

贺红早,周运超,张春来. 土壤与植物根系特征及碳积累探究 [J]. 中国岩溶, 2017, 36(4): 463-469.  
DOI: 10.11932/karst20170406

## 土壤与植物根系特征及碳积累探究

贺红早<sup>1,2</sup>, 周运超<sup>1,2</sup>, 张春来<sup>3</sup>

(1. 贵州大学贵州省森林资源与环境研究中心, 贵阳 550025; 2. 贵州大学林学院, 贵阳 550025;

3. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西岩溶动力学重点实验室/联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004)

**摘要:**为研究土壤与植物根系生长及有机碳输入之间的关系, 2011年分别将构树(*Broussonetia papyrifera*)、铁仔(*Myrsine africana*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、皇竹草(*Pennisetum sinense*)移栽入贵州大学林学院苗圃基地, 采用石灰土(岩溶地区土壤)与硅质黄壤(非岩溶地区土壤)进行培育, 然后对根系生长特征和根系对土壤有机碳积累进行了研究。研究结果表明, 构树根系在岩溶地区土壤比非岩溶地区土壤发达, 即岩溶地区土壤根系碳沉积比非岩溶高。岩溶地区土壤上, 紫花苜蓿死亡根系体积最大, 其根系对土壤有机碳积累贡献最大。构树根系生长无论在何种土壤均随土层深度增加而增加, 使得森林土壤深层有机碳含量比草地高。因此, 可确定土壤有机碳积累与植被生长环境和植被种类密切相关。

**关键词:**岩溶地区土壤; 植物根系; 碳积累

**中图分类号:** Q948.1; P642.25

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4810(2017)04-0463-07

### 0 引言

土壤有机碳作为陆地生态最大的碳库, 在全球碳循环过程中发挥着重要的作用<sup>[1-3]</sup>。土壤有机碳对土壤质量具有较强影响, 且影响生态变化和气候变化<sup>[4-5]</sup>。碳酸盐岩是全球重要的碳库之一, 在中国西南地区分布广泛, 由于其地质背景特殊加上湿润的气候条件, 形成特有的地貌形态——岩溶地貌。岩溶地区因其环境的脆弱性和易伤性, 与黄土、沙漠、寒漠并列为中国四大生态环境脆弱区。全球碳酸盐岩的分布面积达陆地面积的12%, 中国岩溶面积占国土面积的三分之一左右<sup>[6-7]</sup>。岩溶地区土壤有机碳易于积累, 有机碳含量高, 是全球陆地循环中的一个重要碳汇, 在全球碳循环中发挥着重要的作用<sup>[8-9]</sup>。土壤有机碳的存贮受到较多因素的制约, 植被在较多因素中发挥着关键作用, 植被类型不仅影响有机质在土壤剖面输入的深度, 而且影响有机碳的动态变化<sup>[10-13]</sup>。目

前, 对土壤有机碳的研究主要集中于土壤有机碳的分布、总有机碳评估和植物对有机碳的作用, 研究植物根系生长变化及根系碳贡献潜力评估的尚少见报道。

植物根系是植物个体与土壤环境进行物质交换和能量输送的关键器官, 对植物吸收水分和养分, 以及生态系统碳分配格局具有重要影响<sup>[14]</sup>。植物种类及其根系影响有机碳的利用率、转移及转换, 一方面, 植物种类直接决定土壤有机碳输入的种类和数量<sup>[15-16]</sup>, 另一方面, 植物根系从土壤吸收矿质元素的同时向土壤输入分泌物<sup>[17-18]</sup>。同时, 根系本身也是一种重要碳源<sup>[19]</sup>, 近10年来, 植物不同根系的细根形态和功能引起学者的广泛重视, 对植物根系结构和功能已有较为清晰的认识<sup>[20]</sup>, 但植物与土壤有机碳的互作关系尚处于初步研究阶段, 且大部分是针对非岩溶地区不同植物根系的影响范围, 对土壤有机碳的影响以及矿质营养的吸收等的研究<sup>[21]</sup>, 而对岩溶地区植物根系生长及其碳积累的研究鲜有报道。而同种植物在岩溶地区土

资助项目: 中国地质科学院岩溶地质研究所地质调查委托项目(YR-JSHJ-2016-211); 贵州省重大专项(20126011-3-3); 贵州省重大基础研究项目(QKK-JZ-2014-200203); 贵州省“百层次”培养计划(QKHC-2015-4022)

