

湘中丘陵区不同经营目标毛竹林 土壤微生物数量与酶活性

漆良华¹ 杜满义¹ 范少辉¹ 艾文胜² 刘广路¹ 孟勇²

1. 国际竹藤中心, 北京 100102; 2. 湖南省林业科学院, 长沙 410004

摘要 研究了湘中丘陵区不同经营目标下毛竹笋用林(I)、笋材兼用林(II)、材用林(III)土壤微生物数量、酶活性及其典范相关关系。结果表明:细菌是土壤微生物的主要类群,所占比例为84.51%~91.31%;真菌数量其次,所占比例为8.39%~14.84%;放线菌数量最少,所占比例为0.17%~0.65%。0~60 cm土层细菌、真菌和放线菌数量总体均以笋用林最高,分别为 83.68×10^6 、 8.27×10^6 和 0.26×10^6 cfu/g。脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶活性分别为0.008~0.027、0.019~0.026、1.23~2.46 mg/g、0.28~0.46 mL/g和0.35~1.57 mg/g。脲酶活性总体以毛竹材用林最高,蛋白酶、蔗糖酶以及过氧化氢酶活性总体均以笋材兼用林最高,多酚氧化酶活性则以笋用林最高。典范变量系数反映了真菌数量(1.264 5)与典范变量的正相关以及细菌数量(-1.091 8)、蔗糖酶活性(-0.876 7)与典范变量的负相关关系。

关键词 毛竹; 土壤微生物数量; 土壤酶活性; 典范相关分析; 湘中

中图分类号 S 718.51⁺6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)02-0025-05

森林土壤微生物可以促进动植物残体、枯落物的分解和有机质的转化,改善土壤理化性能,增加土壤养分来源^[1]。土壤酶活性高低对森林土壤质量动态十分敏感,能客观表征土壤碳、氮、磷等养分库的变化^[2-3]。国内外有关森林土壤微生物、酶活性的研究已较深入^[4-6],有关毛竹林土壤生物学特性的研究也有一些报道^[7],然而针对湘中丘陵区不同经营目标下毛竹林土壤微生物数量与酶活性的研究则鲜见报道。本研究以该区域毛竹笋用林、笋材兼用林和材用林不同经营目标林分为对象,在土壤养分特征、养分库综合指数以及养分相关关系研究^[8]的基础上,对土壤微生物数量与酶活性特征进行定量研究,为毛竹林土壤质量调控、定向培育提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于湖南省益阳市赫山区泥江口镇、新市渡镇,地理位置为 $112^{\circ} 30' E \sim 112^{\circ} 43' E$, $28^{\circ} 16' N \sim 28^{\circ} 29' N$,属雪峰山余脉,海拔300 m,坡度 $5^{\circ} \sim 35^{\circ}$,是我国毛竹林分布的中心区域之一。成土母质以板页岩为主,土壤为红壤。中亚热带季风

湿润气候,年均气温 $16.9^{\circ} C$,全年无霜期274 d,年均日照时数1 643 h;年降水量1 460 mm,年平均相对湿度81%。

1.2 样地设置与调查

根据竹林经营目标的差异,在研究区内分别选择有代表性且水肥管理条件一致的毛竹笋用林(I)、笋材兼用林(II)、材用林(III),各设置固定样地3个,样地面积为 $600 m^2$ 。样地基本信息参见已有研究统计^[8]。

1.3 土壤样品分析

2009年10月23-29日分层(0~20、20~40、40~60 cm)采集土样。土壤细菌、真菌、放线菌数量测定采用平板涂抹法,细菌、真菌和放线菌的培养基分别为牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏培养基和改良高氏1号培养基。脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶活性分别用苯酚钠比色法、改良茚三酮比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法、容量法和邻苯三酚比色法测定^[9-10]。

1.4 数据处理

选择细菌数量(X_1)、真菌数量(X_2)、放线菌数量(X_3)、脲酶(Y_1)、蛋白酶(Y_2)、蔗糖酶(Y_3)、过氧

收稿日期: 2012-04-19

基金项目: 国际竹藤中心基本业务专项(1632008005)和林业公益性行业科研专项(201104008)

