

杉木幼林地土壤酶活性与土壤肥力*

陈斌竣 李传涵

关键词 杉木、土壤酶活性、土壤肥力

杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]是我国南方主要的用材树种之一,杉木人工林面积占全国人工林面积24%。研究杉木人工林土壤肥力特性有重要意义。土壤酶参与土壤中各种生物化学过程和物质循环,其活性可以反映土壤生物化学过程的强度与方向,还可以客观地反映土壤肥力状况^[1~4]。本文以阔叶杂木林为对照,探讨了杉木幼林地土壤酶活性与土壤肥力的关系以及在土壤营养物质转化过程中的作用,为杉木人工林土壤改良、低产林分的改造提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验地设置在湖南省通道侗族自治县国营地连林场。该县位于雪峰山西南余脉山地,系云贵高原向南岭过渡地带。地连林场地处该县中部,109°42'E,26°09'N,属中亚热带气候,年均温度16.3℃,无霜期298d,年降雨量变动在1192~1744mm,试验地位于东坡,坡度18~25°,海拔430~450m,土壤为板、页岩母质发育的红壤,土质疏松,土层深厚,砾石含量少。四块供试杉木幼林地前茬植被分别为阔叶杂木(以白栎 *Quercus fabri* Hance、枫香 *Liquidambar formosana* Hance 为主)、休闲荒山、小竹丛(*Phyllostachys nidularia* Munro)和杉木。现杉木幼林均为1年生实生苗,1989年造林,株行距1.67m×2.00m,杉木平均高分别为1.32、1.89、2.31、2.20m,后三个林地杉木平均胸径分别为2.30、2.81、2.76cm。林下植被多为大叶苧麻(*Boehmeria grandifolia* Wedd.)、杜鹃(*Rhododendron simsii* Planch)、五节芒[*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb.]、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、小构树(*Broussonetia kaempferi* Sieb.)、稗草[*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.]、蒿草(*Artemisia argyi* Levl. et Vant)、小竹丛和蕨类植物等。以阔叶杂木林[主要为青冈栎 *Quercus glauca* (Thunb.) Oerst、枫香]作为对照。

1.2 样品采集

在每块供试区中坡,沿等高线选择三块相似的标准地,每块面积为10m×10m。1991年7月下旬,在各标准地里,按“之”字形路线取0~50cm土层土样,多点混合,供土壤化学性质分析和土壤酶活性测定用,同时在每块标准地里进行每木检尺。

1992-09-14收稿。

陈斌竣研究实习员(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);李传涵(华中农业大学土壤化学系)。

*本文为硕士学位论文的一部分。

1.3 土壤酶活性的测定^[2-3]

酸性、中性磷酸酶用 G. Hoffmann 法测定, 酶活性单位以酚 mg/g 土(37 °C, 12 h) 表示; 脲酶用 G. Hoffmann 和 K. Teicher 法, 酶活性单位用 NH₃-N mg/g 土(37 °C, 24 h) 表示; 转化酶用 T. A. Щербакова 法, 酶活性单位用 葡萄糖 mg/g 土(37 °C, 12 h) 表示; 多酚氧化酶用碘量滴定法, 酶活性单位用消耗 0.01N I₂ ml/100 g 土(37 °C, 10 min) 表示; 过氧化氢酶用 J. L. Johnson 和 K. L. Temple 法酶活性单位以消耗 0.1N KMnO₄ ml/g 土表示; 过氧化物酶用 A. Ш. Галстян 法, 酶活性单位以紫色没食子素 mg/g 土(30 °C, 1 h) 表示。

1.4 土壤化学性质的测定^[6]

