

# 磷胁迫条件下落叶松幼苗对难溶性磷的利用\*

张彦东\*\* (中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

白尚斌 刘雪峰 (云南省林业科学院, 昆明 650204)

王政权 (东北林业大学森林资源与环境学院, 哈尔滨 150040)

**【摘要】** 以  $AlPO_4$  为 P 源在温室内采用砂培的方法, 研究了落叶松 (*Larix gmelini*) 2 年生幼苗对难溶性 P 酸盐的利用状况. 结果表明, 落叶松幼苗可以利用一定数量的  $AlPO_4$ . 在供  $AlPO_4$  不接种菌根时, 落叶松幼苗吸收的 P 可达正常供 P 时的 35.1% 和 64.9%. 不同菌种对落叶松幼苗利用  $AlPO_4$  的影响不同. 接种点柄乳牛肝菌 (*Suillus granulatus*) 时, 落叶松幼苗对  $AlPO_4$  的利用量高于不接种的, 此时落叶松幼苗吸 P 量的 20% 和 35% 是来自于菌根的贡献. 接种厚环乳牛肝菌 (*Suillus grevillei*) 时, 落叶松幼苗对  $AlPO_4$  的利用量与不接种的相近. 在 P 胁迫条件下, 落叶松幼苗的根/冠比加大, 落叶松以加大根生长的方式来增加 P 的吸收.

**关键词** 落叶松 磷胁迫 菌根 难溶磷 根际

**Utilization of insoluble phosphate by *Larix gmelini* seedlings under phosphorus starvation.** ZHANG Yandong (*Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223*), BAI Shangbin, LIU Xuefeng (*Yunnan Academy of Forestry Sciences, Kunming 650204*), and WANG Zhengquan (*School of Forest Resources and Environment, Northeast Forestry University, Harbin 150040*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2000, 11(5): 668 ~ 670.

The utilization of insoluble phosphate by 2 years old larch (*Larix gmelini*) seedlings was studied in greenhouse. The seedlings were grown in sand and  $AlPO_4$  was supplied as a source of P. The results showed that larch seedlings could utilize some amount of  $AlPO_4$ . Supplied with  $AlPO_4$  but not incubated with mycorrhizal-fungi, the seedlings could absorb 35.1% and 64.9% of the phosphorus uptake when supplied with soluble phosphate. The effects of various mycorrhizal-fungi on utilization of phosphate were different, i. e., the utilization rate of  $AlPO_4$  was higher when incubated with *Suillus granulatus*, but was similar to control when incubated with *Suillus grevillei*. The proportion of root/crown became higher under P-starvation, and larch seedlings could gain more P by enlarging their root growth.

**Key words** *Larix gmelini*, Phosphorus starvation, Mycorrhizal Fungi, Insoluble phosphate, Rhizosphere.

## 1 引言

在自然条件下 P 极易固定, 土壤中的 P 大部分以难溶态存在<sup>[6]</sup>. 近年来研究发现, 一些植物为了适应低 P 环境可以在根际活化难溶性的 P, 以提高 P 的有效性<sup>[2, 8]</sup>. 落叶松是我国的主要用材树种, 其分布范围广, 在多种环境胁迫条件下均能生长. 根据我们的研究, 落叶松 (*Larix gmelini*) 根际土壤 P 的有效性明显高于非根际土, 在落叶松根际也发生了 P 的活化作用<sup>[7]</sup>. 本研究在控制条件下进行, 采用难溶性的  $AlPO_4$  为 P 源, 目的是探讨落叶松对难溶性 P 的活化效果以及菌根在难溶性 P 活化上的作用.

## 2 材料与方法

### 2.1 供试材料

实验所用苗木为同一批 2 年生兴安落叶松苗. 为了保证实验的精度, 在实验前对苗木进行精心挑选. 所选苗木在生长和

形态上相近, 并且根系没有菌根侵染.

