

梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 等. 喀斯特地区不同坡位条件下优势灌木根际与非根际土壤养分与 pH 的分布特征[J]. 中国岩溶, 2018, 37(1): 53-58.

DOI: 10. 11932/karst2017y60

喀斯特地区不同坡位条件下优势灌木根际与非根际土壤养分与 pH 的分布特征

梁月明^{1,2}, 苏以荣², 何寻阳², 陈香碧²

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所/亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125)

摘 要:对广西喀斯特地区 2 种优势灌丛植物子凌蒲桃与火棘在不同坡位条件下根际与非根际土壤养分与 pH 值的分布特征进行研究, 揭示植物种类及其立地条件对植物根际养分与 pH 值分布特征的影响。结果表明, 2 种植物根际养分存在一定程度的富集现象, 其中, 火棘根际有机碳与速效磷含量富集明显, 子凌蒲桃根际有机碳与全氮含量富集明显; 根际与非根际土壤养分含量在不同坡位下存在显著性差异 ($p < 0.05$); 根际土壤有机碳含量与全氮含量呈显著正相关 ($p < 0.05$), 与速效磷含量呈显著负相关 ($p < 0.05$); 非根际土壤有机碳含量与速效磷、全氮含量呈显著正相关 ($p < 0.05$)。双因素方差分析显示, 与植物种类相比, 坡位对根际土壤养分含量影响更大。以上的研究表明, 喀斯特灌丛优势植物有利于提高该地区土壤养分利用, 但应该考虑植物立地条件对根际养分利用的影响。

关键词:喀斯特地区; 灌木; 根际土; 土壤养分; 坡位

中图分类号: S714

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2018)01-0053-06

0 引 言

德国微生物学家 Lorenz Hiltner 将根际土定义为根系周围、受根系生长影响并且能够从微环境中吸收大量养分的土体^[1]。根际是土壤—植物根系—微生物进行物质和能量交换最活跃区域, 在生态系统养分循环中发挥重要作用^[2]。因此, 植物根际的研究, 对于认识植物利用土壤养分及适应生境变化具有重要意义^[3], 在林业保护^[4]与植被恢复^[5]中越来越受到重视。

国内外对植物根际的研究颇多, 大部分主要集中在农作物^[6-7]、森林树种^[8-9]的根际养分效应上, 而对灌木根际土壤养分的研究较少, 仅在干旱荒漠区进

行了一些探讨^[10-11]。在喀斯特地区, 谢添等^[5]人探讨了不同退化程度生态系统中植物根际土壤养分的分布特征, 发现植物种类对根际土壤养分产生显著影响; 方红等^[12]人研究喀斯特地区 12 种典型阔叶林树种根际养分也得到类似的结果。目前, 对喀斯特地区优势灌丛植物根际土壤养分的分布特征及其对坡位的响应研究还很少见报道。喀斯特地区地势比较陡, 土壤养分容易随着地表径流流失, 研究喀斯特地区优势灌木根际与非根际土壤养分在不同坡位下的分布特征及其根际养分的富集作用, 对于揭示喀斯特地区灌木对土壤养分的有效利用机制及其在植被恢复重建等方面具有重要的生态学意义。鉴于此, 本文研究了喀斯特地区不同坡位条件下优势灌丛植物根际与

基金项目: 国家自然科学基金(31741021); 广西自然科学基金项目(2016GXNSFBA380179); 20176GNSFAA 198241); 岩溶地质研究所基本科研业务费项目(2016004); 中国科学院西部之光人才培养计划“西部青年学者”项目(Y62305040); 中国地质大调查项目(DD20160305)

第一作者简介: 梁月明(1983-), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事岩溶微生物分子生态研究。E-mail: yueming0919@163.com。

通信作者: 苏以荣(1962-), 男, 研究员, 主要从事土壤养分循环研究, E-mail: yrsu@isa.ae.cn。

收稿日期: 2017-02-05

非根际土壤养分与 pH 的分布特征,旨在探明喀斯特优势灌丛植物根际养分的差异以及对土壤养分的利用,以期为该地区植被恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究样区位于广西壮族自治区环江县(24°50'N, 105°55'E)。该地区属于亚热带季风气候,年均气温 18.5 °C,年均降雨量 1 389 mm,雨季主要集中在 4—8 月^[13]。

