

泥质海岸防护林土壤酶活性特征研究*

胡海波

(南京林业大学, 南京 210037)

康立新 梁珍海

(江苏省林业科学研究所)

仇才楼

(江苏沿海防风林试验站)

摘 要

研究了苏北淤泥质海岸防护林土壤磷酸酶活性的特点以及几种酶活性的分布(剖面、水平)规律。结果表明:(1)滨海潮土中磷酸酶以碱性磷酸酶为主,占总磷酸酶活性的62.6%,因而可用碱性磷酸酶活性反映整个磷酸酶活性;总磷酸酶(y)和碱性磷酸酶(x_1)活性关系式为: $y = -0.04765 + 1.67426x_1$, $r = 0.9731$ 。(2)土壤酶活性在剖面上存在显著差异。对林地而言,取样深度60cm即满足精度要求($\alpha = 0.05$),取样数为3~4个;当取样深度为40cm时,取样数至少4个。(3)水平方向上土壤酶活性也存在显著差异,林地和农田均大于滩地;在林地中,林龄越大其土壤酶的活性越高;农田的土壤酶活性与林粮间作的幼林相似。

关键词 淤泥质海岸, 防护林, 土壤酶

土壤酶数量虽小,但它能够参与土壤中的物质转化和循环,促进有机物质的分解,是土壤生物化学反应的催化剂。它能反映土壤生物活性大小,可作为土壤肥力的标志之一,为农业的立地分类与评价、环境监测等提供帮助^[1,7,9],故我们在探讨沿海防护林的改土功能和效益时,也从土壤酶活性角度做了研究。至于研究土壤酶活性的合理取样深度是多少?同一样地不同剖面间有无差异?在样地中究竟取几个剖面才科学、合理?土壤中三种磷酸酶的关系如何,是否都要测定等?目前,对这些问题尚无详细、深入的探讨资料可供借鉴,因而在土壤酶活性研究中,对土壤取样深度、取样个数、磷酸酶的选择等问题没有统一标准,研究者往往根据自己的经验来判断,缺乏科学依据。本文就是在对泥质海岸防护林土壤酶活性特征进行深入分析的基础上,探讨实际研究工作中直接面临而又迫切需要解决的问题。

* 国家“八五”科技攻关专题(85-019-03-06)研究内容,该专题获1996年林业部科技进步一等奖。

收稿日期:1995-08-24;修改稿收到日期:1996-02-21

1 研究区概况

研究区位于江苏省沿海的射阳林场,与黄海毗邻,是典型的粉砂淤泥质海岸,土壤为滨海潮土。该岸段处在亚热带到暖温带的过渡地带,气候类型为海洋性季风气候。建场前这里是盐碱荒滩,地势平坦、广阔,坡比 $< 1\%$,地下水位和土壤含盐量高,滩面上只有少量的耐盐植物生长,如茅草、大穗结缕草、盐蒿、中华补血草等。修筑海堤后在堤内开挖排水系统,淋盐洗盐,植树造林,经过 30 多年的努力,生态环境有了彻底改观,昔日的荒滩已成为黄海之滨的“绿色明珠”,现场内鸟语花香,林木长势良好,主要造林树种有刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*)、刚竹 (*Phyllostachys bambusoides*)、淡竹 (*Phyllostachys nigra var. henonis*)、I-69 杨 (*Populus deltoides Bartr. co lux* (ex. I-69 / 55))、I-72 杨 (*Populus xeuramericana* (Dode) Guinier cv. san Martino (ex. I-72 / 58))、杜仲 (*Eucommia ulmoides*) 等。

2 研究方法

在林场内选取 9 块样地,即竹林、刺槐幼龄林、中龄林、成熟林、水杉幼龄林、中龄林、成熟林,农田,滩地等进行定位研究^[5]。这些样地离村庄、河流较远,受人为干扰小,具有一定的代表性。在每块样地内呈“S”形挖 4 个典型剖面,剖面深度 100cm,分 5 层取样(即 0~5cm, 5~20cm, 20~40cm, 40~60cm, 60~100cm)。取样后立即带回室内风干,分别测定蔗糖酶、碱性磷酸酶、中性磷酸酶、酸性磷酸酶、脲酶和蛋白酶等活性。

