

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2014.09.021

亚热带典型自然演替林被下 土壤微生物与植物多样性的关系^①

杨 究^{1,2}, 冯玉琴³, 宋鹏阳², 杨水平², 李 勇²

1. 重庆师范大学 生命科学学院, 重庆 401331;

2. 西南大学 资源环境学院, 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

3. 重庆市地产集团 重庆大宅资产经营管理有限公司, 重庆 400023

摘要: 选取缙云山三个典型自然演替植被群落为样本, 研究群落中乔木层、灌木层和草本层的植物多样性, 分析土壤微生物数量与多样性的关系。结果表明: 在不同演替群落中, 植物多样性指数(S, H, J)均存在显著差异。在演替进程中, 乔木层的植物多样性指数逐渐提高, 在常绿阔叶林阶段为最高; 灌木层和草本层的 S 和 H , 也随演替而逐渐提高, 在针阔混交林阶段达到最高, 当演替到常绿阔叶林, 又有所下降, 其 J 则在常绿阔叶林阶段达到最大。随演替进程, 土壤微生物数量与植物多样性指数(S, H, J)呈协同增加的规律, 它们表现程度不同的正相关关系。就相关系数比较来看, 土壤微生物与乔木层的植物多样性关系最密切, 相关系数分别达到极显著或显著水平, 与草本层也有较好相关性, 而与灌木层相关性未达到显著水平; 在三大类群微生物数量中, 细菌与植物多样性的相关程度最高, 真菌也有较好相关性, 放线菌与植物多样性的相关性不显著; 土壤微生物数量与植物多样性的相关程度依 A→B 层减弱。

关键词: 土壤微生物; 植物多样性; 相关性; 生态系统

中图分类号: S796

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2014)9-0129-06

在森林生态系统中, 森林土壤微生物在林地枯落物分解、腐殖质合成和土壤养分循环等过程中起着十分重要的作用, 其数量不仅影响土壤的生物化学活性及土壤养分的组成与转化, 也是土壤中生物活性的具体体现, 是维持和恢复林地生产力的主要因子之一^[1-5]。因此, 林地土壤微生物长期来都是研究热点, 尤其不同林地土壤微生物主要类群的分布和动态特征, 以及它们与土壤理化性质和其它生态因子的关系等^[6-10]。

在亚热带地区森林植被中, 存在着典型“马尾松林→马尾松常绿阔叶混交林→常绿阔叶林”方向的自然演替, 地处亚热带地区的缙云山国家级自然保护区较好得地保存着这种演替群落。亚热带不同植被群落下土壤微生物特征我们已有研究, 有关不同演替植被类型对土壤微生物的影响已有所认识^[11]。

① 收稿日期: 2013-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO40771112); 西南大学生态学重点学科“211 工程”经费; 中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2012C035)资助。

作者简介: 杨 究(1976-), 男, 四川阆中人, 博士, 高级工程师, 主要从事植物生态的研究。

通信作者: 杨水平, 副教授。

植物多样性是森林植被的内在特征,它既体现植被群落生物资源的丰富性,也体现植被与环境之间的复杂关系^[8-13].而有关植被群落内土壤微生物与其植物多样性的关系研究尚未见报道.本文选择缙云山马尾松林、针阔混交林、常绿阔叶林 3 种典型自然演替植被,研究它们的植物多样性及林被下土壤微生物与植物多样性的关系,试图通过植被群落内在因素解析植被类型对土壤微生物的作用机理,以期为森林经营和管理提供科学依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

研究区位于重庆市北碚区缙云山自然保护区(29°50'N, 106°20'E)内,最高海拔 900 m 左右.气候属于典型的亚热带季风湿润性气候,年均气温 13.6 °C,年平均降雨量 1 143 mm.土壤属于三迭纪须家河组(*T₃xj*)厚层石英砂岩风化发育的黄壤,主要植被类型有常绿阔叶林、暖性针叶林、竹林、常绿阔叶灌丛、灌草丛等^[11].试验选取了该区的马尾松林,马尾松阔叶混交林,常绿阔叶林 3 个典型的自然演替植被类型.树种马尾松林以马尾松(*Pinus massoniana*)为主,马尾松阔叶混交林主要是马尾松和四川大头茶(*Gordonia sichuanensis*),常绿阔叶林以为四川山矾(*Symplocos setchuanensis*)为主.样地资料见表 1.

