

贵州中部喀斯特山地不同植被生态系统 细根生态特征及养分储量*

杜有新^{1,2} 潘根兴^{1**} 李恋卿¹ 胡忠良¹ 王新洲¹

(¹ 南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京 210095; ² 江西省-中国科学院庐山植物园, 江西庐山 332900)

摘要 为了解喀斯特生态系统退化过程中树木细根生物量和土壤养分的变化, 选择贵州中部喀斯特山地乔木林、灌木林和灌草丛3种植被生态系统, 比较分析不同深度(0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm)土壤细根数量及其养分情况. 结果表明: 树木细根主要分布在0~10 cm土层, 并随土层加深而减少. 在0~10 cm土层中, 乔木林、灌木林和灌草丛的活细根生物量分别占0~15 cm总细根生物量的42.78%、56.75%和53.38%, 总活细根生物量的83.36%、86.91%和93.79%. 不同植被下优势种植物细根生物量存在差异. 0~5 cm土层乔木林活细根氮素和磷素储量均显著高于灌草丛和灌木林($P<0.05$), 但灌木林和灌草丛间没有差异; 5~10 cm土层乔木林活细根氮和磷储量显著高于灌草丛和灌木林($P<0.05$), 灌木林下又显著高于灌草丛下($P<0.05$). 0~10 cm土层的活细根生物量与植株地上部分生物量呈正相关, 植物叶片氮、磷养分含量与细根比根长呈显著的负相关, 说明细根的养分储量对地上生物量的建成和生态系统功能的发挥具有重要作用.

关键词 喀斯特生态系统 细根 养分储量 细根生物量 植被退化

文章编号 1001-9332(2010)08-1926-07 **中图分类号** Q718 **文献标识码** A

Fine root biomass and its nutrient storage in karst ecosystems under different vegetations in Central Guizhou, China. DU You-xin^{1,2}, PAN Gen-xing¹, LI Lian-qing¹, HU Zhong-liang¹, WANG Xin-zhou¹ (¹*Institute of Resources, Ecosystem and Environment for Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*; ²*Lushan Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Lushan 332900, Jiangxi, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2010, 21(8): 1926–1932.

Abstract: The degeneration of karst ecosystem is closely associated with the reduction of soil nutrients and fine root biomass, and the retention of soil nutrients is of significance in sustaining ecosystem functioning. To understand the changes in the fine root biomass and soil nutrient retention in degenerated karst ecosystems, a comparative study was conducted with three typical vegetation stands (forest, shrub, and shrub-grass) in Central Guizhou of Southwest China. Soil samples with fine roots were collected from the depths 0–5 cm, 5–10 cm, and 10–15 cm, with the related indices of fine roots and nutrients measured. In the three stands, fine roots dominantly distributed in 0–10 cm soil layer, and decreased sharply with soil depth. The living fine root biomass in 0–10 cm soil layer under forest, shrub, and shrub-grass occupied 83.36%, 86.91%, and 93.79% of the total fine root biomass, and 42.78%, 56.75%, and 53.38% of the total living fine root biomass within the 0–15 cm soil layer, respectively. The fine root biomass of predominant plant species varied with vegetation types. The N and P storage of the living fine roots in 0–5 cm soil layer under forest stand was significantly higher than those under shrub stand and shrub-grass stand, and no significant differences were observed between the latter two stands. However, the N and P storage of the living fine roots in 5–10 cm soil layer under different stands decreased in the order of forest > shrub > shrub-grass ($P<0.05$). There was a significant positive correlation between the plant aboveground biomass and the living fine root biomass in 0–10 cm soil layer, and a significant nega-

* 国家基础研究发展计划重点项目(2006CB403205)资助.

** 通讯作者. E-mail: pangengxing@yahoo.com.cn

2010-01-03 收稿, 2010-06-02 接受.

tive correlation between the N and P contents of plant leaves and the specific length of living fine roots, illustrating that the nutrient uptake and retention by the living fine roots could have particular importance in the aboveground biomass establishment and ecosystem functioning.

Key words: karst ecosystem; fine root; nutrient storage; root biomass; vegetation degeneration.

细根(多指直径 ≤ 2 mm 的根系)具有巨大的吸收表面积,是树木吸收水分和养分的主要器官^[1]. 虽然树木细根生物量不足根系总生物量的 30%^[2-3],但是由于细根生长和周转迅速,维持其生长和代谢消耗的碳水化合物占林分净初级生产力的 40%~85%^[4-5]. 20 世纪 70 年代以后,关于树木细根生长、周转、生物量及其时空变化对森林生态系统养分循环影响的研究备受关注^[6-8],尤其是微根管(minirhizotron)技术的应用^[9-10],极大地推动了细根研究的深入和发展.

