

白云岩喀斯特地区土壤养分及生态化学计量特征

肖时珍^{1,2}, 何江湖^{1,2}, 曾成³, 肖华^{1,2}, 石绍妮^{1,2}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001; 3. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 针对白云岩喀斯特地区存在的脆弱生境与土地资源利用不合理的问题, 在贵州省施秉县白垛乡典型白云岩喀斯特地区, 选取水田、旱地、灌木林、草坡和有林地等 5 种生态系统为研究样地, 测定各生态系统 0~30 cm 土层土壤的有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)和全钾(TK)平均含量。通过生态化学计量学方法, 分析 4 种土壤养分的质量比特征。分析结果表明: 研究区内 5 种生态系统土壤中的 SOC、TN、TP 和 TK 平均含量分别为 9.27~51.23 g/kg、1.40~6.00 g/kg、0.13~0.78 g/kg 和 15.64~31.73 g/kg。 $m(C):m(N)$ 、 $m(C):m(P)$ 、 $m(C):m(K)$ 、 $m(N):m(P)$ 、 $m(N):m(K)$ 和 $m(P):m(K)$ 的值分别为 6.36~10.01、21.68~337.83、0.41~3.28、3.42~46.13、0.06~0.33 和 0.01~0.05。SOC 平均含量与各生态化学计量比均呈正相关, TN 平均含量与 $m(P):m(K)$ 呈不显著负相关, 与其他生态化学计量比呈显著或极显著正相关; TP 平均含量与 $m(C):m(N)$ 、 $m(C):m(K)$ 、 $m(N):m(K)$ 相关性不显著; TK 平均含量与 $m(C):m(N)$ 、 $m(C):m(P)$ 、 $m(N):m(P)$ 相关性不显著。

关键词: 土壤养分; 不同生态系统; 白云岩喀斯特; 生态化学计量学
中图分类号: P934 **文献标志码:** A

0 引言

贵州省地处中国西南部, 境内喀斯特地区是中国乃至世界热带、亚热带喀斯特地貌分布面积最大、发育最强烈的高原山区, 也是世界上发育最完全的喀斯特连续地带^[1]。喀斯特地区的生态环境极其脆弱, 叠加不合理的人类活动, 极易导致石漠化的发生。土壤质量变劣是石漠化的本质, 重点表现在土壤物质流失, 土壤的物理、化学和生物性质退化, 以及土壤发生层次的变化^[2]。文献[3]研究表明: 在贵州省喀斯特石漠化发生的区域中, 连续性灰岩地区是最易发生石漠化的, 其次是连续性白云岩地区。在喀斯特石漠化地区土壤的生物元素循环中, C、N、P 元素是养分元素循环与转化的核心, 调节和驱动着整个喀斯特生态系统的演替过程^[4]。土壤 C、N、P、K 不仅能反映土壤肥力状况, 其化学计量比也是反映土壤养分供给能力的重要指标^[5]。通过生态化学计量比的方法研究石漠化生态系统, 对于揭示石漠化过程影响因素及其作用机制具有重要意义^[6]。但目前对白云岩喀斯特生态系统土壤生态化学计量缺乏深入研究, 其土壤养分及生态化学计量对不同生态系统的影响仍不清楚。

本研究选取贵州省施秉县白垛乡白云岩喀斯特地区 5 种不同生态系统样地为研究对象, 采样分析土壤养分状况, 探讨土壤养分的化学计量学特征, 以及土壤养分含量与生态化学计量比的相关性, 揭示土壤养分生态化学计量特征对不同生态系统的影响, 以为白云岩喀斯特地区石漠化防治与土地资源合理利用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

以贵州省施秉县东北部的白垛乡(108°09'00"E, 27°08'55"N)为研究区域。研究区域内大部分属于

基金项目: 国家重点研发计划项目子课题(2016YFC0502606-01); 国家自然科学基金项目(41673129); 贵州省科技合作计划基金项目(黔科合 LH 字[2015]7775 号, 黔科合 LH 字[2016]7198 号); 贵州师范大学资助博士科研项目(GZNUD[2017]12 号)

