

平欧杂种榛细根空间分布特征

罗 达¹, 史彦江¹, 宋锋惠^{1*}, 吴正保¹,
马合木提·阿不来提¹, 李嘉诚², 张 晋²

(1. 新疆林业科学院经济林研究所, 新疆 乌鲁木齐 830063; 2. 新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: [目的] 探讨单作系统下平欧杂种榛根系空间分布特征, 揭示影响细根(吸收根, $0 < d \leq 2$ mm)分布的关键土壤因子, 为平欧杂种榛的地下水肥高效管理提供理论参考。 [方法] 采用田间分层挖掘法和根系形态结构分析系统, 研究平欧杂种榛根系径级构成以及垂直与水平分布特征。 [结果] 表明: 平欧杂种榛根系主要由细根构成, 其中, 细根表面积和细根长度分别占测定总根系的 60.8% 和 93.2%, 表明平欧杂种榛只有维持足够庞大的细根表面积和长度才能摄取更多的养分和水分以保障正常的生长需求。垂直方向上, 平欧杂种榛根系生物量密度、表面积密度和根长密度均随土层深度的增加呈先升高后降低的趋势, 各根系密度参数最大值均在 10~20 cm 土层。水平方向上, 平欧杂种榛根系生物量密度、表面积密度和根长密度均表现为随距树干基部水平距离的增加而减小, 且各根系密度参数在水平距离上差异显著。细根密度的空间分布特征表明, 距树干基部水平距离 0~150 cm 以内的 0~50 cm 土层为细根表面积和根长密度的集中分布区, 二者分别占测定总细根的 54.16% 和 48.83%。相关分析表明: 平欧杂种榛细根表面积密度和根长密度均与土壤含水量呈极显著正相关, 表明细根分布对土壤水分的响应敏感, 细根“逐水性”特征明显。 [结论] 在平欧杂种榛单作系统下, 从节水节肥的角度考虑, 距树干基部水平距离 0~150 cm 以内的 0~50 cm 土层可作为土壤水肥管理的重要区域。

关键词: 平欧杂种榛; 细根; 密度; 空间分布; 适应策略

中图分类号: S759.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)01-0081-09

作为植物重要的功能器官之一, 根系不仅将植物庞大的地上部分固持于土壤, 并通过摄取土壤环境中的水分和养分资源供地上部分利用, 以维持各项生命活动所需的物质和能量。一般直径 > 2 mm 的根系被视作粗根^[1], 直径 ≤ 2 mm 的根系被视作细根^[2]。细根能够反映植物吸收利用水分和养分资源的能力, 决定植物的生长与存活, 是根系中最活跃、最敏感的部分^[3]。

细根空间分布特征作为协调植物地上与地下部分生长的重要内容, 一直是生态学研究的重点之一。以往有关植物根系空间分布的研究多集中在生物量方面^[4-5]; 然而, 其表面积密度和根长密度在反映根系生理生态功能方面往往比生物量更有意义^[6]。同时, 植物细根分布不仅与自身生物学特性有关, 也受土壤物理结构^[4,7]、资源有效性^[3]、微气候^[8]等空间

异质性的强烈制约, 因此, 在研究植物细根空间分布特征时, 还应综合考虑其所处生存环境的影响。

榛子为重要的木本油料和坚果树种, 其果仁富含油脂、蛋白质、淀粉和维生素, 经济价值和营养价值极高。平欧杂种榛(*Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*) 是新疆成功引进的新型经济林树种, 目前正在新疆广泛推广栽培。以往国内外学者有关榛子的研究主要集中在遗传多样性^[9-10]、光合特征^[11]、生理生态特性^[12-13]、形态解剖结构^[14]以及生产栽培技术^[15]等方面, 而针对地下根系空间分布特征的研究尚属空白。在新疆等西部干旱半干旱区, 水分和养分是制约平欧杂种榛生长和产量的重要限制因子。为了提高水肥利用率、持续获得高产, 亟待开展平欧杂种榛地下根系的分布特征研究, 这对制定科学的水肥管理措施具有重要指导意义。鉴于此, 本研究以单作系统下

收稿日期: 2018-03-27 修回日期: 2018-12-04

基金项目: 自治区公益性科研院所基本科研业务费专项资金(KY2017037); 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2016B01005-2)

* 通讯作者: 宋锋惠. E-mail: sfh1111@126.com

的平欧杂种榛为对象,采用田间分层挖掘和根系形态结构分析法,定量研究其根系生物量密度、表面积密度和根长密度的空间分布特征,探讨影响细根(吸收根)分布的关键影响因子,为平欧杂种榛的地下水肥高效管理提供理论参考。

1 研究区概况及试验材料

1.1 研究区概况

研究地点位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐安宁渠的平欧杂种榛试验基地(86°37'33"~88°58'24" E, 43°45'32"~44°08'00" N)。该区位于天山北麓、准葛尔盆地南缘中部,属中温带半干旱大陆性气候。试验地年均气温 7.3℃,年均日照时间 2 775 h,年均无霜期 105~168 d,年均降水量 286.1 mm,年均蒸发量 2 164.2 mm,光热资源丰富,气候干燥。研究区土地类型为耕地,土壤为土层深厚的沙壤土质,厚度约 2 m。0~20 cm 土壤饱和含水量 28.97%,有机质含量 9.14 g·kg⁻¹,速效氮 38.20 mg·kg⁻¹,速效磷 7.97 mg·kg⁻¹,速效钾 114.67 mg·kg⁻¹,pH 值 8.07。