在森林群落演替过程中,植物对生长空间和生存资源存在激烈的竞争,养分的空间异质性及植物根系对土壤环境的响应方式影响植物的生物量累积及其相对竞争能力^[11]. 土壤养分的空间异质性就是土壤养分在空间上的复杂性和变异性^[12-13],看似微小的土壤异质性对处于不同发育阶段的植被类型的物种组成、群落结构及生态系统生产力均产生重要的影响. 不同植物种类根系对养分空间异质性所表现的形态可塑性差别较大,反映植物根系可塑性的特征指标主要包括根长密度(单位土体中细根长度, $\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$)、根系生物量密度(单位土体中细根总生长量, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)和相对细根生物量差(RFRMD). $\text{RFRMD} = (\text{树冠区细根生物量} - \text{空旷处细根生物量}) / \text{植株细根总生物量} (\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$,用来判断植物根系觅食的方向性和准确性^[11]. 在土壤养分储量和活性养分库复杂多变的情况下,许多植物能够通过调整根系形态和生理过程来获得有限资源,并且通过植物对养分需求的变化来调节根系生长速度^[14].

喀斯特生态系统是一种非常脆弱的生态系统. 喀斯特山区受损生态系统的土壤异质性非常突出,土壤 N、P 养分缺乏,且有效性低,是植物生物量和植被发育的限制因素^[15-16]. 植物细根的周转对生态系统的碳分配和养分循环具有重要作用^[17]. 以往对喀斯特植被群落的生物多样性与群落结构的研究较多^[18],而对处于不同演变阶段的植被群落的细根生态特征及其养分储量的研究尚不多见. 因此,研究喀斯特自然生态系统的优势树种细根的生态特征(如空间分布、生物量)及其养分储量,对喀斯特退化生

态系统恢复与重建具有一定的理论价值和实际意义.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

研究区位于贵州省中部普定县城关镇赵家田村($26^{\circ}16.39' - 26^{\circ}18.05' \text{ N}$, $105^{\circ}46.72' - 105^{\circ}48.61' \text{ E}$),海拔 1300~1500 m,属亚热带季风气候影响的典型喀斯特高原山地^[6]. 研究区为典型湿润性季风气候,年平均气温 $14^{\circ}\text{C} \sim 15.9^{\circ}\text{C}$;雨量充沛,年均降水量 1396.9 mm,约 70% 集中于 5—9 月. 由于碳酸盐岩广泛分布,致使非地带性土壤——石灰土普遍发育,其分布面积占本区面积的 30%~40%. 区内发育的常态地带性植被为中亚热带湿润性常绿阔叶林^[17],但由于受到石灰性土壤发育缓慢的限制,尤其是人为活动的频繁干扰,多发育成各种非常态的喀斯特植被,次生性灌丛类型较多而且分布最广,植被处于由乔木林向灌丛林和草地的演替阶段.

本研究选择了该区内岩性、海拔和地形等条件均相似,且相邻的 3 个独立的喀斯特峰丛山丘,按照树冠覆盖度和冠层高度分别属于乔木林(FO)、灌木林(SH)和灌草丛(SHG)3 种不同植被覆盖的生态系统. 其中,乔木林为落叶阔叶混交林,其乔木层、灌木层和草本层高度分化,优势乔木层平均高度 13 m,主要优势树种有圆果化香(*Platycarya longipes*)和白栎(*Quercus fabri*),伴生树种有刺楸(*Kalopanax septemlobus*)、云南樟(*Cinnamomum glanduliferum*)、月月青(*Ilea ilicifolia*)、光叶海桐(*Pittosporum glabratum*)、桫欏石楠(*Photinia davidsoniae*)和密花树(*Rapanea nerifolia*)等;灌木林有着完整的灌木层和草本层,灌木层覆盖度 70.4%,群落平均高度 1.3 m,主要优势树种为小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、竹叶椒(*Zanthoxylum planispinum*)和火棘(*Pyracantha fortuneana*). 灌草丛优势树种与灌木林相似,但其灌木层覆盖度只有 30.7%,群落平均高度 0.9 m,而且物种丰富度较低. 根据 2008 年夏季采集的表层(0~10 cm)土壤样品的分析结果表明^[15],3 个生态系统的土壤速效养分之间差异明显($P < 0.05$) (表 1).

