

# 柠条锦鸡儿细根根长密度与土壤水肥垂直分布特征及相关性研究

温 健<sup>1</sup>, 郭月峰<sup>1</sup>, 姚云峰<sup>1</sup>, 祁 伟<sup>1,2</sup>, 王剑然<sup>2</sup>

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区水利水电勘测设计院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘 要:**以柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)细根为研究对象,在赤峰市敖汉旗黄花甸子流域研究区,运用 EPSON 根系扫描仪和 Winrhizo 根系系统对柠条锦鸡儿细根特征进行分析,研究了柠条锦鸡儿细根根长密度随不同土层深度变化规律以及其与土壤养分和含水率的关系。结果表明:柠条锦鸡儿细根根长密度随土层深度的加深,总体呈递减的趋势,细根根长密度于 0~20 cm 层达到最大值;通过细根特征与土壤养分和含水率分析,发现柠条细根根长密度与土壤养分相关性最大,与含水率相关性不明显。该研究旨在为北方农牧交错带植被恢复提供参考依据。

**关键词:**柠条锦鸡儿;细根根长密度;土壤养分;相关性

**中图分类号:**S 793.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)06-0177-04

内蒙古农牧交错区是土壤易被侵蚀的脆弱区,在风力和水力 2 种主要侵蚀营力作用下,极易形成风蚀和水蚀时间上交替、空间上叠加的复合侵蚀<sup>[1-2]</sup>。该地区由于土地和地下水资源长期的不合理利用,植被覆盖度不断降低,土壤侵蚀越来越严重。作为防治土壤侵蚀最直接、最有效的措施,生物措施不仅廉价易行,而且还能够保水保土,有效地降低风蚀、水蚀作用,改善土壤理化性质,增加生物多样性并改善当地气候条件<sup>[3]</sup>,具有长期可持续发展价值。根系作为与土壤直接接触的营养器官,主要起着 2 个作用,其一主要是由大根、粗根提供的支撑作用;其二是由细根进行水分和养分的吸收。细根(直径 $\leq 2$  mm)<sup>[4]</sup>作为根系中生理功能最活跃的部分<sup>[5]</sup>,是林木吸收水分和养分的主要器官,在土壤中

的空间分布直接影响林木的生长发育和生产力,最能反映植被对土地的利用状况,对植被的生长具有决定性作用。定量植物细根空间的分布特征是构建吸水及运移模型、计算根系吸水量不可缺少的手段和环节,对于进一步研究根系吸水时空分布规律及以此为基础确立根系水分最优调控措施具有十分重要的指导意义<sup>[6-7]</sup>。土壤水分和养分对根系的生长和发育发挥着重要作用,探究空间分布特征,能为揭示细根与土壤水肥之间的关系提供参考依据。

柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)属豆科锦鸡儿属落叶灌木,俗称柠条,其根系发达,具有很强的抗逆性和适应性,是营造水土保持林、防风固沙林、薪炭林和饲料林的优良树种之一<sup>[8-9]</sup>。目前,对柠条的研究大多集中于地上部分,对地下部分尤其是地下 2 m 深土层范围内细根的研究甚少。因此,该研究以柠条为研究对象,对其细根和土壤水肥性质的垂直空间分布进行研究,以为植物细根对土壤水分养分的响应机制提供基础资料,同时也为内蒙古农牧交错带的建设和植被恢复提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区赤峰市敖汉旗西部的黄花甸子流域(北纬 42°17'~42°33',东经 119°36'~119°53')。该区属于中温带半干旱大陆性季风气候,

**第一作者简介:**温健(1993-),男,内蒙古鄂尔多斯人,硕士研究生,研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail:1961455949@qq.com.

**责任作者:**郭月峰(1982-),女,内蒙古乌海人,博士,讲师,现主要从事水土保持与荒漠化防治等研究工作。E-mail:guoyuefeng0525@126.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31500584);高等学校科学研究资助项目(NJZZ16055);内蒙古应用研究与开发计划资助项目(20110732);内蒙古自然科学基金资助项目(2016MS0407)。

**收稿日期:**2016-12-28

年降水量 400~470 mm, 年蒸发量 2 290~2 400 mm。全年日照数 2 940~3 060 h, 年平均日照数 2 999.3 h,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温 3 189  $^{\circ}\text{C}$ 。年均风速 4~6  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。土壤类型大部分为栗钙土, 伴随着少量的风沙土, 体现了森林土壤向草原土壤过渡的特点。该流域有天然草地、灌丛、乔灌混交林、针阔混交林和阔叶纯林等植被类型, 以人工植被为主。地带性植被以疏林草原为主, 人工植被以水土保持林和防风固沙林为主, 主要造林树种为小叶杨(*Populus simonii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杏(*Prunus sibirica*)、柠条(*Caragana korshinskii*)等<sup>[10-11]</sup>。

