有害線虫の被害と対策

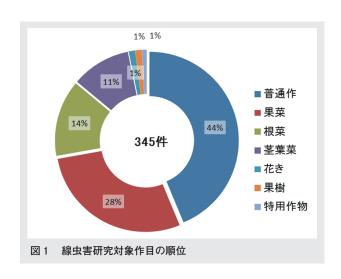
はじめに

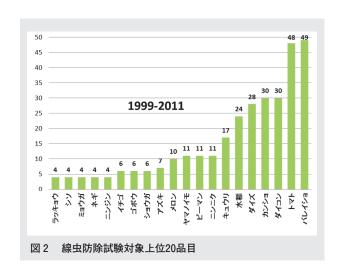
線虫による農作物の被害総額は世界で1億7300万 米ドルと見積もられている(1987年アメリカ線虫学 会調査、2013年の物価水準で金額換算)。国内に目 を転じると、農林省が昭和34年から10年間実施した 全国土壌線虫検診事業は、国内畑地の53%に甚多中 少無の5段階評価の中以上の水準で有害線虫発生が 発生していることが明らかにしている。国内農業で 生産阻害の原因となる線虫種は20種程度であるが、 世界ではおよそ4,100種の植物寄生種が報告されて いる(2006年現在)。それらの多くは日本に生息せ ず、被害も報告されていないが、侵入先の栽培環境 次第では害虫化するおそれもあり、潜在的な脅威と 言える。国内には線虫被害額の統計がない。しか し、農薬工業会の出荷統計では線虫剤の出荷金額の 53億8千万円は水稲殺虫剤の53億3百万円に匹敵 し、線虫害の作物生産への影響の大きさが計り知れ る。

1. 線虫の発生動向

1999~2012年間に都道府県の農業試験場の線虫対策試験の対象となった線虫群は、ネコブセンチュウ48%、シストセンチュウ22%(ジャガイモシストセンチュウ13%、ダイズシストセンチュウ9%)、ネグサレセンチュウ14%の順だった(2012年アンケート調査:水久保,2015)。ここではシストセンチュウが2番目に挙がったが、1999年の調査では、ネコブセンチュウ51%、ネグサレセンチュウ25%、シストセンチュウ12%(ダイズ8%、ジャガイモ4%)だった。10余年でネグサレセンチュウとシストセンチュウの順位が逆転したことが特筆される。線虫被害作物を1999~2011年間の試験の対象になった作物から推定すると普通作、果菜、根菜が全体の8割以上を占めている。残る2割弱が茎葉菜、花き、果樹、特

用作物である(図1)。首位の普通作の内訳は、いも類(バレイショ、カンショ、サトイモ)が61%、豆類(ダイズ、アズキ)が23%、禾穀類(イネのみ)が16%であった。果菜では、トマトが49%で、次いでキュウリの18%、ピーマンの11%、メロンが10%であった。これらの少数の作物が全体の9割を占めていた。根菜類ではダイコンの62%が圧倒的首位で、ゴボウの13%、ショウガの13%、ニンジンの8%、レンコン(ハス)の4%が残りを占めていた。





なお、青果用のカンショ、バレイショ、ヤマノイモ、サトイモはいも類に入れ、根菜から除外している。作物を通した順位(図2)ではバレイショとトマトがほぼ同数のトップで、次いでダイコン、カンショ、ダイズが並んでいた。1989年~1998年間では、ダイコン、トマト、ヤマノイモがトップ3であり、次いでダイズ、キュウリ、カンショ、ニンニク、バレイショの順であった。試験対象作物の順位が大きく入れ替わったことは、国内農業で重要な作物が入れ替わったことに原因する面も否定できないが、現場で大きな線虫害を被る作物の種類が入れ替わったことを暗示しているようだ。1999年以降各地の圃場で現れた新たな線虫発生動向を概観すると下記のようである。