表1 样地植被概况及土壤基本属性

Tab.1 Vegetation conditions and soil basic characteristics in sampling stands (mean±SD)

植被类型 Vegetation type	海拔 Elevation (m)	植被覆盖度 Coverage (%)	pH	土壤厚度 Soil depth (cm)	土壤有机碳 Soil organic C (g·kg ⁻¹)	土壤速效氮 Available N (mg·kg ⁻¹)	土壤速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)
乔木林 FO	1309 ~ 1456	83.5±12.3a	6.9±0.7	42.19±27.16a	65.56±10.74a	430.46±87.22a	3.96±1.28a
灌木林 SH	1286 ~ 1425	70.4±32.5a	7.8±0.3	41.35±31.35a	49.68±20.50b	338.79±73.23b	2.55±0.79b
灌草丛 SHG	1312 ~ 1415	30.7±22.6b	7.6±0.6	22.90±25.20b	51.32±11.70b	244.60±72.39c	1.66±0.57c

FO; Forest; SH; Shrub; SHG; Shrub-and-grass. 同列不同小写字母表示植被类型之间差异显著 ($P<0.05$) Different lower case letters meant significant difference 0.05 level. 下同 The same bellow.

1.2 研究方法

细根采集采用土钻法^[2]. 考虑到秋季是细根生物量年际变化的相对高峰期之一^[1], 于2007年和2008年的10月, 采用内径为8 cm的土钻采集土芯. 野外调查发现, 细根主要集中分布于20 cm以上的土层, 所以分别在灌木林和灌草丛样地内, 选取小果蔷薇、竹叶椒和火棘等3种优势灌木各3株标准植株, 乔木林样地选取圆果化香和白栎2种优势树各3株树高在4~6 m的植株, 在树冠区按东南、西南、北面3个方位并距树干10~20 cm处, 按0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm分土层采样. 由于树冠覆盖区内枯落物较丰富, 为比较树冠区和空旷处细根生态特征差异^[1], 同时在目标树树冠外空旷处, 同样分3层采集土芯. 取出的土芯用流水漂洗、过筛, 分拣根系, 分出目标树种根和其他植物根系, 剔除草根. 根据根系外形、颜色、弹性、根皮与中柱分离的难易程度区分活、死根, 并分成≤2 mm和>2 mm 2个径级. 将所有根系样品放在盖有玻璃的网格纸上(mm), 用镊子拉直两端测定根系长度(精确0.5 mm). 称取鲜质量后放入烘箱70℃烘干至衡量(24 h), 称量干质量. 细根生物量($g\cdot m^{-2}$)测定按式(1)计算^[1]:

细根生物量 = 平均每根土芯细根干质量(g) ×
10000/16π

(1)

同时采伐灌草丛和灌木林的优势灌木植株并称量, 枝干样品烘干(70℃)至衡量后称量, 计算出单株地上部分生物量. 为了尽可能减少对植被群落的破坏, 共砍伐标准灌木54株. 同时从随机选择的每个优势树种树冠中上层, 每株采取鲜叶30 g左右, 于70℃烘箱烘干至衡量(24 h). 由于无法界定死根的具体死亡时间及存在养分再吸收现象^[2], 测定的死细根养分含量不一定是细根死亡时候的养分含量, 所以只测了活细根的主要养分含量. 根系和叶片样品养分含量测定均参照鲁如坤^[19]的方法, 全氮采用凯氏定氮法测定, 磷采用酸溶-钒钼黄比色法, 而

钾为酸溶-火焰光度计法.

1.3 数据处理

根据根系长度与其干质量的比值获得不同级别根系的比根长, 并由各层比根长和细根生物量推算各层根长密度和生物量密度. 将每个土芯中3个土层的生物量和根长相加, 得到各土芯生物量值和根长值. 分层(0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm)和分树种统计3个样地192个土芯样品中各参数的平均值, 并根据植被覆盖度换算为单位面积比根长($m\cdot g^{-1}\cdot m^{-2}$)、根长密度($m\cdot m^{-2}$)和生物量密度($g\cdot m^{-2}$). 根据树冠区与非树冠区细根生物量差异, 计算每个树种和每个样地相对细根生物量差($g\cdot m^{-2}$).

试验数据分析采用单因素方差分析(ANOVA)和Turkey(HSD)标准进行处理间差异显著性检验, 统计计算均在SPSS 13.0软件上完成.