漆良华, 博士, 副研究员, 研究方向: 森林培育与森林生态学. E-mail: qilianghua2008@yahoo.com.cn

通讯作者: 范少辉, 博士, 研究员, 研究方向: 森林培育. E-mail: fansh@icbr.ac.cn

化氢酶(Y_4)、多酚氧化酶(Y_5),建立土壤微生物指标和酶活性指标的数据集 $X_{3 \times 9}$ 和 $Y_{5 \times 9}$,通过典范相关分析,构建土壤微生物典范变量(U)和土壤酶活性典范变量(V),判定土壤微生物和酶活性的相互关系^[11]。方差分析、LSD 多重比较以及典范相关分析均应用 SPSS 相关程序进行。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物数量

不同经营目标的毛竹林土壤不同土层细菌、真菌及放线菌数量差异均未达到显著水平($P > 0.1$) (表 1),说明湘中丘陵区毛竹林经营目标对土壤微生物类群的数量及其分布影响不大。毛竹笋用林、笋材兼用林和材用林 0~60 cm 土层细菌数量分别为 $67.99 \times 10^6 \sim 97.95 \times 10^6$ 、 $37.25 \times 10^6 \sim 73.37 \times 10^6$ 、 $38.89 \times 10^6 \sim 57.08 \times 10^6$ cfu/g,真菌数量分别为 $6.26 \times 10^6 \sim 10.68 \times 10^6$ 、 $4.96 \times 10^6 \sim 10.10 \times 10^6$ 、 $5.51 \times 10^6 \sim 10.02 \times 10^6$ cfu/g,放线菌数量分别为 $0.22 \times 10^6 \sim 0.32 \times 10^6$ 、 $0.14 \times 10^6 \sim 0.21 \times 10^6$ 、 $0.17 \times 10^6 \sim 0.44 \times 10^6$ cfu/g。可见,细菌数量最多,真菌数量次之,放线菌数量极少,占土壤全部

微生物的比例分别为 84.51%~91.31%、8.39%~14.84%和 0.17%~0.65%。

细菌数量在 0~20、20~40、40~60 cm 土层均以笋用林最高,真菌数量在 0~20、20~40、40~60 cm 土层分别以材用林、笋材兼用林和笋用林最高,放线菌数量在 0~20、20~40 cm 土层以笋用林最高,40~60 cm 土层以材用林最高。0~60 cm 土层细菌、真菌和放线菌数量均值都以笋用林最高,分别为 83.68×10^6 、 8.27×10^6 和 0.26×10^6 cfu/g,这可能与笋用林经营对土壤状况的改善有利于微生物类群的生长繁殖。

2.2 土壤酶活性

0~60 cm 土层土壤脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶活性分别为 0.008~0.027、0.019~0.026、1.23~2.46 mg/g、0.28~0.46 mL/g 和 0.35~1.57 mg/g。土壤酶活性方差分析与多重比较结果(表 2)表明,不同经营目标的毛竹林 40~60 cm 土层过氧化氢酶活性差异达较显著水平($P < 0.05$),而其余不同土层土壤酶活性差异均未达到显著水平($P > 0.1$),表明湘中丘陵区毛竹林经营目标对土壤酶活性的影响较小。

表 1 毛竹林土壤微生物数量分析¹⁾

Table 1 ANOVA and ANOVA-LSD of soil microbe numbers in *Phyllostachy edulis* forests

$\times 10^6$ cfu/g

林分类型 Types	0~20 cm			20~40 cm			40~60 cm		
	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces
I	67.99 a	6.26 a	0.32 a	85.11 a	7.88 a	0.22 a	97.95 a	10.68 a	0.24 a
II	37.25 a	4.96 a	0.21 a	73.37 a	10.10 a	0.14 a	70.88 a	6.71 a	0.17 a
III	49.98 a	7.46 a	0.17 a	38.89 a	5.51 a	0.18 a	57.08 a	10.02 a	0.44 a

1) I、II、III 分别表示毛竹笋用林、笋材兼用林、材用林。同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平,下同。I、II、III means *Phyllostachy edulis* shoot utilizing stands, shoot and timber utilizing stands and timber utilizing, respectively. Different small letters meant significant difference at 0.05 level. The same as below.

