

文章编号: 1000-5692(2000)02-0132-05

## 雷竹林地土壤酶活性研究

姜培坤<sup>1</sup>, 俞益武<sup>1</sup>, 张立钦<sup>1</sup>, 许小婉<sup>2</sup>

(1. 浙江林学院资源与环境系, 浙江临安 311300; 2. 浙江省诸暨市林业局, 浙江诸暨 311800)

**摘要:** 为了了解目前雷竹林地土壤酶活性状况, 作者在 1999 年春季采样分析了浙江省临安市郊 4 个乡镇 23 个雷竹户的竹林土壤。结果表明: 雷竹地土壤酶活性变异较大, 23 块竹林土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、磷酸酶、脲酶和蛋白酶活性的变异系数分别达到了 33.37%, 71.00%, 49.60%, 39.90% 和 28.08%。蛋白酶活性与土壤有机质、水解氮、有效磷、速效钾、蔗糖酶和脲酶的相关系数分别为 0.801, 0.962, 0.783, 0.490, 0.441 和 0.845, 说明蛋白酶是较理想的肥力指标。土壤磷酸酶活性与土壤有效磷的相关系数为 -0.875, 说明雷竹地磷肥用量过多。除磷酸酶外, 土壤各类酶活性和雷竹开花率和煤污病感病指数均呈负相关, 过氧化氢酶和蔗糖酶与竹子开花率负相关性达极显著水平。土壤生物学性质特别是过氧化氢酶和蔗糖酶活性可作为竹林退化指标。表 6 参 7

**关键词:** 雷竹; 林地; 土壤氮素; 土壤磷素; 土壤钾素; 煤污病; 竹子开花; 酶; 相关系数  
**中图分类号:** S158.3; S714.2      **文献标识码:** A

雷竹 (*Phyllostachys praecox* f. *prevelnalis*) 在生产上已有十几年的栽培历史。近年来, 通过科研人员的大量试验研究, 雷竹高产栽培技术已日益成熟<sup>[1~3]</sup>, 并在生产上取得了很大的经济效益, 特别是采用了冬季覆盖技术, 实现了雷笋的反季节生产, 从而给单位面积土地带了更丰厚的收益<sup>[4]</sup>。然而, 连年覆盖带来了诸多问题, 竹林地土壤状况恶化是其中一个比较突出的问题。笔者在研究了冬季覆盖过程土壤性质变化后, 发现连年覆盖可造成土壤有机态营养耗竭、碳氮比失调以及酶活性的异常<sup>[5,6]</sup>。由于雷竹大都为农户分散经营, 各农户对土壤管理不尽相同, 包括施肥数量、次数、林地水分管理以及覆盖过程中土壤温度和湿度控制等都有很大差异, 因而, 要全面了解目前丰产雷竹地土壤状况, 必须作较为广泛的调查分析。土壤酶活性是土壤生物学性质的主要指标, 也在很大程度上反映了土壤肥力状况。为此, 作者在 1999 年春季对临安市郊 4 个乡镇 23 个雷竹户竹林地土壤进行了调查, 采集了土壤样品, 分析其酶活性, 旨在这方面作一些探讨。

### 1 样品与方法

本次采样区设在临安市郊的 4 个乡镇。该处年平均气温为 15.9 °C, 最高气温 41.3 °C, 最低气温 -13.3 °C, 年降水量 1 424 mm。土壤为发育于凝灰岩的红壤。

1999 年 5 月上中旬在临安市杨岭、高虹、青云和东天目等 4 个乡镇选择 23 个有代表性雷竹户, 用自制采样器蛇型法多点采集各农户雷竹地土壤样品。采样深度为 30 cm。土壤经风干去杂, 过筛后

收稿日期: 2000-01-10; 修回日期: 2000-03-17

基金项目: 浙江省教育委员会基金资助项目(990285)

