

长白山原始阔叶红松 (*Pinus koraiensis*) 林及其 次生林细根生物量与垂直分布特征

杨丽韞^{1,2}, 罗天祥³, 吴松涛¹

(1. 北京科技大学生态科学与工程系, 北京 100083 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101 ;

3. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085)

摘要 以我国东北长白山自然保护区内同一海拔梯度的原始阔叶红松林及其次生林——白桦山杨成熟林和白桦山杨幼林为对象, 采用土钻取样法对不同演替阶段细根生物量的变化、细根垂直分布规律及其影响因子进行系统地研究。研究结果表明, 在原始阔叶红松林的正向演替过程中, 林地细根的总生物量逐渐增加, 其中主要乔木细根的生物量逐渐增加, 而灌木和草本细根的生物量则逐渐降低。在演替过程中, 细根的垂直分布逐渐加深。在长白山地区, 3 块林地中细根生物量的组成分布受林分植被组成的影响, 细根的垂直分布与土壤容重、水分含量以及不同土层中 C、N 含量存在一定的相关性, 但与土壤温度则不存在相关关系。

关键词 长白山 红松 原始林 次生林 细根 土壤因子

文章编号: 1000-0933 (2007)09-3609-09 中图分类号: Q948, S718.5 文献标识码: A

Fine root biomass and its depth distribution across the primitive Korean pine and broad-leaved forest and its secondary forests in Changbai Mountain, northeast China

YANG Li-Yun^{1,2}, LUO Tian-Xiang³, WU Song-Tao¹

1 School of Ecological Science and Engineering, USTB, Beijing 100083, China

2 Institute of the Geographic Sciences and Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

3 Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100085, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (9): 3609 ~ 3617.

Abstract : We measured the fine root biomass and its depth distribution of a more than 200-year-old primitive Korean pine and broad-leaved forest and its two 20- and 80-year-old secondary *Populus davidiana* and *Betula platyphylla* forests in the Changbai Mountain, northeast China. The soil core method was used for root sampling. The results indicated that the total fine root biomass increased with stand age, ranging from 561.8 g/m² and 674.1 g/m² for 20-year-old and 80-year-old secondary forests, respectively, to 827.8 g/m² for the old primitive mixed forest. Fine root biomass increased in dominant tree species but decreased in the undergrowth other woody species and herbs. Along the successional development from young to old stands, the rooting depth exponentially increased though most of fine roots were distributed in the 0—10 cm soils. In the forests, the effects of soil bulk density, soil moisture, and soil organic C and N contents on fine-root depth distribution were more significant than that of soil temperature.

基金项目 中美国际合作资助项目 (5-IC-11242343-064)

收稿日期 2006-11-29 ; **修订日期** 2007-04-29

作者简介 杨丽韞 (1974 ~), 女, 山西人, 博士, 主要从事生态学研究. E-mail : wendy6393@sohu.com

Foundation item The project was financially supported by the international item between China and United States (No. 05-IC-11242343-064)

Received date 2006-11-29 ; **Accepted date** 2007-04-29

Biography YANG Li-Yun, Ph. D., mainly engaged in ecology. E-mail : wendy6393@sohu.com

Key Words : Changbai Mountain ; Korean pine ; primitive forest ; secondary forest ; fine root biomass ; soil factor

细根 ($\leq 2\text{mm}$) 是根系中重要的组成部分^[1~4],它是植被吸收水分和养分的主要器官。随着全球碳循环研究的开展,作为森林生态系统中土壤碳的主要来源^[5],细根的研究受到了广泛地关注^[6]。细根的分布与土壤环境之间存在着复杂的关系。林分被干扰后,在植被的演替和恢复过程中,植物群落组成、林分结构、土壤的理化性质和养分含量都会发生相应的变化,细根生物量组成和垂直分布也会随之改变,从而使土壤中碳贮量的分布也发生相应变化。因此对不同演替阶段细根的生物量组成和垂直分布进行比较研究,以空间变化代替时间动态,不仅可以深入了解在演替过程中细根的空间变化情况以及与相关生态因子之间的相互作用,而且还可作为土壤中碳贮量变化的研究奠定一定基础。

由于细根取样和识别费时费力,所以在国内只有少量关于细根生物量和周转方面的研究^[7~10],有关正向演替过程中细根空间变化情况的研究还未见报道,为了进一步了解林分演替过程细根组分变化以及细根垂直分布与土壤因子之间的关系,为深入研究土壤碳贮量的水平、垂直分布奠定基础,本研究对原始阔叶红松林及其次生林细根空间变化和相关因子进行分析。本研究主要对以下两个问题进行分析:(1)原始阔叶红松林正向演替过程中细根生物量的组成与垂直分布的变化;(2)影响细根空间分布的主要生态因子。