①蔗糖酶用 T. A. III ербакова 法 (1968)^[1],以葡萄糖 mg / g (37℃, 24h) 表示; ②磷酸酶用改进后的 Hoffman 法 (1986)^[4],以酚 mg / g (37℃, 12h) 表示; ③脲酶用 G. Hoffman 和 K. Teicher 法 (1961)^[1],以氨态氮 mg / g (37℃, 24h) 表示; ④蛋白酶用 A. Ш. Гадстян 和 Э. А. Арутюнян 法 (1968)^[1],以氨基氮 mg / g (30℃, 24h) 表示。

3 研究结果

3.1 土壤磷酸酶的特点

土壤中的磷酸酶有碱性磷酸酶、中性磷酸酶和酸性磷酸酶,在不同酸碱性土壤中三种磷酸酶的比例是不同的。由于各地气候条件有异,即使是同一类型的土壤三种磷酸酶的数量及比例也是不一样的^[3,10]。因此,有人认为可以选择三种磷酸酶活性中比例最大的一种酶作为磷酸酶的生物活性,另外两种磷酸酶活性不必测定^[4]。

在苏北沿海淤泥质海岸防护林中,土壤上层已经脱盐 ($< 1\%$), pH 值一般为 8.0~9.0 (呈碱性),其磷酸酶活性状况见表 1,三种磷酸酶中以碱性磷酸酶活性最大,平均为 0.607mg 酚 / g, 占总磷酸酶活性的 62.6%; 中性磷酸酶和酸性磷酸酶分别为 0.122 和 0.240mg 酚 / g, 分别占总磷酸酶活性的 12.6% 和 24.8%, 表明土壤中的磷酸酶以碱性磷酸酶为主。但从变异系数来看,酸性磷酸酶最大,这主要是因为防护林内,土壤上层 (0~

20cm)的酸性磷酸酶活性高而下层较小的缘故。

在三种磷酸酶中,碱性磷酸酶与总磷酸酶的相关性最大,相关系数 r 为 0.9731,其次是酸性磷酸酶 ($r = 0.9711$),中性磷酸酶最小 ($r = 0.7571$)。虽然碱、酸性磷酸酶与总磷酸酶的关系都很密切,但碱性磷酸酶活性在总磷酸酶中占绝对优势,因此,在淤泥质海岸防护林中,以碱性磷酸酶活性来反映整个磷酸酶的生物活性较为适宜。磷酸酶的统计关系式为 ($n = 32$):

$$y = 0.00014 + 0.99965x + 0.99987x_2 + 1.00061x_3, r = 1.000 \quad (1)$$

$$y = -0.04765 + 1.67426x_1, r = 0.9731 \quad (2)$$

式中, x_1 ——碱性磷酸酶活性(单位: mg 酚 / g, 下同); x_2 ——中性磷酸酶活性; x_3 ——酸性磷酸酶活性; y ——总磷酸酶活性。

表1 三种磷酸酶活性及其相互关系 ($n=32$)

Table 1 The activity of three kinds of phosphatases and their relations ($n=32$)

磷酸酶种类 Type of phosphatase	磷酸酶活性状况 State of phosphatase activity					相关系数 Correlation coefficient			
	变化范围 Variation scope (mg 酚/g)	平均值 Average value (mg 酚/g)	占总磷酸酶比例 (%) Percentage of total phosphatase	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	总磷酸酶 Total phosphatase
碱性磷酸酶	0.053~1.518	0.607	62.6	0.416	0.69	1.0000			
中性磷酸酶	0.067~0.280	0.122	12.6	0.062	0.51	0.6087*	1.0000		
酸性磷酸酶	0.000~1.022	0.240	24.8	0.272	1.13	0.8931**	0.8335**	1.0000	
总磷酸酶	0.204~2.820	0.969	100.0	0.716	0.74	0.9731**	0.7571**	0.9711**	1.0000