1.2 试验材料

在平欧杂种榛试验基地,以广泛推广栽培的平欧杂种榛‘达维’为试验材料,单作,树龄 8 a,株行距 4 m × 4 m,密度 625 株·hm⁻²,林相整齐,行向为南北走向。栽植的‘达维’苗均为绿枝直立压条繁育的无性系 1 年生幼苗,定植深度 40 cm。田间管理水平一致,每年春天中耕 1 次,每 2 年施鸡粪 1 次,每株施 10 kg;灌溉方式为沟灌,5、6、9、10 月各灌溉 1 次,7、8 月各灌溉 2 次,每次 600 m³·hm⁻²。6 月底灌溉后的第 7 天开始根系土壤取样。

2 研究方法

2.1 试验设计与样品采样

于 2017 年 7 月上旬进行平欧杂种榛根系取样。随机选取树体大小(地径、树高、冠幅)和树势等基本一致的 3 株平欧杂种榛作为根系采样重复。采用剖面挖掘和分层取样法采集根系土样,具体方法为:以树干为中心,从树干基部开始,垂直于树干沿株间和行间各挖一条长 200 cm(相邻树株距和行距中央)、宽 50 cm、深 150 cm 的剖面。在水平方向上,分别在株间和行间剖面上距树干基部每隔 25 cm 处设置根系土壤采样点;在垂直方向上,采用规格为 25 cm × 25 cm × 10 cm(长 × 宽 × 高)的铁质采样器在每个采样点垂直地面向下分层取样,取样深度 150

cm。因此,在每株树的株间和行间,水平方向上各采集根系土样 8 个,垂直方向上又分为 15 层,3 个重复共计采集根系土样 720 个。在根系土样采集的同时,采用体积 100 cm³ 的环刀分层采集土样,密封保存迅速带回实验室,留待物理性质测定。

2.2 根系密度分析

将所有采集的带根土样编号装入塑料袋迅速带回实验室,室内在 60 目的筛网上采用流水冲洗根样,洗净后根据根系颜色、强度、弹性挑出死根,然后用吸水纸吸干水分后采用加拿大 Regent Instruments 公司生产的 WinRHIZO Pro2009a 根系形态结构分析系统分析各径级根系的总表面积和总根系长度^[16],并根据根系直径大小分为细根和粗根,最后将分析过的根系样品装入信封置于 80℃ 的烘箱中烘干至恒质量后称所有根系的生物量。最后,通过下列公式计算根系各密度参数值。

$$D_{rw} = rw \times 10^3 / V$$

$$D_{rs} = rs / V$$

$$D_{rl} = rl / V$$

式中: D_{rw} 、 D_{rs} 、 D_{rl} 分别为根系生物量密度/(mg·cm⁻³)、表面积密度/(mm²·cm⁻³)、根长密度/(cm·cm⁻³); rw 、 rs 、 rl 分别为根系生物量/g、表面积/mm²、长度/cm, V 为土样体积/cm³。

2.3 土壤物理性质测定

环刀采集不同土层深度的土壤后,采用烘干法测定土壤含水量和土壤密度^[7],采用排水法测定土壤孔隙度^[17]。

2.4 数据处理与分析

在 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 22.0 软件中对数据进行整理和统计分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验土层深度和距树干基部水平距离对根系生物量密度、表面积密度和根长密度的影响,显著性水平设为 $\alpha = 0.05$ 。在 Sigmaplot 10.0 中采用 Pearson 相关分析法检验细根表面积密度和根长密度与土壤因子之间的相关性。利用 Origin9.0 软件完成绘图。

3 结果与分析

3.1 土壤物理性质的垂直变化

由表 1 可看出:随着土层深度的增加,平欧杂种榛土壤含水量呈先升高后下降的变化趋势,并在 50~60 cm 土层达到最大值(14.25%)。土壤密度在 0~30 cm 土层内的变化不大,随后开始下降,在 70

cm 以下的土层中呈波动上升的特点。与土壤密度的垂直变化不同,土壤孔隙度从 30 cm 土层开始增大,从 70 cm 土层开始又表现为波动下降。总体来看,不同土层之间的土壤密度和土壤孔隙度差异不大,与该研究区特殊的土壤质地有关。

表 1 土壤物理性质的垂直变化

Table 1 The vertical change of soil physical properties

土层深度 Soil depth /cm	土壤含水量 Soil water content/%	土壤密度 Soil density /(g · cm ⁻³)	土壤孔隙度 Soil porosity /%
0~10	12.35 ± 0.95ab	1.50 ± 0.03abcd	43.49 ± 1.19abcd
10~20	13.97 ± 1.83a	1.50 ± 0.05abcd	43.43 ± 1.94abcd
20~30	13.87 ± 2.43a	1.50 ± 0.03abcd	43.30 ± 1.07abcd
30~40	13.76 ± 1.72a	1.39 ± 0.02d	47.49 ± 0.94a
40~50	13.97 ± 1.79a	1.43 ± 0.05bcd	46.01 ± 1.98abc
50~60	14.25 ± 2.62a	1.40 ± 0.06cd	47.11 ± 2.11ab
60~70	13.56 ± 2.47a	1.40 ± 0.08cd	47.19 ± 3.14ab
70~80	12.17 ± 1.46ab	1.51 ± 0.05abcd	43.06 ± 1.71abcd
80~90	11.34 ± 0.88ab	1.46 ± 0.06abcd	44.79 ± 2.10abcd
90~100	10.30 ± 0.73abc	1.54 ± 0.01abcd	41.79 ± 0.53abcd
100~110	7.47 ± 1.26bcd	1.57 ± 0.01ab	40.76 ± 0.47cd
110~120	7.65 ± 0.27bcd	1.55 ± 0.04abc	41.42 ± 1.33bcd
120~130	6.14 ± 0.63cd	1.51 ± 0.05abcd	42.99 ± 2.04abcd
130~140	5.17 ± 0.70d	1.56 ± 0.06abc	41.23 ± 2.27bcd
140~150	5.21 ± 1.06d	1.59 ± 0.04a	39.87 ± 1.58d