2 结果与分析

2.1 不同植被类型细根的生态特征

不同植被类型细根的垂直分布格局呈相似的规律, 即细根生物量随土层的加深逐渐下降(表2), 细根集中分布在0~10 cm土层. 在0~10 cm土层内, 乔木林、灌木林和灌草丛生态系统的活细根生物量分别占总细根生物量的42.78%、56.75%和53.38%, 占总活细根生物量的83.36%、86.91%和93.79%; 其死细根生物量分别占系统总死细根生物量的78.36%、90.58%和79.42%. 积累在土壤表面的枯落物提供了土壤微生物的碳源和营养, 提高了养分的有效性和储量^[20], 同时, 表层土壤优越的环境条件^[21], 促进细根在表层土壤中的相对集聚. 细根长度与细根生物量都随土层加深而逐渐下降, 而细根的比根长随土层加深没有明显变化.

细根的生态特征与树种生物学特性(深根、浅根性)和土壤结构及养分状况有关, 不同林分中不同土层的细根根长密度、比根长和生物量的特征不

同(表 2). 在 0~5 cm 土层内,乔木林活细根生物量显著高于灌木林和灌草丛;在 5~10 cm 土层内,乔木林活细根生物量显著高于灌木林,灌木林显著高于灌草丛;在 10~15 cm 土层内,乔木林活细根根长密度显著高于灌木林,灌木林显著高于灌草丛($P<0.05$). 在 5~10 cm 土层内,乔木林死细根的根长密度和生物量皆显著高于灌木林和灌草丛,灌木林死细根比根长显著低于乔木林($P<0.05$).

2.2 不同树种活细根生态特征

不同植物种根系对土壤养分空间异质性的反应不同,这种反应影响着植物的生长. 敏感度(sensitivity)系指植物生长对有效养分空间异质性做出反应的能力,表现为植物个体总生物量对养分空间异质性的反应^[11]. 当一定量养分以较高的异质性(斑块度)供应时,敏感度较高的物种(敏感种)表现为根长密度、生物量密度和相对生物量密度的增加. 乔木树种根长密度和生物量密度普遍高于灌木树种,但相对生物量没有差异. 在 5~10 cm 土层中,灌草丛

的小果蔷薇和火棘活细根根长密度皆显著高于竹叶椒,小果蔷薇细根生物量密度显著高于竹叶椒和火棘;在灌木林中,火棘活细根根长密度显著高于小果蔷薇和竹叶椒,火棘活细根生物量密度也显著高于小果蔷薇和竹叶椒($P<0.05$) (表 3). 3 种灌木在 0~5 cm 土层内没有差异,但在 5~10 cm 土层内,灌木林火棘活细根相对生物量差明显大于小果蔷薇和竹叶椒.

2.3 不同植被类型细根的养分储量

在喀斯特山地森林生态系统中,不同树种根系的养分浓度状况既反映了树种本身的生物学特性,也反映了立地状况和不同植被群落对土壤养分的吸收和利用状况^[22]. 由表 4 可以看出,在 0~5 cm 土层,乔木林活细根 N、P 储量显著高于灌草丛和灌木林,灌木林和灌草丛没有差异. 在 5~10 cm 土层,乔木林活细根 N 和 P 储量显著高于灌草丛和灌木林,灌木林显著高于灌草丛;乔木林和灌木林 K 储量

表 2 不同植被类型不同土层活细根和死细根特征
Tab.2 Fine root characteristics in different soil layers under different vegetation types (mean±SE)

