



•编者按•

利用新方法和野外实验平台加强土壤动物多样性及其生态功能的研究

傅声雷

(河南大学环境与规划学院, 河南开封 475004)

Strengthening the research on soil fauna diversity and their ecological functions using novel technology and field experimental facility

Shenglei Fu

College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng, Henan 475004

土壤是由固体、气体和液体三相组成的复杂系统,在垂直和水平结构上都存在着不同尺度的空间异质性(Ettema & Wardle, 2002),个体大小不同的各种生物在土壤空隙和液相中活动(Crawford et al, 2005; Ritz, 2011)。土壤生物包括土壤微生物和土壤动物,它们通过食性关系构成错综复杂的土壤食物网。土壤食物网就像是一个“超级有机体”,在有机质分解、养分转化、污染治理等过程中,各种生物分工合作并协同进化(Fu et al, 2000)。

随着分子生物学技术的发展,土壤微生物多样性及其生态功能已经得到广泛关注(Wu et al, 2009),但是土壤动物的研究仍更多依赖于传统的分类鉴定,以致于人们对其多样性及相关的生态功能还知之甚少(傅声雷, 2007)。Swift等(1979)和Coleman等(2004)认为,土壤动物可划分为小型(如原生动物和线虫)、中型(如螨类、跳虫和线蚓)和大型(如蚯蚓、马陆、蚂蚁和白蚁)三类,多样性异常丰富。例如,目前已经描述的原生动物和线虫就分别高达40,000种(Finlay, 2002)和25,000种(Boag & Yeates, 1998; Wurst et al, 2012),而大型土壤动物马陆也有12,000种以上(Sierwald & Bond, 2007)。土壤中还存在大量的未知物种, Wu等(2009)利用18S rRNA序列分析方法,仅在极地苔原的几个采样点就发现2,010个OTUs (operational taxonomic units),大部分无法确

认到物种水平。多样性非常高的土壤动物,协同土壤微生物驱动着复杂的土壤生态过程,在提供生态系统服务方面起着重要作用(Nielsen et al, 2011; Brussaard, 2012; Wagg et al, 2014)。它们不仅是有机质分解和转化、养分循环的重要调节者,在土壤结构形成和维持、污染物降解及农作物病虫害的生物防治方面也极其重要。

2007年《生物多样性》第15卷第2期发表了12篇关于土壤生物多样性及其生态功能的论文,其中2篇入选2012年“领跑者5000——中国精品科技期刊顶尖学术论文”提名,并成为1993年创刊25年来全文下载排名前20名的论文(Fu et al, 2007; Zhou et al, 2007),可见此专刊受到了广泛关注。2009年*Soil Biology & Biochemistry*第41卷第5期出版了“Science Goes Underground in China”专刊,发表了来自中国不同科研和教育机构关于土壤生物和生态的22篇论文。自该专刊出版以后,中国学者在*Soil Biology & Biochemistry*上发表的论文逐年大幅度增加(<https://www.webofknowledge.com/>),表明此专刊的出版对于扩大中国土壤生态学研究的影响、促进国际交流起了重要作用。本期遴选了9篇与土壤动物有关的论文在《生物多样性》发表,目的是凸显土壤动物多样性研究的重要性及中国学者在相关领域研究的新进展。

群落空间格局和构建机制研究一直是群落生态学和生物地理学的核心内容,在植物群落构建方面已有很多研究(Huston, 1994; 牛克昌等, 2009),但土壤动物群落构建方面的研究严重不足。高梅香等(2018)的文章首先介绍了不同空间尺度主要土壤动物群落的空间自相关性特征,阐述了土壤动物群落斑块和孔隙镶嵌分布的复杂空间格局,继而阐明了这种空间格局主要受生物间作用、环境过滤和随机扩散的调控,以及这3个过程对土壤动物群落的调控能力和作用方式。作者指出,这3个过程仍是今后土壤动物群落空间格局和构建机制研究的重点,因为我国这方面的研究起步较晚,需要进一步加强。王梦茹等(2018)则以马陆为对象,阐述了土壤动物的生态系统功能。马陆是陆地生态系统中物种多样性极高的大型土壤无脊椎动物类群,作为营腐生的动物,它们在陆地生态系统中具有不可替代的重要功能。通过大量取食凋落物及随后的肠道消化排泄过程,马陆在很大程度上影响着陆地生态系统凋落物的破碎、转化和分解过程,从而驱动碳和关键养分元素的循环周转。然而,目前国内外学术界对马陆生态功能的研究还非常有限,远远落后于其他土壤动物类群(比如蚯蚓等),未来有必要加强相关的研究。张晓珂等(2018)通过回顾我国近年来土壤线虫生态学的研究现状,包括不同生态系统土壤线虫群落的分布、组成、多样性及其影响因素,土壤线虫群落与全球气候环境变化的关系,土壤线虫群落的生态功能以及土壤线虫群落生态学分析方法的发展及应用等方面,总结了国内外土壤线虫生态学的发展态势,提出了未来我国土壤线虫生态学的发展方向。蒋际宝和邱江平(2018)概述了中国巨蚓科蚯蚓物种的起源、分化时间以及扩散历程,分析了现行分类系统的缺陷,指出整合形态特征、分子数据与地理格局、地质历史及环境因子等信息,以定量分析类群演化与古地理、生物及非生物因素间的关系,将有助于全面厘清中国巨蚓科蚯蚓演化的机制。殷秀琴等(2018)概述了东北森林土壤动物生态研究的三个阶段,可为进一步拓展东北森林及我国其他地区的土壤动物生态学研究提供借鉴和参考。张池等(2018)、毕艳孟和孙振钧(2018)均关注蚯蚓的应用研究及其作用机制,指出了进一步挖掘蚯蚓在土壤修复中的潜力,有必要进行以蚯蚓为主导的相关技术研发,并深入探讨其影响机制。刘继

