林业科学研究 2015,28(2):255～260
Forest Research

文章编号:1001-1498(2015)02-0255-06

低覆盖度行带式种植模式下赤峰杨根系分布特征

吴雪琼[1,2], 杨文斌[2*], 李 卫[2], 乌志颜[3], 张 丽[3], 王红霞[3], 李向晨[3], 陈学勋[4], 常伟东[4], 彭 瑞[4]

(1. 国家林业局昆明勘察设计院, 云南 昆明 650216; 2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 3. 内蒙古赤峰市林业研究所, 内蒙古 赤峰 024000 ;4. 内蒙古敖汉旗林业局, 内蒙古 赤峰 024300)

摘要:采用根钻法对低覆盖度行带式栽植模式下赤峰杨的根长密度的空间分布特征进行了研究,同时用烘干法对其根质量密度进行了测量。结果表明:赤峰杨的总平均根长密度在不同土层间变化很大,0.0～40 cm 土层为根系主要分布区域,其在总平均根长密度中所占比例高达 77.1%;不同径级之间的根长密度差异显著,0.0～0.2 mm 径级根系的根长密度最大,可达 0.61 cm · cm^{-3}。带间根长密度变化出现了先增大后减少而后略有增大的趋势,环境因子影响根系分布, >2.0 mm 的粗根根长密度主要分布于带间。低覆盖度行带式配置模式下的赤峰杨吸收根系(<2 mm)主要分布于 0～40 cm 深度区域,粗根(>2.0 mm)主要分布于地表 40 cm 以下区域,带间是根系的主要分布区域,根系主要利用的是天然降水。

关键词:赤峰杨;根系;分布;径级;土壤深度

中图分类号:S718.42 **文献标识码**:A

Root Distribution of *Populus* × *xiaozhuanica* cv. 'Chifengensis' Planted Under Low Coverage Belt-scheme

WU Xue-qiong[1], *YANG Wen-bin*[2], *LI Wei*[2], *WU Zhi-yan*[3], *ZHANG Li*[3], *WANG Hong-xia*[3], *LI Xiang-chen*[3], *CHEN Xue-xun*[4], *CHANG Wei-dong*[4], *PENG Rui*[4]

(1. China Forest Exploration and Design Institute on Kunming, Kunming 650216, Yunnan, China; 2. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Research Institute of Forestry of Chifeng, Chifeng 024000, Inner Mongolia, China; 4. Bureau of Forestry of Aohan, Chifeng 028000, Inner Mongolia, China)

Abstract: In this study, the root drilling was used to sample the space distribution of root length density (RLD) of the *Populus* × *xiaozhuanica* W. Y. Hsu et Liang cv. 'Chifengensis' which were planted at low coverage belt scheme, the root weight density was measured by drying method simultaneously. The results showed that the total RLD changed dramatically ($P<0.01$) at different soil depth. Among which, 0 – 40 cm was the main zone of fine root system distribution, taking a greater percentage in all RLD at 77.1%. The differences among diameter class RLDs were striking ($P<0.01$). The fine root at 0.0 – 0.2 mm diameter class had the most RLD, up to 0.61cm. cm^{-3}. With the distance increasing from tree, the RLD increased at first and decreased subsequently, and then increased slightly again. So, environment was the key factor influencing the root distribution. Thick root mainly distributed in inner-band. The fine root system of low coverage belt scheme mainly distributed at the depth of 0 – 40 cm in the study area. The thick root (>2.0 mm) mainly distributed below the depth 40 cm underground. It was found

收稿日期: 2013-01-37

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项"中国沙地补充考察与沙地志编研"(编号:201304325);国家自然科学基金"半干旱区低覆盖度固沙林的水分动态及其应对极旱年的调节机理"(编号:31170667)

作者简介: 吴雪琼(1982—),女,云南昆明人,博士研究生,研究方向为荒漠化防治. E-mail:imxueqiong@163.com

* 通讯作者:研究员. 主要研究方向:荒漠化防治. E-mail:nmlkyywb@163.com

that the *P.* × *xiaozhuanica* 'Chifengensis' mainly use natural precipitation.

