

不同树龄橡胶林土壤水分和细根生物量*

林希昊^{1,2} 陈秋波¹ 华元刚¹ 杨礼富¹ 王真辉^{1**}

(¹ 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南儋州 571737; ² 中国热带农业科学院湛江实验站, 广东湛江 524013)

摘要 采用根钻法,分析了橡胶幼树期(5 a)、初产期(9 a)和旺产期(16 a)林下土壤水分特征及橡胶树细根生物量.结果表明:橡胶树龄越大,土壤含水量越高,而橡胶树细根生物量越少;不同树龄橡胶林0~60 cm土壤含水量随着土层深度的增加而升高,年内变化则呈“双峰”型;不同树龄橡胶树细根生物量最大值均出现在10 cm土层,且随着土层深度的增加而减少,细根生物量年内变化同样呈“双峰”型,但不同树龄细根生物量峰值的出现时间不一致.土壤含水量和土层深度是橡胶树细根生物量的主要影响因子.

关键词 橡胶树 细根生物量 土壤水分 垂直分布

文章编号 1001-9332(2011)02-0331-06 **中图分类号** Q945.79, Q948.1 **文献标识码** A

Soil moisture content and fine root biomass of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantations at different ages. LIN Xi-hao^{1,2}, CHEN Qiu-bo¹, HUA Yuan-gang¹, YANG Li-fu¹, WANG Zhen-hui¹ (¹*Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Danzhou 571737, Hainan, China*; ²*Zhanjiang Experimental Station, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Zhanjiang 524013, Guangdong, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(2): 331-336.

Abstract: By using soil core sampling method, this paper studied the soil moisture regime of rubber plantations and the fine root biomass of *Hevea brasiliensis* in immature period (5 a), early yielding period (9 a), and peak yielding period (16 a). With the increasing age of rubber trees, the soil moisture content of rubber plantations increased but the fine root biomass decreased. The soil moisture content at the depth of 0-60 cm in test rubber plantations increased with soil depth, and presented a double-peak pattern over the period of one year. The fine root biomass of rubber trees at different ages had the maximum value in the top 10 cm soil layers and decreased with soil depth, its seasonal variation also showed a double-peak pattern, but the peak values appeared at different time. Soil moisture content and soil depth were the main factors affecting the fine root biomass of *H. brasiliensis*.

Key words: *Hevea brasiliensis*; fine root biomass; soil moisture; vertical distribution.

细根(<2 mm)是森林生态系统生物量和养分库中重要的组成部分,在森林生态系统能量流动和物质循环中起着关键性的作用^[1].细根生物量多受树种特性及外界环境条件的综合影响^[2-3].研究表明,木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)细根生物量与树龄之间呈显著相关关系^[4];欧洲赤松(*Pinus ponderosa*)与太平洋银冷杉(*Abies amabilis*)的细根生产和周转随树龄增长而增加^[5-6].通常,细根生物量随年龄增加而增加,在一定时期达到最大值,然后逐渐下降并趋于稳定^[7].土壤含水量是影响细根生物量及

周转的关键因子^[8-9].随树龄的增长,不同树种的林地土壤含水量变化趋势也不相同,或增加^[10-11],或降低^[12],导致林分特征(叶片质量与林分密度等)差异,进一步影响土壤水分状况与养分有效性,并随着季节和土壤层次的变化,细根生物量时空动态也随之发生变化.

橡胶树(*Hevea brasiliensis*)原产于高温潮湿的亚马逊流域,对土壤水分和养分的要求较高,其根系生长与土壤水分关系密切^[13],而且根系生长的最适宜土壤含水量与养分因土壤质地不同而异.在热带和温带的许多地区,细根生长的季节动态与土壤水分动态一致.因而在一定环境条件下,土壤水分是限制植物细根生长的主要因素之一^[14].

* 国家自然科学基金项目(30660029)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(XJSYWFZX2008-18, XJSYWFZX2009-30)资助.

** 通讯作者. E-mail: wzh-36@163.com

2010-07-19 收稿, 2010-11-23 接受.

