

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 舸,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201111041669

张帆, 陈建文, 王孟本. 幼龄柠条细根的空间分布和季节动态. 生态学报, 2012, 32(17): 5484-5493.

Zhang F, Chen J W, Wang M B. The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young *Caragana korshinskii* plantation. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5484-5493.

幼龄柠条细根的空间分布和季节动态

张 帆, 陈建文, 王孟本 *

(山西大学黄土高原研究所, 太原 030006)

摘要:以晋西北黄土高原区 5 年生柠条(*Caragana korshinskii*)人工林为研究对象,应用 Minirhizotron 技术,分别在距茎干水平距离 0 cm 和 50 cm 处设点(以下简称 0 cm 位点和 50 cm 位点),对林地 0—100 cm 土层深度范围内的柠条细根进行了观测。以 2009 年生长季(4—10 月)的细根根长密度(RLD , mm/cm^2)和表面积密度(RAD , mm^2/cm^2)数据为基础,结合同期环境因子(气温、降雨量、土壤温度和土壤含水量等)数据,对 0 cm 和 50 cm 两个位点的细根动态特点进行了比较研究。结果表明:(1)两个水平位点的细根垂直分布和季节变化趋势均具有一定差异,主要差异是 0 cm 位点 0—60 cm 各土层的 RLD 均大于 50 cm 位点,前者各测定期的 RLD (RAD)均大于后者。因此,0 cm 位点的细根分布量(4.04 mm/cm^2 和 4.67 mm^2/cm^2)显著大于 50 cm 位点(3.07 mm/cm^2 和 2.99 mm^2/cm^2)。(2)就整体(两个位点平均值)而言, RLD (RAD)的垂直分布以 40—50 cm 土层最大,以 60—70 cm 土层最小。 RLD (RAD)的季节变化具有由小变大再变小的趋势。年生长季幼龄柠条细根的 RLD 和 RAD 总平均值分别为 3.55 mm/cm^2 和 3.83 mm^2/cm^2 。(3)就 0 cm 位点、50 cm 位点或整个林地而言,细根 RLD 的季节变化与气温和土壤温度的季节变化均具有显著正相关性。以上结果表明,幼龄柠条细根的水平分布具有“近主根”特点; RLD 的季节变化与温度因子的季节变化具有高度一致性。

关键词:灌木;细根;根长密度;微根管;环境因子

The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young *Caragana korshinskii* plantation

ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben *

Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

Abstract: It is important and significant to know the spatial distribution pattern of fine roots for understanding the utilization status of the available resources belowground. The objective of this study was to investigate the fine root dynamics of *Caragana korshinskii* Kom, a shrub species widely planted to control soil erosion and land desertification in the semiarid area of China, in a 5-year-old plantation in the Loess Plateau area of Northwest Shanxi, China. Using the minirhizotron technique. The minirhizotron tubes were installed at two horizontal distances (0 cm and 50 cm) from the plant stems in the top 100-cm of soil. Based on the data sampled in the growing season (from April to September) of 2009, we analyzed the spatial-temporal patterns of fine root length density (RLD , mm/cm^2) and fine root surface area density (RAD , mm^2/cm^2) in the plantation, and explored the relationships of RLD and RAD with the environment factors such as air temperature, soil temperature, rainfall and soil water content. The results showed that (1) there were certain differences in both vertical distribution patterns and seasonal change trends of fine roots between the two horizontal sites, and the obvious difference was that the values of RLD in the upper 0—60 cm soil layers at the 0 cm horizontal site were greater than those at the 50 cm horizontal site, and that the values of RLD (RAD) measured in every month for the former were larger than those for the

基金项目:山西省科技攻关项目(2006031014)

收稿日期:2011-11-04; 修订日期:2012-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mbwang@sxu.edu.cn

latter. Therefore the *RLD* and *RAD* for the former (4.04 mm/cm^2 and $4.67 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$) were significantly larger than those for the latter (3.07 mm/cm^2 and $2.99 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$). (2) As a whole (for the average of two horizontal sites), the maximum value of *RLD* (*RAD*) appeared in 40—50 cm soil layer while the minimum value in 60—70 cm soil layer in the 100 cm soil profile. The *RLD* (*RAD*) showed a common seasonal trend with the peak value in the middle period of growing season. The total averages of *RLD* and *RAD* of fine roots in the growing season were 3.55 mm/cm^2 and $3.83 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$, respectively. (3) For 0 cm horizontal site, 50 cm horizontal site or the average of two horizontal sites (i. e. the plantation), the seasonal change course of *RLD* was significantly and positively related with air temperature and soil temperature, respectively. The above results showed that the horizontal distribution of the fine roots of young *Caragana korshinskii* was characterized by appearing mainly around the taproots, and the seasonal change trend of *RLD* was highly consistent with the change of temperature factor. Although the correlation coefficients between the seasonal change courses of *RLD* (*RAD*) and water indices (rainfall and soil water content) were not significant, this did not imply that fine root growth was not affected by water factor. Further research is required on the mechanisms of fine root dynamics in the annual growing season because of the internal and external controls of fine root growth.

Key Words: shrub; fine roots; root length density; minirhizotron; environmental factor

人们通常把直径 $<2 \text{ mm}$ 的根称之为细根。细根是植物吸收水分和养分的主要器官,同时在生态系统的物质循环中具有十分重要的作用^[1-3]。近 20 a 来,微根管技术已在植物细根研究中得到了广泛应用。采用微根管技术对树木细根动态进行研究,目前不仅见于乔木,同时涉及欧石南(*Erica tetralix*)和帚石南(*Calluna vulgaris*)^[4-5]、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)和盐蒿(*A. halodendron*)^[6-7]、黄柳(*Salix gordejvii*)^[7]、柠条(*Caragana korshinskii*)^[8]等共约 15 种灌木。

柠条(*Caragana korshinskii*)属于豆科锦鸡儿属植物,主要分布于我国北方干旱半干旱地区,是黄土高原地区的最主要造林灌木树种之一。柠条具有良好的防风固沙和保持水土功能,同时又是优质的灌木饲料植物资源,具有较高的生态和经济价值^[9-10]。在晋西北黄土区,人工营造的柠条林分布面积很大。比如,仅五寨县现有柠条人工林面积即达 2 万余公顷。对该区柠条人工林细根生长动态进行研究,不仅有助于揭示植物细根对环境因子的响应机制,同时可为人工林的营造和管理提供科学参考。