作者简介: 肖时珍(1981-), 女, 贵州黎平人, 副教授, 博士, 主要从事喀斯特环境与地质生态方面的研究; 肖华(1984-), 男, 通信作者, 贵州黎平人, 助理研究员, 硕士, 主要从事自然地理学和地理信息系统方面的研究。

收稿日期: 2019-06-20

喀斯特地貌,海拔 600~1 250 m。研究区域属中亚热带季风湿润气候区,年均温 16 °C,年均降水量 1 220 mm^[7]。地层岩性主要是寒武系高台组灰色、质纯、致密的薄层细粒白云岩,岩石整体破碎,地下水主要为岩溶裂隙水^[8]。土壤类型主要为白云岩风化的薄层石灰土,土体较连续,土层分布均匀,土壤石砾含量高,土壤孔隙度高,水分容易下渗^[9]。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

通过查阅文献和野外勘察,根据土地利用方式,在研究区域选择了水田、草坡、旱地、灌木林、有林地等 5 类用地作为研究样地。样地基本情况见表 1。每种土地利用方式取 6 个平行样,共采集 30 个样品。剔除土壤里的砂砾、根系和动物残体等杂物,自然风干,研磨后通过 2.00 mm 和 0.15 mm 筛,保存备用。

表 1 样地基本情况

生态系统	海拔/m	主要植被	覆盖度	特征描述
水田	972.0	杂草	0.90	还未耕作,无水,有水稻桩,分布有鼠曲草、泥胡菜、繁缕等杂草,土壤有石砾。
草坡	1 061.0	蕨类、芭茅	1.00	天然草坡,土层厚度为 15 cm,砂砾含量高,稀疏分布着矮小灌木。
旱地	1 043.1	无植物	0	2017 年种植的农作物为辣椒,土地已被翻耕,还未种植作物,无杂草。
灌木林	990.0	樟树	0.85	凋落物层厚度为 3.0 cm,土层厚度为 20 cm,砂砾含量高,土壤干燥。
有林地	956.0	柏树、马尾松	0.90	凋落物层厚度为 1.5 cm,土层厚度为 10 cm,砂砾含量高,有地衣。

1.2.2 土壤养分测定

土壤分析参照文献 [10] 的方法。全氮 (total nitrogen, TN) 的测定采用半微量开氏法,全磷 (total phosphorus, TP) 的测定采用氢氧化钠熔融-钼锑抗显色-紫外分光光度法,全钾 (total potassium, TK) 的测定采用氢氧化钠熔融-原子吸收法,土壤有机碳 (soil organic carbon, SOC) 的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法。

1.2.3 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据前期处理。使用 Origin 8.0 软件作图。使用 SPSS 22.0 软件进行统计分析:运用描述性统计分析获得各土壤养分的最大值、最小值、平均值和标准差;采用单因素方差分析方法,置信度为 95% 检验不同生态系统土壤养分及质量比间的差异显著性;采用 Pearson 相关系数法分析土壤中各养分元素的含量及其生态化学计量间的相关性。

2 结果与分析

2.1 土壤养分特征

不同生态系统土壤养分特征见图 1。图 1 中,不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。不同生态系统 SOC 含量均值为 9.27~51.23 g/kg,具体表现为: $SOC_{\text{有林地}} (51.23 \text{ g/kg}) > SOC_{\text{灌木林}} (43.95 \text{ g/kg}) > SOC_{\text{草坡}} (40.66 \text{ g/kg}) > SOC_{\text{水田}} (35.69 \text{ g/kg}) > SOC_{\text{旱地}} (9.27 \text{ g/kg})$,其显著性差异如图 1a 所示。5 种生态系统 SOC 平均含量变异系数为 1.18%~45.86%,变化较大。SOC 平均含量受植被、海拔、耕种方式等多种因素的影响^[11],研究区不同生态系统 SOC 平均含量差异表现为林草地以及水田显著高于旱地,林草地丰富的植被根系和枯落物是其表层土壤重要的碳源物质,被微生物分解后导致林草地的 SOC 含量高。水田由于较长时间处于淹水条件, SOC 矿化速率慢,有利于 SOC 的积累^[12]。而耕作使旱地土壤团聚体破碎,导致土壤有机质的物理保护层遭到破坏,在微生物的作用下,促进了土壤有机质的分解,使表层 SOC 平均含量下降^[13]。

