

# 黄土丘陵区梨枣人工林细根分布与土壤养分的关系研究

魏国良<sup>1</sup>, 王得祥<sup>2</sup>, 汪有科<sup>3</sup>, 蔺雨阳<sup>4</sup>, 杨涛<sup>5</sup>

(1. 青海大学 农牧学院, 青海 西宁 810016; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 盐边县林业局, 四川 攀枝花 617100; 5. 陕西省治沙研究所, 陕西 榆林 719000)

**摘 要:**采用分层分段挖掘法对黄土丘陵区梨枣人工林细根生物量、根长密度和比根长的空间分布特征,以及这些根系指标与土壤养分的关系进行了研究。结果表明:梨枣细根根量与根长密度,均随水平距离和土层深度的增加而减小;比根长,在垂直方向上 0~40 cm 范围内随土层深度的增加而减小,在水平方向上 0~90 cm 随水平距离的增加而增加。土壤养分含量(除全 P 外)平均值在土层深度 0~20 cm 和水平距离 0~30 cm 土层含量高于其它各土层。相关性结果表明,吸收根根量、根长密度与土壤中的有效性养分存在显著相关性( $R^2=0.6472, 0.6869$ ),特别是土壤中速效 K、速效 N 的含量对于根系的生长有明显的促进作用。比根长与土壤养分含量相关关系不明显。

**关键词:**黄土丘陵区;细根分布;梨枣;土壤养分

**中图分类号:**S 718.55<sup>+</sup>1.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)23-0185-04

土壤养分是森林生态系统的重要组成部分,参与森林生态系统的物质循环和能量流动,其含量直接影响林木的生长状况。直接影响细根活力及其碳水化合物的分配,从而影响树木细根的生物量、生产和周转<sup>[1]</sup>,根系特别是细根( $d \leq 2$  mm)在森林生态系统的碳分配、养分循环、地力维持及土壤结构改善等方面起着重要作用<sup>[2-6]</sup>,细根的分布特征不仅受制于林木本身的遗传特性,还受制于所处的土壤环境<sup>[7]</sup>,同时也影响着土壤环境。许多研究表明,当土壤资源有效性增加时,碳向地下分配增加,促进细根生长和生物量的积累,增强细根吸收水分和养分的能力<sup>[8-10]</sup>。该试验对黄土高原沟壑丘陵区梨枣人工林细根( $d \leq 2$  mm)生物量、反映土壤资源有效性的根长密度(Root Length Density/RLD)和反映细根生理功能的比根长(Specific Root Length/SRL)与土壤养分之间的关系进行研究,以期从生物学角度揭示该地区梨枣根系与环境条件之间的作用机制,为今后研究土壤有效养分对梨枣细根生产的影响提供基本依据,为

梨枣人工林培育提供一定的理论基础,并为梨枣人工林人工调控管理、根土相互作用机理研究提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于米脂县孟岔村银州镇孟岔村红枣示范区,地理位置东经 110°07',北纬 37°46'。研究区为黄土崩状丘陵地貌,坡度 25°,平均海拔 960 m,年平均温度 8.6℃,极端高温 39.6℃,极端低温 -31.8℃,年均降雨量 440.9 mm,年蒸发量高达 1 557 mm,属于中温带半干旱性气候区。试验区以黄绵土为主,容重 1.21 g/cm<sup>3</sup>,土壤较为贫瘠,经测定孟岔枣园有效 N、P、K 含量分别为 34.73、2.90、101.9 mg/kg,有机质含量为 2.1 g/kg, pH 为 8.6。

### 1.2 试验材料

供试树种为 8 a 生梨枣(*Ziziphus jujube* cv. Lizao)纯林,林相整齐,林木分布均匀,在调查基础上,建立 20 m×20 m 的标准地,对标准地内梨枣地径、树高、密度、郁闭度等进行了调查,确定其郁闭度为 0.7,林分平均密度为 2 500 株/hm<sup>2</sup>(株距 2 m×行距 2 m),平均树高 2.71 m,梨枣平均地径 10.7 cm。根据典型取样原则,在代表立地上选取 2 株健康植株(地径分别为 10 和 11 cm)备用。

### 1.3 试验方法

1.3.1 根样获取及处理 试验于 2008 年 4~5 月进行,

**第一作者简介:**魏国良(1977-),男,青海乐都人,硕士,副教授,现主要从事森林生态学等研究工作。

**责任作者:**王得祥(1966-),男,青海乐都人,博士,教授,博士生导师,现主要从事森林生态学等研究工作。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30671721);国家重大科技支撑计划资助项目(2007BAD88B05)。