细根 Fine root	植被类型 Vegetation type	0~5 cm			5~10 cm			10~15 cm		
		根长 Length (m·m ⁻²)	SRL (m·g ⁻¹ ·m ⁻²)	生物量 Biomass (g·m ⁻²)	根长 Length (m·m ⁻²)	SRL (m·g ⁻¹ ·m ⁻²)	生物量 Biomass (g·m ⁻²)	根长 Length (m·m ⁻²)	SRL (m·g ⁻¹ ·m ⁻²)	生物量 Biomass (g·m ⁻²)
活细根 Living fine root	乔木林	245.82	3.70	53.3	121.62	3.17	38.9	93.55	4.37	18.4
	FO	±75.31	±0.94	±7.6 a	±24.94	±0.96	±8.0a	±21.89a	±0.81	±1.3
	灌木林	152.49	3.73	30.4	70.11	1.65	23.4	22.49	2.04	8.1
	SH	±36.53	±1.01	±5.2 b	±19.73	±0.32	±6.5b	±5.38b	±0.15	±4.9
死细根 Dead fine root	灌草丛	178.77	3.95	19.9	69.60	2.83	8.8	15.29	3.08	1.9
	SHG	±31.38	±0.80	±4.2b	±12.03	±0.86	±2.0c	±4.04c	±0.89	±1.4
	乔木林	103.50	1.28	24.6	157.25	2.30	57.6	39.31	1.45	22.7
	FO	±70.91	±0.85	±15.5	±3.98a	±0.25a	±4.7a	±8.46a	±0.19	±7.6
灌木林	SH	±9.56	±0.27	±5.1	±7.80b	±0.28b	±6.0b	±4.02b	±1.18	±2.4
	灌草丛	59.93	2.64	12.6	29.23	0.96	6.7	12.97	1.58	5.0
	SHG	±15.01	±1.24	±4.3	±9.67b	±0.44ab	±2.4b	±5.49b	±0.19	±2.8

SRL:比根长 Specific root length.

表 3 不同植被类型不同树种的土壤活细根特征值
Tab.3 Characteristics of living fine roots in different soil layers beneath different trees in three vegetation types (mean±SE)

植被类型 Vegetation type	树种 Species	0~5 cm			5~10 cm		
		根长密度 RLD (m·m ⁻²)	生物量密度 RMD (g·m ⁻²)	相对生物量差 RFRMD (g·m ⁻²)	根长密度 RLD (m·m ⁻²)	生物量密度 RMD (g·m ⁻²)	相对生物量差 RFRMD (g·m ⁻²)
乔木林	圆果化香 <i>Platycarya longipes</i>	270.13±82.30	66.37±10.09	15.39±6.89	121.62±24.94	46.58±9.62	34.15±9.72
FO	白栎 <i>Quercus fabri</i>	313.02±77.53	60.61±12.10	27.03±8.47	170.19±35.22	52.44±10.69	21.78±8.35
灌木林	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	191.08±75.64	62.40±24.98	21.25±19.91	163.22±11.94a	76.04±8.36a	54.64±3.86a
SH	小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	148.62±79.26	35.16±17.63	27.55±13.77	64.36±3.32b	30.19±2.39b	15.11±4.04b
	竹叶椒 <i>Zanthoxylum planispinum</i>	77.96±19.55	28.99±0.82	13.47±1.39	37.15±18.59b	18.91±9.72c	11.91±6.78c
灌草丛	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	170.93±19.50	78.22±30.50	32.04±20.10	92.95±15.30a	23.79±5.70b	34.68±11.41
SHG	小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	252.32±114.91	64.69±44.54	30.40±21.28	102.84±0.34a	59.05±12.79a	14.36±6.62
	竹叶椒 <i>Zanthoxylum planispinum</i>	140.92±33.56	53.38±24.60	25.77±13.56	30.97±12.90b	11.54±5.86b	9.11±1.74

RLD: Root length density; RMD: Root mass density; RFRMD: Relative fine root difference.

表 4 不同植被类型不同土层活细根养分积累

Tab.4 Living fine root nutrient accumulation in different soil layers under three vegetation types (mean±SE, g · m⁻²)

植被类型 Vegetation type	0 ~ 5 cm			5 ~ 10 cm			10 ~ 15 cm		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
乔木林 FO	0.79±0.11 a	0.08±0.01 a	0.10±0.01	0.58±0.12 a	0.05±0.01 a	0.07±0.01 a	0.31±0.02 a	0.03±0.00 a	0.04±0.00 a
灌木林 SH	0.45±0.05 b	0.04±0.01 b	0.09±0.01	0.33±0.09 b	0.03±0.01 b	0.07±0.02 a	0.13±0.08 b	0.01±0.01 b	0.03±0.02 a
灌草丛 SHG	0.31±0.07 b	0.03±0.01 b	0.06±0.01	0.11±0.02 c	0.01±0.00 c	0.02±0.01 b	0.03±0.02 c	0 c	0.01±0.00 c

显著高于灌草丛. 在 10 ~ 15 cm 土层, 乔木林活细根 N 和 P 储量显著高于灌木林和灌草丛, 灌木林显著高于灌草丛; 乔木林和灌木林的 K 储量显著高于灌草丛 ($P<0.05$), 乔木林和灌木林没有差异. 乔木林养分积累在 3 个生态系统中最高, 说明其枯落物量和根系生物量较大, 而且乔木树种根系分布也相对较深.