用土壤常规分析方法测定 pH、有机质、全 N、全 P、碱解 N、无机 P、有机 P、速效 K、交换性 Ca、Mg 和有效 Cu、Zn。

2 结果与分析

2.1 供试土壤化学性质和土壤酶活性

结果见表 1。

表 1 杉木幼林土壤化学性质和土壤酶活性

项 目	杉 木 幼 林 前 茬 植 被									阔叶杂木林					
	阔 叶 杂 木			休 闲 荒 山			小 竹 丛			杉 木		(对 照)			
pH(H ₂ O)	4.58	4.52	4.62	4.88	4.84	4.90	4.55	4.70	4.67	4.92	4.65	4.78	4.55	4.48	4.39
pH(KCl)	3.53	3.40	3.44	3.60	3.59	3.52	3.42	3.40	3.20	3.58	3.43	3.48	3.58	3.59	3.50
有机质(g/kg)	10.4	10.2	7.7	9.4	11.2	9.3	17.8	16.5	19.7	35.0	20.2	17.1	19.2	18.7	15.9
全N(g/kg)	0.59	0.76	0.45	0.49	0.47	0.36	0.59	0.49	0.71	0.98	0.63	0.53	0.82	1.23	0.83
全P(g/kg)	0.11	0.13	0.13	0.14	0.12	0.08	0.12	0.14	0.17	0.23	0.22	0.13	0.21	0.19	0.18
碱解N(μg/g)	39	43	39	37	57	32	69	68	64	142	71	71	82	89	74
无机P(μg/g)	6	10	6	8	5	4	7	6	5	11	8	7	13	19	12
速效K(μg/g)	34	57	39	46	50	34	53	47	46	59	52	47	40	37	29
交换Ca(μg/g)	1.95	1.03	1.23	1.13	1.23	1.24	3.17	2.46	2.47	6.72	2.16	2.37	0.98	0.62	0.62
交换Mg(μg/g)	1.00	1.00	0.84	1.00	0.94	0.84	0.88	0.88	1.20	1.08	0.84	0.84	0.98	1.14	0.80
有效Cu(μg/g)	0.6	0.5	0.4	0.7	0.8	0.5	0.8	1.0	0.3	0.9	0.8	0.5	0.8	0.7	0.8
有效Zn(μg/g)	1.4	1.6	0.9	2.0	1.3	0.9	1.2	1.4	3.2	2.3	1.2	1.1	2.9	2.0	1.9
酸性磷酸酶 ^①	1.26	1.75	1.30	1.56	1.55	1.37	2.48	1.85	1.67	2.43	1.55	1.88	1.92	2.29	1.42
中性磷酸酶	0.52	0.61	0.53	0.50	0.65	0.64	0.88	0.70	0.81	0.83	0.69	0.80	0.87	0.95	0.63
脲 酶	0.10	0.12	0.09	0.12	0.11	0.08	0.22	0.14	0.15	0.27	0.21	0.15	0.16	0.18	0.14
转 化 酶	14.42	14.18	10.74	13.18	9.17	5.45	18.45	14.62	11.93	10.25	13.46	18.90	12.23	23.36	12.52
多酚氧化酶	8.90	8.91	9.89	14.16	13.11	19.16	12.20	16.76	12.07	1.58	13.35	10.90	5.08	7.00	9.70
过氧化氢酶	5.17	8.92	4.13	4.63	5.54	3.74	6.27	5.07	5.48	7.77	5.75	5.05	5.28	6.16	4.15
过氧化物酶	2.25	2.12	1.96	2.44	2.31	1.84	2.97	2.88	2.67	3.90	2.91	3.22	3.14	2.89	2.74

① 酶活性单位见文内。

2.2 杉木幼林和阔叶杂木林土壤酶活性与土壤化学性质的相关性

2.2.1 杉木幼林地土壤酶活性与土壤化学性质的相关性 表 2 表明, 土壤磷酸酶活性不仅与磷素关系密切, 而且在土壤 C、N 等的转化过程中也起着重要作用, 它是表征土壤肥力的重要指标。土壤磷酸酶活性与无机磷呈正相关, 这与 Baligar、Trasar-Cepeda 等人对西班牙

牙西北部地区和美国阿巴拉契亚地区森林土壤的研究结果一致^[6,7]。有研究表明,当土壤可溶性P大于200 P₂O₅ mg/kg土时,无机P会对磷酸酶活性产生抑制作用^[4]。脲酶活性与多种土壤养分有显著或极显著正相关,其活性对于C、N、P的转化具有积极的作用。转化酶活性与pH(H₂O)、有机质、全N、无机P呈极显著或显著正相关,同时,其催化产物葡萄糖和果糖,是植物和土壤微生物的重要碳源,即可说明其活性与土壤肥力和生物活性有关。多酚氧化酶活性与多种土壤养分呈显著或极显著负相关,它主要催化多元酚氧化成多元醌,该过程是腐殖质形成的第一阶段,其氧化产物多元醌同含N蛋白质类物质、脂肪族化合物等缩合,是腐殖化过程的本质^[2]。科诺诺娃^[8]证明多酚氧化酶能推动这一过程,当多酚氧化酶活性越弱,形成腐殖质数量就越少,容易使土壤中多酚类物质累积,因此多酚氧化酶活性可以表征土壤腐殖化程度。过氧化氢酶对土壤C、N转化和植物Ca、Mg等营养有影响。此外,过氧化物酶几乎不与土壤化学性质相关,它可能与特定的植物类型及土壤条件有关^[4]。

