

不同 N、P 源对红松根/土界面 pH 及磷有效性影响

陈永亮^{1, 2} 马忠明¹

(1 临沂师范学院生命科学学院 2 山东农业大学资源与环境学院)

摘要:用根垫法研究了不同形态 N 源与 P 源对红松苗木根/土界面 pH 及磷有效性的影响。结果表明, 铵态 N 处理使根/土界面 pH 降低, 硝态 N 处理使根/土界面 pH 升高。不同 N 源处理引起根/土界面 pH 变化的幅度受 P 源种类及距根面距离的影响, 施加矿物 P 时, 铵态 N 引起的根/土界面 pH 下降的幅度明显减小。不同 P 源处理时根/土界面有效 P 含量受 N 源种类的影响, 铵态 N 处理时, 加入易溶性 P 近根面处有效 P 含量显著增加, 而加入难溶性 P 时仅距根面 0~2 mm 处有效 P 含量显著增加; 硝态 N 处理时, 仅在加入易溶性 P 时近根面处有效 P 含量显著增加, 而加入难溶性 P 时, 近根面处有效 P 含量与不加 P 处理时相近, 表明铵态 N 处理引起的根系分泌质子是根/土界面处难溶性矿物 P 溶解的主要驱动力。根/土界面处 P 浓度与苗木叶中 P 浓度具有较好的相关性。

关键词: N 源, P 源, 根/土界面, pH, P 有效性, 红松

中图分类号: S791.247

文献标识码: A

文章编号: 1000-1522(2005)02-0023-05

CHEN Yong-liang^{1, 2}; MA Zhong-ming¹. Effects of different nitrogen and phosphorus sources on pH and availability of P in the root/soil interface of *Pinus koraiensis* seedlings. *Journal of Beijing Forestry University* (2005) 27(2): 23-27 [Ch, 24 ref.]

1 College of Life Sciences, Linyi Normal University, Linyi, Shandong, 276005, P. R. China;

2 College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, 271018, P. R. China.

The effects of different nitrogen and phosphorus sources on pH and P availability in the root/soil interface of Korean pine seedlings were studied by means of the root-mat method. The results show that the addition of NH_4^+-N decreases the pH in the root/soil interface, while the addition of NO_3^--N increases the pH compared with the control treatment. The type of P sources and the distance from the root plane remarkably influence the changes of pH in the root/soil interface induced by the addition of the nitrogen sources. Compared with the addition of only NH_4^+-N , the extent to which the pH in the root/soil interface decreases is obviously smaller when treated by NH_4^+-N and rock P. When treated with different P sources, the contents of available P in the root/soil interface are affected by the types of the N sources. The content of the available P in the root/soil interface obviously increases when treated with NH_4^+-N and soluble P, whereas the content of the available P increases only in the area 1-2 mm from the root plane when treated with NH_4^+-N and rock P. When treated with NO_3^--N , the contents of available P in the root/soil interface increase only when applied with soluble P, whereas the contents of the available P change little when applied with rock P. The results above show that the protons excreted by the roots are the main activating force for the solution of the rock P in the root/soil interface. The concentrations of P in the root/soil interface are remarkably correlated with those in the needles of the seedlings.

Key words nitrogen sources, phosphorus sources, root/soil interface, pH, availability of P, *Pinus koraiensis*

收稿日期: 2004-03-21

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170169)。

第一作者: 陈永亮, 博士, 教授。主要研究方向: 植物营养生理生态与植物生物化学。电话: 0539-8122192 Email: ylchin@163.com 地址: 276005 临沂师范学院生命科学学院。