1.2 样地布设、植物选择及土壤样品采集

样地布设:2012年6月,于广西环江县同进村喀斯特地区(白云岩发育的石灰土)选择典型灌木群落作为标准样地,灌木有 15—20 年的退耕历史。在研究区从山顶到山脚布设 3 条样带,每条样带分别在样带的上、中、下坡位布设 3 个样方(10 m × 10 m),一共 9 个样方,每个样方距离 100 m。

植物选择:将每块样方分成面积相等的 4 个小样方调查植被组成,每个小样方分成 2 层(灌木层、草本层)进行调查。2.5 cm < 胸围 < 3.14 cm 为灌木,胸围 < 2.5 cm 为草本。同时,记录每种植物的坐标、盖度、高度、冠幅、株数等信息。样地基本信息及优势植物见表 1。在样方内,选择生态适应能力强的优势灌丛植物:子凌蒲桃与火棘作为研究对象。子凌蒲桃为桃金娘科、葡桃属常绿灌木,多分布于中海拔常绿林中,果实成熟后可以食用。火棘为蔷薇科、火棘属常绿灌木,多生长于中性土壤中,果实成熟后为桔红色或深红色,具有很高的观赏价值。

土壤样品采集:考虑到植物树龄会影响根际养分,选择地茎约 2 cm 目标植物,采集其根际土。不同

植物根际土壤样品采集采用抖落法^[14]。在上述所选的典型样地内挖取具有完整根系的土体(根系主要分布的范围),先轻轻抖动植物,抖落不含根系的大块土壤,然后采集粘附在根围的土壤(距离根围 0~5 mm)作为根际土,并尽可能去除混杂于根际土中的根系。为了获得具有代表性样品,同一个样方中,每种植物挖 5 株,然后 5 株植物充分混匀成一个大样品,一共有 18 个根际土样品(2 种植物 × 3 个坡位 × 3 个重复样方 = 18)。同时,每个样方沿“S”形采集 15 点表层 0~15 cm 的土壤样品,将这 15 点采集到的土壤充分混匀成一个混合样(代表整个样方)作为非根际土,一共有 9 个非根际土样品。刚采集的新鲜土样用塑料袋装好运回实验室风干,用于土壤理化指标的测定。

1.3 土壤理化性质的测定

- (1) 土壤 pH 值用电位法测定(土水比为 1:2.5);
- (2) 有机碳用重铬酸钾容量法测定^[15];
- (3) 速效磷用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提、钼锑抗比色法测定^[16];
- (4) 含水量用烘干法测定;
- (5) 全氮用半微量凯氏法测定^[15]。

1.4 数据分析

所有数据采用统计软件 SPSS20.0 进行分析。处理间方差分析采用单因素分析法(One-way ANOVA),差异显著性分析采用 LSD 多重比较法,根际和非根际间比较采用 T-test 法,相关性分析采用 Pearson 法。

根际富集率 E(Enrichment ratio)反映养分的富集程度,E 值的大小反映了植物根际效应的强弱,计算公式如下^[3,17]: $E = [(根际含量 - 非根际含量) / 非根际含量] \times 100\%$ 。

