

# 沙地云杉幼苗根表土体中 NPK 的梯度分布\*

邹春静<sup>1,2,\*</sup> 韩士杰<sup>1</sup> 徐文铎<sup>1</sup> 谷志静<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; <sup>2</sup> 上海交通大学生命科学技术学院, 上海 200030)

**【摘要】** 采用水平根和垂直根两种处理方法对 6 年生沙地云杉幼苗进行栽培实验. 应用分层取样方法对幼苗根表不同距离土体进行取样, 并测定不同层次土体中速效 N、速效 P、速效 K 的含量. 结果表明, 在沙地云杉根表不同距离的土体中, 速效 N、P、K 呈现有规律的梯度分布, 即在根表近距离土体中营养元素由于根系的吸附作用而含量较高, 同时根系生命活动对营养元素的大量消耗又使得营养元素随即出现严重的亏缺区. 再向外延伸营养元素含量又逐渐上升而达到土壤本底值. 在水平根处理中, 由于沙地云杉对 N、P、K 吸收和利用的强度不同, 亏缺区出现的位置不同. 速效 N 和速效 K 的亏缺区出现在距离根表 1 cm 处; 速效 P 出现在距离根表 0.5 cm 处. 在垂直根处理中, 速效 N、速效 P、速效 K 的梯度变化与水平根处理的相似. 速效 N 和速效 K 亏缺区出现在距离根表大约 1 cm 处, 而速效 P 在根表附近土壤中的含量始终少于根表远处. 说明沙地云杉幼苗对速效 P 的吸收和利用强度大, 速效 P 可能成为沙地云杉生长发育的限制因子. 因此, 在沙地云杉引种栽培时, 应该选择含 P 丰富的土壤, 或者对林地适当施用一些 P 肥.

**关键词** 沙地云杉 根表 土体 营养元素 梯度分布

**文章编号** 1001-9332(2003)12-2145-04 **中图分类号** S715.5 **文献标识码** A

**Gradient distribution of soil N, P, and K along the distance from *Picea mongolica* seedlings root surface.** ZOU Chunjing<sup>1,2</sup>, HAN Shijie<sup>1</sup>, XU Wenduo<sup>1</sup>, GU Zhijing<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; <sup>2</sup> College of Life Science and Biotechnology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(12): 2145~2148.

Six years old seedlings of *Picea mongolica* were planted in pots with horizontal and vertical root treatments. Soil samples were stratified collected, and their available nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) contents were determined. The results showed that the available contents of N, P and K in soils along the distance from *Picea mongolica* seedlings root surface had a special gradient distribution. Near root surface, there was a depletion zone of soil available N, P, and K, and along the distance from it, the nutrient element contents increased gradually and reached their background values in the bulk soil. In the horizontal root treatment, the depletion zone of soil available N, P, and K existed in different distance from root surface, owing to the absorption and the use intensity of the seedlings to these nutrient elements. The depletion zone of soil available N and K appeared from 1 cm from root surface, and that of available P existed in 0.5 cm from root surface. In the vertical root treatment, the depletion zone of available N and K also appeared from 1 cm from root surface as in the horizontal root treatment, but the available P content near root surface was lower than that far away from root surface. It is proved that the absorption and the utilize intensity of soil available P by *Picea mongolica* seedlings was intense, which might become a limiting factor to its growth and development. Therefore, *Picea mongolica* should be planted on soils rich in phosphorus, or P and N fertilizers should be applied to improve the absorption and the use efficiency of available P by *Picea mongolica*.

**Key words** *Picea mongolica*, Root surface, Bulk soil, Nutrient element, Gradient distribution.

## 1 引言

沙地云杉(*Picea mongolica*)为我国特有树种, 天然分布范围狭窄, 只分布生态环境非常脆弱地区的浑善达克沙地东部的边缘. 白音敖包国家级自然保护区是我国沙地云杉林分布面积最大(1 947 hm<sup>2</sup>)、长势最好(平均高 17 m), 最有代表性的地区. 但这里属于大陆性气候, 年均降水量为 449 mm, 蒸发量为 1 526 mm, 是降水量的 3.4 倍. 沙地云杉对半干旱沙地环境具有较强的生态适应性, 因此已成为我国西部沙地造林的重要树种之一, 同时为我国

“三北”防护林体系建设提供了优良的树种资源<sup>[18]</sup>.

为了扩大我国这一珍贵树种的分布面积, 很多地区对沙地云杉进行了人工引种和繁育. 辽宁省固沙造林研究所于 1965 年首次将沙地云杉引种到辽宁省章古台, 并获得成功, 然后又于 1975、1985 和 1990 年 3 次引种沙地云杉进行育苗和造林试验, 实验证明沙地云杉人工林表现稳定, 生长较快<sup>[7]</sup>. 植

\* 国家自然科学基金项目(39900019, 30070129)和中国博士后科学基金资助项目.

