

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

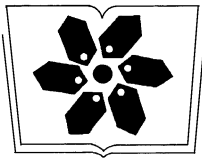
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **2011**

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 31 卷 第 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桤柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

陈建文,王孟本,史建伟. 柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究. 生态学报, 2011, 31 (22) :6978-6988.

Chen J W, Wang M B, Shi J W. A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature *Caragana korshinskii* plantations. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (22) :6978-6988.

柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究

陈建文,王孟本*,史建伟

(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柠条(*Caragana korshinskii*)人工林幼林和成林为研究对象,应用微根管技术(Minirhizotron technique)对林地 0—100 cm 土壤剖面的柠条细根生长动态进行了观测。以 2007 年生长季(4—9 月)观测数据为基础,对两林地的柠条细根生长速率(G , $\text{mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$)和细根死亡速率(M , $\text{mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$)的时空变化格局及其与气温、降水、土壤温度和土壤水分等环境因子的关系进行了研究。结果表明,在年生长季,幼林的 G ($0.1264 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$)和 M ($0.0354 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$)均高于成林(分别为 $0.0914 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$ 和 $0.0220 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$)。在垂直分布上,幼林 G 出现最大值的土层深度(70—80 cm)较成林(50—60 cm)为深。两林地的 G 和 M 具有相似的季节变化特点,即 G 在 4 月到 7 月之间缓慢增大,8 月迅速达到峰值,之后迅速减小; M 自 4 月至 9 月 M 呈持续增高趋势。配对数据 t 检验结果显示,幼林与成林的 G 没有显著差异($P>0.05$),而幼林的 M 显著高于成林($P<0.05$)。Pearson 相关系数表明,幼林和成林 G 的垂直分布与土壤温度和土壤水分的垂直变化没有显著相关性;但是幼林和成林 M 的垂直分布与土壤温度的相关性显著(幼林地 $P<0.01$;成林地 $P<0.05$)。在年生长季,幼林 G 与气温和土壤温度具有显著正相关性(与气温的 $P<0.01$;与土壤温度的 $P<0.05$);而成林 G 与各环境因子的相关性则均不显著($P>0.05$)。两林地的 M 与各环境因子的相关性均不显著($P>0.05$)。

关键词:细根;柠条;根长密度;微根管;环境因子

A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature *Caragana korshinskii* plantations

CHEN Jianwen, WANG Mengben*, SHI Jianwei

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

Abstract: There are double functions as “source” and “sink” for plant roots, which are important for substance and energy exchange between plant and soil. Fine roots contribute greatly to such behaviors. Studies on the dynamics of fine root growth and mortality are essential for understanding these behaviors. *Caragana korshinskii* Kom is a shrub species widely planted in the Loess Plateau, China. The objective of this study was to characterize the fine root dynamics of young (5-year-old) and mature (30-year-old) *Caragana korshinskii* plantations in Northwest Shanxi (China) using minirhizotron technique.

Based on the data collected in the growing season (from April to September) of 2007, we analyzed the spatial-temporal patterns of fine root growth rate (G , $\text{mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$) and fine root death rate (M , $\text{mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$) of *Caragana korshinskii* in these two plantations, and the relationships of G and M with the environment factors such as soil temperature, soil water content, air temperature and precipitation. The results showed that the G and M were $0.1264 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$ and $0.0354 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$ in young plantation, while they were $0.0914 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$, $0.0220 \text{ mm cm}^{-3} \text{d}^{-1}$ in mature plantation. In the early growing season (April), the maximum values of G occurred at 40—50 cm and 10—20 cm soil layers in young and mature plantations, respectively. The maximum G occurred at deeper soil layer in the late growing season (May–September) in

基金项目:山西省科技攻关项目(2006031014)

收稿日期:2010-05-28; 修订日期:2011-07-11

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

these two plantations. In the whole growing season, the maximum values of G occurred on average at 50—60 cm and 70—80 cm soil layers in these two plantations, respectively. The M in both plantations were higher in the top soil layer (0—50 cm) than in the bottom layer (50—100 cm) in the early growing season, and then reversed in the late growing season. The change trend of G with the process of growing season was similar for two plantations: the G increased rapidly from April to July and peaked in August, and then decreased in September. The differences were that the value of G was higher in young plantation than in mature plantation from April to August, but it was lower in the former than in the later at the end of growing season. The change trend of M was also similar for two plantations: the M increased continuously from April to the end of the growing season, while, the M was higher in young plantation than in mature plantation during the whole growing season.

Paired-samples t test showed that there was no significant difference in G between these two plantations, while the M in young plantation was significantly higher than that in mature plantation ($P < 0.05$). Pearson correlation coefficients indicated that there were no significant correlations between the vertical distribution of G and these environment factors ($P > 0.05$) in both plantations, while a significant correlation existed between the vertical distribution of M and the soil temperature in young ($P < 0.01$) and mature ($P < 0.05$) plantations. There was a significant relationship between the seasonal changes of G and air / soil temperature ($P < 0.05$) in young plantation, whereas the relationship between the seasonal changes of G and air / soil factor was insignificant ($P > 0.05$) in mature plantation. Meanwhile no significant relationships were found between M and these environment factors ($P > 0.05$) in both plantations.

Key Words: fine root; *Caragana korshinskii*; fine root density; minirhizotron; environmental factor

植物根系具有“源”和“汇”的双重功能,是养分与水分的“源”和 C“汇”,是植物与土壤进行物质与能量交换的重要环节^[1-2]。细根(直径 <2 mm)在植物根系行使这些功能的过程中起着举足轻重的作用。虽然细根生物量在整个系统中所占的比例仅为 3%—30%,但由于细根行使其功能的过程与其本身的生长与死亡密不可分,维持这一过程需消耗净初级生产力的 10%—75%^[3-5]。因此,清楚的了解细根生长和死亡的格局对土壤碳循环的定量估计非常重要^[6]。通常,人们采用根钻法,内生长法,微根管法等来进行这方面的研究,在这些方法中,微根管法是唯一对根扰动较小,并能通过持续的观察来同时获得细根的生长和死亡动态的方法^[7-9]。到目前为止,微根管技术已被广泛的应用于植物根系的研究中。

林木细根的水平垂直生长分布随树种^[10-11]以及研究点^[8, 12]的不同而不同。以往的研究表明,在大部分的森林生态系统中,细根的垂直分布随土层深度的增加而减少^[10, 13-14]。对于干旱半干旱地区来说,由于降雨量较少以及水土流失严重,土壤表层的含水量一般低于下层^[15-16]。这种土壤水分状况可能限制了细根在土壤表层的分布,使得细根向土壤深层分布^[11, 17]。

柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)是豆科锦鸡儿属植物,属于亚洲中部荒漠的阿拉善地方种,主要分布于我国北方干旱半干旱地区^[18],是黄土高原主要造林树种之一,具有良好的防风固沙和保持水土功能。初步研究表明,柠条根系主要分布在 10—100 cm 土层内,根深和根幅多在 1—4 m 范围内^[19]。柠条在幼年期,其生长以根系为主^[19-20]。本文旨在对幼龄柠条细根进行研究^[21-23]的基础上,对晋西北黄土区人工幼林和成林地的柠条细根的时空分布异同点及其与环境因子的关系进行比较研究,以检验(1)幼林与成林柠条细根的分布是否均集中在土壤下层(即 50—100 cm 土层), (2)幼林细根生长量是否高于成林。

1 研究方法

1.1 试验区概况和样地设置

试验区位于山西省五寨县张家坪林场(东经 111°16.296', 北纬 38°58.825', 海拔 1448 m)。该区属温带大陆性季风气候,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,一般终霜日在 5 月中

旬,初霜日在9月中旬,平均无霜期为125d。该区土壤为黄土状淡栗褐土,土壤肥力较低。

试验用林分为5年生和30年生柠条人工林,位于梁峁缓坡部位,坡度0—5°。林分分别源于1977年与2002年播种造林,播种时行距均为2 m。在两林地中分别设置30 m×30 m样地,样地四周以2 m高铁丝网维护,建成固定样地。样地内各有柠条11行,2007年平均株高分别为123.6 cm和176.6 cm,基茎分别为0.45 cm和1.62 cm,总盖度分别为32.7%和63.4%。

1.2 微根管的安装

2006年10月,在两样地中心25 m×25 m的区域内,在幼林地随机选择3个行间,成林地随机选择4个行间,每个行间在距株行0、50、100 cm处各安装1根微根管,幼林地共安装微根管9根,成林地共安装微根管12根。参照Johnson等^[24]的方法安装微根管,微根管(长150 cm,外径5.5 cm,内径5.0 cm)与地面呈45°角,垂直深度100 cm,露出地面部分约20 cm。安装前管底密封,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。试验过程中,及时清除周围草本植物及其根系以排除干扰。

1.3 细根数据的采集、整理

由于微根管安装后需要一定的稳定时间,所以本试验的数据采集工作从2007年4月10日开始进行。到11月15日为止,共进行了9次观测。观测周期为每月1次,个别月份观测了2次。采用BTC图像采集系统(美国Bartz技术公司生产)进行根系图片的采集,观测窗面积为1.8 cm×1.4 cm,每根微根管收集91—92幅图片。图片的分析采用Roottrack2.0软件,以获取细根的长度,直径等数据。分活根(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^[7]。依据微根管号、观测框位置、取样时间、细根编号等建立细根数据库。根据所安装的微根管的垂直深度(100 cm),本文以10 cm为单位对柠条林地土壤剖面的细根进行统计分析。

为了与常用的单位土壤体积为基础的细根动态数据进行比较,本文以单位土壤体积的根长密度(RLD , mm/cm³)作为基本参数。

$$RLD = RL / (A \times DOF)$$

式中, RL (mm)为观测窗中观测到的细根根长; A (cm²)为观测窗面积; DOF (cm)为田间深度^[25-26]。本研究中的 DOF 取0.2 cm^[21]。

以单位时间、单位土壤体积的细根生长量和死亡量表示细根的生长速率(G)和死亡速率(M):

$$G(M) = \Delta RLD \text{ 增(减)} / T$$

式中, ΔRLD 增(减)为相邻两次观测值之间单位土壤体积的柠条细根生长量(死亡量), T 为相邻两次观测之间的间隔天数(d)。 G 和 M 的单位均为mm cm⁻³ d⁻¹。

参照Burton等的方法对生长季细根生长量和死亡量进行估算^[27]。在本文中,生长季细根生长量是指从4月10日至9月23日各次观测得到的细根(已有细根和新生细根)长度增加值之和(mm/cm³),生长季细根死亡量是指各次观测得到的细根(因细根死亡、脱落和昆虫取食等)长度减少值之和(mm/cm³)。

1.4 环境因子的观测

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。气温和降雨量通过在野外设立Watch Dog气象站(美国Spectrum公司生产)获取。土壤温度用TidbiT v2袖珍温度记录仪(美国Onset公司生产)测定,在两林地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,测定时间与微根管观测同步。取样方法为:在两样地0—20、40、60、80、100 cm土层深度分别取样,每层2个样品,每次3个样点(在3个行间设点,样点位于行距中间),由此获得每个土层或整个土壤剖面的平均土壤水分含量。因为Watch Dog气象站的降雨量测定功能2007年中期出现故障,本文降雨量数据取自距试验点约6 km的五寨县气象站。

1.5 数据分析

由于本地无霜期介于5月中旬至9月中旬。根据 Watchdog 气象监测数据,2007 年日平均温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的时期为4月下旬至9月中旬。因此,本文主要对该年4月至9月两林地柠条细根的生长和死亡动态进行分析。

采用 SPSS 11.0 软件对数据进行统计分析。用配对数据 t 检验对幼林与成林细根 G 或 M 的垂直分布平均值或年生长季平均值是否具有显著差异进行检验;用单因素方差分析对不同土层深度、不同月份的 G 或 M 是否具有显著差异进行检验;用 Pearson 相关系数对 G 或 M 与土壤温度、土壤含水量、气温和降雨量等环境因子的相关性进行分析。由于观测到的细根直径均小于 1 mm (其中大部分小于 0.5 mm), 所以没有对细根进行分径级分析。

2 结果与分析

2.1 幼林与成林细根 G 和 M 的垂直分布

2.1.1 两林地细根 G 垂直分布比较

在 $0\text{--}100\text{ cm}$ 土壤剖面,两林地 G 的垂直变化并不一致。在生长季初期,幼林地 $20\text{--}30\text{ cm}$ 、 $40\text{--}50\text{ cm}$ 和 $70\text{--}80\text{ cm}$ 土层均表现出较高的 G ;而成林地仅在 $10\text{--}20\text{ cm}$ 土层具有较高的 G (图 1 a)。到了生长季中期,幼林和成林的细根 G 逐渐以更深土层为高 (图 1 c, d, e)。在生长季末期,幼林 G 最大值主要出现在 $70\text{--}80\text{ cm}$ 土层;而成林则在 $10\text{--}20\text{ cm}$ 和 $70\text{--}80\text{ cm}$ 土层表现出较高的 G 。从整个生长季来看 (图 2), 两林地的 G 最大值均分布于 50 cm 土层以下。所不同的是,幼林 G 在 $70\text{--}80\text{ cm}$ 土层最高,而成林 G 则在 $50\text{--}60\text{ cm}$ 土层最高。