第一作者简介: 贺红早(1981-), 研究员, 博士研究生, 主要从事森林培育研究。

通信作者: 周运超, 教授, 博士研究生导师, 主要从事森林土壤研究。E-mail: yc409@163.com。

收稿日期: 2016-12-16

壤与非岩溶地区土壤的根系生长和碳贡献差别较大,基于此,本研究从岩溶地区土壤碳积累和植物根系的关系出发,揭示不同土壤条件下,根系生长过程中根系碳沉积特征,以进一步探究岩溶生态系统不同植物根系生长及碳汇效应,以期为岩溶地区土壤资源的开发与合理利用及岩溶生态系统的恢复提供理论依据。

## 1 研究区域概况

选取的试验样地位于贵州省贵阳市花溪区贵州大学林学院苗圃基地(N26°11',E106°27'),海拔为1100 m,属亚热带湿润性季风气候类型,年平均气温为14.9℃,年均降雨量为1178.3 mm。2011年1月,构树(*Broussonetia papyrifera*)、铁仔(*Myrsine africana*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、皇竹草(*Pennisetum sinense*),分别被移栽或播种入高1.2 m,直径1 m的塑料圆桶中。构树分别种植于石灰土50 cm(典型岩溶地区土壤)+碳酸岩60 cm(底层)和硅质黄壤50 cm(非岩溶

地区土壤)+砂岩60 cm(底层)中,土壤基本信息如表1所示。铁仔、紫花苜蓿、皇竹草分别种植于石灰土50 cm(典型岩溶地区土壤)+碳酸岩60 cm(底层)中,每种植物皆移植于3个样方中(即设置3个重复)。其中构树(乔木)与铁仔(灌木)为1年生苗,紫花苜蓿(多年生草本)播种种植,皇竹草(多年生草本)为3月苗。石灰土采集于安顺市西秀区大坝村(N26°22',E106°15'),原生植物主要有五倍子树(*Rhus chinensis* Mill.)、马桑(*Coriaria nepalensis* Wall.)、火棘(*Schefflera octophylla* (Lour.) Harms)、玉竹(*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce)、凤尾蕨(*Pteris multifida* Poir.)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)等。硅质黄壤采集于贵州省林业科学研究院实验林场(N26°31'~26°34',E106°43'~106°46'),原生植物主要有杜鹃(*Rhododendron simsii* Planch.)、油茶(*Camellia oleifera* Abel.)、山樱桃(*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li)、石栎(*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Beauv.)、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)等。

表1 土壤基本信息

Table 1 Basic information on cultivation soils

土壤类型	有机碳	总氮	总磷	总钾	pH值	有效钾/ mg·kg <sup>-1</sup>
	g·kg <sup>-1</sup>					
石灰土(岩溶地区土壤)	20.60	0.90	1.52	1.83	7.60	17.8
硅质黄壤(非岩溶地区土壤)	2.50	0.17	0.54	0.60	4.90	40.00

## 2 研究方法

### 2.1 根系生长特征监测

采用CI-600植物根系监测系统,于2011年10月安装CI-600根系监测系统。每个样方中安装一根直径0.1 m、长1 m的树脂玻璃管,地下埋深约65 cm,根管与地面成45°角。2014年1—12月用CI-600扫描仪对植物根系进行扫描,数据采用WINRHIZO TRON 2009a软件分析<sup>[22]</sup>,然后通过设备操作平台系统进行数据处理、导出后进行整理,得到根系长度、根系表面积、根系投影面积、根系体积、根尖数、根系年死亡体积等具体数据。

### 2.2 死亡根系处理与计算

2014年12月,对植物根系进行扫描完成后,通过挖掘采样的方法,取出各试验植物根系,将已死亡根系与未死亡根系分开,死亡根系分为粗根(2 cm<d<5 cm)、中根(0.5 cm<d<2 cm)和细根(d<0.5 cm),分别称重后将样品放于65℃烘箱烘干,测定样

