

# 漓江水陆交错带不同立地类型草本植物根系特征

李青山, 王冬梅, 信忠保

(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缓坡、陡坡、江心洲、人工岸坡 4 种典型立地类型, 对主要优势草本植物的根长、根表面积、根系生物量、地上生物量、根冠比等指标进行了调查和比较研究。结果表明: (1) 同一立地类型不同优势草本植物根系生物量、地上生物量、根冠比差异性均显著。各立地类型不同优势草本植物根长、根表面积均存在一定的差异性, 其中不同优势草本植物根长度和表面积在陡坡和人工岸坡立地类型均存在显著性差异( $p < 0.05$ ); 根表面积在江心洲立地类型存在显著性差异( $p < 0.05$ )。 (2) 水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、小蓬草 (*Conyza canadensis*) 最适合生长的立地类型是缓坡类型; 白背黄花稔 (*Sida rhombifolia* L.)、土牛膝 (*Achyranthes bidentata* Bl.) 最适合生长的立地类型是陡坡类型; 紫菀 (*Aster tatarian*)、艾草 (*Artemisia argyi*) 最适合生长的立地类型是江心洲类型; 葎草 (*Humulus scandens* Merr.) 最适合生长的立地类型是人工岸坡类型。

**关键词:** 漓江; 水陆交错带; 立地类型; 草本植物; 根系特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0236-06

中图分类号: S711

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.049

## Root System Characteristics of Herbaceous Plants at Different Sites of Aquatic-terrestrial Ecotone of Lijiang River

LI Qing-shan, WANG Dong-mei, XIN Zhong-bao

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

**Abstract:** The root system characteristics, such as root length, root surface area and root biomass in different soil depths were studied to assessed the correlation between root system characteristics and aboveground biomass, root-shoot ratio. This research was conducted on gentle slope, steep slope, middle bar and artificial bank slope of four typical site types on the aquatic-terrestrial ecotone of Lijiang watershed. The result showed that: (1) Within the same site type, the root biomass, aboveground biomass and root-shoot ratio of different main herbaceous plants were different significantly; Root length and root surface had some differences in different site type. On steep slope and artificial bank slope, there were significant differences between root length and surface area( $p < 0.05$ ). On middle bar, the difference of root surface area was significant( $p < 0.05$ ). (2) *Polygonum hydropiper* and *Conyza canadensis* grow best on the gentle slope. Steep slope was the most suitable site for *Sida rhombifolia* L. and *Achyranthes bidentata* Bl. The middle bar was the most appropriate area for *Tatarian aster* and *Artemisia argyi*. Artificial bank can provide the optimum environment for the growth of *Humulus scandens* Merr.

**Keywords:** Lijiang watershed; aquatic-terrestrial ecotone; site types; herbs; root system characteristics

漓江是国家重点保护的黄金水道之一,是桂林山水的精华,它是集饮用和旅游为一体的多功能河流。近 40 a 来,漓江纯真古朴的自然景观出现了快速退化趋势,漓江生态安全体系遭受严峻的挑战,漓江河漫滩、岸滩侵蚀加剧<sup>[1-2]</sup>。植物根系通过固定土壤,提高土壤的抗冲性、抗蚀性,有效地减少了土壤流失量,

使植被覆盖条件下的地表侵蚀作用大大降低<sup>[3]</sup>,对抑制河岸滩退化,减少岸滩土壤侵蚀非常关键<sup>[4]</sup>。草本植物是漓江水陆交错带主要的生物群落,因此开展漓江水陆交错带草本植物根系特征研究,可为漓江水陆交错带草本植物根系特征研究,可为漓江水陆交错带生态退化自然修复过程中草本植物选择和配置提供一些科学依据。关于根系研究的重要性,早

收稿日期:2013-12-25

修回日期:2014-01-03

资助项目:“十二五”国家科技支撑计划项目“漓江水陆交错带生态修复关键技术与示范”(2012 BAC16 B03)

作者简介:李青山(1987—),男(汉族),四川省南充市人,硕士研究生,研究方向为水土保持及工程绿化。E-mail:liqingshan2012@126.com。