\*\* 通讯联系人.

2003-06-25 收稿, 2003-08-12 接受.

物引种成败的关键在于是否选择了合适的立地条件. 由于沙地云杉对营养贫瘠的沙地环境具有很强的生态适应性, 因此引种到辽宁省章古台以风沙土为主要土壤的地区是合适的. 为进一步了解沙地云杉对土壤环境中各主要营养元素的吸收情况及由此产生的养分分布的不均衡性, 本文开展了沙地云杉幼苗根表土体中 N、P、K 的梯度分布研究, 以期对沙地云杉的引种实验和林业生产提供理论参考.

## 2 材料与方法

### 2.1 供试土壤及处理方法

本实验所采用的土壤为章古台分布较普遍的生草风沙土, 其剖面结构比较简单<sup>[7]</sup>. 将生草风沙土作成苗床, 经人工管理即为本实验所用土壤, 将土壤中的有机物质(枯枝落叶、植物根系等)一一检出, 并过筛, 用于培养沙地云杉幼苗.

### 2.2 材料及培养方法

实验材料全部为 6 年生沙地云杉幼苗, 高度在 15~25 cm, 用高为 35 cm, 盆口直径为 30 cm 的花盆进行培养. 为了使根系能与土壤截然分开, 采用如下两种幼苗培养处理方法, 一是将花盆盛土一半, 把 100 目(植物根系无法穿透)的尼龙网平铺, 然后再将沙地云杉幼苗栽到尼龙网上, 即水平根处理. 二是将尼龙网立于花盆中间, 一面盛土, 另一面栽苗, 即垂直根处理(图 1). 于植物生长季(5~9 月)进行栽培实验.

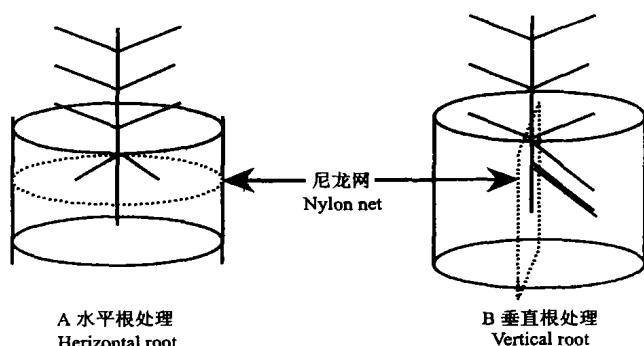


图 1 幼苗培养方法示意图

Fig. 1 Seedling cultivate methods.

### 2.3 土壤取样和 N、P、K 测定

土壤取样采用冰冻切片法, 即沿水平根处理的垂直方向和垂直根处理的水平方向对土壤在冰冻状态下, 用 YD-1508 轮转式切片机进行分层取样. 开始 2 cm 每层 0.25 cm, 然后的 3 cm 每层 0.5 cm, 每种处理取土壤样品 14 个, 共 28 个.

土壤样品中速效 N、速效 P 和速效 K 3 种元素的测定方法见文献<sup>[3]</sup>, 速效 N 的测定采用碱解扩散法, 速效 P 采用 0.5 M NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法, 速效 K 采用 1 N NH<sub>4</sub>OAc 浸提-火焰光度法.

## 3 结果与分析

### 3.1 供试土壤的理化特征

根据焦树仁对章古台生草风沙土理化性质的测定<sup>[7]</sup>, 物理沙粒含量偏高, 中层沙粒含量较低, 下层受母质层影响, 物理沙粒含量高(表 1), pH 值较高, 有机质和 N、P 营养元素含量由上往下逐渐降低, Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 含量较低(表 2).

表 1 土壤机械成分

Table 1 Soil composition (%)

土层 Layer (cm)	机械粒径 Physical diameter(mm)						总量 Total	
	1.0 ~0.25	0.25 ~0.05	0.05 ~0.01	0.01 ~0.005	0.005 ~0.001	<0.001	<0.01	>0.01
0~30	27.88	58.58	8.8	0.4	0.8	3.03	4.74	95.26
30~80	13.96	51.77	17.6	1.6	5.2	7.78	16.67	83.33
80~110	65.86	32.40	0	0.4	0.4	0.64	1.74	98.26

