

# 森林土壤微生物生物量研究进展

徐慧博<sup>1,2,3</sup>, 乔红娟<sup>4</sup>, 雷茵茹<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091; 2. 湿地生态功能与恢复北京市重点实验室, 北京 100091; 3. 北京汉石桥湿地生态系统国家定位观测研究站, 北京 101399; 4. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

**摘要** 综述了土壤微生物生物量的测定方法, 以及土壤微生物量的变化和影响因素。在此基础上, 展望了今后森林土壤微生物生物量的研究。

**关键词** 生物量; 森林土壤微生物; 影响因素

**中图分类号** S714.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)19-0019-03

## Research Progress of Soil Microbial Biomass of Forest

XU Hui-bo<sup>1,2,3</sup>, QIAO Hong-juan<sup>4</sup>, LEI Yin-ru<sup>1,2,3</sup> (1. Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; 2. Beijing Key Laboratory of Wetland Ecosystem Function and Recovery, Beijing 100091; 3. Beijing Hanshiqiao National Wetland Ecosystem Research Station, Beijing 101399; 4. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

**Abstract** We reviewed the detection methods for soil microbial biomass, as well as the changes and influencing factors of soil microbial biomass. Based on these, we forecasted the researches on soil microbial biomass of forest (SMB) in future.

**Key words** Biomass; Soil microbial biomass of forest; Influencing factors

土壤微生物生物量(microbial Biomass, MB)是近 40 年来兴起的研究领域。人类最早研究土壤微生物生物量是从平板计数法开始。早期对土壤微生物生物量的研究使人们认识到土壤微生物生物量是土壤微生物群落和植物可利用的不稳定的能量和营养物的来源, 并且具有极高的灵敏性, 是反映土壤质量、人类干扰以及土地利用变化最敏感的指标之一。随着全球变暖趋势逐渐明显, 土壤微生物生物量在有机质的分解、土壤温室气体释放的土壤过程和全球碳循环中的作用已经成为全球气候变化研究的重要内容之一<sup>[1]</sup>。

目前, 研究土壤微生物生物量的动态变化已经变得越来越热门, 森林土壤微生物生物量的动态变化也已有不少研究, 但大多只涉及表面现象, 对变化规律和调控机理的研究较为缺乏。鉴于此, 笔者综述了土壤微生物生物量的测定方法, 以及土壤微生物量的变化和影响因素。在此基础上, 展望了今后森林土壤微生物生物量的研究。

### 1 土壤微生物生物量及其测定方法

土壤微生物生物量指土壤中体积小于  $5 \times 10^3 / \mu\text{m}^3$  的生物总量, 但活的植物体如植物根系等不包括在内, 它是活的土壤有机质部分。土壤微生物生物量是土壤养分的储存库和植物生长可利用养分的重要来源, 与微生物个体数量指标相比, 更能反映微生物在土壤中的实际含量和作用潜力, 因而具有更加灵敏、准确的优点, 而且森林土壤微生物量 C 比其他有机 C、N 对土壤质量和植被种类变化的反应更直接和敏感, 已成为近年来国内外土壤学研究的热点之一<sup>[2]</sup>。

微生物生物量的测定最早采用的是直接镜检法。具体做法是直接显微镜下观测, 数出目镜范围内微生物的个数, 但这种方法较为粗糙、误差较大。除直接镜检法外, 目前

微生物量测定方法主要有三磷酸腺苷法、底物诱导呼吸法、氯仿熏蒸法等<sup>[3]</sup>。

三磷酸腺苷法的原理是由于 ATP 是所有生命体的能量储存物质, ATP 只存在于活的细胞体内, 细胞死后 ATP 迅速失去活力。在活的微生物细胞内, ATP 的含量相对比较稳定, 因此可以通过土壤中 ATP 含量的测定, 估算出土壤中微生物的生物量。目前测定三磷酸腺苷含量的方法有气相色谱法、液相色谱法、等速电泳法、生化发光法等。这种方法能够快速准确地测定土壤中的 ATP 含量, 但是难以排除其中的植物根系。

