

DOI: 10.5846/stxb201312253026

李青山, 王冬梅, 信忠保, 李扬, 任远. 漓江水陆交错带典型灌木群落根系分布与土壤养分的关系. 生态学报, 2015, 35(15): 5104-5109.

Li Q S, Wang D M, Xin Z B, Li Y, Ren Y. Root distribution in shrub communities of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(15): 5104-5109.

漓江水陆交错带典型灌木群落根系分布与土壤养分的关系

李青山, 王冬梅*, 信忠保, 李扬, 任远

北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083

摘要:在漓江流域水陆交错带选取一叶萩、细叶水团花、枫杨 3 种典型灌木群落, 对不同土层深度的根长密度, 以及根长密度与土壤有机质、全氮、有效磷的相关关系进行了研究, 旨在为漓江流域生态修复过程中灌木植被恢复、主要灌木植被配置、快速绿化材料选取等提供科学依据。结果表明: (1) 漓江水陆交错带典型灌木群落各土层根长密度差异性显著, 分布规律均为: 枫杨 > 细叶水团花 > 一叶萩。0—10 cm 到 40—60 cm 土层, 各灌木群落根长密度均减小, 但不同灌木群落根长密度的差异程度逐渐缩小, 表明地形、地表植物类型及生长状况对根长密度分布的影响也随土层深度的增加而逐渐减小。(2) 枫杨 (25.10g/kg) 灌木群落底层腐殖质层厚, 有机质含量最高, 分别是细叶水团花、一叶萩的 1.24、1.87 倍。各灌木群落全氮含量从大到小依次是枫杨、细叶水团花、一叶萩, 其值分别为: 3.23、2.41、1.46 g/kg。土壤有效磷分布规律为一叶萩 (11.56 mg/kg) > 细叶水团花 (5.37 mg/kg) > 枫杨 (3.99 mg/kg); 一叶萩灌木群落有效磷含量远远大于枫杨和细叶水团花, 原因是漓江水长期受人为洗漱影响, 导致受江水干扰大的一叶萩灌木群落有效磷含量高。(3) 根长密度与有机质、全氮含量呈正相关, 与有效磷含量呈负相关, 说明适量增加土壤有机质、全氮含量, 减少土壤有效磷, 有利于土壤根系的生长。根长密度与 $0 < L \leq 1$ mm 径级的根系所占比例呈极显著正相关, 与 $1 < L \leq 2$ mm 径级的根系所占比例呈显著正相关, 表明根系细根越多, 根长密度越大。

关键词: 漓江; 水陆交错带; 灌木群落; 根长密度; 根系分布; 土壤性质

Root distribution in shrub communities of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties

LI Qingshan, WANG Dongmei*, XIN Zhongbao, LI Yang, REN Yuan

State Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Prevention, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Studies on the relationship between roots and soil are important to determine fundamental reasons for ecological degradation of riverside belt areas. Concentrating on the problem of ecosystem degradation in the Lijiang River, this paper explored the plant's root distribution features in degraded ecosystems of the river-land ecotone. In the repair process, characteristics of the root distribution are an important basis for the characterization of different herbs' soil and water protection functions. Thus, there is an urgent need to carry out studies on the distribution of dominant types of herbaceous plant roots at different sites of the Lijiang River ecotone. This paper studied the root length density at different soil depths and assessed the correlation between root characteristics and soil organic matter, total nitrogen, and available phosphorus. The results show significant difference between specific root lengths within each shrub community and each soil layer. The root length density decreased from *Pterocarya stenoptera* to *Geum aleppicum* to *Securinega suffruticosa*. In soil layers at 0—10

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2012BAC16B03)