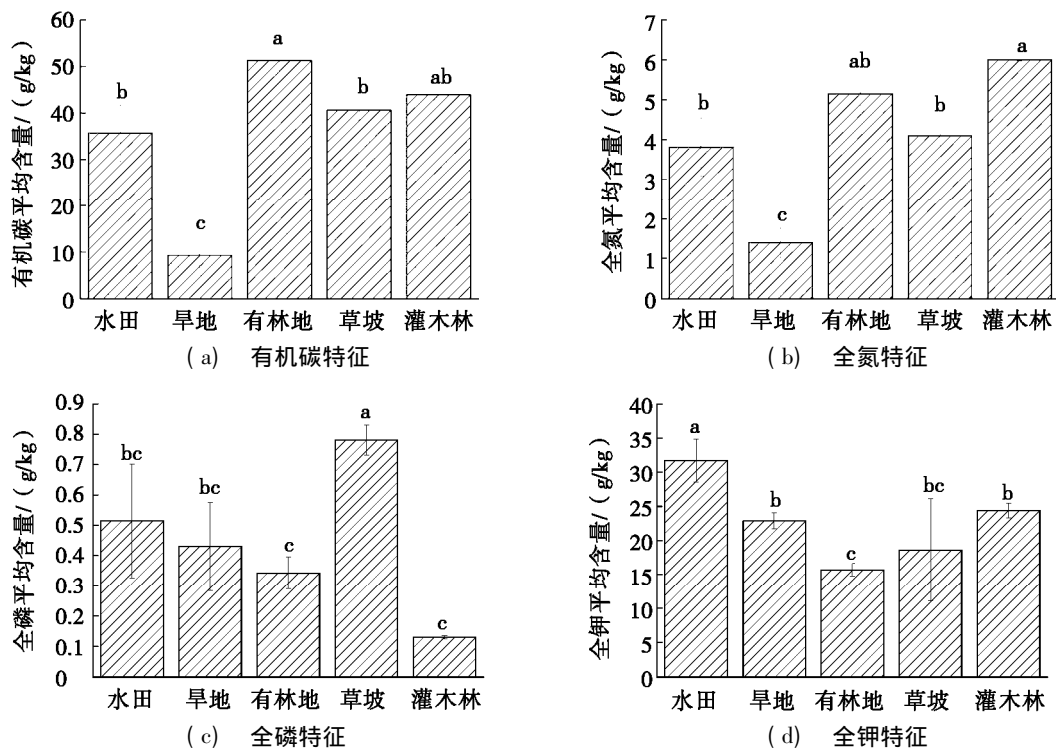


图1 不同生态系统土壤养分特征

不同生态系统土壤的 TN 平均含量差异较大,表现为 $TN_{灌木林}(6.00\text{ g/kg}) > TN_{有林地}(5.15\text{ g/kg}) > TN_{草坡}(4.09\text{ g/kg}) > TN_{水田}(3.82\text{ g/kg}) > TN_{旱地}(1.40\text{ g/kg})$,其显著性差异如图 1b 所示。TN 含量均值为 1.40~6.00 g/kg,其中,灌木林的 TN 含量均值最高,旱地的最低,变异系数变化较大,为 0.39%~26.47%。灌木林、有林地、草坡的 TN 平均含量显著高于旱地,原因是受人类活动影响较小,枯枝落叶回归土壤,土壤中有有机质残留量较多。由于旱地没有凋落层积累,加上农耕活动的影响,使有机质分解迅速,释放出来的大部分 N 都被农作物吸收,导致旱地土壤中 TN 平均含量低^[14]。