品干重,然后测定根系比重,并采用重铬酸钾氧化法测定根系碳素密度<sup>[23]</sup>。各植物根系碳沉积由以下公式计算:

$$D = d \times \rho \times v \quad (1)$$

式中: $D$ 为根系碳沉积( $g \cdot cm^{-2}$ ); $d$ 为根系比重( $g \cdot cm^{-3}$ ); $\rho$ 为碳素密度( $g \cdot g^{-1}$ ); $v$ 为年死亡根系体积( $cm^3 \cdot cm^{-2}$ )。

### 2.3 数据分析

采用四分位数法计算数值分布,计算其最大值、最小值、均值、标准差。数据采用EXCEL进行整理及SPASS统计软件进行统计分析,显著性水平设置为0.05。

## 3 结果与分析

### 3.1 构树根系在石灰土和硅质黄壤中的生长特征

通过研究构树根系在石灰土和硅质黄壤的生长(图1):不同土壤深度下根系生长存在差异性,其中

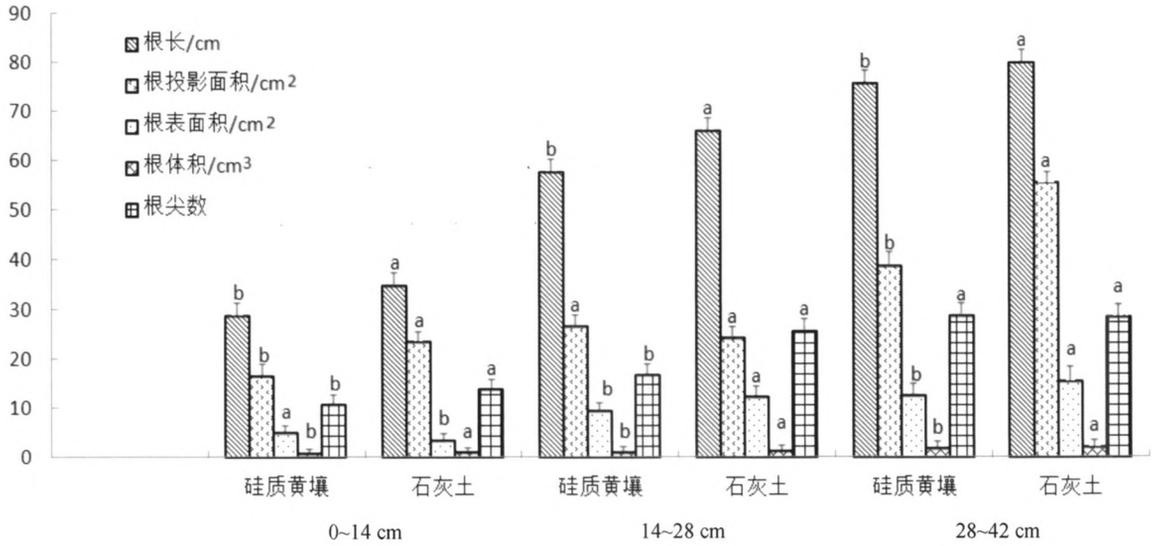


图 1 构树根系在石灰土和硅质黄壤中的生长特征

Fig. 1 Root growth characteristics of *Broussonetia papyrifera* cultivated in siliceous yellow soil and calcareous soil

注:不同小写字母表示差异显著性(P<0.05)。

在0~14 cm,构树除根系表面积在硅质黄壤中略大于石灰土外,其余指标均低于石灰土培育构树;在14~28 cm,硅质黄壤培育构树仅根系投影面积大于石灰土培育构树;而28~42 cm,硅质黄壤培育构树仅根尖数略大于石灰土培育构树。

3.2 石灰土培育不同植物根系生长特征

生长于岩溶典型土壤(石灰土)的不同植物,根系生长特征存在差异(图 2)。其中 0~14 cm,根系长

度、根投影面积、根系表面积、根体积大小均为:紫花苜蓿>皇竹草>铁仔>构树,根尖数大小表现为:紫花苜蓿>铁仔>皇竹草>构树;14~28 cm,根系长度、根体积、根投影面积、根系表面积、根尖数生长大小均表现为:紫花苜蓿>铁仔>皇竹草>构树;28~42 cm,根体积、根投影面积、根系表面积、根尖数生长大小均为:铁仔>构树>紫花苜蓿>皇竹草,根系长度生长大小为:铁仔>紫花苜蓿>构树>皇竹草。