最近几年,本研究组采用微根管法对晋西北黄土区成年和幼龄人工柠条林的细根动态进行了定位观测研究^[11-15]。研究表明,成年柠条细根的水平分布特点为 0 cm 位点较少,50 cm 位点最多,100 cm 位点最少;3 个位点细根的季节变化趋势相似,细根根长密度(*RLD*)最小值和最大值分别出现在 4 月和 9 月^[11]。关于幼龄与成年柠条细根水平分布格局是否存在差异,则有待进一步探讨。

本研究旨在以 2009 年观测数据为基础,对该区幼龄柠条细根的空间分布特征,尤其是水平分布格局进行分析,探讨其与成年柠条细根水平分布是否存在差异,以加深对柠条细根动态特征的认识。

1 研究方法

1.1 试验区概况和样地设置

试验区设在山西省五寨县张家坪林场($111^{\circ}16.296' \text{ E}$, $38^{\circ}58.825' \text{ N}$, 海拔 1448 m)。该区具有温带大陆性气候,四季分明,春季干旱多风,夏秋雨量集中。年平均降雨量 478.5 mm,年蒸发量 1784.4 mm,年平均气温 4.9°C ,最冷月(1 月)平均温度 -13.2°C ,最热月(7 月)平均温度 20.0°C ,终霜日一般在 5 月中旬,始霜日一般在 9 月中旬,平均无霜期 125 d。该区土壤为黄土状淡栗褐土,土壤肥力较低。

试验用林分为人工柠条纯林,位于梁峁顶部,坡度 0° — 5° 。林分源于 2002 年秋季播种造林,播种时行距 2 m。在林地设置 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 样地,林地四周以 2 m 高铁丝网维护,建成固定样地。样地内有柠条 11 行共 291 株(丛),2007 年平均株高 128.4 cm,基茎 2.75 cm,总盖度 34.3%。

1.2 微根管安装

2006 年 10 月,在样地中心 25 m×25 m 区域内,在距株行 0.50 m 处分别随机确定 2 个位点安装微根管 10 个,其中 0 cm 与 50 cm 处各 5 个微根管。参照 Johnson 等^[16]介绍的方法安装微根管(美国 Bartz 技术公司)。微根管(长度 150 cm,外径 5.5 cm,内径 5.0 cm)的安装与地面成 45°角,垂直深度 100 cm,露出地面约 20 cm。安装前管底部密封,微根管露出地面部分先封一层黑色胶带,而后加封一层黄色胶带。微根管固定之后,用外涂白色涂料的塑料瓶(长 20 cm)将管口封盖。为了排除极少数半灌木和若干草本植物对柠条细根观测的干扰,同时将半灌木植物连根挖掉,并将微根管周围的草本植物锄掉。

1.3 数据采集、整理

2009 年 3 月 31 日开始对柠条细根生长状况进行野外观测,至 10 月 19 日,共进行了 8 次观测。每月观测 1 次。采用 BTC 图像采集系统(美国 Bartz 技术公司生产)进行采样,观测窗面积为 1.8 cm×1.4 cm,每个微根管收集 91—92 幅图片。用 RooTrack2.0 软件^[17]对所获图像进行处理,以获取细根长度、表面积、直径等数据。分活细根(白色与褐色细根)和死根(黑色与两次观测期间消失的细根)两类^[18]。依据微根管号、观测框位置、取样时间、细根编号建立细根数据库。

本文以根长密度 RLD (Root length density, mm/cm²) 和根表面积密度 RAD (Root surface area density, mm²/cm²)^[19-22] 作为基本参数。

$$RLD = RL/A \quad RAD = RA/A$$

式中, RL (mm) 为观测窗中观测到的细根根长; RA (mm²) 为观测窗中观测到的细根表面积; A (cm²) 为观测窗面积。由于本研究侧重于对幼龄柠条细根现存量的分析,所以 RLD 和 RAD 是以观测到的活根为依据。

1.4 环境因子观测

气象因子、土壤温度和土壤含水量等的观测与细根观测同期进行。气温通过在野外设立 WatchDog 气象站(美国 Spectrum 公司生产)获取。降雨量数据取自距试验点约 6 km 的五寨县气象站。土壤温度用 TidbiT v2 袖珍温度记录仪(美国 Onset 公司生产)测定,在 20、40、60、80、100 cm 土层深度各安装温度自动记录仪 1 个,数据记录间隔时间为 1 h,由此计算土壤温度日平均值,根据日平均值求得观测时段的土壤温度(平均值)。土壤水分用烘干法测定,在 0—100 cm 处,每隔 10 cm 土层取样,每层 2 个样品,每次 3 个样点(分别取自 3 个行距的中间位置),由此获得每个土层或整个土壤剖面的平均土壤水分含量。

1.5 数据分析

采用 Excel 对细根数据进行整理。采用单因素方差分析法分别对不同土层深度和不同水平距离处的 RLD 、 RAD 差异显著性及其季节变化的差异显著性进行分析,以其中的 DUNCAN 法进行多重比较。采用配对 t 检验法对 0 和 50 cm 两水平位置的 RLD 、 RAD 的季节差异和垂直深度差异进行分析。采用 Pearson 相关系数对 RLD 、 RAD 与气温、降雨量、土壤温度和土壤含水量等环境因子之间的关系进行分析。采用 SPSS 17.0 软件进行方差分析和相关分析,使用 SigmaPlot 8.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同水平位点的细根垂直分布和季节动态

2.1.1 不同水平位点的细根垂直分布

图 1 所示为 2009 年生长季各测定期林地 0 cm 和 50 cm 两个位点细根 RLD 和 RAD 的垂直分布情形。

从图 1 可见,在 0 cm 水平位置上,各测定日期根长密度 RLD 的最小值出现在 60—70 cm 土层,除 8 月、9 月的最大值出现在 10—20 cm 土层外,其余月份的最大值出现在 40—60 cm 土层。在 50 cm 水平位置上, RLD 的最小值出现在表层(0—20 cm),最大值出现在深层(80—100 cm)。

方差分析表明,在 0 cm 水平位点,各测定日各土层间的 RLD 值差异不显著($P>0.05$)。但是在 50 cm 水平位置,6、7 月份 90—100 cm 土层的 RLD 值与 0—10 cm、10—20 cm 和 20—30 cm 土层的 RLD 值存在显著差异($P<0.05$);4 和 6 月份 80—90 cm 土层或 4、5、8 和 9 月份 90—100 cm 土层的 RLD 值与表层(0—20 cm)土

层的 RLD 值存在显著差异。

从图 1 可以看出,在 0 cm 水平位置上,表面积密度 RAD 最小值均出现在 60—70 cm 土层;其最大值均出现在 40—50 cm 土层。而在 50 cm 水平位置上, RAD 最小值出现在表层(0—20 cm);其最大值出现在深层(80—100 cm)。