方差分析表明,就各个土层而言,幼林地 $70\text{--}80\text{ cm}$ 土层的 G 显著高于 $30\text{--}50\text{ cm}$ 土层 ($P < 0.05$), 而成林地 G 在各土层之间均无显著差异 ($P > 0.05$)。配对数据 t 检验表明,在生长季中期 (图 1 b, c), 幼林的 G 显

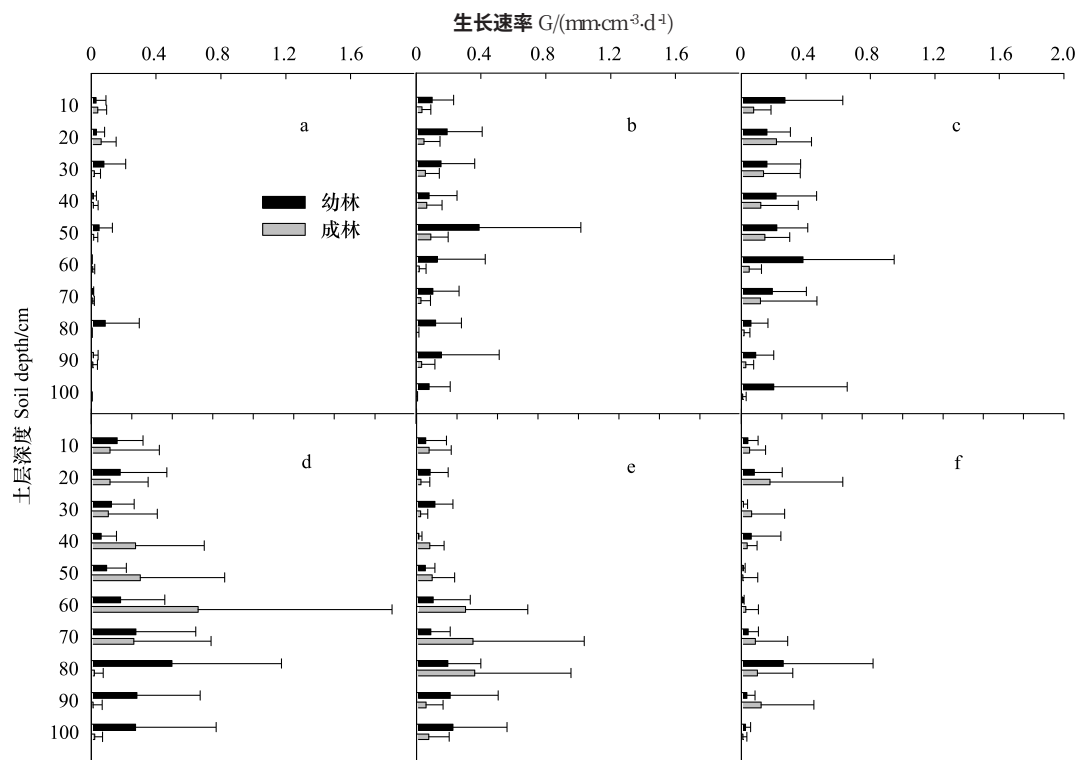


图 1 生长季不同时段柠条细根生长速率 (G) 的垂直变化 (2007)

Fig. 1 The vertical changes of fine root growth rate (G) of *Caragana korshinskii* at different stages of growing season (2007)

a: 4月11日至5月26日; b: 5月27日至7月4日; c: 7月5日至7月26日; d: 7月27日至8月12日; e: 8月13日至9月5日; f: 9月6日至9月23日

著高于成林 ($P < 0.05$), 而其余时段两林地的 G 则均无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.1.2 两林地细根 M 垂直分布比较

如图 2、图 3 所示, 幼林与成林细根 M 的垂直分布较为相似。在生长季初期, 幼林地与成林地土壤上层 (0—50 cm) 的细根 M 均小于下层 (50—100 cm), 上层 M 分别是下层的 42% 和 36% (图 3 a)。到了生长季中期与末期, 幼林地与成林地的细根 M 则以土壤上层为高, 上层 M 分别高达下层的 4.04 倍和 5.57 倍 (图 3 e)。整体上看, 幼林地与成林地土壤上层的细根 M 均高于下层, 上层分别为下层的 2.49 倍和 3.07 倍 (图 2)。

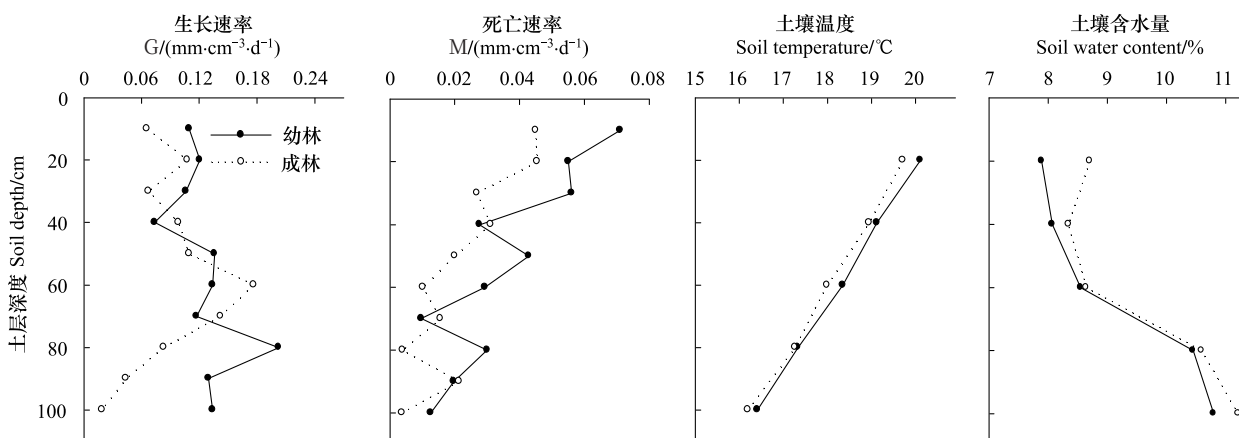


图 2 生长季 100 cm 土壤剖面柠条细根平均生长速率 (G)、死亡速率 (M)、平均土壤温度和土壤含水量 (2007)

Fig. 2 The average fine root growth/death rate (B/M) of *Caragana korshinskii*, average soil temperature, average soil water content and in 100 cm soil profile in the growing season (2007)