表 2 土壤养分含量

Table 2 Concentration of soil nutrients

土层 Layer (cm)	pH	有机质 Organic matter (%)	全 N Total N (%)	全 P Total P (%)	速效 K <sub>2</sub> O Available K <sub>2</sub> O (%)	Ca <sup>2+</sup> (%)	Mg <sup>2+</sup> (%)
0~30	7.9	1.5351	0.04309	0.01334	1.250 × 10 <sup>-3</sup>	0.00320	0.00586
30~80	7.4	1.2940	0.03945	0.00763	3.375 × 10 <sup>-3</sup>	0.00360	0.00098
80~110	7.4	0.3560	0.01315	0.00360	2.750 × 10 <sup>-3</sup>	0.00160	0.00512

本实验所用土壤为经过处理后的生草风沙土, 将生草风沙土表层 30 cm 土壤作成苗床, 进行日常的田间管理, 如浇水、施肥等. 苗床土的速效 N、速效 P、速效 K 含量较高, 其本底值分别为 32.342、33.213 和 56.439 mg·kg<sup>-1</sup>, 明显高于未经处理的生草风沙土, 特别是速效 P 和速效 K 的含量.

### 3.2 水平根处理幼苗根表土体中 N、P、K 的梯度分布

根系的生长发育, 加速了土壤中养分的吸收从而导致土壤中养分含量的减少和重新分布, 同时也改变了根际的土壤环境, 反过来又影响了植物的生长和根系的吸收, 而根系吸收的程度和范围对土壤中生长环境的改变又有很大的影响<sup>[11, 12]</sup>.

在水平根处理沙地云杉幼苗后, 其根表土体中速效 N、P、K 都出现严重的亏缺区(图 2a). 但由于沙地云杉对 N、P、K 吸收和利用的强度不同, 亏缺区出现的位置不同. 速效 N 和速效 K 的亏缺区出现在距离根表 1 cm 处; 速效 P 出现在距离根表 0.5 cm 处. 但速效 N 和速效 K 也有所区别, 速效 K 亏缺严重, 速效 N 亏缺较轻, 说明沙地云杉对 K 的需求较大. 而速效 P 甚至可能限制沙地云杉的生长发育.

### 3.3 垂直根处理幼苗根表土体中 N、P、K 的梯度分布

用垂直根处理沙地云杉幼苗后, 速效 N、速效 P、速效 K 的梯度变化与水平根处理的相似(图 2b). 速效 N 和速效 K 亏缺区出现在距离根表大约 1 cm

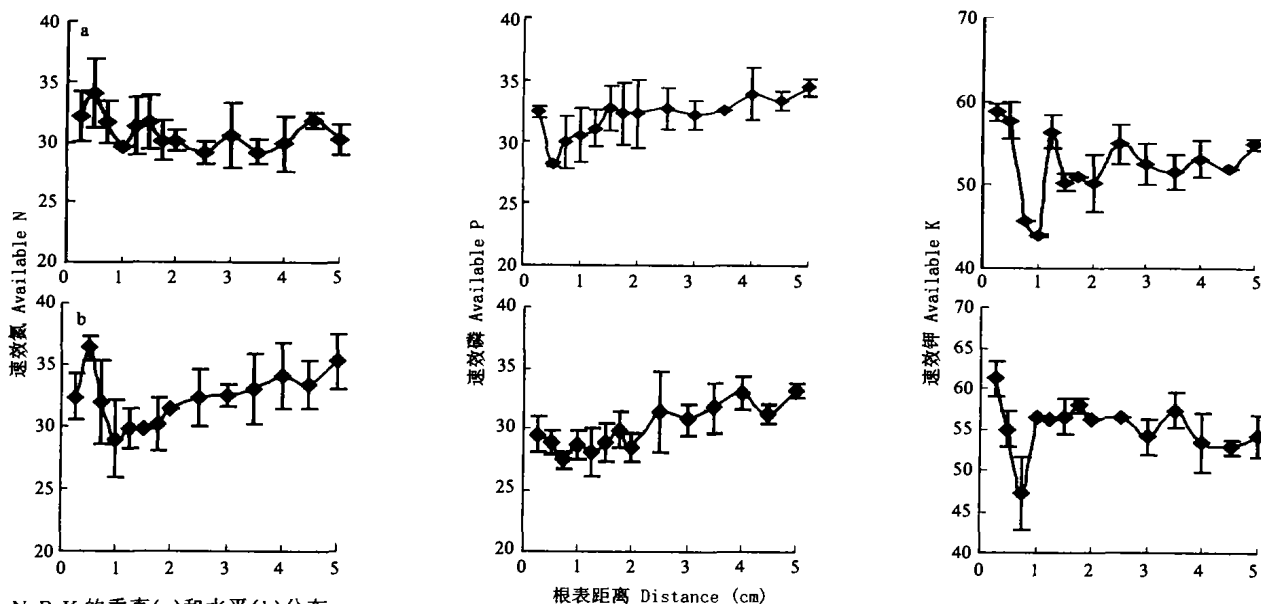


图2 N、P、K的垂直(a)和水平(b)分布

Fig. 2 Vertical (a) and horizontal (b) distribution of N, P and K.