**收稿日期:**2012-08-27

试验期间天气晴朗,采用壕沟剖面分层分段挖掘法取样<sup>[11-12]</sup>。首先在树干周围按预定方向挖剖面,以树干为中心,沿树木行向等高线方向在水平方向上,沿剖面长度方向内,每隔 30 cm 连续采集土样,宽度为 20 cm。垂直方向上,每隔 20 cm 取样,直至根系下边界,即取样尺寸为 30 cm×20 cm×20 cm。将各层所取土样过 3 mm 的筛,将各层中的所有根系捞出,用水冲洗干净,去除杂物、死根后,用游标卡尺逐一测量,将根系按直径分成 4 个径级<sup>[13]</sup>,即<1 mm、1~2 mm、2~5 mm 和>5 mm,据研究,梨枣有效吸收根系直径≤2 mm<sup>[14]</sup>,用 TNT-2 型扭力天平称量各级根系鲜重,将从样地不同土层获取的根样分别装入塑料袋编号,低温(-4℃)保存。样品带回实验室,采用加拿大 REGENT 公司生产的根系分析系统(WINRhizo),对根系长度、表面积、体积以及根长密度等指标进行测定分析,各级根系取适量样品在 80℃烘干,测得水分换算系数,用于计算各层段根系干重。根据每层样品的根长和根量计算各层的比根长(SRL),由根长和每层土体的体积计算根长密度(RLD)。

1.3.2 土壤取样与养分测定 根系调查结束后,重新修整剖面,在各层用 100 cm<sup>3</sup> 的环刀取 3 个重复土样<sup>[15]</sup>。将取好的土样带回实验室风干,混合均匀后用四分法取部分土样过 2 mm 筛,用于土壤养分的测定。

#### 1.4 项目测定

全 P 采用氢氧化钾碱熔—钼锑抗比色法<sup>[16]</sup>测定;速效钾采用中性醋酸铵浸提火焰光度法测定<sup>[17]</sup>;速效 N 采用碱解扩散法测定。以上测定均设 3 次重复。根长密度和比根长的计算<sup>[11,18]</sup>:

$$\text{根长密度 } RLD = \frac{L_r}{V_s} \quad (1),$$

$$\text{比根长 } SRL = \frac{L_r}{W_d} \quad (2)。$$

式中:RLD 为根长密度(cm/cm<sup>3</sup>);L<sub>r</sub>为根系长度(cm);W<sub>d</sub>为根系干质量(g);V<sub>s</sub>为土壤体积 cm<sup>3</sup>;SRL 为比根长(cm/g)。若根系长度 L<sub>r</sub>和根质量 W<sub>d</sub>为吸收根的测定值,则所得到的 RLD 或 SRL 被称之为有效根长密度或有效比根长。每一相同层、段取算术平均值,用于结果分析与比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 梨枣吸收根根量、根长密度及比根长空间分布特征

由表 1 可知,梨枣吸收根根量与根长密度,在垂直方向上均随土层深度的增加而减小;在水平方向上均随水平距离的增加而减小。吸收根根量随土层深度增加而减少的原因,主要与土壤有效性资源的分布格局有关。根长密度随土层深度和水平距离增加而减少,说明离地表和立木越近吸收根分布多,可以提高吸收养分的

效率。比根长,在垂直方向上 0~40 cm 范围内随土层深度的增加而减小,在水平方向上 0~90 cm 随水平距离的增加而增加。说明随水平距离的增加吸收根根径越小,随土层深度增加,吸收根根量少且直径相对较粗,可能以吸收水分为主。

表 1 梨枣吸收根根量、根长密度及比根长空间分布

Table 1 Distribution of weight, root length density and specific root length of *Ziziphus jujube* cv. Lizao

根系指标 Root index	土层深度 Soil depth/cm	水平距离 Horizontal distance/cm			
		0~30	30~60	60~90	90~120
吸收根根量 Absorbing root	0~20	8.003	2.002	1.207	1.049
weight/g	20~40	1.950	0.851	0.878	0.323
根长密度 Root length	40~60	1.138	0.288	0.035	0.372
density/m·m <sup>-3</sup>	0~20	0.279	0.099	0.057	0.037
比根长 Specific root length	20~40	0.053	0.040	0.029	0.011
/m·g <sup>-1</sup>	40~60	0.032	0.016	0.005	0.010
	0~20	418.362	595.503	564.515	421.471
	20~40	328.486	570.128	397.595	410.299
	40~60	340.292	665.979	1574.418	308.255