收稿日期: 2013-12-25; 网络出版日期: 2014-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dmwang@126.com

cm and 10—20 cm depth, the root length density decreased for each shrub community, but the decrease was gradual, indicating that the effects of the terrain surface, types of plants, and growth conditions on the distribution of root length density gradually decrease with the increase in soil depth. *Pterocarya stenoptera* had high total nitrogen content and root length density 1.24-fold that of *Geum aleppicum* and 1.87-fold that of *Securinega suffruticosa*. The difference in total nitrogen content significantly decreased from *Pterocarya stenoptera* to *Geum aleppicum* to *Securinega suffruticosa*. The available phosphorus content decreased from 11.56 g/kg in *Securinega suffruticosa* to 5.37 g/kg in *Geum aleppicum* and 3.99 g/kg in *Pterocarya stenoptera*. Since the Lijiang River water has been affected by human activities for a long time, the available phosphorus content is much greater in *Securinega suffruticosa* than in other species. The root length density is positively correlated with organic matter and total nitrogen and negatively correlated with the available phosphorus. We can, therefore, conclude that with more soil roots, there is more organic matter and total nitrogen and less available phosphorus. Root length density is significantly positively correlated with root diameter in the class of less than 1 mm at 0.01 level (two tails), and positively correlated with root diameter in the class of $1 < L < 2$ mm at 0.05 level (two tails).

Key Words: Lijiang; land/inland water ecotone; shrub community; root length density (RLD); root distribution; soil properties

近年来,随着桂林旅游业的发展,漓江水陆交错带生态安全体系遭受严峻的挑战,近 40 年漓江纯真古朴的自然景观出现了快速退化趋势,且漓江河漫滩、岸滩侵蚀呈现加剧趋势^[1-2]。针对漓江面临的问题,有关部门曾先后组织过一些小型的调查研究工作,但重点主要放在地质、水文方面^[3],对漓江流域水陆交错带植物多样性、植物根系、土壤等研究较少;另一方面,土壤根系分布直接影响着植物从土壤中获取水和养分的能力^[4],是植物对于环境的适应情况和竞争能力的反映^[5],为正确的认识植物在不同生境条件下的适应机制,研究漓江退化深层次原因,迫切需要开展漓江流域水陆交错带植被根系研究。

早在 20 世纪 30 年代,Weaver 就较系统地阐述过根系研究的重要性^[6],但就自然生态系统中植物根系和土壤关系的研究却要追溯到 70 年代以后。对于灌木根系研究,近年来国内外主要集中在根系的护坡作用^[7-9]、力学效应^[10-12]、分布特征^[5,13-14]等方面,而单独对灌木根系特征与土壤关系,以及水陆交错带根系特征研究较少。作者曾对漓江水陆交错带草本和乔木根系进行了详细的研究,为了进一步完善漓江流域根系分布系统,本文对漓江水陆交错带退化区域 3 种灌木群落上植物根系、土壤进行调查,分析根长密度与土壤有机质、全氮、有效磷之间的关系,以期通过此研究,能了解漓江水陆交错带灌木根系组成、分布规律及其与土壤因子的相互关系,为漓江水陆交错带的树种选择、栽植方式等提供理论依据。

1 研究区域

研究区域位于广西桂林灵川县到阳朔县的漓江水陆交错带,河段全长 83 km。漓江流域地处北回归线以北的低纬度区,属湿热多雨的亚热带季风气候,年均气温 17.8 °C,降雨量丰富,年平均降雨量 1949.5 mm;年日照时数 1243.5—1467.1 h,年平均相对湿度为 73%—79%。自灵川以下,桂林—阳朔以峰丛洼地、峰林平原等喀斯特地貌为主,是世界亚热带喀斯特发育最典型最完美的地区,为旅游重点河段,且人类活动干扰严重,为生态修复重点区域,平均海拔 150 m,主要土壤类型为山地黄壤,土层薄、质地粗,石砾含量高。漓江流量从 9 月份开始下降,一直到次年 2 月份春雨降临,流量开始复苏,枯季结束^[15]。主要灌木有枫杨 (*Pterocarya stenoptera*)、一叶萩 (*Securinega suffruticosa*)、细叶水团花 (*Geum aleppicum*)、马甲子 (*Paliurus ramosissimus*) 等;草本植物为狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、紫菀 (*Tatarian aster*)、水蓼 (*Polygonum hydropiper*) 等。