我国在20世纪50—60年代已经开始橡胶树根系的研究,而有关自然条件下土壤水分对橡胶树细根时空动态变化的研究尚未见报道(橡胶树根系的研究1959—1963工作总结.华南亚热带作物科学研究所档案室保存).本文选用生产上大面积推广的橡胶树新品系热研7-33-97为研究对象,开展自然条件下不同树龄橡胶林土壤水分和细根生物量的研究,旨在深入认识橡胶人工林地下生物量及其与土壤水分的相互关系,为通过改善环境条件调节细根生长动态来促进橡胶树生产提供基础资料.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验区位于海南省儋州市中国热带农业科学院试验场三队(19°33' N, 109°28' E),平均海拔134 m.该地区属热带季风气候类型,年平均气温23.2℃~23.9℃,≥15℃日均积温7500℃~8500℃,最冷月(1月)平均气温16.9℃~18.0℃,最热月(7月)平均气温25.3℃~27.8℃,年降水量在1500~2000 mm.试验区地势平缓,土壤为砖红壤,土层深厚,质地粘重.平均土壤pH为4.48、有机质为10.2 mg·kg⁻¹、全氮为0.4 mg·kg⁻¹、速效磷为13.44 mg·kg⁻¹、速效钾为6.65 mg·kg⁻¹.试验区为第二代胶林,单一人工群落,群落结构简单,林下以多年生草本植物及一年生草本植物居多,如弓果黍(*Cyrtococcum patens*)、飞机草(*Eupatorium odoratum*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、假臭草(*Eupatorium catarium*)、地胆草(*Elephantopus scaber*)和竹叶草(*Oplismenus compositus*)等,极少见灌木、亚灌木.采用宽行密植模式,株行距为3 m×7 m.

1.2 研究方法

1.2.1 供试材料及采样 试验选用5 a、9 a和16 a热研7-33-97橡胶树为对象(5 a橡胶树平均胸径为37.25 cm,尚未开割;9 a橡胶树平均胸径为52.65 cm,割龄2 a;16 a橡胶树平均胸径为61.04 cm,割龄9 a).3个树龄胶园样地面积均为100 m×100 m,在样地内以对角线选取30株橡胶树,每株检尺,从中选择出5株平均样株,标记.2006年12月—2007年10月间,每2个月采集一次细根样品,每次采样时间为当月下旬,要求采样前天气连续3天晴朗无雨.

采样时,以橡胶树树干为中心,在两边行间距树干1.0 m、半径为0.5 m的圆环上沿“S”形分别用直径为4.0 cm土钻在两边行间上钻取土芯,每边圆环

上随机钻取5个样装袋,每10 cm一层,共取6层.用同样的方法在两边行间距树干2.5 m正60°圆环上钻取土芯,标记,带回实验室以细根测定用.每块样地每次采样120个.

在钻取土芯的同时,从每个样品中挑出部分无细根土壤另外装袋,带回实验室,用以测定土壤含水量,重复4次.

1.2.2 细根的处理与测定 样品带回实验室后,先用水浸泡,然后倒入20目土壤筛(孔径为0.9 mm)用水反复冲洗干净,用镊子挑出<2 mm的橡胶树细根,并根据细根的颜色、外形、弹性等区分活根和死根^[15],分别装入纸袋,在80℃条件下烘至恒量,用万分之一天秤称量.并参照文献^[16]计算细根生物量(B , kg·hm⁻²):

$$B = \frac{m \cdot 10^5}{\pi R^2}$$

式中: m 为平均每个土芯根质量(g); R 为土钻的半径(cm).

土壤含水量的测定采用烘干法.称取新鲜土样10 g左右,在105℃烘箱中烘干到恒量(约24 h),称量计算土壤含水量.

1.3 数据处理

采用Excel 2003软件对数据进行整理和作图,并用DPS V 6.55版软件进行统计分析.采用双因素方差分析和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异,通过典型相关分析评价土壤环境与细根生物量间的相关关系.显著性水平设定为 $\alpha=0.05$.