1 自然状况及研究方法

1.1 样地的选择与描述

研究地点位于我国吉林省东南部长白山自然保护区内。该区属于季风影响的温带大陆性山地气候,冬季漫长寒冷,夏季短暂温暖多雨,春季风大干燥,秋季凉爽多雾。全区年平均气温在 $4.9 \sim -7.3^{\circ}\text{C}$ 之间。年降雨量一般为 $600 \sim 900\text{ mm}$ 。土壤类型为暗棕色森林土。阔叶红松林是该区地带性植被^[1,12]。

2002 年 5 月,在同一海拔梯度、同一坡向(阳坡)、相互之间距离在 1000 m 以内的林带上,依据当地人为砍伐资料,并结合钻取多棵树木利用年轮进行分析的方法,选取原始阔叶红松林砍伐后更新的 20 a 白桦山杨幼林、80 a 白桦山杨成熟林、和保留完好的原始阔叶红松林,在林内地内选择典型地带,分别设置 $10 \times 10\text{ m}^2$ 的 4 块样方,用 GPS 确定其经纬度,每木检尺 ($DBH > 5\text{ cm}$) 后,对植被和土壤类型进行调查。依据中国科学院长白山野外开放站的气象观测资料,这一海拔高度年均气温为 $0.9 \sim 3.9^{\circ}\text{C}$,年均降雨量为 $700 \sim 800\text{ mm}$ 。

原始阔叶红松林主要的乔木为红松 (*Pinus koraiensis*)、紫椴 (*Filix amurensis*)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*),此外混有少量的色木 (*Acer mono*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、春榆 (*Ulmus propinqua*) 及白桦 (*Betula platyphylla*),立木株数为 $560\text{ 株}/\text{hm}^2$,郁闭度为 0.8。灌木包括毛榛子 (*Corylus mandshurica*)、东北溲疏 (*Deutzia amurensis*)、刺五加 (*Eleutherococcus senticosus*)、东北茶藨 (*Ribes mandshuricum*) 等;主要草本为山茄子 (*Brachybotrys paridiformis*)、透骨草 (*Phryma leptostachya*)、螫麻子 (*Urtica angustifolia*)、水金凤 (*Impatiens noli-tangere*) 等。

白桦成熟林主要树种为白桦和山杨 (*Populus davidiana*),密度为 $856\text{ 株}/\text{hm}^2$,郁闭度为 0.7;主要灌木为毛榛子、东北山梅花 (*Philadelphus schrenkii*)、绢毛绣线菊 (*Spiraea sericea*)、黄花忍冬 (*Lonicer a chrysanth a*),瘤枝卫茅 (*Evonymus pauciflorus*);主要草本有山茄子,小叶樟 (*Deyeuxia angustifolia*),猴腿蹄盖蕨 (*Athyrium spinulosum*) 等。

白桦山杨幼林主要的树种为白桦和山杨,密度为 $2640\text{ 株}/\text{hm}^2$,还没有达到郁闭。林中主要灌木为刺玫蔷薇 (*Rosa dahurica*),东北溲疏 (*Deutzia amurensis*),刺五加 (*Eleutherococcus*),毛榛子 (*Corylus mandshurica*)。主要草本为山茄子 (*Brachybotrys paridiformis*),绿叶蚊子草 (*Filipendula palmata*),小齿蹄盖蕨 (*Athyrium spinulosum*)。

对 3 块林地的详细比较见表 1

1.2 研究方法

1.2.1 细根种类的辨认

取样之前,在 3 块林地中分别挖取主要乔木、灌木和草本的根系,对其细根的形状、颜色、气味等基本特征

进行识别,并保留了相应的样品作为标本,这样就为细根种类的辨认奠定了基础。将 3 块林地中的细根分为主要木本,其他木本和草本 3 类。在红松针阔混交林中主要树种为红松、紫椴和水曲柳,其他木本为次要乔木和灌木;白桦成熟林和白桦幼林主要木本为白桦和山杨,其他木本为次要乔木和灌木。

表 1 长白山 3 块森林样地的基本特征
Table 1 Descriptions of three forest plots in the Changbai Mountain

样地 Plot	原始林 The primitive forest	80a 次生林 80a secondary forest	20a 次生林 20a secondary forest
北纬 North latitude	42°24'05"	42°24'08"	42°23'54"
东经 East longitude	128°05'43"	128°05'56"	128°06'37"
海拔高度 (m a. s. l.) Altitude (m)	762	752	743
群落类型 Vegetation type	阔叶红松林 Korean pine and broad-leaved forest	白桦山杨成熟林 The mature <i>Populus davidiana</i> and <i>Betula platyphylla</i> forest	白桦山杨幼林 The young <i>Populus davidiana</i> and <i>Betula platyphylla</i> forest
平均年龄 Average age (a)	> 200	80	20
平均胸径 Mean DBH (cm)	34. 21	22. 5	6. 9
平均树高 Mean height (m)	15	10. 5	5
土壤类型 Soil type	A : 山地棕色森林土 Mountain brown forest soil, B : 粘土 Clay soil		

