

森林生态系统的一种反馈调节机制： 根—有机质分解者之间的交互作用*

沙丽清

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘 要 物质循环是维持森林生态系统平衡和发展的重要功能。在有机质的分解过程中, 土壤动物和土壤微生物发挥了重要作用。在一定的时空范围内, 根—有机质分解者之间的交互作用影响森林生态系统的结构和过程。

关键词 反馈作用 土壤微生物 土壤动物 分解者

生态系统是一种具有一定结构和功能、具有自我调节作用的复杂系统, 通过物质循环、能量流动和信息传递, 维持系统的平衡和发展。

能量、水分和营养是影响森林生态系统生产力的主要因素。热带地区由于高温高湿, 土壤风化度深, 遭受淋溶厉害, 物质循环快, 因而土壤通常缺乏营养元素, 营养元素成为限制森林生产力的主要因子^[1, 2]。由于人口增加, 对热带森林的砍伐及农耕地的扩大, 以及跨国公司的大肆采伐, 造成热带森林面积的急剧减少。生态系统养分的流失是森林破坏后的恶果之一, 而热带森林的恢复在一定程度上依赖于养分的有效性及养分循环的格局^[3]。

热带雨林的一个主要特征是地表有一富含细根和微生物的表层。每年凋落的大量枯落物在微生物的作用下迅速分解, 释放出大量养分, 这些养分一部分被土壤吸附, 一部分被植物吸收和微生物固定, 也有一部分被淋失。植物为了适应瘠薄的土壤环境, 具有保持养分的某些机制。相对大的根系生物量并将根主要分布在地表层, 是植物适应贫瘠土壤的一种策略, 在热带及其他地区都普遍存在^[4]。庞大的根系占据大量的土壤空间, 根系的吸收面积巨大, 有利于吸收养分。养分能被植物根系快速吸收, 在淋溶极强的热带地区是保存养分的一种重要机制。

将根系集中分布于土壤表层这种进化特征, 有助于提高植株个体吸收养分的竞争力, 而且重要的是能够与微生物竞争土壤的有效养分。在土壤养分贫乏的生态系统中, 养分的释放可能不能同时满足树木和微生物的需要, 这时它们之间就会存在对养分的竞争。植物根系通过分泌一些化学物质, 会对其周围的微生物产生抑制作用, 这样使得根对养分的吸收具有竞争优势。然而, 竞争的胜利最终可能会造成对植物自己不利的结果。因为微生物的代谢活动也需要营养, 当微生物活性因为缺乏营养而受到影响时, 有

* 中科院资源与生态环境研究“九五”重大项目(KZ951-A1-104)和云南省自然科学基金项目(97C017R)资助。

机质的分解速率会减缓,未分解的有机质就会大量累积起来。因为有效养分缺乏,树木的生长受到影响,并且易遭受病虫害的侵袭。最后,长势弱的树会死亡、倒伏,形成林窗。林窗形成后,林窗区的活根生物量会减少,对养分的吸收也会减少,可供微生物利用的养分相对增加。林窗形成还会增高林窗区的土壤温度,使微生物活性增强,因而养分有效化的速率也会加快。

林窗形成后将保持几年的空旷,直到幼苗长成大树填充林窗。在林窗填充阶段,对养分的竞争可能较低,养分可能不会严重限制微生物的活性。然而,随着树木的长大,它们需要更多的养分,同时树木形成的荫蔽会降低地表温度,有机质的分解速率减缓。这时,树木与微生物对有效养分的新一轮竞争又开始了。

土壤动物是森林生态系统的重要组成部分,对元素的转换、储存和释放具有重要作用^[5]。在很大的时空范围内,微生物作用下的C、N矿化过程间接或直接地受土壤动物的影响^[6]。土壤动物对凋落物的分解作用,国内外已有很多报道^[7, 8, 9]。有机质分解和土壤中植物必需营养元素的富集是一个由许多因素影响的生物过程。土壤动物对此过程和对维持土壤肥力具有重要作用。土壤动物的存在,使得凋落物的分解速率增加,无机氮的数量有可能增多,因而初级生产力可以提高^[10]。在湿润热带森林,凋落物的分解受土壤动物的强烈影响。土壤动物与其食物资源之间的生物交互作用也十分强烈。土壤动物分解者的物种丰富度与凋落物分解率呈正相关。受干扰的食物网和生态系统过程之间的反馈作用,会对热带土壤肥力产生重要影响^[11]。

元素循环与根-微生物相互关系的一个研究实例,是在美国俄勒冈的铁杉林进行的^[12]。密闭的林下由于氮矿化速率低,导致可供树木利用的氮有效性也低,树木易受根腐病的侵袭,并围绕最初受感染的树呈放射状传染其他邻近的树,引起树木大量死亡,形成林窗。林窗形成后,由于小气候环境如土壤温度和光照条件等的改变,林窗中有机质的分解速率和氮矿化速率会增加,幼苗和存留的树木的生长速率相应地也会增加。因而,氮的这种格局既是自然干扰的结果,也是产生自然干扰的原因^[13]。