表 1 样地基本信息

Table 1 General information of the sample plots used in this study

坡位	经度	纬度	海拔/m	坡度/°	坡向	优势植物
上坡位 1	108°18'12.95"	24°45'54.37"	420	35°	东南	火棘(0.09) ^a 、子凌蒲桃(0.04)
上坡位 2	108°18'08.95"	24°45'52.28"	442	33°	东南	柃木(0.07)、四子海桐(0.04)
上坡位 3	108°18'07.55"	24°45'51.13"	417	28°	东南	貂皮樟(0.09)、黄荆(0.26)
中坡位 1	108°18'05.00"	24°45'54.30"	406	29°	东南	火棘(0.09)、子凌蒲桃(0.05)
中坡位 2	108°17'57.88"	24°45'43.06"	370	30°	东南	柃木(0.18)、四子海桐(0.09)
中坡位 3	108°18'07.56"	24°45'54.44"	376	33°	东南	貂皮樟(0.23)、黄荆(0.09)
下坡位 1	108°19'33.75"	24°44'22.39"	326	28°	东南	火棘(0.08)、子凌蒲桃(0.07)
下坡位 2	108°18'07.20"	24°45'56.16"	335	26°	东南	柃木(0.05)、四子海桐(0.14)
下坡位 3	108°18'13.04"	24°45'57.74"	340	25°	东南	黄荆(0.09)、三脉叶荚蒾(0.04)

注:^a表示优势植物相对盖度。

2 结果与分析

2.1 不同坡位下灌木根际与非根际土壤 pH 值与养分含量变化特征

单因素方差分析表明,不同坡位,火棘与子凌葡萄根际土壤速效磷、有机碳及全氮含量存在显著性差异($p < 0.05$;图 1)。火棘与子凌葡萄根际土壤中速

效磷含量的变化趋势:上坡位 \approx 中坡位 $<$ 下坡位;而全氮与有机碳含量的变化趋势为:上坡位 \approx 中坡位 $>$ 下坡位。而非根际土壤速效磷、全氮与有机碳含量在不同坡位的变化趋势为:上坡位 $>$ 中坡位 $>$ 下坡位($p < 0.05$)。不同坡位下植物根际与非根际土中 pH 值不存在显著性差异($p > 0.05$)。

