

## 蚯蚓与微生物的相互作用\*

张宝贵

Q959.193

(中国农业大学农业资源与环境学院土壤和水科学系, 北京, 100094)

A

**摘要** 蚯蚓从成体到卵内均有微生物, 微生物来源于蚯蚓生活的环境, 在通过消化道时, 随食物进入体内的真菌营养体及大部分细菌被杀死, 只有真菌的孢子和部分细菌仍保持生活力。生长缓慢的细菌通过蚯蚓消化道后群体下降, 而生长快的细菌, 由于在消化道内迅速繁殖, 在蚯蚓排泄物中的群体数量甚至会超过进入蚯蚓体内时的数量。蚯蚓能促进土壤有益和致病微生物在土壤内纵向传播, 但也能减轻由病原真菌引起的病害。真菌是蚯蚓食物的一部分, 消化道内某些消化酶可能来源于微生物, 因此微生物在蚯蚓同化吸收有机物中起着重要作用。虽然有大量证据表明蚯蚓与微生物间存在相互作用, 但对这种作用机理的研究有待深入, 过程也需进一步量化。

**关键词:** 蚯蚓, 微生物, 生物间相互作用。

INTERACTION BETWEEN EARTHWORMS AND  
MICROORGANISMS

Zhang Baogui

(Department of Soil and Water, College of Agricultural Resources  
and Environment, Chinese Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** Microorganisms were observed in both body and cocoons of earthworms. They came from the worm's environment. During passage of food through earthworm gut, vegetative hypha and most of bacteria were killed, only fungal spores and some bacteria remained viable. After passage through the gut, the population of the slow-growing bacteria declined. However the fast-growing ones reproduced rapidly in the gut so that their number in excreta could be larger than that in the uningested materials. Earthworms enhance the vertical propagation in soils of both beneficial and harmful microorganisms. They could also reduce the severity of some soil-born fungal diseases. Fungi seemed to be an important item of earthworm diet, and some digestive enzymes in gut of earthworms might be of microbial origin. Hence microorganisms contributed greatly to assimilation and uptake of organic matter by earthworms. Although a number of evidence suggests that earthworms interact with microorganisms, the mechanisms of the interactions remain to be investigated

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号49401010)。

本文承蒙我校生物学院陈文新教授批评指正, 特此致谢。

收稿日期: 1996-01-08, 修改稿收到日期1996-08-24。

thoroughly, and the process to be quantified.

**Key words:** earthworm, microorganism, biological interaction.

在温带和热带生态系统中,蚯蚓取食大量土壤和地表残落物,并将大量土壤以蚯蚓粪的形式排泄至土表。在温带地区,蚯蚓每年取食土壤可达500t/hm<sup>2</sup>〔1〕,据 Lavelle〔2〕估算,在西非湿润的稀树草原,每年经过蚯蚓肠道的土壤可达1200t/hm<sup>2</sup>。蚯蚓的取食和挖掘活动对植物残落物与土壤的混合、土壤有机质腐解和土壤结构及剖面形成影响巨大〔3~5〕。有研究者报道,蚯蚓可促进植物特别是植物根的生长〔6~8〕。人们已对在草原土壤中人为引入蚯蚓进行了尝试,并取得了较好的增产作用〔6,9〕。蚯蚓多以半腐烂的有机物为食,可用于有机废弃物的无害化处理。在英国洛桑试验站,应用蚯蚓处理污泥,生活垃圾及农业有机废弃物已扩展到工业化和商业化规模〔10,11〕。

微生物的个体小,表面积和体积比大,代谢活性强,在物质转化中起决定作用。蚯蚓在取食过程中不可避免地会取食微生物,明确蚯蚓的取食对微生物的影响以及微生物在蚯蚓消化吸收有机物质中的作用,有助于人们更好地在农业和环境保护方面利用蚯蚓。本文旨在将当前国内外有关蚯蚓与微生物相互作用的研究结果加以总结,供今后进一步工作参考。

