

# 土壤生态学及其发展近况

吴 珊 眉

(南京农业大学)

## 摘 要

本文论述了土壤生态学的发展简史、有关概念及其研究近况。作者认为,土壤动物、土壤微生物的作用是土壤生态系统的重要研究内容。作为生物能源的植物凋落物,动物、微生物残体等,经土壤中生物的作用,部分养分释放后供给植物生长。营养物质在系统中进行循环,对土壤肥力、系统生产力及系统功能产生有益的影响。

以土壤生物为中心,研究土壤生物间、土壤生物与土壤非生命环境间相互作用,揭示土壤生物群落的结构,认识复杂土壤生态过程的机制,同时,应用整体与局部结合的方法论,重视与社会环境相结合,以达到改造土壤生态系统的结构和功能,从根本上永续土壤生产力,是土壤生态学的基本任务和目的。这一由土壤学和生态学相互渗透的新兴学科,在土地利用、土壤管理、提高土壤肥力、治理水土环境污染、提高土壤生物技术效果,以及生物防治土传病虫害等方面,都有理论和实际意义。80年代以来,有关土壤生态学方面的学术活动频繁,出版物日益增加。我国在土壤生态学研究上正处在创建与发展之中。本文拟就土壤生态学的近期动向及基本研究内容作一简要的介绍。

## 一、土壤生态学发展简史

19世纪末,达尔文(1881)强调蚯蚓在植物性腐殖质形成中的作用。Drummond(1887)则认为白蚁对热带土壤的作用,可与温带的蚯蚓并论。Müller(1889)对土壤生物在腐殖质形成中所起的作用十分重视。道库恰也夫(1883)发现生物群落与土壤形成的统一性等,均是这一学科发展的前驱贡献。20世纪初期,北美洲的科学家对土壤动物(如土壤螨类)在分解林下凋落物的作用以及林下凋落物层中的共生生物等进行了许多研究。其后,尤其是60年代中期开始的为期10年的国际生物学研究项目(IBP)的开展,将土壤生态学研究置于第一性生产力课题之下,取得了大量第一手资料和数种系统的研究成果和介绍研究方法的出版物。俄亥俄州立大学对土壤螨类的分类和功能进行了研究,科罗拉多州立大学以D.Coleman为首,对土壤中生态相互作用问题进行了历时15年的研究,对根系—土壤—土壤生物和养分循环间相互作用有了新认识和发展。此外,佐治亚大学关于土壤生态系统模拟的研究;以及加拿大有关土壤矿质—有机质—土壤微生物相互作用的研究和土壤动物与土壤结构形成的关系,以及土壤生态系统模拟研究等。在欧洲的英国、瑞典、荷兰、波兰、匈牙利,以及澳大利亚等国也有不少著名的长期性研究项目。所有这些研究对土壤生态学的发展起了积极推动作用。

## 二、与土壤生态系统有关的概念及研究

土壤生态学领域里研究的层次性大致为:土壤生物个体、群体和群落,与土壤环境的相

互作用。土壤生物群落与土壤内部环境以及外界环境之间以能量流、物质流和信息流联络所构成的整体系统是一最高层次的单元，它具有三维界限，上界以茎秆基部为准，下界涵根系活动层，加上水平边界，均可由研究目的而具体地加以确定。如研究全球性环境问题，可联系全球性或地带性土壤生态系统结构和功能的变化。而景观规模的研究，有利于认识不同景观和地貌系列的土壤生态过程与变化，其结果易于在大范围内推广。田间微土壤生态系统，可称为土壤生态样块(Soil Tessra)，是人为切割的三维土柱，是景观单元特征的代表，面积一般是 $20 \times 20$ 平方厘米，深度因研究目的而异。土壤生态系统及其内容物是可以度量的，从而便于物质和能量输入和输出，以及它们在系统内部的转化和循环的定量化和模型化探讨。土壤生态系统的生物结构方面，近来比较重视土壤生物群落组成成分、或食物网络结构，其动态与人类干扰关系，以及特征性土壤生物群体与土壤物理或化学环境的相互作用。

土壤生物“微群落”和土壤微环境的相互作用的研究难度较大，但却是土壤生态系统的更基础的单元。微群落是大的生物群落中生物群集的亚单元，多由个体小而生命短暂的生物构成，包括土壤微生物和土壤动物等，它们繁殖和生命循环的主要部分是在微栖息环境中完成的。微群落中生物间有复杂的食物网络联系，有许多外在和内在的联系。微群落内部演替(intercommunity succession)最终会导致大群落的演替和变化。土壤微环境是指直接围绕土壤生物个体、群体或群落的土壤物理和化学环境，如微气候、孔隙、水分、有机质、矿物质、酸碱度、氧化还原电位等。不同体积和生理要求的土壤生物各居其一定的土壤生态位。土壤生物体积愈小，其微环境因素的鉴定就愈困难。应用土壤微形态技术、超微技术(Ultracytological techniques)，结合组织化学方法(Histochemical methods)直接观察和检验土壤生物行为、活动和产出物与土壤环境的相互关系，从而，进一步反映出它们在土壤中的空间图像。因而，有人认为，与土壤生物活动相关的微形态特征是微群落结构和功能的反映。然而，拟进一步提高判读水平，仍需对具体生物与土壤相互作用进行室内研究。以电脑系统对田间土壤湿度和温度变化的联合测定，对于比较和评价土壤环境对生物的作用是有意义的。