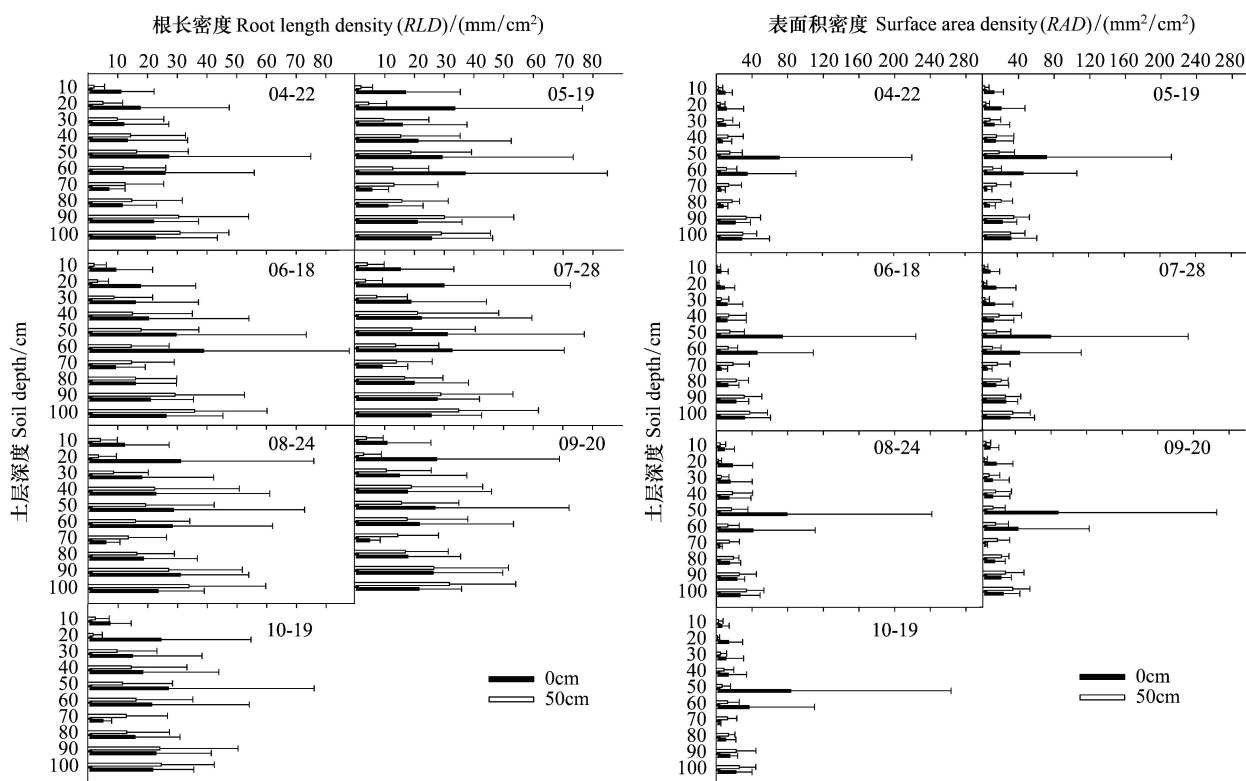


图 1 2009 年生长季各测定日距株行 0 cm 和 50 cm 两个位点柠条细根根长密度和根表面积密度的垂直分布

Fig. 1 The vertical distributions of root length density and surface area density of fine roots of *Caragana korshinskii* at 0 cm and 50 cm horizontal positions

方差分析表明,在 0 cm 水平位点,各测定日各土层间 RAD 值差异不显著($P>0.05$)。而在 50 cm 水平位点,各月份 80—90 cm 土层的 RAD 值与表层(0—20 cm)土层的 RAD 值均存在显著差异。5 月至 10 月 90—100 cm 土层的 RAD 值与表层(0—20 cm)土层的 RAD 值均存在显著差异。除此之外,4、5、6、7 月份 80—90 cm 土层的 RAD 值与 20—30 cm 土层的 RAD 值亦存在显著差异;5、6、7、8 月份 90—100 cm 土层的 RAD 值与 20—30 cm 土层的 RAD 值亦存在显著差异。

就年生长期各土层细根分布平均值可见(图 2),在 0 cm 水平位点,细根 RLD 值垂直波动较大,以 60—70 cm 土层的 RLD 值最小,50—60 cm 土层的 RLD 值最大。在 50 cm 水平位点,细根 RLD 值垂直波动相对较小,以 10—20 cm 土层的 RLD 值最小,90—100 cm 土层的 RLD 值最大。在 0 cm 水平位点,细根 RAD 值的垂直波动同样较大,以 60—70 cm 土层的 RAD 值最小,40—50 cm 土层的 RAD 值最大。在 50 cm 水平位点,细根 RAD 值垂直波动亦较小,以 10—20 cm 土层的 RAD 值最小,90—100 cm 土层的 RAD 值最大。

由以上分析可知,0 cm 水平位点的细根垂直分布波动大于 50 cm 水平位点。前者的表层(0—10 cm)细根分布少于深层(80—100 cm),其余多数土层的细根分布不是少于表层就是多于深层。而后者不仅表层(0—10 cm)细根分布少于深层(80—100 cm),且其余土层的细根分布介于表层和深层之间。尽管如此,两个水平位点的细根垂直分布自上而下均呈由少变多,由多变少,再由少变多的趋势。