通信作者:王冬梅(1963—),女(汉族),河北省保定市人,教授,博士生导师,主要从事水土保持及生态修复研究。E-mail:dmwang@126.com。

在 20 世纪 30 年代 Weaver<sup>[5]</sup> 就进行了较系统地阐述。现有国内外草本植物根系研究区域大多集中在内陆小流域和山区, 国外草本植物研究较为全面, 主要针对矿物元素对草本植物根系的影响<sup>[6-7]</sup>, 草本植物根系对重金属的反应<sup>[8]</sup>, 草本植物根系特征等进行研究<sup>[9]</sup>。国内草本植物根系研究相对较少, 主要集中在对小麦、大豆等农作物根系生长动态<sup>[10-11]</sup>, 草本植物固土原理<sup>[12]</sup>, 草本根系分布特征及其抗拉强度试验<sup>[13]</sup>, 干旱地区紫花苜蓿根系生长和发育等进行研究<sup>[14-15]</sup>。这些研究的对象主要为单一环境下的草本植物, 而从不同立地类型下探讨水陆交错带草本植物根系分布特征的研究较少。水陆交错带是内陆水体生态系统和陆地生态系统之间的界面区<sup>[16]</sup>, 对经过水陆交错带的物质流和能量流有拦截和过滤作用。水陆交错带不同于森林生态系统, 由于水陆交错带土层薄、石砾含量高等特点, 根系在植物固定和保持土壤、养分循环、土壤结构改善中起着更加重要的作用<sup>[17]</sup>。漓江具有发育良好的水陆交错带, 从灵川县到阳朔县 83 km 河段, 水陆交错带按坡度可以分为缓坡、陡坡和人工岸坡, 人工岸坡主要集中在城区, 有浆砌石等人工护岸措施, 坡度一般大于 45°; 缓坡和陡坡一般分布在离城区较远的河郊地区; 江心洲是内陆水体生态系统和陆地生态系统之间的界面区的另一种形式。本研究对漓江水陆交错带退化区域 4 种立地类型上优势草本植物根系进行调查, 分析草本植物根系形态特征、根系生物量与立地类型的关系, 以期对漓江水陆交错带生态修复适宜草本植物的遴选和植被配置模式的选择提供科学依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

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, 年均降雨量 1 949.5 mm, 年日照时数 1 243.5~1 467.1 h, 年均相对湿度 73~79%。漓江自灵川县以下, 桂林市—阳朔县以峰丛洼地、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, 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。该河段为旅游重点河段, 受人类活动干扰严重, 是生态修复重点区域。漓江流量从 9 月份开始下降, 持续到翌年 2 月份春雨降临, 流量开始复苏, 枯季宣告结束<sup>[18]</sup>。本次调查于植物生长旺季和流量充沛的 6 月份进行, 区域位于广西自治区桂林市灵川县到阳朔县的漓江水陆交错带, 河段全长 83 km。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地及优势草本植物选择 通过对漓江 83 km 河段全线踏查, 选择漓江流域水陆交错带 4 种典型立地类型进行研究: 缓坡, 陡坡, 江心洲, 人工岸坡(表 1)。缓坡: 坡度 < 15° 的水陆交错带; 陡坡: 15° < 坡度 < 45° 的水陆交错带; 江心洲: 位于江、河中心; 人工岸坡: 坡度 > 45° 的水陆交错带, 有人工岸坡护岸措施(浆砌石)和客土。共选择 18 块 10 m × 10 m 的典型样地, 其中缓坡 6 块, 陡坡 4 块, 江心洲 4 块, 人工岸坡 4 块; 对每一个样地的草本植物进行调查, 调查内容包括: 种名, 数量、高度和盖度, 用于草本植物重要值计算[草本重要值(%) = 相对高度 + 相对投影盖度], 并通过重要值指数选择出每个样地的优势草本植物作为研究对象。优势草本植物(均为天然植物)共 7 种: 水蓼(*Polygonum hydropiper*)、白背黄花稔(*Sida rhombifolia* L.)、紫菀(*Aster tatarian*)、葎草(*Humulus scandens* Merr.)、艾草(*Artemisia argyi*)、土牛膝(*Achyranthes bidentata* Bl.)、小蓬草(*Conyza Canadensis*)。