2 结果与分析

2.1 不同树龄橡胶林土壤含水量变化

不同树龄橡胶林各土层间土壤含水量和水分变异程度均存在差异.由图1可以看出,在0~60 cm土层中,随着土层增加,5 a、9 a和16 a橡胶林土壤含水量均逐渐升高,其中5 a橡胶林土壤含水量先逐渐升高,然后在60 cm土层开始下降,而9 a、16 a橡胶林土壤随着土层加深,含水量上升幅度减少.在0~60 cm土层,3个树龄橡胶林土壤平均含水量大小为16 a>9 a>5 a,9 a、16 a橡胶林土壤平均含水量均显著高于5 a橡胶林,但二者之间差异不显著.

不同树龄橡胶林平均土壤含水量年内变化各有差异.不同树龄橡胶林土壤含水量最大值均出现在8月,最小值出现在2月.5 a橡胶林平均土壤含水量年内变化呈“双峰型”,峰值分别出现在4月和

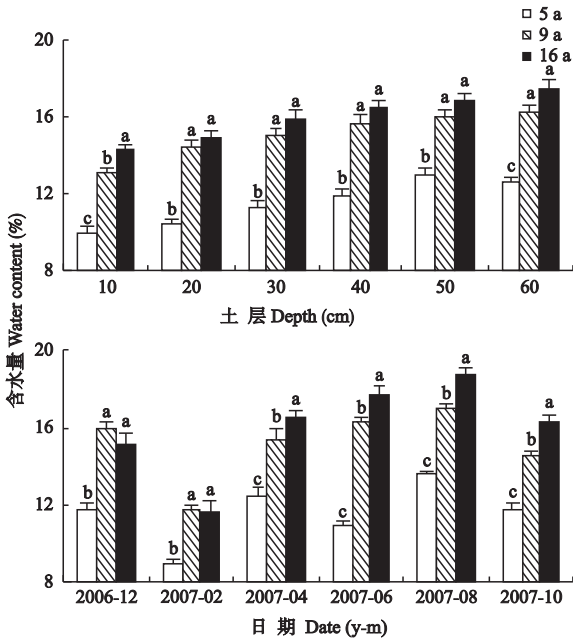


图 1 不同树龄橡胶林土壤含水量的垂直分布及年内变化
Fig. 1 Vertical distribution and seasonal dynamics of soil water content in rubber plantation at different ages (mean±SE, $n=4$). 不同小写字母表示不同树龄间差异显著 Different small letters indicated significant difference among different ages. 下同 The same below.

8 月, 而 9 a、16 a 橡胶林平均土壤含水量的年内变化不明显, 但 4—6 月, 土壤含水量上升速度明显回落. 不同月份 5 a 橡胶林土壤含水量均显著低于 9 a、16 a 橡胶林土壤含水量, 而且年内变化幅度较大; 除 12 月和 4 月外, 16 a 橡胶林土壤含水量显著高于 9 a 橡胶林土壤含水量.

2.2 不同树龄橡胶树细根生物量的垂直分布

由图 2 可以看出, 在 0~60 cm 土壤垂直剖面范围内, 橡胶树细根(活细根和死细根)生物量最大值均出现在 10 cm 土层; 随着土层深度的增加, 不同树龄细根生物量均随之减少. 在同一土层内, 不同树龄橡胶树细根生物量也有差异. 在 0~40 cm 各土层中, 5 a 橡胶树活细根生物量显著高于 16 a 橡胶树; 其中 10 和 20 cm 土层活细根生物量也显著高于 9 a 橡胶树; 9 a、16 a 橡胶树各土层间活细根生物量差异均不显著. 5 a 橡胶树 0~30 cm 各土层中死细根生物量显著高于 16 a 橡胶树, 但在 40~60 cm 土层中其死细根生物量与 16 a 橡胶树差异不显著, 而且其各土层死细根生物量与 9 a 橡胶树差异均不显著; 除 10 cm 与 20 cm 土层中 9 a 橡胶树死细根生物量显著高于 16 a 橡胶树外, 其他土层中 2 个树龄橡胶树死细根生物量差异均不显著. 3 个树龄橡胶树在不同土层中细根(活细根和死细根)生物量大小几乎全为 5 a>9 a>16 a.