处,而速效P在根表附近土壤中的含量始终少于根表远处,这也反映出沙地云杉对速效P的吸收和利用强度大,速效P可能是沙地云杉生长发育的限制因子。

#### 4 讨论

土壤是一个不均匀的多相体系,除了土体本身存在着固、液、气三相以外,土壤中很多与植物生长有密切关系的化学性质也随部位而变化<sup>[1]</sup>,即使在一个微区环境内离子浓度也不相同。由于植物根系的存在,土壤和根系之间又形成了特殊的微域环境。这一微域环境直接影响到土壤中养分向根系的转移和被根系的吸收利用。因此,研究根系-土壤养分环境十分重要<sup>[8,16]</sup>。

根际这一概念自由德国微生物学家 Lorenz Hiltner 提出后,1949年 Clark 将根际定义为与植物根系紧密结合的土壤或岩屑质粒的实际表面。随着界面生态学的发展,又提出了根-土生态界面的概念,在忽略向根方向延伸的条件下,根土生态界面可以近似地认为是与根表面相接触的“土壤薄层”,这种土壤薄层就是通常所谓的根际<sup>[5]</sup>。在根土生态界面中,由于受到来自环境方面的强制作用和来自生物方面的选择作用,其物质、能量和信息在此界面中是活跃和易变的<sup>[10]</sup>。在营养元素分布方面的体现也是十分明显的。在沙地云杉根表5 cm范围内,土体中速效N、速效P和速效K的分布是极其不均匀的。由于沙地云杉根系的吸附作用,根表近距离土体中营养元素富集起来,含量较高,同时由于根系生命

活动对营养元素的大量消耗,营养元素随即出现严重的亏缺区,然后由于土壤环境的供给,营养元素含量又逐渐上升,达到土壤本底含量值。

林木吸收利用的N素形态,主要是 $\text{NH}_4^+$ -N和 $\text{NO}_3^-$ -N,如果这两种形态的N同时存在于土壤中, $\text{NH}_4^+$ -N会抑制 $\text{NO}_3^-$ -N的吸收,而 $\text{NO}_3^-$ -N不阻碍 $\text{NH}_4^+$ -N的吸收。总的说来,随植物种类及生长发育阶段不同,林木吸收 $\text{NH}_4^+$ -N和 $\text{NO}_3^-$ -N的速度不同,使得 $\text{NH}_4^+$ -N与 $\text{NO}_3^-$ -N的相互关系十分复杂<sup>[2,13,15]</sup>。本文只研究了沙地云杉幼苗吸收和利用速效N的总体趋势以及速效N的梯度分布,至于以何种形态为主,有待进一步研究。

N与P元素间具有相互协同作用,同时N、P结合,还可改善林木对其它营养元素如K、S的吸收<sup>[4,14,17]</sup>。对欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*)研究发现,外界供应 $\text{NH}_4^+$ -N时,根内P浓度提高,但各部分K浓度降低;供应 $\text{NO}_3^-$ -N时,根、茎、枝P浓度降低,即 $\text{NH}_4^+$ -N与阳离子 $\text{K}^+$ 相拮抗。实践证明,N、P、K对苗木生长有明显的交互作用和二次效应,对长叶松(*Pinus palustris*)的研究发现,N和P、K配合比单施N的鲜重提高约110%,造林成活率提高22%。对加勒比松(*Pinus caribaea*)、辐射松(*Pinus radiata*)、海岸松(*Pinus pinaster*)的研究也证明,施用P、K肥必须与N肥结合才能改善其生长状况,增加实生苗高度。Armson指出,单施N肥,白云杉(*Picea glauca*)幼苗生长量(干重)为0.06 g,单施P肥生长量为0.08 g,而N、P合用生长量为0.23 g<sup>[4]</sup>。对板栗(*Castanea mollissima*)、油松(*Pinus*

*tabulaeformis*)、钻天杨(*Populus nigra*)所做的<sup>32</sup>P元素示踪试验证明,缺N严重影响P的吸收,对侧柏(*Platycladus orientalis*)的试验也表明,N和P、K配合比单施一种肥效都高.相应地,施P、K肥增加林木对N的吸收,提高林木中N含量<sup>[6,9]</sup>.