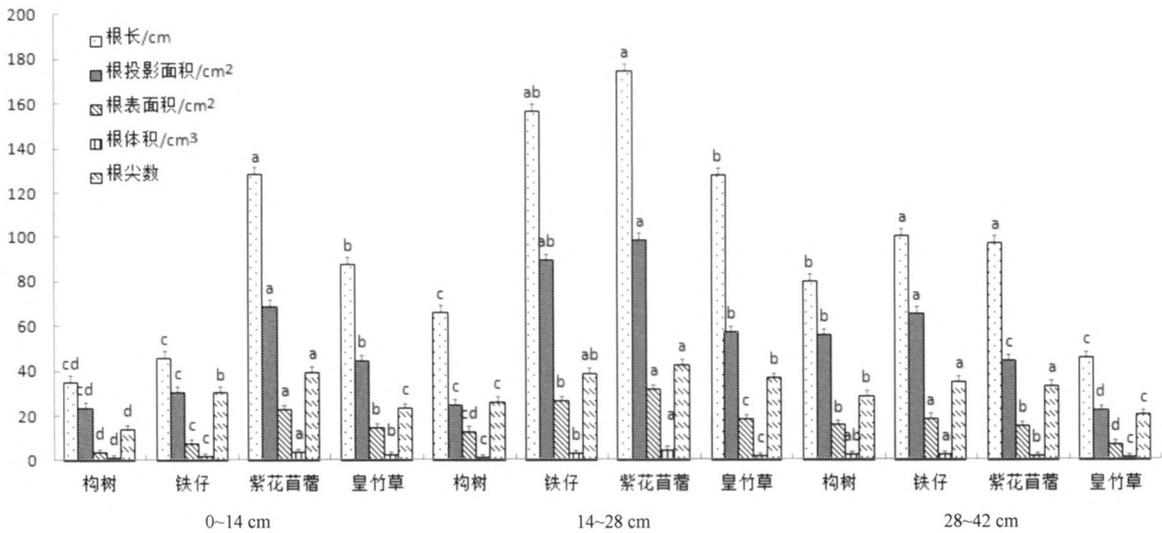


图 2 种植于石灰土的不同植物种类根系生长特征

Fig. 2 Root characteristics of different plants cultivated in calcareous soil

注:不同小写字母表示差异显著性(P<0.05)。

3.3 不同培育土壤与植物根系碳积累效应

不同植物死亡根系情况如表 2 所示:生长于石灰土与硅质黄壤的构树根系比重与死亡根系碳素密度含量没有显著差异性,而两种生态系统中的死亡根系碳沉积具有显著差异性。石灰土培育植物中根系比重大小为:构树>铁仔>紫花苜蓿>皇竹草,年度死亡根系体积大小为:紫花苜蓿>铁仔>皇竹草>构树,死亡根系碳素密度大小为:构树>铁仔>皇竹草>紫花苜蓿。同一植物中,构树死亡体积随土壤深度

增加而增加,其中 28~42 cm 死亡体积最大;而不同植物中,铁仔、紫花苜蓿、皇竹草死亡根系体积最大值出现在 14~28 cm,不同植物根系对土壤有机碳积累贡献大小为:紫花苜蓿(0.26 g·cm<sup>-2</sup>)>铁仔(0.20 g·cm<sup>-2</sup>)>构树(0.19 g·cm<sup>-2</sup>)>皇竹草(0.09 g·cm<sup>-2</sup>)。总体看来,由死亡根系转变为有机碳的数量随植物种类不同而不同,构树根系碳积累表现为石灰土高于硅质黄壤(图 3)。