表 2 毛竹林土壤酶活性方差分析与多重比较

Table 2 ANOVA and ANOVA-LSD of soil enzyme activities in *Phyllostachy edulis* forests

土层/cm Soil layers	林分类型 Types	脲酶/(mg/g) Urease	蛋白酶/(mg/g) Proteinase	蔗糖酶/(mg/g) Sucrase	过氧化氢酶/(mL/g) Catalase	多酚氧化酶/(mg/g) Polyphenol oxidase
0~20	I	0.011 a	0.021 a	1.89 a	0.41 a	0.87 a
	II	0.008 a	0.025 a	1.56 a	0.46 a	1.38 a
	III	0.027 a	0.021 a	1.49 a	0.43 a	1.19 a
20~40	I	0.020 a	0.022 a	2.46 a	0.30 a	0.91 a
	II	0.014 a	0.026 a	2.26 a	0.41 a	0.37 a
	III	0.011 a	0.022 a	1.23 a	0.42 a	1.24 a
40~60	I	0.016 a	0.024 a	1.59 a	0.28 b	1.57 a
	II	0.018 a	0.019 a	2.28 a	0.41 a	0.66 a
	III	0.026 a	0.021 a	1.73 a	0.31 b	0.35 a

脲酶通过促进尿素水解产生氨,可为植物提供氮素营养。毛竹笋用林、笋材兼用林和材用林 0~60 cm 土层土壤脲酶活性分别为 0.011~0.020、0.008~0.018 mg/g 和 0.011~0.027 mg/g。脲酶活性在 0~20 cm 土层、40~60 cm 土层以毛竹材用林最高,20~40 cm 土层以笋用林最高,0~60 cm 土层脲酶活性均值排序为 III (0.021 mg/g) > I (0.016 mg/g) > II (0.013 mg/g)。

蛋白酶可促进蛋白质水解成氨基酸,加速土壤氮素循环。毛竹笋用林、笋材兼用林和材用林 0~60 cm 土层土壤蛋白酶活性分别为 0.021~0.024、0.019~0.026 mg/g 和 0.021~0.022 mg/g。蛋白酶活性在 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层以毛竹笋材兼用林最高,40~60 cm 土层以笋用林最高,0~60 cm 土层蛋白酶活性均值排序为 II (0.023 mg/g) > I (0.022 mg/g) > III (0.021 mg/g)。

蔗糖酶活性对增加土壤中易溶性营养物质起重要作用。毛竹笋用林、笋材兼用林和材用林 0~60 cm 土层土壤蔗糖酶活性分别为 1.59~2.46、1.56~2.28 和 1.23~1.73 mg/g。蔗糖酶活性在 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层以毛竹笋用林最高,40~60 cm 土层以笋材兼用林最高,0~60 cm 土层蔗糖酶活性均值排序为 II (2.03 mg/g) > I (1.98 mg/g) > III (1.48 mg/g)。

过氧化氢酶可促进过氧化氢的分解,有利于防止其对生物体的毒害作用,其活性与土壤有机质含量、微生物数量有关。毛竹笋用林、笋材兼用林和材用林 0~60 cm 土层土壤过氧化氢酶活性分别为 0.28~0.41、0.41~0.46 和 0.31~0.43 mL/g。过氧化氢酶活性在 0~20 cm 土层、40~60 cm 土层以毛竹笋材兼用林最高,20~40 cm 土层以材用林最高,0~60 cm 土层过氧化氢酶活性均值排序为 II (0.43 mL/g) > III (0.39 mL/g) > I (0.33 mL/g)。

多酚氧化酶参与土壤腐殖质的形成与转化。竹笋用林、笋材兼用林和材用林 0~60 cm 土层土壤多酚氧化酶活性分别为 0.87~1.57、0.37~1.38 和 0.35~1.24 mg/g。多酚氧化酶活性在 0~20 cm 土层以笋材兼用林最高,20~40 cm 土层以材用林最高,40~60 cm 土层以笋用林最高,0~60 cm 土层多酚氧化酶活性均值排序为 I (1.12 mg/g) > III (0.93 mg/g) > II (0.80 mg/g)。