2 研究方法

2.1 样地选择

2013 年 6 月对漓江 83 km 河段全线踏查,将研究区域(漓江水陆交错带)灌木群落分为 3 种:枫杨、细叶

水团花、一叶萩;根据踏查资料,沿漓江水陆交错带选择 15 块 10 m×10 m 的典型灌木样地,每种灌木群落选取 5 个样地;用 GPS 定位,对样地植被、土壤进行调查。样地基本情况见表 1。

表 1 不同灌木群落样地调查表

Table 1 The basic situation of standard plots in different shrub communities

灌木群落 Shrub community	平均树高 Mean height/m	平均冠幅 Mean canopy width/m	平均密度 Mean density/ (个/hm ²)	石砾含量 Gravel content/%	土壤质地 Soil texture	主要草本植物 Main herb species	林下草本 植被盖度 Cover degree under stand/%
一叶萩 <i>Securinega suffruticosa</i>	1.84	0.6×0.7	3200	15	砂壤	水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	10
细叶水团花 <i>Geum aleppicum</i>	0.93	0.7×0.8	5800	5	壤土	白背黄花稔 <i>Sida rhombifolia</i> L.、 紫菀 <i>Tatarian aster</i>	60
枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	1.69	1.1×1.3	6600	2	黏壤	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	90

2.2 根系样品采集和测定

根系采集于 2013 年 6 月进行,植物生长旺季。根系采集采用剖面法,在每个样地内随机选择 10 个样点,各样点分 4 层(0—10、10—20、20—40 和 40—60 cm),用钢制圆形环刀水平向下取土样。再将取出的土壤样品放入灭菌处理过的密封袋内带回,根样取回后先在水中浸泡冲洗,并过 0.2 mm 筛使根与大部分土壤、杂质分离,然后放入清水中利用网勺和镊子根据根的外形、颜色和弹性区分死根和活根并将死根挑除。利用游标卡尺将根系按直径分为细根(0—2 mm)和粗根(2—10 mm),且进一步细化为 0—1 mm 和 1—2 mm 细根,2—5 mm 和 5—20 mm 粗根。用 WinRHIZO2005 仪器对不同径级根系分别进行根系的长度的测定,并计算根长密度为根系长度/土壤体积。

2.3 土样采集和测定

在采集根系样品同时,在每个取样点不同层次(0—10、10—20、20—40 和 40—60 cm)取土壤混合,用于有机质、N 含量、P 含量的测定^[16];土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化-外加热法;土壤全 N 用半微量开氏法;土壤有效 P 用 NaHCO₃ 提取-钼锑抗比色法^[17]。

2.4 统计分析

使用 Microsoft Excel 2003 计算各灌木群落各层根系特征指标值和土壤性质指标值的平均数、标准差和百分比。依据 SPSS 20 软件中 One-way ANOVA 比较结果来评价不同灌木群落不同土层深度根系特征的差异显著性;用 SPSS 20 软件对根系特征和土壤性质进行相关性分析。利用 Excel 初步作图并用 Photoshop CS4 对图添加显著性标记。

3 结果与分析

3.1 典型灌木群落根系分布特征

3.1.1 不同灌木群落根长密度分布特征

漓江水陆交错带典型灌木群落各土层根长密度差异性显著,分布规律均为:枫杨>细叶水团花>一叶萩;各灌木群落各土层中,0—10 cm 土层的枫杨群落根长密度(27.32 m/100 cm³)最大,40—60 cm 土层的一叶萩群落根长密度(2.97 m/100 cm³)最小。灌木群落的根系集中分布在 0—10 cm,其根长密度是 10—20 cm 土层的 1.11—2.24 倍,是 40—60 cm 土层的 3.10—3.79 倍。细叶水团花和一叶萩群落各土层根长密度差异性显著,但 0—10 cm 与 10—20 cm 土层中,枫杨灌木群落根长密度差异不显著,其值分别为:27.32、24.57 m/100 cm³,可能与枫杨灌木群落林下草本植被茂盛,根系(狗牙根)往往伸入到 10—20 cm 土层中有关。从不同灌

木群落各土层标准误差分布(图 1)也可以看出,从 0—10 cm 到 40—60 cm 土层,3 种灌木群落的根长密度平均标准误差逐级减小,其值分别为: 3.22、2.64、1.31、0.69m/100 cm³。

