

杉木檫树根际土壤磷素研究*

姜培坤 徐秋芳 钱新标 张春桃

(浙江林学院, 临安 311306)

(桐乡县农林局)

摘要 檫树根际土壤的全磷、有机磷和有效磷含量明显高于杉木根际土。两种林木根际土的无机磷总量无显著差异,但无机磷的组成有很大不同,表现在杉木根际土闭蓄态磷比例很高(占无机磷的61.48%),而檫树根际土明显低(仅占39.69%)。檫树根际土 Fe-P, Ca-P 的含量显著高于杉木根际土。杉木、檫树根际土中的有效磷都和 Al-P, Ca-P 显著相关, Al-P 的含量都偏低,特别是杉木根际土。

关键词 杉木; 檫树; 根际; 土壤磷素

中图分类号 S714.8

土壤磷素是南方杉木(*Cunninghamia lanceolata*)生长的首要限制因子^[1]。真正反映土壤供磷水平高低的除了有机磷、有效磷外,还有无机磷中的 Al-P^[2]。根际是林木和土壤物质交换的场所,其中磷的数量和形态很能反映林木对磷的吸收、利用状况以及根际环境对磷形态的影响。檫树(*Sassafras tzumu*)为阔叶树种,其林地根际土壤的化学性质、有机化合物组成都和杉木林地、根际土有较大的差别^[3],其磷的数量和形态也必定存在差异。为此,本文选择立地一致的杉木、檫树林地,取样分析两种林木根际土壤的磷素含量和各形态磷的组成状况,作一些初步探讨。

1 材料与方法

在浙江省临安县选择中国南方混交林科研协作组的杉木、檫树试验地各1块。这两块试验地分布同一地段,造林时间、造林方式及试验地管理方式参见参考文献[4],在此不再重复。1993年春在这两块试验地中分别选取胸径与标准地平均木一致的杉木、檫树各6株,其中上坡、中坡、下坡各2株,取其根际土样。取样方法采用抖落法^[4]。测定了土壤的基本化学性质和磷含量。土壤基本化学性质按中华人民共和国国家标准局的森林土壤分析方法^[5];土壤全磷:高氯酸硫酸消煮后钼锑抗比色法;有机磷:过氧化氢氧化后钼锑抗比色法;有效磷:Bray II法;无机磷分级:张守敬-Jackson法^[6]。土壤基本化学性质见表1。

收稿日期:1994-12-20;修改稿收到日期:1995-03-28

*国家自然科学基金资助项目

表 1 杉木、樟树根际土壤基本化学性质

Table 1 Basic chemical properties of rhizosphere soil

| 树种 | 样号 | 坡位 | pH | CEC /c mol(+) ·kg ⁻¹ | 交换性Ca ⁺⁺ /c mol(+) ·kg ⁻¹ | 交换性K ⁺ /cmol(+) ·kg ⁻¹ | 盐基饱和度 /g·kg ⁻¹ | 有机碳 /g·kg ⁻¹ | 全氮 /g·kg ⁻¹ | H/F | C/N |
|----|----|----|------|---------------------------------------|---|--|------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------|------|
| 杉木 | 1 | 上坡 | 4.53 | 10.18 | 0.68 | 0.29 | 115.3 | 21.6 | 1.52 | 0.173 | 14.2 |
| | 2 | 上坡 | 4.59 | 10.20 | 0.69 | 0.28 | 143.2 | 21.3 | 1.49 | 0.178 | 14.3 |
| | 3 | 中坡 | 4.67 | 9.95 | 0.63 | 0.26 | 112.3 | 22.5 | 1.60 | 0.185 | 14.1 |
| | 4 | 中坡 | 4.75 | 10.08 | 0.75 | 0.33 | 104.8 | 20.0 | 1.47 | 0.180 | 13.6 |
| | 5 | 下坡 | 4.48 | 9.03 | 0.71 | 0.26 | 101.7 | 21.6 | 1.50 | 0.173 | 14.4 |
| | 6 | 下坡 | 4.73 | 10.34 | 0.81 | 0.32 | 111.4 | 22.8 | 1.70 | 0.169 | 13.4 |
| 樟树 | 1 | 上坡 | 5.10 | 11.34 | 1.95 | 0.48 | 289.9 | 21.8 | 1.66 | 0.428 | 13.1 |
| | 2 | 上坡 | 5.34 | 10.68 | 2.03 | 0.43 | 317.4 | 21.9 | 1.67 | 0.465 | 13.1 |
| | 3 | 中坡 | 5.08 | 10.75 | 2.50 | 0.46 | 308.4 | 20.6 | 1.57 | 0.375 | 13.1 |
| | 4 | 中坡 | 5.22 | 11.03 | 2.45 | 0.54 | 260.3 | 22.3 | 1.96 | 0.389 | 11.4 |
| | 5 | 下坡 | 5.21 | 10.32 | 1.98 | 0.37 | 269.5 | 20.5 | 1.60 | 0.495 | 12.8 |
| | 6 | 下坡 | 5.29 | 10.98 | 2.08 | 0.40 | 295.6 | 21.6 | 1.65 | 0.444 | 13.1 |