配对数据 t 检验结果显示, 就 100 cm 土壤剖面而言, 在 2007 年生长季, 仅在两个时段 (7 月 27 日至 8 月 12 日; 8 月 13 日至 9 月 5 日) 期间幼林的细根 M 显著高于成林 ($P < 0.05$), 其余各时段这二者的细根 M 并无显著差异。

2.2 幼林与成林细根 G 和 M 的季节动态

2.2.1 两林地细根 G 季节动态比较

在 2007 年生长季, 两林地各土层的细根 G 均表现为单峰曲线, 且随着土层深度的增加, 二者的 G 最大值出现的时间倾向于推后 (图 4)。所不同的是, 除 10—30 cm 土层外, 幼林 G 最大值出现的时间均较成林为早。整体上看, 自生长季初至 8 月中旬, 幼林与成林的细根 G 均呈上升趋势且幼林细根 G 高于成林, 但从 8 月中旬开始一直到生长季末, 二者细根 G 迅速下降。由于与成林相比, 幼林细根 G 下降的更快, 所以在此时期内, 幼林细根 G 低于成林 (图 5)。

方差分析表明, 在 30—60 cm 土层, 7 月 5 日至 7 月 26 日的幼林细根 G 显著高于其它时期 ($P < 0.05$), 而 7 月 27 日至 8 月 12 日的成林细根 G 显著高于其它时期 ($P < 0.05$)。在 60—80 cm 土层, 7 月 27 日至 8 月 12 日的幼林细根 G 显著高于其它时期 ($P < 0.05$), 而 8 月 13 日至 9 月 5 日成林细根 G 显著高于其它时期 ($P < 0.05$)。

配对数据 t 检验表明, 就 10 个土层而言, 幼林与成林的细根 G 仅在 90—100 cm 土层具有显著差异 ($P < 0.05$)。在 2007 年生长季, 幼林与成林的 G 平均值分别为 $0.1264 \text{ mm cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$ 和 $0.0914 \text{ mm cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$, 两者之间无显著差异。

2.2.2 两林地细根 M 季节动态比较

在 2007 年生长季, 两林地各土层的细根 M 最大值多出现于季末。幼林地 20—30 cm、40—50 cm、70—80 cm 和 80—90 cm 土层的细根 M 最大值出现的时间较早; 成林地 40—50 cm、50—60 cm 和 80—90 cm 土层的细根 M 最大值出现的时间较早 (图 6)。总体来看, 两林地的细根 M 具有相似的季节变化趋势, 即生长季初期

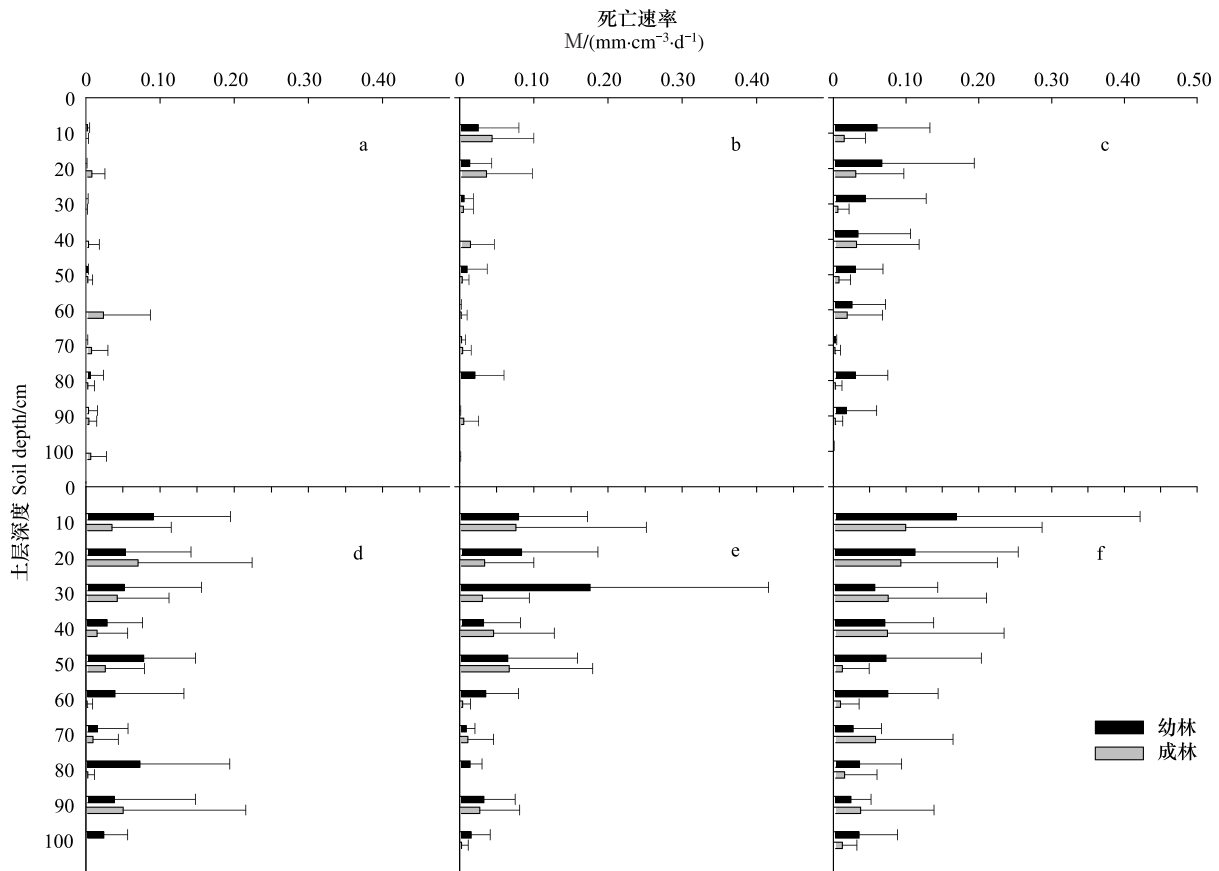


图3 生长季不同时段柠条细根死亡速率(M)的垂直变化(2007)

Fig. 3 The vertical changes of fine root death rate (M) of *Caragana Korshinskii* at different stages of growing season (2007)

a: 4月11日至5月26日;b: 5月27日至7月4日;c: 7月5日至7月26日;d: 7月27日至8月12日;e: 8月13日至9月5日;f: 9月6日至9月23日

较低,随后逐渐增大,在生长季末达到最高(图5)。在2007年生长季,幼林的细根M平均值($0.0354 \text{ mm cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$)显著高于成林($0.0220 \text{ mm cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$) ($P < 0.05$)。