表2 杉木幼林和阔叶杂木林土壤酶活性与土壤化学性质的相关系数

项 目	酸性磷酸酶	中性磷酸酶	脲 酶	转 化 酶
pH (H ₂ O)	-0.057/0.630	-0.217/0.769	-0.026/0.166	0.631**/0.130
pH (KCl)	0.101/0.944	-0.048/0.990**	0.025/0.912	0.017/0.632
有 机 质	0.703**/0.837	0.693**/0.687	0.909**/0.787	0.548*/0.427
全 N	0.595*/0.807	0.656*/0.678	0.580*/0.855	0.594*/0.997**
全 P	0.423/0.407	0.522*/0.577	0.734**/0.327	0.249/0.013
碱 解 N	0.734**/0.999*	0.700**/0.971*	0.869**/0.999**	0.216/0.876
无 机 P	0.503*/0.888	0.532*/0.782	0.420/0.924	0.644**/0.997**
有 机 P	0.544*/0.860	0.607*/0.746	0.819**/0.901	0.184/-0.984*
速 效 K	0.518*/0.762	0.213/0.873	0.522*/0.703	0.024/0.310
交 换 Ca	0.590*/0.086	0.430/0.277	0.739**/0	-0.126/-0.488
交 换 Mg	0.390/0.999**	0.429/0.970*	0.251/0.999**	0.319/0.878
有 效 Cu	0.459*/-0.820	0.510*/-0.693	0.619*/-0.866	0.193/-0.998**
有 效 Zn	0.305/0.176	0.477/0.363	0.319/0.091	0.141/0.511

项 目	多 酚 氧 化 酶	过 氧 化 氢 酶	过 氧 化 物 酶
pH (H ₂ O)	0.029/-0.999**	0.121/0.619	-0.023/0.977**
pH (KCl)	-0.215/-0.864	0.187/-0.937	-0.122/0.719
有 机 质	-0.633**/-0.960	0.606*/0.829	0.292/0.865
全 N	-0.717**/-0.076	0.519*/0.816	0.028/-0.164
全 P	-0.797**/-0.959*	0.234/0.394	0.503*/0.999**
碱 解 N	-0.678**/-0.613	0.666**/0.999**	0.180/0.407
无 机 P	-0.615*/0.228	0.316/0.895	0.021/-0.011
有 机 P	-0.744**/-0.171	0.484/0.868	0.366/-0.068
速 效 K	-0.248/-0.987*	0.397/0.753	0.273/0.921
交 换 Ca	0.478/-0.813	0.644**/0.072	0.113/0.929
交 换 Mg	-0.319/-0.609	0.621*/0.999**	-0.236/0.929
有 效 Cu	-0.139/0.097	0.392/0.828	0.230/0.143
有 效 Zn	-0.389/-0.863	0.419/0.162	-0.147/0.958*

注:表中分子、分母分别表示杉木幼林地和阔叶杂木林土壤酶活性与化学性质的相关系数;*、**分别表示在5%、1%水平上的显著性。

表3表明,杉木林地土壤酸性磷酸酶与转化酶活性呈显著正相关,说明碳水化合物的转化与有机P的转化,特别是在酸性条件下有机P的转化关系密切;磷酸酶和脲酶的相关关系表明有机P与含N化合物的转化是相互联系的;脲酶与多酚氧化酶的负相关说明有机N化合物的水解矿化与腐殖化的相反关系。