在西双版纳的研究表明,热带次生林林窗形成后光照增加,气温和土温上升^[14]。热带季节雨林林冠下与林窗中相比,表层土壤中的细菌数量林冠下($1.25e+7$ 个/g干土)高于林窗($5.18e+6$ 个/g干土),土壤 NH_4-N 、 NO_3-N 含量差异不显著,氨化速率也不显著,但是土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、氮净矿化速率、硝化速率均为林冠下大于林窗中,差异达到了1%显著水平^[15, 16]。这种现状可能主要是由于枯落物输入量的差异形成的。从西双版纳已有的研究结果看不出根-微生物交互作用对养分的显著影响。这主要是因为热带生态系统相对比较复杂,树木生长迅速,林窗的更新比温带地区快。从林窗研究的时间尺度看,热带西双版纳仅5年,而温带的俄勒冈达到近100年。

对于生态系统是否存在如上所述的自我调节机制,还存在争论。Engelberg & Boyarsky认为生态系统的各组分间既无系统的信息传递,也无将生态系统维持在一定状态的内在的反馈调节机制^[17]。相反地,Patton & Odum则认为,将生态系统维持在一定状态的独立的控制单元并不是反馈控制机制存在的必需标准;在信息控制下的物质循环和能量流动,产生了自我组织的反馈机制,并不需要独立的控制单元^[18]。

研究森林生态系统的反馈调节机制, 对于认识森林生态系统的结构、功能和动态具有重要意义。

参考文献

- [1] Sanchez P A, Properties and management of soils in the tropics. New York: Wiley, 1976
- [2] Vitousek P M, Sanford R L, Litterfall, nutrients cycling, and nutrient limitation in tropical forests. Annual Review of Ecology and Systematics, 1984; 17: 137 ~ 167
- [3] Jordan C F, Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. New York: Wiley, 1985
- [4] Jordan C F, Hererra R, Tropical rain forest: are nutrients really critical? American Naturalist, 1981; 117: 167 ~ 180
- [5] 陈鹏, 富德义, 长白山土壤动物在物质循环中作用的初步探讨. 生态学报, 1984; 4 (2): 172 ~ 179
- [6] Anderson G M, Spatiotemporal effects of invertebrates on soil processes. Biol Fertil Soils, 1988; 6: 216 ~ 227
- [7] 殷绣琴, 张桂荣, 森林凋落物与大型土壤动物相关关系的研究. 应用生态学报, 1993; 4 (2): 167 ~ 173
- [8] 仲伟彦, 殷绣琴, 陈鹏, 帽儿山森林落叶分解消耗与土壤动物的关系. 应用生态学报, 1999; 10 (4):
- [9] 廖崇惠, 林少明, 李耀泉等, 土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系. 生态学报, 1995; 15 (增刊): 536 ~ 544
- [10] Setälä H, Huhta V, Soil fauna increase *Betula pendula* growth - laboratory experiments with coniferous forest floor. Ecology, 1991; 72: 665 ~ 671
- [11] Heneghan L, Loleman D C, Zou X, Crossley D A, et al., Soil microarthropod contributions to decomposition dynamics: tropical - temperate comparisons of a single substrate. Ecology, 1999; 80 (6): 1873 ~ 1882
- [12] Matson P A, Waring R H, Effects of nutrient and light limitation on mountain hemlock: susceptibility to laminated root rot. Ecology, 1984; 65 (5): 1517 ~ 1524
- [13] Matson P A, Boone R D, Natural disturbance and nitrogen mineralization: wave - form dieback of mountain hemlock in the Oregon Cascades. Ecology, 1984; 65 (5): 1511 ~ 1516
- [14] 张一平, 王进欣, 马友鑫等, 西双版纳热带次生林林窗干热季气温分布特征的初步分析. 植物资源与环境, 1999; 8 (2): 7 ~ 12
- [15] 沙丽清, 曹敏, 西双版纳热带季节雨林林冠下及林窗中土壤养分对比研究. 东北林业大学学报, 1999; 27 (6): 77 ~ 80
- [16] 沙丽清, 孟盈, 冯志立等, 西双版纳不同热带森林土壤氮矿化和硝化作用研究. 植物生态学报, 2000; 24 (2): 152 ~ 156
- [17] Engelberg J, Boyarsky L L, The noncybernetic nature of ecosystem. American Naturalist, 1979; 114: 317 ~ 324
- [18] Patten B C, Odum E P, The cybernetic nature of ecosystem. American Naturalist, 1981; 118: 886 ~ 895

Feedback Control in Forest Ecosystem: Root - Decomposer Interactions

Sha Liqing

(Kunming Section, Xishuangbanna Tropical botanic Garden,
The Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223)

Abstract: Nutrients cycling is one of the important functions in forest ecosystems. Microorganisms and fauna in soil take essential roles in the decomposition of organic matter and the enrichment of soil with the labile nutrients necessary for plant growth. The root - decomposer interactions affect structures and processes of forest ecosystems at certain spatiotemporal scale.

Key words: Feedback control, soil microorganism, soil fauna, decomposer