2.3 细根G和M与环境因子的关系

2.3.1 细根G和M垂直分布与土壤温度和土壤水分的关系

如前所述,在0—100 cm土壤剖面,两林地柠条细根G的最大值均出现在50 cm土层以下;细根M则大体上随土层深度增加而逐渐降低(图2)。通过比较可见,G与土壤温度的垂直变化趋势具有明显差异,而M与土壤温度的垂直变化趋势则较为相似(图2)。G和M与土壤含水量的垂直变化趋势均有明显区别(图2)。

Pearson相关分析表明,成林和幼林的细根G与土壤温度和土壤水分的相关性不显著;幼林细根M与土壤温度的垂直变化具有极显著相关性($r = 0.975, P < 0.01$),成林细根M与土壤温度的垂直变化具有显著相关性($r = 0.887, P < 0.05$)。

2.3.2 细根G和M季节变化与环境因子的关系

在2007年生长季,幼林地与成林地的G具有相似的季节变化特点,即G在4月到7月之间缓慢增大,8月迅速达到峰值,之后迅速减小。两林地的M同样具有相似的季节变化趋势,但是自4月至9月M呈持续增高趋势(图5)。在4个环境因子中,气温和土壤温度与细根G之间的季节变化变化趋势较为相似,均为单峰曲线;气温和土壤温度与细根M之间的季节变化变化趋势显然不同。降水量和土壤水分在年生长季波动较大,这2者的季节变化变化趋势与两个细根参数的季节变化趋势具有明显差异。

Pearson相关分析表明(表1),幼林细根G与气温呈极显著正相关,与土壤温度呈显著正相关;幼林细根

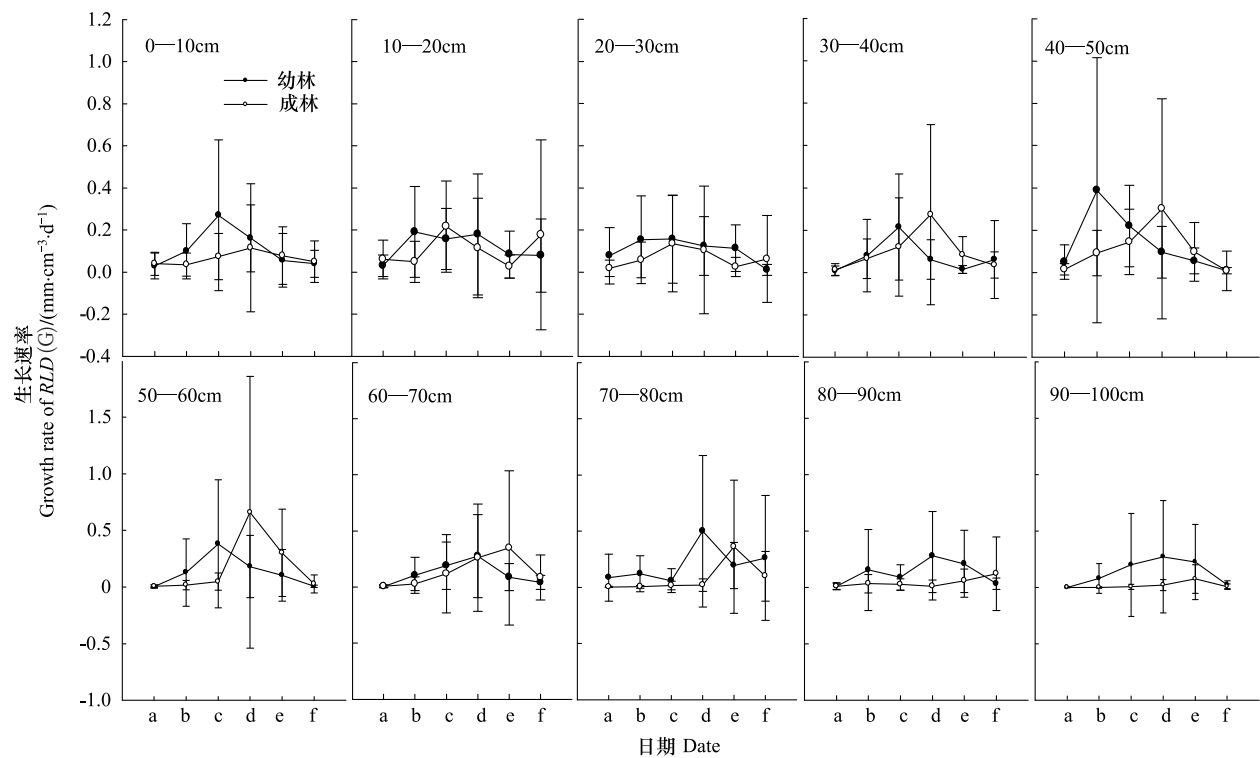


图4 10个土层柠条细根生长速率(G)的季节变化(2007)

Fig. 4 The seasonal changes of fine root growth rate (G) of *Caragana korshinskii* at 10 soil layers (2007)

a: 4月11日至5月26日;b: 5月27日至7月4日;c: 7月5日至7月26日;d: 7月27日至8月12日;e: 8月13日至9月5日;f: 9月6日至9月23日

G与降水量和土壤水分之间的相关性则不显著。成林细根G和M与各环境因子的相关性均不显著。

表1 柠条细根生长速率(G)、死亡速率(M)季节变化与环境因子的相关性

Table 1 Correlations between the seasonal changes of fine root growth/death rate (G/ M) of <i>Caragana Korshinskii</i> and environment factors					
参数 Parameter	类型 Type	气温/℃ Temperature	降雨量/mm Precipitation	土壤温度/℃ Soil temperature	土壤含水量/% Soil water content
G	幼林	0.946 **	0.267	0.845 *	0.229
	成林	0.526	0.360	0.759	0.366
M	幼林	0.009	-0.019	0.546	0.315
	成林	-0.242	-0.273	0.168	0.588

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

3 讨论

Zhang等用土钻法对沙地柠条细根分布的研究发现,15年生柠条细根生物量主要集中于20—40 cm土层,而用微根管法发现,柠条细根根长密度主要集中于40—80 cm土层^[28];成向荣等在对沙地柠条细根分布的研究中发现柠条细根表面积密度大部分集中于0—80 cm土层中^[29];赵思金等对生长季中期柠条幼林的细根分布研究(土钻法)表明,柠条幼林的细根主要分布于0—20 cm土层^[30]。在黄土高原地区,有研究表明,柠条细根表面积密度在表层30 cm处达到最大值^[31];刺槐细根表面积密度在半干旱气候区和半湿润气候区分别在0—20 cm土层和60 cm土层处达到最大值^[32]。Jonsson等对赤桉细根分布的研究中发现,随土壤深度的增加,细根生物量逐渐增加,且在50 cm以下出现最大值^[11]。本研究结果表明,幼林与成林的G最大值均出现在50 cm土层以下(图2)。这可能是因为在黄土高原干旱半干旱地区,在降雨量不足,表层土壤水分含量持续较低的情况下,细根在土壤表层的分布必然受到限制。与此同时,土壤质地,有机物含量和通气性等因素