2.1.2 不同水平位点的细根季节动态

图 3 所示为柠条幼林地两个水平位点 10 个土层柠条细根 RLD 和 RAD 的季节动态。

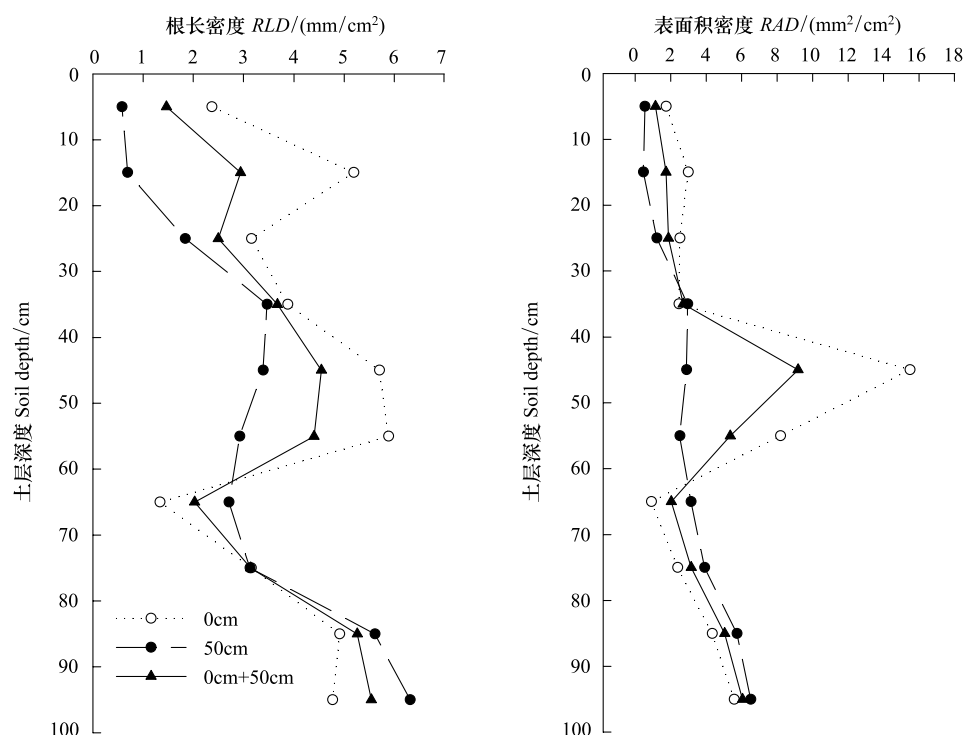


图2 2009 年生长季林地两个水平位点及其平均细根[即 0 cm 和 50 cm 两个位点(0 cm+50 cm)]根长密度和表面积密度的垂直变化

Fig. 2 The vertical changes of root length density and surface area density of fine roots of *Caragana korshinskii* in the 100 cm soil profile during the growing season of 2009

在 0 cm 水平位点,各个土层的 RLD 最大值分别出现在 6 月、7 月或 8 月;除了 0—10 cm、90—100 cm 和 50—70 cm 土层的 RLD 最小值出现在 10 月之外,其余土层的 RLD 最小值均出现在 4 月。在 50 cm 水平位点,除 10—20 cm 和 80—90 cm 土层的 RLD 最大值出现在 4 月之外,其余土层的最大值出现在 6 月、8 月或 9 月;除了 10—20 cm、40—50 cm 和 80—100 cm 土层的 RLD 最小值出现在 10 月之外,其余土层的最小值均出现在 4 月。

在 0 cm 水平位点,除 20—30 cm 和 40—50 cm 土层 RAD 最大值分别出现在 8 月和 9 月外,其余土层的最大值分别出现在 5 月、6 月或 7 月;除 0—10 cm 和 70—100 cm 土层的 RAD 最小值出在 10 月外,其余土层的最小值均出现在 4 月。在 50 cm 水平位点,除 0—10 cm 和 10—20 cm 土层 RAD 最大值分别出现在 8 月和 4 月之外,其余土层的最大值分别出现在 5 月、6 月或 7 月;除 0—10 cm 和 40—50 cm 土层的 RAD 最小值分别出现在 6 月和 4 月,其余土层的最小值均出现在 10 月。

尽管每个水平位点各个土层 RLD 的季节变化趋势具有一定差异,但总体来看,在 0 cm 位点, RLD 最小值多出现在 4 月和 10 月,其最大值多出现在 6 月、7 月或 8 月。在 50 cm 位点, RLD 最小值多出现在 4 月和 10 月,其最大值多出现在 6 月、8 月或 9 月。与此同时,在 0 cm 位点, RAD 最小值多出现在 4 月和 10 月,其最大值多出现在 5 月、6 月或 7 月。在 50 cm 位点, RAD 最小值多出现在 10 月,其最大值多出现在 5 月或 6 月。

配对数据 t 检验显示,除了 30—40 cm、70—80 cm 和 80—90 cm 土层之外,两个水平位点其余土层的 RLD 值之间均具有极显著差异 ($P < 0.01$);除了 30—40 cm 土层之外,两个水平位点其余土层的 RAD 值之间均具有极显著差异 ($P < 0.01$)。

就年生长期各土层细根季节变化平均情形而言(图 4),0 cm 水平位置的细根 RLD 最大值出现在 7 月,最小值在 4 月;50 cm 水平位置的细根 RLD 最大值出现在 8 月,最小值在 10 月。0 cm 水平位置的细根 RAD 最大值出现在 7 月,最小值在 4 月;50 cm 水平位置的细根 RAD 最大值出现在 6 月,最小值在 10 月。