1) ネコブセンチュウ

1966年頃までサツマイモネコブセンチュウの分布 北限は太平洋側で茨城県、日本海側では新潟県長岡 市とされていた。2012年現在では青森県の施設メロ ンでこの線虫の越冬が確認され、西北地域(つがる 市)の露地メロンでも本種の発生が認められるよう になった。アレナリアネコブセンチュウも分布の北 限は1997年まで秋田県とされていたが、2012年現在 では青森県のつくね芋で発生が確認された。両種と も分布限界が北上したことになる。この被害の拡大 は山形県のスイカや大分県のダイズで報告されてい る。

2) ネグサレセンチュウ

従来キクの線虫被害の主犯はキタネグサレセンチュウだった。1999年には宮崎県でニセミナミネグサレセンチュウの被害拡大が報告され、2008年までにこの線虫が九州各地に発生していることが分かった。新たなキク加害種のクマモトネグサレセンチュウは2007年の新種報告に先立って被害が顕在化しており、2008年に沖縄でも発見され、南九州の露地キク圃場では、むしろクマモトネグサレセンチュウの検出頻度がキタネグサレセンチュウより圧倒的に高いことが分かった(岩堀ら、2008)。この線虫による被害は山口県でも確認された。一方、鹿児島県のダイコンでは従来はあまり知られていなかったキタネグサレセンチュウによる被害が発生した。

3) シストセンチュウ

ダイズシストセンチュウの拡大の懸念が岩手県、 山形県、群馬県、奈良県、大分県などで上がった。 問題を懸念している県は概ねエダマメ用のダイズ栽 培を振興しているダイズ産地である。奈良県の山間 地や東京都のエダマメ栽培ではシストセンチュウの 被害は大きい。ジャガイモシストセンチュウは、 1972年に北海道の羊蹄山麓(後志地域の虻田郡真狩 村) に侵入し、厳しい種馬鈴薯の移動禁止措置にも かかわらず、年々分布域を拡大しており、2009年現 在でおよそ10,000haに拡大している。北海道以外で は1992年に長崎県、2003年に青森県、2008年に三重 県 (現在根絶) 2011年に熊本県で発生が確認されて いる。2015年にジャガイモシロシストセンチュウの 発生が、北海道の網走の一部圃場で確認された。イ モグサレセンチュウ:にんにく栽培の主産地である 青森県で1980年代にイモグサレセンチュウの被害が 顕在化した。1999年までに北海道と青森県で発生と 被害が確認され、2012年には岡山県で発生が報告さ れた (水久保, 2015)。

2. 加害生態

1) ネコブセンチュウ

サツマイモネコブセンチュウ、アレナリアネコブ センチュウ、キタネコブセンチュウの3種が重要で ある。代表種のサツマイモネコブセンチュウは、雌 成虫は長さ均0.6mm、幅均0.4mmの首が突き出た 球形である。本種の寄主範囲として700種以上の植 物が知られ、日本でも200種以上の寄主が確認され ている。トマト、ナス、キュウリ、メロン、スイカ などの果菜類、ニンジンなどの根菜類 (写真2)、 甘しょ、馬鈴しょ(写真3)などのいも類、レタス など葉菜類にも寄生する(写真4)。果菜類の被害 は歩留りの減少で、果実数、果実重ともに減少す る。根菜類では外観が損なわれる。雑草でも増殖で きるため、作物がない場合も圃場に線虫が残存す る。15℃前後から寄生活動を開始し、生育は25~ 30℃が適温である。夏期では25~30日で1世代を経 過し、年平均3~4世代を経過する。卵から孵化し た第2期幼虫(写真1)は、根の伸長部に好んで侵 入し、巨大細胞を誘導して定着する。根内で第3期 と第4期の幼虫期間を経て、洋ナシ形をした雌成虫 となり、根に幅1~2mmの根こぶを作る。雌成虫 は根外にゼラチン質の物質を分泌しその中に400~

