

林分密度和立地类型对北京山区侧柏人工林根系的影响

徐程扬¹ 张 华¹ 贾忠奎¹ 薛 康² 杜鹏志² 王京国³

(¹ 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 ² 北京市林业勘察设计院 ³ 吉林省林业规划设计院)

摘要: 该文采用土柱法对北京山区侧柏人工林的根系分布特征进行了调查研究. 结果表明: 林分密度、立地类型及其交互作用均对侧柏人工林根系产量与垂直分布有极显著的影响, 并以林分密度的作用强度最大. 侧柏林土壤表层的根长密度 ($P < 0.05$)、根系表面积密度 ($P < 0.001$) 随着林分密度的增加而显著增加, 但这种势态随土层加深变幅递减. 直径 $< 1\text{ mm}$ 的根系长密度所占比例、直径 $< 1\text{ mm}$ 和 $1\sim 2\text{ mm}$ 根表面积密度所占比例以及根体积密度所占比例随林分密度的提高而显著提高的现象表明, 在种内竞争前提下, 侧柏林木通过提高个体细根产量而提高对土壤资源的利用强度, 并获得有限的土壤资源. 侧柏人工林林木根系的根长密度、根表面积密度随着立地条件的改善而显著降低, 根长密度、根表面积密度在立地类型间的差异有随着土壤层次的加深而减小的趋势. 阳坡薄土立地林木根长密度、根系表面积密度平均比阳坡厚土立地高 20.4% 和 20.9% . 该现象表明, 在瘠薄立地上, 侧柏林木通常采取提高根系吸收范围的对策获取有限的土壤资源.

关键词: 侧柏, 人工林, 根系, 林分密度, 立地类型

中图分类号: S792.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2007)04-0095-05

XU Cheng-yang¹; ZHANG Hua¹; JIA Zhong-kui¹; XUE Kang²; DU Peng-zhi²; WANG Jing-guo³. **Effects of stand density and site types on root characteristics of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous area.** *Journal of Beijing Forestry University* (2007) **29**(4) 95-99 [Ch, 17 ref.]

¹ Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

² Beijing Forestry Monitoring and Planning Academy, 100029, P. R. China;

³ Institute of Forest Investigation and Planning of Jilin Province, Changchun, 130022, P. R. China.

Soil coring was applied to investigate the root characteristics of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous area. Results showed that the stand density, site types and their interaction affected root production and root vertical distribution of planted *P. orientalis* stands obviously, and stand density was the most intensive factor to influence root characteristics. The root length density ($P < 0.05$) and root surface area density ($P < 0.001$) in surface soil layer increased with the increase of stand density, but this trend declined with soil layer going to deeper. The phenomenon of that, the proportion of root length density in diameter of $< 1\text{ mm}$, the root surface area density and root volume density in diameter of $< 1\text{ mm}$ and $1\sim 2\text{ mm}$ remarkably increased with the increase of stand density, indicated that *P. orientalis* plantations would forage limit soil resources by increasing fine root production when intraspecific competition occurred. The root length density and root surface area density were evidently declined with the improvement of site quality. But the differences of root length density and root surface area density among sites were weakened in the deeper soil layers. In general, the root length density and root surface area density were 20.4% and 20.9% higher in the site of sun-oriented aspect and shallow soil than those of the sun-oriented aspect site and deep soil. This phenomenon suggests that *P. orientalis* plantations take wider root absorption range as their strategy to implore the limited soil resources when trees growing in infertile sites.

Key words *Platycladus orientalis*, plantation, root system, stand density, site type

收稿日期: 2006-03-24

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

基金项目: 国家林业局重点项目(2003-018-L18)、北京市农委项目“北京市生态林经营管理技术研究与示范”。

第一作者: 徐程扬, 教授, 博士生导师. 主要研究方向: 森林培育理论与技术、林木栽培生理生态、城市林业. 电话: 010-62336044 Email: cyxu@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京林业大学林学院.