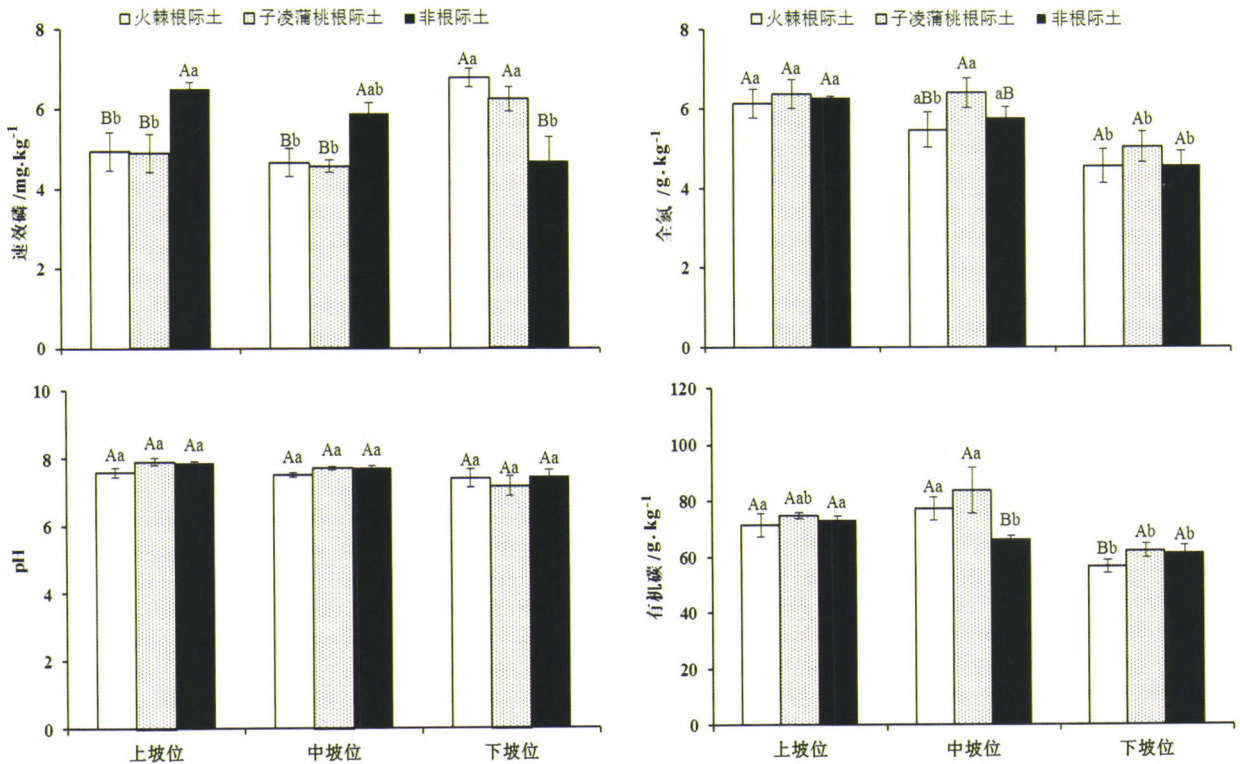


图 1 不同坡位下灌木根际与非根际土壤 pH 值与养分含量变化(LSD ≤ 0.05 ;M+SE, n=3)

Fig. 1 The content of soil nutrient and pH in shrub rhizosphere and non-rhizosphere soil under different slope positions

注:同一小写字母表示同一植物根际或者非根际土壤养分在不同坡位中不存在显著差异, $p > 0.05$;同一大写字母表示不同植物根际与非根际土壤养分在同一坡位中不存在显著差异, $p > 0.05$ 。

同样,单因素方差分析表明,同一坡位,不同植物根际土壤速效磷、有机碳、全氮含量及 pH 值不存在显著性差异($p > 0.05$;图 1);同一坡位,同一植物根际与非根际土壤养分含量也不存在显著差异($p > 0.05$)。

2.2 不同坡位下灌木根际与非根际土壤 pH 值与养分富集率

从表 2 可以看出,火棘根际有机碳与速效磷富集,其中,中坡位有机碳富集率大,而下坡位速效磷富集率大;火棘根际全氮与 pH 值亏缺。

子凌蒲桃根际有机碳与全氮富集,其中,下坡位有机碳富集率大,而中坡位全氮富集率大;整体来说子凌蒲桃根际速效磷与 pH 值亏缺,但下坡位速效磷存在富集现象。

表 2 不同坡位条件下灌木根际与非根际土壤 pH 值及养分的富集

Table 2 Enrichment ratio of pH and soil nutrient contents in shrub rhizosphere and non-rhizosphere soil under different slope positions

树种	坡位	pH 值	富集率/%		
			速效磷	全氮	有机碳
火棘	上坡位	-3.62	-23.83	-2.69	-2.82
	中坡位	-2.74	-20.68	-5.43	16.09
	下坡位	-0.71	50.37	0.1	-7.19
	平均值	-2.36	1.95	-2.67	2.02
子凌蒲桃	上坡位	0.38	-24.99	1.25	2.07
	中坡位	-0.21	-21.81	11.09	25.87
	下坡位	-3.72	40.12	11.48	1.96
	平均值	-1.19	-2.23	7.94	9.96

2.3 灌木根际与非根际土壤养分的相关分析

Pearson's 相关性分析表明,灌木根际土壤速效磷与 pH 值、全氮及有机碳呈显著负相关($p < 0.05$);全氮与 pH 值、有机碳呈显著正相关($p < 0.05$;

表 3)。

Pearson's 相关性分析表明,灌木非根际土壤速效磷与全氮、有机碳呈显著正相关($p < 0.05$);全氮与有机碳呈显著正相关($p < 0.05$;表 3)。

表 3 不同灌木根际与非根际土壤 pH 与养分 Pearson 相关性分析
Table 3 Pearson's correlation analysis of soil nutrients and pH in shrub rhizosphere and non-rhizosphere soil from different plant types

	根际土			非根际土		
	pH 值	全氮	有机碳	pH 值	全氮	有机碳
速效磷	-0.471*	-0.574*	-0.630**	-	0.767*	0.893**
pH 值	-	0.533*	-	-	-	-
全氮	-	-	0.639**	-	-	0.906**

注:** 相关性在 0.01 水平上显著(双尾);* 相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