*为 $\alpha=0.05$ 显著水平; **为 $\alpha=0.001$ 显著水平。

运用公式 (1)、(2) 对总磷酸酶活性进行预估^[11], 其平均相对误差分别为 0.00% 和 14.81%, 都取得了令人满意的结果。

3.2 土壤酶活性的剖面分布

3.2.1 土壤酶活性的剖面分布状况 由表 2 看出, 土壤剖面自上而下酶活性逐渐减弱, 但各种酶的变化幅度不同。蔗糖酶自上而下急剧下降, 如刺槐成林地和水杉成林地 5~20cm 和 20~40cm 土层仅分别为表层 (0~5cm) 的 30.5%, 3.6% 和 25.1%, 8.0%, 但它们在下面两层变化不大, 说明土壤酶活性受林木根系影响较大, 因为林木根系主要集中在 0~40cm 土层内^[6]。农田的蔗糖酶与林地的变化规律不同, 其表层的蔗糖酶活性低于林地, 而第二、三、四层均高于林地, 林地表层酶活性强可能与枯枝落叶有关^[8, 10], 农田底层 (20~40cm, 40~60cm) 酶活性强可能是施肥所致。滩地因其生物活性弱, 各层蔗糖酶活性均远低于林地和农田。其它三种土壤酶活性的变化趋势与碱性磷酸酶相似。

3.2.2 土壤酶活性的剖面取样深度 取样深度太大, 浪费人力、物力和财力, 效果未必好; 而取样深度小, 又不能准确反映样地的土壤酶活性水平, 因此确定合理的剖面取样深

度是研究土壤酶活性的基础工作。如前所述,不同层次、样地土壤酶活性有很大变化,设层次为 A(5 个),样地为 B(9 个),运用双因素方差分析方法^[2],得到如下结果,四种酶在剖面方向上均存在显著差异($\alpha = 0.05$),其中蔗糖酶、碱性磷酸酶差异最大,脲酶次之,蛋白

表2 土壤酶活性的剖面分布

Table 2 Vertical distribution of enzyme activities in soil profiles

土壤酶 Soil enzyme	深度 (cm) Depth	竹林 Bamboo forest		刺槐成林 Adult forest of pseudoacacia		水杉成林 Adult forest of glyptostroboides		农田 Farmland		滩地 Beach land	
		平均 值 Average value	占第一层 的百分数 (%) Percentage of the first layer's	平均 值 Average value	占第一层 的百分数 (%) Percentage of the first layer's	平均 值 Average value	占第一层 的百分数 (%) Percentage of the first layer's	平均 值 Average value	占第一层 的百分数 (%) Percentage of the first layer's	平均 值 Average value	占第一层 的百分数 (%) Percentage of the first layer's
蔗糖酶 (葡萄糖 mg/g)	0~5	59.57	100	65.80	100	83.35	100	42.08	100	2.64	100
	5~20	26.61	44.7	20.08	30.5	20.92	25.1	32.96	78.3	1.11	42.0
	20~40	3.45	5.8	2.37	3.6	6.67	8.0	13.25	31.5	0.67	25.4
	40~60	1.46	2.5	1.69	2.9	3.02	3.6	17.24	41.0	0.43	16.3
	60~100	1.58	2.7	1.57	2.4	1.88	2.3	0.95	2.3	0.72	27.3
碱性 磷酸酶 (酚 mg/g)	0~5	2.96	100	2.83	100	1.92	100	0.59	100	0.86	100
	5~20	1.64	55.4	1.38	48.8	0.93	48.4	0.59	100	0.61	70.9
	20~40	1.91	64.5	1.23	43.5	0.81	42.1	0.56	94.9	0.014	1.6
	40~60	0.76	18.0	0.85	30.0	0.71	37.0	0.37	62.7	0.004	0.5
	60~100	0.18	6.1	0.50	17.7	0.55	28.6	0.21	35.6	0.00	0.0
脲酶 (氨态氮 mg/g)	0~5	0.407	100	0.277	100	0.360	100	0.234	100	0.000	
	5~20	0.230	56.5	0.166	59.9	0.185	51.4	0.174	73.4	0.000	
	20~40	0.110	27.0	0.031	11.2	0.070	19.4	0.066	27.8	0.000	
	40~60	0.022	5.4	0.000	0.0	0.027	7.5	0.074	31.2	0.000	
	60~100	0.005	1.2	0.000	0.0	0.010	2.8	0.018	7.6	0.000	
蛋白酶 (氨基氮 mg/g)	0~5	0.521	100	0.273	100	0.305	100	0.183	100	0.123	100
	5~20	0.386	74.1	0.145	53.1	0.249	81.6	0.188	102.7	0.070	56.9
	20~40	0.329	63.1	0.154	56.4	0.214	70.2	0.170	92.9	0.000	0.0
	40~60	0.237	45.5	0.138	50.5	0.107	35.1	0.105	57.4	0.000	0.0
	60~100	0.039	7.5	0.083	30.4	0.034	11.1	0.085	46.4	0.000	0.0