根系是树木最重要的营养器官,对林木生长起着决定性作用^[1],并对森林碳平衡^[2]、森林水文过程起着重要作用^[3]。根系具有较强的固土作用,如土壤抗剪性、根系抗拉力等方面^[4];并通过提高土壤结构的团聚性^[5]可有效地提高土壤的抗蚀性^[6]。这些作用都是通过不同组成与分布的群体根系来实现的,且作用程度与林分密度、立地条件、树种组成等密切相关。目前,在根系组成与分布方面的研究主要集中在根系生物量、根系水平和垂直分布^[7]上,而立地条件^[8]和林分密度^[9]对根系的作用方面报道极少。

北京市侧柏(*Platycladus orientalis*)人工林面积占山地人工林面积的 44.4%,主要是水土保持和水源涵养林。由于多年来缺乏抚育管理,林分密度普遍较高,实施合理的抚育间伐是提高林分质量、充分发挥森林生态服务功能的必要措施之一。然而,对何种林分密度更有利于发挥林分水土保持和水源涵养作用缺乏必要的研究。本文以根系组成及其垂直分布特点为中心,从林木对土壤资源获得能力角度探讨林分密度、立地条件与根系间的关系,以期能为科学合理调整现有人工林林分结构,为我国公益林科学抚育提供理论依据与技术参考。

1 研究地概况

研究地选在北京密云县穆家峪镇水漳村和北京昌

平十三陵林场。密云穆家峪镇水漳村地处 115°50′~120°44′E,23°31′~28°19′N,年平均气温为 8.5~9.5℃,≥10℃的积温为 3 385~4 210℃,年平均降水量 660 mm,无霜期在 150 d 左右。昌平十三陵林场地理位置为 40°44′N,116°35′E,属季风气候,冬季盛行偏北风,夏季盛行偏南风。全市年均气温 11.8℃,≥10℃年积温为 4 200℃,年平均降水量 630 mm,无霜期 80~203 d,平均海拔 68~599 m。

2 研究方法

2.1 样地设置

按照不同立地条件、不同密度以及不同林龄选择了 26 块侧柏人工林作为研究对象。人工林样地的海拔为 125~265 m,样地大小 20 m×20 m,样地立地条件和林分概况见表 1。调查林分的土壤均为褐土。高密度林分林下植被稀疏,低密度林分林下植被相对丰富。但是,侧柏人工林林下植被种类较少,主要有荆条(*Vitex negond*)、酸枣(*Ziziphus jujube*)、小叶鼠李(*Rhamnus parvifolia*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、隐子草(*Cleistogenes hancei*)、细叶苔草(*Carex duriuscula*)、紫花地丁(*Viola yecloensis*)等。

表 1 样地基本情况
TABLE 1 Basic conditions of the sample stands

立地类型	样地数量	林分密度范围/(株·hm ⁻²)	林龄/a	平均胸径/cm	平均树高/m	郁闭度	海拔/m
低山阳坡薄土	6	2 200~7 600	21~36	4.8~7.0	4.49~6.06	0.3~0.8	150~265
低山阳坡厚土	8	1 100~6 300	21~48	5.0~16.3	4.04~10.77	0.5~0.8	125~195
低山半阳坡薄土	4	1 400~4 800	48	5.4~13.5	5.00~9.84	0.4~0.5	145~165
低山半阳坡厚土	6	1 200~5 000	21~48	6.5~15.2	6.08~10.46	0.5~0.6	135~210
低山沟谷厚土	2	4 350~4 725	21	7.4~7.8	7.97~8.12	0.5~0.6	150~155

2.2 取样方法

在样地内调查胸径、树高、冠幅以及立地条件,并以机械布点方式在林木的行间设置 9 个土柱,土柱大小为 30 cm×30 cm。自地表开始,每 10 cm 取一层土柱样本。根系样品用 Epson Twain Pro 扫描仪获取形态结构图像,并用 Winrhizo 软件获取不同直径等级根系长度、根系表面积、根系体积和根系平均直径等指标。根样在 80℃ 条件下烘干 24 h 以上,称干重获得生物量。

