

武夷山森林土壤生化特性的初步研究*

庄铁诚 张瑜斌* 林 鹏 (厦门大学生物学系, 厦门 361005)

陈仁华 (武夷山国家级自然保护区, 武夷山 354315)

【摘要】 研究了武夷山自然保护区森林土壤生化特性. 结果表明, 不同生境土壤呼吸作用、纤维分解作用和硝化作用等 3 项生化强度有明显差异, 先峰岭(常绿阔叶林) > 大竹岚(毛竹林). 同一生境中的不同小生境 3 项生化强度的差异也很显著, 尤其是呼吸作用强度, 落叶层 > 腐殖层 > 土壤层; 纤维分解作用强度, 腐殖层 > 落叶层 > 土壤层; 硝化作用强度, 土壤层 > 落叶层 > 腐殖层. 无论那一种生境 3 项生化强度之间, 呼吸作用强度与纤维分解作用强度有一定相关性, 而硝化作用强度与前两项未显示相关. 不同生境土壤蔗糖酶、纤维素酶和蛋白酶等活性显著不同, 大竹岚 > 先峰岭. 同一生境中的不同小生境 3 种酶活性随土壤剖面深度而降低; 蔗糖酶是各生境中活性最大酶类, 变化较剧; 纤维素酶和蛋白酶则活性较小, 变化较缓和.

关键词 森林土壤 生化特性 土壤酶 武夷山

Biochemical characters of forest soils at Wuyishan Mountain. Zhuang Tiecheng, Zhang Yubin, Lin Peng (Department of Biology, Xiamen University, Xiamen 361005) and Chen Renhua (Administrative Bureau of Wuyishan Natural Reserve, Wuyishan 354315). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1999, 10(3): 283~ 285.

Studies on the biochemical characters of forest soils in Wuyishan Mt. Natural Reserve show that the rates of soil respiration, cellular decomposition and nitrification differed obviously with habitats. Soils under broad-leaved evergreen forest (*Castanopsis eyrei*) at Xianfengling had higher rates than those under moso bamboo forest (*Phyllostachys heterocycloides* var. *pubescens*) at Dazhulan. The three rates at each habitat also significantly differed with microhabitats: for respiration rate, litter layer > humus layer > soil layer; and for nitrification rate, soil layer > litter layer > humus layer; for cellular decomposition rate, humus layer > litter layer > soil layer. Among the three rates at each habitat, there existed a definite relationship between respiration rate and cellular decomposition rate, while the nitrification rate was independent of the other two. The activities of sucrose, cellulase and proteinase varied with different habitats, which were higher at Dazhulan than at Xianfengling, and decreased with increasing soil depth. Among the three enzymes, sucrose had the highest activity at all microhabitats, and the variation of its activity was greater.

Key words Forest soil, Biochemical character, Soil enzyme, Wuyishan Mt.

1 引 言

武夷山国家级自然保护区是我国中亚热带森林生态系统中保存较完好的代表性类型. 其独特的自然景观, 丰富多彩的生物资源和清新环境, 已引起人们的广泛重视. 自 1992 年被联合国教科文组织定为具有全球保护意义的 A 级保护区以来^[7], 对该区的森林生态系统进行了结构和功能等多方面的研究. 土壤作为森林生态系统生命活动的主要场所, 为栖息其中的生物提供生活繁衍所需的营养、水分等各种理化要素, 促使该生态环境的生物化学演变、物质循环和能量交换, 维持了丰盛的生产力, 因而被视为充满着生命的有机-生物-无机复合体^[4,6], 表现特定的呼吸作用、酶促反应和代谢活动等生命基本特征. 为此, 深入探索武夷山森林土壤生理生化特性在理论上或实践上都具有重要意义. 本文报道了这方面研究的初步结果.

2 材料与方法

2.1 样品采集

在保护区的先峰岭和大竹岚选定 2 个代表性的观测区(每

区 100m²), 以多点取样法, 对两区的落叶层、腐殖层和土壤层分别采集样品, 样地生态条件和土壤基本特征列于表 1 和 2.

2.2 测定方法

2.2.1 土壤生化作用强度的测定^[6] 呼吸作用采用 CO₂ 容量法, 纤维分解作用采用埋片法, 硝化作用采用溶液培养法.

2.2.2 土壤酶活性的测定^[2] 蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法, 纤维素酶采用硝基水杨酸比色法, 蛋白酶采用茚三酮比色法.

3 结果与讨论

3.1 土壤生化作用强度

土壤生化作用是土壤有机体的基本生理功能, 主要由微生物生命活动引起, 可作为微生物活性的指标, 土壤微生物是森林生态系统的主要分解者, 因而土壤生化作用强度可以反映出土壤微生物在该系统物质循环和能量流动中所起的推动作用, 并能体现出不同生

* 福建省自然科学基金(C92004)和武夷山自然保护区管理局资助项目.