不同生态系统土壤的 TP 平均含量差异表现为 $TP_{草坡}(0.78\text{ g/kg}) > TP_{水田}(0.51\text{ g/kg}) > TP_{旱地}(0.43\text{ g/kg}) > TP_{有林地}(0.34\text{ g/kg}) > TP_{灌木林}(0.13\text{ g/kg})$,其显著性差异如图 1c 所示。TP 含量均值为 0.13~0.78 g/kg,其中,草坡的 TP 含量均值最高,灌木林的最低,变异系数为 4.45%~36.51%。草坡土壤中 TP 平均含量最高,由于草坡草本植物覆盖度高,有丰富凋落物,植物的生物归还量高于其余生态系统,累积于土壤表层。灌木林和有林地土壤中的 TP 主要来源于凋落物,有机质随着凋落物归还土壤,进而影响土壤中有有机质的构成和含量^[15-16]。同时,有机质中的 P 转化为土壤中的 P,水田和旱地土壤 TP 可能大部分来源于施肥。

不同生态系统土壤的 TK 平均含量差异表现为 $TK_{水田}(31.73\text{ g/kg}) > TK_{灌木林}(24.38\text{ g/kg}) > TK_{旱地}(22.87\text{ g/kg}) > TK_{草坡}(18.59\text{ g/kg}) > TK_{有林地}(15.64\text{ g/kg})$,其显著性差异如图 1d 所示。TK 含量均值为 15.64~31.73 g/kg,其中,水田的 TK 含量均值最高,有林地的最低,变异系数为 4.36%~40.43%。水田、旱地土壤 TK 含量相对较高,与人为施肥增加土壤肥力有关,通过施肥能够在一定程度上补充土壤养分,从而有较高的 TK 平均含量。灌木林一方面由于植被覆盖率高,由淋溶而造成的养分损失较少^[17];另一方面,由于表层湿度大,能够加速土壤表层凋落物的分解,促进养分的释放,从而使 TK 含量均值较高。

2.2 土壤养分的化学计量学特征

不同生态系统中土壤养分化学计量比如图 2 所示,图 2 中,不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。研究区不同生态系统中土壤 $m(C) : m(N)$ 如图 2a 所示。不同生态系统中土壤 $m(C) : m(N)$ 以草坡最高,为 10.01,处于中国平均水平(10~12)^[18],与水田和有林地差异不显著,以旱地最低,为 6.36。草

坡、水田、旱地、有林地、灌木林的土壤 $m(C) : m(N)$ 均低于全球平均水平(14.3) [19], 表明有机质分解和矿化速率均较快, 易导致土壤养分无效消耗。

研究区不同生态系统中土壤 $m(C) : m(P)$ 如图 2b 所示。由图 2b 可知: 不同生态系统中土壤 $m(C) : m(P)$ 为 21.68~337.83, 其中, 灌木林的碳磷质量比最高, 且显著高于其他生态系统, 高于中国平均水平(136) 和全球平均水平(186) [20], 表明灌木林生态系统土壤缺 P, 可能是由于植被覆盖度高但残体有机质转换为 P 相对较少。其余生态系统中, 土壤 $m(C) : m(P)$ 均低于中国平均水平和全球平均水平, 表明土壤 P 表现为净矿化, 土壤 P 有效性较高, 有利于植物的生长。

研究区不同生态系统中土壤 $m(C) : m(K)$ 如图 2c 所示。由图 2c 可知: 不同生态系统中土壤 $m(C) : m(K)$ 为 0.41~3.28。由于 SOC 对外界环境较为敏感, 而土壤 K 相对稳定, 导致研究区 $m(C) : m(K)$ 的差异与 SOC 的大致相似, 表现为有林地、草坡、灌木林的土壤 $m(C) : m(K)$ 显著高于水田和旱地的。

研究区不同生态系统中土壤 $m(N) : m(P)$ 如图 2d 所示。由图 2d 可知: 灌木林和有林地的土壤 $m(N) : m(P)$ 分别为 46.13 和 15.38, 高于全球平均水平(13.1) [20] 和中国平均水平(9.3) [21], 这可能与研究区降雨量大、土壤由于淋溶作用导致 P 积累量小有关。其余生态系统中, 土壤 $m(N) : m(P)$ 以旱地为最低, 仅为 3.42, 但高于黄土丘陵区土壤(0.86) [22], 表明本研究区土壤缺 N 可能性较小, 土壤 P 表现出相对缺乏的状态。