根长密度是指单位土壤体积内的根系长度,表面积密度是指单位土壤体积内的根系表面积,体积密度是指单位土壤体积内的根系体积,比根长是单位干重根系长度。

3 结果与分析

3.1 林分密度对根系特征的影响

随着林分密度的增加,侧柏林各层次土壤中的根长密度显著增加($P<0.01$),其显著性随着土壤

层次的加深大幅度递减(图 1A)。其中,不同密度林分在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层中的根长密度差异达到显著、极显著水平。但是根系表面积密度与林分密度只在 0~10 cm 土层达到了显著相关水平(图 1B)。根系体积密度和重量密度与林分密度的相关性不显著(图 1C、1D)。

该结果表明,在一定的密度范围内,侧柏人工林种群的根系生物量基本保持稳定,但根系结构变化较大。由于种内个体间对土壤资源竞争的结果,在高密度条件下,侧柏采取加强根、尤其是细根分化的对策,以更有效地获得土壤资源。这从林分密度与比根长关系(图 2)以及不同径级根系分布(图 3)中得到证实。

比根长越大,根系的系根所占比例越大、根系分枝越多。调查林分的密度与比根长呈显著的正相关关系($P<0.001$),表明高密度促进了侧柏林木系根的分化,并由此而提高了根长密度和根表面积密度。从不同径级根系与林分密度的关系中可以找到直接的根据(图 3)。

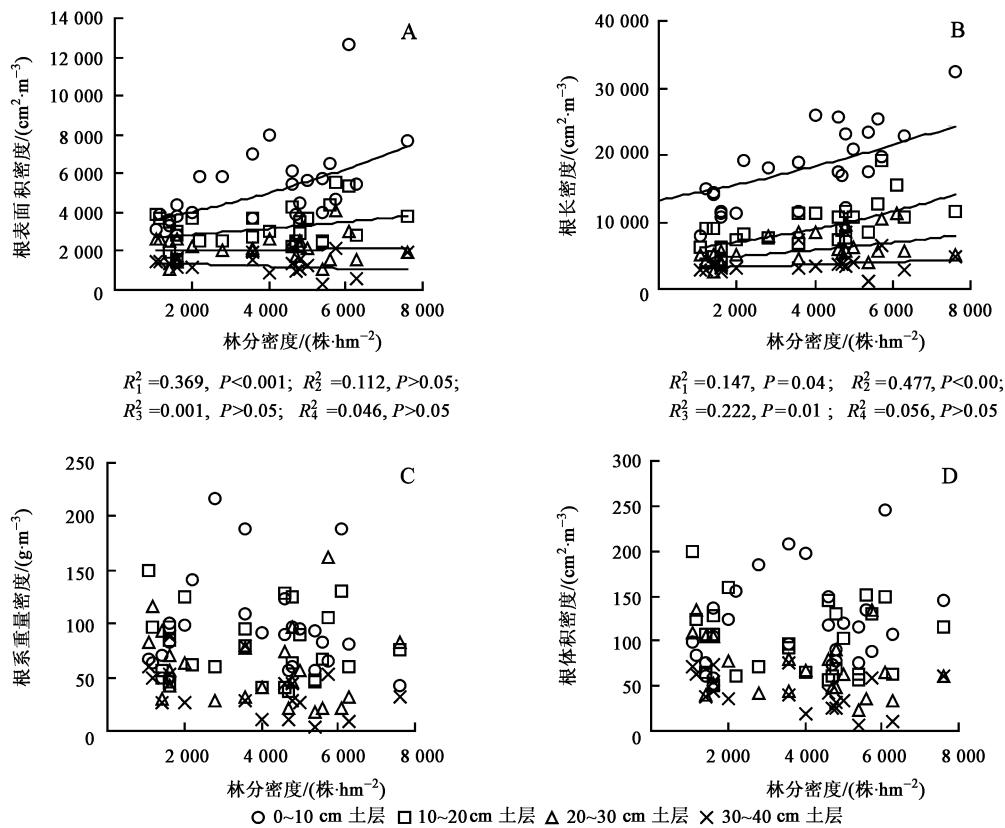


图 1 林分密度对根系参数的影响

FIGURE 1 Effects of stand density on the characteristics of root parameters

注: R_1, R_2, R_3, R_4 分别为 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm, 30~40 cm 土层的根表面积密度、根长密度与林分密度的相关系数。