2.3 土壤微生物数量及酶活性的典范相关分析

根据典范相关系数显著性检验,得到土壤微生物数量与酶活性的第一对典范变量,其典范相关系数为 0.991 3 (表 3),经检验达显著水平 ($P < 0.1$)。

$$U_1 = -1.0918X_1 + 1.2645X_2 + 0.0853X_3;$$

$$V_1 = 0.5371Y_1 + 0.5969Y_2 - 0.8767Y_3 - 0.1242Y_4 - 0.8239Y_5$$

表 3 典范相关系数显著性检验

Table 3 Wilk's lambda and chisquare tests of canonical correlation coefficients

典范向量序号 Canonical vector No.	相关系数 Canonical correlation coefficients	Wilk	χ^2	P
1	0.991 3	0.001 6	22.544 2	0.094 3
2	0.908 7	0.091 6	8.365 5	0.398 6
3	0.688 6	0.525 9	2.249 4	0.522 3

由典范变量回归系数可知,在土壤微生物典范变量(U)中,真菌数量与之呈正相关,回归系数最大(1.264 5),细菌数量次之,与之呈负相关(-1.091 8);土壤酶活性典范变量(V)中,蔗糖酶活性与之呈负相关,回归系数最大,为-0.876 7。典范变量 U_1 可解释 17.11% 的土壤微生物数量变异,并能解释土壤酶活性 10.77% 的变异;典范变量 V_1 可解释 10.58% 的土壤微生物数量变异,并能解释土壤酶活性 16.81% 的变异(表 4)。

表 4 典范冗余分析

Table 4 Canonical redundancy rate analysis

观察值的变异被典范变量所能解释的比例 Proportion of observed value variation could be explained by canonical variables	微生物数量 Microorganism numbers				土壤酶活性 Enzyme activities					
	X_1	X_2	X_3	总体 Whole	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	总体 Whole
U_1	5.90	30.84	14.59	17.11	21.84	5.68	10.98	2.33	13.01	10.77
V_1	5.80	30.30	14.34	10.58	21.46	5.58	10.79	2.29	12.79	16.81

3 讨论

森林土壤微生物的数量与分布在很大程度上影响并决定着土壤的生物活性,在有机质分解、腐殖质合成、土壤团聚体形成以及土壤养分转化等方面具有关键作用^[6]。湘中丘陵区不同经营目标对毛竹林分结构、物种组成的影响存在差异,其分泌物的种类、数量和性质也不同,从而影响微生物数量和种类分布上的差异。土壤酶作为生物催化剂,其活性可反映土壤中各种生物化学过程的强度与方向,且易受到土壤环境中物理、化学及生物因子的影响,并关联到土壤微生物的活动与繁衍^[11]。

在湘中丘陵区毛竹林不同经营目标下,0~60 cm 土层细菌、真菌和放线菌数量均值都以笋用林最高,这可能与笋用林经营对土壤孔隙、养分状况等条件的改善有利于微生物类群的生长繁殖有关^[12]。细菌是土壤微生物的主要类群,其次为真菌数量,放线菌数量最少。这表明细菌对土壤质量的改良作用更明显;放线菌、真菌数量虽少于细菌,但绝对数量也较多,反映其对于不同经营目标下毛竹林土壤的物质循环、能量流动具有重要的调控作用^[13]。

0~60 cm 土层土壤脲酶活性总体以毛竹材用林最高,蛋白酶、蔗糖酶以及过氧化氢酶活性总体均以笋材兼用林最高,多酚氧化酶活性则以笋用林最高,不同类型毛竹林土壤酶活性的差异,反映了土壤酶促功能的差异,并最终影响土壤质量与竹林生产力^[14]。

微生物数量与土壤酶活性的典范相关分析结果,主要反映了真菌数量(1.264 5)与典范变量的正相关关系以及细菌数量(-1.091 8)和蔗糖酶活性(-0.876 7)与典范变量的负相关关系。这表明土壤微生物分解土壤中的有机养分与蔗糖酶增加土壤中易溶性营养物质是两个相互促进的生物化学过程,也证实了土壤蔗糖酶活性与土壤有机质、氮、磷含量以及微生物数量、碳的转化及土壤呼吸强度有关的特性^[15]。