3.1.2 不同径级根长密度分布特征

在同一土层中,各灌木群落根长密度均随径级增大而逐渐减小。各灌木群落不同径级根长密度差异性显著,其中分析细根根长(≤ 2 mm)与土层深度的关系发现,随着土层的增加,大部分灌木细根根长分布逐渐减少;总体来看,根长密度随土层深度增加总体表现为递减趋势;从土壤表层来看,枫杨各径级根长密度差异性大,最大根长密度是最小值的 8.13 倍,其它依次为细叶水团花(7.32 倍)、一叶萩(4.63 倍)。同一径级,同一土层,各灌木群落根长密度均存一定的规律性,其值大小分布为:枫杨>细叶水团花>一叶萩。各灌木群落里,根长密度最大的为枫杨灌木群落($0 < L \leq 1$ mm),其值为 14.55 m/100 cm³,最小的是一叶萩灌木群落($5 < L \leq 20$ mm)的 66.14 倍。

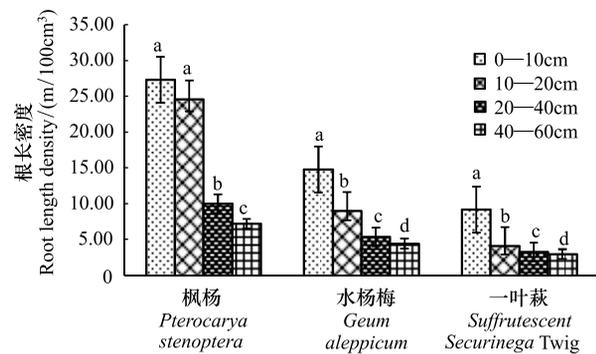


图 1 不同灌木群落植物根系特征图

Fig.1 Root characteristics in different shrub communities

不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

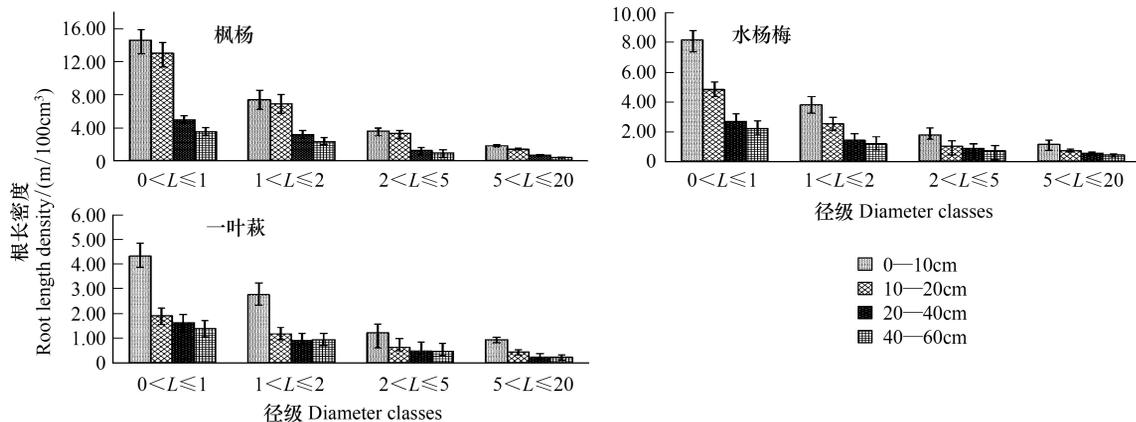


图 2 不同径级根长密度分布图

Fig.2 Root length density in different diameter classes

3.2 不同灌木群落土壤化学性质分布规律

从图 3 可以看出,不同灌木群落有机质含量差异性显著。枫杨(25.10g/kg)灌木群落底层腐殖质层厚,有机质含量最高,分别是细叶水团花、一叶萩的 1.24、1.87 倍。