研究区不同生态系统中土壤 $m(N) : m(K)$ 如图 2e 所示。由图 2e 可知: 不同生态系统中土壤 $m(N) : m(K)$ 为 0.06~0.33。有林地、草坡、灌木林的土壤 $m(N) : m(K)$ 显著高于水田和旱地的, 与 $m(C) : m(K)$ 、SOC 含量表现相似, 因为土壤 K 较稳定, $m(N) : m(K)$ 主要受 N 控制, 而 N 主要来源于 SOC 的分解。

研究区不同生态系统中土壤 $m(P) : m(K)$ 如图 2f 所示。由图 2f 可知: 草坡的 $m(P) : m(K)$ 最高为 0.05, 且显著高于其他生态系统, 而灌木林最低, 仅为 0.01。同时, 由于草坡、有林地和灌木林土壤中的 K 较稳定, $m(P) : m(K)$ 主要受 P 控制, 导致这 3 种生态系统的 $m(P) : m(K)$ 差异变化与 TP 含量的差异变化相似。

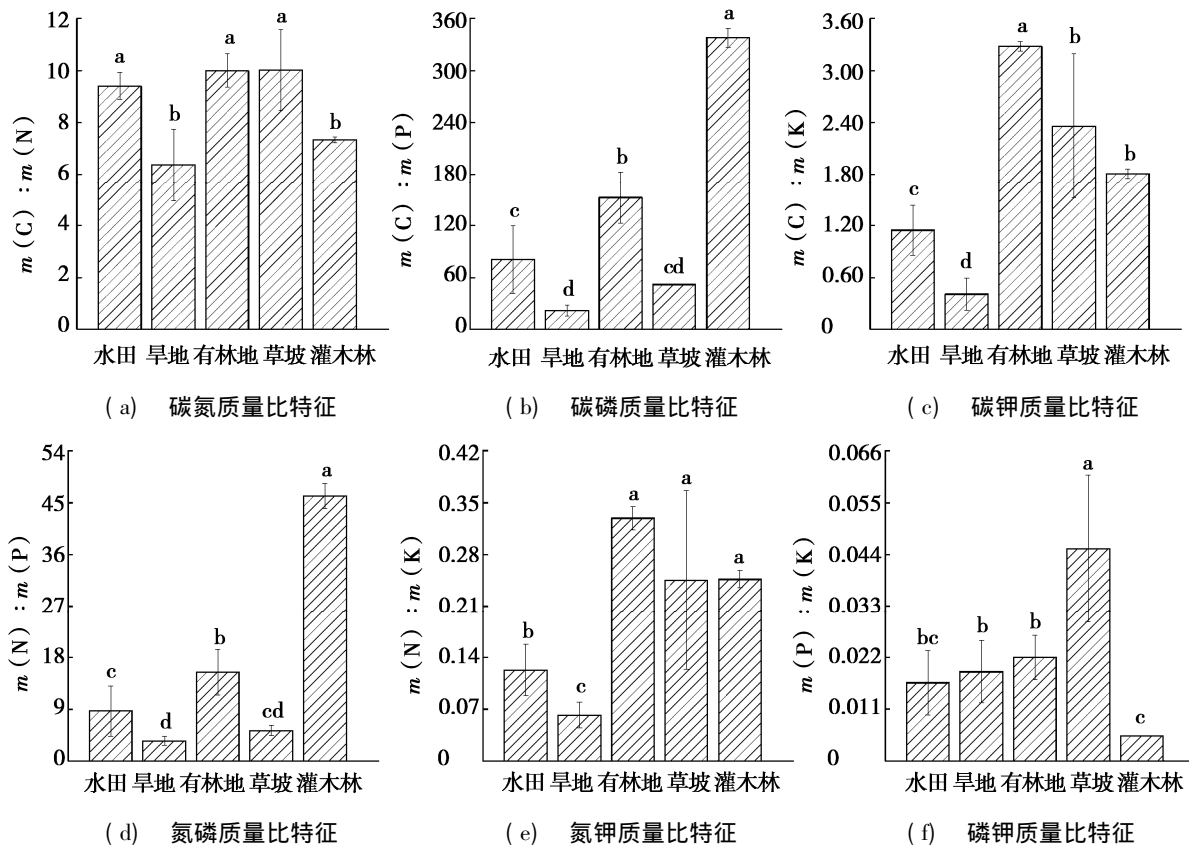


图 2 不同生态系统中土壤养分化学计量比

2.3 土壤养分与生态化学计量比的相关性

土壤养分与其生态化学计量比的相关性如表2所示。SOC平均含量与各生态化学计量比间均呈正相关,且SOC平均含量与 $m(C):m(N)$ 、 $m(C):m(P)$ 、 $m(C):m(K)$ 、 $m(N):m(K)$ 呈极显著正相关,与 $m(N):m(P)$ 呈显著正相关,说明SOC对 $m(C):m(N)$ 、 $m(C):m(P)$ 、 $m(C):m(K)$ 、 $m(N):m(K)$ 、 $m(N):m(P)$ 的增加具有促进作用,SOC在分解过程中会释放N、P等元素,同时有机质中的腐殖物质主要带负电荷,能吸附土壤中的 K^+ ,分解后土壤中的K平均含量也会相对增加^[18]。TN平均含量与 $m(P):m(K)$ 呈不显著负相关,与 $m(C):m(N)$ 呈显著正相关,与其他生态化学计量比呈极显著正相关,说明TN对 $m(P):m(K)$ 的增加影响不大,对其余生态化学计量比的增加有促进作用。