亮和李锋瑞(2018)、伍一宁等(2018)通过野外控制实验,分别阐明了土壤动物群落对土地利用变化和大气CO₂浓度增加的响应规律,加深了我们对土壤动物群落如何响应全球变化的理解。

综上所述,土壤动物多样性及其生态功能已成为近年来我国生态学研究的重要领域,但是,因为研究方法没有取得突破性进展,例如分子生物学方法在土壤动物研究中应用的难度较大,仍然主要依赖传统的分类鉴定,而掌握专业技术的人群数量少,严重影响了该领域的发展。为了取得土壤动物多样性及其生态功能在国际上的引领地位,我们必须在以下几个方面做出创新性的工作:

(1)新方法、新技术研究。分子生物学方法在土壤动物多样性研究中的应用有限,主要原因可能是不同土壤动物类群的分子生物学数据库不全,因此,应加强相关技术的应用,构建完善的数据库。

(2)野外和室内控制实验研究。土壤动物群落类群多而且相互交织形成复杂的食物网,只有通过物种或者功能群的“添加”或“剔除”控制实验才能了解某些类群的存在或缺失对生态系统功能的影响(Lü et al, 2016; Shao et al, 2017)。

(3)大尺度联网研究。充分利用国家野外科学观测研究网络的野外台站和中国科学院土壤动物专项研究网络平台,加强不同地域团队的合作,探究土壤动物类群及其生态功能的地理空间分布格局,推动土壤动物地理学和土壤生态地理学的发展。

参考文献

- Bi YM, Sun ZJ (2018) Mechanisms of earthworms to alleviate continuous cropping obstacles through regulating soil microecology. *Biodiversity Science*, 26, 1103–1115. (in Chinese with English abstract) [毕艳孟, 孙振钧 (2018) 蚯蚓调控土壤微生态缓解连作障碍的作用机制. 生物多样性, 26, 1103–1115.]
- Boag B, Yeates GW (1998) Soil nematode biodiversity in terrestrial ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, 7, 617–630.
- Brussaard L (2012) Ecosystem services provided by the soil biota. In: *Soil Ecology and Ecosystem Services* (ed. Wall DH), pp. 45–58. Oxford University Press, Oxford.
- Coleman DC, Crossley DA, Hendrix PF (2004) *Fundamentals of Soil Ecology*. Elsevier Academic Press, New York.
- Crawford JW, Harris JA, Ritz K, Young IM (2005) Towards an evolutionary ecology of life in soil. *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 81–87.
- Ettema CH, Wardle DA (2002) Spatial soil ecology. *Trends in*