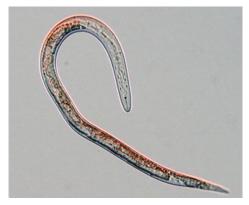


写真 1 サツマイモネコブセンチュウ第2期幼虫



写真3 馬鈴しょ塊茎のネコブセンチュウ被害



写真2 にんじんの根こぶセンチュウ被害



写真 4 レタスのネコブセンチュウ被害

800個の卵の集塊ができる。これを卵のうという。 雄成虫も僅かに出現するが、生殖に交尾は不要で専 ら単為生殖によって増殖する。越冬は卵と第2期幼 虫どちらでも可能である。本種では4つの国際寄主 レースが確立しているが、日本における実用性は低 い。日本ではサツマイモレース(後述)が設けられ ている。

2) ネグサレセンチュウ

国内に20種以上のネグサレセンチュウが生息しているが、広域に農作物に実害を与える種はキタネグサレセンチュウ、ミナミネグサレセンチュウ、クルミネグサレセンチュウ、クマモトネグサレセンチュウなど少数である。この内、根菜類のキタネグサレセンチュウの重要性が高い。メス成虫の体長は約0.5mm、体幅は約0.02mmである(写真5)。第2期幼虫から成虫まで全ステージが感染する。全国的に分布し、強い耐寒性を持つ。根菜類の岐根や寸詰まりはネグサレセンチュウの多発圃場で頻度が高

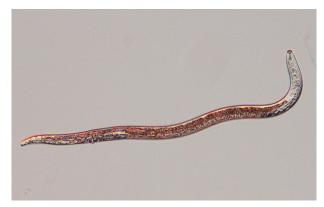


写真5 ネグサレセンチュウ雌

い。また、白斑(ダイコン)、褐斑(ナガイモ)、ヤケ症(ゴボウ)等の汚れのほかに表皮の亀裂(ニンジン)や凹凸などの商品価値に直結する被害をもたらす。キクでは加害の初期に紡錘形の褐色え死斑が根にみられるが、目立った病斑が現れない作物もある。線虫が侵入した部位からは腐生菌が侵入するので、根系全体に腐敗が拡がり、根の脱落に至る。ネ

グサレセンチュウは菌類と協同してイチゴ、サトイモの連作障害を引き起こすと考えられる。さらに、ハクサイ、キャベツ等の十字花植物の根瘤病をはじめあらゆる土壌病害の感染を助長するので、この線虫の防除は土壌病害の対策としても重要である。要防除水準は、ダイコンで1~5頭、ゴボウで4頭、ニンジンで4頭(いずれも生土20g当たり、ベルマン法)とした報告がある。

3) シストセンチュウ

シストセンチュウは寄主範囲が狭い。感染態の第 2期幼虫は根に侵入して多核質細胞という栄養輸送 組織を誘導し、その場に定着して運動性を失う。成 長して雌になると頭はまだ根内に埋もれているもの の、レモン形あるいは球形の虫体は根の外に露出す るようになる。雄も途中まで雌のような定着生活を 行うが最後の脱皮でうなぎ型の雄に変態する。雌は 雄と交尾して産卵を開始するが、体外には少ししか 産下せず、体内に数百個の卵を溜め込む。初めは白 かった体色は角皮がなめされることによって褐色~ 黒褐色に変る。この時点で雌は死亡しているのだ が、褐色の雌の遺骸がシスト(包のう)となって耐 久性と強い環境耐性を獲得し、寒暖等の物理的刺激 や農薬などの化学的刺激から卵を守る役割を果た す。シストは簡単に根から脱落し、土壌中に分散す る。シスト内の卵は既に発生を終えて孵化を待つば かりの第2期幼虫であるから、条件が整えばすみや かに一斉に孵化する。条件には温度や水分もある が、寄主になる植物の根が放出する孵化刺激物質の 役割が最も大きい。国内には4属13種のシストセン チュウが棲息する。この内、ダイズシストセンチュ ウ、ジャガイモシストセンチュウ、ジャガイモシロ シストセンチュウ、クローバーシストセンチュウの 4種が農業で特に問題となる。