虽然根/土界面一般是指根围数毫米范围内的微域土区,但该微区中物理、化学和生物学状况直接影响着土壤中水分、养分的向根迁移、转化和有效性,影响着植物根的吸收和生理活性^[1],因此对于该微区的研究在理论与实践上都具有极为重要的意义.由于土壤本身 P 含量较低以及土壤对 P 较强的固定作用,使得土壤中 P 的生物有效性往往较低,成为植物高产的主要限制因子之一^[2].因此,植物对土壤中 P 的吸收取决于近根土壤处的 P 浓度与扩散系数,在根/土界面范围内,根系与土壤间的相互作用对于 P 的植物有效性具有显著影响^[3,4].通过 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 来调控根/土界面 pH 以研究该界面 pH 变化与植物养分有效性间的关系,是由 Riley 与 Barber 等较早开始的^[5].以后在众多的此类研究中,已有一些证据表明 P 等难溶性矿质养分的有效性或溶解性依赖于根/土界面 pH 及与其他养分的相互作用^[6-11].但由于研究重点的不同,以往有关该方面的研究,多是以农作物为研究对象,而针对于林木方面的研究还较少.本文以北方珍贵用材树种红松 (*Pinus koraiensis*) 苗木为研究对象,旨在阐明不同 N 源与 P 源对苗木根/土界面 pH 性质及 P 有效性的影响,为苗木及人工林的科学施肥与管理提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自中国科学院长白山森林生态系统定位研究站 1 号样地,植被类型为阔叶红松林,土壤类型为典型暗棕壤.将地表枯枝落叶清除后,采集 A 层 0~25 cm 土壤,过 5 mm 粗筛以去除大的石砾与植物根系,经风干后再过 2 mm 细筛,以备不同试剂处理.供试土壤主要养分含量为全 N: 0.34%; 全 P: 0.18%; 全 K: 0.98%; 碱解 N: 340.8 mg/kg; 铵态 N: 12.64 mg/kg; 硝态 N: 2.71 mg/kg; 有效 P: 23.51 mg/kg; 有效 K: 196.25 mg/kg; pH(H_2O): 6.33.

1.2 供试土壤的处理

采用 2 种 N 源分别为 NH_4Cl 、 KNO_3 , 2 种 P 源分别为易溶性的 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (PS) 与难溶性的 P 矿粉 (PR). 处理方式分别为: $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{P}^0$ (不加 P), $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{PS}$, $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{PR}$, $\text{KNO}_3 + \text{P}^0$, $\text{KNO}_3 + \text{PS}$, $\text{KNO}_3 + \text{PR}$, 连同对照共 7 种处理,每处理 6 个重复.加入的 N 与 P 浓度分别为 400 与 200 mg/kg. 具体加入方法是按一定量分析纯试剂溶于 100 mL 蒸馏水中,然后与一定量风干土壤均匀混合.为保证各处理间钾、钙含量的相似,各处理均加入一定量的 KCl 与 CaCl_2 . 为防止硝化作用 ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) 的发生,在处理土壤的过

程中,同时以溶液形式加入硝化抑制剂二氰二胺 (dicyandiamide, DCD), 施入量为 60 mg/kg (在苗木培育 15 d 后,以溶液形式再次加入 DCD, 加入量为 30 mg/kg), 然后备用. P 矿粉直接与土壤混合.

1.3 苗木培育

供试苗木为 2 年生红松苗. 采用 Kuchenbuch 与 Jungk 的根垫法实验装置并加以改进后进行模拟培育^[12]. 每盆 (盆口直径 20 cm, 高 25 cm) 先装 5.0 kg 经不同试剂处理的土壤,并重新湿润到含水量为 15%,使之具有平滑的表面,再用 25 μm 的尼龙网纱贴紧,将冲洗后的 5 株大小一致的苗木根系在尼龙网纱上排成平面,以形成根垫置于尼龙网纱的上面. 为防止蒸腾强度高时出现凋萎现象,在根垫区也添加 1 cm 厚的同样土层. 每隔一定时间用称重法浇水一次,以使土壤含水量维持在田间持水量附近.

1.4 样品采集

根垫与土壤接触 30 d 后,移走根垫及尼龙网纱,将植株称重分样,烘干后以备分析用. 将尼龙网纱下的土壤连同盆钵放入低温冰柜中冰冻 24 h 后,稍回暖,取出冰冻土壤,在电动刀具上切成小块 (6 cm \times 5 cm \times 7 cm), 然后用切片机将土壤自根垫向下方向切成 1 mm 后的薄片,获得距根面不同距离处的土壤样品,每处理各重复中同一距离处的土壤薄片混合成一个样品,以备测试样品不足.

1.5 样品分析方法

土壤 pH: 电位法测定,土水比为 1:2.5; 土壤有效 P: 以 0.03 mol/L NH_4F -0.025 mol/L HCl 浸提-钼锑抗比色法测定; 植物样品 P: 用 HNO_3 - HClO_4 混合液消煮,待测液采用钼锑抗比色法测定 P^[13,14].

