

石漠化区地埂桑根系分布特征 及其与土壤养分的关系^①

高建花¹, 郭娜¹, 孙正圆¹, 李智燕²,
史东梅³, 黄先智⁴, 郭彦军¹

1. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400716; 2. 西南大学 动物科技学院, 重庆 400716;

3. 西南大学 资源与环境学院, 重庆 400716; ; 4. 西南大学 蚕学与系统生物研究所, 重庆 400716

摘要: 在重庆黔江石漠化区, 选择飞播天然林为对照, 以不同管理措施的地埂桑梯田为研究对象, 分析了地埂桑根系在田面的水平分布特征及其与土壤养分水平分布之间的定量关系, 以客观评价 3 种梯田管理措施对地埂植物根系分布的影响, 并揭示地埂桑的水土保持效应形成机制。结果表明: 地埂桑田土壤根系表面积、根系体积及根系质量都显著低于天然林, 但天然林土壤根系总长度显著低于清草地。清草地根系表面积和总长度显著高于农耕地和自然生草地; 清草地土壤根系总长度、根系表面积、根系体积及根系重量离标准株距离的增大而呈下降趋势。地埂桑田的土壤全磷、全钾、全氮及速效磷含量均显著高于天然林, 而有机质含量显著低于天然林。整体上, 离标准株的距离对耕地土壤养分含量的影响较小。3 种管理措施中, 清草地相对能较好的促进桑树根系合理分布, 有利于发挥地埂桑的水土保持效应。

关键词: 地埂桑; 根系分布; 土壤养分; 石漠化; 水土保持

中图分类号: S157.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)07-0023-07

石漠化地区地表裸岩的增加和森林植被的减少, 导致调节缓冲地表径流的能力降低, 土壤肥力下降^[1-2]。中国西南喀斯特地区由于频繁的农业耕作加剧了石漠化地区土壤的扰动, 农耕地土壤侵蚀模数显著高于灌木林地^[3], 长期受人为活动的干扰, 植被破坏和土壤侵蚀严重, 严重威胁着当地人们的生存, 影响了当地经济社会的可持续发展^[4]。因此, 如何进行植被恢复重建和实现水土资源协调利用, 是喀斯特山区环境治理的关键^[5-6]。研究表明, 石漠化区梯田埂种植植物, 在改善当地生态环境的同时, 植物根系有效拦截了土壤养分的淋溶损失, 进一步提高了水土保持效益^[7-9]。黄林等^[10]认为同一土层乔木根长密度越大, 有利于改良土壤结构性状, 丰富土壤有机碳和全氮含量。张俊娥等^[11]的研究表明桑粮间作使土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾均有不同程度的富集。吴玉红等^[12]研究表明地埂植物篱的存在为大型土壤动物提供了适宜的生境, 且有利于土壤动物多样性的保护, 为农田土壤疏松有积极作用。然而, 梯田埂植物与作物是一个复合生产系统。在农业生产过程中采取的管理措施可能也影响地埂植物的生长, 特别是根系的发育。李发林等^[13]在蜜柚园套种不同牧草 5a, 结果表明, 宽叶雀稗(*Paspalum wettsteinii*)显著抑制果树根系活力, 而百喜草(*Paspalum notatum*)和圆叶决明(*Chamaecrista rotundifolia*)对果树根系的影响不显

① 收稿日期: 2013-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(31270450); 农业部现代农业产业技术体系专项(CARS-22-ZJ0503)。

作者简介: 高建花(1989-), 女, 甘肃白银人, 硕士研究生, 主要从事草地农业生态研究。

通信作者: 郭彦军, 教授, 研究生导师。

著. Nieuwenhuis 等^[14]研究发现耕作方式显著影响北美云杉(*Sitka spruce*)根系在土壤中的分布特征及发育. Sinnett 等^[15]通过对意大利赤杨(*Alnus cordata*)、日本落叶松(*Larix kaempferi*)、欧洲黑松(*Pinus nigra*)和欧洲白桦(*Betula pendula*)的研究发现,疏松土壤后的平均根系直径及粗根比例较紧实土壤显著提高. 地埂桑是我国石漠化地区一种典型的梯田地埂植物,随着生态桑产业的进一步推进,其种植面积不断扩大^[16]. 然而,有关地埂桑根系分布特征与梯田管理措施方面的报道较少,制约了人们对地埂植物水土保持效益的科学认识. 鉴于此,我们针对重庆石漠化区地埂桑田常见的几种管理模式,即自然生草、除杂、种植粮食作物等,分析管理措施对地埂桑周围梯田土壤养分变化以及地埂桑地下根系生长发育的影响,探讨土壤养分变化与根系发育之间的关系,从而为合理管理地埂桑田,以及石漠化地区的土地利用和水土保持工作提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究地点