2 结果与分析

2.1 两种林木根际土磷含量分析

首先,从表 1~3 可以看到,无论是杉木还是樟树的上坡、中坡、下坡 3 类根际土样的各项分析结果无规律性变化,即并未反映出下坡林木根际土壤性质优于中坡特别是上坡林木根际。出现这种现象其实不奇怪,一方面根际土壤不像全土,其性质更多受林木根系制约。另一方面本文中上坡与下坡取样点间高差也不足 100m,全土本身间的差异也不大。

从表 2 可以看到,樟树根际土的全磷、有机磷比杉木根际明显要高,并达到显著差异,有机磷占全磷的百分率也高出 10.12 个百分点。而无机磷总量两种根际无差异,并杉木根际有稍高的趋势。这充分说明了樟树根际土全磷较高主要是因为有机磷增多所起的作用。这一点从 N/P(全氮与有机磷比)也可清楚看出,樟树根际土 N/P 显著低于杉木根际土。然后,从表 1 看来两种林木根际土的全碳总量几乎一致,即两种林木根际土有机物总量无差异。看来樟树根系分泌物中和其根际微生物的代谢物中或者是根际微生物本身体内含有更多的磷素。考虑到试验地在造林前立地一致,土壤全磷含量原本应无差异,有机磷又是林木很好的磷源,故我们可认为樟树根际具有很好的磷富集作用,樟树也比杉木有更好的磷反馈效应。再从两种林木根际土的有效磷来看,樟树根际也显著高于杉木根际,说明樟树根际环境有利于磷的有效化。当然,这和樟树根际具有较多有机磷、酸度低和盐基饱和度高是分不开的。

2.2 两种林木根际土无机磷分级

采用张守敬-Jackson 的无机磷分级分析方法,将两种林木根际土中的非闭蓄态无机磷分离为 Al-P, Fe-P 和 Ca-P 共 3 个组分,再用差减法计算出闭蓄态无机磷(O-P)。结果表明(表 3),杉木根际土 3 类非闭蓄态磷分别占无机磷总量的 6.45%, 24.85% 和 7.22%,闭蓄态无机磷占了 61.48%。而樟树根际分别是 8.44%, 39.02 和 12.85%,闭蓄态磷仅占 39.69%。两种林木根际土间 Fe-P, Ca-P 和 O-P 都存在极显差异,而 Al-P 则不然。总的来看,无论是杉

表2 杉木、樟树根际土磷素含量

Table 2 Phosphorous contents of rhizosphere soil

| 树种 | 样号 | 全磷 /g·kg ⁻¹ | 有机磷 /mg·kg ⁻¹ | 有机磷占 全磷百分率 /% | 无机磷 /mg·kg ⁻¹ | 有效磷 /mg·kg ⁻¹ | N/P |
|----|-------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| 杉木 | 1 | 0.20 | 98.35 | 49.18 | 101.65 | 7.35 | 15.46 |
| | 2 | 0.24 | 112.34 | 46.81 | 127.66 | 8.63 | 13.26 |
| | 3 | 0.19 | 97.65 | 51.40 | 92.35 | 6.47 | 16.38 |
| | 4 | 0.20 | 99.74 | 49.87 | 100.26 | 5.17 | 14.74 |
| | 5 | 0.24 | 103.44 | 43.10 | 136.56 | 7.58 | 14.50 |
| | 6 | 0.21 | 100.34 | 47.78 | 109.66 | 6.54 | 16.94 |
| | \bar{x}_1 | 0.21 b | 101.98b | 48.56b | 111.36a | 6.92b | 15.2Ca |
| 樟树 | 1 | 0.24 | 143.75 | 59.90 | 96.25 | 8.93 | 11.55 |
| | 2 | 0.23 | 139.37 | 60.60 | 90.63 | 8.35 | 11.98 |
| | 3 | 0.26 | 138.35 | 53.21 | 121.65 | 10.95 | 11.35 |
| | 4 | 0.27 | 161.45 | 59.80 | 108.55 | 9.35 | 12.14 |
| | 5 | 0.26 | 160.65 | 61.79 | 99.35 | 7.19 | 9.96 |
| | 6 | 0.24 | 136.67 | 56.94 | 103.33 | 8.17 | 12.07 |
| | \bar{x}_2 | 0.25a | 146.71a | 58.68a | 103.29a | 8.82a | 11.48b |