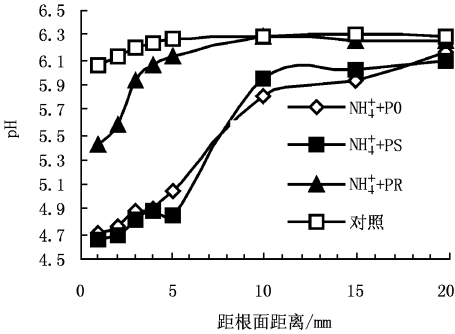
2 结果与分析

2.1 施用不同 N 源与 P 源对苗木根/土界面 pH 的影响

经不同形态 N 源处理后,红松苗木根/土界面 pH 较对照处理均发生了显著变化 (图 1). 在对照处理中,根/土界面 pH 较土体略有下降,在距根面 0~1 mm 处, pH 较土体下降约 0.20, 表明红松苗木本身对根/土界面 pH 的影响不明显. 与对照相比较,铵态 N 处理使界面处 pH 较土体更趋于降低,且距根表愈近,降低的幅度愈大,整个降低区域主要集中在 0~10 mm 范围内; 在距根表约 0~1 mm 处, pH 较土体下降约 1.3 个单位; 在距根表约 10 mm 处, pH 趋于平缓而逐渐过渡到土体 pH. 本试验中铵态 N 引起的根/土界面 pH 下降幅度,略低于黑麦草 (*Lolium rigidum* L.) 试验中 1.6 pH 单位的下降幅度,也低于农作物油菜 (*Brassica napus* L.) 从 pH 6.6 到 pH 4.9

的下降幅度^[15].

与对照相比较,硝态 N 处理使近根面处土壤 pH 较土体 pH 升高.通过与铵态 N 引起的根/土界面 pH



的变化比较可知,施入相同浓度的 N 源后,硝态 N 引起的根/土界面 pH 较对照升高的幅度要低于铵态 N 处理引起的根/土界面 pH 较对照下降的幅度.

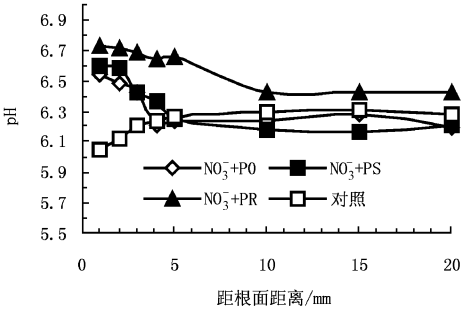


图 1 不同 N 形态与 P 源对根/土界面 pH 梯度的影响
FIGURE 1 Effects of different N forms and P sources on the soil pH gradient in the root/soil interface

尽管引起根/土界面 pH 改变的原因很多,也十分复杂,但一般认为由于根系吸收阴阳离子比率不同,通过体内生理调节机制向根外释放 H^+ 或 OH^- ,从而达到生理酸碱平衡,是引起根/土界面 pH 变化的主要原因^[16-18].由于 N 素是植物生长发育过程中通过根系吸收量较多的一种矿质元素,因此,根系以何种方式吸收 N 素便对阴阳离子平衡产生着直接的重要影响.一般认为,施用铵态 N 时,由于总吸收量中阳离子量大于阴离子量,植物为了维持体内电荷平衡和细胞正常生长所需的 pH 值,根系分泌出质子,使根/土界面 pH 下降;而施用硝态 N 时,在总吸收量中阴离子量大于阳离子量,根系分泌出 OH^- 或 HCO_3^- ,使根/土界面 pH 上升^[19-21].

硝态 N 使根/土界面 pH 较对照处理上升的幅度一般低于铵态 N 使根/土界面 pH 较对照处理下降的幅度.可能是由于铵态 N 被吸收后主要在根部进行代谢,每吸收一定量的铵态 N,就会有等量的质子释出.硝态 N 被吸收后所引起的 pH 上升幅度较小,这主要与硝态 N 进入体内后的还原位置有关.有些植物吸收的硝态 N,除存留在根部一小部分外,其余大部分则运输至地上部进行还原,代谢过程中所产生的 OH^- 或 HCO_3^- 不易通过根系全部释出,且本身还需存留一部分供代谢之用,这样,根/土界面 pH 上升的幅度也就较小^[22].