Key words: *Populus* × *xiaozhuanica* 'Chifengensis'; root system; distribution; diameter class; soil depth

半个多世纪的实践证明,国内外干旱半干旱地区不适当的造林方式打破了当地水量供需平衡,进一步加剧了干旱半干旱地区生态系统的退化,如内蒙古2010年夏季降水为近50年来最少,气温为近50年来最高[1],部分地区出现林分成片衰退死亡现象,而研究区内低覆盖度行带式固沙林[2]内并未出现枯稍死亡的情况,但这种优良的低密度、带状栽植模式下的林分生长状况却少有报道。根系是林木吸收水分和养分的重要器官,定量研究根系密度空间分布特征对林木根系吸水及其运移模型的构建、林地水分管理策略的改进以及节水林业的发展至关重要[3]。近年来,国内外关于杨树根系分布特征的报道较多,但是主要针对散生孤立木、均匀栽植和单行带状栽植的林木以及农田防护林带[4~7]。目前,已有的相关研究仅限于探讨该模式下杨树细根生物量、根长密度等的分布特征[3,8~9];然而,针对低覆盖度行带式固沙林这种特殊栽植模式下杨树根系分布的研究还鲜有报道。本文以我国北方干旱半干旱区主要树种赤峰杨(*P.* × *Xiaozhuanica* W. Y. Hsu et Liang cv. 'Chifengensis')为研究对象,研究其在行带式栽植模式下的根系空间分布特征,以便深入了解行带式固沙林具有的高效防风固沙效果[9],并为制定合理的固沙林配置模式及灌溉策略提供依据。

1 试验地概况

试验地位于内蒙古赤峰市敖汉旗新惠林场内,海拔150～250 m,位于科尔沁沙地南缘,属温带半干旱季风气候区,年平均气温在5～7℃,年平均日照时数2 850～2 950 h,年平均降水量380～430 mm,年平均蒸发量1 780～1 920 mm,年平均风速3.8 m·s^{-1},大风天气集中在3—5月,最大风速可达24.4 m·s^{-1}。地带性土壤为栗钙土,由于地质历史年代沉积了丰富而松散的地表沙质沉积物,在风力吹扬作用下,形成波状起伏的沙地,受风力和生沙过程的影响,形成固定风沙土和栗钙土型风沙土,机械组成以物理性沙粒为主,全旗森林植被以人工林为主,造林树种以赤峰杨为主。

本文研究对象为27年生行带式配置赤峰杨固沙林,株距2 m,行距5 m,带间距25 m。林分平均胸径(18.4±1.4)cm,平均树高(12.0±1.2)m。试验地总面积3.2 hm^2,于1986年春季用1年生根萌苗造林。整地方式为机械穴状,穴直径为1.2 m,深1 m,造林前以复合肥为基肥施于穴底部,回填少量表土后植苗。采取低覆盖度行带式带状栽植模式,行方向为南北向。林下有稀疏草本植物,草本主要有狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beauv.)、沙蒿(*Artemisia desertorum* Spreng. Syst. Veg.)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)、赖草(*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.)、益母草(*Leonurus artemisia* (Laur.) S. Y. Hu)、菟丝子(*Cuscuta chinensis* Lam.)、虫实(*Corispermum hyssopifolium* L.)、鹤虱(*Lappula myosotis* V. Wolf)、田旋花(*Convolvulus arvensis* L.)、翠雀(*Delphinium grandiflorum* L.)、山苦荬(*Ixeridium chinense* (Thunb.) Tzvel.)、蒺藜(*Tribulus terrester* L.)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum* L.)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum* Hand. ～ Mazz.)、苍耳(*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder)、兴安胡枝子(*Lespedeza daurica* (Laxm.) Schindl.)、籽蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)、芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)、沙蓝刺头(*Echinops gmelini* Turcz.)、斑地锦(*Euphorbia maculata* L.)、小白蒿(*Artemisia frigida* Willd.)、黄花菜(*Hemerocallis citrina* Baroni)、草木樨(*Melilotus suaveolens* Ledeb.)、乳浆大戟(*Euphorbia esula* L.)。