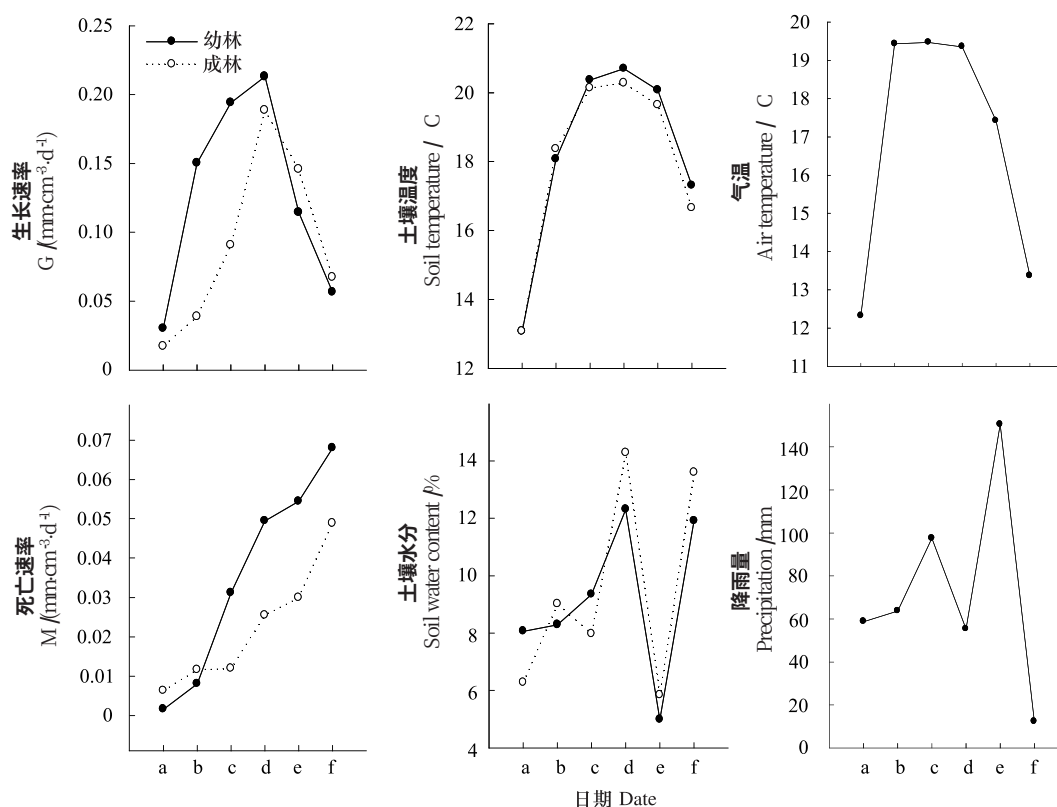


图5 柠条细根平均生长速率(G)、死亡速率(M)、平均土壤温度、土壤含水量、气温和降雨量的季节变化(2007)

Fig. 5 Seasonal changes of the average fine root growth/death rate (G/M) of *Caragana korshinskii*, average soil temperature, average soil water content, air temperature and precipitation (2007)

亦可能对细根在土壤中的垂直分布产生影响^[33]。

细根是土壤中吸收水分和养分最活跃的器官,其在土壤剖面的生长和分布与土壤水分密切相关^[34-39]。关于细根分布随水分梯度的变化向深层分布的现象在1978年已经被观察到^[17]。本研究中,柠条幼林与成林地100 cm土壤剖面的土壤水分均表现出随土壤深度增加而增加的趋势,这可能是造成下层细根G较大的主要原因。在0—100 cm土层中,幼林的G在70—80 cm土层最高,而成林的G最大值却出现在50—60 cm土层(图2)。幼林的G在较深土层较高,可能与幼林地土壤含水量的垂直分布特点有关。如图2所示,尽管两林地的土壤含水量均呈现出自上而下逐渐增大的趋势,但幼林地各土层的土壤含水量均低于成林。幼林的细根在较深土层生长更快,显然有利于获取更多水分。而本研究中土壤水分与细根G相关性不显著,则可能的是由于细根具有“觅食(foraging)”效应^[40]所致。由于细根的垂直分布不仅受土壤水分的影响,而且受土壤营养元素(如土壤有效氮)等因素的共同作用,G与土壤水分之间的关系并非简单的线性关系,所以这2者的相关性不显著。

本研究中,两林地柠条细根M的垂直变化随着季节进程出现较为相似的变化趋势(图3),即除了生长季初期之外,幼林地与成林地的细根M均以土壤剖面上层为高;这与Fitter对几种草本的研究结果基本一致^[41]。在整个年生长季,两林地的柠条细根M以0—30 cm土层为最大,这种现象在Karibu等对日本矮竹的研究中亦有类似发现^[42]。总体而言,两林地上层细根G较小,M较大,亦可能是因为年生长季林地上层土壤温度较高而水分含量较少(图2)所致。

已有研究表明,细根生长的季节动态表现为3种形态,即无明显季节格局^[17],单峰曲线^[43]和双峰曲线^[44]。Zhang等用微根管法对沙地柠条根系的季节动态的研究结果表明,15年生柠条根长密度的季节变化表现为单峰曲线且峰值出现在9月份^[28];本研究结果表明,柠条幼林与成林细根G均表现出了单峰的季节动