就年生长期平均值而言,0 cm 和 50 cm 水平位点的幼龄柠条细根 RLD 分别为 (4.035 ± 0.465) mm/cm²

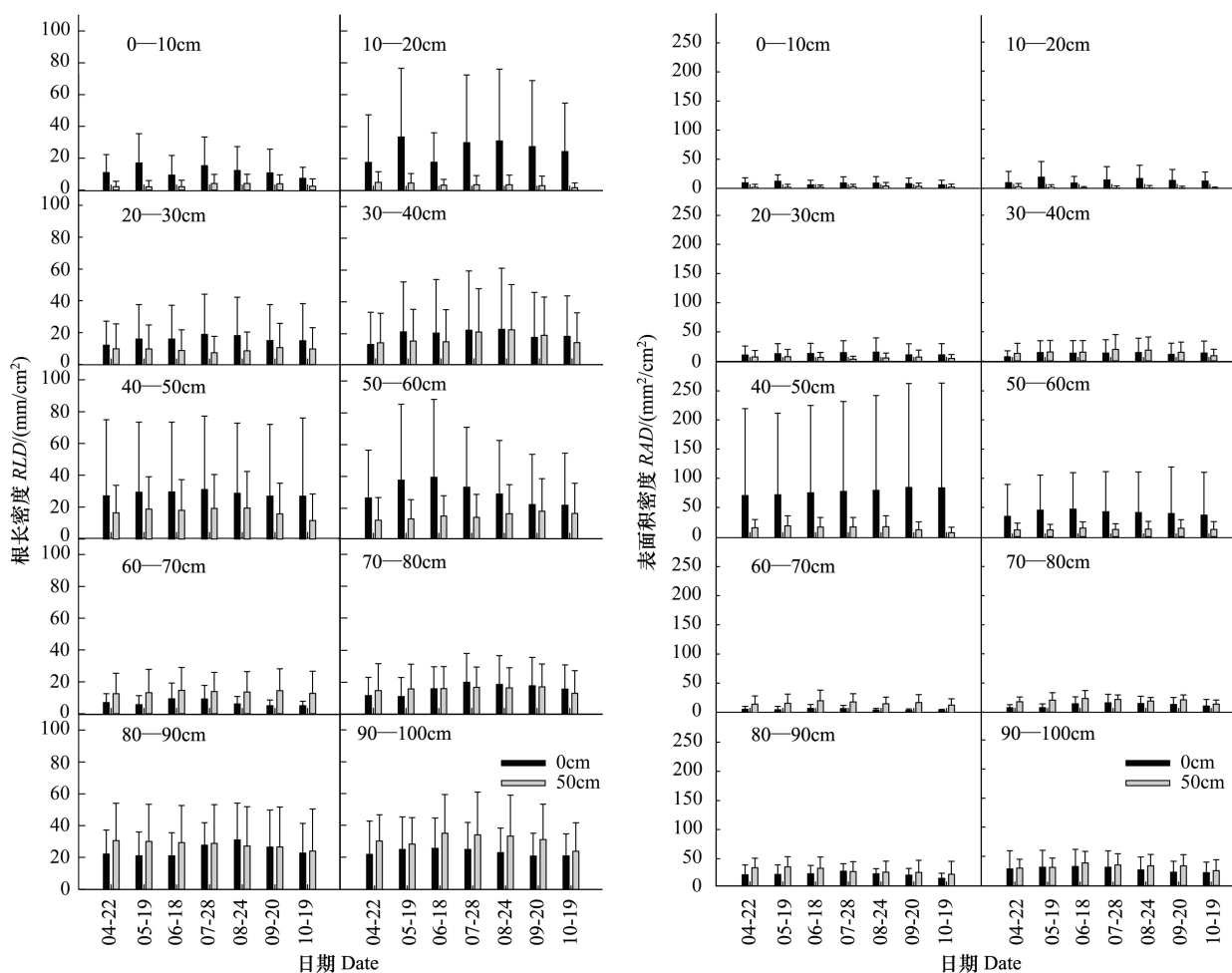


图3 距株行 0 cm 和 50 cm 两个位点 10 个土层柠条细根根长密度 和根表面积密度的季节动态 (2009 年 4—10 月)

Fig. 3 The seasonal dynamics of root length density and surface area density of fine roots of *Caragana korshinskii* in each layer of 100 cm soil profile at 0 cm and 50 cm horizontal positions (from Apr. to Oct. in 2009)

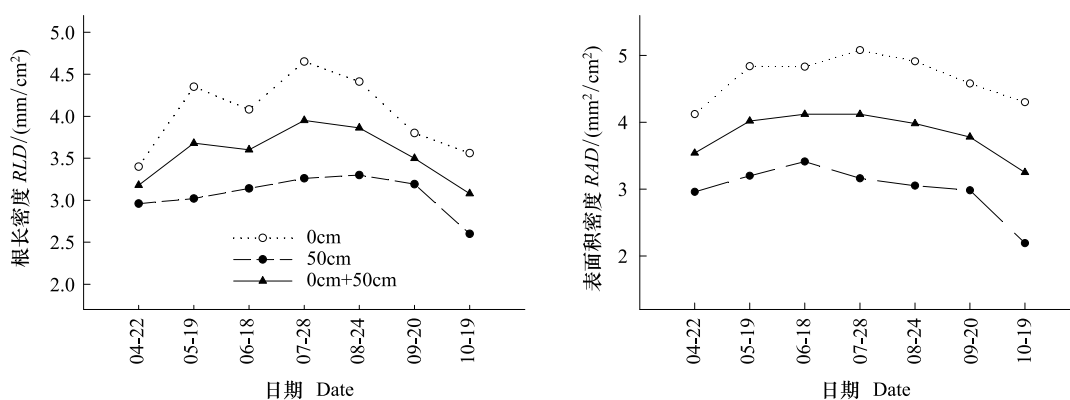


图4 2009 年幼龄柠条林地两个水平位点及其平均细根根长密度和表面积密度的季节变化

Fig. 4 The seasonal dynamics of the averaged root length density and surface area density of fine roots of *Caragana korshinskii* in the 100 cm soil profile during the growing season of 2009

和 $(3.066 \pm 0.241) \text{ mm/cm}^2$ 。这两个水平位点的幼龄柠条细根 RAD 分别为 $(4.665 \pm 0.350) \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ 和 $(2.994 \pm 0.387) \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ 。

配对数据 t 检验显示, 两水平位点的 RLD 值之间具有极显著差异 ($P < 0.01$); 二者的 RAD 值之间亦具

有极显著差异 ($P < 0.01$)。

2.2 幼林地的细根垂直分布和季节动态

柠条幼林地的细根垂直分布和季节动态即 0 cm 和 50 cm 两个水平位点的平均 RLD 和平均 RAD 的垂直分布和季节动态。

2.2.1 幼林地的细根垂直分布

从图 5 可以看出,2009 年生长季各测定日柠条细根的垂直分布格局大体相似,即 RLD 平均值大小顺序一般为深层(80—100 cm) > 中层(40—60 cm) > 亚表层(20—40 cm) > 亚深层(60—80 cm) > 表层(0—20 cm)。因此,林地细根 RLD 的垂直分布整体特点亦表现为深层 > 中层 > 亚表层 > 亚深层 > 表层(图 2)。

由图 5 同时可见, RAD 平均值大小顺序一般为中层(40—60 cm) > 深层(80—100 cm) > 亚深层(60—80 cm) \approx 亚表层(20—40 cm) > 表层(0—20 cm)。以 40—50 土层的 RAD 最大。因而林地细根 RAD 的垂直分布整体特点亦表现为中层 > 深层 > 亚表层 \approx 亚深层 > 表层(图 2)。

以上分析表明,细根 RLD 的垂直分布与细根 RAD 的垂直分布格局并不尽相同。中层土壤内细根 RLD 小于深层,而其细根 RAD 却大于深层,意味着中层土壤中的细根平均直径大于深层。表明林地 40—60 cm 土层土壤可能为植物吸收水分和营养的主要部位。