虽然铵态 N 使根/土界面 pH 降低,但降低的幅度受 P 源种类及距根面距离的影响.难溶性矿物 P 处理时,铵态 N 引起的根/土界面 pH 下降的幅度明显减小,而硝态 N 引起的根/土界面 pH 上升的幅度增加.这可能是由于施用铵态 N 时所引起的质子分泌,有相当部分参与了对难溶性矿物态 P 的溶解,矿物 P 溶解时对质子的消耗缓冲了根/土界面处 pH 的降低,致使近根土壤中 pH 下降的幅度较小.同理,由

于难溶性 P 对质子的消耗,而使硝态 N 引起的根/土界面 pH 上升的幅度加大.易溶性 P 处理时,铵态 N 引起的根/土界面 pH 的下降,或硝态 N 引起的根/土界面 pH 的上升,均与不施 P 处理时相似.

2.2 施加不同 N 源与 P 源对苗木根/土界面处 P 有效性的影响

由图 2 可知,施加铵态 N 时,近根面处的有效 P 含量,无论是加入易溶性 P 还是难溶性矿物 P,均较不加 P 时表现出增加.加入易溶性 P 时有效 P 含量增加明显,而加入难溶性矿物 P 时,仅距根面 0~2 mm 处有效 P 含量增加较明显,远距离处有效 P 含量水平与不加 P 处理时相似.施加硝态氮时,近根面土壤中的有效 P 含量,只有在加入易溶性 P 时才较不加入 P 时明显增加,而加入难溶性 P 时,在各距离处的有效 P 含量均与不加 P 处理时相似,而没有出现施加铵态氮时在距根面 0~2 mm 处有效 P 含量明显增加的现象.本结果表明,施加铵态 N 时引起的根系分泌氢离子,是根/土界面处难溶性矿物 P 溶解的主要驱动力,但这种影响仅限于距根面很近的范围.因为质子主要来自根系的分泌,然后向远距离处即土体逐渐扩散,超过一定距离后这种影响逐渐减弱,甚至消失,致使难溶性矿物 P 受质子溶解的效应随着距根面距离的增加而减弱.其他一些研究也证实了根系可以诱导黑麦草、三叶草 (*Trifolium subterraneum* L.) 及茶树 (*Camellia japonica* L.) 中矿物磷酸盐的溶解^[23,24].

为进一步阐明不同 N、P 源处理对根/土界面处 P 有效性的影响,对苗木叶中 P 浓度也进行了测定(图 3).不同 N 源与 P 源处理使红松苗木叶中 P 浓度出现显著差异.与不同 N、P 源处理时红松苗木根/土界面处有效 P 浓度相比较可以看出,根/土界面处有效 P 浓度较高时,苗木叶中 P 浓度也表现出较高,

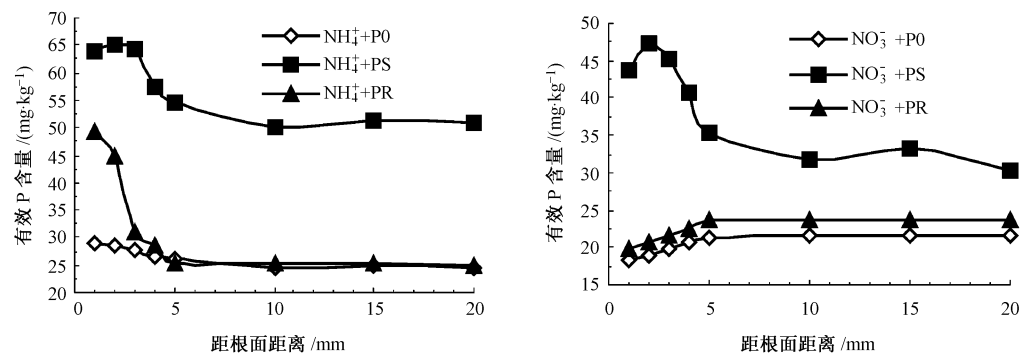


图 2 不同 N 形态与 P 源对根/土界面有效 P 浓度的影响
FIGURE 2 Effects of different N forms and P sources on the concentrations of available P in the root/soil interface

通过相关分析表明,二者具有较好的相关性.尤其值得注意的是,由于铵态 N 处理引起的根/土界面酸化的结果,致使近根处难溶性矿物 P 的有效性显著提高,进而使苗木对 P 的吸收增加;硝态 N 处理在促进难溶解矿物 P 吸收方面所起的作用甚微.