### 2.2 梨枣人工林土壤养分分布特征

由表 2 可知,土壤养分含量(除全 P 外)平均值在土层深度 0~20 cm 土层含量高于其它土层深度,在水平距离 0~30 cm 高于其它水平距离的含量,说明土壤中的有效性养分主要集中在土层深度 0~20 cm,水平距离 0~30 cm 范围内。这可能与土壤中根系的分布有关系,在土层深度 0~20 cm,水平距离 0~30 cm 土层中主要分布的是以直径≤2 mm 的吸收根为主,而吸收根在林木根系中主要是吸收土壤中养分。

表 2 土壤养分空间分布

Table 2 The spatial distribution of soil nutrient

土壤养分 Soil nutrients	土层深度 Soil depth/cm	距树体的距离 Horizontal distance/cm			
		0~30	30~60	60~90	90~120
全磷 Total P/%	0~20	0.0521	0.0526	0.0525	0.0419
	20~40	0.05	0.0531	0.051	0.0561
	40~60	0.054	0.0539	0.0521	0.0498
速效 K Available K /mg·kg <sup>-1</sup>	0~20	50.24	39	31.7	24.04
	20~40	28.25	34.75	30.97	23.5
	40~60	33.96	39.9	23.5	24.04
速效 N Available N /mg·kg <sup>-1</sup>	0~20	29.6	19.3	18.2	17.8
	20~40	15.5	17.82	14.98	17.8
	40~60	31	21.3	17.43	16.7

### 2.3 土壤养分对梨枣根系分布的影响

由表 3 可知,土壤养分含量与吸收根根量之间存在不同程度的相关性。吸收根根量与土壤中速效 K 存在极显著的正相关关系,与土壤中速效 N 存在显著的正相关关系,与全 P 含量相关关系不明显,即随着土壤中有效性养分含量的提高,梨枣吸收根根量显著提高。经过对土壤养分含量与吸收根根量的回归分析表明,土壤养分对吸收根根量的影响不同,土壤养分对吸收根的作用具有显著的直线相关性, $R^2=0.6472$ ,方程为:

$Y = -174.5281X_1 + 0.1833X_2 + 0.0836X_3 + 2.9946$ , 式中:  $Y$  为吸收根根量;  $X_1$  为全 P;  $X_2$  为速效 K;  $X_3$  为速效 N。

通过逐步回归方法进一步分析剔除次要因素得出, 土壤中速效 K、速效 N 含量对吸收根根量起到主要影响作用, 线性关系相关系数可以达到 0.7465、0.5799, 是对吸收根根量影响最大的养分因素, 根据速效 K、速效 N 对吸收根根量的影响拟合直线方程为:  $Y = 0.1662X_1 + 0.0687X_2 - 5.1681$ , 式中:  $Y$  为吸收根根量;  $X_1$  为速效 K;  $X_2$  为速效 N,  $R^2 = 0.5734$ 。

研究结果表明, 速效 K 与根长密度存在极显著正相关关系, 速效 N 与根长密度存在显著正相关关系, 与全 P 含量相关关系不明显, 即随着土壤养分含量的增加, 吸收根根长密度增加, 根系吸收养分的能力增强, 因为根长密度是计算根系吸收量的最好参数, 而且高密度的根系对养分有更完全的吸收能力。回归分析结果表明, 土壤中养分含量的综合作用与根长密度之间有显著的直线相关关系 ( $R^2 = 0.6869$ ), 方程如下:

$Y = -5.6268X_1 + 0.0072X_2 + 0.0018X_3 + 0.0802$ , 式中:  $Y$  为吸收根根长密度;  $X_1$  为全 P;  $X_2$  为速效 K;  $X_3$  为速效 N。

逐步回归分析可知速效 K、速效 N 含量是影响根长密度的主要因素, 线性关系相关系数可以达到 0.7873、0.05614, 是对吸收根根长密度影响最大的养分因素, 根据速效 K 及速效 N 对吸收根根长密度的影响拟合方程为:

$Y = 0.0067X_1 + 0.0013X_2 - 0.1830$ , 式中:  $Y$  为吸收根根长密度;  $X_1$  为速效 K;  $X_2$  为速效 N,  $R^2 = 0.6245$ 。