各灌木群落全氮含量从大到小依次是枫杨、细叶水团花、一叶萩,其值分别为:3.23、2.41、1.46 g/kg。

土壤有效磷分布规律为一叶萩(11.56 mg/kg)>细叶水团花(5.37 mg/kg)>枫杨(3.99 mg/kg)。

3.3 根系特征与土壤性质相关关系

对漓江流域水陆交错带典型灌木群落根长密度、不同径级根长所占比例、土壤性质进行相关性分析(表 2),表明:(1)根长密度与土壤有机质、全氮在 0.01 水平(双侧)正相关,与土壤有效磷在 0.01 水平(双侧)负相关;根长密度与 $0 < L \leq 1$ mm 径级的根系所占比例呈极显著正相关,与 $1 < L \leq 2$ mm 径级的根系所占比例呈显著正相关,表明根系细根越多,根长密度越大。(2)土壤有机质与土壤全氮在 0.01 水平(双侧)正相关;(3) $0 < L \leq 1$ mm 径级的根系所占比例与有机质、全氮均呈极显著正相关,与土壤有效磷呈极显著负相关; $5 < L \leq 10$ mm 径级的根系所占比例与土壤有机质、全氮均呈显著负相关,与土壤有效磷在 0.05 水平(双侧)上显著正

相关。

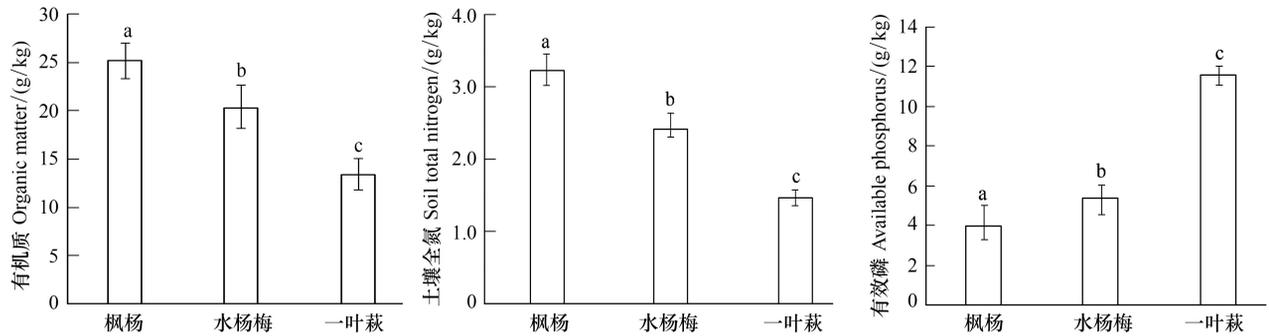


图3 不同灌木群落土壤性质分布图

Fig.3 The distribution map of root characteristics in different shrub communities

表2 根系特征与土壤性质相关关系分析

Table 2 Analysis the correlations between root characteristics and soil properties

项目 Item	根长密度/(m/100cm ³) Root length density	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total T	有效磷/(mg/kg) Available P
根长密度 Root length density	1	0.673 **	0.645 **	-0.618 **
有机质 Organic matter	0.673 **	1	0.836 **	-0.611 **
全氮 Total T	0.645 **	0.836 **	1	-0.573 **
有效磷 Available P	-0.618 **	-0.611 **	-0.573 **	1
$P_0 < L \leq 1$	0.799 **	0.578 **	0.499 **	-0.631 **
$P_1 < L \leq 2$	0.425 *	0.417 *	0.412 *	-0.456 *
$P_2 < L \leq 5$	0.231	0.211	0.179	-0.222
$P_5 < L \leq 10$	-0.418 *	-0.423 *	-0.276	0.321 *

* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

4 讨论与结论

根长密度是单位土壤体积所含根系的长度,反映在某一土壤层的根系伸展量^[18]。根长分布特征可以较好地反映不同立地类型不同层次根系在林木生长过程中的作用^[19],本文通过研究不同灌木群落、不同径级的根长密度,了解根系的基本特征和根系内部的差异,有利于认识不同灌木群落根系空间分布高度的异质性^[20]。研究表明,不同灌木群落根系分布差异显著,这与各灌木群落土壤质地、林下植被盖度等有一定的相关性。研究漓江水陆交错带灌木群落根长特征发现,漓江水陆交错带典型灌木群落各土层根长密度差异性显著,分布规律均为:枫杨>细叶水团花>一叶萩;一些研究认为表层土壤中根长密度主要受到草本植物(浅根性植物)^[21]的影响,由于枫杨群落(表1)林下草本植物茂盛,0—10 cm 与 10—20 cm 土层中其根长密度最大,土层向下受林下植被影响减小,但本研究发现枫杨土壤有机质、全氮含量最高,下层根系生长依然较好。