底物诱导呼吸法是 Anderson and Domsch 于 1978 年提出的测定方法。该方法起源于纯培养研究, 微生物对易利用底物的反映强度与微生物量存在线性关系, 可用于土壤微生物量的测定<sup>[4]</sup>。在自然环境中, 土壤微生物的呼吸活动一般很低, 但是当在土壤中加入有机物时, 土壤微生物的生命活动加强, 此时其呼吸量与微生物数量密切相关。因此, 有研究者认为诱导呼吸量可以转化为微生物生物量。

Jenkinson 于 1976 年提出了一种间接微生物量测定方法, 即氯仿熏蒸杀死和溶解土样中微生物, 重新培养土壤 10 d 后测定土壤呼吸。根据熏蒸与未熏蒸土样释放  $\text{CO}_2$  量的差值, 计算土壤微生物量 C, 此方法称为熏蒸培养法<sup>[5]</sup>。用氯仿熏蒸土壤后再进行培养时, 其  $\text{CO}_2$  的释放大幅度增加, 比没有熏蒸的土壤高很多, 并且发现培养期间  $\text{CO}_2$  的释放量与原来土壤中的微生物量存在着非常显著的相关性, 从而通过测定一定培养时间内土壤  $\text{CO}_2$  的释放量, 就可以计算土壤微生物量<sup>[6]</sup>。该方法是目前较好的微生物量测定方法, 但是花费时间较长, 且不适用于风干土壤, 对钙质土、淹水土壤的结果均不可靠。

### 2 森林土壤微生物生物量随着季节的改变而发生变化

森林土壤微生物生物量(soil microbial biomass of forest, SMB)受季节改变带来的光照、温度、水分等因子变化的影响往往也具有明显的季节动态变化特征。在不同的森林

基金项目 湿地保护修复制度方案编制(201702003)。  
作者简介 徐慧博(1996—), 男, 山西忻州人, 在读硕士, 从事风景园林规划设计研究。\* 通讯作者, 助理研究员, 从事环境政策、湿地管理、环境教育研究。  
收稿日期 2018-03-29; 修回日期 2018-04-03

生态系统中,由于各种环境因子复杂的综合作用以及关键环境因子的主导地位不同,SMB的季节变化也存在着显著差异<sup>[7]</sup>。国内外学者对此做了大量研究,目前主要有夏低冬高型、干湿季节交替循环型、夏高冬低型、秋高春低型、春高冬低型5种变化格局。

(1)夏低冬高型。王国兵等<sup>[8]</sup>发现,北亚热带2种森林生态系统(次生栎林和火炬松人工林)SMB-C(土壤微生物量)均表现为在生长旺季(夏季)维持较低水平,在休眠季节(冬季)维持较高水平;何荣等<sup>[9]</sup>也发现,在武夷山不同海拔梯度下4种植被类型(常绿阔叶林、针叶林、亚高山矮林和高山草甸)SMB具有一致的变化趋势,均表现为冬春最大、夏季最小的特征。

(2)干湿季节交替循环型。王卫霞等<sup>[10]</sup>对南亚热带3种人工林(格木红椎和马尾松)SMB研究发现,SMB-C在雨季最小、干旱季最大,随季节干湿交替呈明显的循环变化规律;Saynes等<sup>[11]</sup>也发现,墨西哥季节性干旱的热带森林(原始森林和处于演替末期的次生林)SMB-C在旱季最大,雨季初期最小;Barbhuiya等<sup>[12]</sup>认为,SMB-C、SMB-N和SMB-P等在雨季最低,是由于植物对土壤中的营养物质的吸收加大,而限制了微生物的利用,导致SMB-C、SMB-N和SMB-P等在雨季降低。但也有研究发现,SMB在雨季最大,而在旱季最小。

(3)夏高冬低型或秋高春低型。Devi等<sup>[13]</sup>对印度曼尼普尔邦栎树混交林SMB的季节性变化进行研究发现,SMB-C和SMB-N呈夏高冬季低的格局。李胜蓝等<sup>[14]</sup>对湘中丘陵区4种森林类型SMB研究得出,杉木人工林和马尾松+石栎阔叶混交林SMB-C均呈夏高冬低型的变化格局;石栎+青冈常绿阔叶林SMB-C呈夏高冬低型变化格局,但SMB-N呈秋高春低型格局;南酸枣落叶阔叶林SMB-C和SMB-N均呈秋高春低型格局。