表 1 缙云山森林生态系统内三个次生演替群落概况

样地编号	群落类型	地点	海拔 /m	坡度 /°	pH 值	有机质 /(mg · kg ⁻¹)	郁闭度
S1	马尾松林	松林坡	580	25	4.8~5.5	36.1±2.9	0.65
S2	马尾松阔叶混交林	聚云峰	770	3°	4.5~5.2	48.9±1.5	0.75
S3	常绿阔叶林	聚云峰	800	30	4.0~4.8	73.9±1.4	0.85

1.2 研究方法

1.2.1 样方确定及植物调查方法

统一在每个演替群落中设置面积为 20 m×20 m 的标准样地,用方格网法在每个标准样地内设 4 个 10 m×10 m 的乔木层样方,在每个乔木层样方内设 2 个 4 m×4 m 的灌木层样方,在每个灌木层小样方中再设 2 个 1 m×1 m 的草本层样方.每个演替群落分别有 4 个乔木层样方,8 个灌木层样方,16 个草本层样方.为减少植物个体大小差异,将群落按高度分层为乔木层、灌木层和草本层:① 乔木层高>5 m;② 灌木层高 1.5~5 m;③ 草本层高<1.5 m.在各样地中分别记录乔木、灌木和草本物种的种类以及各物种的个体数,同时测量群落的郁闭度.

1.2.2 土壤样品采集和微生物测定方法

分别在三个样地中以对角线方式设置 5 个样点,按土壤发生层次,选取淋溶层(A)和淀积层(B)中央的土样,分别装于无菌袋中,带回实验室,4 °C 冰箱保存,用于测定土壤微生物,另一部分土样经风干、磨细、过筛(2、1、0.25 mm 土壤筛)后,用于测定土壤有机碳质量分数(重铬酸钾外加热法),土壤 pH 值(酸度计法, $v_{(水)}:M_{(土)}$ 为(2.5:1)^[14].土壤微生物数量分细菌、真菌、放线菌 3 大类群测定,采用稀释平板法计数,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌采用马铃薯糖琼脂培养基,放线菌采用高氏 1 号培养基^[14-16].

1.2.3 数据处理

物种的多样性指数采用物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)和 Pielou 均匀度指数(J).计算公式如下^[17]:

Shannon-Wiener 多样性指数(H):

$$H = - \sum P_i \ln P_i;$$

Pielou 均匀度指数(J):

$$J = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S;$$

丰富度指数 S . 其中, P_i 为第 i 种个体所占比值, S 为物种总数.

采用 SPSS17.0 软件对数据进行分析: 采用单因素方差分析研究不同植被类型、不同土壤深度对土壤微生物数量的影响, 采用相关分析研究土壤微生物和植物多样性之间的相关关系.

2 结果与分析

2.1 演替群落的植物多样性分析

乔木层植物多样性指数差异都达到显著水平. 多重比较结果显示, 丰富度指数 S , Shannon-Wiener 多样性指数 H , 随演替进程而逐渐提高, 说明各群落乔木层的植物类型和密度同时增加; 均匀度指数 J 也随演替进程而逐渐提高, 但针阔混交林与常绿阔叶林的差异不显著, 这说明随着群落演替, 乔木层的群落结构在针阔混交林阶段已趋于稳定.