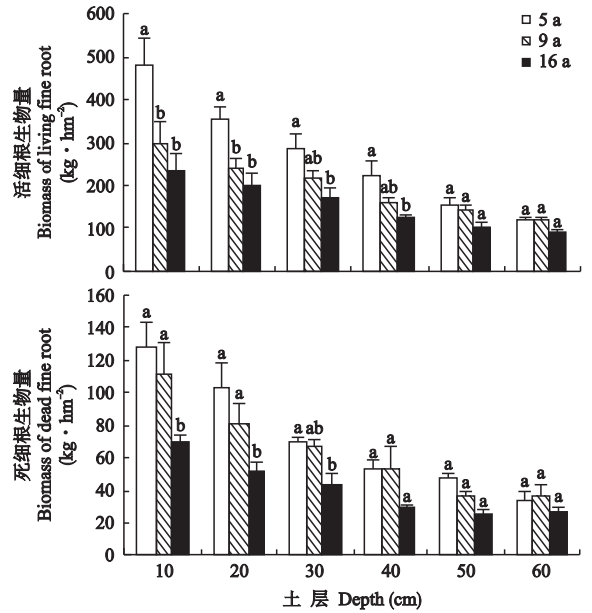


图 2 不同树龄橡胶树细根生物量的垂直分布
Fig. 2 Vertical distribution of fine root biomass of *Hevea brasiliensis* at different ages (mean±SE, $n=5$).

2.3 不同树龄橡胶树细根生物量年内动态

由图 3 可以看出, 橡胶树活细根生物量年内变化基本呈“双峰”型, 而且树龄越大, 这种变化趋势越不明显. 5 a 橡胶树活细根生物量峰值出现在 2 月和 8 月, 9 a 橡胶树活细根生物量峰值出现在 4 月和 10 月, 16 a 橡胶树活细根生物量峰值出现在 6 月和 10 月, 但 9 a、16 a 橡胶树的波形不明显. 方差分析

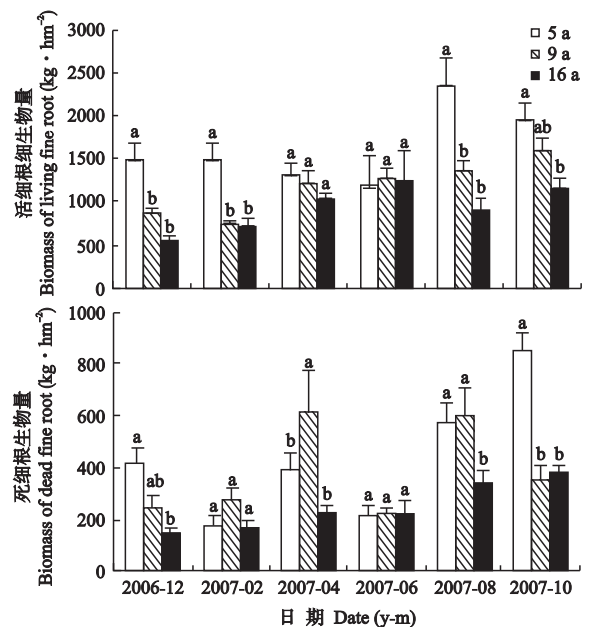


图 3 不同树龄橡胶树细根生物量的年内变化
Fig. 3 Seasonal variation of fine root biomass of *Hevea brasiliensis* at different ages (mean±SE, $n=5$).

结果表明,5 a 橡胶树活细根生物量在2月、8月和12月显著高于9 a、16 a 橡胶树活细根生物量;9 a、16 a 橡胶树活细根生物量周年间的差异不显著。橡胶树死细根生物量年内变化同样呈“双峰”型,但不同树龄橡胶树死细根生物量的峰值出现时间不一致。5 a、16 a 橡胶树出现在4月和10月,9 a 橡胶树则出现在4月和8月。

另外,同一月份内不同树龄间橡胶树死细根生物量差异变化不一致。在2月和6月,3个树龄间橡胶树死细根生物量差异不显著;8月、10月和12月,5 a 橡胶树死细根生物量显著高于16 a;而在4月,5 a 橡胶树死细根生物量显著低于9 a 橡胶树。除4月和8月的9 a 橡胶树死细根生物量显著高于16 a 外,其他月份二者间差异均不显著。