与不加 P 处理时相似.表明铵态 N 处理引起的根系分泌质子是根/土界面处难溶性矿物 P 溶解的主要驱动力.

4)由于铵态 N 引起的根/土界面酸化的结果,致使近根处难溶性矿物磷的有效性显著提高,进而使苗木对难溶性矿物 P 的吸收也表现出增加,二者具有较好的相关性.

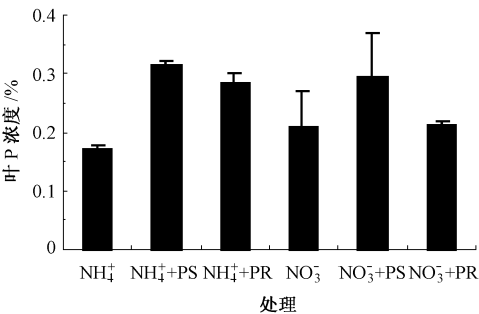


图 3 不同 N 源与 P 源处理对红松苗木叶 P 浓度的影响
FIGURE 3 Effects of different N and P sources on the P concentrations in the leaves of *Pinus koraiensis* seedlings

3 结 论

1)不同形态 N 源处理对红松苗木根/土界面 pH 具有不同的影响.较对照处理,铵态 N 处理后苗木根/土界面 pH 降低,硝态 N 处理后苗木根/土界面 pH 升高,且在同一 N 源浓度时铵态 N 处理使根/土界面 pH 降低的幅度大于硝态 N 处理后苗木根/土界面 pH 升高的幅度,这主要与不同 N 源的生理代谢特点有关.

2)铵态 N 处理使根/土界面 pH 降低的幅度受 P 源种类与距根面距离的影响.施加难溶性矿物 P 时,铵态 N 引起的根/土界面 pH 下降的幅度明显减小,而硝态 N 引起的根/土界面 pH 上升的幅度增加.

3)不同 P 源处理时根/土界面有效 P 含量受 N 源种类的影响.铵态 N 处理时,加入易溶性 P 时近根面处有效 P 含量显著增加,而加入难溶性 P 时仅距根面 0~2 mm 处有效 P 含量增加显著;硝态 N 处理时,仅在加入易溶性 P 时近根处有效 P 含量显著增加,而加入难溶性 P 时,近根面处的有效 P 含量均

参 考 文 献

[1] 刘芷宇, 李良谟, 施卫明. 根际研究法[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1997.
LIU Z Y, LI L M, SHI W M. *Research methods in rhizosphere*[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1997.

[2] 袁可能. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 科学技术出版社, 1983.
YUAN K N. *Soil chemistry for plant nutrition*[M]. Beijing: Science and Technology Press, 1983.

[3] JONES D L, DARRAH P R. Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere[J]. *Plant Soil*, 1994, 166:247-257.

[4] NYE P H, KIRK G J D. The mechanism of phosphate solubilization in the rhizosphere[J]. *Plant Soil*, 1987, 100: 127-134.

[5] RILEY D, BARBER S A. Effect of ammonium and nitrate on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root/soil interface[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1971, 35:301-306.

[6] 安志装, 介晓磊, 李有田, 等. 合成磷源在石灰性潮土中的有效性及氮肥形态对其的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(5): 735-742.
AN Z Z, JIE X L, LI Y T, et al. Availability of phosphates and effect of different forms of nitrogenous fertilizers[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(5): 735-742.

[7] 闫桂琴, 杨红梅, 李剑华. 濒危植物榧果油树根际土壤磷的有效性研究[J]. 山西师范大学学报, 2002, 16(3): 47-51.
YAN G Q, YANG H M, LI J H. The research of soil P availability in *elaeagnus mollis* rhizosphere[J]. *J of Shanxi Normal University*, 2002, 16(3): 47-51.

[8] SARKER A N, WYN J R G. Effect of rhizosphere pH on the availability and uptake of Fe, Mn and Zn[J]. *Plant Soil*, 1982, 66:361-372.

[9] MARSCHNER H, ROEMHELD V, HORST W J, *et al.* Root-induced changes in the rhizosphere: Importance for the mineral nutrition of plants[J]. *Pflanzenernaehr Bodenkd*, 1986, 149: 441-456.