研究区位于重庆市黔江区,地处渝东南边缘,武陵山腹地,地理位置介于 29°04′—29°52′N, 108°28′—108°56′E 之间. 研究区具有典型的山地气候特征,多年年均气温 15.4℃,极端最高气温 38.6℃,极端最低气温 5.8℃;多年平均降雨量 1 280 mm. 境内岩溶地貌发育,碳酸盐出露面积占土地总面积的 97.86%. 区境东西相距 45 km,南北相距 90 km,土地总面积 2 398.10 km². 黔江区土地利用有农业用地、建设用地、未利用地 3 个一级地类,农业用地包括耕地、林地、园地及其他农业用地,且农耕地面积沿海拔的增加呈递减趋势^[9].

1.2 样地选择

为了防止水土流失同时发展桑蚕业,1995—1998 年间,研究区在梯田埂上种植桑树. 本试验在种植 15 年的地埂桑梯田上,选择 3 种常见种植管理模式,即清草地、农耕地和自然生草地,以飞播天然林为对照. 所有样地均分布在同一山坡,坡顶为天然林,梯田埂全部栽植桑树. 样地基本情况见表 1. 结合梯田地块大小不同的特点,每个样地选择 5 块梯田,作为 5 个重复.

表 1 研究区桑树地埂的管理方式

管理方式	经度/纬度	株距/m	覆盖度/%	梯田农作物	施肥状况
清草地	108°44′58″/29°07′49″	0.4	2	每年种植玉米,非作物生长期,定期清除杂草	每年施肥 3 次,尿素 75 g·m ⁻² ·a ⁻¹ ,磷肥 37.5 g·m ⁻² ·a ⁻¹
农耕地	108°44′58″/29°07′42″	0.6	5	每年土豆和红苕轮作种植	尿素 75 g·m ⁻² ·a ⁻¹ ,蚕渣 375 g·m ⁻² ·a ⁻¹ 作底肥
自然生草地	108°44′59″/29°07′42″	0.8	75	油菜收割 1 年后自然恢复,狗尾草、水花生等杂草未清除	尿素 22.5 g·m ⁻² ·a ⁻¹
天然林地	108°44′40″/29°07′12″	—	95	马尾松林	有 0.5—1cm 的枯枝落层

1.3 样品采集

为了减少当季作物根系对试验结果的影响,本试验在地上作物收获 30 d 后进行采样(2012 年 8 月). 每个样地选择 1 株标准株,自坡耕地的地埂向田面内侧方向 30,60,90 cm 分别设置采样点,用环刀采取深度为 20 cm 内的土样,用根钻取深度为 20 cm 的根系样品. 其中对照天然林地直接采集距离标准株 60 cm 处的样品. 将取出的土壤样品与根系样品放入密封袋内带回. 每个采样点采集 3 个样品,混合后进行样品分析.

1.4 分析测定

1.4.1 根系特征分析

采用水冲洗法清洗根系样品,挑出死根,用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量每一根根直径,并按 0~0.5 mm(小于 0.15 mm 的毛根除外),>0.5 mm 的根径范围对根系进行分级,既分为粗根(直径>0.5 mm)和细根(直径<0.5 mm). 采用 WinRHIZO 根系分析系统软件(Regent Instrument Inc,

Canada) 对不同直径根系进行分析, 并记录根系总长度、根系表面积、根系体积、根系直径. 根系系统分析后的根系样品, 于 75 ℃ 烘 48 h 至恒质量.

1.4.2 土壤养分分析

土壤样品经风干后, 剔除土壤中的植物根系、石块等杂物, 进行养分分析^[17]. 土壤有机质采用重铬酸钾外加热法测定; 全氮采用凯氏定氮法; 碱解氮采用碱解扩散法; 全磷采用 NaOH 碱熔—钼兰比色法; 速效磷采用 NaHCO₃ 浸提—钼兰比色法; 全钾采用 NaOH 碱熔—火焰光度法; 速效钾采用 NH₄Ac—火焰光度法.