#### 1.2.2 草本植物根系取样和指标测定

(1) 优势草本植物根系取样和根系特征测定。取样在 2013 年 6 月植物生长旺季进行。根据植被调查的结果, 选择每个样地的优势草本植物(表 1), 每个样地的每种优势草本植物选择标准株 9 株, 进行根系挖掘, 共挖取 405 株。常见的根系挖掘方法有剖面壁法、钻土芯法、整株挖掘法。考虑到漓江流域水陆交错带土层薄, 石砾含量高, 草本植物根浅的特点, 采用整株挖掘法(挖掘深度 80 cm)。在壕沟法的基础上, 将带有土壤的整株草本植物根系装入编号袋中, 带回实验室进行冲洗晾干(去除土壤、杂质、其他植物根系, 尽量保证根系完整)。处理好的整株草本植物根系用根系扫描仪(WinRHIZO2005)进行根系扫描和分析, 测定整株草本植物根系的长度(累计长度)、表面积(累计表面积)。扫描后的根系样品置入 80 °C 烘箱中烘干至恒量, 称量并记录根系生物量。

(2) 优势草本植物地上生物量测定和根冠比计算。在挖取优势草本根系的同时, 将优势草本植物地上部分剪取, 放入编号袋中, 带回实验室, 置入 80 °C 烘箱中烘干至恒量, 称量并记录地上生物量。计算单株植物的根冠比: 根系生物量/地上生物量。

(3) 土样采集和测定。漓江水陆交错带土层厚度较薄, 在选取的每个样方中, 用环刀和土壤盒取土分别用于土壤容重和含水量的测定。土壤质地, 采用筛分和比重计相结合的方法测定; 土壤含水量和土壤容重, 采用烘干称重法测定; 石砾含量为石砾体积含量, 通过排水法进行测定。

表 1 样地基本情况

样地编号	地理坐标	立地类型	优势草本植物	土层厚度/cm	石砾含量/%	土壤质地	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	土壤含水量/%
1	N25°14'01"E110°18'50"	缓坡	水蓼、葎草、土牛膝	20	30	砂壤	1.27	30.28
2	N25°12'11"E110°21'08"	缓坡	小蓬草、土牛膝、艾草	28	30	砂壤	1.38	25.90
3	N25°14'27"E110°17'50"	缓坡	水蓼、白背黄花稔、紫菀	30	50	砂土	1.19	28.84
4	N25°24'03"E110°19'45"	缓坡	小蓬草、葎草	15	30	砂壤	1.23	26.59
5	N25°20'28"E110°19'54"	缓坡	紫菀、水蓼、白背黄花稔	30	30	砂壤	1.25	18.77
6	N25°13'24"E110°20'10"	缓坡	艾草、水蓼	15	40	沙土	1.14	19.11
7	N25°12'13"E110°21'35"	陡坡	白背黄花稔、土牛膝	65	10	壤土	1.42	13.10
8	N25°23'59"E110°20'15"	陡坡	紫菀、葎草、白背黄花稔	45	15	砂壤	1.42	16.03
9	N25°10'50"E110°24'19"	陡坡	水蓼、白背黄花稔	60	8	壤土	1.34	19.31
10	N25°14'21"E110°18'19"	陡坡	土牛膝、小蓬草	48	5	壤土	1.44	15.33
11	N25°13'36"E110°19'29"	江心洲	水蓼、艾草	<10	60	砂土	1.55	27.36
12	N25°14'29"E110°18'10"	江心洲	艾草、葎草、紫菀	17	40	砂土	1.77	29.90
13	N25°12'33"E110°20'33"	江心洲	水蓼、紫菀	15	40	砂土	1.73	28.27
14	N25°10'24"E110°25'34"	江心洲	艾草、紫菀	20	30	砂壤	1.65	20.01
15	N25°14'28"E110°17'57"	人工岸坡	土牛膝、葎草	80	15	砂壤	1.65	12.77
16	N25°12'57"E110°20'35"	人工岸坡	紫菀、葎草、小蓬草	90	5	黏壤	1.56	11.40
17	N25°15'31"E110°30'25"	人工岸坡	白背黄花稔、艾草、葎草	120	5	黏壤	1.53	12.10
18	N25°11'07"E110°24'52"	人工岸坡	葎草、艾草、水蓼	90	5	黏壤	1.46	12.78

