西北林学院学报 2008，23(5)：30～33
Journal of Northwest Forestry University

常绿阔叶林次生演替系列群落土壤微生物生物量及酶活性

余彬彬[1,2]， 金则新[2*]， 李钧敏[2]

(1. 杭州师范大学 生命与环境科学学院，浙江 杭州 310018；2. 台州学院 生态研究所，浙江 临海 317000)

摘 要：利用空间序列代替时间序列的方法，研究了浙江天台山常绿阔叶林次生演替系列群落土壤微生物生物量和土壤酶活性变化。结果表明，从灌草丛到常绿阔叶林的不同演替系列群落土壤的有机质、总 N、总 P 含量总体呈逐渐升高的趋势。灌草丛微生物生物量最低，微生物生物量 C 是从针叶林到常绿阔叶林阶段明显增加，但微生物生物量 N 却是针阔混交林＞常绿阔叶林＞针叶林。磷酸酶、脲酶与 β-D-葡萄糖苷酶活性均以灌草丛土壤最低；在其他 3 个演替系列群落土壤中，脲酶和 β-D-葡萄糖苷酶活性大小是常绿阔叶林＞针阔混交林＞针叶林，而酸性磷酸酶的活性大小是常绿阔叶林＞针叶林＞针阔混交林。

关键词：常绿阔叶林；演替；土壤微生物生物量；土壤酶活性

中图分类号：S718.521.3 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-7461(2008)05-0030-04

Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity of Soils in Different Secondary Succession Stages of Evergreen Broad-leaved Forest

YU Bin-bin[1,2]， JIN Ze-xin[2*]， LI Jun-min[2]

(1. *College of Life and Environment Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou, Zhejiang* 310018, *China*; 2. *Institute of Ecology, Taizhou University, Linhai, Zhejiang* 317000, *China*)

Abstract: The changes of microbial biomass and enzyme activity of soils in different secondary succession stages of evergreen broad-leaved forest on Tiantai Mountain in Zhejiang Province were analyzed by the method of spatial sequence instad of temporal sequence. The results showed that the content of soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus increased in different secondary succession stages from scrub grass to evergreen broad-leaved forests. The soil microbial biomass in the stage of scrub grass was the lowest, soil microbial carbon increased from needle forest to evergreen broad-leaved forest, while soil microbial nitrogen decreased in the stage of needle broad-leaved mixed forest, evergreen broad-leaved forest and needle forest gradually . The activities of soil acid phosphatase, urease and β-D-glucosidase were the lowest in the stage of scrub grass. The activities of soil urease and β-D-glucosidase ranked in a decreased order of evergreen broad-leaved forest, needle broad-leaved mixed forest and needle forest, while the activity of soil acid phosphatase ranked in a decreased order of evergreen broad-leaved forest, needle forest and needle broad-leaved mixed forest.

Key words: evergreen broad-leaved forest; succession; soil microbial biomass; soil enzyme activity

亚热带常绿阔叶林是我国面积最大、最有代表性的生物群落，在我国森林资源中占有重要地位[1]。植物群落的演替是一个或几个群落被另一个群落代替的过程。植物群落的演替过程也是植物与土壤相互影响和相互作用的过程，土壤为植物的存在和发展提供必要的物质基础，植被的出现及其演替，反过

(20) **收稿日期**：2007-11-15 **修回日期**：2008-05-06
基金项目：浙江省自然科学基金项目(Y504220)；浙江省教育厅科研计划项目(20040287)。
作者简介：余彬彬，女，硕士研究生，主要从事植物生态学研究。
* **通讯作者**：金则新，男，教授，主要从事植物生态学研究。

来也将影响土壤的形成和发育[2]。而土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的组分，可促进物质的分解和合成，同时作为营养库，在陆地生态系统的物质循环和能量流动中起重要作用。但亚热带常绿阔叶林演替的研究，以往主要侧重植物种类组成及结构变化特征上，涉及土壤性质变化研究较少，现有的研究主要集中土壤理化性质的变化[3-4]。

浙江天台山由于水热条件好，植物生长茂盛，区系成分复杂，群落类型多样，存在着常绿阔叶林演替的各个主要阶段[5]，是研究演替的理想地区。目前已有学者对天台山常绿阔叶林不同演替阶段的优势种群动态[6]、演替系列群落的物种多样性[7]以及优势种群甜槠、东南石栎在演替系列群落中的遗传多样性[8-9]等作了分析，但对天台山次生常绿阔叶林不同演替阶段土壤微生物变化状况尚未进行研究。