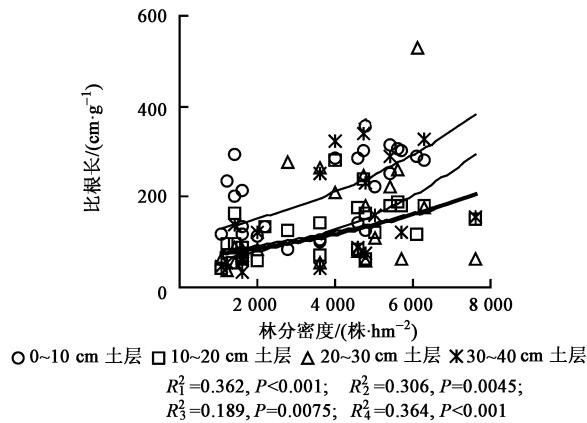


图 2 比根长与林分密度的关系

FIGURE 2 Relationship between the specific root length and stock density

注: R_1, R_2, R_3, R_4 分别为 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm, 30~40 cm 土层的比根长与林分密度的相关系数。

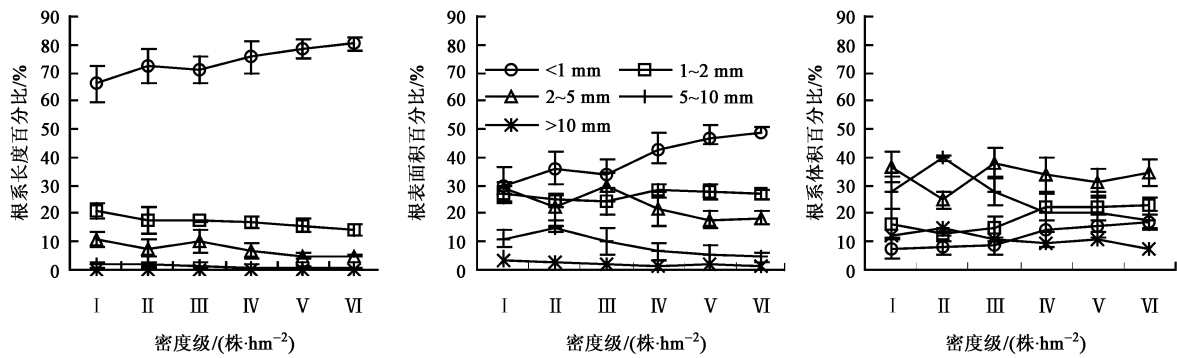
直径<1 mm 的根系长密度所占百分比随着林分密度的提高而显著提高 ($P=0.000\ 56$), 而 1~2 mm ($P=0.003\ 1$)、2~5 mm ($P=0.000\ 19$)、5~10 mm ($P=0.008\ 2$) 根长密度所占百分比则随林分密度变化显著降低, 但 >10 mm 根长密度所占比例变化较小(图 3)。同样, 直径<1 mm 和 1~2 mm 根表面积密度所占比例 ($P_{d<1\text{ mm}}=0.000\ 18, P_{1\sim2\text{ mm}}=0.009\ 9$) 以及根体积密度所占百分比 ($P_{d<1\text{ mm}}=0.001\ 2, P_{1\sim2\text{ mm}}=0.025\ 7$) 也随林分密度的提高而