## 1.2 试验方法

于 2015 年 8 月, 对生长良好、林龄为 10 年生的柠条林地进行标准地设置, 标准地面积大小为 20 m×20 m。于标准地内, 选择 5 丛标准丛进行取样测定。以标准株基部为圆心, 沿坡长方向按四分之一圆法取样<sup>[12]</sup>, 半径为 200 cm, 水平和垂直方向均按 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~140、140~160、160~180、180~200 cm 分层取样, 将水平方向和垂直方向各分层的所有根全部拣拾干净, 并分别装袋带回室内。同时, 对各分层范围内的土壤进行取样, 以备测定土壤养分。用孔径 0.1 mm 筛筐仔细把根上附着的泥土冲洗干净。用游标卡尺进行测量, 将径级  $< 2$  mm 细根全部挑出, 并根据根系外形、颜色、弹性及根皮与中柱分离的难易程度来区分活根、死根。最后用 EPSON10000XL 进行扫描并用 WinRHIZO 根系分析系统分析各层细根的根长。

## 1.3 项目测定

1.3.1 根长密度 根长密度指单位土壤体积中的根长。 $\rho=L/V$ , 式中:  $\rho$  代表单位体积内的根长密度,  $L(\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3})$  代表一定体积内的总根长,  $V(\text{cm}^3)$  为取根的土块的体积。

1.3.2 土壤养分 土壤有机质含量采用重铬酸钾外加热氧化法测定; 全氮含量采用凯氏蒸馏法测定; 速效钾含量采用醋酸铵-火焰光度法测定; 速效磷含量采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法测定<sup>[13]</sup>。土壤含水率采用 QS-SFY 型土壤水分速测仪测定。

## 1.4 数据分析

数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行统计分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 柠条细根的垂直空间分布特征

由图 1 可知, 在 200 cm×200 cm 的空间范围内, 随着土壤深度增加柠条细根根长密度整体呈递减趋

势, 在 0~20 cm 层达到最大, 约为 0.27  $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 占柠条细根总根长密度的 26%; 在第 180~200 cm 层达到最小, 细根根长密度约为 0.03  $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 仅占柠条细根总根长密度的 3%。拟合柠条细根根长密度与土层深度的关系呈现幂函数关系:  $y=244.3e^{-9.5785x}$ ; 式中:  $y$  为细根根长密度,  $x$  为土层深度, 相关系数  $R^2=0.9488$ 。

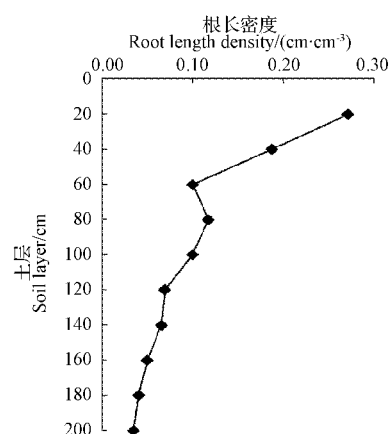


图 1 不同土层的根长密度

Fig. 1 Root length density in different soil layers

## 2.2 基于根系分布的柠条土壤水分垂直分布

由图 2 可知, 随着土层深度的增加, 土壤含水率整体呈递增趋势。整个 2 m 土壤剖面的土壤含水率在 2.8%~5.0%。0~20 cm 土层易受光照影响, 含水率应低于其它土层, 然而却高于 20~40 cm 土层, 这主要是受到树冠遮荫的影响, 使得光照影响减少。在 0~80 cm 土层, 土壤含水率下降较快, 该区是细根密集层, 细根根长密度占整个土层的 54%, 因此根系在该层吸水活动较为强烈, 土壤含水率较低, 在 80 cm 处达到最低值, 为 2.82%。在 60~200 cm

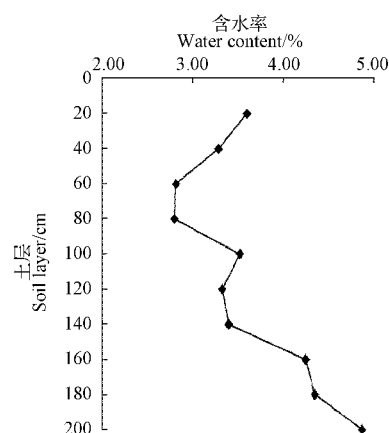


图 2 不同土层土壤含水率的分布

Fig. 2 Water content in different soil layers

土层内,细根分布较少,土壤含水率随着土层的增加而变大。

### 2.3 基于根系分布的柠条土壤养分的垂直分布

从图 3 可以看出,土壤中有有机质、全氮、速效磷含

量变化规律一致,均在表层(0~20 cm)达到最大,随着土层的增加递减,变化幅度较大。速效钾含量在 0~40 cm 土层变化幅度较大,随着土层的增加,其变化幅度很小,不是影响该地柠条根系生长的限制性因子。

