

土壤环境因子对土下岩溶溶蚀速率的影响 ——以重庆金佛山国家自然保护区为例

杨平恒¹ 章 程^{1,2} 孙玉川¹ 吴月霞¹ 高彦芳¹ 王冬银¹ 李林立¹

(1.西南大学地理科学学院,重庆 400715;

2.中国地质科学院岩溶地质研究所,国土资源部岩溶动力学重点实验室,广西 桂林 541004)

摘要:通过野外溶蚀试片和测量土壤CO₂浓度、水分、孔隙度、pH值和有机质含量的方法,探讨不同土地利用方式下土壤环境因子及其相互耦合对岩溶溶蚀速率的影响。研究结果表明,金佛山国家自然保护区不同土地利用方式下的平均溶蚀速率差异显著,总体表现为:竹林地>林地>草地>灌丛地>灌草丛地。不同土地利用方式下的土壤pH值与溶蚀速率呈很好的负相关,土壤水分含量、孔隙度与溶蚀速率呈正相关。山顶岩溶作用明显强于山下,这与重庆市百年一遇的大旱不无关系。土壤环境中CO₂浓度、水分、孔隙度、pH值和有机质含量影响着岩溶溶蚀速率,同时这些土壤环境相互耦合也影响着岩溶溶蚀速率。

关键词:土壤环境因子;土地利用方式;溶蚀速率;金佛山国家自然保护区

中图分类号:P642.25 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)05-0920-07

岩溶环境系统由5个基本系统组成,即可溶岩及其风化产物土壤、岩溶形态、岩溶区的地表和地下水空气层、岩溶水和岩溶生物群落。其中岩溶土壤作为大气圈和岩石圈二者过渡带,是岩溶生物的载体,对周围环境的变化具有一定的缓冲能力,是环境中各个要素相互交流、相互作用的重要枢纽。土地利用通过植物循环影响土壤环境因子如CO₂浓度、水分^[3-5]、有机质含量^[6-7]、孔隙度的大小,进而影响到岩溶作用的方向和强度。岩溶作用是在一个完全开放的系统中进行,它与岩石圈、水圈、大气圈、生物圈紧密相连,并且敏锐地感应和反馈周围环境的变化^[8,9]。碳酸盐岩的溶蚀作用是岩溶地貌发育最基本的特征,造就了岩溶区地表、地下的各种形态,地下石灰岩及白云岩的溶解构成了岩溶作用的核心问题。国外有研究揭示海拔、岩溶地貌和植被对岩溶溶蚀速率的影响^[10]。国内不少研究已经揭示了土壤CO₂浓度控制着碳酸盐岩溶蚀作用的强度,对岩溶作用起着驱动作用^[12-19]。也有研究揭示了土壤有机质含量对岩溶溶蚀速率的驱动^[9]。但涵括土壤环境多因子对岩溶溶蚀速率驱动的研究鲜见,因而笔者试图从土壤环境因子切入,以金佛山国家自然保护区为例,对岩溶溶蚀速率的影响因子有更进一步的了解。该研究不但有助于弄清西南岩溶区石漠化形成的机理,同时也有助于岩溶区土壤及生态系

统的脆弱性评价。

1 研究区概况

研究区位于金佛山自然保护区内,地理坐标28°50′~29°20′N,107°00′~107°20′E,位于四川盆地南缘渝黔交界地带,重庆市东南边缘的南川市境南部(图1),距重庆市166 km,属于大娄山东段的一部分,由金佛、柏枝和箐坝等108峰组成,最高峰风吹岭海拔2251 m,是大娄山脉东北段的最高峰。地质构造上,金佛山处在一宽缓向斜的轴部。山体上部由二叠系石灰岩组成,呈条带状分布于向斜部,形成了海拔2000 m左右的较大面积的缓坡与平台,中部为志留系的砂页岩,出露标高为1000~1500 m,山体下部主要为寒武系、奥陶系的白云岩、灰岩。整个山体以二叠系为核部,志留系、奥陶系和寒武系为两翼,呈北东—南西走向。金佛山属亚热带湿润季风性气候区,冬暖夏凉、湿润多雨、少日多雾,全年雨量季节分配不均,集中分布在4—10月,占全年降雨量的83.42%,在12月到次年3月期间,降水主要以降雪的形式出现。山体上部多年平均气温为8.2℃,年平均降雨量1434.5 mm,山体下部平均气温为16.6℃,降雨量1286.5 mm。由于垂直高度的变化,金佛山气候带的垂直分异明显,从山脚到山顶温度差可达8~9℃。