** 通讯联系人.

1996-11-18 收稿, 1998-12-31 接受.

表1 样地主要生态特征

Table 1 Major ecological features of investigated plots

样地 Plots	海拔 Elevation (m)	坡度 Slope (°)	年均温 Mean annual temperature (°C)	年雨量 Mean annual rainfall (mm)	相对湿度 Relative humidity (%)	主植被 Major vegetation	群落总生物量 Total biomass (g·m ⁻² dw)	凋落物产量 Litter production (g·m ⁻² dw)
iv	1200	16~24	11~13	2200	<80	甜槠林 <i>Castanopsis eyrei</i>	40728.1	379.2
⊕	900	0~5	13~18	2000	78~80	毛竹林 <i>Phyllostachys heterocycla</i> var. <i>pubescens</i>	13355.4	129.9

iv. 先峰岭 Xiangfengling, ⊕. 大竹岚 Dazhulan. 下同 The same below.

表2 样地基本理化特征^[7]及异养微生物组成

Table 2 Physic and chemical characters and composition of heterotrophic microbes in the plots

样地 Plots	土壤类型 Soil type	表层厚 Topsoil thickness (cm)	机械组成: 粘粒 Mechanical composition: clay particle (< 0.002)	有机质 Organic matter (%)	全 N Total N (%)	pH	异养微生物总数 Counts of the heterotrophic microbes (× 10 ³ ind· g ⁻¹ dry soil)	细菌 Bacteria (× 10 ⁵ ind·g ⁻¹ dry soil)	放线菌 Actino- myces (× 10 ⁵ ind· g ⁻¹ dry soil)	霉菌 Mold (× 10 ⁵ ind·g ⁻¹ dry soil)
iv	黄壤 Yellow earth	0~10	8.2~17.2	8~14	0.3~0.7	4.2~4.5	24.93	23	1	1.2
⊕	黄红壤 Yellow red earth	0~10	19.2~32.2	5~9	0.25~0.38	4.0~4.5	36.09	35	0.4	0.7

境微生物活性的差异^[1,8,14]. 从表3可看出, 不同生境土壤生化作用强度有明显差异, 先峰岭甜槠林生境的土壤呼吸作用强度、纤维分解作用强度和硝化作用强度3项指标均高于大竹岚毛竹林生境土壤. 由此说明, 先峰岭甜槠林地土壤微生物活性、肥力水平、生产力明显优于大竹岚毛竹林地土壤. 这是因为先峰岭阔叶林土壤获得比大竹岚毛竹林土壤高得多的植物生产量, 较适宜的土壤理化因素和数量丰厚、类群组成均衡的微生物群体——土壤中物质、能量转化的主动力(表1、2), 这是造成生化强度差异的基本原因. 这一结论与我们对该地区土壤微生物研究结果相吻合^[3].

表3 不同生境土壤生化作用强度

Table 3 Intensity of biochemical action in the soil of different sites

样地 Plots	呼吸作用 Respiration (CO ₂ mg·20g ⁻¹ soil·d ⁻¹)	纤维分解作用 Cellular decomposition (mg·g ⁻¹ soil·10d ⁻¹)	硝化作用 Nitrification (mg·g ⁻¹ soil·15d ⁻¹)
iv	5.49	1.87	5.20
⊕	4.00	1.40	3.57
iv ⊕	1.37 ⊕ 1	1.34 ⊕ 1	1.48 ⊕ 1

这里特别要指出, 表2中先峰岭土壤与大竹岚土壤微生物数量(主要是细菌数量)比较, 前者比后者少; 但从微生物代谢特性和研究结果证明, 土壤有机物矿化过程中产生CO₂(即呼吸强度), 真菌占了近一半^[9,11], 真菌呼吸速率通常比细菌大好几倍^[13]; 先峰岭土壤真菌数量约是大竹岚土壤的2倍. 再加上先峰岭阔叶林植被生产量、凋落物量远高于大竹岚毛竹林植被, 活跃的微生物种群与发达的植物根系是土壤生化过程活跃的重要原因^[13]. 特别是随着有机质入土增加, 从土壤中释放的CO₂量亦多^[14], 应是先峰岭土壤生化强度高于大竹岚土壤生化强度的根本原因.

同一生境的不同小生境生化作用强度3项指标差异也很显著, 尤其是呼吸作用强度, 落叶层>腐殖层>土壤层; 而纤维分解作用强度, 腐殖层>落叶层>土壤层; 硝化作用强度, 土壤层>落叶层>腐殖层(表4).

