

土壌生態系における線虫の働き —特に無機態窒素の動態への関わり—

岡田 浩明
東北農業研究センター

要旨：土壌に生息する線虫は、その食性に基ついて5グループ程度に分けられる。そのうち、物質循環との関わりが強い、細菌食性線虫と糸状菌食性線虫が、有機物の分解で生じる無機態窒素の生成量におよぼす影響を調べた実験を紹介した。細菌食性線虫の実験では、土壌温度や有機物の C/N 比によらず、線虫を入れた試験区の方が入れない区より無機態窒素の生成量が増えた。糸状菌食性線虫の実験では、有機物の C/N 比の増加に伴い、線虫を入れない試験区では無機態窒素の生成量が減少したが、線虫を入れた区では減少しなかった。また、糸状菌食性線虫を入れた試験区では、線虫の増殖適温の下で窒素の生成量が最大になった。

キーワード：細菌食性線虫，糸状菌食性線虫，無機態窒素，C/N 比，温度

「線虫」と聞いて、良いイメージを浮かべる人は少ないだろう。事実、農業現場では、植物食性線虫が農作物の生産に大きな被害を与えることがある。しかし一方で、線虫が、他の土壌動物や原生動物とともに、土壌中の物質循環に関わっていることは、意外に知られていない。本稿では、こうした線虫の働きの中で、無機態窒素の動態への関わりを調べた研究を紹介する。

本論に入る前に、土壌に生息する線虫のメンバーを、食性との関連で簡単に紹介しよう (図1も参照)。「線虫」と一口に言ってもその食性はさまざまであり、物質循環への関わりが食性によって異なるからである。

- (1) 肉食性：大型で口腔に歯を持ち、他の線虫や微小動物を食べる。
- (2) 雑食性：太い口針を持ち、有機物粒子や単細胞藻類等を飲み込む。
- (3) 細菌食性：口針がなく、土壌水分中の細菌を飲み込む。3日で1世代を経過するなど増殖が速い。土壌の他、有機質堆肥中にも生息。
- (4) 糸状菌食性：口針を菌糸に突き刺して養分を吸収 (図2)。細菌食性に次いで増殖が速い。有機質堆肥にも生息。一部の種は、植物病原菌に対する防除資材として利用されつつある。
- (5) 植物食性：口針を植物根に突き刺して養

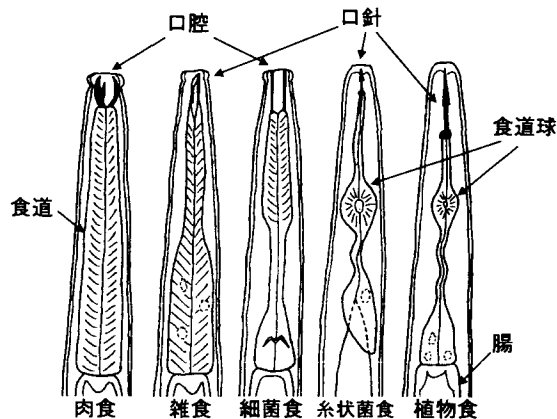


図1 線虫の前半身の形態と食性 (岡田原図)

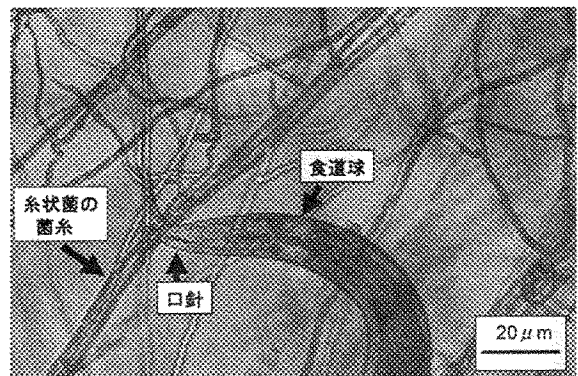


図2 糸状菌の菌糸を食べる線虫 (岡田原図)

2002年2月15日受理
*連絡先 〒960-2156 福島市荒井字原宿南50
Fax: 024-593-2155 E-mail: hokada@affrc.go.jp