2 研究方法

2.1 根系取样方法

防护带一般由3行及以上构成一带,本文研究对象为2行,是林带中的特例,这种配置也是低覆盖度行带式固沙林的特点。试验于2012年7月至9月进行。由于林木间株距、行距、带间距都差别很大,因此,本研究假设赤峰杨根系呈均匀分布;然后在试验地中部划定具有代表性的50 m×50 m标准地(包含3个林带),并在其中的每个林带上选择平均标准木各1株,共选择东向和西向栽植的赤峰杨共4株(4个重复),然后以所选的每株样树为基点,在正对树干且垂直于树干的带间(带间距25 m)、株间(株间距2 m)、行间(行间距5 m)中点至树干间

每隔 0.5 m 用根钻进行根系取样,取样深度为 1 m,每 1 个取样点共 5 层(即 0～20,20～40,40～60,60～80,80～100 cm),每个取样单元体积为 1 335 cm^3(根钻高 20 cm,内直径 9.22 cm)。由于该地区降水稀少,降水入渗多分布于 0～80 cm 深处,也有研究表明,杨树的细根主要集中于 0～20 cm 的表土层,所以取样深度设为 1 m,共计 640 个根样(样点数×深度级×重复 =32×5×4 =640)。

根样取回后先在水中浸泡,用水冲洗后过 0.8 mm 的筛使根与大部分土壤、杂质分离,然后在清水中利用网勺和镊子捡取所有根系。将获取的根系装入塑料袋,并依次编号标记,带回实验室将每袋根样放在坐标纸上,先用游标卡尺分级(根系分析径级范围设为 0.0～0.2、0.2～0.5、0.5～1.0、1.0～2.0、>2.0 mm),对于连接在一起的根系将其剪开再分级,以坐标纸为参考测量每一根系的根长,获取不同径级根系长度,最后将根系置入 105℃ 烘箱烘干至恒质量并称质量和记录。

将获得的各测点的各径级根系长度除以根钻取样体积即得到各测点的各径级根系根长密度 RLD($cm \cdot cm^{-3}$);同样,各样点根系干质量除以根钻取样体积得根质量密度 RWD($mg \cdot cm^{-3}$),根重量密度不分径级。本研究采用传统的细根分类标准[11]。

2.2　数据分析

根长密度和根质量密度采用 SPSS17.0 软件进行 One～way ANOVA 分析,其主要影响因子设为:根系位置(3 个水平,即带间、行间、株间);土壤深度(5 个水平);根系径级(5 个水平);距树基部距离(25 个水平)。同因素不同水平间差异显著性采用 Duncan 法检验(显著性水平为 $P<0.05$)。分析前,根长密度数据经 Shapiro～Wilk 和 Levene 检验均满足正态分布和方差齐性等方差分析的前提条件,在 SPSS 里进行单因素方差分析后用 Excel 2007 绘图,计算根质量密度平均值后用 Surfer 8.0 软件进行图表绘制。

3　结果与分析

3.1　根长密度分布情况

表 1 显示:不同径级(0.0～0.2、0.2～0.5、0.5～1.0、1.0～2.0、>2.0 mm)根系的根长密度差异显著($P<0.05$),0～0.2 mm 细根的根长密度最大,约 0.61 $cm \cdot cm^{-3}$;>2.0 mm 根系的根长密度最小,前者占根系根长密度的 44.7%,而后者仅为 1.6%,前者约是后者的 30 倍。不同土壤深度全根系根长密度的差异显著,0.0～20、20～40、40～60、60～80 cm 土层的根长密度的差异显著($P<0.05$),而 60～80 cm 与 80～100 cm 土层根长密度的差异不显著,0～60 cm 土层的根系占全根长密度的 74.5%,而 60～80 cm 的根系仅占 25.5%;同样,不同位置(带间、行间、株间)全根系根长密度的差异显著($P<0.05$),株间的根长密度所占比例最大,而带间最小,分别为 0.417 $cm \cdot cm^{-3}$、0.199 $cm \cdot cm^{-3}$,分别占总体的 46.2% 和 22.0%。