### 2.2 研究方法

**2.2.1 苗木接种** 于实验前一年的夏季, 在人工落叶松林内采集落叶松菌根菌的子实体, 带回室内进行分离培养. 并于 2 年 5 月初制成菌剂用于接种. 在接种时, 首先将落叶松苗根用清水漂洗, 并用 0.5% 次氯酸钠溶液灭菌, 再用蒸馏水漂洗. 然后分别将一批苗木接种厚环乳牛肝菌 (*Suillus grevillei*) (以下简称 A 菌), 另一批接种点柄乳牛肝菌 (*Suillus granulatus*) (以下简称 B 菌), 其余苗木不接种备用.

**2.2.2 苗木培养** 苗木培养基质为石英砂, 先将石英砂洗去泥土, 经 0.5% 盐酸浸泡 24h, 用自来水冲洗至中性. 然后将石英砂装入容积为 0.13m<sup>3</sup> 的盆中, 每盆装砂 13kg. 将上述经过处理的苗木分别栽植在盆中, 每盆植苗 5 株. 用全 P 营养液浇灌 3 周后, 改为 P 胁迫处理. 其中接种 A 菌和 B 菌的苗木各设 3 种 P 处理: 加缺 P 营养液 (- P 处理); 每盆加 3g  $AlPO_4$  和每盆加 30g  $AlPO_4$  (分析纯). 对未接种的苗木设 4 种 P 处理: 加缺 P 营

\* 教育部优秀年轻教师基金资助项目.

\*\* 通讯联系人.

1999-11-08 收稿, 2000-05-11 接受.

养液(-P处理);加正常P营养液(+P处理);每盆加 3gAlPO<sub>4</sub>和每盆加 30gAlPO<sub>4</sub>.在难溶性磷处理中将 AlPO<sub>4</sub>与石英砂充分混合,并浇缺P营养液.上述实验每个处理各设5个重复,每天浇一次营养液,每次每盆 100ml.实验全部在温室内进行,经P胁迫处理10周后收获.

2.2.3 营养液配方 大量元素用 Hoagland 配方: KNO<sub>3</sub> 0.51g·L<sup>-1</sup>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 20.82g·L<sup>-1</sup>, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.49g·L<sup>-1</sup>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.136g·L<sup>-1</sup>, 微量元素用 Arnon 配方: H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2.86mg·L<sup>-1</sup>, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.08mg·L<sup>-1</sup>, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.22mg·L<sup>-1</sup>, MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 1.81mg·L<sup>-1</sup>, H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 0.09mg·L<sup>-1</sup>, Fe-EDTA 20mg·L<sup>-1</sup>. pH 调至 6.0. 缺P营养液中不含 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, K<sup>+</sup>以等量 KCl 补齐.

2.2.4 干重、全P及菌根侵染率测定 栽植前测全株鲜重并取30株苗木测含水率计算全株干重.实验结束后分根、径和叶测量干重.栽植前和实验结束后分别取样测各组织的全P浓度,样品用硫酸-高氯酸-硝酸消煮,钼锑抗比色法测P.菌根侵染率

表1 不同P处理条件下落叶松幼苗的干重

Table 1 Dry weight of *Larix gmelini* young seedlings under various P treatment

磷处理 P-treatment	菌根侵染率 Mycorrhizal fungi attacking rate(%)	根重 Root weight (g)	茎重 Stem weight (g)	叶重 Leaf weight (g)	总重 Total weight (g)	根/冠 Root/crown
- P Absent P	0	10.04±0.37	6.36±0.16	3.05±0.07	19.45±0.60	1.07
A菌- P A and absent P	10.8	10.00±0.36	6.53±0.20	2.58±0.09	19.11±0.65	1.10
B菌- P B and absent P	14.2	8.92±0.40	7.42±0.31	2.70±0.11	19.04±0.82	0.88
施 3gAlPO <sub>4</sub> Supplied with 3gAlPO <sub>4</sub>	0	11.10±0.20	7.13±0.11	3.75±0.09	21.89±0.40	1.02
施 30gAlPO <sub>4</sub> Supplied with 30gAlPO <sub>4</sub>	0	11.95±0.47	8.63±0.09	4.80±0.10	25.38±0.66	0.89
A菌 3gAlPO <sub>4</sub> A and 3gAlPO <sub>4</sub>	33.7	11.18±0.23	6.77±0.22	3.25±0.18	21.20±0.63	1.12
A菌 30gAlPO <sub>4</sub> A and 30gAlPO <sub>4</sub>	32.3	10.58±0.11	8.31±0.20	4.37±0.18	23.36±0.48	0.83
B菌 3gAlPO <sub>4</sub> B and 3gAlPO <sub>4</sub>	34.4	13.94±0.69	7.91±0.14	4.07±0.05	25.92±0.88	1.16
B菌 30gAlPO <sub>4</sub> B and 30gAlPO <sub>4</sub>	35.6	12.11±0.58	8.91±0.21	4.24±0.04	25.26±0.83	0.92
+ P Soluble phosphate	0	10.73±0.25	12.41±0.18	5.70±0.09	28.84±0.52	0.59