3 讨 论

3.1 细根生态数量特征

细根具有巨大的吸收表面积, 是树木吸收水分和养分的主要器官^[23-24], 因此生态系统细根生态数量特征可以反映植被生产力的高低. 对 3 种优势灌木的活细根生物量与地上部分生物量相关性分析表明, 0 ~ 10 cm 土层的活细根生物量和根长密度皆与植株地上部分生物量呈正相关(图 1). 而且细根生物量具有乔木林>灌木林>灌草丛特征(表 2), 说明土壤环境条件通过控制根系的生长及其分布, 影响树木生长和森林生产力.

尽管活细根生物量仅占总活根生物量的 13.53%, 但其根长密度占总活根(直径<30 mm)根长密度的 92%, 相反活粗根(直径>5 mm)生物量比重较大, 但其根长密度所占比例很低, 这种根长密度和生物量不对称的关系, 反映了细根(吸收)和粗根(支撑)功能上的差异^[2]. 虽然在 0 ~ 10 cm 土层内,

活细根生物量具有乔木林>灌木林>灌草丛, 但在细根根长密度和比根长没有差异(表 2). 在 0 ~ 15 cm 土层内, 尽管乔木林细根生物量(215.5 g · m⁻²)显著高于灌木林(99.2 g · m⁻²)和灌草丛(54.9 g · m⁻²), 但远低于亚热带森林的平均水平(631 g · m⁻²)^[2]. 说明喀斯特生态系统的基底脆弱性(土层瘠薄、土被不连续与土壤保水性差)严重影响树木根系生长及其吸收功能, 也决定了植被系统生产力相对较低及系统的不稳定性. 尽管我们没有研究细根的年际变化, 但秋季是亚热带和温带地区森林植被细根生物量的高峰期之一^[1-2], 在秋季测定的细根生态特征指标能反映生态系统细根的总体生长状况.

3.2 细根对环境的指示意义

由于不同土层土壤资源有效性和可获得性的差异, 导致根系在肥沃的表层分布较集中, 而在相对贫瘠的深土层分布较少, 从而决定了养分积累也随土层加深而逐渐降低, 说明深层养分的利用和周转比表层缓慢. 由于土壤资源可利用性的变化, 根系生物量与养分储量及其空间分布也发生变化(表 2 和表 4), 进而影响植被群落生产力的变化. 与根系生物量、根长密度及其养分积累不同, 细根的比根长是反映土壤环境条件和细根吸收功能强弱的重要指标^[25], 在不同环境下表现出较大的可塑性^[24]. 在比较贫瘠的土壤环境下, 植物一般会投入较多的碳水

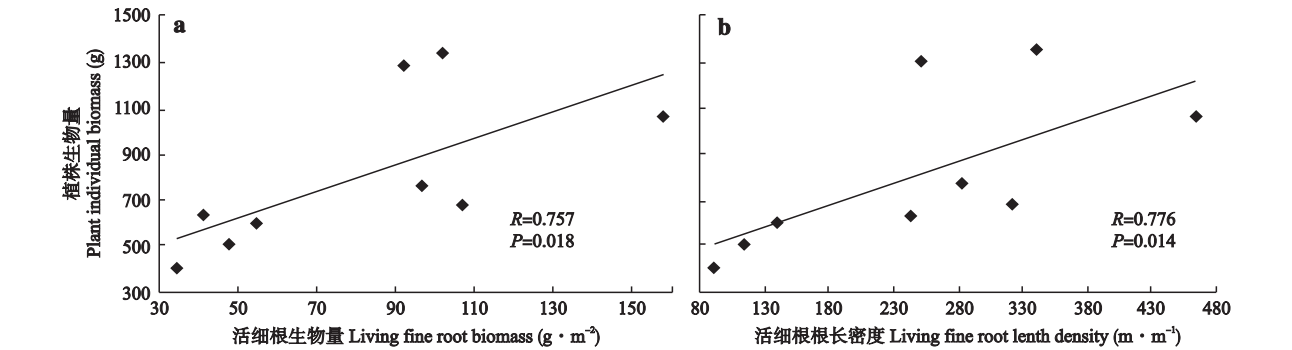


图 1 植株生物量与 0 ~ 10 cm 活细根生物量(a)和根长密度(b)的相关性

Fig.1 Correlation between plant individual biomass with fine root biomass (a) and root length density (b) within 0-10 cm soil depth.