表 1　栽植位置和土壤深度对赤峰杨根长密度的影响

项目	根系径级/mm						土壤深度/cm					根系位置		
	0.0～0.2	0.2～0.5	0.5～1.0	1.0～2.0	>0	>2.0	0～20	20～40	40～60	60～80	80～100	带间	行间	株间
根长密度/($cm \cdot cm^{-3}$)	0.610[a]	0.322[b]	0.227[d]	0.053[e]	0.130[c]	0.021[f]	0.398[a]	0.251[b]	0.198[c]	0.160[d]	0.129[d]	0.199[a]	0.287[b]	0.417[c]
占根密度总和的百分比/%	44.7	23.6	16.7	3.9	9.5	1.6	35.0	22.1	17.4	14.1	11.4	22.0	31.8	46.2
F	480.19						76.54					46.55		
P	0.000						0.000					0.000		

注:同一主因子下数据后相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。

由表 2 和图 1 可以看出:基部距离对根长密度也有显著影响($P<0.05$),总的规律是距树越近根长密度越大,而在带间两树根系交界处根长密度略有上升的趋势,其中,以树体附近 0.5 m 处根长密度最大,占总根长密度的 7.4%,而根长密度最小的并未出现在离树最远的 12.5 m 处,而是在 11.5、11.0 m 处,均占总根长密度的 2.8%,相应的在 5.0、8.5、7.0、9.0 m 处的根长密度也非常接近,为 2.9%～3.1%,而带间两树交界处(即离树体最远)的 12.0、12.5 m 处根长密度均占全根系根长密度的 3.6%。

由图 1、2 可以看出:行间 0～20 cm 深处根系径级为 0.0～0.2 mm 的细根根长密度最大,达到 0.152

cm · cm^{-3};不同栽植位置中,株间根长密度最大,其次是带间根长密度,行间根长密度次之;从径级来看,根长密度最大的出现在株间 1 m 处,径级为 0.0 ～ 0.2 mm 的细根根长密度,达到了 0.122 cm · cm^{-3}。

3.2 根质量密度空间分布

从图 3 可看出:根质量密度的分布情况,不同位置(带间、株间、行间)根质量密度随着距树基部距离与土壤深度的增加而减少,而带间根质量密度出现了与根长密度分布相类似的情况,即根质量密度随距离的增加而减少随后增加的趋势;与根长密度分布情况不同,根质量密度最大的出现在带间,这主要是因为根质量密度主要受粗根(>2.0 mm)的影响,由于根系间的竞争,行带式种植模式下杨树的粗根多分布于带间,有利于植株吸收更多的水分与养分。

表 2 基部距离对赤峰杨根长密度的影响

基部距离 /m	根长密度 /(cm · cm^{-3})	占总根长密度的百分比 /%	基部距离 /cm	根长密度 /(cm · cm^{-3})	占总根长密度的百分比 /%
0.5	0.375^{a}	7.4	12.0	0.182^{cd}	3.6
1.0	0.347^{ab}	6.9	7.5	0.181^{cd}	3.6
3.5	0.277^{bc}	5.5	12.5	0.180^{cd}	3.6
1.5	0.252^{cd}	5.0	9.5	0.174^{cd}	3.5
2.5	0.247^{cd}	4.9	10.0	0.166^{cd}	3.3
2.0	0.233^{cd}	4.6	9.0	0.157^{e}	3.1
3.0	0.208^{cd}	4.1	5.0	0.153^{e}	3.0
6.0	0.208^{cd}	4.1	8.5	0.153^{e}	3.0
5.5	0.199^{cd}	4.0	7.0	0.149^{e}	3.0
4.0	0.199^{cd}	4.0	8.0	0.147^{e}	2.9
10.5	0.198^{cd}	3.9	11.5	0.142^{e}	2.8
4.5	0.195^{cd}	3.9	11.0	0.139^{e}	2.8
6.5	0.183^{cd}	3.6			