1. 2. 2 细根生物量的测定

分别于 2002 年 5 ~ 10 月每月中旬分别在 3 块林地中用内径为 3. 5 cm 的土钻取样。每个土钻按 10 cm 进行分层取样,取至 50 cm,每个样点共取 5 个 (0 ~ 10cm, 10 ~ 20cm, 20 ~ 30cm, 30 ~ 40cm, 40 ~ 50cm)。为使取样均匀,在每块林地中按照平均木的标准选取主要树种,在红松针阔混交林中选择 9 棵 (红松、紫椴和水曲柳各 3 棵),在白桦成熟林和白桦幼林内分别选取 6 棵 (白桦、山杨各 3 棵)。在每棵平均木冠内、冠外分别随机打取 3 个土钻,每棵平均木周围共打取 6 个土钻。每月在红松针阔混交林中取样 54 × 5 个,在白桦成熟林和白桦幼林内分别取样 36 × 5 个。

取回的细根样品后放入冰箱内保存。对每一个根系样品先浸泡一天后,用筛孔为 0. 2 mm 的筛子反复淘洗。洗净土壤颗粒后放入蒸发皿中,用镊子将细根 (≤2 mm) 从杂质中分离,依据先前辨认树种细根的经验 and 细根标本,将每块林地的细根样品分为主要树种细根、其它木本细根和草本细根。将细根区分后,装入纸袋标记,在 60 ℃ 的温度中烘干至恒重,然后称重测定其生物量。每块林地中细根的生物量为 6 个月的平均值。

1. 2. 3 土壤因子的测定

(一) 土壤水分 用内径为 3. 5cm 的土钻分别在 3 块样地随机选取 5 个样点,按 10 cm 分层,取至 50cm。采集土样放入铝盒带回实验室测定其含水量。

(二) 土壤容重 对每块样地中的土壤按 10 cm 分层,取至 50cm。表层土 5 个重复,表层以下 3 个重复,用环刀取样测定各层的土壤容重。

(三) 土壤碳和氮含量 在每块样地用土钻随机打取 15 个点,每 5 个钻按照 0 ~ 10 cm、10 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm 三层进行充分混合,按照 3 个重复测定土壤碳和氮的百分含量。土样阴干过筛磨碎后,测定其碳、氮含量。用高氯酸-硫酸硝化碱蒸馏法测定土壤碳含量;用硒-硫酸铜-硫酸钾-硫酸硝化-凯氏法测定土壤氮含量;

不同土层温度的资料来自中国科学院长白山野外定位开放站。

1. 3 数据分析及计算

在数据分析和处理中,主要采用 SPSS10. 0 统计软件,用到了回归分析,Kruskal-Wallis 检验和偏相关分析。

2 结果与分析

2. 1 不同演替阶段细根生物量的变化

随着演替的进行细根生物量逐渐增加,白桦幼林、白桦成熟林与原始阔叶红松林细根生物量依次为: 561. 8 g/m²、674. 1 g/m² 和 827. 8 g/m²。演替过程中细根生物量的组分会发生变化 (图 1)。随着演替的进行

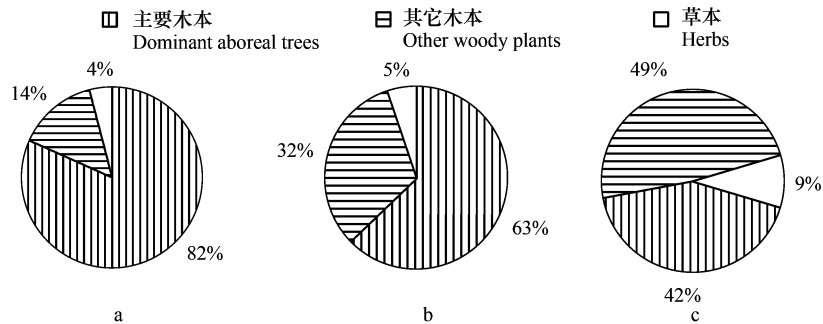


图1 原始阔叶红松林 (a)、白桦成熟林 80a (b)、白桦幼林 20a (c) 细根生物量组成分布

Fig. 1 Species-group fine root biomass compositions in the Korean pine and broad-leaved primitive forest (a), 80a (b) and 20a (c) *Populus davidiana* and *Betula platyphylla* secondary forests

主要木本植物细根生物量所占比例逐渐增加,而其它木本和草本细根生物量所占比例逐渐减少。在原始阔叶红松林中,主要木本-红松、紫椴、水曲柳细根的生物量占主要比例,达到82%,其它木本和草本的细根生物量占的比例很少,分别为14%和4%。在白桦成熟林中,主要木本-白桦和山杨细根所占比例为63%,其它木本和草本占比例分别为32%和5%。在白桦幼林中,主要木本-白桦和山杨细根所占比例为42%,其它木本为49%,草本细根所占比例为9%。

2.2 不同演替阶段细根的垂直分布变化

细根的垂直分布见图2。虽然在3块林地中,大量细根集中在土层0~10 cm,但随着演替的进行,细根的垂直分布逐渐加深,而且集中在土层0~10 cm细根的比例逐渐降低。