显著提高, 但高径级根系表面积和体积密度所占比例趋势相反或变化较小(图 3)。这表明, 对于北京侧柏人工林来说, 林木对土壤资源的利用程度随着林分密度的增加, 相应地, 土壤向林木提供养分和水分 的压力也随着林分密度的提高而提高。

3.2 立地类型对根系特征的影响

除林分密度外, 立地条件对侧柏人工林根长密度有较大的影响。阳坡薄土立地林木根长密度平均比阳坡厚土立地高 20.4%, 表土层的林木根长密度在两个立地类型间的差异高达 64.3%(图 4A); 阳坡薄土立地林木根系表面积密度相应平均高 20.9%, 表土层根表面积密度在两个立地类型间的差异达 44.2%(图 4B)。但是, 立地类型间的这种差异随着立地条件的改善而减少。

阳坡薄土立地 0~10 cm 土层中林木根长密度分别比阳坡厚土、阴坡厚土、沟谷厚土高 1.0%、11.5%、38.3%; 而在 10 cm 以下各土壤层次中, 根长密度则从阳坡厚土到阴坡厚土、沟谷厚土、阳坡薄土依次降低(图 4A)。阳坡薄土立地 0~10 cm 土层中根系表面积密度最高, 但 10~20 cm 土层根系表面积密度则以阴坡厚土立地最高, 以阳坡薄土立地最小(图 4B)。这说明在相对瘠薄的立地上, 侧柏根长密度、根表面积密度通常较高, 而在土层深厚和较肥



I . <1 999; II . 2 000~2 999; III . 3 000~3 999; IV . 4 000~4 999; V . 5 000~5 999; VI . >6 000

图 3 不同径级根系与林分密度的关系

FIGURE 3 Relationship between root system of different diameters and the stock density

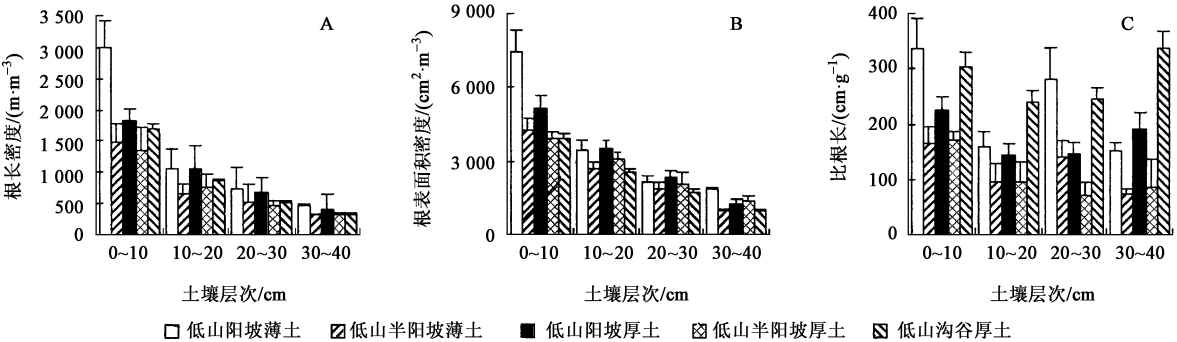


图 4 不同立地根长密度、根表面积密度和比根长的比较

FIGURE 4 Comparison of root length density, root surface area density and specific root length in different sites

沃的立地中相对较低,也就是说,在瘠薄立地上,侧柏林木通常采取提高根系吸收范围的对策获取有限的土壤资源.

3.3 立地类型和林分密度对侧柏人工林根系的影响程度

从单一因子分析,立地类型和林分密度均对侧柏人工林有显著或极显著的影响,尤其是对浅层土壤中的根系作用更大(图 1~4).对根系分布较集中的 0~10 cm、10~20 cm 土层中的根长密度、根表面积密度和比根长进行方差分析,结果表明:林分密度对侧柏人工林根系影响程度最大,立地类型、林分密度与立地条件的交互作用也有极显著的影响(表 2).