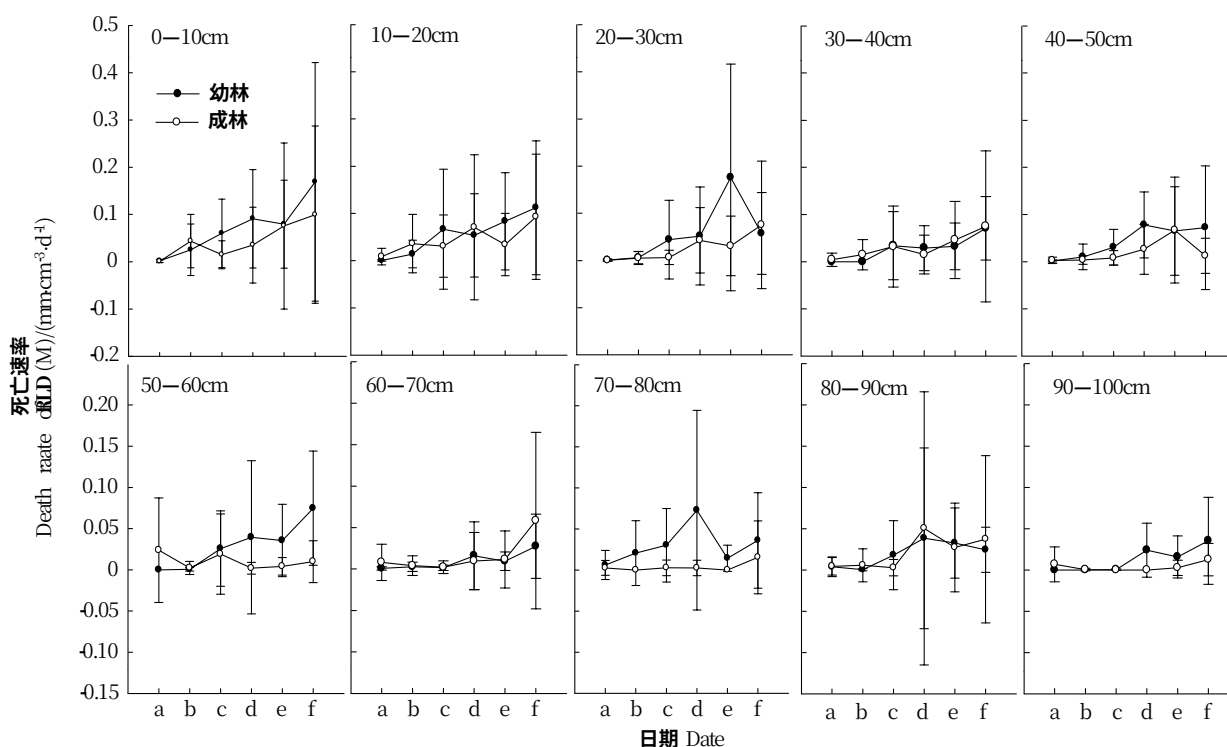


图6 10个土层柠条细根死亡速率(M)的季节变化(2007)

Fig. 6 The seasonal changes of fine root death rate (M) of *Caragana korshinskii* at 10 soil layers (2007)

a: 4月11日至5月26日; b: 5月27日至7月4日; c: 7月5日至7月26日; d: 7月27日至8月12日; e: 8月13日至9月5日; f: 9月6日至9月23日

态,但与 Zhang 等的研究有所区别的是,本研究中无论成林还是幼林,其细根 G 峰值均出现在8月份。这可能与两个研究中人工柠条林所处的生境不同有关。Kirsi 等对灌木,草本和苏格兰松的研究表明,在生长季末(10月份),活细根的生物量降低,而死根的生物量增加^[45];这与本研究结果基本一致。本研究还发现,在0—100 cm 各个土层中,幼林细根 G 出现峰值的时期均较成林为早,这可能与幼龄柠条的物候期比成年龄柠条略早有关。

Hendick 等用微根管法对一种阔叶落叶林的研究中发现,该阔叶林细根的死亡量在生长季末(9月16日到10月14日)达到最大^[7], Ponti 等在对橡树细根动态的研究中也被观察到了类似的现象^[46]。本研究发现,无论是柠条幼林还是成林,细根 M 随生长季的变化表现出持续升高的趋势。细根的死亡是一个复杂的生理生态过程。从生理学角度讲,细根的死亡与光合产物的分配有关^[1]。Eissenstat 和 Yanai 提出根死亡的部分原因是:当落叶产生之后,来自叶片的碳供应降低,根系通过死亡为抵御降低的碳供应,从而导致在叶片衰老之后细根秋季较高的死亡率^[47-48]。本研究所观察到的柠条细根 M 随季节变化现象较好的印证了这一说法。由此推测,无论是柠条幼林还是成林,其细根 M 将在生长季后持续升高并达到一个峰值,而在下一个生长季到来之前降到最低。而对这一推论还有待进一步观测验证。

References:

- [1] Farrar J F, Jones D L. The control of carbon acquisition by roots. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 43-53.
- [2] Andersen C P. Source-sink balance and carbon allocation below ground in plants exposed to ozone. *New Phytologist*, 2003, 157(2): 213-228.
- [3] Vogt K A, Grier C C, Gower S T, Sprugel D G, Vogt D J. Overestimation of net root production: a real or imaginary problem? *Ecology*, 1986, 67(2): 577-579.
- [4] Raich J W, Nadelhoffer K J. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. *Ecology*, 1989, 70(5): 1346-1354.
- [5] Norby R J, Jackson R B. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 3-12.

- [6] Shibata H, Hiura T, Tanaka Y, Takagi K, Koike T. Carbon cycling and budget in a forested basin of southwestern Hokkaido, northern Japan. *Ecological Research*, 2005, 20(3): 325-331.
- [7] Hendrick R L, Pregitzer K S. The demography of fine roots in a northern hardwood forest. *Ecology*, 1992, 73(3): 1094-1104.
- [8] Hendrick R L, Pregitzer K S. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23(12): 2507-2520.
- [9] Vogt K A, Vogt D J, Bloomfield J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil*, 1998, 200(1): 71-89.
- [10] Nambiar E K S. Root development and configuration in intensively managed radiata pine plantations. *Plant and Soil*, 1983, 71(1/3): 37-47.
- [11] Jonsson K, Fidjeland L, Maghembe J A, Högborg P. The vertical distribution of fine roots of five tree species and maize in Morogoro, Tanzania. *Agroforestry Systems*, 1988, 6(1): 63-69.
- [12] Ares A, Peinemann N. Fine-root distribution of coniferous plantations in relation to site in southern Buenos Aires, Argentina. *Canadian Journal of Forest Research*, 1992, 22(11): 1575-1582.
- [13] Joslin J D, Henderson G S. Organic matter and nutrients associated with fine root turnover in a white oak stand. *Forest Science*, 1987, 33(2): 330-346.
- [14] Burke M K, Raynal D J. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil*, 1994, 162(1): 135-146.
- [15] Canadell J, Djema A, López B, Lloret F, Sabaté S, Siscart D, Gracia C A. Structure and dynamics of the root system//Rodà F, Retana J, Gracia C A, Bellot J, eds. *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999: 49-59.
- [16] Wang X X, Zhang X P. Vertical changes of soil moisture and ecological impacts in west Shanxi Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(2): 200-204.
- [17] Persson H. Root dynamics in a young Scots pine stand in Central Sweden. *Oikos*, 1978, 30(3): 508-519.
- [18] Niu X W. Study on *Caragana korshinskii*. Beijing: Science Press, 2003: 15-16.
- [19] Niu X W, Ding Y C, Zhang Q, Xu Q. Studies on the characteristics of *Caragana* root development and some relevant physiology. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(5): 860-865.
- [20] Wu Q X, Ding H F, Liu K J. A study on *Caragana microphylla* root system in semiarid loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1989, 9(3): 45-49.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Johnson M G, Tingey D T, Phillips D L, Storm M J. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 2001, 45(3): 263-289.
- [25] Zhang Z S, Li X R, Zhang J G, Wang X P, Zhao J L, Chen Y W. Root growth dynamics of *Caragana korshinskii* using minirhizotrons. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3): 457-464.
- [26] 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.
- [27] Burton A J, Pregitzer K S, Hendrick R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests. *Oecologia*, 2000, 125(3): 389-399.
- [28] 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.
- [29] Cheng X R, Huang M B, Shao M A. Relationship between fine roots distribution and soil water consumption of *Populus simonii* and *Caragana korshinskii* plantation on sandy land. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(5): 77-83.
- [30] Zhao S J, Han L B, Song G L, Zhang Y X, Zhang C H. Study on root distribution of four species of shrub in artificial shrub and grass mixture communities. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(4): 799-804.
- [31] Cheng X R, Huang M B, Shao M A. Vertical distribution of representative plantation's fine root in wind-water erosion crisscross region, Shennu. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(2): 321-327.
- [32] Zhao Z, Cheng X R, Xue W P, Wang D H, Yuan Z F. Difference of fine root vertical distribution of *Robinia pseudoacacia* under the different climate regions in the Loess Plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(11): 1-7.
- [33] López B, Sabaté S, Gracia C A. Vertical distribution of fine root density, length density, area index and mean diameter in a *Quercus ilex* forest. *Tree Physiology*, 2001, 21(8): 555-560.
- [34] López B, Sabaté S, Gracia C A. Annual and seasonal changes in fine root biomass of a *Quercus ilex* L. forest. *Plant and Soil*, 2001, 230(1): 125-134.