TP平均含量与 $m(C):m(N)$ 、 $m(C):m(K)$ 均呈不显著正相关关系,与 $m(P):m(K)$ 呈极显著正相关关系,与 $m(C):m(P)$ 、 $m(N):m(P)$ 呈极显著负相关关系,与 $m(N):m(K)$ 呈不显著负相关关系,说明P对C、N、K的影响不大,单独增加P肥投入,不利于控制 $m(C):m(P)$ 、 $m(N):m(P)$ 和改良土壤质量。TK平均含量与 $m(C):m(N)$ 呈正相关,与其他生态化学计量比呈负相关,说明单独施加K肥不利于土壤质量的改良。从总体上看,C、N两种元素分别对除自身外的其他元素含量的增加与抑制具有重要影响,而P、K两种元素含量的单独增加对其他元素的质量比影响较大,不利于土壤质量的改良。

表2 土壤养分与其生态化学计量比的相关性

土壤养分	$m(C):m(N)$	$m(C):m(P)$	$m(C):m(K)$	$m(N):m(P)$	$m(N):m(K)$	$m(P):m(K)$
SOC	0.755**	0.618**	0.853**	0.517*	0.827**	0.104
TN	0.554*	0.795**	0.795**	0.724**	0.836**	-0.030
TP	0.453	-0.636**	0.040	-0.657**	-0.075	0.797**
TK	0.155	-0.026	-0.528*	-0.023	-0.556*	-0.520*

注: **和* 分别表示相关系数达极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)水平。

3 结论与展望

(1) 白云岩喀斯特地区水田、旱地、灌木林、草坡、有林地等5种生态系统中土壤的TN平均含量、TP平均含量、TK平均含量和SOC平均含量差异表现为:有林地、灌木林、草坡和水田的SOC含量和TN平均含量显著高于旱地,草坡的TP含量最高,水田的TK含量最高。

(2) 研究区有机质分解和矿化速率均较快,易导致土壤养分无效消耗,土壤P相对缺乏。C、N两种元素分别对除自身外的其他元素含量的增加与抑制具有重要影响,而P、K两种元素含量的单独增加对其他元素的质量比影响较大,不利于土壤质量的改良。单独施加K肥和P肥对于土壤质量的改良效果不佳,需注意无机肥与有机肥配施,以调节土壤养分的动态平衡。