(4)春高冬低型。谭波等<sup>[15]</sup>研究了川西亚高山/高山森林不同海拔岷江冷杉林土壤微生物生物量生态学过程,发现各海拔森林土壤在冬季维持着较高的微生物生物量,并随土壤冻融过程不断变化。受冻结初期土壤冻融循环影响,土壤有机层和矿质土壤层冬季微生物生物量碳和氮含量均显著降低,在冻结期变化不明显,在融化期急剧增加至融化后显著降低,且土壤有机层微生物生物量在融化期具有一个明显的年高峰值。

### 3 森林土壤微生物生物量的影响因素

土壤微生物的生长和活动需要不断地从外界获取能量和养分,并对土壤的环境条件,如湿度、温度以及通气性等具有一定的要求,因此SMB动态变化受多方面因素的影响。目前学者研究探讨最多的主要有土壤养分与凋落物的输入量、土壤温湿度以及林木生长节律和所处生长阶段、pH、森林类型等因子。

**3.1 土壤养分与凋落物的输入量** 凋落物是土壤微生物生物量的组成部分之一。土壤中养分含量对SMB大小有重要影响,由于C和N是合成生物体内蛋白质和核苷酸等生物大

分子的关键元素,因此土壤中C和P的含量成为限制土壤微生物生长以及SMB的重要因子。吴艺雪等<sup>[16]</sup>研究发现,西双版纳石灰山季雨林SMB-C高于季节沟谷雨林的主要原因在于石灰山季雨林有机质C和N的含量明显高于季节沟谷雨林。已有研究表明<sup>[8]</sup>,当森林地表凋落物被清除后,SMB-C会显著减少。同时也有研究发现,SMB的季节变化模式与凋落物的季节变化模式具有一致性,即SMB的季节变化受凋落物节律的影响,但不同地区SMB与凋落物节律的关系有所不同。例如,对西双版纳热带雨林SMB-C动态变化研究发现,SMB-C与林地前2个月的凋落物量波动呈正相关,SMB-C的波动周期相比凋落物量滞后2个月<sup>[16]</sup>;而对波多黎各热带雨林SMB的动态变化研究发现,SMB的季节变化周期要比凋落物提前30d<sup>[17]</sup>。

**3.2 土壤温度和湿度** 土壤温度和湿度影响土壤微生物的活性及其群落结构组成,也影响植物生长凋落物腐烂分解以及生物在土壤中的活动和分布,从而可能对SMB产生影响。一些研究认为,SMB的季节性变化与土壤温度和湿度有关。例如,陈珊等<sup>[18]</sup>研究SMB与土壤生境的关系时发现,土壤温度和水分含量对SMB的影响较强,随着土壤温度和含水量的增加,SMB呈增加的趋势。但也有研究表明,土壤湿度对SMB的影响要强于土壤温度。例如,Chen等<sup>[19]</sup>在对我国台湾西部海岸沙丘森林生态系统SMB研究发现,SMB-C和SMB-N的变化主要与土壤湿度有关,与土壤温度的变化不相关。也有一些研究表明,SMB主要受土壤温度的调控,与土壤湿度无关。例如,李世清等<sup>[20]</sup>在研究SMB-N与土壤温度、湿度的关系时发现,SMB-N与土壤温度呈显著或极显著的正相关性,与土壤湿度关系并不密切。这些研究表明,土壤温度和湿度在影响SMB时有时又是共同起作用,有时又是单独起作用。

**3.3 林木生长节律和所处生长阶段** 林木生长节律和所处生长阶段也是影响SMB大小的重要因素之一。植物生长随气候的季节波动表现出相应的物候节律,对SMB也会产生一定的影响。例如,王国兵等<sup>[8]</sup>认为,在北亚热带森林SMB的动态变化主要与林木生长发育节律有关。同时,植被所处生长阶段不同,土壤环境凋落物输入也有所差别,会影响到SMB的大小。例如,Saynes等<sup>[11]</sup>对墨西哥季节性干旱热带森林SMB-C研究发现,处于演替早期以及演替中期的次生林SMB-C明显大于演替末期次生林SMB-C的含量。