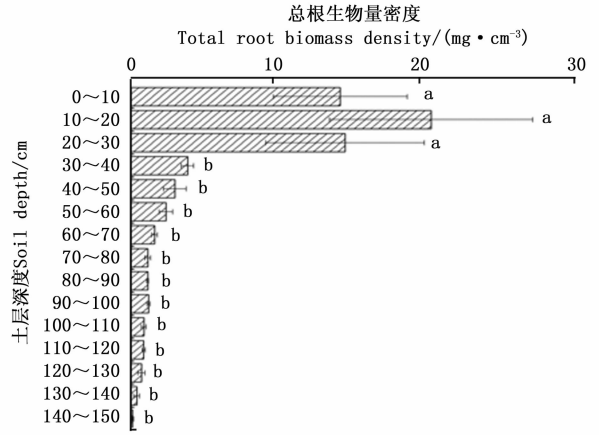
注:同一列不同字母表示不同土层间差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Different letters in the same column indicated significant difference among different soil depth at 0.05 level.

3.2 平欧杂种榛根系垂直分布特征

由图 1 可知:平欧杂种榛总根生物量密度在垂直方向上呈升高、急剧下降、缓慢下降的特点,最大

值出现在 10~20 cm 土层($20.29 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$)。0~10、10~20、20~30 cm 土层间的总根生物量密度差异不显著($P > 0.05$),但显著高于其他土层($P < 0.05$)。0~30 cm 土层的根系生物量密度占有所有土层总根生物量密度的 73.8%,其余土层占 26.2%。



注:图中不同小写字母表示不同土层间差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different letters indicated significant difference among different soil depth at 0.05 level. The same below.

图 1 总根生物量密度的垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of total root biomass density

图 2 表明:粗根和细根表面积密度在垂直方向上的变化基本一致,均表现为随土层深度的增加呈先升后降的趋势,最大值均出现在 10~20 cm 土层(分别为 $18.97, 16.31 \text{ mm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$);10~20 cm 土

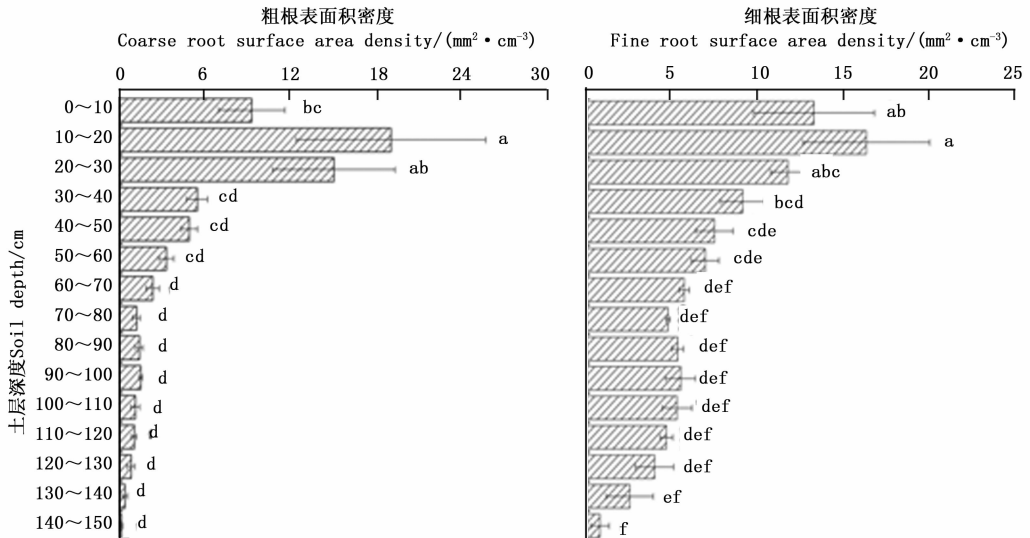


图 2 根系表面积密度的垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of root surface area density

层的粗根表面积密度高于20~30 cm土层,并显著高于其他土层($P < 0.05$);10~20 cm土层的细根表面积密度高于0~10、20~30 cm土层,并显著高于其他土层($P < 0.05$)。不同径级根系的细根表面积密度占测定总根系的60.8%,粗根占39.2%。

不同径级根长密度在垂直方向上的变化趋势(图3)与表面积密度相似(图2),均表现为随土层深度的增加呈先升后降的趋势,最大值均出现在10~20 cm土层(分别为0.10、1.09 $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$)。0~

10、30~40 cm土层的粗根根长密度显著低于10~20、20~30 cm土层($P < 0.05$),显著高于130~140、140~150 cm土层($P < 0.05$),40~130 cm土层内的粗根根长密度差异不显著($P > 0.05$)。0~10、10~20、20~30 cm土层间的细根根长密度差异不显著($P > 0.05$),但显著高于其他土层($P < 0.05$)。与根系的表面积密度径级构建不同,细根根长密度占主导地位,占测定总根系的93.2%,粗根仅占6.8%。