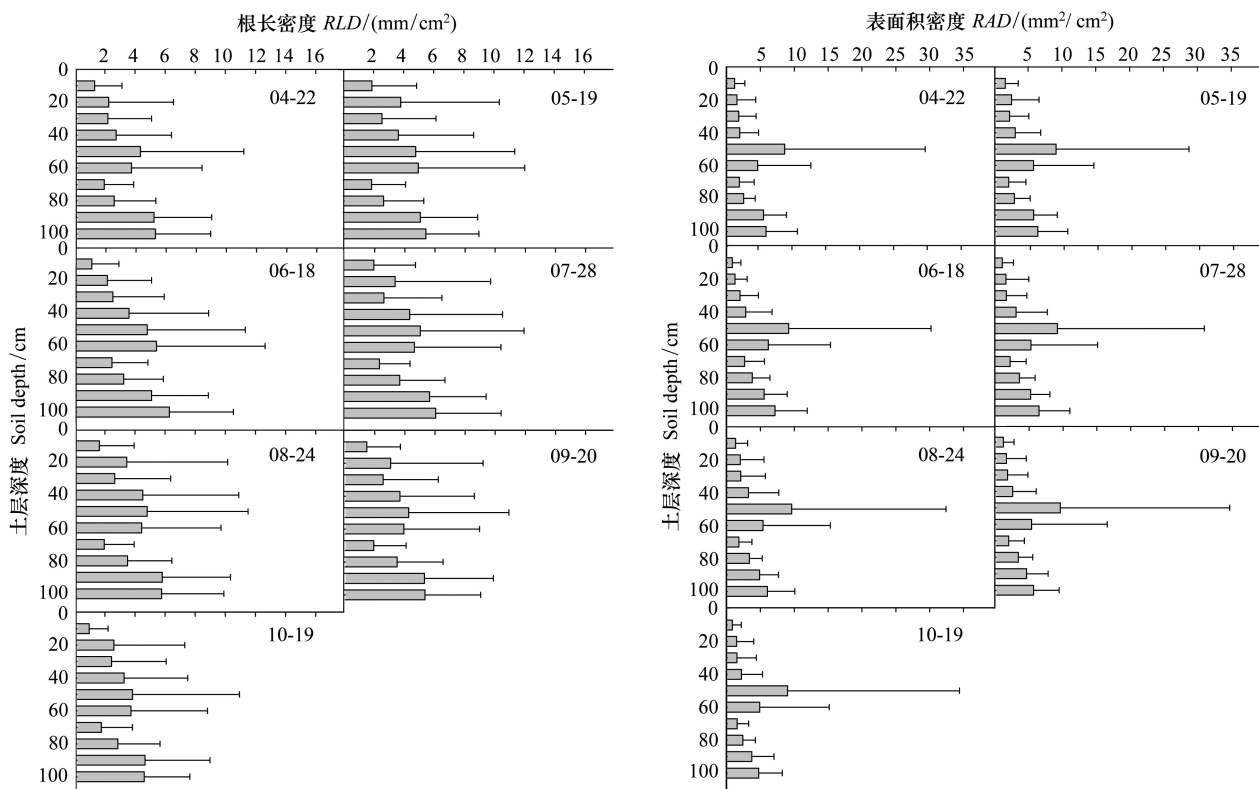


图 5 2009 年生长季各测定日两位点柠条细根平均根长密度和平均根表面积密度的垂直分布

Fig. 5 The vertical distributions of the averaged root length density and surface area density of fine roots of *Caragana korshinskii* for 0 cm and 50 cm horizontal positions during the growing season of 2009

2.2.2 幼林地的细根季节动态

从图 6 可以看出,除了表层(0—20 cm)之外,其余各土层柠条细根的 RLD (RAD)均呈现出季初较小,中期增大,末期又变小的趋势。在 2009 年生长期,幼林地的细根 RLD 总平均值(即 0 cm 和 50 cm 两个水平位点 RLD 的平均值)为 (3.549 ± 0.327) mm/cm²,细根 RAD 总平均值(即 0 cm 和 50 cm 两个水平位点 RAD 的平均值)为 (3.830 ± 0.332) mm²/cm²。