表3 不同层次土壤酶活性的显著性检验

Table 3 Significance test of enzyme activities in different soil layers

深度 Depth (cm)	蔗糖酶 Invertase				碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase				脲酶 Urease				蛋白酶 Protease			
	5~ 20 (cm)	20~ 40 (cm)	40~ 60 (cm)	60~ 100 (cm)	5~ 20 (cm)	20~ 40 (cm)	40~ 60 (cm)	60~ 100 (cm)	5~ 20 (cm)	20~ 40 (cm)	40~ 60 (cm)	60~ 100 (cm)	5~ 20 (cm)	20~ 40 (cm)	40~ 60 (cm)	60~ 100 (cm)
0~5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5~20		✓	✓	✓		×	✓	✓		×	✓	✓		×	×	✓
20~40			×	×			×	✓			×	×			×	×
40~60				×				×				×				×

注：表中，“✓”表示差异显著，“×”表示差异不显著。

酶最小。进一步作 Q 检验, 检验结果见表 3。

由表 3 可知, 不同层次土壤酶活性的差异, 主要是第一、二层分别与其它各层之间; 更由于所有酶的第四、五层之间差异已开始不显著, 故完全可将第五层 (60~100cm) 去掉, 只要研究 0~60cm 内土壤酶活性的变化就可代表。且事实上, 树木根系的分布也主要在 0~60cm 内, 占整个根系总重量的 85~90% 以上^[6], 所以剖面取样深度与之相对应也完全是恰当的。此外, 除碱性磷酸酶外, 土壤其他酶在第三、四层间差异亦不显著, 所以说如取 0~40cm 的土样, 也基本上能反映这些土壤酶活性的变化趋势。

3.3 土壤酶活性的水平分布

3.3.1 同一样地不同剖面的酶活性 土壤是一个复杂的生态体系, 即使在同一样地内土壤酶活性也有较大差异。因此, 在同一样地内究竟取多少个剖面样品才能准确地表现土壤酶活性是一个值得探讨的问题。为解决这个问题, 我们对同一样地不同剖面 (0~60cm) 的酶活性进行了方差分析, 结果见表 4。由表 4 可知, 同一样地内 4 个剖面的土壤酶活性无差异, 这说明用 4 个剖面的平均值反映酶活性状况已经足够。

表 4 同一样地不同剖面酶活性的方差分析

Table 4 Variance analysis of enzyme activities in different profiles of the same plot

土壤酶 Soil enzyme	F 值 F value								
	林 地 Forest land			农 田 Farmland			滩 地 Beach land		
	F _{0.05} = 2.92			F _{0.05} = 3.46			F _{0.05} = 4.54		
	竹林	刺槐 幼林	刺槐 中林	刺槐 成林	水杉 幼林	水杉 中林	水杉 成林	农田	滩地
蔗糖酶	0.17	0.25	0.10	0.23	0.27	0.25	0.07	5.23	0.29
碱性磷酸酶	0.49	0.51	0.54	0.96	0.63	0.33	0.03	0.77	0.99
脲 酶	0.28	1.06	0.61	0.06	0.18	0.26	0.21	1.01	1.00
蛋白酶	0.93	1.36	2.07	2.52	0.83	0.23	0.93	13.81	0.09