### 1 蚯蚓体内微生物的种类和数量

微生物广泛分布于蚯蚓体内,已经从蚯蚓消化道、肾脏〔12,13〕中分离出微生物,甚至表面消毒的卵袋中也有微生物存在〔14,15〕。Bassalik〔16〕从正蚓科蚯蚓消化道中分离出50多种细菌,而这些细菌在蚯蚓生活的土壤中都有发现;Parle〔17〕观察了蚯蚓 *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora longa*, 和 *Allolobophora caliginosa* 的肠道微生物,发现它们都是土壤中和植物残体上最常见的种类,说明蚯蚓肠道中的微生物来自其所处环境。应用免疫学技术,Zachmann 和 Molina〔15〕把加入到蚯蚓饲养物中的细菌和从蚯蚓卵袋中分离出的细菌进行了比较,发现除大肠杆菌外,所有加入到饲养物中的细菌菌株都可从卵袋中分离出,表明与胚胎共存于卵袋中的微生物也来自蚯蚓的生活环境。

蚯蚓体内的微生物虽来源于蚯蚓的生活环境,但在群落结构上又有很大差别。Domsch 和 Bansh〔18〕研究了城市废弃物堆肥、牛粪、土壤以及用这些物质饲养的蚯蚓中的真菌群体。从牛粪中分离出的6种真菌中,5种是牛粪中特有的;从废弃物堆肥中分离出的11种真菌,仅有4种可从土壤分离出;从土壤中共分离出25种真菌。用牛粪或堆肥与土混合饲养蚯蚓,没能从蚯蚓中分离出牛粪或堆肥的特异真菌。

张立宏和许光辉〔19〕从蚯蚓肠道内分离出好氧和兼性厌氧细菌,并且绝大多数属芽孢杆菌。Marialigeti〔20〕从蚯蚓 *Eisenia lucens* 中分离出473个细菌菌株,其中73%属于弧菌属(*Vibrio*),占优势的是一兼性厌氧菌。Toyata 和 Kimuta〔21〕发现环毛蚓(*Pheritema* sp.)肠道内的微生物均为革兰氏阴性的发酵细菌,并且快速生长型占优势。Karsten 和 Drake〔22〕从蚯蚓消化道中分离出的微生物好氧型和厌氧型数目相当,而从蚯蚓生活的土壤中分离出的微生物绝大多数为好氧型。从这些报道可以得出这样的结论,蚯蚓消化道内条件比土壤中更适合厌氧微生物的活动。许多研究者报道蚯蚓体液中含有抑菌物质〔23~25〕,蚯蚓肠道内也可能存在这类物质,对某些微生物有专性抑制作用,而这种专性抑制作用使蚯蚓肠道及排泄物内细菌种群有别于原土壤。

### 2 通过蚯蚓肠道时微生物数量的动态变化

据 Pedersen 和 Hendriksen〔26〕报道,蚯蚓(*Lumbricus* sp.)肠道中28%~82%的细菌具有生活力;接种过细菌的牛粪经过蚯蚓肠道后,细菌数目减少(由 $1.5 \times 10^{10}$ 个/g降至 $2.1 \times 10^9$ 个/g),但不同类群细菌数目降低程度不同。随土壤进入蚯蚓体内后,多数细菌在胃(crop)和砂囊(gizzard)处数目急剧下降,如大肠杆菌、肠杆菌 *Enterobacter cloacae*,假单胞杆菌 *Pseudomonas putida* MML〔19,26〕。随着在肠道内由前部向后部的移动,细菌和放线菌数目逐渐增大,在肠道中后部分别比前部增加了几十倍和几百倍〔17〕,在新鲜蚯蚓粪中可能会超过在土壤中的数量〔19,26〕。但有的微生物进入肠道后数目变化不大,如气单胞杆菌 *Aeromonas*

*hydrophila*。蚓粪中细菌的数量,在开始几天随日龄增加而增大,而后又降至同土壤相近的水平。

细菌、放线细菌数目在肠道后段比前段高是微生物繁殖的结果。蚯蚓肠道内容物的 pH 近中性,水分和水溶性糖的含量均高于原土壤,为微生物的繁殖提供了条件<sup>[32]</sup>。蚯蚓对消化道中土壤 pH 的调节机制目前尚不清楚,尽管人们怀疑这可能与蚯蚓钙腺(calciferous gland)分泌碳酸钙有关<sup>[33]</sup>。同样,人们也不清楚蚯蚓消化道内容物中较高浓度的水溶性糖类物质是由蚯蚓分泌而来,还是由蚯蚓和/或微生物降解取食的有机物而来<sup>[29]</sup>。

