

2023年5月27日

有機農業として線虫類を考えるレジュメ

菊池達弥

土壌中の被害は誰しもの可能性があるため、作物の生育を阻害するような外的要因が現れた場合にはそのケアや対処が必要になります。今回は線形動物（旧袋形動物）である線虫を取り上げます。周年栽培の施設栽培などでは線虫にとって好ましい条件が備わってしまい完全な防除は難しいため、通常は殺線虫剤を使用せざるを得ません。しかし有機農業では化学合成物質は使用しないため、それ以外の方法を使ってどのような線虫対策があるのかを考察していきたいと思います。

まず線虫は、全般的に地温 10～15℃で活動開始し、20～30℃が活動の最適温度となります。最適条件下では年に 3～4 世代交代し、施設栽培やマルチ栽培のような加温条件下で世代交代は促進されてしまいます。土壌中では深さ 10～30 cm の作土中に主に生息しています。種類について一番多いのは有機物やカビ、細菌を餌とする腐生性センチュウ、他の線虫や小動物、原生動物（ゾウリムシなど）を餌にする肉食性の自活性センチュウとなります。なお、自活性センチュウやミミズの生息密度はその土壌の肥沃度と植物生産性と正の相関関係にあることも知られており、全体としての線虫は土壌の保全に大いに役立っていますので、そのため安易な農薬の使用が土壌中の植物相における健全性を損なう恐れがあります。今回取り上げようとしている農業に関係する植物寄生性のものはごく一部でしかありませんが、そのなかでもネコブセンチュウ、シストセンチュウ（シスト=cyst: 嚢胞）、ネグサレセンチュウの 3 種類を少し詳しく見ていきたいと思います。

最初にネコブセンチュウについてですが、0.5 mm 程度の幼虫が根の先端付近から侵入し、野菜の養水分を奪い水分吸収能力を低下させることで生育を阻害します。症状の進行によって全体的な生育不良、地上部の萎凋・枯れ上がり等がみられます。一度根に入ると産卵するまでは出ていかない定住型（生存期間 0.5～1.5 年）で、根にこぶ（ゴール: GALL）をもつ寄生性があり、ナス科、ウリ科、アブラナ科、マメ科など多くの作物に被害をもたらしています。日本でのネコブセンチュウの報告はこれまでに 13 種（2009 年時点）。そのうち関東では主なサツマイモネコブセンチュウは日本全国で広く分布し果菜類は被害を受けやすく根菜類も好んで寄生します。そのほかアレナリアネコブ（全世界的に分布）、キタネコブ（北海道、東北地方中心の寒冷地型。熱帯では高地のみ）の 2 種類があり加害作物が異なります。作物以外に雑草にも寄生することができるため休閑地でも生存が維持されます。判別は光学顕微鏡での観察ができるため種類の特定は比較的容易で、また、特定の寄宿主を示す個体群からわかることもあります。例えば落花生への寄宿主の有無しから区分し、また別の作物の寄生のあるなしでそのネコブセンチュウの種類が判別できたりします。

次にシストセンチュウですが、ネコブセンチュウに似て0.5 mm程度の幼虫がやはり根の先端から侵入する定住型（生存期間6～10年）です。シスト（嚢胞：交配した雌の変化形）は、根から離れ土壤中に混ざり、乾燥や低温に強い卵として越冬します。環境や薬剤への耐性が強く有効な農薬は少ないようです。春に寄生植物が出す孵化促進物質の働きで土壤中に現れ根に寄生します。その後肥大し根の表面に現れます。始めは白くのちに褐色となります。地上部では茎葉が黄化し、早期に落葉・枯死します。ダイズシストセンチュウは北海道・東北などの寒冷地に広く発生し、大豆や小豆に被害報告あり。枝豆には抵抗性がほとんどないようです。ジャガイモシストセンチュウはナス科のジャガイモ、トマト、ナスに寄生するなど、特定の作物にしか寄生しないことが特徴です。イネシストセンチュウはイネをはじめ雑穀のヒエ、イヌビエ、そしてトウモロコシへ寄生します。特に稲では現在少なくなった陸稲や畑地灌漑用水（畑水田）、乾田直播水田で問題になっていました。