注: 林地剖面数为 4, 农田为 2, 滩地为 3。

下面用参考文献 [2] 和 [12] 的方法继续探讨各类型用地的剖面数量 (即取样个数) 对取样精度的影响。(1) 林地: 在每个林地内随机抽取 3 个剖面 (0~60cm) 进行检验, 结果表明各种酶活性差异仍不显著; 而随机抽取 2 个剖面, 则有不少差异显著。这就表明若取样深度为 60cm, 最少需要挖 3 个剖面才满足精度 ($\alpha = 0.05$) 要求, 在实际工作中可取 3~4 个剖面。在 0~40cm 土层中, 随机抽取 3 个剖面进行检验, 发现有些样地差异显著, 若用 4 个剖面的酶活性数据进行检验则差异均不显著, 说明当取样深度为 0~40cm 时, 至少要挖 4 个剖面才能满足精度要求, 实际工作中可取 4~5 个剖面。(2) 滩地: 滩地酶活性较弱, 各剖面差异也小, 当取 3 个剖面 (取样深 60cm) 的酶活性资料检验时, 它们没有显著差异 (表 4), 因而在滩地上要测定 0~60cm 土层的酶活性挖 3 个剖面即可。(3) 农田: 本研究中农田只取 2 个剖面, 这两个剖面的蔗糖酶和蛋白酶差异显著, 因而用 2 个剖面来代表 0~60cm 的酶活性状况是不够的, 至于究竟要增加多少个剖面才合理有待进一步研究。

3.3.2 不同样地的酶活性 由于不同样地的栽培方式、管理条件和经营水平各异, 四种酶在水平方向上 (即不同样地) 存在显著差异, 为此利用主成分分析进一步对各样地的土

壤酶活性进行分析。

设 X 为土壤酶活性, x_1 ——蔗糖酶活性, x_2 ——碱性磷酸酶活性, x_3 ——脲酶活性, x_4 ——蛋白酶活性。对 9 个样地的 4 种酶活性 (0~60cm) 进行主成分分析, 由于前两个主分量的累积贡献率已达 91.85%, 故取两个主分量。记 \tilde{X} 为标准化变量, X 为原变量, 则有:

$$y_1 = 0.50608 \tilde{x}_1 + 0.52986 \tilde{x}_2 + 0.47301 \tilde{x}_3 + 0.48928 \tilde{x}_4$$

$$y_2 = -0.41894 \tilde{x}_1 + 0.38566 \tilde{x}_2 - 0.58312 \tilde{x}_3 + 0.57942 \tilde{x}_4$$

式中, $\tilde{x}_i = (x_i - \bar{x}_i) / s_i, i = 1, 2, 3, 4$ 。将各样地的土壤酶活性代入方程, 求出主分量 y_1 (第一主分量)、 y_2 (第二主分量), 将它们绘在图上 (图 1)。