本研究对浙江省天台山常绿阔叶林次生演替系列群落的土壤微生物生物量和土壤酶活性两方面进行了综合比较，分析植物群落演替与它们之间的关系，以加深对群落演替过程和机制的认识；同时，也为退化生态系统的恢复和重建提供基础资料。

1　材料与方法

1.1　研究地点及样品采集

天台山地处亚热带中部，位于 29°09′～29°28′N、120°05′～121°24′E 之间，年平均气温16.27℃，最冷月均温 5.1℃，最热月均温 23.5℃，年降水量 1 320.5 mm。土壤从山麓到主峰一带随海拔的升高，多由红壤逐渐过渡到黄壤类型[10]。利用空间序列代替时间序列的方法，根据群落演替的不同阶段，在天台山石梁景区内选择 4 种群落类型(灌草丛、针叶林、针阔混交林和常绿阔叶林)进行取样。灌草丛为撂荒不久的弃耕地，主要植物有黑足鳞毛蕨(*Dryopteris fuscipes*)、伞形绣球(*Hydrangea umbellata*)、算盘子(*Glochidion puberum*)；还有一些枫香(*Liquidambar formosana*)、马尾松(*Pinus massoniana*)的幼苗等。针叶林为马尾松林，群落结构简单，马尾松在群落中占绝对优势，群落的郁闭度低，林下光照比较充足，林下植物较茂盛，木荷(*Schima superba*)、东南石栎(*Lithocarpus harlandii*)等阳性树种已开始侵入。针阔混交林优势种为马尾松，共优种为木荷、甜槠(*Castanopsis eyrei*)等，其特点是由于马尾松的生长改变了光照、土壤、水分等条件，生境的改善，适宜生长的种类增加，群落的郁闭度增大，一些耐荫植物不断入侵并定居下来。常绿阔叶林为甜槠林，其特点是群落结构复杂，郁闭度大，林下的种类和个体数少。于 2006 年 8 月在 4 个不同演替阶段群落中选择海拔、坡向和坡度相近的样地，按照 S 形 5 点取样法取样，用环刀采集 0～20 cm 土壤样品，装入无菌保鲜袋中带回实验室后，均匀混合土壤样品。部分土样于室内自然风干，除去动植物残体，研磨过筛，以供土壤化学性质的测定。部分土壤保存于 4℃冰箱内，1 周内完成土壤微生物生物量 C、N 分析。

1.2　研究方法

1.2.1　**土壤基本化学性质测定**　土壤总有机质采用重铬酸钾容量法－外加热法测定[11]；土壤总 P 和总 N 采用 H_2SO_4-$HClO_4$ 消化[11]，AA3 连续流动化学分析仪(德国 Bran Luebbe 公司)测定。

1.2.2　**土壤微生物生物量测定**　土壤微生物生物量采用氯仿熏蒸浸提法测定[12-13]。每份土壤重复测定 3 次。

土壤微生物生物量 C 测定：取 6 份土壤，每份 10 g，3 份采用氯仿熏蒸，另 3 份不熏蒸，加入 40 mL 0.5 mol·L^{-1} K_2SO_4 溶液($w:v=1:4$)浸提土壤，利用日本岛津 TOC-VCPH 总有机 C 自动分析仪测定有机 C，熏蒸土壤和未熏蒸土壤提取的有机 C 测定值之差，除以转换系数 0.45 即得土壤微生物生物量 C。

土壤微生物生物量 N 测定：取 6 份土壤，每份 10 g，3 份采用氯仿熏蒸 7 d，另 3 份不熏蒸，加入 40 mL 0.5 mol·L^{-1} K_2SO_4 溶液($w:v=1:4$)浸提土壤，取 20 mL 浸提液，用 H_2SO_4-$HClO_4$ 方法消化后，利用 AA3 连续流动化学分析仪测定总 N 含量，熏蒸土壤和未熏蒸土壤提取的 N 测定值之差，除以转换系数 0.45 即得土壤微生物生物量 N。