表中数字为均值±标准差, A菌为厚环乳牛肝菌, B菌为点柄乳牛肝菌 Dates in table are means±sd, A is *Suillus grevillei*, B is *Suillus granultus*.

很小,其根/冠比均大于1.接种B菌的苗木根系生长和地上部生长相近,根/冠比为0.88.当以难溶性AlPO<sub>4</sub>作为P源时,各处理苗木的生长量均大于缺P处理(-P处理),但又均低于正常P处理(+P处理).如果以正常P处理的干重净增量为100%,则未接种的苗木干重净增量为42.7%(3gAlPO<sub>4</sub>)和58.8%(30gAlPO<sub>4</sub>);接种A菌的苗木干重净增量为41.2%(3gAlPO<sub>4</sub>)和61.7%(30gAlPO<sub>4</sub>).接种B菌的干重净增量为69.8%(3gAlPO<sub>4</sub>)和70.1%(30gAlPO<sub>4</sub>).接种B菌苗木的生长高于接种A菌和未接种菌根的苗木.在施AlPO<sub>4</sub>处理条件下,苗木的根/冠比均大于正常P处理的.而且越是施AlPO<sub>4</sub>水平低的处理其根/冠比越大,每盆施3gAlPO<sub>4</sub>的根/冠比均大于1,而施30gAlPO<sub>4</sub>的均小于1.

### 3.2 P胁迫条件下落叶松幼苗对AlPO<sub>4</sub>的利用

本试验用难溶性的AlPO<sub>4</sub>“饲喂”落叶松幼苗,观察其利用难溶性P的能力.结果发现,落叶松幼苗在缺P处理时(-P处理),无论接种菌根与否其P含量

测定采用根段法<sup>[5]</sup>,根段长1cm,侵染率=感染菌根的根段数/被检根段总数.

## 3 结 果

### 3.1 P胁迫条件下落叶松幼苗的生长

在接种菌根时落叶松苗木均受到了不同程度的感染,非菌根处理的苗木没有菌根侵染.菌根处理的菌根侵染率变化范围为10.8%~35.6%.施用AlPO<sub>4</sub>处理的菌根侵染率高于缺P处理的.处理条件相同时A菌和B菌的侵染率相近.在P胁迫条件下,落叶松幼苗也能生长,但生长速度缓慢.当浇灌缺P营养液时(-P处理),落叶松干重净增2.07~2.57g(图1),是正常P处理(+P处理)干重净增量的17.3%~21.5%.此时接种菌根与否对生长量影响不大(表1).接A菌和未接种的苗木生长主要体现在根系上,地上部生长

均最低,此时体内P的净增量均不超过2mg,约为正常

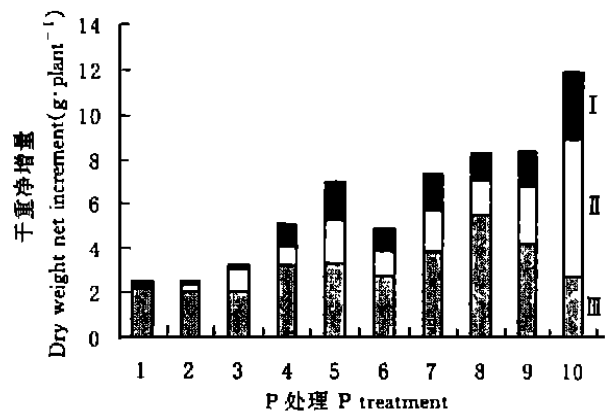


图1 各种磷处理条件下落叶松幼苗干重净增量

Fig. 1 Dry weight net increment of young *Larix gmelini* seedling under various P treatment.