最後にネグサレセンチュウですが、他と違い幼虫から成虫までいつでも根への出入りが可能な移動型（生存期間0.5～5年）で、先端でなくても柔らかい部分であれば移動・産卵することができます。その際に組織を破壊し、養水分の吸収を阻害することで黒斑、条斑、水疱症状を残します。関東以北はダイコン、ゴボウ、人参などの根菜類に被害を出すキタネグサレセンチュウ、関東以南はサツマイモやサトイモなど芋類に寄生するミナミネグサレセンチュウがあります。その他にもクルミネグサレセンチュウは露地イチゴに、クマモトネグサレセンチュウは露地キクに寄生します。北海道ではそのほかにノコギリネグサレセンチュウとムギネグサレセンチュウの報告があります。それぞれの線虫はほかの菌と複合し、つる割病、青枯病、半身萎凋病などを発症させることもあります。

栽培において、これら線虫被害にあってしまった時やその予防のために我々はどうなことができるのでしょうか。現在は主に土壌くん蒸剤が利用されていますが、使用されている成分により環境保全や安全性が懸念されていることから今後の制限が予想されています。有機農業の観点からみますと、ある特定の植物には抗線虫作用物質（別紙「線虫対抗作物例」参考）があり、線虫の種類あるいはレース（品種への寄生性が異なる線虫群）の把握が必要となりますが、それらを作付けに組み込むことで輪作の一環として土壌環境を偏らせず、栽培の健全性が保たれるとの仮定から農薬に頼らない方法も考えられます。すき込みについては、根に侵入したセンチュウの幼虫態で死滅させることを目的に、そのほか肥料成分の溶脱防止や土壌侵食防止、有害線虫密度低減などのメリットがあげられ、そもそも有機物が多い土壌中では微生物相が豊かであるため線虫の天敵も多く、相対的な線虫密度は低くなります。また、効果を上げるには根量を確保するための十分な栽培期間が必要で、およそ2か月目からのすき込みで効果は大きく、3、4ヶ月目ではあまり変化がないようです。ただし有機物をすき込むと土壌中の微生物が分解のために多くの窒素を使うため、土壌は窒素飢餓に陥りやすくなり微生物の働きは悪くなるという懸念はあります。栽培の参考としては、総合的妨害虫管理（IPM：Integrated Pest Management）、さらにより周辺環境に配慮した総合的生物多様性管理（IBM：Integrated Biodiversity Management）という考え方

もあります。また、線虫類は高温に弱いため 60°Cほどの温度であれば数分で死滅することを利用した太陽熱消毒もあります。35°C以上で効果が期待できる深さは 10~20cm です。ただしこの方法は標的となる虫や菌だけでなく土壤環境全体にも影響を与えるため得策とは言い得ぬ側面がありますが、微生物群の量は 1~3 か月かけて徐々に回復するようです。参考として農研機構から「陽熱プラス」という太陽熱消毒を栽培に取り入れた土づくりを目的としたマニュアルがでています。その他には田畑の輪換など。個別には、ネコブセンチュウの天敵として出芽細菌がありますが、これは世界中に分布が認められ 1940 年に初めて文献に登場し、土壤中を移動するネコブ第 2 期幼虫に特異的に付着して体内に侵入し、線虫の成長に合わせて増殖する細菌です。またシストセンチュウの対策としては、回収した孵化促進物質を使って宿主植物不在下で孵化させることができると寄生できる植物がないため餓死してその密度は下がるため、この原理を用いることで効果的な防除法として期待されています。ただ、そもそもこれら線虫類は、人類が特定の作物を作り続けたことによって選抜されてしまった結果と考えられますので、人為的な耕作を続けていくなれば基本的な輪作によって土壤中の環境に偏りをもたせないことが重要に思えます。また、前述したように、植物に寄生する線虫は全体から見るとわずかで、これらの線虫も含めて土壤環境にいなくてよい線虫はないと考えます。