作者简介: 姜培坤(1963-), 男, 浙江桐乡人, 副教授, 从事森林土壤学研究。

备用。土壤酶活性分析采用关松荫等方法<sup>[7]</sup>。土壤养分状况见表 1。

## 2 结果分析

表 1 供试竹林土壤养分分析

Table 1 Analysis of soil nutrient regime for testing bamboo forest

样点	有机质 / (g·kg <sup>-1</sup> )	水解氮 / (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷 / (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 / (mg·kg <sup>-1</sup> )
杨 01	47.088	84.224	263.8	285
02	29.218	75.012	83.4	165
03	33.045	65.142	11.0	40
高 01	40.487	78.960	187.8	450
02	28.476	59.220	142.0	510
03	25.094	80.276	24.2	140
04	32.575	78.302	187.2	850
05	28.772	67.116	115.4	430
青 01	29.099	78.302	61.2	190
02	23.352	67.774	58.2	345
03	50.827	125.020	301.8	610
04	27.239	72.380	157.0	750
05	14.800	38.164	20.2	120
东 01	44.791	126.336	180.6	315
02	30.440	55.930	28.8	100
03	27.569	73.696	113.0	320
04	28.521	90.804	186.4	920
05	39.631	108.570	275.4	1060
06	19.985	52.640	28.4	50
07	25.991	57.904	89.2	355
08	40.176	111.202	158.0	260
09	39.665	119.756	460.2	1010
10	41.451	111.860	206.4	405

### 2.1 土壤酶活性统计分析

从表 2 可以看到, 调查的 23 块竹林土壤各类酶活性变异较大。过氧化氢酶、蔗糖酶、磷酸酶、脲酶和蛋白酶活性的变异系数分别为 33.37%, 71.00%, 49.60%, 39.98% 和 28.08% (表 3)。造成不同竹园土壤酶活性变异大的原因主要是经营措施的不一致性。雷竹大都为农户分散经营, 各农户施肥和覆盖等栽培措施控制很不一致, 特别是覆盖材料和覆盖厚度不同将会造成输入土壤有机物料数量和质量的很大差异, 而有机物对土壤酶活性影响力是最大的。笔者在过去的研究已经证明, 不同覆盖材料会造成覆盖过程中以及覆盖结束时土壤酶活性有很大差异<sup>[9]</sup>。

### 2.2 土壤酶活性与土壤养分的相关分析

23 个样点土壤酶活性与土壤养分含量相关分析表明 (表 4), 土壤有机质、土壤水解氮和有效磷相关性达极显著水平, 土壤水解氮和土壤有效磷、速效钾以及土壤有效磷和速效钾含量之间相关性均达显著或极显著水平, 说明本次调查的 23 块雷竹地土壤氮磷钾含量变化比较同步, 各林地土壤养分的差异更在于养分总量的不同。

表 2 土壤酶活性

Table 2 Soil enzyme activities for testing barboo forest

样点	过氧化氢酶	蔗糖酶	磷酸酶	脲酶	蛋白酶
杨 01	55.51	0.83	11.91	0.130	0.097
02	65.53	0.89	30.62	0.109	0.086
03	82.52	1.05	47.82	0.307	0.074
高 01	68.47	0.87	18.00	0.138	0.084
02	32.18	0.04	26.59	0.111	0.067
03	28.11	0.17	40.96	0.118	0.080
04	67.26	0.93	19.44	0.121	0.070
05	107.44	1.25	28.06	0.086	0.065
青 01	69.21	0.68	39.65	0.118	0.075
02	69.73	0.97	41.47	0.110	0.069
03	114.66	2.83	6.52	0.144	0.115
04	113.50	2.95	21.01	0.064	0.078
05	66.33	0.66	46.22	0.125	0.053
东 01	67.23	0.73	19.44	0.145	0.119

续表 2

样点	过氧化氢酶	蔗糖酶	磷酸酶	脲酶	蛋白酶
02	97.75	1.01	45.03	0.043	0.056
03	109.75	2.00	26.18	0.117	0.075
04	108.77	0.70	18.60	0.123	0.101
05	105.70	0.50	11.12	0.131	0.114
06	112.30	1.02	44.74	0.133	0.052
07	43.80	0.50	34.28	0.111	0.059
08	106.49	2.82	23.72	0.156	0.114
09	106.68	2.08	7.06	0.059	0.128
10	109.54	2.58	11.18	0.132	0.121

说明: 土壤酶活性单位 过氧化氢酶 ( $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4$ ),  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 脲酶 ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ),  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ; 蛋白酶 ( $\text{NH}_2\text{-N}$ ),  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ; 磷酸酶 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ),  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 蔗糖酶 ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ),  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

表 3 土壤酶活性统计

Table 3 Statistic analysis of soil enzyme activities

项目	平均值	标准差	变异系数/%
过氧化氢酶	82.980	27.080	33.37
蔗糖酶	1.220	0.840	71.00
磷酸酶	26.950	13.080	49.60
脲酶	0.123	0.048	39.90
蛋白酶	0.085	0.023	28.08