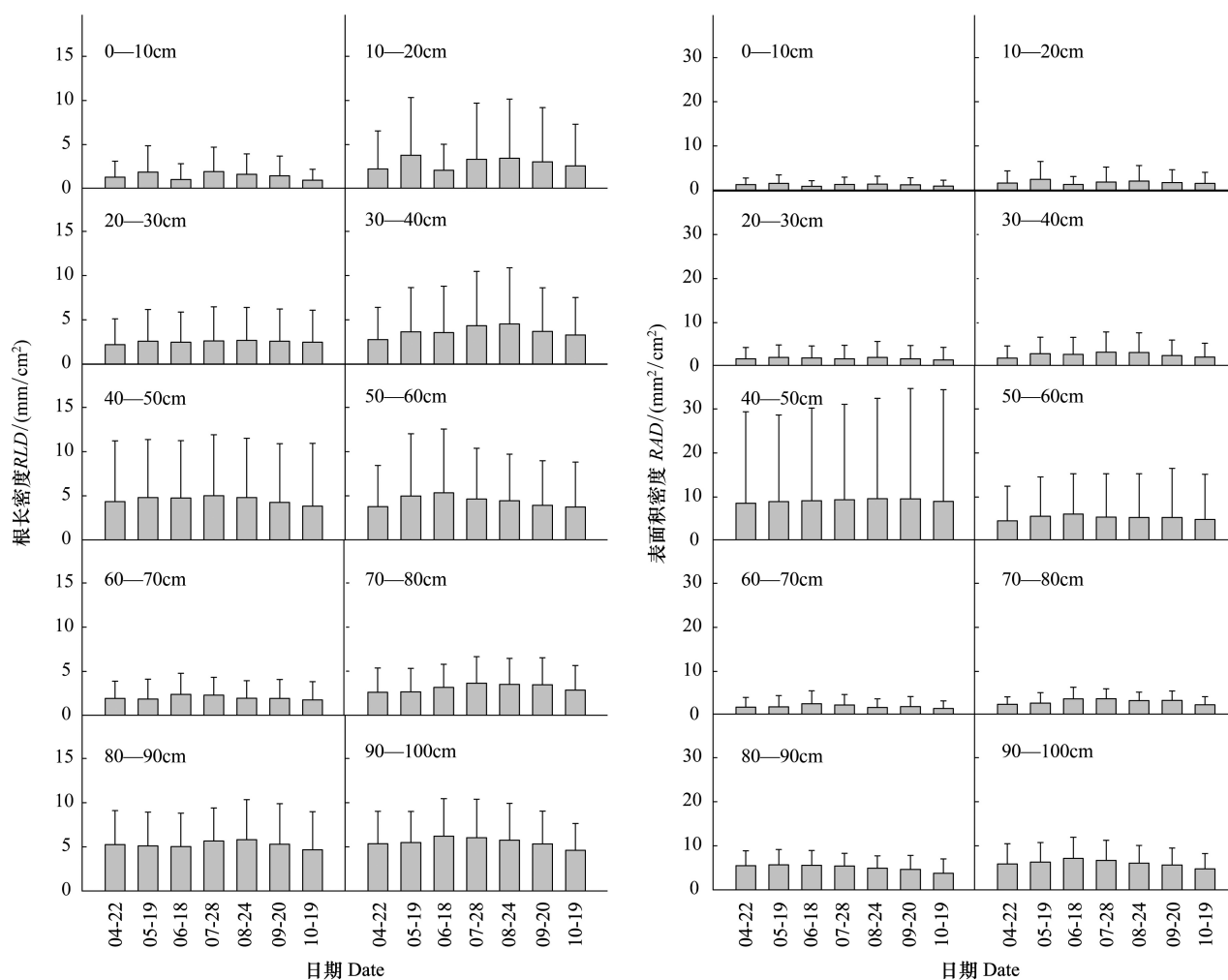


图6 林地各土层两位点柠条细根平均根长密度和平均根表面积密度的季节动态

Fig. 6 The seasonal dynamics of the averaged root length density and surface area density of fine roots of *Caragana korshinskii* in each layer of 100 cm soil profile for both 0 cm and 50 cm horizontal positions

2.3 年生长期细根 RLD、RAD 与环境因子的关系

以细根根长密度(RLD)和细根表面积密度(RAD)数据(图4),以及对应环境因子数据为基础,对两变量之间的相关性进行分析。结果表明(表1),在0 cm水平位点,细根 RLD 和 RAD 的季节变化与气温和土壤温度的季节变化均具有显著相关性,但是这二者与降水量和土壤含水量的季节变化相关性则均不显著。在50 cm水平位点,细根 RLD 的季节变化与气温和土壤温度的季节变化具有显著相关性,但是细根 RAD 与土壤温度和气温季节变化的相关性则不显著。在50 cm水平位点,细根 RLD 和 RAD 季节变化与降水量和土壤含水量季节变化的相关性同样均不显著。

就整体而言(0 cm+50 cm),细根 RLD 和 RAD 的季节变化与气温和土壤温度的季节变化具有显著相关性,但是它们与降水量和土壤含水量的季节变化相关性则均不显著(表1)。

3 讨论

以上研究结果表明,0 cm水平位点的细根垂直分布波动大于50 cm水平位点。尽管前者的表土层(0—10 cm)细根分布少于深土层(80—100 cm),但其余多数土层的细根分布不是少于表层就是多于深层。而后者不仅表层细根分布少于深层,而且其余土层的细根分布介于表层和底层之间。两个水平位点细根垂直分布的主要差异是0 cm位点0—60 cm各土层的细根 RLD 均大于50 cm位点。

表1 幼龄柠条细根根长密度、表面积密度与气温、土壤温度、降水量和土壤含水量的相关性

Table 1 Pearson correlation coefficients between root length density, root surface area density of the fine roots of *Caragana korshinskii* seedlings and air temperature, soil temperature, rainfall and soil water content

位置 Position	细根参数 Parameter	气温 Air temperature	土壤温度 Soil temperature	降水量 Rainfall amount	土壤含水量 Soil water content
0 cm	<i>RLD</i>	0.893 **	0.851 *	0.366	-0.608
0 cm	<i>RAD</i>	0.934 **	0.919 **	0.416	-0.548
50 cm	<i>RLD</i>	0.842 *	0.838 *	0.696	-0.129
50 cm	<i>RAD</i>	0.718	0.636	0.198	-0.323
0 cm+50 cm	<i>RLD</i>	0.943 **	0.912 **	0.520	-0.478
0 cm+50 cm	<i>RAD</i>	0.910 **	0.854 *	0.335	-0.477

RLD: 细根密度; *RAD*: 表面积密度; 符号 * 和 ** 分别表示达 0.05 和 0.01 显著水平

总体而言,林地幼龄柠条细根 *RLD* 的垂直分布表现为深层>中层>亚表层>亚深层>表层;而细根 *RAD* 的垂直分布则表现为中层>深层>亚表层≈亚深层>表层。中层细根 *RLD* 小于深层,而其细根 *RAD* 却大于深层,表明林地中层土壤可能为植物吸收水分和营养的主要部位。

上述研究结果同时表明,在 0 cm 水平位点,细根 *RLD*(*RAD*) 的季节变化特点为季初(4 月)和季末(10 月)很小,生长季中期较大(其中 7 月最大)。而在 50 cm 水平位点,细根 *RLD*(*RAD*) 的季节变化则表现为季初(4 月)较小,5 月至 8 月(*RLD*)或 5 月至 6 月(*RAD*)渐大,9 月至 10 月(*RLD*)或 7 月至 10 月(*RAD*)明显变小的趋势(图 4)。两个水平位点细根季节变化的主要差异是 0 cm 位点各个测定期的细根 *RLD*(*RAD*) 均大于 50 cm 位点。

在 2009 年生长期,0 cm 和 50 cm 水平位点的幼龄柠条细根 *RLD* 总平均值分别为 4.035 mm/cm² 和 3.066 mm/cm²。这两个水平位点的幼龄柠条细根 *RAD* 总平均值分别为 4.665 mm²/cm² 和 2.994 mm²/cm²。0 cm 水平位点的 *RLD* 值和 *RAD* 值均显著高于 50 cm 水平位点($P<0.01$)。表明幼林地的柠条细根水平分布具有“近主根”特点。

此前对本区成年柠条人工林的研究发现,柠条细根的分布以 50 cm 水平位点最多,0 cm 水平位点次之,100 cm 水平位点最少^[11]。说明成林地的柠条细根水平分布没有“近主根”特点。同一试验区,幼林地和成林地的柠条细根水平分布格局具有明显差异,其原因可能有二。(1)在幼林地,柠条细根正处于向下、向外延伸的过程之中;因而目前 0 cm 位点分布较多;(2)在成年柠条林地,50 cm 位点基本位于柠条冠层边缘,树冠对降水截留少,同时光照相对较好,细根倾向于占据这一有利空间,从而导致其在此处分布较多^[11]。

以上相关分析同时表明,幼龄柠条细根 *RLD* 和 *RAD* 的季节变化与气温和土壤温度具有显著相关性,而与降水量和土壤含水量的季节变化相关性则不显著。这说明幼龄柠条细根生长与温度因子的季节变化趋势较为一致,细根生长与温度变化的关系很密切。但是从另一个角度看,*RLD* 或 *RAD* 与水分因子季节变化的相关性不显著,则不能认为细根生长与水分因子没有密切关系。*RLD*(*RAD*) 与水分因子的相关性不显著,主要是由于细根生长与水分因子的季节变化趋势同步性较差所致。由于在年生长季,降水量分配很不均匀,且降水向土壤深层入渗具有滞后现象^[13],加之柠条细根生长具有自身的物候节律,难免导致降水和土壤水分与柠条细根 *RLD*、*RAD* 的季节变化不同步。从而使二者间的相关性不显著。而事实上,水分因子无疑是影响柠条细根生长的关键因子之一。