本研究发现,根长密度的垂直分布随着土层的加深而减少,且多集中分布在土壤表层,这与李勇等研究结果相同^[22],这主要是受到土壤理化性质和结构的影响^[23-24],另外各灌木群落土壤从表层向下腐殖质减少,有机质和全氮相应减少,有机质和全氮含量与根长密度呈正相关,这表现在:0—10 cm 到 40—60 cm 土层,各灌木群落的根长密度和根系生物量密度均表现为减少。黄林^[25]等的研究发现,随着土层深度的增加,不同灌木群落根长密度的差异程度逐步缩小,地形、地表植物类型及生长状况对根长密度分布的影响也随土层深度的增加而逐渐减小,这表现在本研究,0—10 cm 到 40—60 cm 土层,各灌木群落的根长密度的平均标准误差逐级减小。

本研究中,各灌木群落有机质含量存在一定的差异。枫杨灌木群落林下植被茂盛,腐殖质层厚,有机质含

量最高。另外, 枫杨灌木群落全氮含量高, 主要原因是其根系发达, 土壤植物残体含量丰富, 因为土壤氮素的来源主要是植物残体的降解和生物固氮^[26]。漓江边居民长期在江边进行洗衣等洗刷活动, 洗刷用品中含有大量的磷, 致使流域水陆交错带边受水位影响大的土壤中磷含量较高^[27], 相应的距水近的一叶萩灌木群落, 易受江水影响, 土壤有效磷高。

已有大量研究表明根长密度与有机质、全氮含量呈正相关^[25], 以及土壤有机质与全氮呈正相关。不同灌木群落的土壤环境具有高度的异质性, 不同土层深度根系的生长、分布不仅受自身遗传特性的影响, 也受到土壤环境的影响^[20], 反映在不同灌木群落各径级的根系所占比例的差异性。根径 ≤ 2 mm 的细根具有巨大的表面积, 且生活力强, 具有较高的生理活性, 是植物根系吸收土壤养分的最重要器官^[28]; 本研究发现, $0 < L \leq 1$ mm 径级与 $1 < L \leq 2$ mm 径级的根系所占比例均与有机质、全氮均呈显著正相关, 这与 Vogt^[29] 的发现, 土壤结构和养分状况是决定径级 ≤ 2 mm 根系(细根)含量的重要因素, 相一致。研究中还发现, 有效磷与根长密度、有机质、全氮均呈负相关, 其与 $0 < L \leq 1$ mm 径级的根系所占比例呈极显著负相关。说明适当的减少磷的排放, 对漓江流域植被根系的生长, 土壤肥力的保持有一定的相关性, 这对漓江流域植被恢复中快速绿化基质的选取有一定的指导意义。

参考文献 (References):