分を吸収する。根の内部に進入して植物体全体の生育を阻害するネコブセンチュウ、シストセンチュウ、ネグサレセンチュウなどから、根の周辺にとどまり、根毛を摂食する程度のもので。

以上の他、動物に寄生する線虫の自由生活態も土壤中に生息する。これらの線虫のうち、物質循環に関わるとされているのは、主に、細菌食性と糸状菌食性のグループである。これは、土壤中での有機物の分解に一番最初に関わるのは細菌と糸状菌であり、これらを食べる線虫が、間接的に物質循環に関与するためである。そのため、土壤生態系でのこうした線虫の存在が、系における無機態養分、特に窒素の量や動態に大きく影響することが実験的に示されている。その具体例を4つ紹介しよう。いずれも、有機物を添加した砂、あるいは土壌を培地として入れた実験容器を用意し、微生物のみ入れた試験区と、微生物と線虫を共に入れた区の間で、生成する無機態窒素の量を、温度や有機物のC/N比を変えた条件下で比較する、という設定の実験である。なお、以下の試験では測定対象がアンモニア態窒素または全無機態窒素(アンモニア態+硝酸態)になっているが、どの試験でも硝酸態の生成量はわずかだったので、アンモニア態窒素の量=全無機態窒素の量と考えてよいだろう。

Huixin et al.(2001)は、異なる温度条件の下で、細菌食性線虫が、有機物分解に関与する細菌の増殖と土壌中のアンモニア態窒素の生成量に与える影響を調べた(図3)。15、20および25℃で調べた結果、実験開始21日後の土壌中の細菌密度は、どの温度でも、線虫を入れた試験区の方が入れない区より高く、その程度は温度とともに大きくなった。一方、生成したアンモニア態窒素の量については、線虫の有無によらず温度の影響は小さかった。しかし、線虫自体の

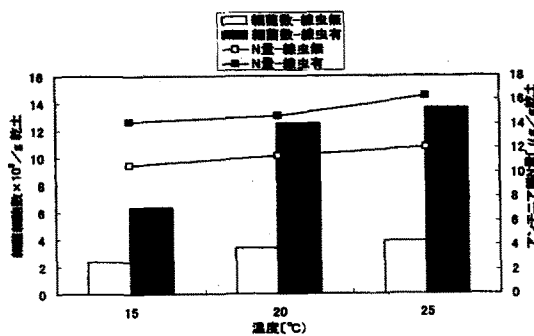


図3 15, 20, 25℃において細菌食性線虫の存在が細菌数と窒素生成量に与える影響(Huixin et al., 2001 より改変)

影響は大きく、どの温度でも、線虫を入れた区の方が入れない区より、窒素の量が3割ほど多かった。Ferris et al. (1998)は、実験容器に入れるアルファルファとセルロースの割合を変え、有機物のC/N比が異なる条件を設定し、細菌のみの区と細菌+線虫の区の間で21日間の全窒素の生成量の違いを検討した。その結果、有機物のC/N比の上昇につれて窒素の総量は、線虫の存在の有無によらず減少したが、線虫を入れた区の方が入れない区より常に窒素の量が多かった(図4)。

以上、細菌食性線虫を用いた試験では、線虫がいると、その餌であるはずの細菌がかえって増殖し、土壌中の無機態窒素の生成量が増加することが示された。その原因は、(1)線虫が細菌の増殖と拡散を促し、有機物の分解が進む、(2)線虫自身がアンモニア態窒素を排出するため、とされている(Ferris et al., 1997; Ingham et al., 1985; Trofymow and Coleman, 1982)。まず、(1)について説明しよう。線虫は細菌を食べるが、その半分以上を未消化のまま(生かしたまま)排泄する。この過程で細菌は、線虫体内から特別な栄養分(成分は不明)を獲得する。また、線虫の分泌物や排泄物にもそのような栄養分が含まれ、結果として細菌の増殖が盛んになる。さらに線虫は、体表や消化管内に生きた細菌を保持したまま移動するので、未分解の有機物体へ細菌を運搬することになり、細菌による有機物の分解が進む。次に(2)について。線虫体のC/N比(6/1程度)は細菌体のそれ(4.5/1)より大きく、線虫の方が窒素要求量が少ない。従って、細菌を食べた線虫は余分な窒素(アンモニア)を排出する、というわけである。

