頂いた。なお、線虫抑制型夏季サツマイモー冬季ダイコン二毛作体系の開発に関する試験の内容は、佐野善一博士、小林透氏、安達克樹博士、持田秀之氏、岩堀英晶博士、および立石靖博士によって開始された試験を途中から担当し、最終的に取りまとめたものである。試験開始時の諸氏のご尽力に感謝申し上げる。

静岡県農林技術研究所の小杉徹氏には、文献の入手に関してご協力を頂いた。試験の遂行および膨大な作物・土壌サンプルの調査にあたっては、九州沖縄農業研究センターの技術専門職員および契約職員の皆様の、多大な協力を頂いた。社団法人日本農業機械化協会総務部長（元九州沖縄農業研究センター研究管理監）の澤村宣志氏、および九州沖縄農業研究センター研究領域長の富樫辰志博士からは、研究期間中終始温かい励まし

を頂いた。

なお、本研究の内容は農林水産省委託プロ「ブランドニッポン4系」、農研機構交付金プロ「日本型有機農業」、および農研機構運営費交付金の支援を受け実施した。また、統計解析ソフト「SAS9.2」は、農林水産研究情報総合センター科学技術計算システムの技術提供のもとに使用した。

最後に、本研究に関する内容を学会誌に投稿した際には、編集者・査読者の方々から、とりまとめ上参考になる多くの貴重な意見を頂いた。

以上ここに記して、これらのお世話になった方々に厚く御礼申し上げる。