表 2 不同植物死亡根系信息

Table 2 Information of dead roots of different plants

深度/ cm	植物名称	根系比重/ g·cm <sup>-3</sup>	年死亡根系体积/ cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-2</sup>	碳素密度/ g·g <sup>-1</sup>	根系碳沉积/ g·cm <sup>-2</sup>
0~14	构树 <sup>A</sup>	0.56±0.05a	0.24±0.01d	0.28±0.05a	0.04b
	构树 <sup>B</sup>	0.55±0.04a	0.22±0.01d	0.27±0.03a	0.03b
	铁仔	0.51±0.06ab	0.46±0.02c	0.22±0.04b	0.05b
	紫花苜蓿	0.45±0.04b	2.35±0.02a	0.14±0.03c	0.15a
	皇竹草	0.42±0.05bc	0.76±0.01b	0.15±0.02c	0.05b
14~28	构树 <sup>A</sup>	0.56±0.05a	0.31±0.01bc	0.28±0.05a	0.05c
	构树 <sup>B</sup>	0.55±0.04a	0.34±0.01bc	0.27±0.03a	0.05c
	铁仔	0.51±0.06ab	0.94±0.01ab	0.22±0.04b	0.11a
	紫花苜蓿	0.45±0.04b	1.28±0.01a	0.14±0.03c	0.08b
	皇竹草	0.42±0.05bc	0.47±0.02b	0.15±0.02c	0.03cd
28~42	构树 <sup>A</sup>	0.56±0.05a	0.49±0.01b	0.28±0.05a	0.08ab
	构树 <sup>B</sup>	0.55±0.04a	0.69±0.02a	0.27±0.03a	0.10a
	铁仔	0.51±0.06ab	0.41±0.01c	0.22±0.04b	0.05b
	紫花苜蓿	0.45±0.04b	0.49±0.02b	0.14±0.03c	0.03c
	皇竹草	0.42±0.05bc	0.29±0.01d	0.15±0.02c	0.02c

注:“A”种植物于硅质黄壤的构树,“B”种植物于石灰土的构树;不同小写字母表示差异显著性(P<0.05)。

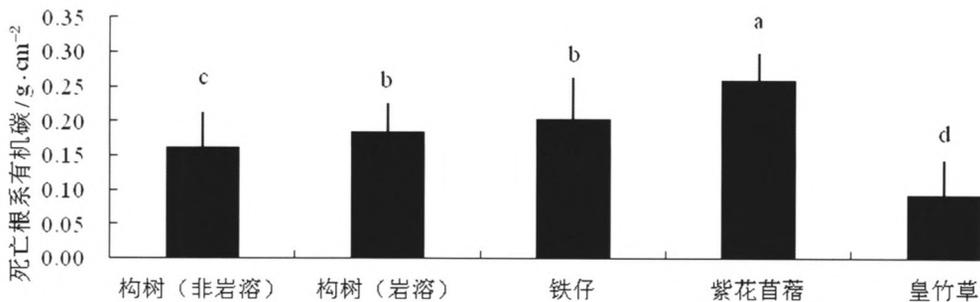


图 3 不同植物种类根系对土壤碳积累的贡献

Fig. 3 Contributions of different plant roots to carbon accumulation in soil

注:标准差由线段表示,不同小写字母表示差异显著性(P<0.05)。

## 4 讨论

### 4.1 岩溶地区根系生长与土壤

根系作为植物体重要组成部分,在植物生命活动中发挥着重要作用,包括水分的吸收与运输,矿质营养的溶解与运输和物质贮藏等。植物体为了吸收满足其生长与发育所需的营养就必须构筑强大的根系与其他植物个体竞争,尤其在贫瘠的土地上。但是根系的发育受很多因素制约,比如植物种类、气候、小生境等<sup>[24-26]</sup>。改变根系形态以获得更多的营养及分泌特殊物质改变根际土壤营养形态以利于吸收利用是植物适应不利环境的主要方式<sup>[27-28]</sup>。岩溶地区的生态环境脆弱,对环境的调节能力较弱,表现为岩溶干旱、土壤瘠薄(低营养)、高重碳酸盐以及钙镁浓度<sup>[29]</sup>。岩溶地区植物的生长必须克服这些极端恶劣的生长环境因素,而根系生长动态的变化是植物应对这些环境因素的重要响应因子<sup>[30]</sup>。

土壤营养元素对植物平衡供应是影响植物生长发育的关键。不同类型植物的根系会使营养元素在土壤中的迁移状况不同,同时老根的脱落也会使植物体内的一些营养元素进入到土壤中,因而植物根系与土壤中营养元素的迁移有较大关系。如表1所示,除有效钾外,硅质黄壤营养元素远低于石灰土。本研究结果表明,构树根系生长于石灰土比硅质黄壤中发达,尤其是根长与根体积。因此,本试验中认为土壤类型是影响构树根系生长与发育的主要因素,而造成这种现象的本质原因之一可能是土壤营养元素的差异,而这些营养元素的差异则可能源自土壤母质及成土结构。朱海燕认为,水分与氮素对构树生物量具有显著影响<sup>[31]</sup>。石灰土中氮元素含量远高于硅质黄壤,这可能是生长于石灰土的构树根系比硅质黄壤中发达的原因之一。魏媛与喻理飞研究了不同岩性土壤对构树种子发芽及苗木生长的影响,其结果表明不同岩性土壤对构树苗木高、径生长影响的差异显著,这是因为不同岩性土壤的理化性质不同。灰质白云岩土壤上构树苗木生长最好,年净生长量达到109 cm和1.26 cm,生长量明显比其他母质土壤高;其次为玄武岩、石英砂岩、第四纪红色黏土、变余岩及长石砂岩土壤<sup>[32]</sup>。