ダイズシストセンチュウのシストは長さ平均 0.70mm、幅0.49mmのレモン形である。平均して 300個を蔵卵する。幼虫は温度と水があれば僅かず つ孵化するが、マメ科植物の孵化刺激物質で孵化率 が大きく高まる。その被害作物はマメ科に限られ、 ダイズ、アズキ、インゲンマメなどで被害が大き い。日本全国に分布する。ダイズおよびアズキの主産地である北海道ではこれらの栽培面積の15~20% にダイズシストセンチュウの被害が認められた。

1990年以降は10%未満に低下しているものの、圃場 によっては現在も20%台の発生率が続いている。抵 抗性大豆品種に対する線虫の寄生程度の違いにより 設けられたレースがあり、国内にはレース1、レー ス2、レース3、レース5、レース6が発生してい る。主に分布するのはレース3であり、これに抵抗 性と言われる下田不知(ゲデンシラズ)を祖先とす る抵抗性品種が多く育成されてきた。別の抵抗性遺 伝資源からスズヒメなどの強度抵抗品種も育成され たが、これを犯すレースが出現している。ダイズの 被害は「月夜病」、「萎黄病」などと呼ばれてきた。 症状は坪枯状に現れ、開花期頃から黄化と生育遅延 が目立ち始める。根が侵されるため、地上部の生育 が停滞し、開花と結実が阻害される。また、窒素固 定をする有用な根粒バクテリアの着生も妨げられ る。アズキに寄生すると落葉病を助長する。

クローバーシストセンチュウはカーネーションの 栽培で問題である。シストはレモン形をしている。 クローバーの根圏調査から分布は全国にわたること が分かった。この被害は主に長野県で発生してい る。症状は黄化、すくみ、枯死である。カーネーショ ンの品種によって被害程度が異なる可能性がある が、詳しいことは分かっていない。

ジャガイモシストセンチュウのシストは長さ平均 0.45mm、幅平均0.38mmの首が突き出た球形であ る。成熟した雌の体色が白から一時鮮やかな黄色に 変り、その後褐変したシストになることから英語の 普通名をゴールデンネマトーダという。シスト内に は200~500個の卵が保持され、それらは17年生残し たという記録があるほど長期間活性を保つ。北海道 では土壌中のシスト内で越年した卵から孵化した第 2期幼虫が5月中~下旬に根に侵入を開始し、第3 期幼虫を経てしだいに肥大する。第4期の雌幼虫の 胴体は根外に露出している。雄成虫は第4期まで雌 と同様に肥大成長するものの成虫への脱皮の段階で うなぎ型に変態する。雌より早く成熟して雌成虫と 交尾する。6月中旬頃から白色の雌成虫が出現す る。黄色の雌は7月上旬以降に出現し、8月上旬に は褐色のシストになって根から離脱する。年に1回 しか発生しない。ジャガイモの亜種や近縁種への寄 生性に基づいた5つのパソタイプ (病原型) が設け られているが、国内にはRo1のタイプのみが発生

している。このパソタイプに抵抗性を持つキタアカリなどの馬鈴しょ品種が育成され利用されている。線虫は主に根に寄生して養水分の吸収を阻害する。初期症状は葉の黄化や萎れで、7月中頃から現れ、8月中順頃には下葉から中葉まで枯れ上り、萎れた頂葉だけになる。これを毛ばたき症状という。植物が早い時期に枯れるため甚だしく減収する。寄主はナス科の馬鈴しょ、ナス、トマトが主で、チョウセンアサガオ属、トウガラシ属、トマト属、ナス属の一部の種やアカザ科のアカザにも寄生する。トマトに寄生した場合、根は肥大してコブ状になる。

ジャガイモシロシストセンチュウの形態はジャガ イモシストセンチュウと変わらず、加害生態や寄主 植物の範囲もこれとほぼ同じである。ただ、生育の 適温帯がこれよりやや低く、ふ化適温は15~18℃前 後(ジャガイモシストセンチュウでは 20℃前後)、 発育適温の範囲は8~23℃ (ジャガイモシストセン チュウでは10~25℃)である。ジャガイモシストセ ンチュウのパソタイプとは異なるが、本種にもナス 属のいくつかの種に対する寄生性の違いによって判 別されるパソタイプが設けられている。本種には ヨーロッパに分布し、南米にも共通する3タイプ (Pa1~Pa3)と南米に分布するP1A~P6Aの7 つのパソタイプがある。海外の既発生地ではこの線 虫がジャガイモシストセンチュウと混発しているこ とが多い。この状況は国内の発生地でも同様であ る。この線虫は日本国内で育成されたジャガイモシ ストセンチュウ抵抗性のジャガイモ品種に容易に寄 生し増殖できるため、ジャガイモシロシストセン チュウの抵抗性の品種の育成が課題となっている。