[10] TENG Y, TIMMER V R. Rhizosphere phosphorus depletion induced by heavy nitrogen fertilization in forest nursery soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1995, 59: 227-233.

[11] 邹春琴, 杨志福. 氮素形态对春小麦根际磷状况的影响[J]. 土壤通报, 1994, 25(4): 175-177.

ZOU C Q, YANG Z F. Effect of nitrogen forms on the phosphorus status in the rhizosphere of spring wheat[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1994, 25(4): 175-177.

[12] KUCHENBUCH R, JUNGK A. A method for determining concentration profiles at the soil-root interface by thin slicing rhizosphere soil[J]. *Plant Soil*, 1982, 68: 391-394.

[13] 刘光松, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

LIU G S, JIANG N H, ZHANG L D, *et al.* *Soil physiochemical analysis and profile description* [M]. Beijing: Standards Press of China, 1996.

[14] 董鸣, 王义凤, 孔繁志, 等. 陆地生物群落调查与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

DONG M, WANG Y F, KONG F Z, *et al.* *Investigation and analysis of the biological community in land*[M]. Beijing: Standards Press of China, 1996.

[15] GAHOONIA T S, CLASSEN N, JUNGK A. Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supported with ammonium or nitrate[J]. *Plant Soil*, 1992, 140: 241-248.

[16] 吴文彬, 刘芷宇. 不同作物根际土壤 pH 状况及其与氮肥形态的关系[J]. 土壤学进展, 1985, 17(3): 150-153.

WU W B, LIU Z Y. Soil pH status in the rhizosphere of different crops and its relationship with the nitrogen forms[J]. *Soil Science Progress*, 1985, 17(3): 150-153.

[17] BANWART W L, PIERRE W H. Cation-anion balance of field-grown crops. I. Effect of nitrogen fertilization [J]. *Agronomy Journal*, 1975, 67: 14-19.

[18] GJSMAN A J. Rhizosphere pH along different root zones of Douglas-fir (*Pseudotsuga merziesii*), as affected by source of nitrogen[J]. *Plant Soil*, 1990, 124: 161-167.

[19] ROLLWAGEN B A, ZASOSKI R J. Nitrogen source effects on rhizosphere pH and nutrient accumulation by Pacific Northwest conifers[J]. *Plant Soil*, 1988, 105: 79-86.

[20] SILBER A, GANMORE-NEUMANN R, BEN-JAACOV J. Effects of nutrient addition on growth and rhizosphere pH of *Leucadendron* ‘Safari Sunset’ [J]. *Plant Soil*, 1998, 199: 205-211.

[21] SMILEY R W. Rhizosphere pH as influenced by plants, soils, and nitrogen fertilizers[J]. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1974, 38: 795-799.

[22] 张福锁. 环境胁迫与植物根际营养[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993.

ZHANG F S. *Environment stress and plant rhizosphere nutrition*[M]. Beijing:China Agricultural Press, 1993.

[23] HINSINGER P, GILKER R J. Mobilizatin of phosphate from phosphate rock and alumina sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to the rhizosphere pH[J]. *European J of Soil Sci*, 1996, 47: 533-544.

[24] ZOYSA A K N, HEDLEY M J. A technique for studying rhizosphere process in tree crops: soil phosphorus depletion around camellia (*Camellia japonica* L.) roots[J]. *Plant Soil*, 1997, 190: 253-265.

(责任编辑 董晓燕)

本刊第 3 期要目预告

郭明辉等:培育措施对人工林樟子松木材管胞形态特征的影响	1
华丽等:木工宽带砂光机噪声传播声压等值线图制作方法新探	5
黄华国等:基于 3D 曲面元胞自动机模型的林火蔓延模拟	10
邵海荣等:北京地区空气负离子浓度时空变化特征的研究	15
贺庆棠等:北京地区植物表面温度的初步研究	20
陈伏生等:章古台沙地樟子松人工林土壤有效氮的研究	25
高岩等:珍珠梅花挥发物对小鼠旷场行为及学习记忆能力的影响	30
赵小松等:长白山阔叶红松林通量观测的 footprint 及源区分布	35
曹世雄等:黄土丘陵区穴衬膜造林技术	40