在白桦幼林中,细根主要分布在0~10 cm,占总细根量的84.3%;主要木本细根的81.5%,其它木本细根的84.3%和草本细根的86.8%均分布在此层。

白桦成熟林中,细根也主要分布在土层0~10 cm,占总细根量的73.2%;主要木本细根的70.1%,其它木本的75.6%和草本细根94.9%分布在此层。在土层10~20 cm,含总细根量的15.5%;主要木本细根的17.2%,其它木本细根的14.1%,草本细根的4.3%分布在此层。在白桦成熟林中,85%以上的木本细根分布在0~20 cm,90%以上的草本根系分布在0~10 cm。

原始阔叶红松林中,在土层0~10 cm,分布总细根量的68.0%;主要木本细根的66.5%,其它木本细根的70.7%,草本细根的91.4%均分布在此层。在土层10~20 cm,分布总细根量的21.4%;主要木本细根的22.8%,其它木本细根的16.7%,草本细根的6.3%分布在此层。在原始阔叶红松林中,80%以上的木本细根分布在0~20 cm,90%以上的草本根系分布在0~10 cm。

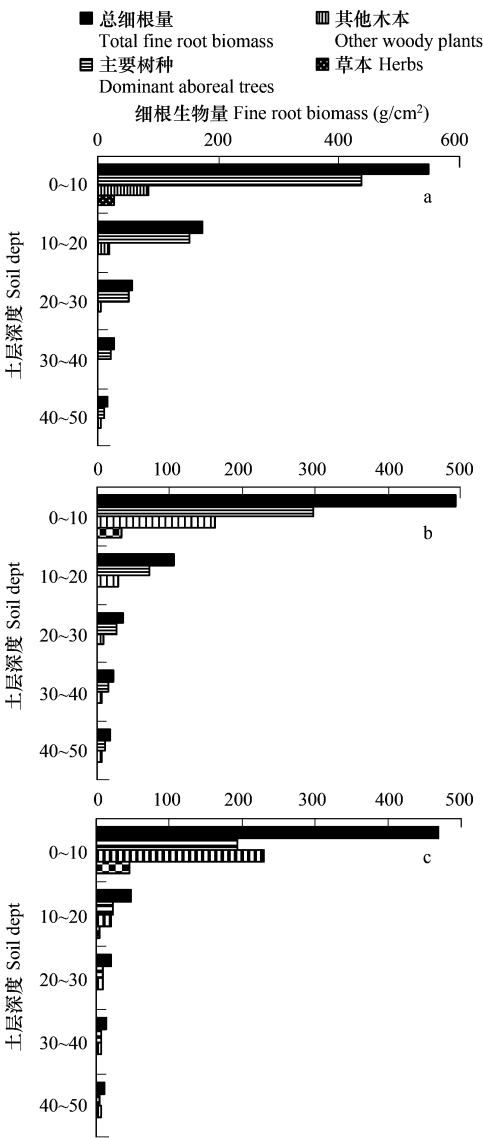


图2 原始阔叶红松林 (a)、白桦成熟林 80a (b)、白桦幼林 20a (c) 细根生物量的垂直分布

Fig. 2 Depth distribution patterns of fine root biomass in the Korean pine and broad-leaved primitive forest (a), 80a (b) and 20a (c) *Populus davidiana* and *Betula platyphylla* secondary forests

对总细根量、主要木本细根、其它木本细根和草本根系的生物量在不同土层中的分布进行了拟合,发现细根在土壤中的垂直分布均符合指数曲线函数(见表2)。

表2 细根平均生物量深度分布的曲线回归方程
Table 2 The regression equation between the fine root biomass and soil depth

林地 Forest		指数方程 Exponential equation	<i>n</i>	<i>R</i> ²
原始林 The primitive forest	总细根量	$y = 1075.2e^{-0.8859x}$	54	0.973
	Total fine root biomass			
	主要树种	$y = 977.5e^{-0.9223x}$	54	0.992
	Dominate arboreal trees			
80a 次生林 80a secondary forest	其它木本	$y = 96.3e^{-0.7239x}$	54	0.761
	Other woody plants			
	草本	$y = 43.7e^{-1.233x}$	54	0.880
	Herbs			
80a 次生林 80a secondary forest	总细根量	$y = 707.77e^{-0.0828x}$	36	0.906
	Total fine root biomass			
	主要树种	$y = 469.6e^{-0.0824x}$	36	0.940
	Dominate arboreal trees			
20a 次生林 20a secondary forest	其它木本	$y = 195.32e^{-0.0795x}$	36	0.827
	Other woody plants			
	草本	$y = 94.64e^{-0.1818x}$	36	0.822
	Herbs			
20a 次生林 20a secondary forest	总细根量	$y = 496.9e^{-0.8622x}$	36	0.811
	Total fine root biomass			
	主要树种	$y = 215.8e^{-0.846x}$	36	0.827
	Dominate arboreal trees			
	其它木本	$y = 224.8e^{-0.847x}$	36	0.785
	Other woody plants			
	草本	$y = 59.76e^{-1.063x}$	36	0.852
	Herbs			

x 为土层深度 (m), *y* 为不同深度的细根生物量 (g/m²) *x* is the soil depth (m), and *y* is fine root biomass at different soil depth