3. 近年の耕種的線虫防除技術の動向

2012年の調査では耕種的防除法の普及は1999年の水準より低くなっている(水久保,2015)。対抗植物は2012年調査ではネコブセンチュウをターゲットとする場合、ヤマノイモ、スイカ、葉ネギで比較的導入されていたが、1999年で導入が多かったゴボウ、ダイコン、ニンジンの導入水準は低下していた。ネグサレセンチュウをターゲットにした場合、ダイコン、ニンジン、ヤマノイモで対抗植物が比較的導入されていた。シストセンチュウをターゲットにした対抗植物はエダマメ栽培で導入されている。

抵抗性品種あるいは抵抗性台木の利用はネコブセンチュウをターゲットとして限られた作物で行われ、トマトやナスでは比較的導入が多い。甘しょでは数多くのセンチュウ抵抗性品種が育成されているが普及の水準は低いのが現状である。ネグサレセンチュウ抵抗性品種はほとんど利用されていない。シストセンチュウをターゲットとした抵抗性品種はダイズや馬鈴しょで低い水準ながら利用されている。輪作については、オクラ栽培でネコブセンチュウセンチュウ対策の導入率が高いようである。

4. 防除法の実際(対抗植物を除く)

1)農薬

線虫が発生している、あるいは発生のおそれがあ る場合は、作付け前にD-D剤などの土壌くん蒸剤で 土壌消毒するか、粒剤の線虫剤の全面散布混和が一 般的である。土壌くん蒸剤には液剤のD-D剤(テロ ン)、ソイリーン、クロルピクリン、ネマモール、 トラペックサイド油剤、キルパー、カーバム剤等が ある。ダゾメット粉粒剤(ガスタード微粒剤、バス アミド微粒剤)もくん蒸剤である。液剤の多くは 30cm間隔の千鳥打ちで土壌に深さ15cmに注入す る。深さ10cmでは効果が大きく劣る。その後、鎮 圧して注入口を塞ぎマルチで被覆しガスの散逸を防 止する。処理前に作物根の残渣をなるべく取り除く ことも大事である。原則として、くん蒸剤は地温 15℃以上の条件で使用する。それ以下の温度のとき にはガスの拡散が遅いので、くん蒸期間をすこし長 めにとる。くん蒸後はさらに1週間程度のガス抜き 期間を設けて、残留による薬害発生を避ける。クロ ルピクリン剤は消石灰などのアルカリ性肥料と反応 する。反応すると薬害を起こすおそれがあるので、 アルカリ肥料はガス抜き後に使用する。微粉剤のダ ゾメットは土壌中の水と接触してガス化する性質が あるので、過乾燥圃場では土壌を湿らせてから処理 する。湿りの目安は、土を掌で握って開いた後に 二三の土塊に割れるか割れない程度である。粒剤系 の代表的な剤は、ネマトリンエース粒剤、ネマキッ ク粒剤、バイデートL粒剤、ラグビーMC 粒剤など である。粒剤は散布が不均一だったり、混和が不十 分だったりすると、効果不足の事態を招くので丁寧 な混和作業が必要になる。液剤のガードホープ液剤 は、作物立毛中に処理できるが、処理時に作物に直 接かからないよう注意し、さらに薬剤を深く押し込 むための追加灌水(10-20L/10a)も行う。生物農薬ではパストリア水和剤がある。単体処理では効果が現れるまで時間がかかるので2、3年間は粒剤等農薬との併用が推奨される。なお、菌を殺すクロルピクリン剤との併用は禁物である。