- Ecology & Evolution, 17, 177–183.
- Finlay BJ (2002) Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*, 296, 1061–1063.
- Fu SL (2007) A review and perspective on soil biodiversity research. *Biodiversity Science*, 15, 109–115. (in Chinese) [傅声雷 (2007) 土壤生物多样性的研究概况与发展趋势. *生物多样性*, 15, 109–115.]
- Fu SL, Cabrera ML, Coleman DC, Kisselle KW, Garrett CJ, Hendrix PF, Crossley DA Jr (2000) Soil carbon dynamics of conventional tillage and no-till agroecosystems at Georgia Piedmont—HSB-C models. *Ecological Modelling*, 131, 229–248.
- Gao MX, Lin L, Chang L, Sun X, Liu D, Wu DH (2018) Spatial pattern and assembly rule of soil fauna communities: A review. *Biodiversity Science*, 26, 1034–1050. (in Chinese with English abstract) [高梅香, 林琳, 常亮, 孙新, 刘冬, 吴东辉 (2018) 土壤动物群落空间格局和构建机制研究进展. *生物多样性*, 26, 1034–1050.]
- Huston MA (1994) *Biological Diversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jiang JB, Qiu JP (2018) Origin and evolution of earthworms belonging to the family Megascolecidae in China. *Biodiversity Science*, 26, 1074–1082. (in Chinese with English abstract) [蒋际宝, 邱江平 (2018) 中国巨蚓科蚯蚓的起源与演化. *生物多样性*, 26, 1074–1082.]
- Liu JL, Li FR (2018) Effects of oasis expansion regimes on ecosystem function and dominant functional groups of soil biota in arid regions. *Biodiversity Science*, 26, 1116–1126. (in Chinese with English abstract) [刘继亮, 李锋瑞 (2018) 干旱区绿洲扩张方式对土壤生物优势类群及功能的影响. *生物多样性*, 26, 1116–1126.]
- Lü MR, Shao YH, Lin YB, Liang CF, Dai J, Liu Y, Fan PP, Zhang WX, Fu SL (2016) Plants modify the effects of earthworms on the soil microbial community and its activity in a subtropical ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry*, 103, 446–451.
- Nielsen UN, Ayres E, Wall DH, Bardgett RD (2011) Soil biodiversity and carbon cycling: A review and synthesis of studies examining diversity–function relationships. *European Journal of Soil Science*, 62, 105–116.
- Niu KC, Liu YN, Shen ZH, He FL, Fang JY (2009) Community assembly: The relative importance of neutral theory and niche theory. *Biodiversity Science*, 17, 579–593. (in Chinese with English abstract) [牛克昌, 刘怿宁, 沈泽昊, 何芳良, 方精云 (2009) 群落构建的中性理论和生态位理论. *生物多样性*, 17, 579–593.]
- Ritz K (2011) *The Architecture and Biology of Soils: Life in Inner Space*. CABI.
- Shao YH, Zhang WX, Eisenhauer N, Liu T, Xiong YM, Liang CF, Fu SL (2017) Nitrogen deposition cancels out exotic earthworm effects on plant-feeding nematode communities. *Journal of Animal Ecology*, 86, 708–717.
- Sierwald P, Bond JE (2007) Current status of the Myriapod Class Diplopoda (Millipedes): Taxonomic diversity and phylogeny. *Annual Review of Entomology*, 52, 401–420.
- Swift MJ, Heal OW, Anderson JM (1979) *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkeley.
- Wagg C, Bender SF, Widmer F, van der Heijden MG (2014) Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 111, 5266–5270.
- Wang MR, Fu SL, Xu HX, Wang MN, Shi LL (2018) Ecological function of millipedes in the terrestrial ecosystem. *Biodiversity Science*, 26, 1051–1059. (in Chinese with English abstract) [王梦茹, 傅声雷, 徐海翔, 王美娜, 时雷雷 (2018) 陆地生态系统中马陆的生态功能. *生物多样性*, 26, 1051–1059.]
- Wu T, Ayres E, Li G, Bardgett RD, Wall DH, Garey JR (2009) Molecular profiling of soil animal diversity in natural ecosystems: Incongruence of molecular and morphological results. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 849–857.
- Wu YN, Wang H, Zhong HX, Xu N, Li JB, Wang JF, Ni HW, Zou HF (2018) The response of diverse soil fauna communities to elevated CO₂ concentrations in Sanjiang Plain. *Biodiversity Science*, 26, 1127–1132. (in Chinese with English abstract) [伍一宁, 王贺, 钟海秀, 许楠, 李金博, 王继丰, 倪红伟, 邹红菲 (2018) 三江平原土壤动物群落多样性对CO₂浓度升高的响应. *生物多样性*, 26, 1127–1132.]
- Wurst S, De Deyn GB, Orwin K (2012) Soil biodiversity and functions. In: *Soil Ecology and Ecosystem Services* (ed. Wall DH), pp. 28–45. Oxford University Press, Oxford.
- Yin XQ, Tao Y, Wang HX, Ma C, Kou XC, Xu H, Cui D (2018) Forests soil fauna ecology in Northeast China: Review and prospect. *Biodiversity Science*, 26, 1083–1090. (in Chinese with English abstract) [殷秀琴, 陶岩, 王海霞, 马辰, 寇新昌, 许还, 崔东 (2018) 我国东北森林土壤动物生态学研究现状与展望. *生物多样性*, 26, 1083–1090.]
- Zhang C, Zhou B, Wu JL, Lü MR, Chen XF, Yuan ZY, Xiao L, Dai J (2018) The applications of earthworms on soil remediation in southern China. *Biodiversity Science*, 26, 1091–1102. (in Chinese with English abstract) [张池, 周波, 吴家龙, 吕美蓉, 陈旭飞, 袁中友, 肖玲, 戴军 (2018) 蚯蚓在我国南方土壤修复中的应用. *生物多样性*, 26, 1091–1102.]
- Zhang XK, Liang WJ, Li Q (2018) Recent progress and future direction of soil nematode ecology in China. *Biodiversity Science*, 26, 1060–1073. (in Chinese with English abstract) [张晓珂, 梁文举, 李琪 (2018) 我国土壤线虫生态学研究进展和展望. *生物多样性*, 26, 1060–1073.]
- Zhou LX, Ding MM (2007) Soil microbial characteristics as bioindicators of soil health. *Biodiversity Science*, 15, 162–171. (in Chinese with English abstract) [周丽霞, 丁明懋 (2007) 土壤微生物特性对土壤健康的指示作用. *生物多样性*, 15, 162–171.]

(责任编辑: 周玉荣)