2.3 影响细根空间分布的主要生态因子

在研究中,分别对原始阔叶红松林、白桦成熟林和白桦幼林中不同土层的土壤容重、水分、温度和土壤中的 C、N 含量进行了调查,对这些因子取 6 个月的平均值,3 块林地土壤因子的比较见表 3 在不同土层中的分布见图 3 ~ 图 5。

表3 不同林地土壤因子的比较
Table 3 Comparisons of soil characteristics among the three forest plots

林地 Forest	土壤 C (%) The carbon percent	土壤 N (%) The nitrogen percent	容重 (g/cm ³) The soil bulk density
原始林 The primitive forest	1.757	0.165	0.958
80a 次生林 80a secondary forest	1.948	0.177	1.254
20a 次生林 20a secondary forest	1.829	0.178	1.303
<i>p</i> (Kruskal-Wallis)	0.022	0.090	0.151

由于 3 块林地在同一海拔并且相距很近,所以所测得土壤水分和土壤温度在林地间的变化不大,所以在表 3 中,只给出土壤 C%、N% 和容重的平均值。通过 Kruskal-Wallis 检验,3 块林地土壤中 C% 的总体分布存在显著差异 (*P* < 0.05), N% 和容重的总体分布无显著差异。

分别对 3 块林地中不同土层深度的土壤因子与细根生物量进行偏相关分析发现,细根生物量的深度分布除与土壤温度有较弱的相关性之外,与土壤容重、水分、土壤中 C 和 N 的含量均有一定的相关性(表 4),表明细根的垂直分布受多种因子的影响。

3 讨论

3.1 演替过程中细根组分的空间变化

随着演替的进行,3 块林地中细根生物量逐渐增加。本研究细根生物量的测定值与单建平等^[1]在温带阔

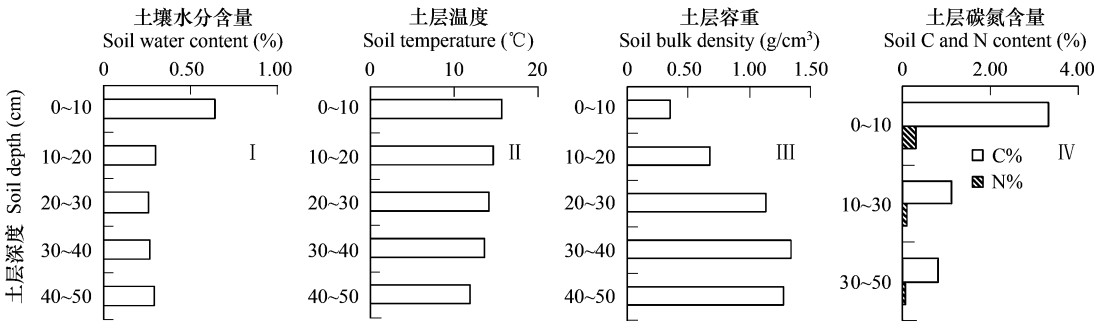


图3 原始红松阔叶林不同土层水分、温度、容重、C%和N%分布

Fig. 3 The depth distribution of soil water (I), temperature (II), soil bulk density (III), and carbon and nitrogen content (IV) in primitive forest

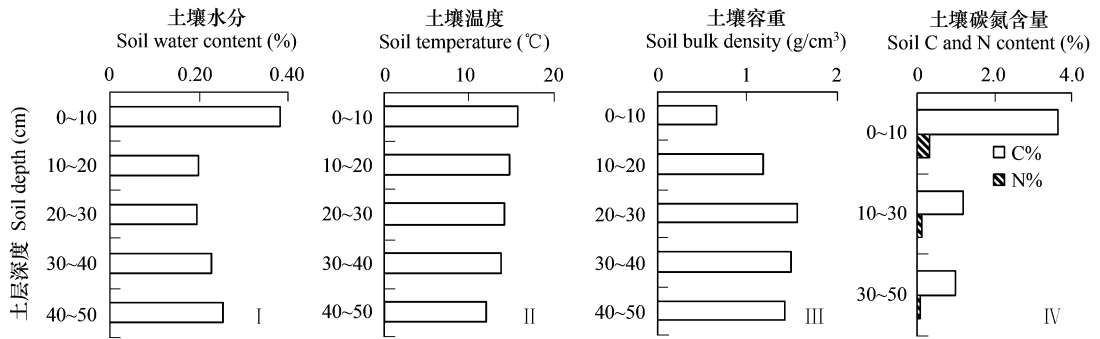


图4 白桦成熟林中不同土层水分、温度、容重、C%和N%分布

Fig. 4 The depth distribution of soil water (I), temperature (II), soil bulk density (III), and soil carbon and nitrogen content (IV) in 80 a *Populus davidiana* and *betula platyphylla* secondary forests