2) 耕種防除

トマトでは現在Mi遺伝子だけが有効なネコブセンチュウ抵抗性遺伝子である。これを持つ抵抗性品種や台木は、サツマイモネコブセンチュウ、アレナリアネコブセンチュウに有効であるが、キタネコブセンチュウには効果を有さない。一方、サツマイモネコブセンチュウやアレナリアネコブセンチュウは、Mi遺伝子を持つトマト品種の連作によってMi遺伝に打ち勝つように変化する。このためトマトの抵抗性遺伝子の利用価値は事実上低い。

ナスはサツマイモネコブセンチュウの加害を被るが、この作物にはネコブセンチュウの抵抗性品種がない。しかし、台木利用についてはナスの青枯病、半枯病、半身萎凋病の病害抵抗性の植物台木に接ぎ木する方法で被害回避効果が確認されている。台木になる可能性が高いナス科の野生植物にSolanum torvumがあり、この種は半枯病や半身萎凋病の抵抗性も持つ。中央農業総合研究センターでは、本種に属する「トナシム」、「トレロ」、「トルバム・ビガー」などの台木品種に対しサツマイモネコブセンチュウ接種試験を実施し、この線虫に強い抵抗性を持つことを確認している。今後はSolanum torvumへの接木がナスのネコブセンチュウ防除手段の柱の一つになると期待される。

近年提唱されたサツマイモネコブセンチュウの甘しょレース(SPレース)は、甘しょ(サツマイモ)の5品種(農林1号、農林2号、種子島紫、エレガントサマー、ジェイレッド)を用いて判別されるレースである。SP1~SP9の9つのレースが知られる中で、SP1は寄生できる品種が最も少なく、SP4は最も多い。サツマイモネコブセンチュウのSPレースには地理的な分布に偏りがあることが知られており、熊本県以北ではSP1が多く、沖縄県には寄生できる品種が多いSP4や6が優占している(岩堀、2008)。圃場に分布するこの線虫のレースを調べることによって、作付けを予定している甘しょ品種の被害が予想でき、線虫対策の要否の判断ができる。

3) 還元消毒

施設内で行う還元土壌消毒法は、もともと北海道 立道南農業試験場がネギ根腐萎凋病防除のために開 発したものであったが、千葉県農業総合研究セン ターが暖地に適用拡大した。利点は関東以西で6~ 9月に処理でき、7-8月に限定される太陽熱土壌 消毒より適用の幅が広いことである。処理は、フス マ1t/10aを作土層(深さ15~20cm)に混和し、透 明フィルムで覆い、灌水チューブで圃場容水量以上 に灌水後、約20日間ハウスを密閉する。還元状態で 有機酸が生成する。有機酸の殺線虫効果はpHの影 響を強く受け、pHが3.0および4.0の場合、ネコブ センチュウの生存率はほぼ0%となる。土壌還元消 毒によるサツマイモネコブセンチュウの防除効果 は、消毒後の1作目まで認められる(被害度30程 度)。処理コストは慣行の薬剤(クロルピクリン、 ホスチアゼート併用)防除とほぼ同等と見積もられ ている。一方、1~2%という極低濃度のアルコー ルをハウスに処理しても、還元効果が得られ、砂糖 や糖蜜の処理も検討された。普及上の問題はコスト にあり、アルコールの場合は価格高騰が普及を妨げ ている。糖蜜等の糖類処理の還元効果による線虫防 除効果も確認されているので、コスト問題を克服で きれば普及の可能性がある。

参考文献

岩堀英晶 (2008) 九州沖縄・中国四国地域の線虫発 生事情. 農業技術63, 407-406.

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、

水久保隆之(2008)関東・甲信・北陸・東海・近畿 地域の線虫発生事情。農業技術63、399-406。

水久保隆之 (2015) 日本の線虫防除研究と防除技術の動向 - 日本線虫学会20周年記念事業:線虫防除に関するアンケート (1999~201年度)の集計-. Nematological Research (日本線虫学会誌) 45.63-76.