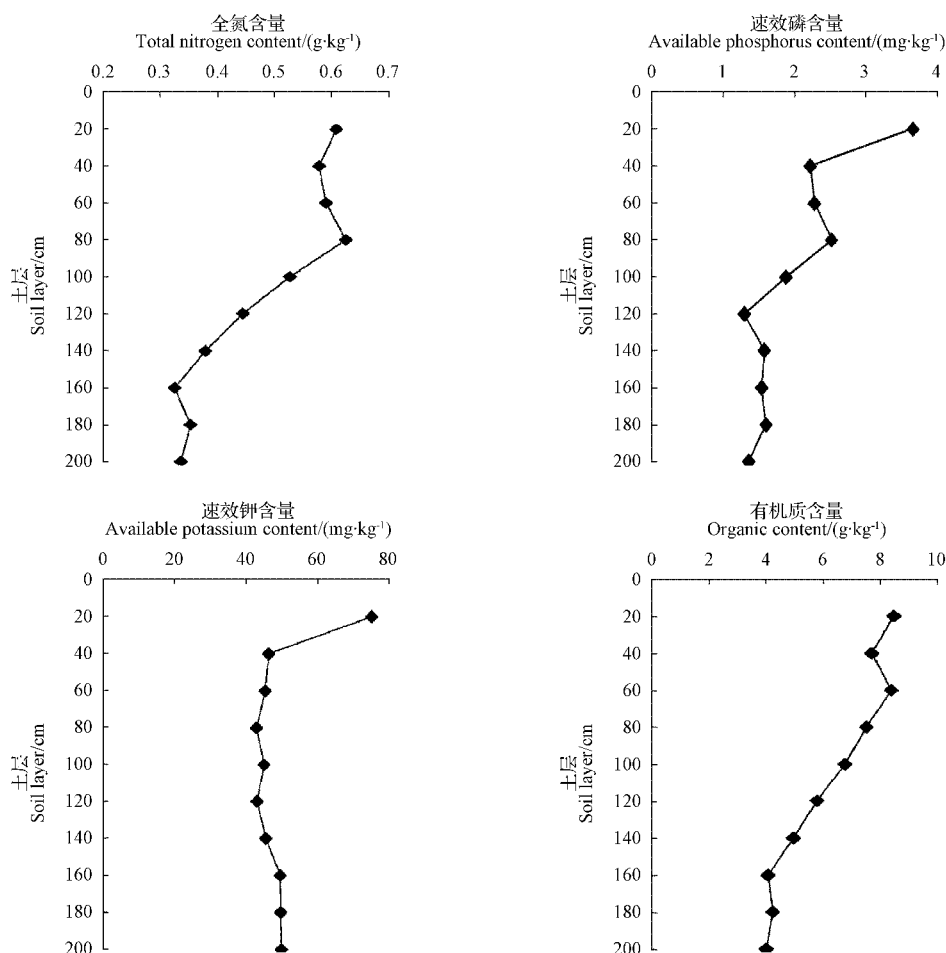


图 3 不同土层土壤养分的分布

Fig. 3 Soil nutrients distribution in different soil layers

### 2.4 土壤水分、养分对细根根长密度的影响

由表 1 可以看出,根长密度与土壤含水率呈负相关,但相关性不显著;与土壤养分相关性显著,其中,与土壤中有有机质含量在 0.01 水平上显著相关,

相关系数为 0.795,与土壤中全氮在 0.01 水平上显著相关,相关系数为 0.780;与土壤中速效磷在 0.01 水平上显著相关,而与速效钾在 0.05 水平上显著相关。

表 1

细根根长密度与土壤水分、养分的相关关系

Table 1

Corelationship among fine root length density, soil water and nutrients

	根长密度 Root length density	含水率 Water content	有机质 Organic	全氮 Total nitrogen	速效钾 Available potassium	速效磷 Available phosphorus
根长密度 Root length density	1					
含水率 Water content	-0.446	1				
有机质 Organic	0.795 **	-0.798 **	1			
全氮 Total nitrogen	0.780 **	-0.777 **	0.980 **	1		
速效钾 Available potassium	0.664 *	0.218	0.238	0.190	1	
速效磷 Available phosphorus	0.912 **	-0.415	0.792 **	0.790 **	0.715 *	1

注: \*\* 表示 0.01 水平(双侧)上显著相关, \* 表示 0.05 水平(双侧)上显著相关。

Note: \*\* Correlation is significant at 0.01 level(double side), \* Correlation is significant at 0.05 level(double side).