说明: 单位同表 2

表 4 土壤酶活性和土壤养分含量相关分析

Table 4 Correlation coefficients between soil nutrients and enzyme activities

$R(n=23)$	有机质 $x_1$	水解氮 $x_2$	有效磷 $x_3$	速效钾 $x_4$	过氧化氢酶 $x_5$	蔗糖酶 $x_6$	磷酸酶 $x_7$	脲酶 $x_8$	蛋白酶 $x_9$
$x_1$	1.00	0.826**	0.722**	0.320	0.231	0.376	-0.678**	0.172	0.801**
$x_2$		1.00	0.753**	0.483*	0.366	0.459*	-0.660**	0.050	0.962**
$x_3$			1.00	0.768**	0.344	0.388	-0.875**	0.222	0.783**
$x_4$				1.00	0.348	0.189	-0.754**	-0.312	0.490*
$x_5$					1.00	0.733**	-0.248	-0.085	0.357
$x_6$						1.00	-0.273	-0.076	0.441*
$x_7$							1.00	0.210	-0.647**
$x_8$								1.00	0.845**
$x_9$									1.00

表 4 显示, 土壤有机质含量和土壤蛋白酶活性呈极显著相关, 而和土壤过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性相关性不显著, 和土壤磷酸酶为极显著负相关。在一般的自然土壤中土壤有机质和各类酶活性均有较好的正相关性<sup>[7]</sup>。本文中出现的异常情况是否和雷竹地冬季覆盖过程改变了土壤酶活性自然变化规律, 以及化肥的大量施用造成一些土壤酶活性减弱有关。这一点从表 4 中, 土壤有效磷含量与土壤磷酸酶活性呈极显著负相关可以看得更清楚。一般情况下适量的化肥可提高土壤酶活性, 而过量施用化肥则反使土壤酶活性下降。本次调查的 23 个农户大多有施用复合肥 (15 :15 :15) 习惯, 复合肥提供的  $\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O}$  为 1 :1 :1。而据笔者研究, 雷竹笋对氮磷钾的需求比例数为 6 :1 :2, 因而连年施用复合肥就会造成土壤无机磷残留过高。从表 1 也可以看出这 23 块雷竹地土壤有效磷含量确实都很高。土壤中磷的过多输入造成了土壤磷酸酶活性严重下降。和磷酸酶不同, 土壤蛋白酶活性和土壤有机质特别是土壤水解氮有极显著正相关, 说明本次调查的 23 块竹林土壤氮素输入不像磷素那样过量, 而是较适度的。蛋白酶除了和有机质和水解氮有极显著相关外, 和土壤有效磷含量、土壤过氧化氢酶、

蔗糖酶和磷酸酶活性相关性均达显著或极显著水平, 说明对本次调查的雷竹地来讲土壤蛋白酶活性是较理想的地力指标。蛋白酶是催化有机态氮分解为无机态氮的酶类, 蛋白酶活性高, 说明土壤可利用态氮丰富。这里也说明氮素对雷竹及笋芽生长的重要性。

### 2.3 土壤酶活性与竹子开花率和煤污病感病率相关分析

在土壤酶分析的同时, 调查了 17 块样地竹子开花情况和 8 块样地竹子煤污病发生情况 (表 5)。从调查结果来看, 煤污病感病指数高的地块竹子开花率也较高, 例如杨 02、高 02、高 03 和东 07 等 4 个点煤污病感病指数均在 50 以上, 平均为 63.41。相应这 4 个样点竹子开花率均在 10% 以上, 平均为 16.18%。而煤污病感病指数较低的 4 个点杨 03、青 01、青 03 和青 05, 平均感病指数为 13.85, 竹子开花率也较低, 平均为 6.09%。从土壤酶活性与竹子开花率、煤污病感病指数的相关分析可以看到 (表 6), 除磷酸酶以外, 各类酶活性与竹子开花率和竹子煤污病感病指数均呈负相关, 其中过氧化氢酶和蔗糖酶活性与竹子开花率负相关性达极显著水平, 说明土壤生物学性质不良的地块, 竹子开花和感病率较高。目前, 衡量竹林退化常采用竹子开花率、各类病虫害感病率和地下鞭提前腐烂程度, 其中地下鞭状况较难把握, 而采用竹子开花率和感病指数比较直观。

表 6 初步反映出了竹林退化和土壤生物学性质的关系, 因而采用土壤生物学性质特别是土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性作为竹林退化指标也是较为理想的。