研究结果表明, 比根长与土壤养分含量之间相关关系不明显。

表 3 梨枣根系与土壤养分的相关分析

Table 3 The correlation analysis between root and soil nutrient of *Ziziphus jujube* cv. Lizao

根系指标 Root index	全 P Total P/%	速效 K Available K/mg · kg <sup>-1</sup>	速效 N Available N/mg · kg <sup>-1</sup>
吸收根根量 Absorbing root weight/g	-0.0100	0.75 **	0.58 *
根长密度 Root length density/m · m <sup>-3</sup>	0.0100	0.79 **	0.56 *
比根长 Specific root length/m · g <sup>-1</sup>	0.1400	-0.1600	-0.1500

### 3 结论与讨论

该试验结果表明, 梨枣吸收根根量与根长密度, 在垂直方向上均随土层深度的增加而减小, 比根长, 在垂直方向上 0~40 cm 范围内随土层深度的增加而减小, 这与杨玉盛等<sup>[19]</sup>和廖利平等<sup>[20]</sup>的研究结果相一致。梨枣表层土壤 0~20 cm 具有较高的细根生物量、比根长和根

长密度, 而底层(40~60 cm)的比根长和根长密度最低。程云环等<sup>[18]</sup>研究认为, 表层土壤 0~10 cm 具有较高的比根长和根长密度, 而底层 21~30 cm 具有较低比根长和根长密度, 细根生物量垂直分布随着土壤深度增加而逐渐减少; 梅莉等<sup>[21]</sup>研究表明, 细根生物量和根长密度在肥沃的表层分布较多, 而在相对贫瘠的底层分布较少。这与该试验梨枣人工林细根生物量、比根长和根长密度变化规律基本一致。梨枣大部分细根生物量都集中在 0~20 cm 土层, 表明林地表层土壤丰富的养分条件是梨枣细根集中于表层的重要原因之一。森林枯枝落叶层是森林生态系统物质循环过程中的“养分库”, 经过土壤原生动物及微生物的分解矿化等过程向土壤层提供大量的养分, 使表层土壤具有较好的养分和水分条件, 从而为林木细根向表层土壤聚集提供良好的条件<sup>[22]</sup>。

梨枣吸收根根量与根长密度, 在水平方向上均随水平距离的增加而减小, 说明离立木越近, 吸收根分布多, 可以提高吸收养分的效率。比根长是根长与生物量的比值, 比根长越大直径越小, 水分和养分获取的优势就越大<sup>[23]</sup>。比根长, 在水平方向上 0~90 cm 随水平距离的增加而增加。说明随水平距离的增加吸收根根径越小, 主要以吸收水分和养分为主。

土壤养分含量(除全 P 外)平均值在土层深度 0~20 cm 土层含量高于其它土层, 在水平距离 0~30 cm 高于其它水平距离的含量。相关性结果表明, 吸收根根量、根长密度与土壤中的有效性养分存在显著相关性, 这与周玮等<sup>[24]</sup>对马尾松的研究结果相一致。比根长与土壤养分含量相关关系不明显, 这说明梨枣细根增加吸收能力的途径主要是通过富养斑块增生而不是通过改变其直径大小来实现的。土壤中养分含量的提高有利于促进梨枣根系吸收根根量及根长密度, 特别是土壤中速效 K、速效 N 的含量对于梨枣根系的生长有明显的促进作用, 在一定程度上决定着梨枣细根根系的空间分布。这与 Espeleta 等<sup>[25]</sup>对美国东南部 3 个树种和梅莉等<sup>[21]</sup>对水曲柳和落叶松的研究结果相一致。提高梨枣的生产力, 在梨枣人工林的培育过程中, 可以通过改变林地土壤中养分含量来改变梨枣根系的生长及吸收, 改善梨枣人工林的生长量。

### 参考文献

- [1] Vogt K A, Vogt D J, Moone E E, et al. Estimating Doouglass-fir fine root biomass and production from living bark and starch[J]. Can J For Res, 1985(15):177-179.
- [2] Gill R A, Jackson R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems[J]. New Phytol, 2000, 147:13-31.
- [3] 范世华, 李培芝, 王力华, 等. 明. 杨树人工林下根系的氮素循环与动态特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3):387-390.
- [4] 刘苑秋, 罗良兴, 刘亮英, 等. 退化红壤重建森林初期细根特征及其



作用机理研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1735-1739.

[5] 李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报, 1992(4): 366-369.

[6] 李勇, 吴钦孝, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究 I. 油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 1-5.