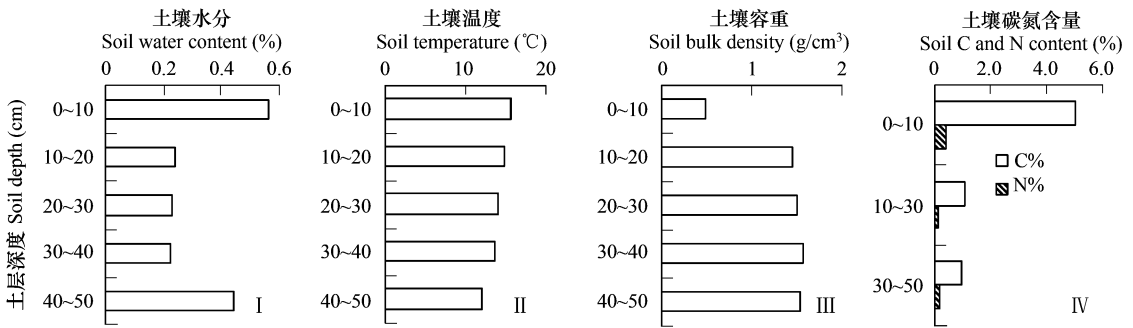


图5 白桦幼中不同土层水分、温度、容重、C%和N%分布

Fig. 5 The depth distribution of soil water (I), temperature (II), soil bulk density (III), and carbon and nitrogen content (IV) in 20 a *Populus davidiana* and *Betula platyphylla* secondary forest

叶林的测定结果相近。随着演替的进行,细根中的组成成分在不同阶段所占比例是不同的。在恢复初期-白桦山杨幼林,地下细根生物量中灌木的细根要比主要木本白桦和山杨细根的生物量要大。Persson^[3,14]在研究幼林期(5~20a)地下细根生物量组成时,也发现细根组成中有79%是下层木本。这主要是由于林分在恢复初期郁闭度小,使得林下灌木可以获得充足的阳光,生长良好,细根可以获得地上部分提供的充足养分,生物量相应较高。在恢复中期-白桦成熟林中,随着优势树种年龄的增大,其地下细根生物量所占比重也会相应提高,并且随着郁闭度的提高,灌木与其它下层木本地上和地下生物量会相应下降,因此其细根生物量所占比

例也会下降。在森林的演替顶级-原始阔叶红松林中,主要木本细根的生物量占有重要的比例,已经达到 80% 以上。Karizumi^[5]、Berish^[6] 和 Vogt 等^[7] 认为在树冠郁闭时期主要木本的细根生物量可达到最大。原始阔叶红松林的树冠已经完全郁闭,所以主要木本细根生物量所占比例达到 80% 以上。

表 4 在不同土层深度中细根生物量与土壤因子的偏相关分析

Table 4 The partial correlation analysis between fine root biomass and soil temperature, soil bulk density, and carbon and nitrogen contents at different depths

林地 Forest	土壤因子 Soil factor	偏相关系数 Partial correlation coefficiend	相关性 Relativity
原始林 The primitive forest	土层 C% 含量 The carbon percent	0.9195	强 Strong
	土层 N% 含量 The nitrogen percent	0.8874	强 Strong
	土壤容重 The soil bulk density	-0.4884	中 Moderate
	土壤水分 The soil water	0.8381	强 Strong
	土层温度 The soil temperature	0.2678	弱 Weak
80a 次生林 80a secondary forest	土层 C% 含量 The carbon percent	0.7420	中 Moderate
	土层 N% 含量 The nitrogen percent	0.6522	中 Moderate
	土壤容重 The soil bulk density	0.6120	中 Moderate
	土壤水分 The soil water	0.5498	中 Moderate
	土层温度 The soil temperature	0.1877	弱 Weak
20a 次生林 20a secondary forest	土层 C% 含量 The carbon percent	0.5530	中 Moderate
	土层 N% 含量 The nitrogen percent	0.5042	中 Moderate
	土壤容重 The soil bulk density	-0.6521	中 Moderate
	土壤水分 The soil water	0.5898	中 Moderate
	土层温度 The soil temperature	0.2853	弱 Weak

本研究中对演替过程中土壤因子的变化也进行了研究,发现土壤中 N% 和土壤容重的变化没有明显的规律,而土壤中 C% 的总体分布存在显著差异 ($P < 0.05$),这说明随着演替的进行林地细根生物量的增加改变了土壤中碳的含量。但随着演替的进行土壤因子如何影响细根的组成则需要进行进一步的研究。

3.2 细根的垂直分布及其影响因子

在研究中发现,随着林龄的增加,细根在土层中的深度分布会逐渐加深。白桦幼林中大量的细根分布在土层表面,白桦成熟林和原始阔叶红松林中细根趋于向较深土层分布。Yin 等^[8] 也发现 *Quercus rubra* L. 幼林中的细根比成熟林更集中于 A 层。他认为主要是由于幼树的根系的穿透力与老树相比较弱,所以幼树细根大都集中在 A 层。3 块林地中细根的垂直分布符合指数曲线方程,许多温带森林中也观测到细根的垂直分布符合这一规律^[4,19,20]。