1.4.3 数据分析

统计分析采用 Excel、SPSS 13.0 软件进行. 采用双因素 ANOVA 分析管理措施和离标准株的距离对土壤养分及根系特征的影响.

2 结果与分析

2.1 地埂桑根系水平分布特征

不同管理模式及离地埂距离均显著影响地埂桑根系水平分布特征(表 2). 清草地的地埂桑根系总长度、根系表面积、根系体积及根系质量均随离标准株距离的增大而呈下降趋势. 农耕地和自然生草地根系总长度、根系表面积、根系体积和根系质量不随距离的增大而发生显著变化. 根系直径小于 0.5 mm 的根系总长度、根系表面积、根系体积及根系质量均高于直径大于 0.5 mm 的根系(表 3). 其中, 直径大于 0.5 mm 根系, 清草地的根系质量 30 cm 处显著高于 60 和 90 cm 处; 直径小于 0.5 mm 的根系, 清草地的根系表面积、根系体积以及根系质量均在 30 cm 处显著高于 60 和 90 cm 处. 农耕地与自然生草地根系生物量随距离变化均无显著性差异.

表 2 影响土壤养分及根系特征的因素分析

项 目	土 壤 养 分							根 系 特 征			
	全磷	全钾	全氮	有机质	速效磷	速效钾	碱解氮	总长度	表面积	体积	质量
样地	* * *	* * *	* * *	* * *	* * *	* * *	*	* * *	* * *	* * *	* *
距离	ns	ns	ns	ns	ns	* *	ns	*	*	*	*
样地×距离	ns	ns	ns	ns	* * *	* * *	*	ns	ns	*	* *

表 3 离标准株距离对地埂桑田土壤根系特征的影响

样地 类型	距离/ cm	每 dm ³ 直径大于 0.5 mm 的根系				每 dm ³ 直径小于 0.5mm 的根系			
		根长/ cm	根表面积/ cm ²	根体积/ cm ³	根质量/ g	根长 /cm	根表面积 /cm ²	根体积 /cm ³	根质量 /g
清草地	30	30.506a	11.384a	0.446a	0.171a	1422.585a	117.908a	0.782a	0.192a
	60	11.822a	3.606a	0.092a	0.017b	990.106a	77.693b	0.501b	0.081b
	90	9.182a	2.327a	0.049a	0.013b	708.394a	94.639b	0.324b	0.049b
农耕地	30	4.486a	1.478a	0.039a	0.014a	470.241a	36.367a	0.224a	0.031a
	60	6.202a	1.333a	0.023a	0.006a	401.274a	31.336a	0.195a	0.025a
	90	1.860a	0.524a	0.012a	0.002a	271.535a	21.982a	0.146a	0.017a
生草地	30	5.709a	1.506a	0.032a	0.012a	452.374a	37.814a	0.255a	0.051a
	60	7.084a	2.186a	0.059a	0.022a	447.839a	37.696a	0.256a	0.059a
	90	13.205a	3.624a	0.080a	0.032a	350.886a	28.461a	0.189a	0.039a

注: 表 3 中数据小写字母不同表示在 $p<0.05$ 水平上差异显著.