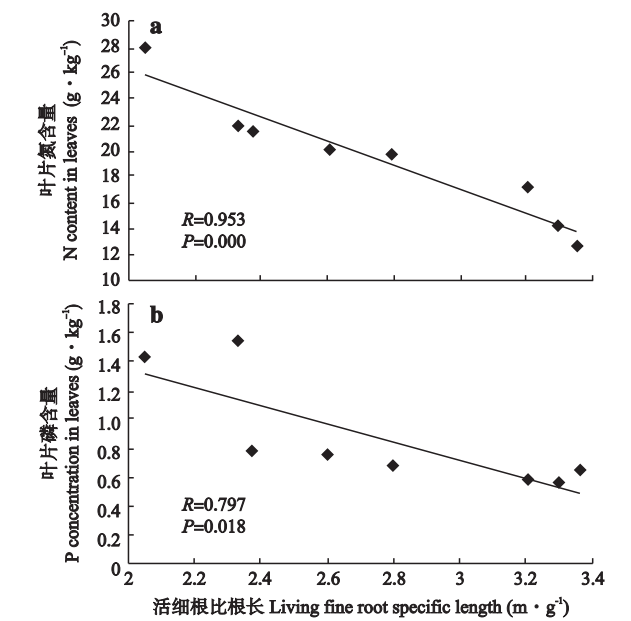


图2 0~10 cm 土层的细根比根长与叶片氮(a)和磷(b)含量的相关性

Fig. 2 Correlation between N (a) and P (b) concentrations in leaves and fine root specific length within 0–10 cm soil depth.

化合物和扩大根系的表面积以吸收更多养分和水分^[23],如灌草丛土壤养分资源的有效性显著低于灌木林土壤,虽然细根生物量有所下降,但根长密度和比根长却高于灌木林(表2和表3).因为灌草丛土壤养分空间异质性高于灌木林,而灌草丛土壤养分的有效性却低于灌木林,土壤养分资源空间异质性增加和可利用性下降,促使植物调整其根系生长及其空间分布以保证地上部分生物量所需的养分和水分^[11,20].从种群水平上看,不同树种之间呈不同的变化特征,这与物种生物学特性及其对环境的生态适应性密切相关.

细根是植物吸收养分的主要器官,而且细根的周转是土壤碳和养分的重要来源^[2],由细根生物量及养分含量决定的细根养分储量可以反映出土壤养分库大小及其生物有效性.植物叶片的养分含量表征了植物利用养分效率大小,也反映了根系对养分的吸收效率和土壤养分资源的有效状况.叶片全氮和全磷含量与活细根比根长呈显著的负相关(图2),说明随着土壤养分库功能下降,尤其是氮磷生物有效性的不断下降^[15],促使植物一方面不断增大细根表面积,同时提高养分利用率(如叶片含量降低),这是植物适应胁迫环境的重要对策.

4 结 论

在生态系统水平上,土壤表层(0~10 cm)养分

资源有效性的降低导致活细根生物量的减少,而活细根根长密度和比根长却呈一定的增长趋势.

乔木树种根长密度和生物量密度普遍高于灌木树种,但相对生长量差没有差异.不同灌木树种的细根生态数量特征存在差异,但相同树种在不同系统之间没有差异.

植株地上部分生物量与细根生物量和细根密度存在显著正相关关系,功能叶片 N 和 P 含量与细根比根长存在显著负相关关系($P<0.05$).因此,细根的养分吸收和保持对生态系统生物量有明显的控制作用.