真菌菌丝通过蚯蚓消化道后被破坏<sup>[30]</sup>。真菌细胞壁的主要组成成分为几丁质(甲壳素),而蚯蚓消化道内具有降解几丁质的消化酶。蚯蚓消化道内条件不适合可能是真菌菌丝被破坏的另一原因。蚯蚓消化道内为厌氧环境,在通过消化道的12~20h内<sup>[17]</sup>,真菌菌丝在蚯蚓消化道内会发生自溶。但也有人报道蚯蚓排泄物中真菌数量与原始土壤相差不大。Tiwari 和 Mishra<sup>[31]</sup>调查了30种不同地点的土壤及蚯蚓排泄物的真菌后发现,蚯蚓排泄物中的真菌数量和种类都高于相应的土壤,但这很可能与用作对照的土壤与蚯蚓实际取食的土壤不同所致,有研究者报道,蚯蚓有选择地取食富含有机物和微生物的土壤组分或有机残体<sup>[32,33]</sup>。

Edwards 和 Fletcher<sup>[34]</sup>把赤爱胜蚓的卵块表面消毒,在无菌条件下孵化,然后用无菌纤维素加入纯培养的细菌或真菌饲喂幼蚓。加入的18个细菌菌株中虽有3个能使蚯蚓存活6周,但蚯蚓都不同程度地降低了重量,说明细菌或者不能为蚯蚓提供营养,或者产生使蚯蚓致死的拮抗物质。在加入的18种真菌中,7种使蚯蚓的存活期超过了6周,腊叶枝孢菌和一种节丛孢菌能使蚯蚓很好地生长,表明蚯蚓能取食真菌。

综上所述,虽然蚯蚓体内的微生物来自其生活环境,但蚯蚓消化道内及排泄物中的微生物在种群质和量方面都有别于所取食的物质。弄清蚯蚓对微生物存活和生长选择性促进或抑制作用的机理,可以为有目的地通过蚯蚓调控微生物群体和群落提供理论依据。

### 3 蚯蚓对微生物量及活性的影响

**3.1 微生物量** 以往对微生物量的估算多用稀释平板计数法。由于不存在对所有微生物都通用的培养基,测出的微生物数目仅占微生物总量的一小部分<sup>[35,36]</sup>。同时,由于细菌和真菌个体差别很大,仅从数目上不能反映微生物群体的变化。Daniel 和 Anderson<sup>[37]</sup>用氯仿熏蒸浸提法测定蚯蚓粪和原始土壤中微生物量,发现通过蚯蚓消化道后,土壤微生物量无显著变化;Scheu<sup>[38,39]</sup>用葡萄糖诱导呼吸法测得微生物量在蚯蚓粪中略高于或等同于原始土壤。笔者应用氯仿熏蒸浸提法研究蚯蚓对土壤微生物量影响时发现,当蚯蚓和土壤的重量比为1:5时,加入蚯蚓1d后,微生物量C、N、P均不同程度地降低<sup>1)</sup>。微生物量变化不显著或降低的原因可能是,通过蚯蚓消化道后仅细菌放线菌数目增大,真菌数目不变或减小<sup>[17,30]</sup>,由于细菌的个体比真菌少得多,其数目的变化对微生物总生物量的影响不大。

**3.2 呼吸活性** 虽然通过蚯蚓消化道后土壤微生物量变化不大,但几乎所有的研究表明,蚯蚓能促进土壤呼吸<sup>[17,27,37,40]</sup>。呼吸活性的提高与蚯蚓消化道内和蚯蚓粪中较高浓度的水溶性碳水化合物有关。如前所述,目前尚不清楚这些碳水化合物的来源。

**3.3 消化酶活性** 蚯蚓消化道内具有多种消化酶,包括纤维素酶<sup>[17,41~43]</sup>、几丁质酶<sup>[17,44,45]</sup>、蛋白酶、淀粉酶等<sup>[38]</sup>。这些消化酶是由蚯蚓或其消化道内容物中微生物分泌而来目前还不清楚。由于食物通过蚯蚓消化道的时间仅为几小时到十几小时,Parle<sup>[17]</sup>认为蚯蚓消化道内的纤维素酶是由蚯蚓本身分泌而来的;Loquet 和 Vincelas<sup>[41]</sup>在洗去内容物的消化道壁中测试到纤维素酶的活性,但她们发现冲洗未能完全去除消化道壁上的细菌。笔者应用组织培养方法研究了无围海蚓(*Pontoscolex corethrurus*)消化酶的来源<sup>[43]</sup>,发现蚯蚓消化道内容物中具有包括纤维素酶和甘露聚糖酶在内的多种糖类酶,在无菌条件下培养的消化道壁能分泌其中的部分酶,但不能分泌纤维素酶和甘露聚糖酶,说明这些酶是由消化道内微生物合成而来。