同一林地不同小生境的差异, 进一步说明环境条件对土壤生化强度在数量和质量上的影响显著. 植物残体分解的第一阶段是以释放CO₂形式而引起的^[10], 因此呼吸作用强度以落叶层最高; 纤维素分解作用强度落叶层、腐殖层均高于土壤层, 显然与纤维素分解特性相符——较好的通气状况(虽然厌气也可分解, 但速度慢), 较丰富的纤维素供应^[12,14]. 而硝化作用强度以土壤层最高, 是因为硝化作用对有机质最敏感, 有机质多则抑制硝化作用^[10], 故有机物丰富的落叶层、腐殖层硝化作用强度均弱, 而土壤层较高.

表4 不同小生境生化作用强度

Table 4 Intensity of biochemical action in different microhabitats

小生境 Microhabitat	呼吸作用 Respiration (CO ₂ mg·20g ⁻¹ soil·d ⁻¹)	纤维分解作用 Cellular decomposition (mg·g ⁻¹ soil· 10d ⁻¹)	硝化作用 Nitrification (mg·g ⁻¹ soil· 15d ⁻¹)
落叶层 Litter layer	40.83	2.33	3.20
腐殖层 Humic layer	15.20	3.50	2.23
土壤层 Soil layer	2.78	1.60	6.74
比率 Ratio	14.7 ⊕ 5.5 ⊕ 1.0	1.5 ⊕ 2.2 ⊕ 1.0	1.4 ⊕ 1.0 ⊕ 3.0

从表3、4可看出, 3项生化作用强度指标中, 呼吸作用强度与纤维素分解作用强度之间表现出一定相关性: 呼吸作用强度高, 纤维素分解作用强度也较高; 而硝化作用强度与呼吸作用强度、纤维素分解作用强度之间未显示相关性. 纤维素分解作用以微生物的好气分解为主^[8]. 其末端产物之一是CO₂, 呼吸作用(有氧呼吸)强度是生物的有氧分解代谢, 也是以CO₂产量为指标, 故两者必然存在密切相关性. 而硝化作用强度是土壤中一类特殊微生物(自养与异养)对氮化合物氧化的结果. 它只能在有机碳源分解代谢微生物分解作用的后期, 即土壤中易溶性有机物减少到最低量才开始^[14], 故硝化作用与纤维素分解强度、呼吸作用强度未表现相关性.

3.2 不同生境土壤酶的活性

土壤酶是土壤中生化反应的催化剂, 是土壤微生物

物总活性的重要表征. 土壤蔗糖酶、纤维素酶和蛋白酶这 3 种酶的活性反映了土壤 C、N 这两大类有机化合物最基本的分解代谢强度, 涉及植物可利用养分水平, 故能反映土壤肥力和生产力.

不同生境土壤酶活性不同. 结果表明, 大竹岗毛竹林生境土壤 3 种酶显著高于先峰岭的甜槠林生境土壤, 尤以蔗糖酶、纤维素酶, 分别大 7 和 3 倍(表 5), 说明大竹岗土壤 C、N 分解代谢强度大于先峰岭土壤, 尤其是有机碳(毛竹林纤维性物质多, 更新快)的极度分解. 对照上述生化强度, 这里所得的酶活性指标尚不足反映土壤肥力和生产力的高低. 由于不同土壤中酶活性差异不仅取决于土壤中酶存在的数量、状态, 而且也取决于土壤温度、湿度、pH、腐殖质、阳离子代换量、粘粒矿物及 N、P、K 等含量. 就上述 3 种酶来说, 其活性程度与上述诸因素相关性已有不同研究结论^[2,5,6,11]. 这些正、反结论也说明酶活性指标的复杂性, 以及研究对象、时间、空间的差异而造成截然不同的结论. 我们的研究尚无法明确解答这两个生境土壤 3 种酶差异的主要原因, 有待进一步研究.

表 5 不同生境土壤酶活性

Table 5 Soil-enzyme activity in different habitats (mg g⁻¹soil• 24h⁻¹)

样地 Plots	蔗糖酶 Sucrase	纤维素酶 Cellulase	蛋白酶 Protease
iv	1.25	0.20	0.06
⊕	8.84	0.60	0.07
iv ⊕ ⊕	1 ⊕ 7	1 ⊕ 3	1 ⊕ 1.2

同一生境中不同小生境——落叶层、腐殖层和土壤层, 3 种酶都以落叶层> 腐殖层> 土壤层, 即随土壤剖

表 7 3 种酶性大小比较

Table 7 Comparison for active intensity of three enzymes

酶类 Enzyme type	样本 Samples										总和 Total Σ	平均值 Mean x	标准差 Standard denation S	标准误 Standard error Sx
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
蔗糖酶 Sucrase	8.89	7.35	5.50	1.25	8.84	8.05	1.30	7.05	2.00	1.50	51.73	5.17	3.27	1.03
纤维素酶 Cellulase	2.80	1.30	0.40	0.20	0.60	0.15	0.50	2.00	1.20	0.30	9.45	0.95	0.61	0.19
蛋白酶 Protease	0.28	0.12	0.07	0.06	0.07	0.04	0.02	0.15	0.06	0.11	1.11	0.16	0.33	0.10

致谢 参加本项研究的还有叶甲初、余友斌同志.