1.2.3 统计分析 使用 Excel 计算各立地类型草本植物根系特征指标值的平均数和标准差。依据 SPSS 20 软件中 One-way ANOVA 比较结果,评价不同立地类型下同一草本植物根系特征的差异显著性及相同立地类型下不同草本植物间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同立地类型优势草本植物根系特征

由表 2 可知,缓坡类型优势草本植物根长最长的是水蓼,为 106.60 cm,最短的是小蓬草,为 45.55 cm;表面积最大的是白背黄花稔,为 68.59 cm<sup>2</sup>,最小的是葎草,为 30.55 cm<sup>2</sup>;根系生物量最大的是小蓬草,为 5.69 g/株,最小的为葎草,为 0.88 g/株。缓坡立地类型根长和根表面积分布差异不大,其中水蓼、白背黄花稔根长差异性不显著,紫菀、葎草、艾草、土牛膝、小蓬草根长和根表面积差异性均不显著,这可能与缓坡立地类型土层薄,土壤砂砾含量大,植物根系经常受江水冲刷,草本植物根系生长受环境空间的限制有关,其具体原因需进一步研究。陡坡类型优势草本植物根长最长的是白背黄花稔,为 211.01 cm,最短的是小蓬草,为 42.36 cm,葎草和小蓬草根长差异不显著;表面积最大的是土牛膝,为 68.52 cm<sup>2</sup>,最小的是葎草,为 15.83 cm<sup>2</sup>;根系生物量最大的是土牛膝,为 6.34 g/株,最小的为水蓼,为 0.52 g/株。陡坡立地类型土层较厚,石砾含量低(表 1),大多数草本植物根系生长良好,根系的长度、表面积、根系生物量

差异性均显著(表 2)。江心洲土层薄,石砾含量高(表 1),植被受江水干扰大,优势草本种类较少(表 2),只有 4 种(水蓼、紫菀、葎草、艾草),远远少于其他立地类型。

江心洲根系长度较为集中,从大到小依次为:葎草(93.08 cm) > 紫菀(85.83 cm) > 艾草(83.26 cm) > 水蓼(82.52 cm);根系表面积差别较大,分布规律表现为:艾草 = 紫菀 > 水蓼 > 葎草;根系生物量差异性明显,分布规律为:艾草 > 紫菀 > 水蓼 > 葎草,其值分别为:7.43, 3.16, 1.09, 0.73 g/株。人工岸坡类型优势草本植物根长最长的是白背黄花稔,为 164.86 cm,最短的是小蓬草,为 34.41 cm;葎草和紫菀根系表面积较大,分别为 67.45 和 63.84 cm<sup>2</sup>,最小的是水蓼,其值为 11.19 cm<sup>2</sup>;土牛膝和白背黄花稔根系生物量最大,且差异性不显著,值分别为 4.96 和 4.25 g/株,水蓼的根系生物量最小,为 0.44 g/株。人工岸坡立地类型土层厚,石砾含量少(表 1),受江水影响小,乔灌木生长较好,优势草本植物根系生长良好,根系长度、表面积、生物量差异性明显(表 2)。4 种立地类型中,优势草本植物根系长度最大的是陡坡立地类型的白背黄花稔(211.01 cm),最小的是人工岸坡的小蓬草(34.41 cm);根表面积最大的是江心洲的艾草(121.05 cm<sup>2</sup>)和紫菀(115.08 cm<sup>2</sup>),最小的是人工岸坡的水蓼(11.19 cm<sup>2</sup>);生物量最大的是缓坡立地类型的土牛膝(5.89 g/株),最小的是人工岸坡立地类型的水蓼(0.44 g/株)。