1. - P处理 Absent P treatment; 2. A菌-P处理 A and absent P treatment; 3. B菌-P处理 B and absent P treatment; 4. 施 3gAlPO<sub>4</sub> Supplied 3gAlPO<sub>4</sub>; 5. 施 30gAlPO<sub>4</sub> Supplied 30gAlPO<sub>4</sub>; 6. A菌 3gAlPO<sub>4</sub> A and 3gAlPO<sub>4</sub>; 7. A菌 30gAlPO<sub>4</sub> A and 30gAlPO<sub>4</sub>; 8. B菌 3gAlPO<sub>4</sub> B and 3gAlPO<sub>4</sub>; 9. B菌 30gAlPO<sub>4</sub> B and 30gAlPO<sub>4</sub>; 10. + P处理 Supplied with soluble phosphate. I. 叶净增量 Leaf net increment, II. 茎净增量 Stem net increment, III. 根净增量 Root net increment. 下同 The same below.

P处理的5%(图2)。当以难溶性 $\text{AlPO}_4$ 作为P源时,各处理苗木的P含量和P净增量均大于缺P处理,但却都低于正常P处理。未接种的苗木P净增量为正常P处理的35.1%(3g  $\text{AlPO}_4$ )和64.9%(30g  $\text{AlPO}_4$ );接种A菌的P净增量为正常P处理的35.1%(3g  $\text{AlPO}_4$ )和62.2%(30g  $\text{AlPO}_4$ );接种B菌的为正常P处理的54.1%(3g  $\text{AlPO}_4$ )和81.2%(30g  $\text{AlPO}_4$ )。 $\text{AlPO}_4$ 施用量对落叶松幼苗P的吸收量影响较大,各处理均是施30g  $\text{AlPO}_4$ 的P净增量大于施3g  $\text{AlPO}_4$ 的。值得注意的是当接种B菌时落叶松幼苗对 $\text{AlPO}_4$ 的利用量明显高于不接种和接种A菌的,当施30g  $\text{AlPO}_4$ 时,幼苗的P净增量已达正常P处理(+P处理)的80%以上。如果以(接种菌根苗木吸P量-未接菌根苗木吸P量)/接种菌根苗木吸P量,这一指标作为评价菌根对P吸收作用的话,则B菌处理吸P量的20%(3g  $\text{AlPO}_4$ )和35%(30g  $\text{AlPO}_4$ )是来自于菌根的贡献。

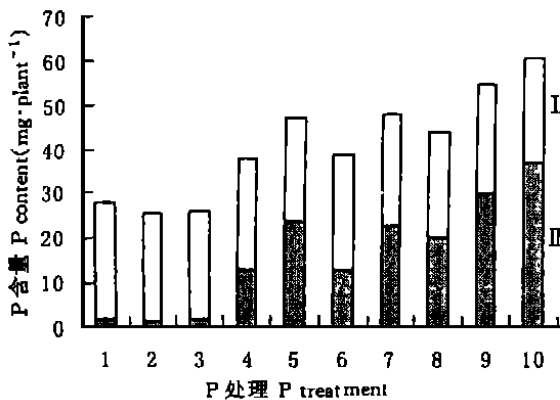


图2 各种P处理条件下落叶松幼苗P含量

Fig. 2 P content of young *Larix gmelini* seedlings under various P treatment. I. 处理前P含量 P net increment before treatment, II. 处理后P净增量 P net increment after treatment.