灌木层植物多样性指数差异均达到显著水平. 其中丰富度指数 S , Shannon-Wiener 多样性指数 H 随演替进程而表现出先上升后下降的趋势. 均匀度指数 J 则随演替进程而逐渐上升. 这说明在群落演替中, 各群落灌木层的植物种类和密度都随演替阶段的提高而逐渐增加, 当演替到顶级群落, 又有所下降, 而稳定性则处于上升态势. 在 3 个演替群落中, 常绿阔叶林下的灌木层结构最稳定.

草本层植物多样性指数的变化特征与灌木层类似. 从草本层的丰富度指数 S 来看, 马尾松林的丰富度最低, 只有 42.8. 随着群落演替, 草本层的丰富度逐渐增加, 演替到马尾松阔叶混交林最高, 但到顶级群落常绿阔叶林有所下降. Shannon-Wiener 多样性指数 H 与丰富度指数相同, 马尾松阔叶混交林最高 (2.9), 其次是常绿阔叶林, 马尾松林最低为 2.76. 与灌木层相同, 均匀度指数 J 也表现出了随演替进程而逐渐上升的趋势, 演替到顶级群落常绿阔叶林的草本层结构最稳定.

表 2 演替群落的植物多样性指数 LSD 多重比较结果

植物多样性指数	S				H			J		
	均值	标准差	5%显著性		均值	标准差	5%显著性	均值	标准差	5%显著性
乔木层	S1	7.81	0.614	c	1.77	0.152	c	0.71	0.054	b
	S2	9.01	0.857	b	2.34	0.097	b	0.86	0.034	a
	S3	12.8	0.982	a	2.83	0.142	a	0.90	0.015	a
灌木层	S1	21.5	2.950	b	2.51	0.124	b	0.83	0.011	b
	S2	32.4	3.410	a	2.85	0.162	a	0.84	0.002	ab
	S3	24.1	9.684	ab	2.65	0.059	a	0.86	0.023	a
草本层	S1	42.8	3.995	b	2.76	0.111	b	0.75	0.021	b
	S2	50.0	5.798	a	2.90	0.101	a	0.81	0.012	ab
	S3	46.2	3.002	ab	2.89	0.041	a	0.85	0.015	a

2.2 演替群落下土壤微生物与植物多样性的关系

关于缙云山几种典型林被下土壤微生物数量特征, 作者宋鹏阳等已有报道^[11], 本项研究就不再作阐述, 现将研究结果列于表 3 中, 以供参考.

表 3 演替群落下土壤微生物的分布特征

样地	细 菌		真 菌		放 线 菌	
	A	B	A	B	A	B
S1	9.5c	3.7c	0.38c	0.19c	1.48c	0.81c
S2	10.1b	5.9b	1.14b	0.64b	2.72b	1.63b

S3 14.3a 7.8a 1.42a 0.73a 3.5a 1.91a

注:表中所列数据为样地中 5 个样点的平均值,单位为 105/克,土为风干土。

微生物数量与植物多样性的相关性分析结果见表 4。

1) 就乔灌草不同层次看

三大类群微生物数量与森林群落内乔、灌、草 3 个层次植物多样性的相关程度存在不同:与乔木层多样性指数(S, H, J)相关关系最高,分别达到极显著或显著水平正相关;与草本层也有较好相关性,A 层细菌达到极显著,真菌达到显著;但与灌木层相关关系都未达到显著水平。表明,乔木层与土壤微生物相互作用最强烈,其次为草本层,灌木层最弱。

2) 就不同土壤层次看

微生物数量与植物多样性的相关程度依 A→B 层减弱,即土层愈深,植物对其影响愈小。

表 4 土壤微生物与植物多样性的相关系数($n=12$)