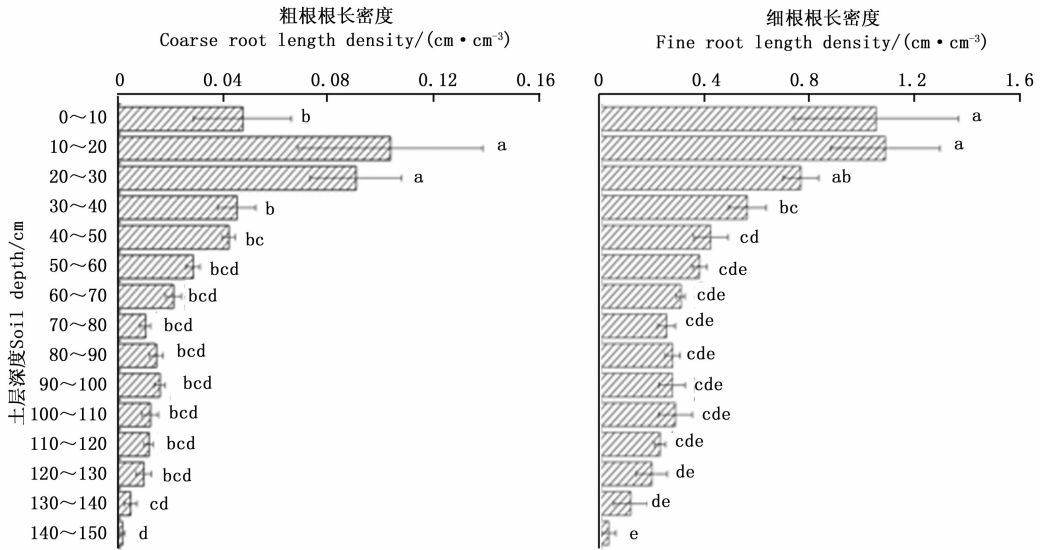


图3 根系根长密度的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of root length density

表2表明:不同土层的细根表面积密度与根长密度分布百分比在0~100 cm土层中的累计百分比分别达83.3%、85.8%,其中,0~10、10~20、20~30 cm各土层中的细根表面积密度与根长密度均超过10.0%;而100~150 cm土层中的细根表面积密度与根长密度总量均不足20.0%。

3.3 平欧杂种榛根系水平分布特征

从图4可看出:在水平方向上,平欧杂种榛总根生物量密度表现为随距树干基部水平距离的增加呈先急剧下降后缓慢下降的特点。总根生物量密度的最大值出现在距树干基部0~25 cm水平距离($28.63 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-3}$),占测定总根系生物量的43.2%,明显高于其他土层($P < 0.05$)。

图5表明:随距树干基部水平距离的增加,粗根表面积密度表现为先急剧下降后缓慢下降,细根表面积密度整体呈下降趋势。距树干基部0~25 cm水平距离的粗根表面积密度最大($21.20 \text{ mm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$),明显高于其他水平距离($P < 0.05$)。距树干

表2 细根表面积密度与根长密度垂直分布百分比
Table 2 Percentage of vertical distribution of fine-root surface area density and root length density

土层深度 Soil depth/cm	细根表面积密度 Fine-root surface area density		细根根长密度 Fine-root length density	
	百分比 Percentage /%	累计百分比 Cumulative percentage/%	百分比 Percentage /%	累计百分比 Cumulative percentage/%
0~10	12.8	12.8	16.7	16.7
10~20	15.8	28.6	17.2	33.9
20~30	11.4	39.9	12.2	46.1
30~40	8.8	48.8	8.9	55.0
40~50	7.2	56.0	6.8	61.8
50~60	6.7	62.7	6.1	67.9
60~70	5.5	68.2	5.0	72.8
70~80	4.6	72.8	4.1	76.9
80~90	5.2	78.0	4.5	81.4
90~100	5.3	83.3	4.4	85.8
100~110	5.1	88.4	4.6	90.5
110~120	4.5	92.9	3.7	94.2
120~130	3.8	96.8	3.2	97.4
130~140	2.5	99.2	2.0	99.4
140~150	0.8	100.0	0.6	100.0

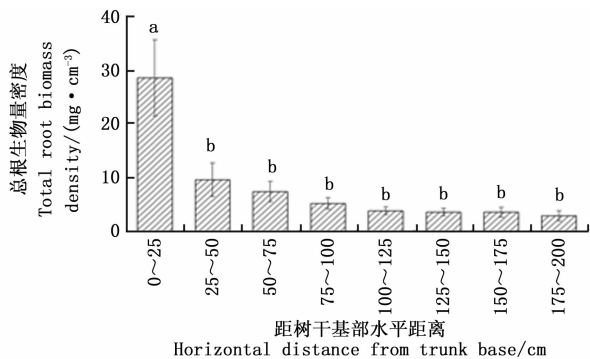


图4 总根系生物量密度的水平分布

Fig. 4 Horizontal distribution of total root biomass density

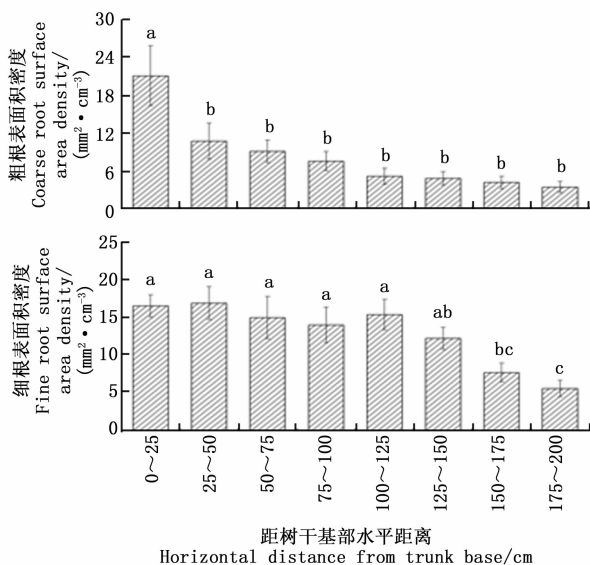


图5 根系表面积密度的水平分布

Fig. 5 Horizontal distribution of root surface area density

基部0~125 cm 水平距离的细根表面积密度无显著差异($P > 0.05$),但显著高于150~175 cm 和175~200 cm 水平距离($P < 0.05$)。