**3.4 pH** 徐文煦等<sup>[21]</sup>研究了黑龙江省东部山地帽儿山—小兴安岭—大兴安岭系列生态系统中圈定的样地。发现土壤pH与微生物中的C、N含量成反比。带岭落叶松林和帽儿山的桦树林、红松林pH与微生物数量呈正相关,这可能是由于以上地区真菌数量较多,而真菌适合生长于偏酸性的土壤环境。另外,帽儿山地区桦树林的pH与微生物量也呈正相关,但相关性都不显著。

**3.5 森林类型** 贺若阳等<sup>[22]</sup>对川西亚高山天然针叶林、桦木次生林、人工云杉林有机层和矿质层土壤C、N、P化学计量以及土壤微生物生物量和呼吸进行比较分析,结果表明,

天然针叶林转化为次生林和人工林,微生物生物量 C、N 含量显著下降,其中微生物生物量 C 依次为天然林>次生林>人工林,微生物生物量 N 含量依次为天然林>次生林>人工林,3 种森林类型土壤微生物生物量 C(SMB-C)的年均含量特征为马尾松林>混交林>樟树林;微生物生物量 N(SMB-N)为樟树林>马尾松林>混交林,均不存在显著差异( $P>0.05$ )。徐佳晶等<sup>[23]</sup>研究了西双版纳 5 种森林类型(热带季节雨林、热带季风常绿阔叶林、曼安次生林、鸡血藤次生林和沟谷林次生林)的土壤微生物生物量。与热带季节雨林和热带季风常绿阔叶林相比,3 种次生林所具有的微生物 C 含量显然是最高的。沟次生林中的微生物 C 含量显著高于其他 4 种林型。土壤微生物生物量 C、N 与土壤含水量、土壤有机碳、土壤总 N 显著正相关,与土壤 C/N 显著负相关。

#### 4 研究展望

目前有关森林土壤微生物生态的研究虽有不少报道,但整体研究水平还有待提高。因此,广泛开展基础性研究仍需加强。特别是现在全球变化、环境污染等因素影响了各种营养元素的生物地化循环。土壤微生物的种类数量和功能作用也随之发生了相关变化。这些情况都要求生态学家、分类学家、土壤学家等各类专家共同合作,进行多学科、全方位、多层次的综合研究。

土壤各类微生物生理群在土壤形成及土壤物质循环和土壤养分供给中起着重要的作用,并且是土壤熟化程度等重要指标。但目前的研究相对较少,而且由于土壤各类微生物生理群的分布、数量等,不但与其本身的特性有关,并且与其所处的土壤环境、植物类群、植被状况、气候带特点等有关,甚至与植物间的化感作用也有关系,是多种因素的综合结果,所以研究的结果差别较大。因此,应加强森林土壤微生物生理群方面的研究。

#### 参考文献

- [1] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤, 1997(2): 61-69.
- [2] 姚槐应. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [3] 张海燕, 张旭东, 李军, 等. 土壤微生物量测定方法概述[J]. 微生物学杂志, 2005, 25(4): 95-99.