### 4.2 岩溶地区根系对土壤有机碳的贡献

土壤碳沉积与植物根系生长的环境和植物种类密切相关<sup>[33-34]</sup>。同一种植物在恶劣环境中对土壤有机碳的贡献可能比适宜的环境高,多出的有机碳可能是由大量死亡根系和根系分泌物(可使根际营养更易

被吸收)提供<sup>[35-36]</sup>。构树根系生长与分布主要与土壤类型和土壤深度有关,根系长度与体积在岩溶典型土壤—石灰土各土层深度均大于硅质黄壤。但根投影面积、根系表面积、根尖数随土壤类型变化有细微变化。如表2所示,生长于石灰土的构树年死亡根系比硅质黄壤高,差异显著( $P < 0.05$ ),而且生于石灰土的构树死亡根系产生的有机碳比硅质黄壤高。本研究中,长于石灰土上的4种植物,死亡根系变化明显,死亡根系体积在4种植物中具有显著差异,构树根系体积密度与铁仔、皇竹草、紫花苜蓿之间具有显著差异,土壤根系碳沉积随植物种类变化而变化。皇竹草和紫花苜蓿均为草本植物,在根系比重方面没有显著差异。但4种植物中紫花苜蓿死亡根系体积最大,其根系对土壤碳积累贡献最大。

植物种类对土壤碳积累比土壤类型重要(图1,图2),主要表现为高等植物光合碳同化含量的20%~60%被转运至地下根部,其中大部分碳因呼吸作用被消耗,并以二氧化碳的形式释放,而这些二氧化碳又被植物光合再利用<sup>[37]</sup>,因此土壤碳积累是一个动态的循环过程。根系生长和碳输入是土壤碳积累最活跃的方式之一,对土壤碳积累起着举足轻重的调节作用。构树作为一种乔木,其根系生长无论在何种土壤均随土层深度增加而增加,但铁仔、皇竹草和紫花苜蓿与构树均表现出显著差异性,且根系于14~28 cm生长最好,与之前的报道一致<sup>[38-40]</sup>,这也许是森林土壤深处有机碳含量比草地高的原因之一。

## 5 结论

根系对土壤碳沉积效应与植物根际环境和植物种类有关。石灰土培育的构树根系比硅质黄壤培育的构树根系发达,即岩溶地区土壤根系碳沉积比非岩溶地区土壤高。岩溶地区土壤中死亡根系体积密度、年死亡体积、有机碳含量随植物种类不同而变化,虽然死亡根系体积密度、有机碳含量在不同土层深度未见明显差异,但根系年死亡体积在不同土层深度具有显著差异性。岩溶地区土壤中,紫花苜蓿死亡根系体积最大,其根系对土壤碳沉积贡献最大。总体看来,由死亡根系转变为有机碳的数量随植物种类不同而不同,构树根系碳沉积效应表现为:石灰土高于硅质黄壤。岩溶地区土壤中,不同植物根系对土壤有机碳积累贡献大小为:紫花苜蓿>铁仔>构树>皇竹草。