一些研究认为,细根生物量随着土层深度的下降而减少^[9,21~23],主要由于受到土壤理化性质和养分含量的影响^[4,25]。本项研究中调查了土壤容重、水分、温度和土壤中 C、N 的百分含量,发现细根的垂直分布与土层容重、水分和土壤中 C、N 的百分含量均有一定的相关性。

土壤容重对细根垂直分布的影响,主要与土壤中空气含量有关。Millikin^[6] 研究表明细根集中在土壤表层主要由于土壤容重小,较易获得充足的氧气。随着土层加深,土壤容重相应增加,土壤中的空气含量会逐渐减少,导致细根的生物量也会减少。在森林被人为干扰后恢复过程中,土壤容重也会发生相应的变化。在白桦幼林中 0 ~ 10 cm 的土壤容重为 0.48 g/cm³,而 10 ~ 20 cm 的土壤容重则为 1.44 g/cm³,所以在 10 cm 以下的土壤中细根分布就很少。随着森林的演替,植被的生长,根系与土壤之间相互作用,会使土壤容重发生相应变化。在原始阔叶红松林内,0 ~ 10 cm 的容重为 0.35 g/cm³,空气充足,适宜根系的生长;10 ~ 20 cm 土壤容重为 0.68 g/cm³,也较适宜根系生长,所以细根在该层也有一定比例的分布。

土壤中氮的含量与细根的深度分布也有密切关系。Cavelier^[7] 发现细根的深度分布同土壤中 N 的含量

存在相关关系,细根的垂直分布主要由土壤中 N 含量控制。Millikin^[6]在所研究地区内发现土壤中 N 主要集中在 5 cm 以内,所以大量的细根集中在土层表面。在本项研究的 3 块林地中土壤表层含 N 量都在 30% 以上,而在 10 ~ 30 cm 含 N 量下降到 10%,所以大量细根集中在土壤表层。同时研究中也发现土壤含 C 量与细根生物量的深度分布也存在相关关系。

研究中发现土层温度对细根的深度分布不存在显著的影响。温度是细根生长和吸收养分物质的重要影响因素,然而目前对温度与根系深度分布关系的认识仍有限。一些研究认为在水分受到限制的地区,细根的深度分布受到水分因素的影响^[8,29]。本项研究中土壤水分与细根的垂直分布也存在相关关系,说明在长白山地区水分仍为影响根系生长的限制因子。

4 结论

随着演替的进行,细根生物量会逐渐增加,细根生物量的组成成分所占比例也会发生相应变化,主要木本细根生物量所占比例在演替过程中会逐渐增加,而灌木和草本细根生物量所占比例会逐渐降低。

细根在土层中的垂直分布存在一定的规律性,符合指数曲线回归方程。随着演替的进行,细根在土层中的垂直分布会逐渐加深。细根的垂直分布受多种环境因子的影响,通过偏相关分析发现,在长白山地区土壤容重、水分、和土壤中的 C 和 N 的含量是影响细根垂直分布的主要因子,而土壤温度对细根垂直分布则没有显著的影响。

References :

[1] Gill R A, Jackson R. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New. Phytol*, 2000, 147, 13 — 31.

[2] Gaudinski J B, Trumbore S E, Davidson E A, *et al.* The age of fine root carbon in three forests of the eastern United States measured by radiocarbon. *Oecologia*, 2001, 129, 420 — 429.

[3] Wells C E, Eissenstat D M. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters. *Ecology*, 2001, 82, 882 — 892.

[4] Ostonen I, Lohmus K, Pajuste K. Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middle-aged Norway spruce forest : Comparison of soil core and ingrowth core methods. *Forest Ecology and Management*, 2005, 212 :264 — 277.

[5] Vogt K A, Bloomfield J. Root turnover and senescence. In :Waisel Y, Eschel A, Kafafi U. eds. *Plant Roots :The idden Half*. New York : MarcelDekker Inc. , 1991. 287 — 306.

[6] Janssens I A, Sampson D A, Curiel-Yuste J, *et al.* The carbon cost of fine root turnover in a Scots pine forest. *Forest Ecology and Management*. 2002, 168, 231 — 240.

[7] Shan J P, Tao D L, Wang M, *et al.* Fine root turnover in a broad-leaved Korean pine forest of Changbai mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993, 4 (4) :241 — 245.

[8] Liao L P, Chen C Y, Zhang J W, *et al.* Fine root turnover among pure Chinese Fir forest, Pure Michelia macclure forest and Chinese Fir and Michelia macclure mixed forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6 (1) :7 — 10.

[9] Liao L P, Yang Y J, Wang S L, *et al.* Fine root distribution, decomposition and nutrient cycle among pure Chinese Fir forst, Pure Michelia macclure forest and Chinese Fir and Michelia macclure mixed forest. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (4) :342 — 346.