- [4] SCHLOTTER M, LEBUHN M, HEULIN T, et al. Ecology and evolution of bacterial microdiversity [J]. FEMS Microbiology Reviews, 2000, 24(5): 647-660.
- [5] CARVAN M J III, SONNTAG D M, CMAR C B, et al. Oxidative stress in zebrafish cells: Potential utility of transgenic zebrafish as a deployable sentinel for site hazard ranking[J]. Science of the total environment, 2001, 274(1/2/3): 183-196.
- [6] 徐文煦, 王继华, 张雪萍. 我国森林土壤微生物生态学研究现状及展望[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2009, 25(3): 96-100.
- [7] 扈花, 刘泽彬, 樊亚鹏, 等. 森林土壤微生物生态学研究进展[J]. 世界林业研究, 2016, 29(3): 24-29.
- [8] 王国兵, 阮宏华, 唐燕飞, 等. 北亚热带次生栎林与火炬松人工林土壤微生物生物量碳的季节动态[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 37-42.
- [9] 何容, 王国兵, 汪家社, 等. 武夷山不同海拔植被土壤微生物量的季节动态及主要影响因素[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 394-399.
- [10] 王卫霞, 史作民, 罗达, 等. 南亚热带 3 种人工林土壤微生物生物量和微生物群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1784-1792.
- [11] SAYNES V, HIDALGO C, ETCHEVERS J D, et al. Soil C and N dynamics in primary and secondary seasonally dry tropical forests in Mexico [J]. Applied soil ecology, 2005, 29(3): 282-289.
- [12] BARBHUIYA A R, ARUNACHALAM A, PANDEY H N, et al. Dynamics of soil microbial biomass C, N and P in disturbed and undisturbed stands of a tropical wet-evergreen forest [J]. European journal of soil biology, 2004, 40(3/4): 113-121.
- [13] DEVI N B, YADAVA P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India [J]. Applied soil ecology, 2006, 31(3): 220-227.
- [14] 李胜蓝, 方晰, 项文化, 等. 湘中丘陵区 4 种森林类型土壤微生物生物量碳氮含量[J]. 林业科学, 2014, 50(5): 8-16.
- [15] 谭波, 吴福忠, 秦嘉励, 等. 川西亚高山、高山森林土壤微生物生物量和酶活性动态特征[J]. 生态环境学报, 2014(8): 1265-1271.
- [16] 吴芝雪, 杨效东, 余广彬. 两种热带雨林土壤微生物生物量碳季节动态及其影响因素[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 658-663.
- [17] RUAN H H, ZOU X M, SCATENA F N, et al. Asynchronous fluctuation of soil microbial biomass and plant litterfall in a tropical wet forest [J]. Plant and soil, 2004, 260(1/2): 147-154.
- [18] 陈珊, 张常钟, 刘东波, 等. 东北羊草草原土壤微生物生物量的季节变化及其与土壤生境的关系[J]. 生态学报, 1995, 15(1): 91-94.
- [19] CHEN T H, CHIU C Y, TIAN G. Seasonal dynamics of soil microbial biomass in coastal sand dune forest [J]. Pedobiologia, 2005, 49(6): 645-653.
- [20] 李世清, 任书杰, 李生秀. 土壤微生物体氮的季节性变化及其与土壤水分和温度的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 18-23.
- [21] 徐文煦, 王继华, 牛佳, 等. 黑龙江省森林土壤微生物生物量纬度分异规律研究[C]// 中国生态学会微生物生态专业委员会 2010 年年会暨国际研讨会论文集. 北京: 中国生态学会, 2010.
- [22] 贺若阳, 杨万勤, 杨开军, 等. 川西亚高山 3 种森林土壤碳氮磷及微生物生物量特征[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(4): 606-611.
- [23] 徐佳晶, 邵鹏帅, 张教林, 等. 西双版纳不同森林类型土壤微生物生物量的变化[J]. 土壤通报, 2017(1): 94-100.

## 科技论文写作规范——缩略语

采用国际上惯用的缩略语。如名词术语 DNA(脱氧核糖核酸)、RNA(核糖核酸)、ATP(三磷酸腺苷)、ABA(脱落酸)、ADP(二磷酸腺苷)、CK(对照)、CV(变异系数)、CMS(细胞质雄性不育性)、IAA(吲哚乙酸)、LD(致死剂量)、NAR(净同化率)、PMC(花粉母细胞)、LAI(叶面积指数)、LSD(最小显著差)、RGR(相对生长率), 单位名缩略语 IRRI(国际水稻研究所)、FAO(联合国粮农组织)等。对于文中有些需要临时写成缩写的词(如表及图中由于篇幅关系以及文中经常出现的词而写起来又很长时), 则可取各主要词首字母写成缩写, 但需在第一次出现处写出全称, 表及图中则用注解形式在下方注明, 以便读者理解。