### 三、土壤生物能源

除能够直接或间接利用太阳能及土壤中初级和次级生产者的碳水化合物的土壤生物外，大多数是依靠植物凋落物(含死根)、活根渗出物和根际沉积物，土壤动物的死亡组织和脱落物、排泄物、分泌物，以及微生物组织及其次生代谢产物，还有土壤腐殖质等而生活的。近10余年，对细根及根际沉积物的研究表明，森林树种一年内死亡的细根，针叶树达 $3.5-11.0$ 或 $>11.0$ 吨·公顷<sup>-1</sup>，典型温带硬木树达 $4.0-7.5$ 吨·公顷<sup>-1</sup>。而地表凋落物与死亡根残体重量比只有 $0.21-0.27$ <sup>[13]</sup>。森林、灌木、草原根生产量(包括菌根菌)占初级生产量的 $40-85\%$ 。活根的排出物占净光合产物的 $10-30\%$ ，一般因测定方法而异。在土壤环境中研究胶浆(mucilage)、渗出物(exudates)和溶胞产物(lysates)的化学成分目前仍有困难。但它们的微分布已可应用电子光学技术探知，一般在距根表面 $0-150$ 微米内，近根细胞表面的胶浆内层的密度较大，而至 $20-50$ 微米处则较小，说明分子量的不同。据根际磷素浓度的差异，有人认为根际外限为 $200-300$ 微米。根际是土壤生态学中较活跃的研究领域，根—土壤—生物间相互作用与植物营养、养分交换、其它联合关系、微结构形成机制、土传病虫害规律以及土壤生物技术等都有密切关系，我们应该利用土壤微生态系统的概念，以先进的技术，重点地加以研究。例如应用微根际装置(minirhizotron)，结合录像(Video recording)和影像分析

(Image analysis)直接放大和观察某些土壤生物间相互作用,如根际/菌根菌/微节肢动物等。以保护根际与菌根真菌的互利作用。

分散在土壤里的有机质碎屑(微米—亚微米范围),是一个数量巨大的潜在生物能源,也是与土壤固相颗粒相互作用和生物化学反应的活点(active sites)。应用超微技术探知活点的空间分布和类型,它们是纤维状或木质素薄片物质,是有机质分解过程的残物,当碳水化合物逐渐消失,多元酚的酚羟基暴露,而使分解中的有机质和阳离子吸收能力增加。碳水化合物的消失还使带电荷的木质素薄片彼此靠拢,其骨架残体的结构可以分辨清楚。分散的无定形粒状沉淀主要是碳水化合物,起源于活体分泌物,新鲜时可流入粘粒间或粘粒结构孔隙里而被封闭,不易遭细菌分解,它可能是导致土壤微团聚体形成的一种机制。凡可促进封闭有机物与微生物接触的一切干扰,都可使保护作用受到破坏,其彻底矿化则可能有赖于食土动物的消化作用,可见食土动物在微团聚体形成方面同时具有积极和消极的两方面作用。在土壤中呈卷曲状的膜状系统残体,若呈封闭状则可保护土壤酶活性,土壤酶尚可由粘粒表面吸附或与多元酚形成复合体而得保获。分散在土壤中的各种有机质分布点,恰好是土壤有机质生命组分的集聚点,后者虽然只占土壤全碳量的4%左右,但其功能是土壤生态学中研究的重点领域。

#### 四、土壤动物与微生物的相互作用

在稳态条件下,土壤生态系统中许多生物过程和产物是土壤动物和微生物相互作用的净表现。在养分循环中微生物的生产量和周转起中心作用,然而,土壤无脊椎动物的贡献已为许多人注意,它们的直接贡献在于通过食物网络而转移营养物质,并通过动物组织本身的分解而周转。在通过各级功能群的每一过程中,C、N、P和其它营养元素被矿化。据报道,在不同土壤生态系统中土壤无脊椎动物的异养代谢只占群落代谢的5—15%。土壤动物对N循环的贡献占N矿化量的10—49%,农田则占19—38%。原生动物和线虫对根际土壤有机氮的矿化有特殊作用。细菌体氮被变形虫转化并以 $\text{NH}_4\text{-N}$ 形态排泄于根表面,根系易于吸收而使植物地上部分含氮量增加。食菌线虫也有类似的增加有效态N的作用。在受化学干扰的土壤里,某些土壤生物间有补偿作用(Compensatory responses),如使用杀真菌剂,细菌数及活性会增加,使菌食者更加活跃而提高氮素矿化作用。

地上植物若被牲畜适度牧食,在一定情况下,能促使植物生长。在土壤生态系统中亦有类似现象,如某些土壤线虫和弹尾虫适度地取食真菌,能刺激真菌的生长。若动物密度过大,反使菌根菌和植物根系的共生联合失效,主植物长势衰弱甚至死亡。土壤动物选择性牧食,能大大地改变微群落的结构,可能影响微生物的分解速率。土壤变形虫取食 *Gaeumannomyces* 菌丝,可抑制某些土传病的发生。因此,控制牧食者密度有实践意义。