糸状菌食性線虫の試験でも、線虫の存在が窒素生成量に影響することが示されている。Chen and Ferris (1999)は、糸状菌食性線虫についてFerris et al. (1998)と同様の試験を行った(図5)。この場合はC/N比の影響の出方が線虫の有無で異なり、C/N比が小さい場合

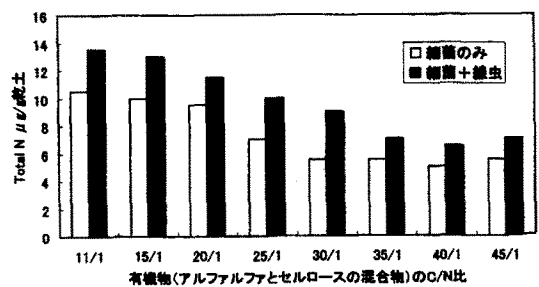


図4 有機物のC/N比が異なる場合に細菌食線虫の存在が窒素量に及ぼす影響(Ferris et al., 1998 より改変)

(11/1, 15/1 程度), 線虫を入れた区と入れない区で全窒素の量に大きな差はないが, C/N が大きくなると(20/1 以上), 入れない区では窒素量が低下したのに対し, 線虫を入れた区では低下が起こらなかつた. これは, 線虫を入れない場合, C/N が大きいと糸状菌による窒素の取り込みが起こるが, 線虫を入れると, 菌体に取込まれた窒素を線虫が解放するためと考えられる. 著者自身は, 増殖適温を異にする糸状菌食性線虫2種(ここではA, B種とする)を用いて温度試験を行った (Okada and Ferris, 2001). この試験では, 糸状菌のみ, 糸状菌+線虫A種, 糸状菌+線虫B種という3通りの試験区を作り, 15-29℃において21日間の窒素の生成量を調査した(図6). なお, 線虫A種は30℃に, B種は23℃に個体群の増殖適温がある. 回帰分析の結果, 菌のみの区では, 温度は窒素量に影響しなかつた(温度から窒素量へ回帰する有意な曲線が得られなかつた). 一方, 線虫を入れた区では, 温度は窒素量に影響し(有意な回帰曲線が得られ), 線虫A種の区では30℃, B種の区では20℃と, 入れた線虫種の増殖適温付近で窒素量が最大になった. これは, 無機態窒素の生成過程が, 線虫の増殖を通して温度の影響を受けることを示している. なお, この実験では, 菌のみの区で20℃における窒素量の反復間のバラツキが大きくなってしまった. これが小さければ, この区でも有意な曲線が得られ, 温度の影響が検出できた可能性がある. しかしその場合でも, 線虫を入れた区とは曲線の形が異なり, 温度の影響の出方が違うものになったであろう.

糸状菌食性線虫が無機態窒素の生成量に影響を与える原因は, 細菌食性線虫の場合と一部同じである. つまり, C/N比は線虫体(10/1程度)の方が糸状菌体(8.5/1)よりも大きく, 線虫が余分な窒素を排出するため, とされる

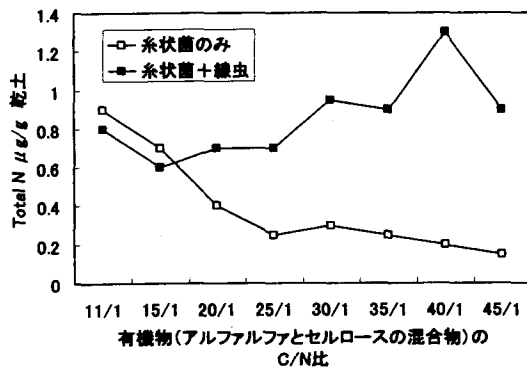


図5 有機物のC/N比が異なる場合に糸状菌食性線虫の存在が窒素生成量に与える影響(Chen and Ferris, 1999より改変)

(Chen and Ferris, 1999). ただし, その量は細菌食性線虫より少ないと思われる. なぜなら, C/N比は, 細菌(4.5/1)-細菌食性線虫(6/1)の場合より, 糸状菌-糸状菌食性線虫の場合の方が接近しているからである. また, 細菌食性線虫の場合と異なり, 糸状菌食性線虫による菌体の運搬作用は小さいであろう. なぜなら, 細菌と異なり, 糸状菌は菌糸を長くのばし, 離れたところにある未分解の有機物体に自ら到達できるからである.