4 结论与讨论

1) 在所研究的侧柏林分范围内,林分密度、立地类型及其交互作用均对侧柏人工林细根有极显著的影响,其中,林分密度的作用最强.

2)侧柏林土壤表层的根长密度、根系表面积密度随着林分密度的增加而显著增加,但这种势态随土层加深变幅递减.直径<1 mm 的根系长密度所占比例、直径<1 mm 和 1~2 mm 根表面积密度所占比例以及根体积密度所占比例随林分密度的提高而显著提高的现象表明,在种内竞争前提下,侧柏林木通

表 2 侧柏根系特征双因素方差分析结果

TABLE 2 Two way ANOVA on the root characteristics of *P. orientalis* plantations

	土壤层次/cm	变差来源	自由度	均方比	P value
根长密度	0~10	立地	2	26.42	2.41×10^{-7}
		密度	4	39.54	1.49×10^{-11}
		立地×密度	8	4.93	5.87×10^{-4}
	10~20	立地	2	4.65	0.017 4
		密度	4	25.05	3.44×10^{-9}
		立地×密度	8	6.10	1.11×10^{-4}
	根表面 积密度	立地	2	37.38	1.11×10^{-11}
		密度	4	66.23	4.19×10^{-17}
		立地×密度	8	7.67	4.14×10^{-7}
比根长	0~10	立地	2	14.98	1.10×10^{-6}
		密度	4	51.50	2.96×10^{-15}
		立地×密度	8	2.78	0.007 63
	10~20	立地	2	8.23	0.001 41
		密度	4	9.90	3.14×10^{-5}
		立地×密度	8	1.22	0.321

过提高个体对土壤资源的利用强度获得有限的土壤资源.

根系随着土壤层次的加深而大幅度减少是一个普遍现象^[10],但是,本研究中侧柏人工林根系相对更加集中.这是因为,北京地区降水相对较少,近些年来不仅降水总量降低,而且高强度降雨频率也较

低,致使土壤水分相对集中在土壤浅层,并导致根系(尤其是细根)向土壤浅层集中.北京山区土壤层次浅、比较瘠薄,土壤养分也主要集中在表层,这也是导致根系(尤其是细根)向表层集中的另一个重要原因.通常来说,当土壤水分和养分成为限制因子时,树木向根系分配较多的碳,从而通过提高根系生物量来提高对土壤资源的获得能力^[11-12],尤其在林分处于发展阶段,根系密度通常随着林分密度和树木个体大小的提高而提高^[7],有限的土壤资源更趋紧张.由于森林生物量的根茎比率随着林分密度的增加而提高,随着林龄的增加而降低^[13],为了充分获得土壤资源,高密度林分必然导致侧柏人工林根长密度和根表面积密度的提高.侧柏是典型的吸收根密集型树种,在野外根系取样过程中发现,北京山地侧柏人工林根系密集根颈周围,水平集中分布范围基本在冠幅内.

3) 侧柏人工林林木根系的根长密度、根表面积密度随着立地条件的改善而显著降低,根长密度、根表面积密度在立地类型间的差异有随着土壤层次的加深而减小的趋势.阳坡薄土立地林木根长密度、根系表面积密度平均比阳坡厚土立地高 20.4% 和 20.9%. 这表明,在瘠薄立地上,侧柏树木采取提高根系吸收范围的对策来获取有限的土壤资源.

细根产量与土壤养分有效性呈负相关关系^[14],即树木在相对贫瘠的土壤中根系产量较高.对于多数植物来说,根系存在觅食行为^[15],表现为根系在富营养土壤斑块中的产量提高或分枝加强.此外,土壤水分有效性也是根系分布的重要因素之一^[16],即土壤水分有效性较高的层次或斑块分布的根系较多.

此外,研究地侧柏人工林林木根系分布状况还与侧柏的树种特性密切相关.侧柏属于浅根性树种,生长于土层深厚的黄土高原上的树木的根系也集中分布在 0~40 cm 土层中^[17].