### 3 讨论与结论

植物的粗根占总根系的比重较大,主要起支撑作用,细根比重虽小,但分布范围更为广泛,可塑性更强,对植物的生长发育起决定性作用。柠条细根根长密度能够很好地反映植物的生长发育状况。刘晓丽<sup>[14]</sup>研究枣树根系垂直分布时,发现枣树细根干质量密度随着土层增加而递减,拟合结果为幂函数;张劲松等<sup>[15]</sup>研究发现,石榴树吸水根根长密度与深度的增加呈负指数函数关系,BAKKER等<sup>[16]</sup>指出欧洲山毛榉根系密度在不同林龄条件下均随土层的增加而减少,与该研究中柠条根系垂直分布规律一致。

细根作为根系中主要吸收水分和养分的部位,土壤水分和肥力对其分布起着重要影响。该研究区柠条细根主要集中于0~80 cm土层,随着土层增加,土壤含水率增加,柠条细根根长密度减少,但与土壤含水率的相关性并不明显,但这不能认为细根生长与水分没有密切关系,可能是由于细根生长与水分因子的季节变化趋势不同步造成的,事实上,水分因子是影响柠条细根生长的关键因子之一。土壤肥力与柠条细根生长有明显的相关性,土壤中细根的发展规律与土壤中速效磷、全氮、有机质含量的分布规律一致,而与速效钾含量没有较大关系,可见该地区柠条细根的生长主要受速效磷、全氮、有机质含量的影响,而受速效钾的影响较低。

#### 参考文献

[1] 脱登峰,许明祥,郑世清,等.黄土高原风蚀水蚀交错区侵蚀产沙过程及机理[J].应用生态学报,2012,23(12):3281-3287.

- [2] 王建国,樊军,王全九,等.黄土高原水蚀风蚀交错区植被地上生物量及其影响因素[J].应用生态学报,2011(3):556-564.
- [3] 周跃.植被与侵蚀控制:坡面生态工程基本原理探索[J].应用生态学报,2000,11(2):297-300.
- [4] PERSSON H. Root dynamic in a young Scots pine stand in central Sweden[J]. Oikos,1978,30:508-519.
- [5] HENDRICK R L, PREGITZER K S. Patterns of fine root mortality in two sugar maple forest[J]. Nature,1993,361(6407):59-61.
- [6] 郭忠升,邵明安.半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J].生态学报,2003(8):1640-1647.
- [7] 刘昌明,王会肖.土壤-作物-大气界面水分过程与节水调控[M].北京:科学出版社,1999.
- [8] 王孟本,李洪建,柴宝峰.柠条(*Caragana korshinskii*)的水分生理生态学特性[J].植物生态学报,1996(6):494-501.
- [9] 陈世铎.内蒙古干草原地区几个类型的植物地下部分的初步分析[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),1981(2):53-77.
- [10] 郭月峰.小流域防护林碳汇效应及空间配置研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [11] 李龙,姚云峰,秦富仓.黄花甸子流域土壤全氮、速效磷、速效钾的空间变异[J].生态学杂志,2015(2):373-379.
- [12] 杨阳,刘秉儒,宋乃平,等.人工柠条灌丛密度对荒漠草原土壤养分空间分布的影响[J].草业学报,2014(5):107-115.
- [13] 吴湘琳,耿庆龙,王新勇,等.南疆枣夹馍间作模式下土壤养分垂直分布特征[J].新疆农业科学,2015(3):472-476.
- [14] 刘晓丽.黄土丘陵区枣林深层细根分布与土壤水分特征研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [15] 张劲松,孟平.石榴树吸水根根系空间分布特征[J].南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(4):89-91.
- [16] BAKKER M R, TURPAULT M P, HUET S, et al. Root distribution of *Fagus sylvatica* in a chronosequence in western France[J]. Journal of Forest Research,2008(13):176-184.

## Research on Fine Root Density and Soil Nutrients and Water Content Vertical Distribution of *Caragana korshinskii* and Their Correlation

WEN Jian<sup>1</sup>, GUO Yuefeng<sup>1</sup>, YAO Yunfeng<sup>1</sup>, QI Wei<sup>1,2</sup>, WANG Jianran<sup>2</sup>

(1. College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot, Inner Mongolia 010019;  
2. Design Institute of Water Conservancy & Hydropower in Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020)

**Abstract:** Huanghuadianzi watershed was chosen as the researched area and fine roots of *Caragana korshinskii* as the study object, by adopting the combination of field experiment and indoor experiment methods mainly using Epson scan and Winrhizo system to analyze how the root length density of fine roots changed in different soil layers, and analyzed the correlation between root length density and soil nutrient. The results showed that the root length density decreased while the soil depth increased. Root length density reached the maximum in 0~20 cm layer. It was found that root length density had a significant relationship with soil nutrients than water content. It aimed at providing theoretical basis for vegetation restoration in the north of China.

**Keywords:** *Caragana korshinskii*; fine root length density; soil nutrients; correlation