注:数据后相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$), $F=1.248$, $P=0.293$

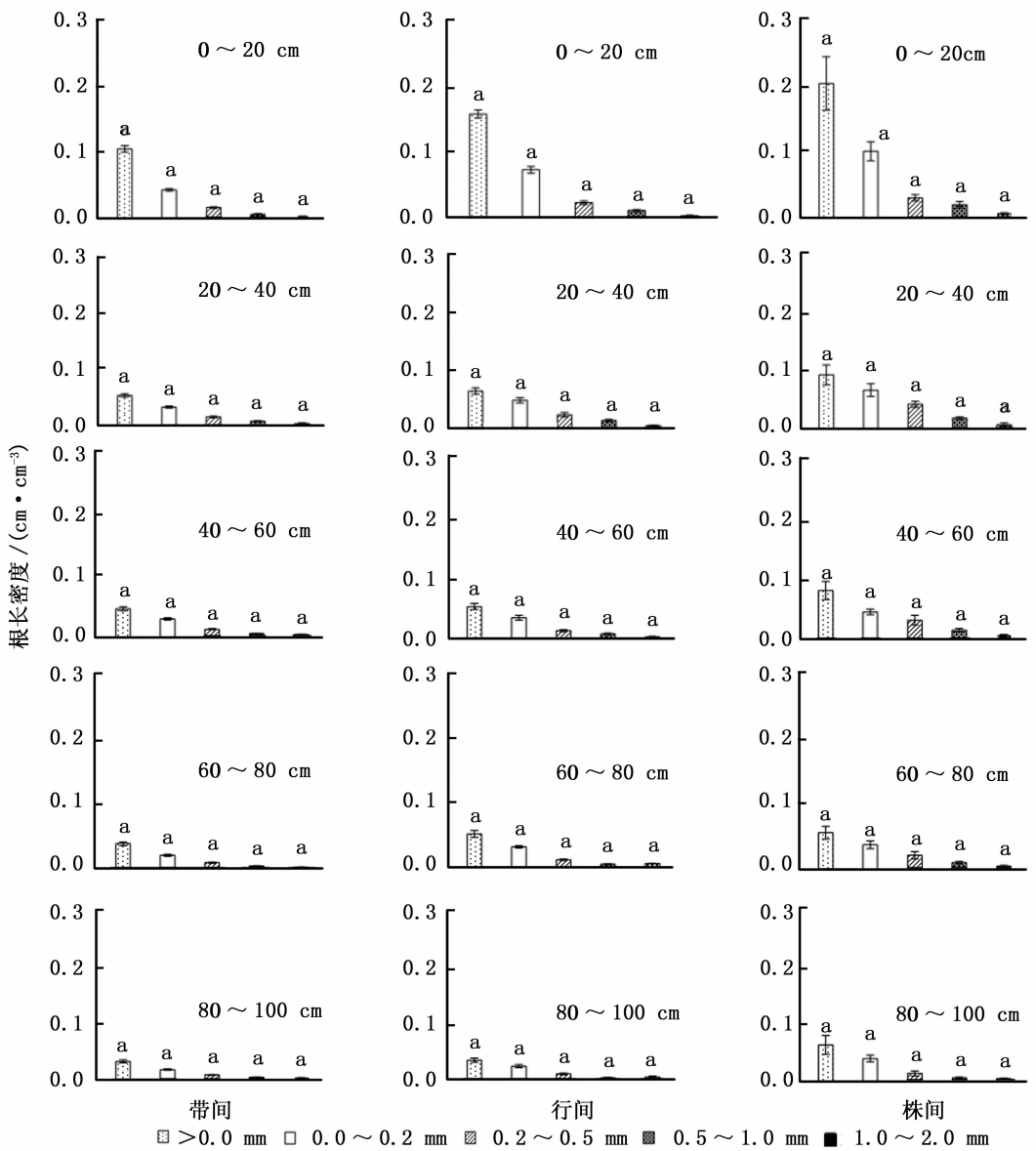

图 1 种植位置和土壤深度对赤峰杨不同径级根长密度的影响

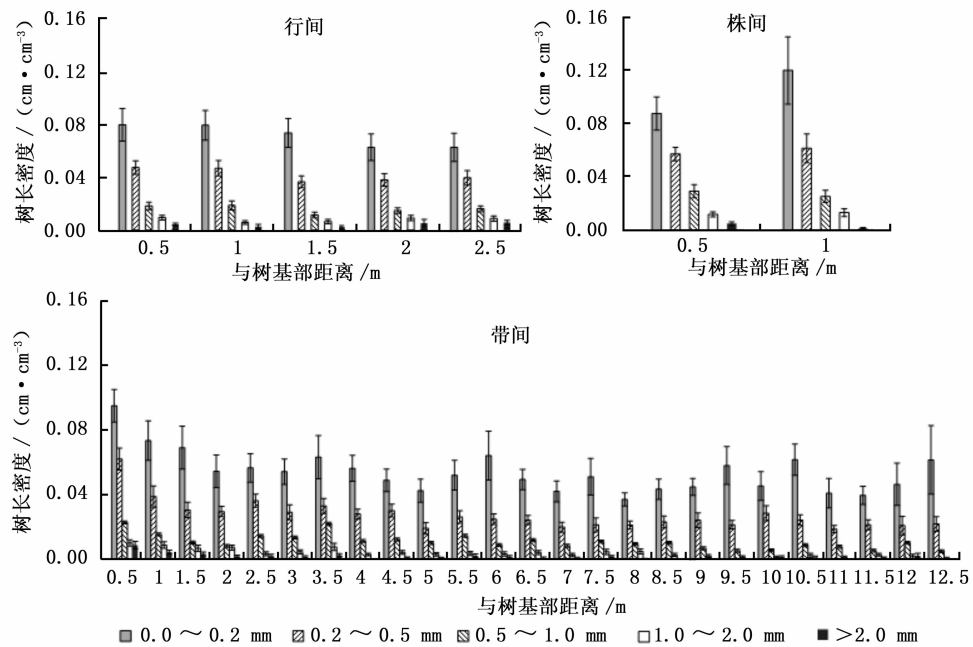

图 2　不同栽植位置及与树基部距离各径级的根长密度

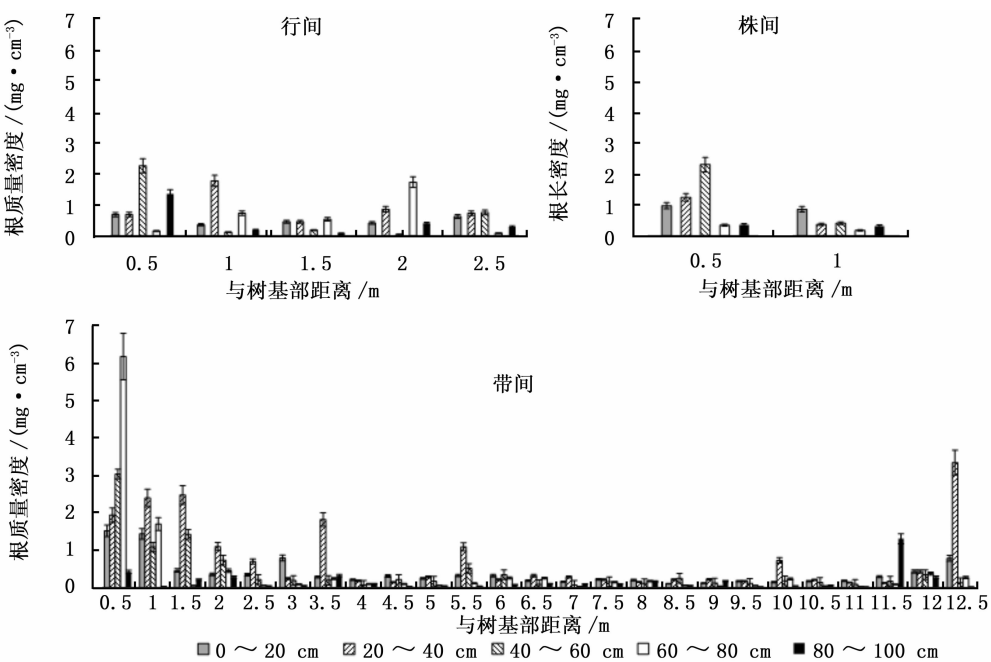

图 3　不同土壤深度及与树基部距离处的根质量密度分布

4　结论与讨论

4.1　结论

本研究发现,赤峰杨是浅根性树种,树木根系的水平生长量多于垂直生长量,研究区赤峰杨固沙林 < 2 mm 的细根主要分布于 0 ～ 40 cm 的浅土层,浅土层细根寿命较短,而 >2 mm 的粗根主要分布于 40 cm 以下的深土层,根系以水平根和侧根为主。由于根系较浅,因此,无法利用深层土壤中的水分和养分,细根主要利用的是天然降水。