## 4 讨论

### 4.1 难溶性磷酸盐的有效性

$\text{AlPO}_4$ 为难溶性磷酸盐,通常情况下植物很难利用。在本实验条件下,落叶松幼苗可以利用一定数量的 $\text{AlPO}_4$ 。在供 $\text{AlPO}_4$ 不接种菌根时,落叶松幼苗吸收的P可达正常供P时的35.1%和64.9%。 $\text{AlPO}_4$ 在水中的解离度极低,几乎呈不溶状态。一些施肥试验也证明在酸性条件下,施 $\text{AlPO}_4$ 的供P能力与不施 $\text{AlPO}_4$ 的对照相比没有任何差别<sup>[4]</sup>。如果仅靠 $\text{AlPO}_4$ 的解离过程提供有效态P,落叶松是无法吸收到如此高的P。由于磷酸铝盐在酸性和微酸性土壤中是普遍存在的,结合以前我们测得的落叶松根际土有效P浓度明显高于非根际土这一结果来看,可能是落叶松根分泌物对 $\text{AlPO}_4$ 产生了活化作用,使难溶性 $\text{AlPO}_4$ 中的磷酸根放出,提高了难溶性

$\text{AlPO}_4$ 的有效性。

### 4.2 菌根的作用

接种菌根对植物利用难溶性磷酸盐会产生一定影响,但不同菌种作用不同。本试验发现,尽管接种的和未接种的落叶松苗木都能够利用同一种P源( $\text{AlPO}_4$ ),但当接种点柄乳牛肝菌时,落叶松幼苗对 $\text{AlPO}_4$ 的利用量明显高于不接种的,落叶松幼苗吸P量的20%和35%是来自于菌根的贡献。接种厚环乳牛肝菌时,落叶松幼苗对 $\text{AlPO}_4$ 的利用与不接种的比较差异不大。本实验所用菌种均采自落叶松林下,因此,在现实林分中落叶松对难溶P的活化过程很可能是菌根参与的过程。关于菌根可以增加植物对难溶性P的吸收问题也有类似的报道<sup>[1, 3, 9]</sup>。本试验中菌根的存在明显提高了落叶松利用难溶性 $\text{AlPO}_4$ 的能力,但其作用机制较复杂,究竟属于哪一类原因,有待继续研究。

### 4.3 落叶松幼苗的生长

落叶松幼苗在P胁迫条件下,主要通过加大根的生长来增加P的吸收。在不供P和只供 $\text{AlPO}_4$ 时,其根/冠比均大于正常供P的根/冠比,而且在仅供 $\text{AlPO}_4$ 时,供3g  $\text{AlPO}_4$ 的根/冠比又都大于供30g  $\text{AlPO}_4$ 的。但在长期缺P条件下落叶松的生长受到一定抑制,在缺P处理时(-P)虽然其根/冠比较大,而根的绝对生长量却较小。

### 参考文献

- Bolan NS. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, **134**: 189~204
- Hinsinger P, Gilkes RJ. 1995. Root-induced dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of Lupinus grown in alkaline soil. *Aust J Soil Res*, **33**: 477~489
- Hoffland E, Findenegg GR, Nelemans JA. 1989. Solubilization of rock phosphate by rape. *Plant and Soil*, **113**: 161~166
- Jiang B-F(蒋柏藩). 1982. The form transformation and availability of phosphorus fertilizer in soil. *Progr Soil Sci* (土壤学进展), **2**: 1~11 (in Chinese)
- Meng F-R(孟繁荣). 1996. Tree Mycology. Harbin: Northeast Forestry University Publishing House. 157~175 (in Chinese)
- Sheng X-B(盛学斌), Sun J-Zh(孙建中). 1995. Recent status and tendency of study on phosphorus in soil. *Adv Environ Sci* (环境科学进展), **3**(2): 11~21 (in Chinese)
- Zhang Y-D(张彦东), Yu X-J(于兴君), Yang W-H(扬文化). 1997. The nutrition characteristics of rhizosphere soil and wood soil in Ash and Larch mixture plantation. In: Shen G-F(沈国舫) and Zhai M-P(翟明普) eds. *Researches on Mixed Forest Plantations*. Beijing: China Forestry Publishing House. 145~149 (in Chinese)
- Zhang F-S(张福锁), Cao Y-P(曹一平). 1992. Rhizosphere dynamics and plant nutrition. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), **29**(3): 239~250 (in Chinese)
- Zhang F-S(张福锁). 1998. Environment Deficiency and Plant Rhizosphere Nutrition. Beijing: China Agriculture Press. 56~75 (in Chinese)

作者简介 张彦东,男,1963年4月生,博士,副研究员,主要研究领域为森林培育与林地营养管理,发表论文30余篇。E-mail: zhyd@public.km.yn.cn