1.2.3　**土壤酶活性测定**[14]　酸性磷酸酶(EC 3.1.3.2)活性的测定：取 1 g 风干土置锥形瓶中，加入 0.25 mL 甲苯，振摇 15 min，加入 1 mL 酸性磷酸酶底物(对硝基苯磷酸二钠)溶液，再加入 4 mL MUB 缓冲液，37℃孵育 1 h，再加入 1 mL 0.5 mol·L^{-1} $CaCl_2$ 溶液，0.8 mL 0.5 mol·L^{-1} NaOH 溶液，再加入 90 mL 双蒸水，充分振摇，过滤，测定 410 nm 吸光度。以不加底物溶液为对照。其活性以每小时每克土产生对硝基酚的微克数表示。以对硝基苯酚($\mu g \cdot mL^{-1}$)制定标准曲线，得回归直线为 $y=0.126\ 2x$($r=0.999\ 3$)。

脲酶(EC 3.5.1.5)活性的测定：取 1 g 风干土置 10 mL 容量瓶中，加入 0.15 mL 甲苯，振摇 15 min，加入 10% 尿素 0.5 mL，柠檬酸缓冲液(pH

6.7)2 mL,充分振荡,塞紧塞子,37℃培养 24 h;取出用 38℃热水稀释至刻度,过滤;取滤液 1 mL 至 50 mL 容量瓶中,加 10 mL 蒸馏水,4 mL 苯酸钠溶液,混合,再加入 3 mL 次氯酸钠溶液,混合,静止 20 min,温色,定容,测定 578 nm 吸光度。以不加土为对照。其活性以每小时每克土释放铵态氮的微克数表示。以$(NH_4)_2SO_4$($\mu g \cdot mL^{-1}$)制定标准曲线,得回归直线为 $y=0.005\ 3x$($r=0.991\ 3$)。

β-D-葡萄糖苷酶(EC 3.2.1.21)活性的测定:取 1 g 风干土置锥形瓶中,加入 0.25 mL 甲苯,振摇 15 min,加入 4 mL MUB 缓冲液(pH6.0),1 mL 0.05 mol·L^{-1} 底物溶液(对硝基苯-β-D-葡萄糖苷),摇匀,37℃孵育 1 h,再加入 1 mL 0.5 mol·L^{-1} $CaCl_2$ 溶液,4 mL 0.1 mol·L^{-1} THAM 缓冲液(pH 12),充分振摇,过滤,测定 410 nm 吸光度。以不加底物溶液为对照。其活性以每小时每克土产生对硝基酚的微克数表示。以对硝基苯酚($\mu g \cdot mL^{-1}$)制定标准曲线,得回归直线为 $y=0.127\ 2x$ ($r=0.999\ 3$)。

2 结果与分析

2.1 不同演替系列群落土壤化学性质

表 1 可看出,总有机质、总 P 和总 N 含量高低均为常绿阔叶林>针阔混交林>针叶林>灌草丛。

表 1 不同演替系列群落土壤化学性质

Table 1 The chemical characteristics of soils in different succession stages

群落类型	有机质 /(g·kg^{-1})	总 P	总 N
灌草丛	19.88±5.88	0.22±0.03	2.22±0.07
针叶林	53.78±1.74	1.09±0.03	5.15±0.32
针阔混交林	54.83±2.85	1.35±0.03	9.12±0.57
常绿阔叶林	61.41±1.58	1.44±0.07	9.14±0.63

2.2 不同演替系列群落土壤微生物生物量

由表 2 看出,微生物生物量 C 的含量高低顺序是常绿阔叶林>针阔混交林>针叶林>灌草丛,两两之间均差异显著;微生物生物量 N 的含量高低则是针阔混交林>常绿阔叶林>针叶林 >灌草丛,它们之间也具有显著性差异。

表 2 不同演替系列群落土壤微生物生物量

Table 2 The soil microbial biomass in different succession stages

群落类型	微生物量 C /(mg·kg^{-1})	微生物量 N
灌草丛	28.80±0.74a	1.41±0.01a
针叶林	47.30±0.71b	2.86±0.01b
针阔混交林	49.93±0.56c	3.43±0.01c
常绿阔叶林	54.81±0.57d	3.25±0.01d