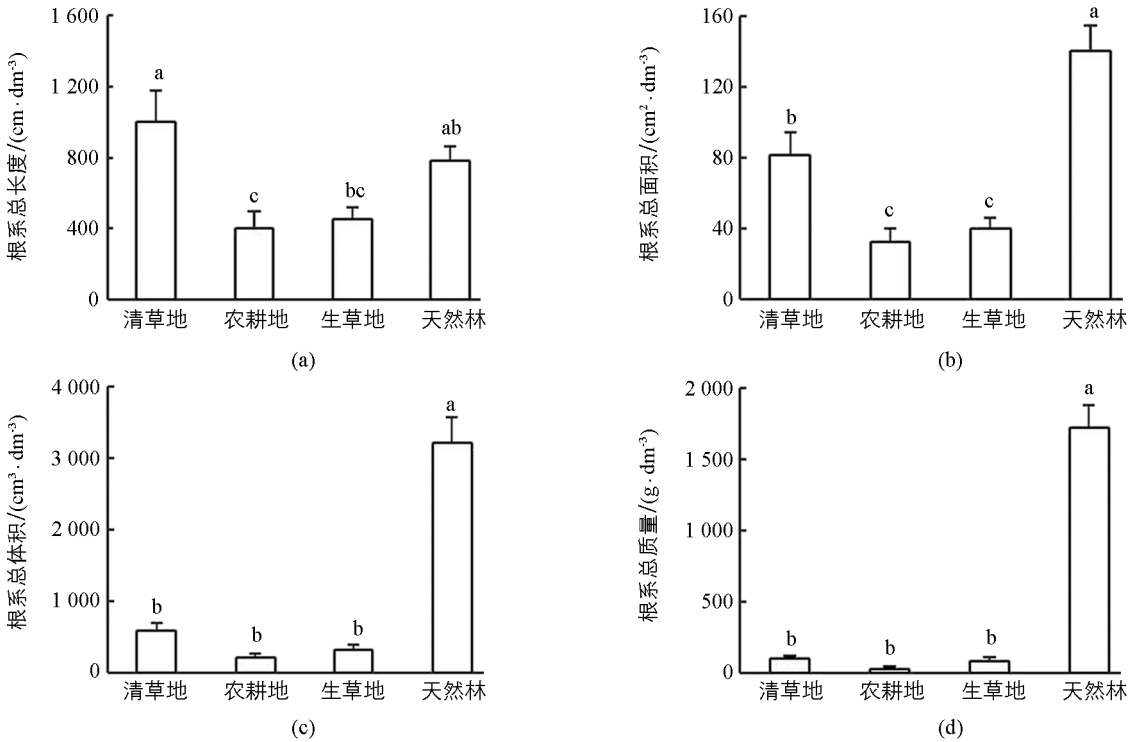
2.2 不同管理措施对地埂桑田根系特征的影响

清草地、农耕地及自然生草地根系表面积、根系体积及根系质量均显著低于天然林土壤; 天然林土壤根系总长度显著低于清草地, 但显著高于农耕地, 与自然生草地无显著差异(图 1). 清草地根系总长度与根系表面积均显著高于农耕地和自然生草地, 而农耕地与自然生草地之间根系总长度、根系表面积差异不显

著. 3 种管理模式间, 地埂桑根系总体积和根系重量均无显著差异.

2.3 不同管理措施下土壤养分含量变化

地埂桑田不同管理模式显著影响土壤养分(表 2). 3 种管理模式, 地埂桑田的土壤全磷、全钾、全氮含量显著高于天然林土壤, 而土壤速效磷仅清草地与农耕地显著高于天然林(表 4). 清草地土壤速效钾含量显著高于天然林, 而有机质含量显著低于天然林, 碱解氮含量与天然林无显著差异. 农耕地土壤全磷、速效磷以及速效钾含量均显著高于清草地与自然生草地, 而土壤全氮含量仅显著高于清草地, 土壤全钾含量显著低于清草地与自然生草地, 土壤有机质含量显著低于自然生草地, 但显著高于清草地. 清水草地的土壤全钾含量显著高于农耕地与自然生草地, 而土壤全磷、全氮、速效磷以及速效钾均与自然生草地之间无显著差异; 自然生草地土壤有机质含量显著高于清草地与农耕地.



离标准株 60 cm 处; 数据柱上小写字母不同标示在 $p<0.05$ 水平上差异显著.

图 1 管理措施对地埂桑田土壤根系特征的影响

表 4 管理措施对土壤养分的影响

样地	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)
清草地	1.91b	18.85a	5.80b	27.15d	163.77a	42.58b	119.77b
农耕地	2.22a	9.97c	7.54a	37.70c	163.06a	196.87a	404.87a
生草地	1.98ab	10.89b	5.32b	46.05b	167.97a	56.24b	66.61bc
天然林	1.49c	5.77d	1.17c	57.85a	150.77a	24.84b	6.45c

注: 表 4 中数据小写字母不同表示在 $p<0.05$ 水平上差异显著.

2.4 不同管理措施下距离变化对土壤养分的影响

清草地土壤全磷和碱解氮含量在 30 cm 处均显著高于 60 和 90 cm 处, 60 和 90 cm 间无显著差异(表 5). 土壤速效磷含量随距离增大而显著降低, 其他土壤养分含量随距离增大均无显著性变化. 农耕地仅土壤速效磷和速效钾含量在 30 cm 处显著小于 60 和 90 cm 处, 60 和 90 cm 间无显著性差异. 自然生草地土壤速效磷在 30 cm 处显著高于 60 和 90 cm 处, 而 60 与 90 cm 间无显著性差异, 其他土壤养分含量随距离变化均无显著变化.