总之,土壤动物与微生物相互作用,主要是通过(1)粉碎、挖掘和混合;(2)牧食;(3)散布作用,三者相互影响决定着土壤生物群落的动态和功能。以上说明,有必要把土壤微生物和土壤动物联系起来以研究在土壤中发生众的多过程和影响。

#### 五、根系、土壤与土壤生物相互关系

植物根系与共生固氮菌、固氮拟放线菌、固氮蓝藻、菌根菌等之间的共生互利的人为控

制是土壤生物技术的活跃领域。如对一年生农作物接种一定品种的VAM,其地上部分增产率是:洋葱达77%;苜蓿79%;大麦33%,且植株中P、Zn、Cu含量上升,某些土传病害和寄生性线虫数下降,但往往使叶病增多。如在微量元素缺乏的土壤中,对牧草根接种VAM使Cu、Co、Se、Mg的吸收增加。三元共生联合(tripartite associations)指根系/固氮细菌/菌根菌之共生,常表现在自然界豆科植物上,使结瘤数及固氮作用以及P、S、Co、Cu、Zn吸收增加。有人对雪灌(*Snowbrush*)幼苗作VAM和固氮放线菌的双重接种,结果发现全株干物重增加。根瘤数和重量, N、Ca、P水平及固氮酶活性增加,可能与VAM有助于固氮放线菌生长有关。根系双重接种菌根菌和溶磷细菌,可使溶磷细菌在根际保持一定的数目和存活时间增加,代谢作用延长。植物/共生微生物/土壤环境之间的相互关系支配着土壤生物技术的成效。弄清一定品种共生菌和联合关系所需要的土壤生态环境和起限制作用的环境参数,是人类促进共生互利关系的形成和发展中亟待解决的问题,土壤生态学家参加此项研究可能有助于问题的解决。土壤生物间的联合(association)、活性以及微群落的结构,主要受土壤孔隙状况、微气候因素(温度、水分、气压、日射率和气流)、土壤有机质数量、质量、分布以及土壤化学环境,以及土壤中其他生物的影响。土壤环境的极端不均一性,为土壤生物提供了生态位,系统地研究特定生物个性和群体对土壤非生命环境的忍耐范围、食性、生命循环、繁殖速度和季节性变化,可能促进土壤生物技术的应用和有益土壤动物引种的效率。

土壤生物对土壤肥力的影响,主要通过它们对有机质的复杂代谢作用和它们的活动对改变表土土壤物理性质。对热带土壤有机质动力学的研究表明,生物代谢与土壤条件的相互作用对有机残体分解的影响,可超过气候的影响。而有机质质量和土壤条件是微生物影响土壤有机质稳定性的主要参数。研究生产措施,如施用农药、化肥及工业“三废”,耕作和轮作等措施,对土壤生物功能群结构的改变,以及对土壤肥力和污染的影响,在农学和环境保护方面有重要意义。

土壤生物活动对土壤团聚体形成也有一定贡献。应用电子光学技术发现,微生物分泌的多糖及根系分泌物的混合物所胶结的粘粒薄片形成的团聚体,也具有相当的稳定性。而微团聚体和粉砂粒经过真菌菌丝、根毛和根系细胞壁碎片的缠绕可形成较大团聚体。根际和非根际土壤粘粒还被细菌的小菌落粘结。许多微生物分泌物抗分解能力很强,即使是产生荚膜的细菌已死亡,但所分泌的碳水化合物仍保持在土壤中,并将一些土壤矿质和有机质组分结合成一体。而微生物分泌物的胶结作用,因其中所含糖醛酸浓度而异。“食土”动物,如蚯蚓、千足虫(*Millipedes*)等足目动物(isopods)、白蚁和蚂蚁等活动产生胶结物所形成团聚体方面其机理尚不清楚。

土壤生物,尤其是动物在翻土、混合和搬运填充方面的作用,可使原土壤发生层次混杂而产生均一的土层,称为土壤生物对土壤的单一化作用,在土壤分类中占有相应地位,如在土壤系统分类(*Soil Taxonomy*)中的Vermiborolls、Vermudolls和Vermustolls 3大土类的Ap层以下,有50%以上的土体是虫孔、粪团、蚯蚓或捕食者洞穴填充物构成,由此可见到土壤动物在成土作用中的意义了。

以上仅是土壤生态学发展趋势的简介。可以看出,它涉及层次范围广,有待探索的领域多,实践应用上要求紧迫。我们应结合我国的实际情况,对受人类破坏和强烈干扰以及目前正在恢复重建中的土壤生态问题进行短期与长期、整体与微观相结合的研究,以期能为土壤生态系统功能恢复作出理论与实践的贡献,同时,我们的工作还要与地上生态系统动态、社会经济环境密切联系,为我国的土壤生态学的发展开拓新的前景。(参考文献15篇从略)