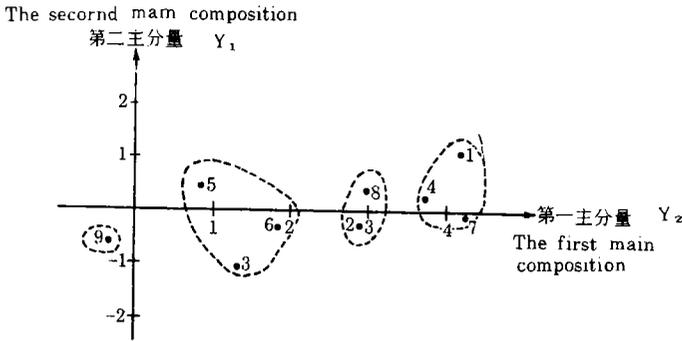


图1 各样地主分量坐标图

Fig.1 The coordinate sketch of main composition of each plot

由图 1 可知, 根据土壤酶活性第一、二主分量在图中的位置, 可将 9 个样地分为 4 类, 第一类是竹林、刺槐成林和水杉成林 (1, 4, 7), 其土壤酶活性最高; 第二类是农田和刺槐幼林 (2, 8), 酶活性较强; 第三类是刺槐中林和水杉幼林、中林 (3, 5, 6), 其改土时间较短, 目前没有间作, 酶活性较弱; 滩地 (9) 可单独分成一类, 土壤酶活性最低。这种结果表明, 林分年龄越大, 改土时间越长, 土壤酶活性越高; 实施间作的刺槐幼林其酶活性与农田相似, 也比较高; 没有间作、林龄又较小的林分土壤酶活性较小; 滩地酶活性最低。

参 考 文 献

1. 关松荫著. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1983, 274—319
2. 唐守正编著. 多元统计分析方法. 北京: 中国林业出版社, 1986, 160—162, 131—140
3. 关松荫, 沈桂琴, 孟昭鹏等. 我国主要土壤剖面酶活性状况. 土壤学报, 1984, 21(4): 368—380
4. 赵兰坡, 姜岩, 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨. 土壤通报, 1986, 17(3): 138—141
5. 胡海波, 康立新, 梁珍海等. 泥质海岸防护林土壤酶活性与理化性质关系的研究. 东北林业大学学报, 1995, 23(5): 37—45
6. 张金池, 胡海波. 苏北淤泥质海岸主要造林树种根系研究. 南京林业大学学报, 1992, 16(1): 35—40
7. 李勇, 试论土壤酶活性与土壤肥力. 土壤通报, 1989, 20(4): 190—193
8. 马志勤, 张先婉. 有机物料对紫色土土壤酶活性的影响. 土壤通报, 1992, 23(1): 25—27
9. 张其水, 俞新妥. 杉木连栽林地土壤酶的分布特征研究. 福建林学院学报, 1990, 10(4): 377—381

10. 杨帮俊, 向世群. 有机肥对紫色水稻土磷酸酶活性及磷素转化作用的影响, 土壤通报, 1990, 21 (3): 108—110
11. 胡海波, 林文棣, 张金池. 苏北沿海平原沙土区土壤侵蚀规律研究. 南京林业大学学报, 1992, 16(2): 25—30
12. 冯恭衍. 平原地区养分分析中土样采取方法的初步研究. 土壤通报, 1984, 15(1): 29—32

STUDY ON CHARACTERISTICS OF ENZYME ACTIVITIES IN AFFORESTED SOILS OF SILTING COASTAL AREAS

Hu Hai-bo

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Kang Li-xin Liang Zhen-hai

(Jiangsu Institute of Forestry Science)

Qiu Cai-lou

(Experimental Station of Windbreak in Coastal Areas of Jiangsu)

Summary

The paper deals mainly with the features of phosphatase and the distribution regularities of several enzymes (invertase, alkaline phosphatase, urease and protease) in afforested soils of silting coastal areas of northern Jiangsu. In the fluvo-aquic soil of coastal afforested area, alkaline phosphatase made up 62.6% of the total phosphatase. Suppose the activities of total and alkaline phosphatase are y and x_1 respectively (unit: phenol mg / g), their relation may be described by $y = -0.04765 + 1.67426x_1$, $r = 0.9731$. Soil enzyme activities became lower from top to bottom, and they had significant differences in the soil profile. The depth of 60cm for soil sampling could completely meet the need of precision ($\alpha = 0.05$) for the afforested lands and the number of soil samples was 3~4. When the depth was 40cm, the number of soil sample should be at least 4. According to variance analysis, soil enzyme activities had a significant difference in horizontal direction, being far higher in the afforested and farm lands than in the beach land. In the afforested land, the greater the forest age was, the more active the soil enzymes were. Soil enzyme activities in the farm land were similar to those under young forests with intercrops. The same results were also obtained by other statistical methods.

Key words Silting coastal area, Shelter forest, Soil enzymes