表 5 离标准株的距离对地埂桑田土壤养分的影响

样地	样地距离/ cm	全氮/ (g · kg ⁻¹)	全钾/ (g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	有机质/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)
清草地	30	1.99a	18.77a	7.18a	27.22a	201.55a	37.00a	240.84a
	60	1.91a	18.85a	5.80b	27.15a	163.77b	42.58a	119.77b
	90	1.84a	19.38a	5.73b	25.71a	151.08b	41.69a	72.38c
农耕地	30	2.12a	10.33a	6.96a	34.30a	144.17a	148.11b	148.02b
	60	2.22a	9.97a	7.54a	37.70a	163.06a	196.87b	404.87a
	90	2.14a	9.51a	7.77a	37.45a	148.38a	279.42a	489.09a
生草地	30	1.96a	11.29a	5.59a	43.27a	175.67a	65.68a	186.34a
	60	1.98a	10.89a	5.32a	46.05a	167.97a	56.24a	66.61b
	90	1.94a	10.71a	5.24a	42.90a	173.86a	67.23a	40.74b

注: 表 5 中数据小写字母不同表示在 $p<0.05$ 水平上差异显著。

3 讨 论

石漠化区植物根系生长的地下空间大小与岩性、裂隙大小、裂隙土层深度以及岩石斑直接相关^[18]。在水平方向上, 侧向根系相互缠绕形成具有一定抗张强度的根网, 将根际土壤固结为一个整体, 同时根系的浅层根际土层锚固到深处较稳定的土层上, 增加了土体的稳定性, 减少了雨水冲塌土壤表层^[19]。本试验中, 清草地土壤根系各指标随离标准株距离的增大而呈下降趋势, 而农耕地和自然生草地各指标不随距离的增大而发生显著变化, 说明梯田管理方式直接影响地埂桑根系在土壤中的水平分布, 从而影响根系的水土保持效应^[20]。本试验中, 天然林土壤人为干扰少, 林木根系生长相对好于耕地, 其根系总表面积、体积及质量均显著高于人为干扰的耕地。但是, 天然林土壤根系总长度显著小于清草地, 原因主要在于天然林土壤中的根系总体上较粗, 体积较大, 而清草地土壤根系发育受到翻耕的影响, 粗根少细根多, 随着与标准株距离的增大, 翻耕影响渐弱, 且施肥促进了根系的发育^[21], 边缘效应也导致距标准株近根系生长更好, 同时也说明, 石漠化地区可通过不同的管理措施改善土壤养分, 使其直接影响根系发育, 从而增强此地区水土保持的能力。3 种管理措施中, 自然生草地尽管对土壤的干扰相对较小, 但因杂草与桑树根系竞争养分, 且施肥较少, 根系总长度及面积显著低于清草地, 且根系也无距离变化。李发林等^[8]的研结果也表明蜜柚园套种宽叶雀稗显著抑制果树根系活力。农耕地因经常进行翻耕, 且耕作范围接近树杆 20 cm, 严重抑制了桑树根系发育。

石漠化区梯田管理措施对土壤养分含量有显著影响。与天然林比较, 人为管理措施下耕地土壤养分除有机质含量显著降低外, 其他土壤养分均呈增长趋势。耕作增加了土壤有机质氧化分解速度, 不利于有机质贮存, 本实验中也表明有机质含量呈下降趋势。同时耕作加剧了土壤扰动, 对石漠化区土壤流失有显著的影响^[2]。潘艳华等^[22]的研究结果也表明石漠化土壤上少耕可改善土壤质量, 提高土壤有机质含量。清草地土壤全钾含量显著高于其他管理措施, 而农耕地土壤速效磷和速效钾含量显著高于其他两种管理措施。这种差异与各样地的肥料种类和耕翻次数有关。清草地在玉米生长期每年施用磷肥和尿素, 且在非作物生长期清除杂草; 而农耕地施用蚕渣肥, 可使有益微生物增加, 土壤微生物活性增强^[23], 有助于土壤的疏松, 促进土壤养分的分解释放。自然生草地管理比较粗放, 无连续的农作物种植并且施肥量较少, 使得土壤相对较为贫瘠。清草地土壤全磷及速效磷含量和碱解氮含量均在 30 cm 处最高, 这与该采样点较好的根系发育是一致的, 说明石漠化区土壤保持一定的养分含量对根系发育是必要的。而农耕地和自然生草地土壤养分含量及根系发育与植株距离整体无明显规律。这种差异与不同耕地的管理措施有关。Fabiao 等^[24]的研究结果也表明蓝桉根系在表层土壤中的分布特征与肥料种类有关。