研究区 0 ～ 20 cm 深处的根长密度最高,说明表土层是赤峰杨固沙林细根的主要分布区域,粗根分布于深层土壤。粗根是由细根发育而来,调查过程中,深土层(60 ～ 100 cm)只发现有极少量的细根且多以活根(白色)为主,表土层细根较多但绝大多数都是死根(黑色或褐色)。在调查过程中发现,粗根的横截面有较多孔隙,用肉眼就能看出其孔状结构,质量较轻,含水率低,这种结构适宜于地下缺氧的环境生长,这也说明赤峰杨适合在沙地种植。

4.2 讨论

杨树是一种速生树种,其根系生长发育较快,生根能力强,大多情况下扦插就可正常生长,喜于深厚、疏松、透气的土壤中生长。杨树水平支柱根在土体内分布的深度临界值约60 cm,而水平营养吸收根系呈辐射状向四周延伸。在疏松的沙土中,赤峰杨水平支柱根分布的临界深度值约80 cm,一般水平根系分布深度不超过40 cm,根系稀疏而粗壮。有研究表明,在距杨树基部不同距离处,根系分布差异显著,根系特征值(根数、根量、根表面积比率、根长密度等)一般会随基部距离的增加而递减[7,11-12];也有研究表明,离树体不同距离处杨树的细根分布无显著差异。由于行带式配置的特殊性,本研究与前人研究结果相似又不同的是,试验林中,赤峰杨根长密度在离树体不同距离处呈现先减而稍后增加的趋势。刚开始增加的原因是1.0 m以内带间、行间、株间根系的重叠,2.5 m内有带间、行间的根系重叠,所以这部分区域的根长密度很高,而离树体最远的12.5 m处的根长密度有所增加是因为带内两侧的根系重叠,并可能形成复杂根系网络。此外,杨树的根系密度在垂向上呈递减趋势[7],试验区赤峰杨固沙林在垂向0～20 cm分布的根系最多,80～100 cm最少。出现这种现象的原因:一是根系越往下受到的机械阻力越大[13-14];其次,试验地内的杨树水分主要来源是天然降水,且降水很难入渗补充地下水。试验区年降水量在400 mm左右,地下水水位是13 m,试验区林龄为27 a,年平均降水量380～430 mm,年平均蒸发量1 780～1 920 mm,这也意味着在干旱半干旱区种植行带式配置的合理性,其在雨养条件下即能够正常生长。