2.4 植物种与坡位对根际土壤养分的交互效应

双因素方差分析表明(表 4),坡位对根际速效磷、全氮及有机碳含量影响差异显著($p < 0.05$),而对植物种及其与坡位交互作用对根际速效磷、全氮及有机碳含量影响差异不显著($p < 0.05$)。

表 4 坡位与植物种对根际土壤养分的双因素方差分析结果
Table 4 Effect of slope position and plant type on the soil rhizosphere nutrients by two-way ANOVA

项目	速效磷		全氮		有机碳	
	df	F	df	F	df	F
坡位	2	16.902**	2	7.467*	2	11.891**
植物	1	0.6	1		1	
坡位×植物	2	0.29	2		2	

注:** 相关性在 0.01 水平上显著(双尾);* 相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

3 讨论

3.1 喀斯特灌木植物根际与非根际土壤养分富集率分析

植物根系不断从外界环境吸收养分,不同吸收速率使得根际养分容易出现富集或者贫乏现象^[3]。本研究发现,各种养分含量在根际与非根际土壤中不存在显著差异(图 1),但火棘与子凌蒲桃根际均存在有机碳的富集作用,这表明喀斯特地区的优势植物种在其生长发育过程中,能够促进土壤有机碳富集,主要以凋落物和根系沉积物的形式集聚于根际^[11,18],从而减少根际碳损失来缓解环境的胁迫。虽然土壤有

机质降解可以释放一些氮磷素来供植物生长,但是火棘与子凌蒲桃根际分别存在全氮与全磷亏缺。这与前人的研究一致:喀斯特地区灌木植物生长存在一定程度的氮磷受限^[19]。

本研究中的火棘与子凌蒲桃根际土壤养分存在一定程度的富集现象,有利于促进土壤养分的有效利用。但是,富集率比非喀斯特地区植物低^[3,20],这表明喀斯特地区植物比非喀斯特地区植物生长更容易受养分限制。此外,与喀斯特地区乔木根际养分相比,富集率也低^[12],主要的原因是植物根际养分因物种不同存在显著差异^[5]。

3.2 坡位与植物种对灌木植物根际与非根际土壤养分含量的影响分析

不同的地貌部位,地表径流侵蚀冲刷程度及人为干扰程度不同,均对坡面土壤碳氮含量的分布产生重大影响^[21]。一般情况下,土壤碳氮含量随着坡位升高而降低^[22-23],存在养分的“洼积效应”。而在本研究中,植物根际与非根际土壤碳氮含量出现了上坡高下坡低的“倒置”现象。主要原因为:地表径流侵蚀冲刷程度在喀斯特较其他地区弱,土壤碳氮随地表径流流失少,加上喀斯特自身独特的地貌,上坡位的岩石裸露度较下坡位高,对土壤碳氮也有一定的截留作用;此外,相对于上坡位,下坡位受人为干扰比较强,长期耕作和扰动造成土壤碳氮大量分解与流失。因此,植物根际与非根际土壤碳氮在喀斯特地区出现了上坡高下坡低的“倒置”现象。

本研究中,植物非根际土壤速效磷含量上坡位高,下坡位低。磷素在喀斯特地区石灰土中 95%以

上为难溶性磷,极易与碱性土壤中的钙结合生成 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 沉淀,形成稳定状态,包裹在土壤团聚体中,不易随地表径流流失,呈现了上坡高下坡低的现象。但是,植物根际土壤速效磷含量却出现相反的趋势,具体原因仍需进一步的试验才能解释清楚。

除了坡位因子,已有的研究发现,植物种类对根际养分也产生显著的影响^[12]。主要的机制为:不同植物生理特性不一样,导致植物根系从外面吸收养分及其分泌物向根表的迁移能力不一致,使得根际微区内的土壤养分存在显著性差异。而本研究发现,同一坡位中,子凌蒲桃与火棘根际土壤养分不存在显著性差异。主要原因为:这2种植物根际土壤样品均是在同一个样方(10 m×10 m)中采集,植物相邻距离(约50 cm)比较近对植物根际土壤养分影响较小而未达到显著性水平。其次,2种植物均是样方中占绝对优势的植物,虽然存在生理特性上的差异,但是由于这两种植物均是适应喀斯特养分贫瘠土壤环境的结果,所以根际养分差异不明显。