植物根系通过根系在土体中交错、穿插, 网络固持土壤, 提高土壤自身的水力学性质, 从而增强土体的抗侵蚀能力^[25-27]。飞播天然林土壤中较高的根系生物量、表面积及体积, 说明其根系的水土保持效应好于耕地, 而耕地发生土壤侵蚀的比例较高。地埂种植桑树后, 桑树根系在梯田土壤中的水平分布有利于保持水土。但管理措施直接影响根系发育, 间接制约着地埂植物的水土保持效应。因此, 在石漠化地区实施生态种植的过程中, 可考虑地埂植物根系生物学特性, 合理配置梯田农作物, 既可防止梯田土地的石漠化及水土流失, 又可起到维护土壤生产力持续性的功效。

参考文献:

- [1] 李阳兵, 王世杰, 谭 秋, 等. 喀斯特石漠化的研究现状与存在的问题 [J]. 地球与环境, 2006, 15(3): 395—399.
- [2] 马士彬, 安裕伦. 喀斯特地区土地利用与坡度因子关系分析——以贵州省都匀市为例 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2008, 26(1): 18—21.
- [3] 李 生, 任华东, 姚小华, 等. 典型石漠化地区不同植被类型地表水土流失特征研究 [J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 1—6.
- [4] 谢世友, 袁道先, 赵纯勇, 等. 重庆武隆喀斯特地貌及其演化 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2006, 31(6): 134—138.
- [5] 贾亚男. 西南典型岩溶地区生态型土地利用探索 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(4): 174—179.
- [6] 司 彬, 姚小华, 任华东, 等. 桂西喀斯特植被恢复演替过程中物种多样性变化 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(6): 143—149.
- [7] 周 萍, 文安邦, 张信宝, 等. 坡耕地植物篱在水土保持中的应用 [J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 108—113.
- [8] 王喜龙, 蔡国强, 王忠科, 等. 冀西北黄土丘陵沟壑区梯田地埂植物篱的固埂作用与效益分析 [J]. 自然资源学报, 2001, 15(10): 74—79.
- [9] 卢立霞, 曾波. 三江库区嘉陵江岸生优势须根系植物根系对土壤抗冲性的增强效应研究 [J]. 西南师范大学: 自然科学版, 2006, 31(3), 157—161.
- [10] 黄 林, 王 峰, 周立江, 等. 不同森林类型根系分布与土壤性质的关系 [J]. 生态学报, 2012, 32(19): 6110—6119.
- [11] 张俊娥, 李玉灵, 黄大庄, 等. 桑粮间作田条桑根系分布格局及其对土壤水分、养分的影响 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 38—47.
- [12] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 等. 地埂植物篱对大型土壤动物多样性的影响 [J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5320—5329.
- [13] 李发林, 林晓兰, 黄炎和, 等. 果园种植牧草对果树树体生长及其根系活力的影响 [J]. 热带农业科学, 2009, 29(7): 20—24.
- [14] NIEUWENHUIS M, WILLS J, GARDINER J, et al. The Effect of Soil Cultivation Methods on Rooting Depth of Young Sitka Spruce (*Picea Sitchensis* (Bong.) Carr.) Trees on Wet Mineral Soils in Ireland [J]. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2003, 76(4): 465—477.
- [15] SINNETT D, POOLE J, HUTCHINGS T R. A Comparison of Cultivation Techniques for Successful Tree Establishment on Compacted Soil [J]. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2008, 81(5): 663—679.
- [16] 秦 俭, 何宁佳, 王 勇, 等. 桑树的生态学问题与可持续发展(英文) [J]. 资源与生态学报: 英文版, 2012, (4): 330—339.
- [17] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境检测 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [18] 符裕红, 喻理飞, 黄宗胜, 等. 典型岩溶石漠化区根系生境及其类型研究 [J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 66—72.
- [19] 朱钟麟, 卿明福, 刘定辉. 蓁草根特征及蓁草经济植物埂的水土保持功能 [J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 164—167.
- [20] 王 库. 植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响 [J]. 土壤与环境, 2001, 10(3): 250—252.
- [21] JIA Shu-xia, WANG Zheng-quan, LI Xing-peng, et al. Effect of Nitrogen Fertilizer, Root Branch Order and Temperature on Respiration and Tissue N Concentration of Fine Roots in *Larix Gmelinii* and *Fraxinus Mandshurica* [J]. *Tree Physiology*, 2011, 31(7): 718—726.
- [22] 潘艳华, 雷宝坤, 郭玉蓉, 等. 保护性耕作改善石漠化土壤环境质量研究 [J]. 西南农业学报, 2011, 24(5): 1844—1848.
- [23] ASUMING-BREMPONG S, GANTNER S, ADIKU S G K, et al. Changes in The Biodiversity of Microbial Populations in Tropical Soils Under Different Fallow Treatments [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(11): 2811—2818.
- [24] MADEIRA F M, STEEN E, KATTERER T, et al. Development of Root Biomass in An *Eucalyptus Globulus* Plantation Under Different Water and Nutrient regimes [J]. *Plant and Soil*, 1995, 168 (1): 215—223.
- [25] CERMAK P, FER F. Root Systems of Forest Tree Species and Their Soil-Conservation Functions on the Krusne Hory Mts. Slopes Disturbed by Mining [J]. *Journal of Forest Science*, 2007, 53(12): 561—566.
- [26] 施松梅, 陈 珂, 涂 波, 等. 石漠化地区桑根机 AM 真菌多样性及桑壮苗培育研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(10): 1—7.
- [27] 叶 娇, 涂 波, 施松梅, 等. 桑菌根初生结构对梯度水分胁迫的细胞生态响应 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2012, 34(8): 67—72.