本研究仅涉及赤峰杨固沙林的细根及侧根,故该试验说明赤峰杨根系分布是不全面的,所以得出的结论具有一定局限性,但是研究对象林龄为27 a,其根系分布广阔,而且相互交错,要完全测定其根系分布也是不太可能的。低覆盖度行带式栽植模式下,赤峰杨固沙林内不同位置处(带间、行间、株间)由于一天内接受太阳辐射的时段和强度不同,其热量条件存在差异,所以不同位置树木光合、冠层小气候和土壤水热条件等不尽一致,这也会对根系的分布产生影响。在这种栽植模式下植株个体间的距离有2、5、25 m,根系对水分、养分和空间资源的竞争必然较均匀分布栽植模式下的激烈,所以其中根系的分布特征就发生了明显改变,行带式栽植模式下林木的水分利用策略有待进一步研究。

根据以上分析,今后对研究区27年生2 m×5～25 m配置的赤峰杨固沙林经营策略如下:如果在极旱年对行带式配置固沙林进行灌溉,不需要进行大面积漫灌,只需在带间10.0～12.5 m区域进行沟灌,与漫灌相比可减少灌溉面积86%以上,就可以达到对林带两边林木水份进行补给的效果。相比均匀配置的林地,行带式配置结构可节约大量的水,是一种适合干旱半干旱区的栽植模式;在带间不适宜进行间作,虽然可以对土壤进行水分和养分的补给,但会破坏赤峰杨的细根,影响其呼吸和新陈代谢,带间以自然恢复草本为主。

参考文献:

[1] 陈廷芝,尤 莉,古 月,等.2010年夏季内蒙古干旱高温成因分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(1):88-92.

[2] 杨文斌,卢 琦.低覆盖度固沙方法[P].CN101705679A,2009:1-3.

[3] 席本野,王 烨,贾黎明,等.宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系[J].生态学报,2011,31(1):47-57.

[4] Himmelbauer M L, Vateva V, Lozanova L, *et al*. Site effects on root characteristics and soil protection capability of two cover crops grown in South Bulgaria[J]. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 2013,61(1):30-38.

[5] Zhu Y, Ren L, Skaggs T H, *et al*. Simulation of *Populus* euphratica root uptake of groundwater in an arid woodland of the Ejina Basin, China[J]. Hydrological Processes, 2009,23(17):2460-2469.

[6] Nagler P, Jetton A, Fleming J, *et al*. Evapotranspiration in a cottonwood (*Populus* fremontii) restoration plantation estimated by sap flow and remote sensing methods[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007,144(1):95-110.

[7] Mulia R, Dupraz C. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in southern France: What consequences for modelling of tree root dynamics? [J]. Plant and Soil, 2006,281(1):71-85.

[8] 宋曰钦,翟明普,贾黎明,等.不同年龄三倍体毛白杨纸浆林生长期间细根变化规律[J].生态学杂志,2010,29(9):1696-1702.

[9] 朱强根,张焕朝,方升佐,等.苏北杨树人工林细根分布及其季节动态[J].林业科技开发,2008(3):45-48.

[10] Raz-Yaseef N, Koteen L, Baldocchi D D. Coarse root distribution of a semi-arid oak savanna estimated with ground penetrating radar [J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2013, 118 (1):135-147.

[11] Purushothaman R, Zaman-Allah M, Mallikarjuna N, *et al*. Root Anatomical Traits and Their Possible Contribution to Drought Tolerance in Grain Legumes[J]. Plant Production Science, 2013,16(1):1-8.

[12] Douglas G B, Mcivor I R, Potter J F, *et al*. Root distribution of poplar at varying densities on pastoral hill country[J]. Plant and Soil, 2010,333(1):147-161.

[13] Bu S, Rfj H. Root growth of Lotus corniculatus interacts with P distribution in young sandy soil[J]. Biogeosciences, 2013,10(3):1737-1749.

[14] Lazorko H M. Root distribution, activity, and development for boreal species on reclaimed oil sand minesoils in Alberta, Canada[D]. Saskatoon: University of Saskatchewan, 2008:100-107.