表3 杉木幼林和阔叶杂木林土壤酶活性之间的相关系数

项 目	酸性磷酸酶	中性磷酸酶	脲 酶	转 化 酶	多酚氧化酶	过氧化氢酶
中性磷酸酶	0.830**/0.981					
脲 酶	0.810**/0.996**	0.698**/0.961*				
转 化 酶	0.542*/0.852	0.480/0.734	0.367/0.894			
多酚氧化酶	-0.377/-0.649	-0.362/-0.784	-0.632**/0.590	-0.287/-0.155		
过氧化氢酶	0.755**/0.906	0.577*/0.978*	0.549*/0.999**	0.301/0.859	-0.381/-0.638	
过氧化物酶	-0.038/0.450	0.066/0.614	0.428/0.371	0.055/-0.085	-0.349/-0.971*	0.431/0.437

注:表中分子、分母的含意同表2。

2.2.2 阔叶杂木林土壤酶活性与土壤化学性质的相关性 由表2可知,阔叶杂木林土壤磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶活性与碱解N、交换性Mg呈显著或极显著正相关;转化酶与全N、无机P呈极显著正相关,与有机P、有效Cu呈显著或极显著负相关;多酚氧化酶与pH(H₂O)、有机质、全P、速效K呈极显著或显著负相关;过氧化物酶与pH(H₂O)、全P、有效Zn呈极显著或显著负相关。很明显,阔叶林土壤酶大多不与有机质、全N、交换Ca等相关,而与交换Mg有关。

表3表明,阔叶杂木林土壤酶活性之间的关系有不同于杉木林的特点:酸性磷酸酶与转化酶、过氧化氢酶之间,脲酶与多酚氧化酶之间无明显相关,而过氧化物酶与多酚氧化酶呈显著负相关。可见,在土壤有机物质转化过程中,土壤酶既具有专性特性,又存在相互促进或抑制作用。专性特性可以反映某些有机化合物的转化过程,而相互作用的酶活性在一定程度上反映土壤肥力状况。

2.3 杉木幼林地土壤酶在土壤养分转化过程中的作用

为了进一步探讨土壤酶活性在土壤养分转化过程中的作用,分别以土壤养分指标作为因变量,土壤酶活性作为自变量,进行了多元逐步回归分析,结果列于表4。

表4表明,土壤有机质与磷酸酶、转化酶活性呈极显著或显著相关;全N与中性磷酸酶活性呈主要相关;全P与脲酶、磷酸酶活性呈主要相关;碱解N与脲酶活性有极显著正相关,与过氧化物酶活性有极显著负相关;无机P与多酚氧化酶活性呈极显著负相关,与过氧化物酶活性呈显著正相关;有机P与脲酶活性呈极显著正相关,与多酚氧化酶活性呈显著负相关。可见某种营养物质的转化只与特定的土壤酶活性有关。从总体上看,土壤有机物质的矿质化过程主要是由磷酸酶、脲酶、转化酶等水解酶类完成的,而腐殖化过程则是由微生物分泌的多酚氧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等来完成的。关于土壤酶在森林土壤有机物质转化过程中的作用机理还有待于进一步研究。

2.4 杉木幼林与阔叶杂木林土壤酶活性比较

表5 Duncan's 检验表明,杉木幼林和阔叶杂木林土壤酸性磷酸酶、转化酶、过氧化氢酶活性差异不显著,而中性磷酸酶、脲酶、多酚氧化酶、过氧化物酶活性差异显著。

表4 杉木林地土壤养分含量和土壤酶活性的逐步回归方程

因变量	逐步回归方程	R值与F值	R_{0x} (或 $b_{x'}$)
有机质 y_1	$y_1 = -1.0374x_1 + 3.1928x_2 + 3.6185x_3 + 0.0611x_4 + 0.1562x_7 - 0.6083$	$R = 0.973^{**}$ $F = 31.85^{**}$	$R_{01} = -0.819^{**}$, $R_{02} = 0.875^{**}$, $R_{03} = 0.637$, $R_{04} = 0.791^*$, $R_{07} = 0.554$
全 N y_2	$y_2 = 0.0717x_2 + 0.0014x_4 - 0.0018x_5 + 0.0191$	$R = 0.789^*$ $F = 6.05^*$	$b_2' = 5.657$, $b_4' = 0.019$, $b_5' = -0.263$
全 P y_3	$y_3 = -0.0105x_1 + 0.0151x_2 + 0.0528x_3 - 0.0003x_5 + 0.0033x_7 + 0.0010$	$R = 0.914^{**}$ $F = 9.09^{**}$	$b_1' = -0.099$, $b_2' = 0.086$, $b_3' = 0.182$ $b_5' = -0.010$, $b_7' = 0.036$
碱解N y_4	$y_4 = 396.8526x_3 - 1.7532x_4 - 2.8595x_5 + 51.4178$	$R = 0.941^{**}$ $F = 28.37^{**}$	$R_{03} = 0.867^{**}$, $R_{04} = -0.491$, $R_{07} = -0.799^{**}$
无机P y_5	$y_5 = -0.4697x_5 - 1.7161x_6 + 2.8595x_7 + 14.2504$	$R = 0.860^{**}$ $F = 10.37^{**}$	$R_{05} = -0.854^{**}$, $R_{06} = -0.586$, $R_{07} = 0.684^*$
有机P y_6	$y_6 = -31.0037x_1 + 460.1741x_3 - 1.7244x_5 + 54.4379$	$R = 0.924^{**}$ $F = 21.41^{**}$	$R_{01} = -0.564$, $R_{03} = 0.803^{**}$, $R_{05} = -0.782^*$