[7] Norby R J, Ledford J, Reilly C D, et al. Fine-root production dominates responses of a deciduous forest to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment[J]. PNAS, 2004, 101(29): 9689-9693.

[8] King J S, Albaugh T J, Allen H L, et al. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine [J]. New Phytol, 2002, 154: 389-398.

[9] 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 [J]. Oecologia, 2001, 129: 420-429.

[10] Burton A J, Pregitzer K S, Hendrick R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forest [J]. Oecologia, 2000, 125: 389-399.

[11] 王进鑫, 王迪海, 刘广全. 刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(12): 2208-2214.

[12] 魏国良, 汪有科, 王得祥, 等. 梨枣人工林有效吸收根系密度分布规律研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 133-138.

[13] Smit A, Bengough G, Ingels C, et al. Root methods: a handbook [M]. Berlin: Springer Verlag, 2000: 1-32.

[14] 常经武. 枣的栽培与加工[M]. 西安: 西安地图出版社, 1993.

[15] 折红燕, 罗于洋, 张海龙, 等. 大青沟水曲柳、蒙古栎、大果榆苗木根系生物量与土壤养分及 pH 值关系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(12): 183-189.

[16] 岳庆玲, 常庆瑞, 刘京. 黄土丘陵沟壑区不同人工林地土壤肥力变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 99-101.

[17] 王颖, 曹丽, 张春华. 苹果梨树盘内土壤养分状况的调查[J]. 北方园艺, 2005(2): 22-24.

[18] 程云环, 韩有志, 王庆成, 等. 落叶松人工林细根动态与土壤资源有效性关系研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 403-410.

[19] 杨玉盛, 陈光水, 林鹏, 等. 格氏栲天然林与人工林细根生物量、季节动态及净生产力[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1719-1731.

[20] 廖利平, 邓仕坚, 于小军, 等. 不同连栽代数杉木人工林细根生长、分布与营养物质分泌特征[J]. 生态学报, 2001, 21(4): 569-573.

[21] 梅莉, 王政权, 韩有志, 等. 水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1): 1-4.

[22] 安慧, 韦兰英, 刘勇, 等. 黄土丘陵区油松人工林和白桦天然林细根垂直分布及其与土壤养分的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 611-619.

[23] Eissenstat D M, Wells C E, Yanai R D, et al. Building roots in a changing environment: implications for root longevity[J]. New Phytol, 2000, 147: 33-42.

[24] 周玮, 周运超. 马尾松细根与土壤养分含量研究[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(6): 6-10.

[25] Espeleta F, Donovan L A. Fine root demography and morphology in response to soil resources availability among xeric and mesic sandhill tree species [J]. Funct Ecol, 2002, 16(1): 113.

## The Relationship between Distribution Characters of Fine Root of *Ziziphus jujube* cv. Lizao Plantation and Soil Nutrients in Hilly Loess Regions

WEI Guo-liang<sup>1</sup>, WANG De-xiang<sup>2</sup>, WANG You-ke<sup>3</sup>, LIN Yu-yang<sup>4</sup>, YANG-Tao<sup>5</sup>

(1. College of Agricultural and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016; 2. College of Forestry, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100; 4. Forest Bureau of Yanbian County, Panzhihua, Sichuan 617100; 5. Institute for Control Sand of Shaanxi Province, Yulin, Shaanxi 719000)

**Abstract:** The space distribution characters on the biomass, root length density and specific root length of fine root of *Ziziphus jujube* cv. Lizao plantation, and the relationship between soil nutrients by layered and sectional mining method in Hilly Loess Regions were studied. The results showed that both fine roots root biomass and root length density of *Ziziphus jujube* cv. Lizao decreased with an increase of horizontal distance and soil depth. Specific root length decreased in the vertical direction within the range of 0~40 cm soil depth increase, while increased with the horizontal distance increase within the range of 0~90 cm in horizontal direction. The average content (in addition to all P outside) of soil nutrient was higher than the other in 0~20 cm soil depth and in 0~30 cm soil layer horizontal distance. Correlation results showed that there had a significant correlation ( $R^2 = 0.6472, 0.6869$ ) among the absorption stud, root length density and soil nutrients in the effectiveness, especially the content of effective K, available N promoted roots' growth significantly. The correlation of specific root length and soil nutrient content was not obvious.

**Key words:** loess hilly regions; distribution characters of fine root; *Ziziphus jujube* cv. Lizao; soil nutrients