(3) 本文仅对白云岩喀斯特地区不同生态系统中表层土壤养分和化学计量特征进行了初步研究,对于全面评价不同生态系统土壤养分状况,还需要结合当地气温、坡度、土壤含水量、植物器官及枯落物中的生态化学计量比开展进一步研究,以揭示白云岩喀斯特地区植被-枯落物-土壤间的养分循环规律、化学计量特征及其相互关系。

参考文献:

- [1] 杨明德.论喀斯特环境的脆弱性[J].云南地理环境研究,1990,2(1):21-29.
- [2] 龙健,黄昌勇,李娟,等.喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响[J].水土保持学报,2002,16(1):76-79.
- [3] 李瑞玲,王世杰,周德全,等.贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J].地理学报,2003,58(2):314-320.
- [4] 庞圣江,张培,贾宏炎,等.桂西北不同森林类型土壤生态化学计量特征[J].中国农学通报,2015,31(1):17-23.
- [5] 刘兴华.黄河三角洲湿地植物与土壤C、N、P生态化学计量特征研究[D].泰安:山东农业大学,2013.
- [6] 杜家颖,王霖娇,盛茂银,等.喀斯特高原峡谷石漠化生态系统土壤C、N、P生态化学计量学特征[J].四川农业大学学报,2017,35(1):45-51.
- [7] 何江湖,肖时珍,曾成,等.湿润亚热带典型白云岩流域的化学剥蚀速率——以贵州施秉黄洲河流域为例[J].地球

- 与环境 2018 46(3) : 274-281.
- [8] 刘琦, 顾展飞, 卢耀如, 等. 贵州施秉白云岩溶蚀特性及孔隙特征实验研究 [J]. 地球学报 2015 36(4) : 413-418.
- [9] 肖时珍, 蓝家程, 袁道先, 等. 贵州施秉白云岩喀斯特地区水化学和溶解无机碳稳定同位素特征 [J]. 环境科学, 2015 36(6) : 2085-2093.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社 2000.
- [11] 邱欣月, 安显金, 董慧, 等. 贵州喀斯特地区域土壤有机质的分布与演化特征 [J]. 地球与环境 2015 43(6) : 697-708.
- [12] 张文娟, 廖洪凯, 龙健, 等. 贵州喀斯特山区土地利用对土壤有机碳及其周转速率的影响 [J]. 生态学杂志 2014, 33(5) : 1297-1303.
- [13] DAVIDSON S. Cultivation and soil organic matter [J]. Rural research 1986, 131: 13-18.
- [14] 彭琳, 王继增, 余存祖. 侵蚀旱作土壤氮素吸收利用与淋溶流失 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报 1996 2(2) : 9-16.
- [15] 巩杰, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响 [J]. 应用生态学报 2004, 15(12) : 2292-2296.
- [16] 立天宇, 康峰峰, 韩海荣, 等. 冀北辽河源自然保护区土壤微生物碳代谢特征对凋落物分解主场效应的响应 [J]. 应用生态学报 2015 26(7) : 2159-2166.
- [17] 谭秋锦, 宋同清, 曾馥平, 等. 峡谷型喀斯特不同生态系统土壤养分及其生态化学计量特征 [J]. 农业现代化研究, 2014 35(2) : 225-228.
- [18] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社 2000.
- [19] LIPTZIN C D. C : N : P stoichiometry in soil: is there a “redfield ratio” for the microbial biomass? [J]. Biogeochemistry 2007, 85(3) : 235-252.
- [20] ZHAO F, SUN J, REN C, et al. Land use change influences soil C, N and P stoichiometry under ‘Grain-to Green Program’ in China [J]. Scientific reports 2015(5) : 10195.
- [21] TIAN H Q, CHEN G S, ZHANG C, et al. Pattern and variation of C : N : P ratios in China’s soils: a synthesis of observational data [J]. Biogeochemistry 2010 98(1/3) : 139-151.
- [22] 朱秋莲, 邢肖毅, 张宏, 等. 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征 [J]. 生态学报 2013 33(15) : 4674-4682.

本文引用格式:

- 肖时珍, 何江湖, 曾成, 等. 白云岩喀斯特地区土壤养分及生态化学计量特征 [J]. 河南科技大学学报(自然科学版) 2020, 41(2) : 76-81.
- XIAO S Z, HE J H, ZENG C, et al. Soil nutrient and ecological stoichiometry characteristic in dolomite Karst area [J]. Journal of Henan university of science and technology(natural science) 2020 41(2) : 76-81.