参 考 文 献

- [1] 漆良华,张旭东,周金星,等.湘西北小流域不同植被恢复区土壤微生物数量、生物量碳氮及其分形特征[J].林业科学,2009,45(8):14-20.
- [2] 徐华勤,肖润林,向佐湘,等.稻草覆盖、间作三叶草茶园土壤酶活性与养分的关系[J].生态学杂志,2009,28(8):1537-1543.
- [3] 刘宇峰,邓少虹,梁燕菲,等.灌溉方式与有机无机氮配施对水稻土壤微生物活性的影响[J].华中农业大学学报,2012,31(4):428-435.
- [4] GARCIA-GIL J,PLAZA C,SOLER-ROVIRA P,et al. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass[J]. Soil Biology & Biochemistry,2000,32:1907-1913.
- [5] HARRIS J A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration[J]. European Journal of Soil Science,2003,54:801-808.
- [6] 胡斌,段昌群,王震洪,等.植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响[J].土壤学报,2002,39(4):604-608.
- [7] 徐秋芳,姜培坤.毛竹竹根区土壤微生物数量与酶活性研究[J].林业科学研究,2001,14(6):648-652.
- [8] 漆良华,孟勇,岳祥华,等.湘中丘陵区不同经营目标对毛竹林土壤养分库的影响[J].华中农业大学学报,2012,31(5):584-588.
- [9] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:中国农业出版社,1986.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978.
- [11] 漆良华,张旭东,彭镇华,等.湘西北退化侵蚀地植被恢复区土壤养分、微生物与酶活性的典范相关分析[J].林业科学,2008,44(9):1-6.
- [12] 李延茂,胡江春,汪思龙,等.森林生态系统中土壤微生物的作用与应用[J].应用生态学报,2004,15(10):1943-1946.
- [13] 刘子雄,朱天辉,张健.两种不同退耕还林模式下的土壤微生物特性研究[J].水土保持学报,2006,20(3):132-135.
- [14] 徐惠风,刘兴土,白军红.长白山沟谷湿地乌拉苔草沼泽湿地土壤微生物动态及环境效应研究[J].水土保持学报,2004,18(3):115-122.
- [15] 薛立,邝立刚,陈红跃,等.不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究[J].土壤学报,2003,40(2):280-285.

Quantities of soil microbe and enzymatic activities of *Phyllostachy edulis* forests under different management in hilly region of central Hunan Province

QI Liang-hua¹ DU Man-yi¹ FAN Shao-hui¹ AI Wen-sheng² LIU Guang-lu¹ MENG Yong²

1. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;

2. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China

Abstract Based on plot data of shoot utilizing stands (I), shoot and timber utilizing stands (II) and timber utilizing (III) of *Phyllostachy edulis* forests located at the hilly region of central Hunan, quantities of soil microbe, enzymatic activities and their canonical correlation analysis (CCA) were investigated in the three typical patterns of management. Results showed that bacterium was the major kind of the total soil microbe with the highest proportion of 84.51%-91.31%, followed by fungus and actinomycetes with the proportion of 8.39%-14.84% and 0.17%-0.65%, respectively. Within 0-60 cm soil layers the highest quantities of bacteria, fungi and actinomycetes occurred in type I that were 83.68×10^6 cfu/g, 8.27×10^6 cfu/g and 0.26×10^6 cfu/g, respectively. The variable activities of soil urease, proteinase, sucrase, catalase and polyphenol oxidase were 0.008-0.027 mg/g, 0.019-0.026 mg/g, 1.23-2.46 mg/g, 0.28-0.46 mL/g and 0.35-1.57 mg/g in soil layer of 0-60 cm, respectively. The highest activities of urease appeared in type III. Activities of proteinase, sucrase and catalase were the highest in type II and the highest activities of polyphenol oxidase were in type I. Through canonical correlation analysis (CCA), the canonical variable (U) was positively related with fungus number (1.264 5) and negatively related with bacteria number (-1.091 8). The canonical variable (V) was negatively related with sucrase activities (-0.876 7).

Key words *Phyllostachy edulis*; quantities of soil microbe; soil enzymatic activities; canonical correlation analysis (CCA); central Hunan Province

(责任编辑:张志钰)