結論として、我々は自分たちの行動に起因するかもしれない事象でさえ、関係する動物や昆虫や微生物を都合よく外敵とみしたり、一方で線虫が持つ犬よりも高い嗅覚受容体遺伝子を使ってがん検査にも使ったりするような存在です。自然界にあるそれぞれの存在は答え、と考えることができます。なぜならば、それらのほとんどは環境への対応の過程で存在するべくして存在しているように思えるからです。しかし経済に支えられた人為的行為が加わることによって、さまざまな自然的事象を見ないことにより破壊しているように思えます。私としては、やはり有機農業の観点から、対処療法的に考えるのではなく、予防原則に立って、輪作や混植、ほ場内の生物多様性を保つような方法（場合によっては草だらけにすること）で、生物相のバランスを保つところが被害を出さない結果に結びつくのではないかと考えています。

【参考文献】

- ・防除剤ネマキック粒剤パンフレット アグロカネショウ(株)
- ・土壤大事典 農文協
- ・世界最大のゴマ生産国ミャンマーにおけるゴマの線虫害の実態調査と防除法の開発 豊田剛己
- ・マメ科緑肥作物によるダイズシストセンチュウの防除効果 山田栄一(雪印種苗(株))
- ・特別講演 ネコブセンチュウの新手法による同定とわが国における分布 奈良部孝(農業研究センター) 関東東山病害虫研究会年報第 42 集(1995)

- ・線虫に関する解説 雪印種苗株式会社 HP
- ・作物を加害するセンチュウ類と薬剤によらない防除法 山田栄一（雪印種苗株）
- ・陽熱プラス実践マニュアル 農林水産省
- ・組換えナス科植物によるジャガイモシストセンチュウ孵化促進物質の生産 NEDO Channel (YouTube) ※NEDO: 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（経済産業省所属）

・線虫における主な野菜の被害（※個人調べのためあくまで参考としてください）

作物名	主な線虫（センチュウ略）	非寄主及び対抗作物
アズキ	ダイズシスト	
アスパラガス		キタネコブ、キタネグサレ
イチゴ	ネコブ、クルミネグサレ	ネコブ（サツマイモ、アレナリア）
インゲン（サイトウ）	ダイズシスト	
イネ科緑肥		キタネコブ
エダマメ	ネコブ（サツマイモ、ジャワ、キタ）、ダイズシスト	
オクラ	サツマイモネコブ	
カリフラワー	ネグサレ、テンサイシスト	
カボチャ	ネコブ	
カンショ	ネコブ、ミナミネグサレ	
キク	ネグサレ、ネコブ	
キャベツ	ネコブ（サツマイモ、ジャワ、キタ）、ネグサレ（キタ、ミナミ）、テンサイシスト	ミナミネグサレ
キュウリ	ネコブ	
ゴボウ	ネコブ、ネグサレ	
ゴマ	キマメシスト	
コンニャク	ミナミネグサレ	キタネコブ
サツマイモ		キタネコブ、ミナミネグサレ
サトイモ	ミナミネグサレ	キタネグサレ
ジャガイモ	ネコブ、ミナミネグサレ、ジャガイモシロシスト	
スイカ	ネコブ	キタネコブ
ダイコン	キタネグサレ	
ダイズ（エダマメ含む）	ダイズシスト	
タマネギ	ネコブ、キタネグサレ	
ツルムラサキ	ネコブ	
テンサイ（ビーツ）	ネコブ、テンサイシスト	キタネグサレ
トウガラシ		キタネグサレ