不同径级根长密度在水平方向上的变化趋势(图6)与表面积密度基本一致(图5)。距树干基部0~25 cm 水平距离的粗根根长密度达到最大值($0.11 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$),高于25~50、50~75 cm 水平距离,并明显高于其他水平距离($P < 0.05$)。距树干基部0~125 cm 水平距离的细根根长密度无显著差异($P > 0.05$),但显著高于175~200 cm 水平距离($P < 0.05$)。

距树干基部不同水平距离的细根表面积密度与根长密度分布百分比(表3)表明:二者在距树干基

部0~150 cm 水平距离内的累计百分比分别达87.1%和87.2%,且各水平距离测点的细根表面积密度与根长密度均超过10.0%;而距树干基部150~175、175~200 cm 水平距离的细根表面积密度与根长密度均不足8.0%。

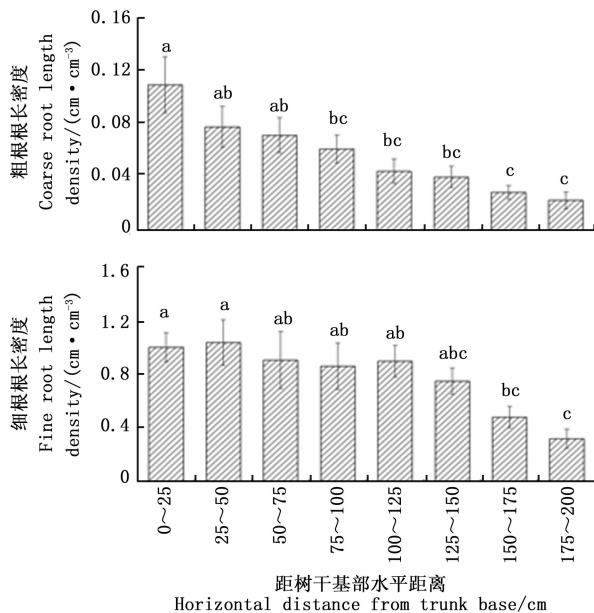


图6 根系根长密度的水平分布

Fig. 6 Horizontal distribution of root length density

表3 细根表面积密度与根长密度水平分布百分比

Table 3 Percentage of horizontal distribution of fine-root surface area density and root length density

距树干基部 水平距离 Horizontal distance from trunk base/cm	细根表面积密度 Fine-root surface area density		细根根长密度 Fine-root length density	
	百分比 Percentage /%	累计百分比 Cumulative percentage/%	百分比 Percentage /%	累计百分比 Cumulative percentage/%
0~25	16.0	16.0	16.0	16.0
25~50	16.4	32.4	16.6	32.6
50~75	14.5	46.9	14.5	47.1
75~100	13.6	60.4	13.8	60.8
100~125	14.9	75.3	14.4	75.2
125~150	11.8	87.1	12.0	87.2
150~175	7.5	94.6	7.7	94.9
175~200	5.4	100.0	5.1	100.0

3.4 平欧杂种榛细根二维分布特征

通过对平欧杂种榛的细根二维分布特征(表2、3)进行分析,结果表明:距树干基部水平距离0~150 cm 以内的0~50 cm 土层为细根密集分布区,细根表面积与长度分别占测定总细根的54.16%和

48.83%,其中,距树干基部水平距离100~150 cm以内的细根表面积密度与根长密度随深度的增加呈先增后减,其余水平位置的细根表面积密度与根长密度随深度的增加而减小;而土层深度100~150 cm、距树干基部水平距离150~200 cm内的细根表面积与长度极少,仅占测定总细根的1.8%和1.7%。