Root Distribution of Ridge Mulberry and Its Relationship with Soil Nutrients in Karst Rocky Desertification Areas

GAO Jian-hua¹, GUO Na¹, SUN Zheng-yuan¹, LI Zhi-yan²,
SHI Dong-mei³, HUANG Xian-zhi⁴, GUO Yan-jun¹

1. School of Agronomy and Bio-Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. School of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

3. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

4. Institute of Sericulture and Systems Biology, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: In the present study, land patches planted with ridge mulberry for 15 years were selected to evaluate the effects of soil management measures and distances from standard plants (30, 60 and 90 cm) on the contents of soil nutrients and root distribution characteristics. There were five sampling sites including weeded land where corn was planted in the warm season and it was weeded in the remaining seasons, farmland where potato and sweet potato rotation was practiced, and grass land where wild grasses grew without weeding. A forest located on same mountain with terracing was used as the control. Soils and root samples were taken along the direction pointing to the inner terrace. Soil was sampled from 0—20 cm soil depth with soil cores. Root augers were used to take undisturbed samples for root investigations from 0—20 cm soil depth. The root samples were washed in tap water until no attached soil could be observed. Then, the root samples were classified into two categories according to their diameter: roots with a diameter smaller than 0.5 mm and roots with a diameter larger than 0.5 mm. The root characteristics were analyzed with WinRHIZO root image analysis system. There were five replicates, and one standard plant was selected as the point to measure the distance away from plants. The results showed that the root surface area, volume and dry weight in terrace soil samples were all significantly lower than those in forest land while root length in weeded land was significantly greater than that in forest land. Root surface area and length in the weeded land were significantly higher than those in potato-sweet potato rotation land and grass land. The total root length, root surface area, root volume and root weight decreased with increasing distance from the standard plants. The root length, root surface area and root volume of roots with a diameter smaller than 0.5 mm were significantly higher than those with a diameter larger than 0.5 mm. Contents of soil total phosphorus, total potassium, total nitrogen and available phosphorus in the terrace soils were significantly higher than those in forest soil while the content of organic carbon was significantly lower than that in forest soil. Overall, the effect of the distances from standard plants on soil nutrients was small. Of the three management measures in this study, weeded land improved mulberry root development to a greater extent and was better for water and soil conservation of terrace with ridge mulberry in rocky desertification areas.

Key words: ridge mulberry; root system distribution; soil nutrient; rocky desertification; water and soil conservation