- [1] 杨永德, 吴虹, 郭建东, 张银桥. 漓水源及上游生态环境变化遥感调查. 桂林工学院学报, 2005, 25(1): 36-40.
- [2] 黄伟军, 刘秀珍, 蔡德所. 漓江水生态系统问题研究. 生态经济, 2007, (3): 131-134, 159-159.
- [3] 胡刚, 刘健. 河口岸滩侵蚀研究进展. 海洋地质动态, 2006, 22(6): 5-9.
- [4] Fitter A H. Characteristics and functions of root system//Hidden Huf. Plant Roots. New York, USA: Y Waisd, Eshel and Ukafkafi. Marcel Dekker, 1996: 1-20.
- [5] 黄刚, 赵学勇, 赵玉萍, 苏延桂. 科尔沁沙地两种典型灌木独生和混交的根系分布规律. 中国沙漠, 2007, 27(2): 239-243.
- [6] 向小亮, 宁书菊, 魏道智. 根系的研究进展. 中国农学通报, 2009, 25(17): 105-112.
- [7] 李国荣, 胡夏嵩, 毛小青, 朱海丽, 段晓明. 寒旱环境黄土区灌木根系护坡力学效应研究. 水文地质工程地质, 2008, 35(1): 94-97.
- [8] 芦建国, 梁同江, 孔凡海. 8 种灌木根系分布对高速公路生态边坡的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(5): 155-159.
- [9] Gift M D, Groffman P M, Kaushal S S, Mayer P M. Denitrification potential, root biomass, and organic matter in degraded and restored urban riparian zones. Restoration Ecology, 2010, 18(1): 113-120.
- [10] 李贺鹏, 岳春雷, 赵广琦, 陈友吾, 江波, 袁位高. 中亚热带常绿阔叶林中主要灌木根系力学特性. 西北林学院学报, 2010, 25(5): 33-36.
- [11] 朱海丽, 胡夏嵩, 毛小青, 李国荣, 盛海彦, 陈桂琛. 青藏高原黄土区护坡灌木植物根系力学特性研究. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(S2): 3445-3452.
- [12] Rood S B, Bigelow S G, Hall A A. Root architecture of riparian trees: river cut-banks provide natural hydraulic excavation, revealing that cottonwoods are facultative phreatophytes. Trees, 2011, 25(5): 907-917.
- [13] 张宇清, 朱清科, 齐实, 张岩. 梯田生物埂几种灌木根系的垂直分布特征. 北京林业大学学报, 2006, 28(2): 239-243.
- [14] Docker B B, Hubble T C T. Quantifying root-reinforcement of river bank soils by four Australian tree species. Geomorphology, 2008, 100(3/4): 401-418.
- [15] 缪钟灵. 漓江上游枯水成因及补水措施. 桂林工学院学报, 1995, 15(2): 181-189.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [17] Sainju U M, Whitehead W F, Singh B P. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. Canadian Journal of Soil Science, 2003, 83(2): 155-165.
- [18] 郝忠勇, 杨培岭, 刘洪禄, 姚春梅. 苹果树根系分布特性的试验研究. 中国农业大学学报, 1998, 3(6): 63-66.
- [19] 程云环, 韩有志, 王庆成, 王政权. 落叶松人工林细根动态与土壤资源有效性关系研究. 植物生态学报, 2005, 29(3): 403-410.
- [20] 燕辉, 刘广全, 李红生. 青杨人工林根系生物量、表面积和根长密度变化. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2763-2768.
- [21] 梅莉, 王政权, 韩有志, 谷加存, 王向荣, 程云环, 张秀娟. 水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局. 应用生态学报, 2006, 17(1): 1-4.
- [22] 李勇, 武淑霞, 夏侯国凤. 紫色土区刺槐林根系对土壤结构的稳定作用. 水土保持学报, 1998, 4(2): 1-7.
- [23] 程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 封晓辉, 刘泽彬, 葛晓改, 王晓荣, 张炜银. 三峡库区马尾松根系生物量的空间分布. 生态学报, 2012, 32(3): 823-832.
- [24] 周梦华, 程积民, 万惠娥. 云雾山本氏针茅群落根系分布特征. 草地学报, 2008, 16(3): 267-271.
- [25] 黄林, 王峰, 周立江, 黄茹, 齐代华, 魏刚. 不同森林类型根系分布与土壤性质的关系. 生态学报, 2012, 32(19): 6110-6119.
- [26] 李忠佩, 王效举. 小区域水平土壤有机质动态变化的评价与分析. 地理科学, 2000, 20(2): 182-187.
- [27] 李扬, 王冬梅, 信忠保. 漓江水陆交错带植被与土壤空间分异规律. 农业工程学报, 2013, 29(6): 121-128.
- [28] 秦玲, 魏钦平, 李嘉瑞, 邹养军, 王小伟. 成龄苹果树形改造对根系生长分布的影响. 果树学报, 2006, 23(1): 705-707.
- [29] Vogt K A, Vogt D J, Palmiotto P A, Boon P, O'Hara J, Asbjornsen H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. Plant and Soil, 1995, 187(2): 159-219.