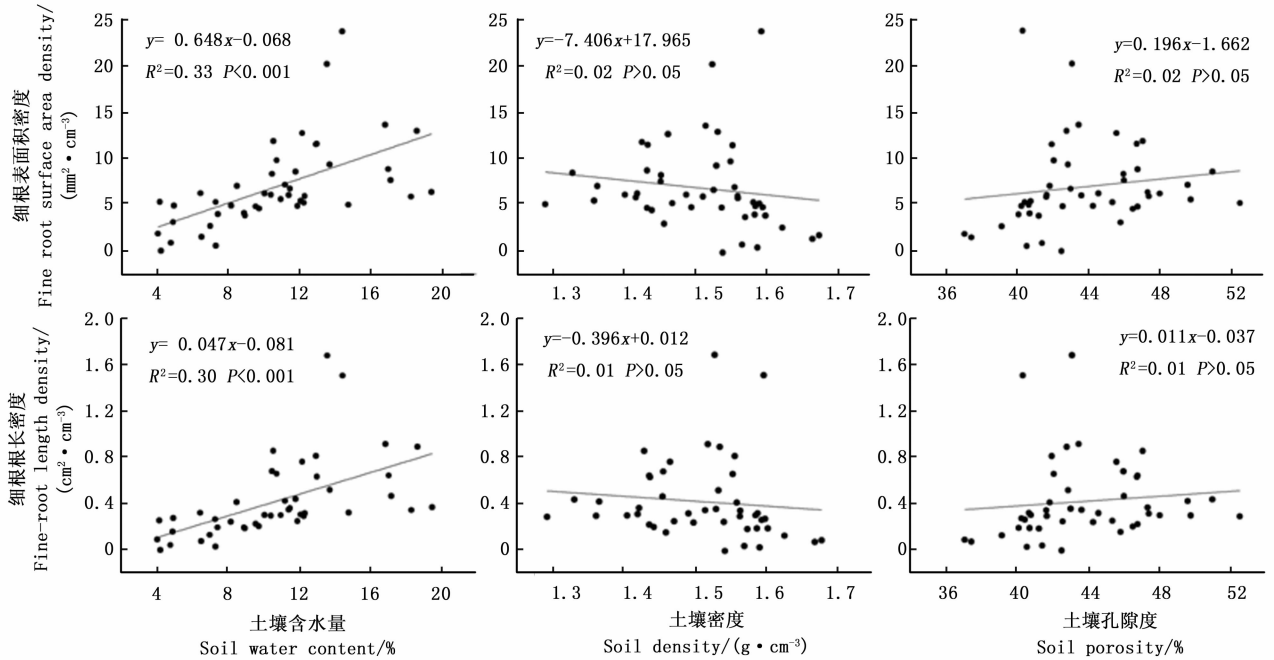


图7 细根表面积密度、根长密度与土壤物理性质之间的 Pearson 相关性 ($n=45$)

Fig.7 Pearson's correlations between fine-root surface area density, root length density and soil physical properties ($n=45$)

4 讨论

受土壤空间异质性的高度影响,植物根系的分布响应强烈,如土壤物理结构、养分含量、微气候条件等的垂直变化与根系分布差异显著相关。一般研究认为,森林植物根系密度往往随着土层深度的增加而递减^[18-19]。然而,本研究发现,平欧杂种榛根系密度随土深的增加先增后减,这与前人关于红枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.)^[20]、核桃 (*Juglans regia* L.)^[21]、苹果 (*Malus pumila* Mill.)^[22]、杏 (*Armeniaca vulgaris* cv. Luntaibaixing)^[23] 等经济林树种的研究结论一致。造成上述根系表面积密度和根长密度垂直分布差异的主要原因可能在于,自然状态下,森林降雨的再分配以及雨水的入渗深度塑造了水分在土壤中的梯度分布^[24],同时,森林地表枯枝落叶的分解决定了土壤有机质和养分等的垂直变化;与森林

3.5 平欧杂种榛细根分布与土壤物理性质的关系

对单作系统下平欧杂种榛细根分布与土壤物理性质进行 Pearson 相关分析,结果(图7)表明:细根表面积密度和根长密度与土壤含水量之间均呈极显著正相关($P < 0.01$),而细根表面积密度和根长密度与土壤密度和孔隙度之间均无显著相关性($P > 0.05$)。

不同,林果业土壤通常受人为影响,如土壤水肥管理措施可能直接影响果树根系的垂直分布。以上研究结果体现了树木在自然和人为干扰条件下的2种不同根系分布模式。在水平方向上,有关植物根系密度与距树干基部水平距离之间的关系一直没有定论。一些研究发现,根系密度随距树干基部水平距离的增加呈递减趋势^[25],与本研究的结论一致。另一些研究则表明,根系密度随距树干基部水平距离的增加呈先增后减的特点,如杨秀云等^[26]研究发现,华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* Mayr.) 人工林表层土壤0~10 cm的细根生物量峰值出现在距树干基部水平距离100 cm处;欧洲赤松 (*Pinus sylvestris* L.) 幼龄林中,距树干基部水平距离50~100 cm内的细根量显著高于其他位置^[27]。此外,也有研究发现,植物根系分布与距树干基部水平距离无关,如马理辉等^[20]研究表明,枣树细根在不同水

平距离上的分布差异不显著,并认为造成这种现象的主要原因在于相邻枣树之间细根的交错重叠形成地下空间网状结构,导致根系在水平方向上的分布差异不明显,然而,正是这种空间网状结构有效扩大了树体对土壤养分的吸收空间。

林木根系中,粗根主要负责固定地上庞大的树冠和主干,细根则主要负责吸收土壤中的水分和养分。Caldwell 等^[28]认为,植物根系的动态主要是细根的动态,维持细根的生理生态功能主要是保持细根的吸收能力。从平欧杂种榛细根密度的二维空间分布特征看,距树干基部水平距离 0~150 cm 以内的 0~50 cm 土层为细根密集分布区。因此,在生产中,为了水肥的高效利用,榛树的水肥管理应以距树干基部水平距离 1.5 m 内为主,同时深度不超过 50 cm。本研究同时表明,距树干基部水平距离 100~150 cm 以内的细根表面积密度与根长密度随深度的增加呈先增后减,其余水平位置的细根密度随土层深度的增加呈递减趋势,表明不同水平位置的细根密度随土层深度的变化规律有差异。原因可能与田间水肥管理制度或树冠大小等有关。如王世伟等^[23]研究发现,杏树细根的集中分布区与树体施肥位置密切相关。另外,有研究也证实,植物根系的分布与树冠大小有关。杨秀云等^[26]认为,树冠边缘一般具有较好的光照条件,同时树冠对降雨的截留也相对较少,细根倾向于占据这些有利生长空间,也可能是细根在此区域分布较多的原因之一。