参考文献

- [1] Guo Z-L (郭忠玲), Deng J-P (邓金萍), Ma Y-D (马元丹), et al. A preliminary study on fine root biomass and dynamics of woody plants in several major forest communities of Changbai Mountain, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **16**(9): 2855–2862 (in Chinese)
- [2] Zhang X-Q (张小全), Wu K-H (吴可红). Fine-root production and turnover for forest ecosystems. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2001, **37**(3): 126–138 (in Chinese)
- [3] Vogt KA, Vogt DJ, Palmiotto PA, et al. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest and species. *Plant and Soil*, 1996, **187**: 159–219
- [4] Shan J-P (单建平), Tao D-L (陶大立). Over seas researches on tree fine root. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 1992, **11**(4): 46–49 (in Chinese)
- [5] Liu J-J (刘建军). A review on root ecology of forest trees. *Journal of Northwest Forestry College* (西北林学院学报), 1998, **13**(3): 74–48 (in Chinese)
- [6] Huang J-H (黄建辉), Han X-G (韩兴国), Chen L-Z (陈灵芝). Advances in the research of (fine) root biomass in forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1999, **19**(2): 270–277 (in Chinese)
- [7] Wen D-Z (温达志), Wei P (魏平), Kong G-H (孔国辉), et al. Production and turnover rate of fine roots in lower subtropical forests in Dinghushan. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1999, **23**(4): 361–369 (in Chinese)
- [8] Yang Y-S (杨玉盛), Chen G-S (陈光水), He Z-M (何宗明), et al. Production, distribution and nutrient return of fine roots in a mixed and a pure forest in subtropical China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2002, **8**(3): 223–233 (in Chinese)
- [9] Hendrick RL, Pregitzer KS. Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. *Ecology*, 1996, **77**: 167–176
- [10] Zogg GP, Zak DR, Burton AJ, et al. Fine root respiration in northern hardwood forests in relation to tempera-

- ture and nitrogen availability. *Tree Physiology*, 1996, **16**: 719–725
- [11] Wang Q-C (王庆成), Cheng Y-H (程云环). Response of fine roots to soil nutrient spatial heterogeneity. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(6): 1063–1068 (in Chinese)
- [12] Li H, Reynolds JF. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 1995, **73**: 280–284
- [13] Farley RA, Fitter AH. Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland. *Journal of Ecology*, 1999, **87**: 688–696
- [14] Shi J-W (史建伟), Wang M-B (王孟本), Yu L-Z (于立忠), *et al.* Effects of soil available nitrogen and related factors on plant fine root. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), 2007, **26**(10): 1634–1639 (in Chinese)
- [15] Hu Z-L (胡忠良), Pan G-X (潘根兴), Li L-Q (李恋卿), *et al.* Changes in pools and heterogeneity of soil organic carbon, nitrogen and phosphorus under different vegetation types in Karst mountainous area of central Guizhou Province, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(8): 1–9 (in Chinese)
- [16] Ren J-C (任京辰), Zhang P-J (张平究), Pan G-X (潘根兴), *et al.* Indices of eco-geochemical characteristics in a degradation-reclamation sequence of soils in mountainous Karst area: A case study in Guanling-Zhenfeng region, Guizhou, China. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), 2006, **21**(5): 504–512 (in Chinese)
- [17] Liu Y-Q (刘苑秋), Luo L-X (罗良兴), Liu L-Y (刘亮英), *et al.* Fine-root character and its action mechanism of forest at its initial reestablished stage on degraded red soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(9): 1735–1739 (in Chinese)
- [18] Wang D-L (王德炉), Zhu S-Q (朱守谦), Huang B-L (黄宝龙). Changes of vegetation features of rocky desertification process in Karst area of Guizhou. *Journal of Nanjing Forestry University* (Natural Science) (南京林业大学学报·自然科学版), 2003, **27**(3): 26–30 (in Chinese)
- [19] Lu R-K (鲁如坤). Analytical Methods for Soil Agricultural Chemistry. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000 (in Chinese)
- [20] Hertel D, Leuschner C. A comparison of four different fine root production estimates with ecosystem carbon balance data in a *Fagus-Quercus* mixed forest. *Plant and Soil*, 2002, **239**: 237–251
- [21] Jackson RB, Canadell J, Ehleringer JR, *et al.* A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 1996, **108**: 389–411
- [22] Singh B, Tripathi KP, Jain RK, *et al.* Fine root biomass and tree species effects on potential N mineralization in afforested sodic soils. *Plant and Soil*, 2000, **219**: 81–89
- [23] Fransen B, Kroon HD, Berendse F. Root morphological plasticity and nutrient acquisition of perennial grass species from habitats of different nutrient availability. *Oecologia*, 1998, **115**: 351–358
- [24] Mei L (梅莉), Wang Z-Q (王政权), Han Y-Z (韩有志), *et al.* Distribution patterns of *Fraxinus mandshurica* root biomass, specific root length and root length density. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(1): 1–4 (in Chinese)
- [25] Burton AJ, Pregitzer KS, Hendrick RL. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests. *Oecologia*, 2000, **125**: 389–399

作者简介 杜有新,男,1965年生,研究员.主要从事植被恢复与植物引种驯化研究,发表论文近20篇. E-mail: yxdu2005@yahoo.com.cn

责任编辑 李凤琴