3.3 灌木植物根际与非根际土壤养分的相关性分析

一般情况下,土壤pH值降低,能够促进土壤磷素的转化与活化,以帮助植物抵御脆弱环境和土壤磷素贫乏^[1,24]。本研究发现,植物根际速效磷与pH呈显著负相关性($p < 0.05$;表3)。这种相关性与喀斯特石灰土壤中较高pH值有关,高pH值增强土壤的固磷作用,形成难溶的磷灰石导致磷的有效性降低^[25];同时,喀斯特地区植物根系分泌的有机酸较少,对磷素的活化能力较弱,加上植物生长过程中对磷素的需要大,从而导致植物根际速效磷含量较低。

土壤有机质是土壤肥力的核心指标,它可以通过改善根际区域化学环境,从而对根际土壤养分产生重大影响^[26]。土壤有机质主要来源于植物凋落物和残根,而自然土壤中90%以上的氮以有机态存在,因此,有机质是土壤氮重要的营养库,也是植物有效氮的主要来源^[27]。鉴于此,根际土壤与非根际土壤的全氮与有机碳之间呈现出显著正相关($p < 0.05$;表2)就容易理解了^[5-6]。

4 结 论

(1)喀斯特优势灌木根际土壤养分存在一定程度的富集,但富集率远远低于其他非喀斯特地区,表明喀斯特地区灌木生长更容易受到养分的限制。

(2)相对植物种类而言,坡位对植物根际土壤养分影响更显著,由此提示土著优势灌木应用于喀斯特植被恢复时,应该考虑坡位对植物养分吸收与利用的影响。

参考文献

- [1] Ma B, Zhou Z Y, Zhang C P, Li X R. The character of phosphorus concentrations in rhizosphere soil of super-xerophytic shrubs [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14: 106-110.
- [2] Van Loon L C, Bakker P A H M, Pieterse C M J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria [J]. *Ahnu Rev of Phytopathol*, 1998, 36: 453-483.
- [3] 杨阳, 刘秉儒. 荒漠草原不同植物根际与非根际土壤养分及微生物量分布特征[J]. *生态学报*, 2015, 35(22): 7562-7570.
- [4] Fujii K, Aoki M, Kitayama K. Biodegradation of low molecular weight organic acids in rhizosphere soils from a tropical montane rain forest [J]. *Soil Biol Bioch*, 2012, 47: 142-148.
- [5] 谢添, 李恋卿, 潘根兴, 等. 不同退化程度喀斯特生态系统根际土壤的养分分布特征[J]. *生态学报*, 2011, 20(2): 276-280.
- [6] 陈高起, 傅瓦利, 张婷, 等. 石灰土地区几种作物根际与非根际土壤养分特征对比研究-以重庆市中梁山为例[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(1): 104-116.
- [7] 胡静, 侯向阳, 王珍, 等. 割草和放牧对大针茅根际与非根际土壤养分和微生物数量的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(11): 3842-3488.
- [8] 马玉莹, 周德明, 梅杰, 等. 杉木林地根际与非根际土壤特性分析[J]. *中国林业科技大学*, 2011, 31(7): 120-123.
- [9] 陈立新, 段文标, 乔璐. 落叶松人工林根际与非根际土壤养分特征及酸度研究[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(3): 131-135.
- [10] 詹媛媛, 薛梓瑜, 任伟, 等. 干旱荒漠区不同灌木根际与非根际土壤氮素的含量特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(1): 59-66.
- [11] 李从娟, 李彦, 马健, 等. 干旱区植物根际土壤养分状况的对比研究[J]. *干旱区地理*, 2011, 34(2): 222-228.
- [12] 方红, 王震洪, 陈谋会, 等. 岩溶地区常绿阔叶林树种根际与非根际土壤的养分特征[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(5): 95-100.
- [13] He X Y, Wang K L, Zhang W, et al. Positive correlation between soil bacterial metabolic and plant species diversity and bacterial and fungal diversity in a vegetation succession on Karst [J]. *Plant Soil*, 2008, 307: 123-134.
- [14] Bell C, Carrillo Y, Boot C M, et al. Rhizosphere stoichiometry: are C:N:P ratios of plants, soils, and enzymes conserved at the plant species-level? [J]. *New Phytol*, 2014, 201: 505-517.
- [15] Bremner J M. Total nitrogen. In: Black CA (ed) *Methods of soil analysis* [J]. *American Society of Agricultural*, 1965, 2: 149-1178.
- [16] Colwell J D. The estimation of phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis [J]. *Aust J Exp Agric Anim Husb*, 1963, 3: 190-197.