[10] Wen D Z, Wei P, Kun G H, *et al.* Fine root production and turnover in South Subtropical Forests at Dinghushan. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23 (4) :361 — 369.

[11] Zhang F S, Chi Z W, Li X Y. The analysis and primary evaluation on the climate of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem*, 1980, 1 : 193 — 214.

[12] Wang Z, Xu Z B, Li X, *et al.* The main forest types and their features of community structure in northern slope of Changbai Mountain (1). *Research of Forest Ecosystem*, 1980,1 :25 — 42.

[13] Persson H. Death and replacement of fine root in a mature Scots pine stand. *Structure and Function of Northern Coniferous Forest-an Ecosystem Study* Ed. T. Persson. *Ecological Bulletin Stockholm*, 1980, 32 :251 — 260.

[4] Persson H. Spatial distribution of fine root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in central Sweden. *Oikos*, 1980, 34 : 77 — 87.

[5] Karizumi N. Estimation of root biomass in forests by the soil block sampling. In :Methods of productivity Studies in Root Systems and Rhizosphere Organisms. Ghilarow M. S. V. A. Kovda, L. N. Novichkova-Ivanova, L. E. Rodin and V. M. Sveshnikova eds. Publishing House ‘Nauka ’, Leningrad, 1986. 79 — 86.

[6] Berish C W. Root biomass and surface area in three successional tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1982, 12 :699 — 704.

[7] Vogt K A, Grier C C, Meier C E, *et al.* Organic matter and nutrient dynamics in forest floors of young and mature *Abies amabilis* stands in western Washington, as affected by fine root input. *Ecology Research*, 1983, 15 :303 — 377.

[8] Yin X, Perry J A, Dixon R K. Fine root dynamics & biomass distribution in a *Quercus* ecosystem following harvesting. *Forest Ecology Management*, 1989, 27 :159 — 177.

[9] Gale M R, Grigal D F. Vertical distribution of northern tree species in relation to successional status. *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, 17 :829 — 834.

[10] Mainiero R, Kazda M. Depth-related fine root dynamics of *Fagus sylvatica* during exceptional drought, *Forest Ecology and Management*, doi :10.1016/j. foreco.2006.09.034

[11] Canadell J, Roda F. Root biomass of *Quercus ilex* in a montane Mediterranean forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21. 1771 — 1778.

[12] LeRoux X, Bariac T, Mariotti A. Spatial partitioning of the soil water resource between grass and shrub components in a West African humid savanna. *Oecologia*, 1995, 104 :147 — 155.

[13] Mou P R, Jones H, Mitchell R J, *et al.* Spatial distribution of roots in sweetgum and loblolly pine monocultures and relations with above-ground biomass and soil nutrients. *Functional Ecology*, 1995, 9 :689 — 699.

[14] Keyes M R, Grier C C. Above- and below-ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Canadian Journal of Forest Research*, 1981, 11 :599 — 605.

[15] Linder S, Rook D A. Effects of mineral nutrition on carbon dioxide exchange and partitioning of carbon in trees. In *Nutrition of plantation forests*. Edited by Bowen G. D. & E. K. S. Nambiar. New York :Academic Press, 1984. 211 — 236.

[16] Millikin C S, Bledsoe C S. Biomass and distribution of fine and coarse roots from blue oak (*Quercus douglasii*) trees in the northern Sierra Nevada foothills of California. *Plant and Soil*, 1999, 214 :27 — 38.

[17] Cavelier J. Fine root biomass and soil properties in a semideciduous and a lower montane rain forest in Panama. *Plant and Soil*, 1992, 142 :187 — 201.

[18] Hoffman A, Kummerow J. Root studies in the Chilean matorral. *Oecologia*, 1978, 32 :57 — 69.

[19] Kummerow J, Krause D, Jow W. Root system of chaparral shrub. *Oecologia*, 1977, 29 :163 — 177.

参考文献：

[7] 单建平,陶大力,王森,等. 长白山阔叶红松林细根周转的研究. *应用生态学报*, 1993, 4 (6) :241 ~ 245.

[8] 廖利平,陈楚莹,张家武,等. 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、火力楠 (*Michelia macclurei*) 纯林及其混交林细根分布、分解与养分归还. *应用生态学报*, 1995, 6 (1) 7 ~ 10.

[9] 廖利平,杨跃军,汪思龙,等. 杉木、火力楠纯林及混交林细根周转的研究. *生态学报*, 1999, 19 (3) :342 ~ 346.

[0] 温达志,魏平,孔国辉,等. 鼎湖山亚热带森林细根生产力与周转. *植物生态学报*, 1999, 23 (4) :361 ~ 369.

[1] 张凤山,迟振文,李晓晏. 长白山地区气候分析及其初步评价. *森林生态系统研究*, 1980, 1 :193 ~ 214.

[2] 王战,徐振邦,李昕,等. 长白山北坡主要森林类型及其群落结构特点 (之一). *森林生态系统研究*, 1980, 1 25 ~ 42.