注：进行 *t* 检验，同列中平均数标有不同英文字母者均达到 5% 水平上显著差异

表3 杉木、樟树根际土无机磷分级

Table 3 Gradation of mineral phosphorous of rhizosphere soil

| 树种 | 样号 | 无机磷总量 /mg·kg ⁻¹ | Al-P /mg·kg ⁻¹ | Fe-P /mg·kg ⁻¹ | Ca-P /mg·kg ⁻¹ | O-P /mg·kg ⁻¹ |
|----|-------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 杉木 | 1 | 101.65 | 6.3(6.20) | 24.7(24.30) | 8.2(8.07) | 62.45(61.43) |
| | 2 | 127.66 | 10.5(8.22) | 30.9(24.20) | 11.3(8.85) | 74.96(62.16) |
| | 3 | 92.35 | 5.8(6.28) | 24.4(26.42) | 6.8(7.36) | 55.35(59.93) |
| | 4 | 100.26 | 5.6(5.58) | 25.4(25.33) | 7.5(7.48) | 61.76(61.62) |
| | 5 | 136.56 | 8.3(6.08) | 31.3(22.92) | 9.5(6.96) | 87.46(64.04) |
| | 6 | 109.66 | 6.6(6.02) | 29.3(26.70) | 8.3(7.57) | 65.46(59.71) |
| | \bar{x}_1 | 111.36a | 7.18(6.45)a | 27.67(24.85)b | 8.60(7.72)b | 67.86(61.48)a |
| 樟树 | 1 | 96.25 | 7.3(7.58) | 41.6(43.22) | 11.7(12.16) | 35.65(37.04) |
| | 2 | 90.63 | 6.8(7.50) | 36.5(40.27) | 10.6(11.70) | 36.73(40.33) |
| | 3 | 121.65 | 11.8(9.70) | 43.9(36.09) | 17.9(14.71) | 48.05(39.50) |
| | 4 | 108.55 | 10.5(9.60) | 40.3(37.12) | 16.5(15.20) | 41.25(38.01) |
| | 5 | 99.35 | 7.5(7.55) | 39.5(39.76) | 12.1(12.18) | 40.25(40.51) |
| | 6 | 103.33 | 8.4(8.13) | 40.0(38.71) | 10.8(10.45) | 44.13(42.71) |
| | \bar{x}_2 | 103.29a | 8.72(8.44)a | 40.30(39.02)a | 13.27(12.85)a | 41.01(39.69)b |

注：括号中数据为各类磷占无机磷总量的百分数。进行 *t* 检验，同列中平均数标有不同英文字母者均达 5% 水平上显著差异

木还是樟树根际 3 个组分中 Fe-P 占比例最高，其次是 Ca-P 和 Al-P。这符合南方红壤林地无机磷含量的一般规律。所不同的是 Al-P 占的比例偏低，特别是杉木根际土仅占无机磷总量的 6.45% 和非闭蓄态无机磷的 16.50% (表 4)。再从根际土有效磷与非闭蓄态磷的相关性来看 (表 5)，两种林木根际土的有效磷都和 Al-P、Ca-P 存在显著相关。其中杉木根际有

表 4 杉木、樟树根际土 3 类非闭蓄态磷比例

Table 4 Percentage of non-occluded-P of rhizosphere soil

| 树种 | 样号 | 非闭蓄态磷总量 | Al-P百分率 | Fe-P百分率 | Ca-P百分率 |
|----|-------------|----------------------|---------|---------|---------|
| | | /mg·kg ⁻¹ | /% | /% | /% |
| 杉木 | 1 | 49.22 | 15.66 | 61.41 | 20.39 |
| | 2 | 52.70 | 19.92 | 58.63 | 21.44 |
| | 3 | 37.00 | 15.68 | 65.94 | 18.38 |
| | 4 | 38.50 | 14.54 | 65.97 | 19.49 |
| | 5 | 49.10 | 16.90 | 63.75 | 19.35 |
| | 6 | 44.20 | 14.93 | 66.29 | 18.78 |
| | \bar{x}_1 | 43.62 | 16.50 | 63.61 | 19.89 |
| 樟树 | 1 | 60.60 | 12.05 | 68.65 | 19.30 |
| | 2 | 53.90 | 12.62 | 67.72 | 19.66 |
| | 3 | 73.60 | 16.03 | 59.65 | 24.32 |
| | 4 | 67.30 | 15.60 | 59.88 | 24.52 |
| | 5 | 59.10 | 12.69 | 66.84 | 20.47 |
| | 6 | 59.20 | 14.19 | 67.57 | 18.24 |
| | \bar{x}_2 | 62.28 | 14.00 | 64.71 | 21.29 |