無機態養分循環への線虫の関わりを扱った土壌生態学的研究では, 上記の仕事の他, Anderson et al. (1981), Ingham et al. (1985), Trofymow et al. (1982) などColeman氏一派の仕事やGriffiths (1986)があげられる. これらは先駆的かつ著名な論文なので, 興味がある方は是非読んでほしい(引用文献を参照).

以上, 無機態窒素の動態に関与する線虫の働きについて紹介してきたが, これらの研究の多くは, 室内における基礎実験の段階にとどまっている. 線虫の働きを実際の農業現場で生かすには, それに影響する土壌温度, 水分量, 有機物の種類, C/N比等の物理化学的要因や, 有機物の分解者であり線虫の餌でもある微生物の量と線虫個体数のバランス, 両者の空間分布等の生物学的要因を吟味する必要がある. それでも, 糸状菌食性線虫の項で述べたとおり, 有機物のC/N比が大きい場合などには, 無機態窒素量の減少を防ぐ線虫の作用は大きい. このような線虫の働きをうまく農業に活用したいものである.

最後に, 本稿の執筆の機会を与えていただいた東北農業研究センター作付体系研究室の小柳敦史室長と, 執筆に際して助言をいただいた同センター畑病害研究室の門田育夫室長にお礼申し上げる.

引用文献

Anderson, R. V., Coleman, D. C., Cole, C. V. 1981. Effects of saprotrophic grazing on net mineralization. Ecol. Bull. 33: 201-216.

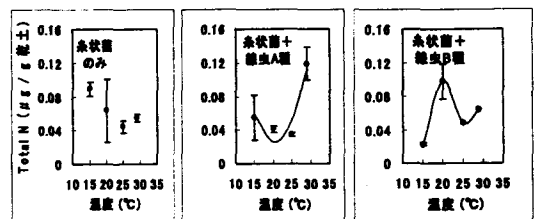


図6 温度と糸状菌食性線虫の種類が窒素生成量に与える影響(Okada and Ferris, 2001より改変)

- Chen, J., Ferris, H. 1999. The effects of nematode grazing on nitrogen mineralization during fungal decomposition of organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1265-1279.
- Ferris, H., Venette, R. C., Lau, S. S. 1997. Population energetics of bacterial-feeding nematodes: carbon and nitrogen budgets. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1183-1194.
- Ferris, H., Venette, R. C., van der Meulen, Lau, S. S. 1998. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: verification and measurement. *Plant Soil* 203: 159-171.
- Griffiths, B. S. 1986. Mineralization of nitrogen and phosphorus by mixed cultures of ciliate protozoan *Colpoda steinii*, the nematode *Rhabditis* sp. and the bacterium *Pseudomonas fluorescens*. *Soil. Biol. Biochem.* 18: 637-641.
- Huixin, L., Inubushi, K., Miwa, J. 2001. Effects of temperature on population growth and N mineralization of soil bacteria and bacterial-feeding nematode. *Microbes and Environments* 16: 141-146.
- Ingham, R. E., Trofymow, J. A., Ingham, E. R., Coleman, D. C. 1985. Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol. Monogr.* 55: 119-140.
- Okada, H., Ferris, H. 2001. Effect of temperature on growth and nitrogen mineralization of fungi and fungal-feeding nematodes. *Plant Soil.* 234: 253-262.
- Trofymow, J. A., Coleman, D. C. 1982. The role of bacterivorous and fungivorous nematodes in cellulose and chitin decomposition. In *Nematodes in Soil Ecosystem*. Ed. D W Freckman. pp 117-138. University of Texas Press, Austin, TX.

Title: Role of nematodes in soil ecosystem—effects on dynamics of inorganic nitrogen—
Author: Hiroaki OKADA