CLC number: U455

Document code: A

Article ID: 1672-6871(2020)02-0067-09

• Agriculture and Biology •

Soil Nutrient and Ecological Stoichiometry Characteristic in Dolomite Karst Area (76)

XIAO Shizhen^{1,2}, HE Jianghu^{1,2}, ZENG Cheng³, XIAO Hua^{1,2}, SHI Shaoni^{1,2} (1. School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang 550001, China; 3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

Abstract: For the problem of the fragile habitat and unreasonable use of land resource in dolomite karst area, five ecosystems of paddy field, dry land, shrubland, grass slope and forest were selected as research plots in the typical dolomite karst area of Baiduo village, Shibing country, Guizhou province. The average contents of soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and total potassium (TK) of the 0~30 cm soil layer of each ecosystem were measured, and the mass ratio characteristic of the four soil nutrient was analyzed by ecological stoichiometry method. The result shows that the average content of SOC, TN, TP and TK of five ecosystems in the research area is 9.27~51.23 g/kg, 1.40~6.00 g/kg, 0.13~0.78 g/kg and 15.64~31.73 g/kg, respectively. The value of $m(C) : m(N)$, $m(C) : m(P)$, $m(C) : m(K)$, $m(N) : m(P)$, $m(N) : m(K)$ and $m(P) : m(K)$ is 6.36~10.01, 21.68~337.83, 0.41~3.28, 3.42~46.13, 0.06~0.33 and 0.01~0.05, respectively. The average SOC content is positively correlated with each ecological stoichiometry ratio. The average TN content and $m(P) : m(K)$ are not significantly negatively correlated, and are significant or very significant positively correlated with other ecological stoichiometry ratios. The average TP content is not significant correlated with $m(C) : m(N)$, $m(C) : m(K)$, $m(N) : m(K)$. The average TK content is also not significant correlated with $m(C) : m(N)$, $m(C) : m(P)$, $m(N) : m(P)$.

Key words: soil nutrients; different ecosystems; dolomite karst; ecological stoichiometry

CLC number: P934

Document code: A

Article ID: 1672-6871(2020)02-0076-06

Enrichment Characteristics of Soil Heavy Metals in Different Organs of *Picea koraiensis* ... (82)

LIU Li, ALIYA Baidourela, ZHANG Chunxi, HU Mengling (Forestry & Horticulture College, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: To understand the enrichment characteristics of different organs of *Picea koraiensis* in different pollution levels, the contents of three heavy metal elements (Pb, Cd, Cr) in leaves, branches, bark, roots and rhizosphere soil of *Picea koraiensis* were determined by the combination of outdoor sampling and indoor measuring. The results show that bark has the highest content of heavy metals. In general, in pollution level 1, heavy metal content of each organ is bark>branch>root>leaf. In pollution level 2, heavy metal content of each organ is bark>tree root>branch>leaf. The enrichment ability of each organ to Cd, Cr and Pb is bark>branch>root>leaf. The general trend of the content of heavy metals in the *Picea koraiensis* is Cr>Pb>Cd and the general trend of enrichment ability is Cd>Cr>Pb, which reflects the low absorption and high enrichment ability of *Picea koraiensis* to Cd. With the increase of soil heavy metal pollution level, the enrichment ability of *Picea koraiensis* to Cd and Cr increase. The accumulation of different heavy metals in the single *Picea koraiensis* is Cr>Pb>Cd, and the enrichment efficiency is roots>branches>leaves>barks. The accumulation of heavy metals in roots is significantly higher than that of other organs. Therefore, *Picea koraiensis* can be used as an alternative species for the restoration and treatment of Cr and Pb contaminated sites in the soil.

Key words: *Picea koraiensis*; heavy metal element content; organ; soil pollution level; enrichment characteristics; cumulative capacity

CLC number: S719

Document code: A

Article ID: 1672-6871(2020)02-0082-07