注:同一列不同小写字母表示具有显著性差异,$\alpha=0.05$。

2.3 不同演替系列群落土壤酶活性比较

对不同演替系列群落土壤脲酶、β-D-葡萄糖苷酶和酸性磷酸酶的活性进行测定(表 3)。脲酶和 β-D-葡萄糖苷酶活性大小是常绿阔叶林>针阔混交林>针叶林>灌草丛,而酸性磷酸酶的活性大小是常绿阔叶林>针叶林>针阔混交林>灌草丛。ANOVA 分析显示,脲酶的活性除针叶林与针阔混交林的土壤差异不显著外,其他群落土壤之间均具有显著性差异;4 个演替系列群落之间土壤酸性磷酸酶活性均具有显著性差异;β-D-葡萄糖苷酶的活性除灌草丛土壤显著低于其他 3 个群落外,其他 3 个群落之间差异不显著。

表 3 不同演替系列群落土壤酶活性

Table 3 The soil enzyme activities in different succession stages

群落类型	脲酶 /(mg·g^{-1}·d^{-1})	酸性磷酸酶	β-D-葡萄糖苷酶 /(mg·g^{-1}·h^{-1})
灌草丛	3.57±0.39a	5.91±0.29a	11.49±0.57a
针叶林	6.13±0.81b	28.36±0.79b	62.52±1.13b
针阔混交林	6.26±0.75bc	25.33±0.37c	71.27±0.92b
常绿阔叶林	12.89±1.17d	32.61±0.16d	73.13±0.12b

注:同一列不同小写字母表示具有显著性差异,$\alpha=0.05$。

3 结论与讨论

不同演替系列群落土壤的有机质、总 N、总 P 含量总体呈逐渐升高的趋势,灌草丛土壤最低,常绿阔叶林最高。灌草丛为撂荒不久的弃耕地,其上的植物比较稀疏,枯落物归还少,土壤有机质等含量相对较低。随着演替进展,不同群落的优势种发生改变,枯枝落叶等凋落物的量逐渐增加,随着凋落物的分解,土壤中有机质的含量也是相应地增加。由此可看出,植物群落的演替,促进了土壤的发育和土壤肥力的提高,同时土壤肥力的提高,又为生态系统的发育和演替提供了基础。

土壤微生物生物量直接或间接地参与几乎所有的土壤生物化学过程,在土壤物质和能量的循环和转化过程中起重要的作用,其中土壤微生物生物量 C 和微生物生物量 N 是 2 种最重要的土壤微生物生物量,微生物生物量的变化在一定程度上可以反应外来化合物对土壤的影响程度。灌草丛微生物生物量最低,微生物生物量 C 是从针叶林到常绿阔叶林阶段明显增加,但微生物生物量 N 却是针阔混交林>常绿阔叶林>针叶林。在针阔混交林中,植物物种丰富,为其中的土壤微生物提供广泛的底物来源,大量的底物来源可能导致微生物多样性增加,而常绿阔叶林树种较为单一,主要以甜槠为主,凋落物成分单一,土壤中的微生物种类下降,虽然分解某一类有机物的微生物数量可能明显增加,但总体的微生物生物量有所下降。

土壤酶主要来源于土壤微生物,此外也可以来自于土壤植物、土壤动物。土壤中一切的生物化学

反应都是在土壤酶催化下完成的，土壤酶活性能够表征土壤C、N、P等养分的循环状况，反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向，其活性是土壤肥力评价的重要指标之一[15]。磷酸酶、脲酶与β-D-葡萄糖苷酶均是土壤中广泛存在的水解酶类。磷酸酶能够催化磷酸脂或磷酸酐的水解反应，其活性高低直接影响着土壤中有机磷的分解转化及其生物有效性，在酸性土壤中以酸性磷酸酶活性较高。脲酶是一种参与有机态N素分解的重要酶之一，专门水解有机N转化过程中的中间产物尿素，使其转化为氨为植物所利用。β-D-葡萄糖苷酶可以水解纤维二糖转变为糖。3种酶活性均以灌草丛土壤最低，显示了灌草丛土壤对P、N和C转化效率是最低的。在其他3个演替系列群落土壤中，脲酶和β-D-葡萄糖苷酶活性大小是常绿阔叶林＞针阔混交林＞针叶林，而酸性磷酸酶的活性大小是常绿阔叶林＞针叶林＞针阔混交林，总体上在演替过程中土壤对N、P、C的利用与转化能力是逐渐增加的。

从微生物生物量、土壤肥力、酶活性等方面均可看出，从灌草丛，到演替早期的针叶林，到中期的针阔混交林，到后期的常绿阔叶林，更多的土壤微生物参与土壤的物质循环；土壤酶活性和土壤肥力的增加，加快土壤的营养循环，从而加速群落的演替。表明天台山次生群落符合从针叶林到针阔混交林到常绿阔叶林[7]的方向演替。

参考文献：

[1] 许鸿川，王发明. 遗传多样性分析方法及其在常绿阔叶林优势种研究中的应用[J]. 福建林学院学报，2006，26(2)：186-192.