### 4 蚯蚓与微生物的传播

土壤微生物在土壤肥力和植物生长中起着重要作用,其中根瘤菌和VA-真菌(囊泡-丛枝菌根真菌)对

1) 张宝贵等,待发表数据

植物 N、P 供应至关重要;部分微生物是重要的植物病原菌。土壤微生物的移动性小,传播往往依赖于土壤水分。许多微生物特别是微生物孢子,经过蚯蚓消化道后仍能保持其生活力,蚯蚓体壁也可附着微生物。伴随蚯蚓的取食、排泄和挖掘活动,土壤表面的有机残体被运到土体内部,下层土壤被运至土表。蚯蚓的这些活动对土壤微生物的传播提供了条件。有研究者报道,土壤中加入蚯蚓后,在土壤表面接种的 VA-真菌<sup>[46,47]</sup>、根瘤菌<sup>[48]</sup>以及病原真菌(*Fusarium axysporum*)<sup>[51]</sup>在土壤中的纵向传播加快;但同时微生物的群体数量也随蚯蚓的引入而降低<sup>[21,49]</sup>,在土壤中加入蚯蚓能减轻由真菌(*Gaeumannomyces graminis var. tritici*)引起的小麦全蚀病的危害<sup>[49]</sup>,但作用机制有待进一步研究。

## 5 结论

大量试验证据表明微生物在蚯蚓对有机物降解及同化中起着重要作用;同时,蚯蚓也对微生物的群体结构、数量和活性具有调节作用。对蚯蚓与微生物间相互作用的机理研究有待深入,过程也需进一步量化。

## 参考文献

- 1 Lee K E. *Earthworms, their ecology and relationships with soil and land use*. Academic Press, Sydney, 1985
- 2 Lavelle P. Les vers de terre de la savane de Lamto (Cote d'Ivoire), peuplements, populations et fonctions dans ecosysteme. *Publication du Laboratoire de Zoologie E. N. S.* 1978, 12, 1~301
- 3 Lavelle P. Earthworm activity and the soil system. *Biol. Fertil. Soils*, 1988, 6, 237~251
- 4 Lavelle P, Barois I, Martin A et al. Management of earthworm populations in agro-systems: A possible way to maintain soil quality? In: Clarholm M. and Bergström L. Eds, *Ecology of arable land*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1989, 109~122
- 5 黄福珍. 论蚯蚓对土壤结构形成及性态的影响. *土壤学报*, 1979, 16, 211~217
- 6 Stockdill S M L and Cossens G G. The role of earthworms in pasture production and moisture conservation. *Proceedings of the New Zealand Association*. 1966, 168~183
- 7 Edwards C A and Lofty J R. The influence of arthropods and earthworms upon the root growth of cereals after five seasons of direct drilling. *J. Appl. Ecol.*, 1978, 15, 789~795
- 8 Edwards C A and Lofty J R. Effect of earthworm inoculation upon the root growth of direct drilled cereals. *J. Appl. Ecol.*, 1980, 17, 533~543
- 9 Springett J A. Effects of introducing *Allolobophora longa* Ued on root distribution and some soil properties in New Zealand pastures. In: Fitter A H, Atkinson D, Read D J and Usher M B. eds. *Ecological interactions in soil, plants, microbes and animals*. Special publications series of British Ecological Society. No 4. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1985, 399~405
- 10 Edwards C A. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworm. In: Edwards C A and Neuhauser E P Eds. *Earthworms in waste and environmental management*. S. P. B. Academic, The Hague, 1988, 21~31
- 11 Edwards C A and Bate J E. The use of earthworms in environmental management. *Soil Biol Biochem.* 1992, 24, 1683~1689
- 12 Scott D A and Musgrave A J. Aspects of the fine structure of symbiotes and related host tissues in nephridia of *Allolobophora caliginosa typica* (Annelida, Lubricidae). *J. Invertebr Pathol.* 1971, 18, 51~60
- 13 Villaro A C, Sesman P et al. Relationships of symbiotic microorganisms to metanephridium; phagocytic activity in the metanephridial epithelium of two species of Oligochaeta. *J. Morphol.* 1985, 186, 307~314
- 14 Zachmann J E and Molina J A E. Distribution of a soil bacteria strain in cocoons of the earthworm, *Eisenia fetida* abstr. N-74. Abstr. 89th Annu. Meet. Am. Soc. Microbiol. 1989
- 15 Zachmann J E and Molina J A E. Presence of cultivable bacteria in cocoons of the earthworm *Eisenia fetida*. *Appl. Environ. Microbiol.* 1989, 59, 1904~1910
- 16 Bassalik K. On silicate decomposition by soil bacteria. *Z. Garungs-Physiol.* 1913, 2, 1~32
- 17 Parle J N. A microbiological study of earthworm casts. *J. Gener. Microbiol.* 1963, 31, 13~23