参考文献

- 1 许光辉、郑洪元等. 1984. 长白山北坡自然保护区森林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究. 生态学报, 4(3): 207~ 222.
- 2 关松荫. 1986. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社.
- 3 庄铁诚、林 鹏. 1997. 武夷山不同森林类型土壤异养微生物数量与类群组成. 厦门大学学报(自然科学版), 36(2): 293~ 298.
- 4 李凤珍、马成新、徐 奕等. 1992. 森林土壤氮转化的微生物功能研究. 应用生态学报, 3(3): 223~ 230.
- 5 郑文教、王良睦、林 鹏. 1995. 福建和溪亚热带雨林土壤酶活性的研究. 生态学杂志, 14(6): 16~ 20.
- 6 郑洪元、张德生. 1982. 土壤动态生物化学研究法. 北京: 科学出版社.
- 7 何建源主编. 1994. 武夷山研究(自然资源卷). 厦门: 厦门大学出版社.
- 8 (日)土壤微生物研究会. 1983. 土壤微生物实验法. 北京: 科学出版

面深度而下降(表 6). 不同小生境 3 种酶活性随土壤剖面深度而降低, 这是不同小生境理化、生物因素有显著差异的结果. 上述变化符合一般规律^[2]. 随剖面深度加深, 酶活性减弱. 如蔗糖酶活性在剖面中的分布总趋势是随土层加深, 呈梯形减弱; 酶作用底物多, 酶活性强, 生化过程活跃, 土壤有机物酶解加速, 有效养分容量高等. 我们的结果与此一致.

表 6 同一生境不同小生境土壤酶活性

Table 6 Soil-enzyme activity in different microhabitats (mg• g⁻¹ soil • 24h⁻¹)

小生境 Microhabitat	蔗糖酶 Sucrase	纤维素酶 Cellulase	蛋白酶 Proteinase
落叶层 Litter layer	8.89	2.80	0.28
腐殖层 Humic layer	7.35	1.30	0.12
土壤层 Soil layer	5.05	0.40	0.07
比率 Ratio	1.8 ⊕ 1.5 ⊕ 1	7 ⊕ 3.3 ⊕ 1	4 ⊕ 1.7 ⊕ 1

不同生境或是同一生境下的不同小生境中, 3 种酶活性均以蔗糖酶远大于纤维素酶和蛋白酶: 蔗糖酶平均 5.17mg• g⁻¹ soil • 24h⁻¹, 纤维素酶平均 0.95mg• g⁻¹ soil • 24h⁻¹, 蛋白酶平均 0.16mg• g⁻¹ soil • 24h⁻¹. 但三者活性的变异程度则相反(表 7). 比较 3 种酶活性大小, 可见蔗糖酶是最活跃的酶类, 无论在不同生境土壤中或同一生境中的不同小生境间, 它的活性远高于纤维素酶和蛋白酶, 说明森林土壤环境中有机物分解代谢以蔗糖的代谢为剧烈, 变化也较大; 纤维素的代谢和蛋白质的代谢相对较弱, 变化也小. 这一结论符合微生物——有机物主要分解者对各种 C 源、N 源分解利用的特性^[11].

- 9 (美) A. D. 麦克拉伦、G. H. 波得森、I. 斯库金斯. 1984. 土壤微生物化学. 北京: 农业出版社.
- 10 A. H. 伊利列特季诺夫. 1985. 含氮物质在土壤中的转化. 北京: 农业出版社.
- 11 (美) M. 亚历山大. 1983. 土壤生物化学导论. 北京: 科学出版社.
- 12 Atla, R. M. and Bartha, R. 1981. Microbial Ecology: fundamentals an applications. Philippines, Addison Eesley Publishing Company, Inc. 113.
- 13 Grant, W. D. and Long, P. E. 1981. Environmental Microbiology. London: Blackic, Glasgow and. 22~ 30.
- 14 Marshall, K. C. 1985. Ecology of microbial cellulose degradation. A Advances in Microbial Ecology. New York: Plenum Press. 8: 237 ~ 244, 272.

作者简介 庄铁诚, 男, 60 岁, 教授, 近 20 年来致力于滨海河口等环境微生物方向的研究, 已发表论文 30 多篇. E-mail: Tc zhuang @ Jingxian. xmu. edu.