2.4 橡胶树细根生物量与土壤含水量、土层深度及树龄的典型相关分析

对橡胶林土壤含水量(X_1)、土层深度(X_2)、树龄(X_3)和橡胶树活细根生物量(Y_1)、死细根生物量(Y_2)进行典型相关分析(表1),结果发现,第一典型相关系数达到极显著水平,而第二典型相关系数不显著。在第一组典型变量系数中, X_1 、 X_2 和 X_3 与 Y_1 、 Y_2 有极显著的相关关系,说明土壤含水量、土层深度是橡胶树细根生物量的主要影响因子。

表1 橡胶树细根生物量与土层深度、土壤含水量及树龄的典型相关分析

Table 1 Canonical correlation analysis of soil layer, soil water, tree age and fine root biomass of *Hevea brasiliensis*

典型相关系数 Canonical correlation coefficient	典型变量线性组合 Linear composition of Canonical variables in correlation	P
0.859	$U_1 = -0.7002X_1 - 0.4968X_2 + 0.0544X_3$ $V_1 = 0.8076Y_1 - 0.2137Y_2$	0.0001
0.195	$U_2 = -1.2329X_1 + 1.9056X_2 - 1.4615X_3$ $V_2 = -1.907Y_1 + 2.0599Y_2$	0.2664

3 讨论

3.1 树龄对橡胶树细根生物量的影响

一般认为,随着树木生长,其对养分和水分的需求增加,根系生长也随之增加^[4-6];但森林生态系统中细根生物量会因林分年龄、树种特性和立地条件的不同而变化。Børja 和 Nilsen^[17]认为,细根尤其是直径<1 mm 的细根生物量与树龄有显著相关关系。细根生物量通常随树龄增加而增加,在一定时期达

到最大值,然后逐渐下降并趋于稳定^[7]。Finér 等^[18]对几种林木细根生物量变化的研究发现,欧洲榉木(*Fagus sylvatica*)细根生物量随树龄增加而降低,欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)的细根生物量则随树龄增加而增加。本研究中,橡胶树树龄增长,其活细根与死细根生物量均随之减少,细根总生物量也因而减少。这说明橡胶树细根生物量与其处于不同的生长或生产期有密切关系,很可能是受割胶经营活动的影响所致。据观测,产胶期橡胶树连续割胶,大量的胶乳排出,降低了用于生长的干物质分配率,导致了橡胶树生长缓慢。一般不同品系的橡胶幼树,开割两年内胶乳产量占光合产物的3%~11%,以后逐渐增加到20%以上^[19]。产胶期橡胶树需要更多的产物合成胶乳,光合产物及营养物质向下运输分配率减少,根系生长缓慢,因此,导致产胶期橡胶树细根生物量少于幼树期,当橡胶树进入旺产期后,细根生物量显得更少。

3.2 树龄对橡胶林土壤水分含量的影响

土壤含水量在土壤剖面垂直方向的分布主要受林分植被类型、降水、蒸发和植被丰富度的影响^[20]。对于不同树种,其林地土壤含水量随树龄增长的变化趋势也不同,有的随之增加^[10-11],有的则随之降低^[12]。本文中,橡胶林土壤含水量随树龄增长而增加。树龄较大的橡胶树冠幅较大,郁闭度较高,加之林下植被比较丰富,盖度较高,对水分蒸发有一定的阻碍,因而土壤含水量较高,如本文中16 a 橡胶林土壤含水量无论在不同土壤层次还是年变化均大于5 a 橡胶林土壤含水量。