## 参考文献

- [1] Tang H, Qiu J, Ranst E V, et al. Estimations of soil organic carbon storage in cropland of China based on DNDC model[J]. *Geoderma*, 2006, 134(1/2):200-206.
- [2] 严宁珍, 程永毅, 杨剑虹, 等. 岩溶山地土壤有机碳的分布特征及表层土壤有机碳的影响因素分析:以重庆市北碚区为例[J]. *中国岩溶*, 2013, 32(3):292-298.
- [3] Taghizadeh-Toosi A, Olesen J E. Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration[J]. *Agricultural Systems*, 2016, 145:83-89.
- [4] 廖洪凯, 龙健, 李娟, 等. 喀斯特地区不同植被下小生境土壤矿物组成及有机碳含量空间异质性初步研究[J]. *中国岩溶*, 2010, 29(4):434-439.
- [5] Torn M S, Trumbore S E, Chadwick O A, et al. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover[J]. *Nature*, 1997, 389(6647):170-173.
- [6] 刘方, 王世杰, 刘秀明, 等. 喀斯特石漠化区不同优势树种根际土壤有机碳及氮磷的变化[J]. *中国岩溶*, 2011, 30(1):59-65.
- [7] Su X L. Karst rocky desertification and ecology rehabilitation in Guizhou Province [J]. *Earth and Environment*, 2005, 33(4):20-28.
- [8] Martin M P, Orton T G, Lacarce E, et al. Evaluation of modeling approaches for predicting the spatial distribution of soil organic carbon stocks at the national scale[J]. *Geoderma*, 2014, s 223-225(1):97-107.
- [9] Joslin J D, Wolfe M H, Hanson P J, et al. Effects of altered water regimes on forest root systems[J]. *New Phytologist*, 2000, 147(1):117-129.
- [10] 王延平, 许坛, 朱婉芮, 等. 杨树人工林细根数量和形态特征的季节动态及代际差异[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(2):395-402.
- [11] 许坛, 王华田, 朱婉芮, 等. 连作杨树细根根序形态及解剖结构[J]. *林业科学*, 2015, 51(1):119-126.
- [12] 崔晓阳, 宋金凤. 凋落物源有机酸及其地下生态效应[M]. 科学出版社, 2008.
- [13] 丁长欢, 慈恩, 邵景安, 等. 近30年黔西喀斯特区典型县域农田土壤有机碳动态研究:以贵州普定县为例[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(3):281-291.
- [14] 王延平, 许坛, 朱婉芮, 等. 杨树细根碳、氮含量的季节动态及代际差异[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(11):3268-3276.
- [15] Hendrick R L, Pregitzer K S. Applications of minirhizotrons to understand root function in forests and other natural ecosystems[J]. *Plant and Soil*, 1996, 185(2):293-304.
- [16] Pregitzer K S, Hendrick R L, Fogel R. The demography of fine roots in response to patches of water and nitrogen[J]. *New Phytologist*, 1993, 125(3):575-580.
- [17] Aerts R, Berendse F, Klerk N M, et al. Root production and root turnover in two dominant species of wet heathlands[J]. *Oecologia*, 1989, 81(3):374-378.
- [18] Mainiero R, Kazda M. Depth-related fine root dynamics of *Fagus sylvatica* during exceptional drought[J]. *Forest Ecology & Management*, 2007, 237(1-3):135-142.
- [19] Jafari H J. Relationship between root biomass and soil organic carbon: case study of arid shrub lands of Semnan Province[J]. *Desert*, 2013, 18:173-176.
- [20] 王树凤, 胡韵雪, 孙海菁, 等. 盐胁迫对2种栎树苗期生长和根生长发育的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(4):1021-1029.
- [21] 罗东辉, 夏婧, 袁婧薇, 等. 我国西南山地喀斯特植被的根系生物量初探[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(5):611-618.
- [22] 姜慧敏, 宝音陶格涛. 黄花苜蓿根系生长特征研究[J]. *中国草地学报*, 2014, 36(1):53-57.
- [23] 宋娅丽, 韩海荣, 康峰峰. 山西太岳山不同林龄油松林生物量及碳储量研究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1):29-33.
- [24] Wells C E, Eissenstat D M. Marked Differences in Survivorship among Apple Roots of Different Diameters[J]. *Ecology*, 2001, 82(3):882-892.
- [25] 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 Phytologist*, 2002, 154(2):389-398.
- [26] Baddeley J A, Watson C A. Influences of root diameter, tree age, soil depth and season on fine root survivorship in *Prunus avium*[J]. *Plant and Soil*, 2005, 276(1):15-22.
- [27] Pregitzer K S, Kubiske M E, Yu C K, et al. Relationships among root branch order, carbon, and nitrogen in four temperate species[J]. *Oecologia*, 1997, 111(3):302-308.
- [28] Pregitzer K S. Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth[J]. *Tree Physiology*, 1998, 18(10):665-670.
- [29] Gill R A, Jackson R B. Global Patterns of Root Turnover for Terrestrial Ecosystems[J]. *New Phytologist*, 2000, 147(1):13-31.
- [30] 朱海燕. 重庆石灰岩地区石漠化过程中水分与氮素对土壤—构树系统氮、磷元素营养的影响[D]. 重庆:西南大学, 2007.
- [31] 魏媛, 喻理飞. 不同岩性土壤对构树种子发芽及苗木生长的影响[J]. *林业实用技术*, 2011(5):7-9.
- [32] Roy S, Singh J S. Seasonal and spatial dynamics of plant-available N and P pools and N-mineralization in relation to fine roots in a dry tropical forest habitat. [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27(1):33-40.
- [33] Nadelhoffer K J. The potential effects of nitrogen deposition on fine-root production in forest ecosystems[J]. *New Phytologist*, 2000, 147(1):131-139.
- [34] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production, Turnover, and Nutrient Dynamics of Above- and Belowground Detritus of World Forests[J]. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15(15):303-317.
- [35] Burton A J, Pregitzer K S, Hendrick R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests[J]. *Oecologia*, 2000, 125(3):389-399.
- [36] Yavitt J B, Wright S J. Drought and Irrigation Effects on Fine Root Dynamics in a Tropical Moist Forest, Panama[J]. *Bio-*