## 3 小结

雷竹林地土壤各类酶活性变异较大, 说明各农户经营措施存在较大差异。

土壤蛋白酶活性与土壤有机质、水解氮、有效磷、速效钾、土壤蔗糖酶和脲酶相关性达显著或极显著水平。

土壤磷酸酶与土壤有效磷含量呈极显著负相关, 说明本次调查的雷竹地土壤无机磷肥使用量过多。

除磷酸酶外, 土壤各类酶活性与竹子开花率和煤污病感病指数均呈负相关, 其中土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性与开花率负相关性达极显著水平, 说明土壤生物学性质特别是过氧化氢酶、蔗糖酶活性可作为竹子退化的指标。

### 参考文献:

- 汪祖潭, 方伟, 何钧潮, 等. 雷竹笋用林高产高效栽培技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 5~30.
- 方伟, 何钧潮, 卢学可, 等. 雷竹早产高效栽培技术 [J]. 浙江林学院学报, 1994, 11 (2): 121~128.
- 胡超宗, 金爱武, 郦章顺, 等. 早竹保护地栽培覆盖材料的研究 [J]. 浙江林学院学报, 1996, 13 (1): 5~9.
- 沈月琴, 程云行, 徐秀英, 等. 竹笋产品市场供求分析和预测 [J]. 浙江林学院学报, 1998, 15 (4): 333~339.
- 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标, 等. 雷竹林地覆盖增温过程中土壤化学性质的动态变化 [J]. 浙江林学院学报, 1999, 16 (2): 123~130.
- 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标, 等. 雷竹地覆盖增温过程中土壤酶活性的动态变化 [J]. 林业科学研究, 1999, 12 (5): 548~551.
- 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986. 206~239.

表 5 雷竹开花及煤污病统计

Table 5 Statistic on percentage of blossoming and sooty mould susceptibility

样 点	统计株数	竹子开花率/%	煤污病感病指数
杨 01	159	15.72	
02	124	11.29	84.64
03	170	7.06	20.00
高 01	150	9.33	
02	150	21.33	63.70
03	90	21.11	52.50
04	150	9.33	
05	150	3.3	
青 01	118	6.8	11.00
02	109	14.7	
03	139	2.9	12.40
04	128	0.8	
05	79	7.6	12.00
东 01	150	7.0	
05	150	7.0	
07	150	11.0	52.80
09	150	2.0	

表 6 土壤酶活性与竹子开花率和煤污病感病指数相关分析

Table 6 Correlation coefficients between enzyme activities and percentages of blossoming and sooty mould susceptibility index

	过氧化氢酶	蔗糖酶	磷酸酶	脲酶	蛋白酶
竹子开花率 (n = 17)	-0.836 **	-0.732 **	0.321	-0.269	-0.141
煤污病感病指数 (n = 8)	-0.601	-0.457	0.098	-0.380	-0.476

## Study on enzyme activities of soil under *Phyllostachys praecox* f. *prevelnalis* forest

JIANG Pei-kun<sup>1</sup>, YU Yi-wu<sup>1</sup>, ZHANG Li-qin<sup>1</sup>, XU Xiao-wan<sup>2</sup>

(1. Department of Resources and Environment, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. Forest Enterprise of Zhuji City, Zhuji 311800 Zhejiang, China)

**Abstract:** The study was conducted by sampling and analyzing 23 soils under *Phyllostachys praecox* f. *prevelnalis* forests which located across 4 villages and towns in Lin'an City in spring 1999. The results show that the variation coefficients of enzyme activities are 33.37%, 71.00%, 49.60%, 39.90% and 28.08% of hydrogen peroxidase, sucrase, phosphatase, urease and protease respectively. Protease activity has a good relation to soil organic matter, hydrolytic nitrogen, available phosphorous, rapid potassium, sucrase and urease, and the correlation coefficients are 0.801, 0.962, 0.783, 0.049 0.441 and 0.845 respectively. Protease activity could be a good index of soil fertility. Correlation coefficient between phosphatase and soil available phosphorous is -0.875, indicating an excess of soil phosphorous. All enzyme activities except phosphatase has a negative relation to blossoming percentage of bamboo and sooty mould susceptibility index, among them peroxidase and sucrase are significant negative-related to blossoming percentage. Therefore, enzyme activities, especially peroxidase and sucrase activities, could be regard as an index of bamboo forest deterioration.

**Key words:** *Phyllostachys praecox* f. *prevelnalis*; forest land; soil nitrogen; soil phosphorus; soil potassium; sooty mould; bamboo blossoming; correlation coefficients