表 2 草本植物根系长度和表面积分布特征

项目	立地类型	水蓼	白背黄花稔	紫菀	菵草	艾草	土牛膝	小蓬草
长度/cm	缓坡	106.60a(a)	98.87c(ab)	83.60b(bc)	81.80b(bc)	77.68b(bc)	59.87b(c)	45.55a(c)
	陡坡	104.46a(c)	211.01a(a)	114.61a(c)	67.44(cd)	—	134.49a(b)	42.36a(d)
	江心洲	83.26b(ab)	—	85.83b(ab)	93.08b(a)	82.52ab(b)	—	—
	人工岸坡	42.16c(d)	164.86b(a)	112.57a(b)	103.64a(b)	88.46a(bc)	60.20b(c)	34.41b(d)
表面积/cm <sup>2</sup>	缓坡	52.73a(b)	68.59a(a)	45.10c(bc)	30.55b(c)	42.62b(bc)	45.20b(bc)	38.08a(c)
	陡坡	25.68b(d)	57.50b(b)	45.93c(c)	15.83d(e)	—	68.52a(a)	20.73b(d)
	江心洲	54.12a(b)	—	115.08a(a)	24.71c(c)	121.05a(a)	—	—
	人工岸坡	11.19c(d)	40.06c(b)	63.84b(a)	67.45a(a)	36.86b(b)	28.95c(bc)	15.50c(c)
根系生物量 (g/株)	缓坡	1.22a(e)	4.67a(b)	2.28b(d)	0.88b(e)	4.12b(b)	2.79c(c)	5.69a(a)
	陡坡	0.52b(e)	4.55a(b)	2.46b(c)	0.66c(d)	—	6.34a(a)	2.08b(c)
	江心洲	1.09a(c)	—	3.16a(b)	0.73b(d)	7.43a(a)	—	—
	人工岸坡	0.44b(e)	4.25a(a)	1.97c(c)	1.18a(d)	3.62b(b)	4.96b(a)	0.81c(d)

注:“—”表示对应的立地类型下该草本植物不为优势种; 同列不同小写字母表示同一立地类型中不同草本植物差异显著( $p < 0.05$ ), 同行括号内不同小写字母表示同一草本不同立地类型差异性显著( $p < 0.05$ )。下同。

## 2.2 草本植物在不同立地类型下的分布特征

草本植物在不同立地类型上生长的优劣, 由其根系特征进行反映<sup>[20]</sup>, 对草本植物根长度、根表面积、根系生物量进行综合考虑, 对草本植物在不同立地类型下的根系特征显著性差异进行分析(表 3), 选取各立地类型下根系差异显著的特征( $p < 0.05$ )进行对比, 最终找出草本植物最适合生长的立地类型。立地类型对水蓼和土牛膝根长度、表面积、生物量差异性均显著( $p < 0.05$ )(表 3)。其中, 水蓼在缓坡立地类型下, 根系生长较好, 根长度、根表面积、根系生物量均最大, 可以看出水蓼最适合生长在缓坡这种立地类型。在缓坡和江心洲这种水分含量较多的立地类型, 水蓼都生长较好, 与陈芳清<sup>[21]</sup>在水蓼对水淹胁迫的耐受能力和形态学响应研究中水蓼一般生长在生湿地、水边或水中的观点一致。土牛膝在缓坡和人工岸坡立地类型下根总长度差距不大, 陡坡平均根长度是它们的 2 倍多(表 2); 根表面积分布规律为: 陡坡 > 缓坡 > 人工岸坡; 根系生物量分布规律为: 陡坡 > 人工岸坡 > 缓坡。立地类型对土牛膝根系长度、根系表面积、根系生物量均有显著性影响( $p < 0.05$ )(表 3), 根据土牛膝根系特征变化, 土牛膝最适合生长的立地类型为陡坡, 缓坡和人工岸坡类型下长势较差, 江心洲上基本不分布。立地类型对菵草、艾草、小蓬草的根系表面积和生物量差异性均显著, 综合考虑植物根系表面积和生物量特征, 其中菵草根表面积和根系生物量分布规律: 人工岸坡 > 缓坡 > 江心洲 > 陡坡(表 2), 可见菵草最适合生长的立地类型是人工岸坡, 在陡坡和江心洲上长势差。江心洲上艾草根表面积和根系生物量均最大, 其中江心洲的根表面积是人工岸坡的 3.3 倍(表 2), 根据艾草根表面积和根系生物量的变化, 艾草最适合生长的立地类型是江心洲, 在陡坡类