- tropica, 2002, 33(3):421-434.
- [38] Canadell J, Jackson R B, Ehleringer J B, et al. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale[J]. *Oecologia*, 1996, 108(4):583-595.
- [39] Jackson R B, Schenk H J, Jobbágy E G, et al. Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(2):470-483.
- [40] Lorenz K, Lal R. The Depth Distribution of Soil Organic Carbon in Relation to Land Use and Management and the Potential of Carbon Sequestration in Subsoil Horizons[J]. *Advances in Agronomy*, 2005, 88(5):35-66.

## Root characteristics and carbon accumulation in relation to soils

HE Hongzao<sup>1,2</sup>, ZHOU Yunchao<sup>1,2</sup>, ZHANG Chunlai<sup>3</sup>

(1. Institute for Forest Resources & Environment of Guizhou, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

3. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR&GZAR/The International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract** To study the relationship between the input of soil organic carbon and growth of plant root systems in different soils, four kinds of plants, including *Broussonetia papyrifera*, *Myrsine africana*, *Medicago sativa* and *Pennisetum sinense*, were shifted and cultivated in calcareous and siliceous yellow soils at the cultivation base of Guizhou University in 2011. This place is of subtropical humid monsoon climate, at an altitude of 1,100 m, with an annual average temperature (MAT) of 14.9 °C and the annual average precipitation (MAP) of 1,178.3 mm, respectively. The monitoring system (CI-600) was installed in October 2011. For each experimental unit, a plexiglass tube, with a length of 1 meter and diameter of 0.1 meter, was inserted at an angle of 45° down to the ground, with an insert length 65 cm. During the period from January 2014 to December 2014, the root growth characteristics were observed with a plant root scanning system. The resulting data were analyzed with software WINRHIZO TRON 2009a. The dead roots were dug out for the determination of their bulk density, annual dead volume and root carbon density. The results suggest that the root system of *Broussonetia papyrifera* cultivated in calcareous soil grew better in comparison than that in siliceous yellow soil. It means that the soil organic carbon concentration in the karst mountainous area is larger than that in non-karst area. However, the annual dead roots volume of *Medicago sativa* cultivated in calcareous soil was larger than that of vegetation species, and its root has the largest contribution to soil carbon sequestration. As an arbor tree species, the root of *Broussonetia papyrifera* always increased with depth no matter in what soil it was cultivated with. We consider that this should be one of the key reasons why concentrations of soil organic carbon in forest lands are usually higher than those in grass lands at deeper soils. The root system of *Broussonetia papyrifera* cultivated in calcareous soil developed better in comparison with that of *Broussonetia papyrifera* cultivated in the sandy clay loam soil. In karst areas, the contributions of plants to soil carbon accumulation follow the order of *Medicago sativa* > *Myrsine africana* > *Broussonetia papyrifera* > *Pennisetum sinense*. Therefore, it is concluded that the accumulation of soil organic carbon is closely related with growth environments and species of vegetation.

**Key words** soil of karst area, vegetation root system, carbon accumulation

(编辑 黄晨晖)