トウモロコシ		キタネコブ
トマト (ミニ含む)	ネコブ (サツマイモ、ジャワ、キタ)、ネグサレ (キタ、ミナミ)	
ナス	ネコブ (サツマイモ、ジャワ、キタ)、ネグサレ (キタ、ミナミ)	
ニガウリ	ネコブ	
ニンジン	ネコブ、ネグサレ	
ニンニク	イモグサレ	
ネギ	ネコブ (サツマイモ、ジャワ、キタ)、ネグサレ (キタ、ミナミ)	
ハクサイ	ネコブ (サツマイモ、ジャワ、キタ)、ネグサレ (キタ、ミナミ)	
ピーマン	ネコブ (サツマイモ、キタ)、ミナミネグサレ	ジャワネコブ、キタネグサレ
ホウレンソウ	ネコブ (サツマイモ、ジャワ、キタ)、ネグサレ (キタ、ミナミ)、テンサイシスト	
メロン	ネコブ (サツマイモ、ジャワ、キタ)、ミナミネグサレ	
ヤマノイモ	ネコブ、ネグサレ	
ラッカセイ	キタネコブ	ネコブ (サツマイモ、ジャワ)、ネグサレ (キタ、ミナミ)
レタス	ネコブ (サツマイモ、ジャワ、キタ)、キタネグサレ	ミナミネグサレ
ワタ		キタネコブ

・線虫対抗作物例

作物	商品名（販売会社：商品名ほか）	その他（略）
ソルガム（イネ科）	ラッキーソルゴーNEO（タキイ）	ネコブ（サツマイモ、キタ）
	ジャンボ（雪印・つちたろう）	サツマイモネコブ
エンバク（イネ科）	たちいぶき（タキイ、雪印；極早生）	サツマイモネコブ
	ネグサレタイジ（タキイ、カネコ）	キタネグサレ、キスジノミハムシ
	ヒットマン（カネコ；晩生）	サツマイモネコブ
	ソイルセイバー（カネコ）	キタネグサレ
	ニューオーツ（カネコ）	キタネグサレ、キスジノミハムシ
	スナイパー（雪印；早生）	サツマイモネコブ
	ヘイオーツ（雪印）	キタネグサレ、キスジノミハムシ、アブラナ科根こぶ病
越冬ライ麦（イネ科）	ライ太郎（タキイ；超極早生）	キタネコブ
	Try-1（タキイ；中晩生）	キタネグサレ
	ダッシュ（カネコ；極早生）	アブラナ科根こぶ病
	緑肥用クリーン（カネコ；極早生）	キタネグサレ
	R-007（カネコ・ウィーラー；中晩生）	キタネグサレ
クロタラリア（マメ科）	ネコブキラー（タキイ）	ネコブ、ダイズシスト
	クロタラリア（カネコ）	サツマイモネコブ
	ネマクリーン（カネコ）	ネコブ、ミナミネグサレ
	ネマキング（雪印）	ネコブ、ネグサレ、ナミイシュク、ダイズシストなど広い効果
	ネマコロリ（雪印）	サツマイモネコブ
	ネマックス（雪印）	ネコブ、ダイズシスト、ミナミネグサレ
スーダングラス（イネ科）	ねまへらそう（雪印）	キタネグサレ
ギニアグラス（イネ科）	ソイルクリーン（雪印）	サツマイモネコブ、キタネグサレ
クローバー（マメ科）	ディクシー（タキイ）d	ダイズシスト

科)		
ヘアリーベッチ (マメ科)	ウインターベッチ (タキイ)	シスト
その他	カラシナ (タキイ:いぶし菜)	サツマイモネコブ、キタネグサレ
	ゴマ	ネコブ
	マリーゴールド (タキイ:エバーグリーン)	キタネグサレ
	マリーゴールド (フレンチ)	ネコブ (サツマイモ、キタ)、ネグサレ (キタ、ミナミ)
	落花生	ネコブ (サツマイモ、アレナリア)、キタネグサレ
	アスパラガス廃棄根株	キタネグサレ
	マリーゴールド	キマメシスト

問題点

クリムソクローバーの「くれない (雪印種苗)」やヘアリーベッチの「まめ助 (雪印種苗)」など、ダイズシストセンチュウの密度は低下させるが、一方でキタネグサレセンチュウの密度を高めることも分かっていますが、商品の各ページではデメリット面の紹介はないのでその点注意が必要と思われます。