型下不常见, 缓坡和人工岸坡类型上生长较差。小蓬草的根表面积、根生物量均表现为: 缓坡 > 陡坡 > 人工岸坡(表 2), 根据小蓬草根根系特征变化, 小蓬草最适合生长的立地类型为缓坡, 陡坡和人工岸坡上生长较差, 江心洲上基本不生长。立地类型对白背黄花稔根系长度有极显著影响( $p < 0.01$ )(表 3), 其在陡坡上都生长良好, 江心洲、缓坡上生长较差, 在江心洲上基本没有白背黄花稔生长。这与白背黄花稔根系的特征相符合: 主根发达, 适合生长在土层厚, 石砾含量少的立地类型。紫菀根表面积差异明显, 从大到小依次为江心洲、人工岸坡、陡坡、缓坡, 其值分别为: 115.08, 63.84, 45.93, 45.10 cm<sup>2</sup>(表 2)。立地类型对紫菀根系表面积影响显著( $p < 0.05$ )(表 3), 根据紫菀根表面积变化分析, 紫菀最适合生长的立地类型是江心洲。

## 2.3 草本植物地上生物量和根冠比

表 4 可以看出, 同一立地类型各草本植物地上生物量和根冠比差异性均显著。其中小蓬草和艾草地上生物量相对较大, 水蓼的地上生物量最小, 缓坡的小蓬草(5.82 g/株)地上生物量最大, 陡坡的水蓼地上生物量最小(0.21 g/株); 根冠比相对较大的是白背黄花稔、水蓼、土牛膝, 其值均大于 2, 菵草和小蓬草的根冠比小于 1, 说明其光合作用产物(相比其他草本)主要用于地上部分生长; 根冠比最大的是人工岸坡的白背黄花稔(2.85), 最小的是人工岸坡的小蓬草(0.46)。4 种立地类型中各草本植物地上生物量均存在一定的差异性; 小蓬草根冠比在缓坡、陡坡、人工岸坡上差异性显著, 其可能原因是立地类型不同, 土壤、水分、光照等影响因子存在差异, 同时影响植物地上和地下的生长, 使植物地上和地下部分按一定比例进行变化<sup>[22]</sup>, 其根冠比差异性较大。

表 3 不同立地类型优势草本植物根系特征的 One-way ANOVA( $p$  值)分析

项目	水蓼	白背黄花稔	紫菀	菵草	艾草	土牛膝	小蓬草
根系长度	0.027	0.005	0.147	0.598	0.886	0.012	0.326
根系表面积	0.016	0.236	0.010	0.003	0.006	0.043	0.03
根系生物量	0.029	0.118	0.088	0.017	0.032	0.017	0.022

注:表中数值(结果值)均为  $p$  值。

表 4 不同立地类型优势草本植物地上生物量和根冠比分布

草本名称	地上生物量(g/株)				根冠比			
	缓坡	陡坡	江心洲	人工岸坡	缓坡	陡坡	江心洲	人工岸坡
水蓼	0.48e(a)	0.21e(b)	0.53d(a)	0.18e(b)	2.54a(a)	2.48b(a)	2.06a(a)	2.44b(a)
白背黄花稔	1.77c(a)	1.64c(a)	—	1.49c(a)	2.64a(a)	2.77a(a)	—	2.85a(a)
紫菀	1.48d(a)	1.55c(a)	1.62b(a)	1.15d(b)	1.54c(b)	1.59c(b)	1.95b(a)	1.71c(ab)
菵草	0.94e(b)	0.74d(c)	0.81c(c)	1.13d(a)	0.94d(b)	0.89d(b)	0.90c(b)	1.04d(a)
艾草	2.26b(b)	—	3.85a(a)	1.94a(c)	1.82c(b)	—	1.93b(a)	1.87c(a)
土牛膝	1.28c(c)	2.96b(a)	—	1.86a(b)	2.18b(b)	2.14b(b)	—	2.67b(a)
小蓬草	5.82a(a)	3.44a(b)	—	1.75b(c)	0.98d(a)	0.60d(b)	—	0.46e(c)