3.3 不同树龄橡胶林土壤水分对细根生物量时空动态变化的影响

影响细根生物量的因素很多,土壤水分与植物细根生长有密切关系^[21],不同土壤水分对根系发育及形态结构有很大的影响,其生长、分布与土壤水分状况密切相关。细根生物量随着土壤深度的增加而减少,主要受到土壤理化性质和养分含量的影响^[22]。研究表明,土壤容重和水分含量是影响细根垂直分布的关键因素^[23-24]。本文中,3个不同树龄橡胶树死细根与活细根生物量均随着土壤深度的增加逐渐减少。通过典型相关分析也发现,土壤含水量、土层深度和树龄与橡胶树活细根生物量、死细根生物量有极显著的相关关系。另外,橡胶树细根最大生物量集中在土壤表层0~20 cm。许多研究也得出类似的结果^[25-26],这与土壤养分与水分有效性以及微生物活性在表层土壤中最有关^[27-28]。

Zewdie 等^[29]用内生长法对两种成熟 *Ensete ventricosum* 细根生长量进行研究,发现细根生长量具有一定的季节性变化,在雨季末期细根生物量达到最高峰,干旱季节或少雨季季节细根生物量降低。Silva 等^[30]研究表明,植物细根为了适应不同季节的环境条件变化,细根分布也相应地进行调整。在海南,橡胶树根系在 4—10 月生长较快,其中 5 月、7 月和 8 月生长最快,11 月中旬至翌年 3 月生长缓慢;而橡胶林土壤含水量随着树龄增加而增加,加之树龄增长,冠幅增大,橡胶树细根生物量动态变化越趋于平稳。5 a 橡胶树活细根生物量动态变化幅度较 9 a、16 a 橡胶树大,而橡胶树死细根生物量动态变化幅度则是 5 a 和 9 a 较 16 a 大。这不仅与树龄、土壤含水量有关,还与土温、土壤养分等因素有关。

参考文献

- [1] Usman S, Singh SP, Rawat YS, *et al.* Fine root decomposition and nitrogen mineralization patterns in *Quercus leucotrichophora* and *Pinus roxburghii* forests in central Himalaya. *Forest Ecology and Management*, 2000, **131**: 191–199
- [2] McClaugherty CA, Aber JD, Melillo JM. The role of fine root in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, 1982, **63**: 1481–1490
- [3] Hendrick RL, Pregitzer KS. Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. *Journal of Ecology*, 1996, **84**: 167–176
- [4] Zhang L-H (张立华). Ecology of fine roots of *Casuarina equisetifolia* plantation on coastal sand. Master Thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2006 (in Chinese)
- [5] Makkonen K, Helmisaari HS. Fine root biomass and production in Scots pine stands in relation to stand age. *Tree Physiology*, 2001, **21**: 193–198
- [6] Vogt KA, Grier CC, Meier CE. Organic matter and nutrient dynamics in forest floors of young and mature *Abies amabilis* stands in western Washington, as affected by fine-root input. *Ecological Monographs*, 1983, **53**: 139–157
- [7] Li L-H (李凌浩), Li P (林鹏), Xing X-R (邢雪荣). Fine root biomass and production of *Castanopsis eyrei* forests in Wuyi Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 1998, **9**(4): 337–340 (in Chinese)
- [8] Gill RA, Jackson RB. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 2000, **147**: 13–31
- [9] Leuschner C, Hertel D. Fine root biomass of temperate forests in relation to soil acidity and fertility, climate, age and species. *Progress in Botany*, 2003, **64**: 405–438
- [10] Yang X (杨鑫), Cao J (曹靖), Dong M-X (董茂星), *et al.* Effects of exotic *Larix kaempferi* on forest soil quality and bacterial diversity. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2008, **19**(10): 2109–2116 (in Chinese)
- [11] Yao Y-F (姚月锋), Man X-L (满秀玲). Spatial heterogeneity of top soil moisture in different stand age of *Salix psammophila* in MU US sandy land. *Journal of Soil and Water Conservation (水土保持学报)*, 2007, **21**(1): 111–115 (in Chinese)
- [12] Liu J-H (刘江华), Liu G-B (刘国彬), Chen S-Y (陈淑芸). Relationship between soil moisture of *Robinia pseudoacacia* forests and aboveground biomass of understory vegetation. *Research of Soil and Water Conservation (水土保持研究)*, 2009, **16**(3): 57–60 (in Chinese)
- [13] Samarappuli L, Yogaratnam N, Hettiarachchi R, *et al.* Use of neutron moisture meter in soil-plant-water relation studies of rubber (*Hevea brasiliensis*). *Tropical Agricultural Research and Extension*, 2000, **3**: 56–62
- [14] Jessy MD, Vinoth Thomas, Vijayakumar KR. Fine root production of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in relation to precipitation. International Natural Rubber Conference 6-8 November, Cochin, India, 2005: 156–163
- [15] Sayer MAS, Haywood JD. Fine root production and carbohydrate concentrations of mature longleaf pine (*Pinus palustris* P. Mill.) as affected by season of prescribed fire and drought. *Trees-Structure and Function*, 2006, **20**: 165–175
- [16] Feng Z-W (冯宗炜). Productivity and Biomass of Forest Ecosystem on China. Beijing: Science Press, 1999 (in Chinese)
- [17] Børja I, Nilsen P. Long term effect of liming and fertilization on ectomycorrhizal colonization and tree growth in old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *Plant and Soil*, 2009, **314**: 109–119
- [18] Finér L, Helmisaari HS, Lõhmus K, *et al.* Variation in fine root biomass of three European tree species: Beech (*Fagus sylvatica* L.), Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.), and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Biosystems*, 2007, **141**: 394–405
- [19] He K (何康), Huang Z-D (黄宗道). Rubber Culture in the Northern Part of Tropical Area. Guangdong: Guangdong Science and Technology Press, 1987 (in Chinese)
- [20] Xu W-D (徐文铎), He X-Y (何兴元), Chen W (陈玮), *et al.* Characteristics and succession rules of vege-