在 2009 年生长期,幼林地柠条细根的根长密度总平均值为 3.55 mm/cm²。而对同一试验区成林地柠条细根的空间分布研究表明,其年生长期的细根根长密度总平均值 1.342 mm/cm²^[11]。幼龄柠条的细根生长量明显高于成年柠条,反映了柠条在幼龄阶段以根系生长为主^[23]的特点。

此外,通过比较年生长季始、末两次观测所得的细根 *RLD*(*RAD*) 可以发现,在 0 cm 水平位点,季末的细根现存量大于季初;而在 50 cm 水平位点,季末的细根现存量却明显小于季初。说明就当年生长季而言,前者的细根总死亡量小于总生长量,而后者的细根总死亡量则明显大于总生长量。意味着在供试柠条幼林地,两个

水平位点的细根周转模式具有一定差异。对其原因仍有待进一步研究。

References:

- [1] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above-and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 303-377.
- [2] Gordon W S, Jackson R B. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*, 2000, 81(1): 275-280.
- [3] Ruess R W, van Cleve K, Yarie J, Viereck L A. Contributions of fine root production and turnover to the carbon and nitrogen cycling in taiga forests of the Alaskan interior. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, 26(8): 1326-1336.
- [4] Aerts R, Berendse F, Klerk N M, Bakker C. Root production and root turnover in two dominant species of wet heathlands. *Oecologia*, 1989, 81(3): 374-378.
- [5] Aerts R, Bakker C, de Caluwe H. Root Turnover as determinant of the cycling of C, N, and P in a dry heathland ecosystem. *Biogeochemistry*, 1992, 15(3): 175-190.
- [6] Hansson A C, Zhao A F, Andr  n O. Fine-root growth dynamics of two shrubs in semiarid rangeland in Inner Mongolia, China. *Royal Swedish Academy of Sciences*, 1994, 23(3): 225-228.
- [7] Huang G, Zhao X Y, Zhao H L, Huang Y X, Zuo X A. Linking root morphology, longevity and function to root branch order: a case study in three shrubs. *Plant and Soil*, 2010, 336(1/2): 197-208.
- [8] Zhang Z S, Li X R, Liu L C, Jia R L, Zhang J G, Wang T. Distribution, biomass, and dynamics of roots in a revegetated stand of *Caragana korshinskii* in the Tengger Desert, northwestern China. *Journal of Plant Research*, 2009, 122(1): 109-119.
- [9] Jia L. Research progress of *Caragana*. *Plant Research*, 2001, 21(4): 515-518.
- [10] Niu X W. The distribution and description of *Caragana* Fabr. in China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(5): 107-133.
- [11] Shi J W, Wang M B, Chen J W, Cao J T. The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature *Caragana korshinskii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 726-733.
- [12] Xun J J, Li J Y, Chen J W, Shi J W, Wang M B. Relationships of fine root standing length of *Caragana korshinskii* seedlings with environmental factors. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4): 764-771.
- [13] Wang M B, Xun J J, Chen J W, Shi J W. The net growth rate of fine roots of *Caragana korshinskii* seedlings in the Loess Plateau region, Northwest Shanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1117-1124.
- [14] Wang M B, Chen J W, Shi J W, Xun J J, Li J Y. The seasonal change patterns of production and mortality of fine roots in young *Caragana korshinskii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5121-5130.
- [15] Shi J W, Wang M B, Chen J W, Zhang G M. Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a *Caragana korshinskii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(14): 3990-3998.
- [16] Johnson M G, Tingey D T, Philips D L, Storm M J. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 2001, 45(3): 263-289.
- [17] Craine J M, Tremmel D. Improvements to the minirhizotron system. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 1995, 76: 234-235.
- [18] Hendrick R L, Pregitzer K S. The demography of fine roots in a northern hardwood forest. *Ecology*, 1992, 73(3): 1094-1104.
- [19] Smit A L, Bengough A G, Engels C, van N M, Pellerin S, van de Geijn S C. Root methods: A handbook. Berlin: Springer-Verlag, 2000.
- [20] Bai W M, Cheng W X, Li L H. Applications of minirhizotron techniques to root ecology research. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3076-3081.
- [21] Shi J W, Yu S Q, Yu L Z, Han Y Z, Wang Z Q, Guo D L. Application of minirhizotron in fine root studies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 715-719.
- [22] Li J Y, Wang M B, Shi J W. Minirhizotron technique in measuring fine root indices: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1842-1848.
- [23] Niu X W. Biological characters of cultivars in *Caragana*. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1998, 13(4): 122-129.

参考文献:

- [9] 贾丽. 柠条研究进展. *植物研究*, 2001, 21(4): 515-518.
- [10] 牛西午. 中国锦鸡儿属植物资源研究-分布及分种描述. *西北植物学报*, 1999, 19(5): 107-133.
- [11] 史建伟, 王孟本, 陈建文, 曹建庭. 柠条细根的空间分布特征及其季节动态. *生态学报*, 2011, 31(3): 726-733.
- [12] 荀俊杰, 李俊英, 陈建文, 史建伟, 王孟本. 幼龄柠条细根现存量与环境因子的关系. *植物生态学报*, 2009, 33(4): 764-771.
- [13] 王孟本, 荀俊杰, 陈建文, 史建伟. 晋西北黄土区幼龄柠条细根的净生长速率. *生态学报*, 2010, 30(5): 1117-1124.
- [14] 王孟本, 陈建文, 史建伟, 荀俊杰, 李俊英. 柠条人工幼林细根生长和死亡的季节变化. *生态学报*, 2010, 30(19): 5121-5130.
- [15] 史建伟, 王孟本, 陈建文, 张国明. 柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系. *生态学报*, 2011, 31(14): 3990-3998.
- [20] 白文明, 程维信, 李凌浩. 微根窗技术及其在植物根系研究中的应用. *生态学报*, 2005, 25(11): 3076-3081.
- [21] 史建伟, 于水强, 于立忠, 韩有志, 王政权, 郭大立. 微根窗在细根研究中的应用. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 715-719.
- [22] 李俊英, 王孟本, 史建伟. 应用微根窗法测定细根指标方法评述. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1842-1848.
- [23] 牛西午. 柠条生物学特性研究. *华北农学报*, 1998, 13(4): 122-129.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元