植物根系的生长、径级结构与分布不仅受自身生物学特性的影响,还受其生存环境条件的强烈制约。水是决定植物根系生长与分布的重要生态因子之一。当土壤环境中的水分含量较高时,植物细根尽可能多地投入碳水化合物,促进细根生长、提高细根表面积密度和根长密度,扩大与土壤的接触面积,进而摄取更多的水分。本研究中,平欧杂种榛细根表面积密度和根长密度与土壤含水量均呈极显著正相关(图 7),表明细根分布对土壤含水量的响应敏感,细根“逐水性”特征明显^[29],与前人对桉树(*Eucalyptus* spp.)细根与土壤水分关系的研究结果相同^[30]。土壤物理性质,如土壤密度与孔隙度,影响着根系在土壤中的穿透阻力及根际水肥气热的变化,进而影响根系的生长速度、伸展空间、形态结构及空间分布的差异性。然而,本研究发现,平欧杂种榛细根密度与土壤密度和孔隙度之间的相关性不显著,原因与该研究区特殊的土壤质地有关。土壤密

度和孔隙度的分析结果也表明,二者在不同土层间的差异不显著。此外,本研究表明,平欧杂种榛幼苗定植深度为 40 cm 时,其根系主要分布在 0~30 cm。相关研究表明,楸树(*Catalpa bungei* C. A. Mey.)不同定植深度的根系总生物量存在显著差异,并随定植深度的增大而递减,但根系主要分布在 20~40 cm,其次为 0~20 cm^[31]。姜岳忠等^[32]研究发现,毛白杨(*Populus tomentosa* var. *fastigiata* Y. H. Wang)栽植过浅、过深均影响苗木生长和根系发育,并认为将苗木栽至 20~40 cm 为宜。上述研究表明,定植深度也是影响植物根系分布的重要因素之一,不同树种不同定植深度其根系的主要分布区域也不同。

5 结论

平欧杂种榛根系生物量密度、表面积密度和根长密度在垂直方向上均随土层深度的增加呈先增后减的趋势,各根系密度参数最大值均出现在 10~20 cm 土层。在水平方向上,各根系密度参数均表现为随距树干基部水平距离的增加而减小。土壤环境因子中,含水量是影响细根表面积密度和根长密度分布的决定因素。在平欧杂种榛单作系统下,从节水节肥的角度考虑,距树干基部水平距离 0~150 cm 以内的 0~50 cm 土层为细根密集分布区,可作为土壤水肥管理的重要区域。本研究仅从单作系统这一特定角度探讨了平欧杂种榛根系的空间分布特征,然而,由于林龄、密度等也是影响根系空间分布的重要因素,因此,未来有必要开展相关研究。

参考文献:

- [1] Zhou H, Zhao W Z, Yang Q Y. Root biomass distribution of planted *Haloxylon ammodendron* in a duplex soil in an oasis: Desert boundary area[J]. *Ecological Research*, 2016, 31(5): 673-681.
- [2] Geng Y, Wang L, Jin D M, et al. Alpine climate alters the relationships between leaf and root morphological traits but not chemical traits[J]. *Oecologia*, 2014, 175(2): 445-455.
- [3] Burton A J, Pregitzer K S, Hendrick R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests[J]. *Oecologia*, 2000, 125(3): 389-399.
- [4] Chang R Y, Fu B J, Liu G H, et al. Effects of soil physicochemical properties and stand age on fine root biomass and vertical distribution of plantation forests in the Loess Plateau of China[J]. *Ecological Research*, 2012, 27(4): 827-836.
- [5] 李帅锋,贾呈鑫卓,杨利华,等. 林龄对思茅松人工林根系生物量的影响[J]. *林业科学研究*, 2018, 31(2): 26-33.
- [6] Robinson D, Hodge A, Fitter A. Constraints on the form and func-