- [17] Rovira A D. Plant root excretions in relation to the rhizosphere effect [J]. *Plant Soil*, 1956, 7: 178-194.
- [18] 李从娟, 马健, 李彦. 五种沙生植物根际土壤的盐分状况[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 4549-4655.
- [19] Zhang W, Zhao J, Pan FJ, et al. Changes in nitrogen and phosphorus limitation during secondary succession in a karst region in southwest China [J]. *Plant Soil*, 2015, 391: 77-91.
- [20] 杜明新, 张丽静, 梁坤伦, 等. 高寒沙化草地不同灌木根际与非根际土壤氮素、有机碳含量特征[J]. *中国草地学报*, 2011, 33(4): 18-23.
- [21] 刘淑娟, 张伟, 王克林, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征[J]. *生态学报*, 2011, 31(11): 3036-3043.
- [22] 高雪松, 邓良基, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 53-56.
- [23] 刘鑫, 满秀玲, 陈立明, 等. 坡位对小叶杨人工林生长及土壤养分空间差异的影响[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(5): 76-81.
- [24] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征[J]. *生态学报*, 2007, 27(9): 3564-3571.
- [25] 廖菁菁, 黄标, 孙维侠, 等. 农田土壤有效磷的时空变异及其影响因素分析: 以江苏省如皋市为例[J]. *土壤学报*, 2007, 44(4): 620-628.
- [26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第2版. 北京: 气象出版社, 2007: 4-106.
- [27] 林大仪. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.

Distribution characteristics of soil nutrient and pH in rhizosphere versus non-rhizosphere from dominant shrub along different slope position in a karst region

LIANG Yueming^{1,2}, SU Yirong¹, HE Xunyang¹, CHEN Xiangbi¹

(1. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Changsha, Hunan 410125, China)

Abstract To test the effects of plant type and slope position on the distribution characteristics of nutrients and pH in plant rhizosphere and non-rhizosphere soil, two dominant shrubs (*Syzygium championii* and *Pyracantha fortuneana*) were selected in a karst region of Guangxi, Southwest China. Rhizosphere soil showed nutrients enrichment. An enrichment of soil organic carbon and available phosphorus was more pronounced in *pyracantha fortuneana* rhizosphere, and an enrichment of soil organic carbon and total nitrogen was also found in *syzygium championii* rhizosphere. Significant difference in soil nutrients among slope positions was found in shrub rhizosphere and non-rhizosphere ($p < 0.05$). In rhizosphere soil, soil organic carbon content had significantly positive correlation with total nitrogen content and significantly negative correlation with available phosphorus content ($p < 0.05$). In non-rhizosphere soil, soil organic carbon content had significantly positive correlations with the content of total nitrogen and available phosphorus ($p < 0.05$). A two-factor variance analysis showed that slope position had greater effect on physico-chemical properties than plant type. The above results suggested that the dominant plants in karst shrub are beneficial to improve the utilization of soil nutrients. In addition, slope position should be considered, when shrub species were used to improve soil quality in karst regions.

Key words karst region, shrub, rhizosphere soil, soil nutrients, slope position

(编辑 张玲)