植物多样性指数	乔木层			灌木层			草本层			
	S	H	J	S	H	J	S	H	J	
细菌	A	0.907**	0.805**	0.789**	0.457	0.430	0.456	0.682**	0.715**	0.659**
	B	0.595*	0.545*	0.683**	0.382	0.371	0.315	0.429	0.389	0.421
真菌	A	0.686**	0.682**	0.694**	0.298	0.283	0.381	0.535*	0.524*	0.567*
	B	0.303	0.372	0.152	0.121	0.092	0.105	0.243	0.156	0.263
放线菌	A	0.549*	0.598*	0.545*	0.223	0.254	0.231	0.384	0.227	0.252
	B	0.207	0.356	0.133	0.019	0.014	0.118	0.248	0.105	-0.014

注: * $p < 0.05$ 显著水平; ** $p < 0.01$ 极显著水平。

3) 就不同微生物类群看

细菌在三大微生物类群中,其数量与植物多样性指数相关性最高。在 A, B 两层呈相同规律,即与 S, H, J 的相关程度依乔木层→草本层→灌木层的顺序减弱。A 层的细菌数量与乔木层 S, H, J 分别都达到极显著的正相关, B 层也分别达到了极显著或显著水平。A, B 两层细菌与灌木层 S, H, J 相关性均未达到显著水平。A 层细菌数量与草本层 S, H, J 达到极显著正相关($p < 0.01$), B 层细菌数量与之达到正相关但不显著。

真菌在三大微生物类群中,其数量与植物多样性指数相关性程度介于细菌和放线菌之间。A 层真菌数量与乔木层 S, H, J 分别达到极显著水平,与草本层达到显著水平,而与灌木层未达到显著水平。B 真菌数量与乔、灌、草都未达到显著水平。

放线菌数量与植物多样性指数相关性在三大微生物类群中最弱。仅 A 层与乔木层 S, H, J 分别达到显著正相关水平,其余都为达到显著水平。就相关系数大小比较而言,仍然呈依乔木层→草本层→灌木层和沿 A→B 层减弱。

3 讨 论

刘鸿雁等^[13]认为森林群落在演替的初级阶段,草本层与灌木层类似,植物种类和密度呈上升趋势,当演替到高级阶段后又有所下降,以马尾松阔叶混交林最高;乔木层则随演替进程一直保持着上升态势。本文 3 个典型自然演替群落所得的结果与此类似,即乔木层丰富度、多样性和均匀度以顶级群落常绿阔叶林

为最大,灌木层与草本层的多样性指数则在针阔混交林阶段达到稳定。

不同林地土壤微生物存在着不同特征,其中原因是多方面的^[2-3, 5, 9-12]。处于不同自然演替阶段的植物群落,主要类群微生物数量随演替进程而增加^[11]。Loranger-Merciris G等^[17]研究表明:种植4种植物的处理土壤可培养微生物群落活性和多样性高于种植3种、2种和1种植物的处理。Zak等^[18]也发现,随着植物多样性的增加,微生物生物量、土壤呼吸、真菌丰富度明显增加,并认为微生物群落的这种变化是由于植物多样性的增加和植物生产量的增加。本文通过微生物数量与植物多样性的相关关系研究结果,印证了上述观点,即土壤微生物数量与林地植物多样性存在一定正相关关系,自然植被随演替进程,土壤微生物数量与植物多样性指数(S, H, J)表现出协同增加的规律,尤其A层。在不同植被层次中,土壤微生物与乔木层植物多样性关系最密切,与草本层关系较密切,表现乔木层对壤微生物影响最强,其次为草本层,灌木层则相对较弱。在三大类群微生物中,细菌与植物多样性的相关性最高,其次为真菌。

参考文献:

- [1] 杨 涛,徐 慧,方德华,等. 樟子松林下土壤养分、微生物及酶活性的研究 [J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 253—257.
- [2] 何跃军,刘锦春,钟章成,等. 重庆石灰岩地区植被恢复过程土壤酶活性与植物多样性的关系 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(4): 139—143.
- [3] 赵 萌,方 晰,田大伦,等. 第2代杉木人工林地土壤微生物数量与土壤因子的关系 [J]. 林业科学, 2007, 43(6): 7—12.
- [4] 张奇春,王光火,方 斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响 [J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 116—121.
- [5] 魏 媛,张金池,俞元春,等. 退化喀斯特植被恢复对土壤微生物数量及群落功能多样性的影响 [J]. 土壤, 2010, 42(2): 230—235.
- [6] 徐秋芳,姜培坤,邬奇峰,等. 集约经营板栗林土壤微生物量碳与微生物多样性研究 [J]. 林业科学, 2007, 43(3): 15—19.
- [7] HOOP D U, VITOUSER P M. The Effects of Plant Composition and Diversity on Ecosystem Process [J]. Science, 1997(277): 1302—1305.
- [8] CLAY K. Fungal Endophyte Symbiosis and Plant Diversity in Successional Fields [J]. Science, 1999, 285(5434): 1742—1744.
- [9] MARCEL G A, JOHN N, KLIRONOMOS M U, et al. Mycorrhizal Fungal Diversity Determines Plant Biodiversity, Ecosystem Variability and Productivity [J]. Nature, 1998, 396: 69—72.
- [10] KLIRONOMOS J N. Feedback with Soil Biota Contributes to Plant Rarity and Invasiveness in Communities [J]. Nature, 2002, 417: 67—70.
- [11] 宋鹏阳,周国新,杨水平,等. 亚热带几种典型林被下土壤微生物对比研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(9): 74—79.
- [12] 孙 凡,袁红叶,朱 波,等. 紫色土丘陵区典型林地土壤温室气体释放研究 [J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2008, 25(4): 16—21.
- [13] 刘鸿雁. 缙云山森林群落次生演替中土壤特性动态变化及其影响因素研究 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

- [15] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 43—242.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 40—250.
- [17] LORANGER-MERCIRIS G, BARTHESLAURE, GASTINE A, et al. Rapid Effects of Plant Species Diversity and Identity on Soil Microbial Communities in Experimental Grassland Ecosystems [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 2336—2343.
- [18] ZAK D R, HOLMES W E, WHITE D C, et al. Plant Diversity, Soil Microbial Communities, and Teensy Stem Function: Are There Any Links? [J]. *Ecology*, 2003, 84(8): 2042—2050.

Correlation Between Soil Microbes and Plant Diversity Under the Typical Subtropical Natural Succession Forest

YANG Xian^{1,2}, FENG Yu-qin³, SONG Peng-yang²,
YANG Shui-ping², LI Yong²

1. College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;

2. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education),
School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. Chongqing Dazhai Assets Management Co., Ltd. Chongqing 400023, China

Abstract: Three typical forests of natural succession were sampled in Mt. Jinyun to study the relationships between soil microbes and plant diversity of tree, shrub and herb layers under the typical subtropical natural succession forests. The results indicated that significant differences existed among plant diversity indexes (S , H , and J) in different successional communities. With the progress of succession, plant diversity indexes of the tree layer gradually increased and arrived at the highest in the evergreen broad-leaved forest stage; the S and H at the shrub and herbaceous layers improved and arrived at the highest in the mixed coniferous stage, and then declined when the succession reached the evergreen broad-leaved forest stage. J was the highest in the evergreen broad-leaved forest stage. During the process of succession, soil microbial quantity and plant diversity indexes (S , H , and J) were positively correlated and increased simultaneously. A comparison of the correlation coefficients showed that the correlation between soil microbial quantity and plant diversity index was significant or highly significant in the tree layer, fairly good in the herbaceous layer and non-significant in the shrub layer. Of the three major groups of soil microbes, bacteria were most closely correlated with plant diversity, followed by fungi and actinomycetes. The correlation between soil microbial quantity and plant diversity deminished gradually from layer A to layer B.

Key words: soil microbe; plant species diversity; correlation; ecosystem

责任编辑 陈绍兰