- [35] Espeleta J F, Donovan L A. Fine root demography and morphology in response to soil resource availability among xeric and mesic sandhill tree species. *Functional Ecology*, 2002, 16(1): 113-121.
- [36] Fujimaki R, Tateno R, Hirobe M, Tokuchi N, Takeda H. Fine root mass in relation to soil N supply in a cool temperate forest. *Ecological Research*, 2004, 19(5): 559-562.
- [37] Usman S, Singh S P, Rawat Y S. Fine root productivity and turnover in two evergreen central Himalayan forests. *Annals of Botany*, 1999, 84(1): 87-94.
- [38] Pregitzer K S, King J S, Burton A J, Brown S E. Responses of tree fine roots to temperature. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 105-115.
- [39] Chen X Y, Eamus D, Hutley L B. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. *Journal of Tropic Ecology*, 2004, 20(2): 221-224.
- [40] North G B, Nobel P S. Heterogeneity in water availability alters cellular development and hydraulic conductivity along roots of a desert succulent. *Annals of Botany*, 2000, 85(2): 247-255.
- [41] Fitter A H. Spatial and temporal patterns of root activity in a species-rich alluvial grassland. *Oecologia*, 1986, 69(4): 594-599.
- [42] Fukuzawa K, Shibata H, Takagi K, Satoh F, Koike T, Sasa K. Vertical distribution and seasonal pattern of fine-root dynamics in a cool-temperate forest in northern Japan: implication of the understory vegetation, *Sasa* dwarf bamboo. *Ecological Research*, 2007, 22(3): 485-495.
- [43] McClaugherty C A, Aber J D, Melillo J M. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, 1982, 63(5): 1481-1490.
- [44] Shan J P, Tao D L, Wang M, Zhao S D. Fine root turnover in a broad-leaved Korean Pine forest of Changbai mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993, 4(3): 241-245.
- [45] Makkonen K, Helmisaari H S. Seasonal and yearly variations of fine-root biomass and necromass in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. *Forest Ecology and Management*, 1998, 102(2/3): 283-290.
- [46] Ponti F, Minotta G, Cantoni L, Bagnaresi U. Fine root dynamics of pedunculate oak and narrow-leaved ash in a mixed-hardwood plantation in clay soils. *Plant and Soil*, 2004, 259(1/2): 39-49.
- [47] Eissenstat D M, Yanai R D. The ecology of root lifespan. *Advances in Ecological Research*, 1997, 27: 1-60.
- [48] Mei L, Wang Z Q, Cheng Y H, Guo D L. A review: factors influencing fine root longevity in forest ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 704-710.

参考文献:

- [16] 王晓贤, 张学培. 晋西黄土高原土壤水分垂直变化规律及生态影响. *水土保持研究*, 2009, 16(2): 200-204.
- [18] 牛西午. 柠条研究. 北京: 科学出版社, 2003: 15-16.
- [19] 牛西午, 丁玉川, 张强, 徐强. 柠条根系发育特征及有关生理特性研究. *西北植物学报*, 2003, 23(5): 860-865.
- [20] 吴钦孝, 丁汉福, 刘克俭. 黄土丘陵半干旱地区柠条根系的研究. *水土保持通报*, 1989, 9(3): 45-49.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [25] 张志山, 李新荣, 张景光, 王新平, 赵金龙, 陈应武. 用 Minirhizotrons 观测柠条根系生长动态. *植物生态学报*, 2006, 30(3): 457-464.
- [26] 李俊英, 王孟本, 史建伟. 应用微根管法测定细根指标方法评述. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1842-1848.
- [29] 成向荣, 黄明斌, 邵明安. 沙地小叶杨和柠条细根分布与土壤水分消耗的关系. *中国水土保持科学*, 2008, 6(5): 77-83.
- [30] 赵思金, 韩烈保, 宋桂龙, 张咏新, 张才厚. 不同人工灌木与草混播群落中 4 种灌木根系分布的研究. *西北植物学报*, 2008, 28(4): 799-804.
- [31] 成向荣, 黄明斌, 邵明安. 神木水蚀风蚀交错带主要人工植物细根垂直分布研究. *西北植物学报*, 2007, 27(2): 321-327.
- [32] 赵忠, 成向荣, 薛文鹏, 王迪海, 袁志发. 黄土高原不同水分生态区刺槐细根垂直分布的差异. *林业科学*, 2006, 42(11): 1-7.
- [44] 单建平, 陶大立, 王森, 赵士洞. 长白山阔叶红松林细根周转的研究. *应用生态学报*, 1993, 4(3): 241-245.
- [48] 梅莉, 王政权, 程云环, 郭大立. 林木细根寿命及其影响因子研究进展. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 704-710.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 2011

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:100717	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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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