从本实验结果看,无论在水平根处理还是垂直根处理中,土壤速效N、P、K都出现亏缺区,只是亏缺区出现的位置不同.速效N和速效K的亏缺区出现在距离根表1 cm处;速效P亏缺区出现在根表附近,说明沙地云杉幼苗对速效P的吸收和利用强度较大,速效P可能成为沙地云杉生长发育的限制因子.因此建议在沙地云杉引种栽培时,应该选择含P丰富的土壤,或者对林地适当施用一些P肥,或者适当施用N肥,以利于沙地云杉对P的吸收和利用.

#### 参考文献

- 1 Chapin FS. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annu Rev Ecol Syst*, 11: 233~260
- 2 Chen X-H (陈小红), Li X-W (李贤伟), Zhao A-J (赵安玖). 2001. Advance in interrelationship between nutrient elements in trees. *Sichuan For Designing* (四川林业规划), (4): 37~38 (in Chinese)
- 3 China Soil Society (中国土壤学会农业化学专业委员会). 1983. Analysis Methods on Soil Agriculture Chemistry. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 4 Enriques S. 1993. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: The importance of detritus C:N:P content. *Oecologia*, 94: 457~471
- 5 Han S-J (韩士杰), Liao L-P (廖利平), Jiang F-Q (姜凤岐). 1998. Considerations on forest interface ecology. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 9(5): 538~542 (in Chinese)
- 6 He C-Q (何池全). 2002. Distribution and the corelativity of plant nutrient element in *Carex lasiocarpa* wetland. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 21(1): 10~13 (in Chinese)
- 7 Jiao S-R (焦树仁). 1989. Structure and Function of Sand-control Forest Ecosystem in Zhanggutai. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press. (in Chinese)
- 8 Liu G-Q (刘广全), Tu X-N (土小宁), Shi L-F (史玲芳). 2000. Spatial distribution for main nutrient elements in bole of North-China Larch. *Ecol Sci* (生态科学), 19(4): 16~22 (in Chinese)
- 9 Liu G-Q (刘广全), Zhao S-D (赵士洞), Wang H (王浩), et al. 2001. Nutrient distribution for non-photosynthetic organs in the sharp-tooth oak stands. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 21(3): 422~429 (in Chinese)
- 10 Liu WY, John EDF, Zaifu Xu. 2002. Biomass and nutrient accumulation in montane evergreen broad-leaved forest (*Lithocarpus xylocarpus* type) in Ailao Mountains, SW China. *For Ecol Manag*, 158: 223~235
- 11 Luo J (罗辑). 1995. Studies on the biocycling of nutrient elements of three-hardwood forest. *Mount Res* (山地研究), 13(2): 103~108 (in Chinese)
- 12 Montes N, Bertaudiere-Montes V, Badri W, et al. 2002. Biomass and nutrient content of a semi-arid mountain ecosystem: The *Juniperus thurifera* L. woodland of Azzaden Valley (Morocco). *For Ecol Manag*, 166: 35~43
- 13 Quentin P, Jacques R, Jean-Marc O, et al. 2001. Aboveground biomass and nutrient content of five Douglas-fir stands in France. *For Ecol Manag*, 142: 109~127
- 14 Robert GQ. 2000. Comparison of the behavior of soluble organic and inorganic nutrients in forest soils. *For Ecol Manag*, 138: 29~50
- 15 Song J (宋君), Wang B-S (王伯荪), Peng S-L (彭少麟), et al. 1999. The storage and cycling nutrient of *Ixonanthes chinensis* in south subtropic broad-leaf evergreen forests, Heishiding Natural Reserve, Guangdong Province. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(2): 223~225 (in Chinese)
- 16 Tyler G, Zohlen A. 1998. Plant seeds as mineral nutrient resource for seedlings—A comparison of plants from calcareous and silicate soils. *Anna Bot*, 81: 455~459
- 17 Xie H-C (谢会成), Yang M-S (杨茂生). 2002. The biocycle of *Larix principis-ruppechtii* forest plantation in south slope of Qilin Mountains. *J Nanjing For Univ* (Nat Sci) (南京林业大学学报(自然科学版)), 26(5): 49~52 (in Chinese)
- 18 Xu W-D (徐文铎), Zou C-J (邹春静). 1998. Sandy Forest Ecosystem of China. Beijing: China Forestry Press. (in Chinese)

作者简介 邹春静,男,1968年生,博士,副研究员,主要从事沙地森林生态学和植物生理生态学科研工作,发表论文60余篇和专著2部. Tel: 024-83970343, 021-54743342, E-mail: zou19680504@163.com