### 3 讨论与结论

(1) 不同植物之间本身存在显著的异质性,不同植物(不同属)根系的长度、表面积、生物量等差异性较大<sup>[20]</sup>。本研究发现,各立地类型不同优势草本植物根系特征均存在一定的差异性,这与前人的研究相一致<sup>[23]</sup>。立地类型是造成根系分布差异的一个重要原因<sup>[19]</sup>,研究根系的结构和形态,包括不同生态系统、同一系统不同物种间的根系特征,有利于认识根的基本特征和根系内部的异质性<sup>[24]</sup>,根长、根表面积、根生物量分布特征可以较好地反映根系在林木生长过程中的作用。根表面积是根系与土壤之间进行营养交换的界面,与根系生长和分布特征的关系密切<sup>[25]</sup>。研究表明,各立地类型不同优势草本植物根长、根表面积均存在一定的差异性,由于陡坡和人工立地类型土层较厚,石砾含量低,受江水影响小,乔灌木生长较好,优势草本植物根系生长良好,根系长度、表面积、生物量差异性明显,这体现在不同优势草本植物根长度和表面积在陡坡和人工岸坡立地类型均存在显著性差异( $p < 0.05$ );江心洲石砾含量高,根系往往不再往深处生长,而是增加其表面积来适应相应的立地条件,本研究发现,根表面积在江心洲立地类型存在显著性差异( $p < 0.05$ )。

(2) 根冠比是根系生物量与地上生物量的比值,是植物体光合作用产物分配的重要体现,受植物种类、年龄、气候条件等众多因素的影响<sup>[26]</sup>。在自然环境中,环境因子的胁迫作用往往限制了植物生物量分配格局,对光、养分、水分的竞争是决定生物量分配的重要因素<sup>[27]</sup>,本研究表明,同一立地类型各草本植物

地上生物量和根冠比差异性均显著,各草本植物(除菵草、小蓬草)光合作用产物主要用于地下部分生长,根冠比均大于 2;菵草的地上部分和地上部分重量差异不大;小蓬草的根冠比小于 1,可能是由于陡坡和人工岸坡这种土层较厚、石砾含量少的立地类型,地下根系不需要过分生长就能提够稳定的水分、矿物质等营养元素,环境不存在胁迫作用,植物地上部分由于养分充足,生长良好,这样就使地上和地下部分产生不对称的变化,根冠比差异性显著。

(3) 草本植物的固坡效果与根在土体中的分布形态、根的含量和根的长度等因素有关,且随着根系含量及根系强度的提高而提高<sup>[28]</sup>。合理选择一些根系发达(根长较长,根表面积大),强度高的植物可以很好的提高固坡能力。对同一种草本,根系愈多愈深愈长,吸附面积就愈大,吸附力愈大,固土能力愈强<sup>[11]</sup>。对 4 种立地类型各草本根系长度和表面积研究表明:水蓼、小蓬草最适合生长的立地类型是缓坡类型;白背黄花稔、土牛膝最适合生长的立地类型是陡坡类型;紫菀、艾草最适合生长的立地类型是江心洲类型;菵草最适合生长的立地类型是人工岸坡类型。

(4) 草本植物根系的生物量存在季节动态,不同类型的草本其物候特征不同<sup>[29]</sup>。本次植物根系调查是在植物生长旺季(2013 年 6 月)进行的,7 种优势草本植物均处于生长旺盛阶段,其差异反映了种间或者立地类型差异,物候的影响不大。此外,不同优势草本植物的生活史(一年生、多年生)差异,将影响根系的累积生物量、根长等根系特征<sup>[30]</sup>。本研究的 7 种草本植物均为一年生,不存在植物生活史的差异。不