参 考 文 献

[1] CANNDELI J, JACKSON R B, EHLERINGER J R, *et al.* Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale [J]. *Oecologia*, 1996, 108(4): 583-595.

[2] MAIER C A, KRESS L W. Soil CO₂ evolution and root respiration in 11-year-old loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations as affected by moisture and nutrient availability [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30(3): 347-359.

[3] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘向东, 等. 人工油松林根系层的水文作用 [J]. *中国水土保持*, 1994 (6): 21-25

ZHAO H Y, WU Q X, LIU X D, *et al.* Hydrological effects of the root zone of artificial Chinese pines [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 1994 (6): 21-25.

[4] 朱清科, 陈丽华, 张东升, 等. 贡嘎山森林生态系统根系固土力学机制研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 64-67.

ZHU Q K, CHEN L H, ZHANG D H, *et al.* Mechanisms of soil-reinforcement by roots in forest ecological systems in Gongga Mountain [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 64-67.

[5] 宁丽丹, 石辉, 周海军, 等. 岷江上游不同植被下土壤团聚体特征分析 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1 405-1 410.

NING L D, SHI H, ZHOU H J, *et al.* Quantitative characteristics of soil aggregates under different vegetations in upper reach of Minjiang River [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (8): 1 405-1 410.

[6] 马祥华, 焦菊英, 白文娟. 黄土丘陵沟壑区退耕植被恢复地土壤水稳性团聚体的变化特征 [J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(3): 69-74.

MA X H, JIAO J Y, BAI W J. The changes of soil water-stable aggregates in abandoned lands during vegetation restoration in hilly and gully regions on the Loess Plateau [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(3): 69-74.

[7] CLAUS A, GEORGE E. Effect of stand age on fine-root biomass and biomass distribution in three European forest chronosequences [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(7): 1 617-1 625.

[8] GEORGE E, SEITH B, SCHAEFFER C, *et al.* Responses of *Picea*, *Pinus* and *Pseudotsuga* roots to heterogeneous nutrient distribution in soil [J]. *Tree Physiology*, 1997, 17: 39-45.

[9] GROLKE N A, RETZLAFF W A. Changes in physiological attributes of ponderosa pine from seedling to mature tree [J]. *Tree Physiology*, 2001, 21: 275-286.

[10] LEUSCHNER C, HERTEL D, SCHMID I, *et al.* Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forests as a function of precipitation and soil fertility [J]. *Plant and Soil*, 2004, 258(1): 43-56.

[11] GOWER S T, GHOLZ H L, NAKANE K, *et al.* Production and carbon allocation patterns of pine forests [J]. *Ecological Bulletins*, 1994, 43: 115-165.

[12] LITTON C M, RYAN M G, TINKER D B, *et al.* Belowground and aboveground biomass in young postfire lodgepole pine forests of contrasting tree density [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(2): 351-363.

[13] LITTON C M. Above- and belowground carbon allocation in post-fire lodgepole pine forests-effects of tree density and stand age [D]. Wyoming, USA: University of Wyoming, 2002.

[14] NEATROUR M A, JONES R H, GOLLADAY S W. Correlations between soil nutrient availability and fine-root biomass at two spatial scales in forested wetlands with contrasting hydrological regimes [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(12): 2 934-2 941.

[15] WIJESINGHE D K, JOHN E A, BEURSKENS S, *et al.* Root system size and precision in nutrient foraging: Responses to spatial pattern of nutrient supply in six herbaceous species [J]. *Journal of Ecology*, 2001, 89(6): 972-983.

[16] LINKOHR B I, WILLIAMSON L C, FITTER A H, *et al.* Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of *Arabidopsis* [J]. *Plant Journal*, 2002, 29 (6): 751-760.

[17] 赵忠, 李鹏. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究 [J]. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 96-99.

ZHAO Z, LI P. Researches on vertical root distributions and drought resistance of main planting tree species in Weibei Loess Plateau [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 96-99.

(责任编辑 赵 勃)