- 18 Domsch K H and Banse H J. Mykologische untersuchungen am regenwurm exkrementen. *Soil Biol. Biochem.* 1972, **69**, 223~234
- 19 张立宏, 许光辉. 微生物和蚯蚓协同作用对土壤肥力影响的研究, *生态学报*, 1990, **10**(2): 116~120
- 20 Marialigeti K. On the community-structure of the gut-microbita of *Eisenia lucens* (Annelida, Oligochaeta). *Pedobiologia*, 1979, **19**: 213~220
- 21 Toyota K and Kimura M. Earthworms disseminate a soil-born plant pathogen, *Fusarium oxysporum* f. sp. raphani. *Biol. Fertil. Soils*, 1994, **18**: 32~36
- 22 Karsten G R and Drack H L. Comparative assessment of the aerobic and anaerobic microflora of earthworm guts and forest soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1995, **16**, 1039~1044
- 23 Anderson R S. Bacteriostatic factor(s) in the coelomic fluid of *Lumbricus terrestris*. *Dev. Comp. Immunol.* 1988, **12**: 189~194
- 24 Lassegeus M, Roch P and Valembois P. Antibacterial activity of *Eisenia fetida andrei* coelomic fluid: Evidence, induction, and animals protection. *J. Invertebr. Pathol.*, 1989, **53**: 1~6
- 25 Vilembois P, Seymour J and Roch P. Evidence and cellular localization of an oxidative activity in the coelomic fluid of the earthworm *Eisenia fetida andrei*. *J. Invertebr. Pathol.*, 1991, **57**: 177~183
- 26 Pedersen J C and Hendriksen N B. Effect of passage through the intestinal tract of detritivore earthworms (*Lumbricus* spp.) on the number of selected Gram-negative and total bacteria. *Biol. Fertil. Soils*, 1993, **16**: 227~232
- 27 Barois I, Lavelle P. Changes in respiration rate and some physiochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta). *Soil Biol Biochem.*, 1986, **18**: 539~541
- 28 Laverack M S. The physiology of earthworms. In: Kerkut A G Ed. *International series monograph on pure and applied biology*. Pergamon Press, Oxford, 1963, 18~23
- 29 Martin A, Cortez J, Barois I et al. Les mucus intestinaux de ver de terre, moteur de leurs interactions avec la microflore. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 1987, **24**: 549~558
- 30 Dash M, C, Mishra P C and Behera N. Fungal feeding by tropical earthworm. *Trop. Ecol.*, 1979, **20**: 9~12
- 31 Tiwari S C and Mishra R R. Fungal Abundance and diversity in earthworm casts and uningested soil. *Biol. Fertil. Soils*, 1993, **16**: 131~134
- 32 Went J C. Influence of earthworms on the number of bacteria in the soil. In: Doeksen J and J van der Drift Eds. *Soil organisms*. North-Holland, 1963, Amsterdam, 260~265
- 33 Hendriksen N B. Leaf litter selection by detritivore and geophagous earthworms. *Biol. Fertil. Soils*, 1990, **10**: 17~21
- 33 Edwards C A and Fletcher K E. Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. *Agric. Ecosystems Environ.*, 1988, **24**: 235~247