- tation types in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), 2004, **23**(5): 162-174 (in Chinese)
- [21] Cheng X-Y (成向荣), Huang M-B (黄明斌), Shao M-A (邵明安). Vertical distribution of representative plantation's fine root in wind-water erosion crisscross region, Shenmu. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2007, **27**(2): 321-327 (in Chinese)
- [22] Wang Z-Q (王政权), Zhang Y-D (张彦东), Wang Q-C (王庆成). Responses of *Fraxinus manchurica* seedling roots to heterogeneous nutrients and water distribution. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 1999, **19**(3): 229-334 (in Chinese)
- [23] Yang L-W (杨丽韞), Luo T-X (罗天祥), Wu S-T (吴松涛). Fine root biomass and its depth distribution across the primitive Korean pine and broad-leaved forest and its secondary forests in Changbai Mountain, north-east China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(9): 3609-3617 (in Chinese)
- [24] Wei L-Y (韦兰英), Shangguan Z-P (上官周平). Relationship between vertical distribution of fine root in different successional stages of herbaceous vegetation and soil environment in Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(11): 3740-3748 (in Chinese)
- [25] Püttsepp Ü, Lõhmus K, Persson HA, *et al.* Fine-root distribution and morphology in an acidic Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand in SW Sweden in relation to granulated wood ash application. *Forest Ecology and Management*, 2006, **221**: 291-298
- [26] Bakker EG, Stahl EA, Toomajian C, *et al.* Distribution of genetic variation within and among local populations of *Arabidopsis thaliana* over its species-range. *Molecular Ecology*, 2006, **15**: 1405-1418
- [27] Sainju UM, Good RE. Vertical root distribution in relation to soil properties in Ney Jersey Pinelands forests. *Plant and Soil*, 1993, **150**: 87-97
- [28] Schmid I, Kazda M. Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils. *Forest Ecology and Management*, 2002, **159**: 37-47
- [29] Zewdie S, Fetene M, Olsson M. Fine root vertical distribution and temporal dynamics in mature stands of two enset (*Ensete ventricosum* Welw Cheesman) clones. *Plant and Soil*, 2008, **305**: 227-236
- [30] Silva SJ, Francisco CR. Root distribution of a Mediterranean shrubland in Portugal Joaquim. *Plant and Soil*, 2003, **255**: 529-540

作者简介 林希昊,男,1982年生,硕士,研究实习员. 主要从事热带作物栽培与生态研究. E-mail: linxihao@china.com.cn

责任编辑 李凤琴