注: $x_1 \sim x_7$ 分别代表酸性、中性磷酸酶, 脲酶, 转化酶, 多酚氧化酶, 过氧化氢酶, 过氧化物酶活性; R 、 R_{0x} 、 $b_{x'}$ 分别表示复相关系数、偏相关系数、标准化回归系数。

表5 杉木幼林与阔叶杂木林地土壤酶活性差异^①

林 地	造林前 植 被	酸 性 磷 酸 酶	中 性 磷 酸 酶	脲 酶	转 化 酶	多 酚 氧 化 酶	过 氧 化 氢 酶	过 氧 化 物 酶
杉 木 林	阔叶杂木	1.44 a	0.55 c	0.10 a	13.11 a	9.23 b	4.74 a	2.11 e
	休闲荒山	1.49 a	0.60 b	0.10 a	9.27 a	15.48 a	4.64 a	2.20 d
	小竹丛	2.00 a	0.80 a	0.17 a	15.00 a	13.68 a	5.61 a	2.84 c
	杉 木	1.95 a	0.71 a	0.21 a	14.20 a	8.61 c	6.19 a	3.34 a
阔叶杂木林	阔叶杂木	1.88 a	0.82 a	0.16 a	16.37 a	7.26 d	5.20 a	2.92 b

① 采用 t 检验法, 同栏平均值标有不同英文字母表示差异达 5% 显著水平。

参 考 文 献

- 1 A D 麦克拉伦(闵九康译). 土壤生物化学. 北京: 农业出版社, 1984. 206~235.
- 2 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 61~87, 274~340.
- 3 郑洪元. 土壤动态生物化学研究法. 北京: 科学出版社, 1982. 173~265.
- 4 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987. 144~166, 228~278.
- 5 李西开. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 1~243.
- 6 Baliger V C, Wright R J, Smedley M D. Acid phosphatase activity in soils of the Appalachian region. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, 52: 1612~1616.
- 7 Trasar-Cepeda M C, Gil-Sotres F. Phosphatase activity in high organic matter soils in Galicia. Soil Biol. Biochem., 1988, 19(3): 281~287.
- 8 M M 科诺诺娃(周礼恺译). 土壤有机质, 北京: 科学出版社, 1966. 47~88.

*Soil Enzyme Activity and Soil Fertility
in Cunninghamia lanceolata Plantation*

Chen Hongjun Li Chuanhan

Abstract The relationship of enzyme activities and chemical properties in *Cunninghamia lanceolata* plantation in comparison with the broad-leaves forest were studied. The results indicated that: ① there is a close correlation between enzyme activities and chemical properties of the soil of the plantation, a negative significant correlation between polyphenol oxidase activity and organic matter, total N, organic P, and a positive significant correlation between acid, neutral phosphatase, urease, invertase, catalase activities and various chemical properties of the soils. Soil enzyme activity might be used as indexes to characterize the status of soil fertility; ② there is a significant correlation among the soil enzymes; ③ the transformation of some soil organic substances were only concerned with specific enzyme activities. ④ there is a significant difference of soil enzyme activities under different forests. Successive cropping of *Cunninghamia lanceolata* increased catalase, peroxidase activities and reduced polyphenol oxidase activity.

Key words *Cunninghamia lanceolata*, soil enzyme activity, soil fertility

Chen Hongjun, Assistant Engineer (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091);
Li Chuanhan (Central China Agricultural University).