- tion of root systems[M]. Berlin:Springer, 2003.
- [7] 孙文泰, 刘兴禄, 董 铁, 等. 陇东旱塬苹果园不同覆盖措施对土壤性状、根系分布和果实品质的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(5): 841-851.
- [8] Kätterer T, Fabião A, Madeira M, *et al.* Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilisation regimes[J]. *Forest Ecology and Management*, 1995, 74(1-3): 1-12.
- [9] 马庆华, 陈 新, 赵天田, 等. 应用 FISH-AFLP 技术分析平欧杂种榛主栽品种的遗传关系[J]. 中国农业科学, 2013, 46(23): 5003-5011.
- [10] Boccacci P, Aramini M, Valentini N, *et al.* Molecular and morphological diversity of on-farm hazelnut (*Corylus avellana* L.) landraces from southern Europe and their role in the origin and diffusion of cultivated germplasm[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2013, 9(6): 1465-1480.
- [11] 史彦江, 罗青红, 宋锋惠, 等. 高温胁迫对新疆榛光合参数和叶绿素荧光特性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2477-2482.
- [12] Younes R, Tabari K M, Ahmad A, *et al.* The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and physiological characteristics of *Corylus avellana* seedlings[J]. *Ecopersia*, 2016, 4(3): 1471-1479.
- [13] 张 丽, 贾志国, 马庆华, 等. 盐碱胁迫对平欧杂种榛生长及叶片内源激素含量的影响[J]. 林业科学研究, 2015, 28(3): 394-401.
- [14] 寇云玲, 罗青红, 宋锋惠, 等. 新疆杂交榛叶片解剖结构研究[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1063-1068.
- [15] 罗 达, 宋锋惠, 史彦江, 等. 不同年龄枝条修剪对平欧杂种榛生长、光合及结实特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(5): 87-93.
- [16] 朱美秋, 马长明, 翟明善, 等. 河北石质山区花椒细根分布特征[J]. 林业科学, 2009, 45(2): 131-135.
- [17] Luo D, Cheng R M, Shi Z M, *et al.* Impacts of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree species on soil respiration and microbial community composition during forest management in subtropical China[J]. *Ecological Research*, 2016, 31(5): 683-693.
- [18] Claus A, George E. Effect of stand age on fine-root biomass and biomass distribution in three European forest chronosequences[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(7): 1617-1625.
- [19] Upson M A, Burgess P J. Soil organic carbon and root distribution in a temperate arable agroforestry system [J]. *Plant and Soil*, 2013, 373(1-2): 43-58.
- [20] 马理辉, 吴普特, 汪有科. 黄土丘陵半干旱区密植枣林随树龄变化的根系空间分布特征[J]. 植物生态学报, 2012, 36(4): 292-301.
- [21] 王世伟, 潘存德. 干旱区绿洲核桃-冬小麦间作系统核桃吸收根空间分布[J]. 干旱区研究, 2012, 29(5): 757-762.
- [22] 张劲松, 孟 平, 尹昌君. 果农复合系统中果树根系空间分布特征[J]. 林业科学, 2002, 38(4): 30-33.
- [23] 王世伟, 潘存德. 干旱区绿洲灌溉条件下不同树龄轮台白杏根系的分布[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2353-2360.
- [24] Hendrick R L, Pregitzer K S. The relationship between fine root demography and the soil environment in northern hardwood forests [J]. *Ecoscience*, 1997, 4(1): 99-105.
- [25] Santos M R D, Martinez M A, Donato S L R, *et al.* Fruit yield and root system distribution of 'Tommy Atkins' mango under different irrigation regimes[J]. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2014, 18(4): 362-369.
- [26] 杨秀云, 韩有志, 张芸香. 距树干不同距离处华北落叶松人工林细根生物量分布特征及季节变化[J]. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1277-1284.
- [27] Persson H. Spatial distribution of fine-root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in Central Sweden[J]. *Oikos*, 1980, 34(1): 77-87.
- [28] Caldwell M M, Pearcy R W. Exploitation of environmental heterogeneity by plants: Ecophysiological processes above and below ground[M]. Academic Press, 1994.
- [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[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 77-83.
- [30] Laclau J P, Arnaud M, Bouillet J P, *et al.* Spatial distribution of Eucalyptus roots in a deep sandy soil in the Congo: Relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients[J]. *Tree Physiology*, 2001, 21(2-3): 129-136.
- [31] 王卫东, 董玉峰, 姜岳忠, 等. 不同埋干深度对楸树根系生长特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(3): 814-815, 837.
- [32] 姜岳忠, 王 彦, 李 琪. 毛白杨造林栽植深度的研究[J]. 山东林业科技, 2004(6): 14-15.

Spatial Distribution Characteristics of Fine Roots in Monoculture System of *Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*

LUO Da¹, SHI Yan-jiang¹, SONG Feng-hui¹, WU Zheng-bao¹, MAHMUT Ablat¹, LI Jia-cheng², ZHANG Jin²

(1. Institute of Economic Forestry, Xinjiang Academy of Forestry Science, Urumqi 830063, Xinjiang, China;

2. College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: [Objective] To study the spatial distribution characteristics of roots in monoculture system of *Corylus heterophylla* × *C. avellana*, reveal the key soil factors influencing fine root (absorbing root, $0 < d \leq 2$ mm) distribution, and to provide theoretical basis for high efficient management of water and fertilizer of *C. heterophylla* × *C. avellana*. [Method] The diameter class components, vertical and horizontal distribution characteristics of *C. heterophylla* × *C. avellana* roots were studied by the methods of field layered digging and root morphological and structural analysis systems. [Result] The root system of *C. heterophylla* × *C. avellana* was mainly constituted of fine roots, and fine-root surface area and fine-root length accounted for 60.8% and 93.2% in the total root system, respectively. These findings suggest that, for ensuring the normal growing requirement, *C. heterophylla* × *C. avellana* can only maintain large enough fine-root surface areas and fine-root length could absorb more soil water and nutrients. In the vertical direction, all the distribution of root biomass density, root surface area density and root length density increased at first and then decreased with the increase of soil depth, and the maximum value of each root density parameter appeared in 10—20 soil depth. In the horizontal direction, the root biomass density, root surface area density and root length density decreased with increasing of the horizontal distance from trunk base, and horizontal distance significantly affected each root density parameter. The spatial distribution characteristics of fine-root density suggested that, the horizontal distance of 0—150m from trunk base and 0—50 in soil depth were the concentrated distribution areas of fine-root surface area and fine-root length density, accounting for 54.16% and 48.83% in the total fine roots, respectively. Correlation analysis showed that both fine-root surface area density and fine-root length density had significant and positive relations with soil water content, indicating fine-root distribution sensitively responds to soil moisture, and the ‘hydrotaxis’ characteristics are obvious. [Conclusion] In monoculture, *C. heterophylla* × *C. avellana*, considering from the viewpoints of water-saving and fertilizer-saving, the horizontal distance of 0 ~ 150 cm from trunk base and 0 ~ 50 cm in soil depth can be recommended as the important areas of water and fertilizer management.

Keywords: *Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*; fine root; density; spatial distribution; adaptive strategy

(责任编辑:徐玉秀)