[2] 欧阳学军，黄忠良，周国逸，等. 鼎湖山南亚热带森林群落演替对土壤化学性质影响的累积效应研究[J]. 水土保持学报，2003，17(4)：51-54.

[3] 张庆费，由文辉，宋永昌. 浙江天童植物群落演替对土壤化学性质的影响[J]. 应用生态学报，1999，10(1)：19-22.

[4] 丁圣彦. 常绿阔叶林演替系列群落下土壤性质的比较[J]. 河南大学学报：自然科学版，1999，29(3)：92-96.

[5] 金则新. 浙江天台山种子植物区系分析[J]. 广西植物，1994，14(3)：211-215.

[6] 金则新，蔡辉华. 浙江天台山常绿阔叶林不同演替阶段优势种群动态[J]. 浙江林学院学报，2005，22(3)：272-276.

[7] 金则新. 浙江天台山常绿阔叶林次生演替序列群落物种多样性[J]. 浙江林学院学报，2002，19(2)：133-137.

[8] 李钧敏，金则新. 甜槠种群不同演替阶段森林群落中的遗传多样性[J]. 浙江大学学报：农业与生命科学版，2006，32(2)：232-236.

[9] 李建辉，金则新，楼文燕，等. 东南石栎种群在演替系列群落中的遗传多样性[J]. 生态学杂志，2007，26(4)：509-514.

[10] 洪仲棉. 天台山森林植被及其利用保护[J]. 植物生态学与地植物学学报，1988，12(3)：232-236.

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社，2000.

[12] 吴金水，林启美，黄巧云，等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京：气象出版社，2006.

[13] 丁玲玲，龙瑞军，祈彪，等. 东祈连山高寒草地土壤微生物碳氮研究[J]. 甘肃农业大学学报，2005，40(5)：639-645.

[14] 张猛，张键. 林地土壤微生物、酶活性研究进展[J]. 四川农业大学学报，2003，21(4)：347-351.

[15] 万忠梅，吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展[J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版，2005，33(6)：87-92.

(上接第 25 页)

[8] 马清温，李凤兰，李承森. 气孔参数的变异系数和影响因素[J]. 北京林业大学学报，2005，27(1)：19-23.

[9] 王字飞，陶君容. 植物角质层分析术语新体系[J]. 植物学通报，1991，8(4)：6-13.

[10] 蔡志全，齐欣，曹坤芳. 七种热带雨林树苗叶片气孔特征及其可塑性[J]. 应用生态学报，2004，15(2)：201-204.

[11] 郝日明，李晓征，胡金良. 遮荫处理下多脉青冈和金叶含笑的叶解剖结构变化研究[J]. 西北植物学报，2005，25(6)：1 083-1 088.

[12] 郭玉华，蔡志全，曹坤芳，等. 四种热带雨林树种光合和形态解剖特征对不同生长光强的适应[J]. 武汉植物学研究，2004，22(3)：240-244.

[13] 史刚荣，邢海涛. 淮北相山8个树种叶片的生态解剖特征[J]. 林业科学，2007，43(3)：28-33.

[14] CAO K F. Leaf anatomy and chlorophyll content of 12 woody species in contrasting light conditions in a Bornean heath forest [J]. Can J Bot，2000，78：1245-1253.

[15] 张利，赖家业，杨振德，等. 八种草坪植物耐荫性的研究[J]. 四川大学学报：自然科学版，2001，38(4)：584-588.

[16] 曾小平，赵平，蔡锡安，等. 25种南亚热带植物耐阴性的初步研究[J]. 北京林业大学学报，2006，28(4)：88-95.

[17] 白伟岚，任建武，苏雪痕. 八种植物耐阴性比较研究[J]. 北京林业大学学报，1999，21(3)：46-52.

[18] 马进，王小德. 柃木属6种树种植物光能利用特性及耐荫性研究[J]. 西北林学院学报，2007，22(4)：13-15.