表 5 根际土壤有效磷与各组分磷含量的相关系数

Table 5 Correlation coefficients of available-P in rhizosphere soil

| 土 样 | Al-P | Fe-P | Ca-P |
|-------|--------|-------|--------|
| 杉木根际土 | 0.861* | 0.580 | 0.831* |
| 樟树根际土 | 0.827* | 0.713 | 0.811* |

注: 自由度 = 4 时, $r_{0.05} = 0.811$, $r_{0.01} = 0.917$

占无机磷的比例也下降。

综上所述, 我们不难看出, 在红壤上樟树利用磷的能力比杉木强, 也可使磷的有效度提高, 因而提倡针阔混交(如杉樟混交)来更多地活化难溶磷对改善杉木磷营养是大有裨益的。

3 小结

- 3.1 樟树根际土的全磷、有机磷和有效磷含量显著高于杉木根际土。
- 3.2 樟树根际土中非闭蓄态磷的比例很高, 其中 Fe-P 和 Ca-P 的含量也显著高于杉木根际土。
- 3.3 两种林木根际土中的 Al-P 都偏低, 并且 Al-P 都和有效磷存在显著相关性。因而作者以为 Al-P 确是这两种林木特别是杉木的重要磷源。

效磷与 Al-P 的相关系数最大, 达到了 0.861。这证实了 Al-P 确是杉木有用的磷源, 因而根际土中 Al-P 常常相对亏缺。

樟树根际土无机磷中 Ca-P 占的比例较高(达 12.85%)。而闭蓄态磷比例很低(只占无机磷的 39.69%), 远低于南方红壤的一般含量^[7]。这种高 Ca-P 低闭蓄态磷的结果显然和樟树根际的交换性钙较多、盐基饱和度较高和酸度相对较弱有关, 因为一般来讲土壤酸性越强, 闭蓄态磷的比例越大, Ca-P

参 考 文 献

- 1 刘方, 罗汝英, 蒋建屏. 土壤养分状况与杉木生长. 南京林业大学学报, 1991, 15(2): 41~46
- 2 刘方, 罗汝英. 杉木林土壤中各类磷化合物的数量和效应. 南京林业大学学报, 1991, 15(4): 7~12
- 3 姜培坤, 蒋秋怡, 徐秋芳等. 杉木 檫树根际土壤有机化合物研究. 浙江林学院学报, 1994, 11(3): 235~240
- 4 蒋秋怡, 叶仲节, 钱新标等. 杉木根际土壤特性的研究. 浙江林学院学报, 1991, 8(4): 450~456
- 5 中华人民共和国国家标准局. GB 7848 7858-1987 森林土壤分析方法. 北京: 中国标准出版社, 1988
- 6 劳家桢. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988, 279~281
- 7 朱祖祥. 土壤学(上册). 北京: 农业出版社, 1983, 202~205

Jiang Peikun (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Xu Qiufang, Qian Xinbiao, and Zhang Chuntao. **Studies on Soil Phosphorus of Rhizosphere under Chinese Fir and Chinese Sassafras.** *J Zhejiang For Coll*, 1995, 12 (3):242~246

Abstract: There is higher content of total-P, organic-P and available-P in the rhizosphere soil of Chinese sassafras than that of Chinese fir. Between the rhizosphere soils of the two kinds trees, there is no significant difference in amount of mineral phosphorus but is significant difference in its constituent, which can be explained by much more content of occluded-P (accounted to 61.48% of mineral phosphorus) in Chinese fir rhizosphere soil than that (accounted to 39.69%) in Chinese sassafras, and by much more content of Fe-P and Ca-P in Chinese sassafras rhizosphere soil than that in Chinese fir. In two rhizosphere soils, the quantity of available-P is largely correlated with contents of Al-P and Ca-P, while there is lower content of Al-P.

Key words: Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*); Chinese sassafras (*Sassafras tzumu*); rhizosphere; soil phosphorus