同径级根系对改良土壤结构和增加土壤有机碳、全氮含量作用不一样<sup>[31]</sup>,且主要研究根系的分布特征,未对其与土壤养分的关系进行研究,不同径级根系的差异性有待进一步研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 杨永德,吴虹,郭建东,等. 漓江源及上游生态环境变化遥感调查[J]. 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[J]. 生态经济,2007(3):131-134,159.
- [3] 李鹏,赵忠,李占斌,等. 植被根系与生态环境相互作用机制研究进展[J]. 西北林学院学报,2002,17(2):26-32.
- [4] 胡刚,刘健. 河口岸滩侵蚀研究进展[J]. 海洋地质动态,2006,22(6):5-9.
- [5] 向小亮,宁书菊,魏道智. 根系的研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(17):105-112.
- [6] Silveira C P, de Oliveira D A, Bonfim-Silva E M, et al. Two years of nitrogen and sulfur fertilizations in a signal grass pasture under degradation: Changes in the root system [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2011,40(6):1195-1203.
- [7] Leitner D, K S Bodner G, Schnepf A. A dynamic root system growth model based on L-Systems[J]. Plant and Soil, 2010,332(1/2):177-192.
- [8] Wolfgang F P, Helmuth S. The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals[J]. Environmental and Experimental Botany, 1993,33(1):85-98.
- [9] Körner C, Renhardt U. Dry matter partitioning and root length/leaf area ratios in herbaceous perennial plants with diverse altitudinal distribution[J]. Oecologia,1987,74(2):411-418.
- [10] 朱云集,王晨阳,马元喜,等. 砷胁迫对小麦根系生长及活性氧代谢的影响[J]. 生态学报,2000,20(4):707-710.
- [11] 钟南,罗锡文,秦琴. 基于生长函数的大豆根系生长的三维可视化模拟[J]. 农业工程学报,2008,24(7):151-154.
- [12] 程洪,张新全. 草本植物根系网固土原理的力学试验探究[J]. 水土保持通报,2002,22(5):20-23.
- [13] 魏华炜,罗海波,张玉环. 狗牙根根系分布特征及其抗拉强度试验研究[J]. 水土保持通报,2011,15(4):185-189.
- [14] 程积民,万惠娥,王静. 黄土丘陵区紫花苜蓿生长与土壤水分变化[J]. 应用生态学报,2005,16(3):435-438.
- [15] 李文娆,张岁岐,山仑. 水分胁迫对紫花苜蓿根系吸水与光合特性的影响[J]. 草地学报,2007,15(3):206-211.
- [16] 白军红,邓伟,朱颜明,等. 水陆交错带土壤氮素空间分异规律研究:以月亮泡水陆交错带为例[J]. 环境科学学报,2002,22(3):343-348.
- [17] 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[J]. 应用生态学报,2010,21(11):2763-2768.
- [18] 缪钟灵. 漓江上游枯水成因及补水措施[J]. 桂林工学院学报,1995,2(15):181-189.
- [19] Alatalo R U. Problems in the measurement of evenness in ecology[J]. Oikos, 1981,37(6):199-204.
- [20] 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.
- [21] 陈芳清,李永,郝光武,等. 水蓼对水淹胁迫的耐受能力和形态学响应[J]. 武汉植物学研究,2008,26(2):142-146.
- [22] 黄德青,于兰,张耀生,等. 祁连山北坡天然草地根冠比与气候因子的关系[J]. 干旱区研究,2011,28(6):1025-1030.
- [23] 周梦华,程积民,万惠娥. 云雾山本氏针茅群落根系分布特征[J]. 草地学报,2008,16(3):267-271.
- [24] 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.
- [25] 云雷,毕华兴,马雯静,等. 晋西黄土区林草复合系统刺槐根系分布特征[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(2):151-155.
- [26] 耿浩林,王玉辉,王凤玉,等. 恢复状态下羊草(*Leymus-chinensis*)草原植被根冠比动态及影响因子[J]. 生态学报,2008,28(10):4629-4634.
- [27] Chen Zuozhong, Wang Shiping. The Typical Grassland Ecosystem of China[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [28] 言志信,宋杰,蔡汉成,等. 草本植物加固边坡的力学原理[J]. 土木建筑与环境工程,2010,32(2):30-34.
- [29] Fitter A H. Characteristics and functions of root system [C] // Hidden Huf. Plant Roots. New York, USA: Y W aisd, Eshel and U kafk afi. Marcel Dekker, 1996.
- [30] Docker B B, Hubble T C T. Quantifying root-reinforcement of river bank soils by four Australian tree species[J]. Geomorphology, 2008,100(3/4):401-418.
- [31] 程瑞梅,王瑞丽,肖文发,等. 三峡库区马尾松根系生物量的空间分布[J]. 生态学报,2012,32(3):823-832.