收稿日期:2006-12-12;改回日期:2007-03-15

基金资助:国家自然科学基金重点项目(40231008)、重庆市科技项目(CSTC,2005AB7006)和中国博士后科学基金项目(2005038473)资助。

作者简介:杨平恒,男,1983年生,硕士研究生,主要从事岩溶地质资源环境研究;E-mail:balance@swu.edu.cn。

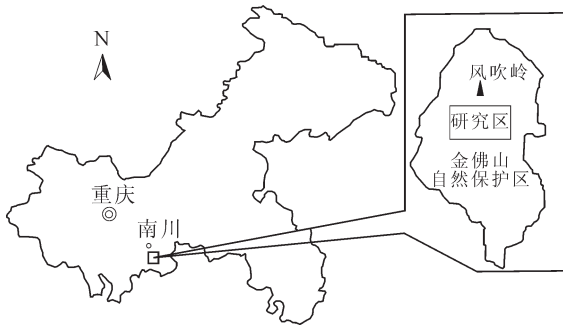


图1 研究区地理位置示意图

Fig.1 Location map of the study area

土壤和植物分布也具有明显的垂直分带性。从山脚向山顶土壤依次为黄壤、暗棕壤、黄棕壤、棕壤,植物依次为植物依次为亚热带常绿阔叶林、亚热带常绿阔叶和落叶混交林、亚热带针叶林、亚高山矮林、常绿原始林、灌丛和草甸。

2 研究方法

在金佛山国家自然保护区内选5种代表性的土地利用方式,山上选取常绿原始林地(下文统称林地)、竹林地、草地,山下选取灌丛地、灌草草地。林地、竹林地、草地位于山顶海拔2050~2100 m,岩性为上二叠统灰岩,灌丛地、灌草草地分别位于海拔730 m和720 m左右,岩性为中寒武统平井组灰质白云岩。

溶蚀速率的测定采用野外溶蚀试验法,所采用试片采自桂林七星岩附近的上泥盆统质地较纯的融县组石灰岩(D₃r),直径4 cm,厚3 mm,表面积为28.9 cm²。获取初重后,埋放于具有代表性的不同部位(土下5 cm、土下20 cm、土下50 cm),每层各放2对试片以取平均值,试片均需放平,以便水、气能均匀地作用在试片上。笔者于2006年4月17—18日埋放,2006年9月11—16日取出,处理后,再次称重,计算单位面积溶蚀量。计算公式如下:

$$ER=(W1-W2) \times 10^7 / T/S$$

式中:ER为日单位面积溶蚀量(mg/m²·d),W1为试片初重(g),W2为试片称后重量(g),T为埋放时间(d),S为试片表面积。

土壤CO₂浓度测定使用日本产GASTEC-CO₂测试仪及含C₂H₄试剂的配套测试管,一般统一测定土壤20 cm、30 cm和50 cm深处的CO₂浓度;土壤水分测定采用中国农业科学院研制的土壤水分速测仪(SM2);土壤有机质含量测定是采用丘林法^[20],pH值由pH计测定^[21],通过环刀法^[20]测得容重,进而计算孔隙度。

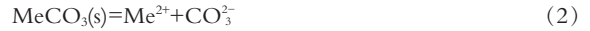
3 岩溶动力系统机理

在岩溶系统中,MeCO₃-H₂O-CO₂(Me即Ca和Mg)三相

不平衡开放体系中的物理、化学过程是普遍存在的。空气中的CO₂溶解于水,其中一部分与水结合成碳酸,并电离为H⁺和HCO₃⁻离子,或液相CO₂转化成气体逸出,化学反应式为:



碳酸盐岩在水中发生溶解为Me²⁺和CO₃²⁻,可逆过程即碳酸盐岩的沉积,化学反应式为:



而后水溶液中反应(1)产生的H⁺与反应(2)产生的CO₃²⁻结合成,使得溶解反应(2)能继续进行,或沉积,这也是一个可逆的过程,化学反应式为:



在此过程中,气液固三相都参与进来,在一个开放的系统下于不同界面上进行着物质和能量的交换、转化和平衡。

4 结果及分析

4.1 不同土地利用方式下的溶蚀速率

从不同土壤剖面同一深度上对溶蚀速率进行比较:土下5 cm处,竹林地>林地>草地>灌丛地>灌草草地;土下20 cm处,竹林地>林地>草地>灌丛地>灌草草地;土下50 cm:竹林地>草地>林地>灌丛地>灌草草地。其中溶蚀量最大的是竹林地土下50 cm处,最小的为灌草草地土下50 cm处,二者相差15倍(表1)。

对同一土壤剖面垂向上进行比较,竹林地和草地的溶蚀速率随深度而增加,灌丛地和灌草草地的溶蚀速率随土壤深度而减少;而林地在5~20 cm溶蚀速率增大了38.44 mg/m²·d,20~50 cm急剧降低了106.63 mg/m²·d(表1)。

从垂直气候带上比较,山顶3种土地利用方式下的溶蚀速率平均为224.11 mg/m²·d,山下38.84 mg/m²·d,前者为后者的5.77倍(表1),表明山顶岩溶作用强于山下。

对各个土壤剖面平均溶蚀速率进行比较:竹林地最大,达300.36 mg/m²·d,灌草草地最小,仅为31.15 mg/m²·d,二者相差将近10倍,总体存在显著差异,竹林地>林地>草地>灌丛地>灌草草地(表1)。

但整个研究区与中国南方其他岩溶地区相比,溶蚀速率偏小^[1,22],这可能与研究区的炎热干旱的特殊气候(2006年7—

表1 研究区2006年4—9月不同土地利用方式下的溶蚀速率(mg/m²·d)

Table 1 Dissolution rates of limestone tablets in different land-use types in the study area in April–September, 2006 (unit: mg/m²·d)

深度 (cm)	竹林地	林地	草地	灌丛地	灌草草地
5	270.30	210.50	108.90	79.22	42.68
20	312.49	248.94	174.55	30.45	29.65
50	318.29	142.31	230.72	29.94	21.11
平均值	300.36	200.58	171.39	46.53	31.15

表2 不同土地利用方式下的土壤环境因子
Table 2 Soil environmental factors in different land-use types

土地利用方式	CO ₂ 浓度 (10 ⁶)	水分 (%)	孔隙度 (%)	有机质 (g/kg)	pH 值
竹林地	1900.00	19.04	68.56	75.31	4.67
林地	4266.00	16.10	65.80	377.15	6.62
草地	3333.00	14.90	62.81	44.34	4.79
灌丛地	2833.00	4.24	54.26	43.45	7.48
灌草丛地	2633.00	4.16	52.13	48.40	8.04

8月为重庆市百年一遇的大旱,7—8月山顶降雨量223.5 mm,山下降雨量140.5 mm,而正常年份7—8月山上山下降雨量约400 mm)有关。已有的研究表明,一般情况下,在雨热配套的亚洲季风气候区,降雨量越大,年溶蚀量越大。

4.2 土壤环境多因子及其对岩溶溶蚀速率的影响

考虑到岩溶区土壤薄、土被不连续的特点,取0~50 cm各层位标准试片的平均溶蚀速率与整个土壤剖面的CO₂浓度、水分、孔隙度、有机质含量、孔隙度及pH值进行分析。

4.2.1 土壤有机质含量、CO₂浓度、水分、孔隙度和pH值的空间变化

山顶土壤有机质含量依次为林地 (377.15g/kg)>竹林地 (75.31g/kg)>草地(44.34g/kg)。山下灌丛地有机质含量略高于灌草丛地,分别为48.40g/kg和43.45g/kg(表2)。林地枯枝落叶多,加之山顶温度较低,土壤中微生物活动较弱,落叶阔叶林下的有机质不易被分解,含量高,这还可能与其成土母质为炭质灰岩有关。

山顶土壤CO₂浓度大小排序:林地>草地>竹林地,林地是竹林地的2.25倍。山下灌丛地土壤CO₂浓度略高于灌草丛地(表2)。除竹林地外,山顶林地、草地的土壤CO₂浓度明显高于山下各种土地利用方式。由于植物根部的呼吸作用、土壤中生物的代谢活动,以及有机质的分解,导致不同土壤结构、不同植被条件下的土壤CO₂浓度会有很大差异。通常,温度愈高,土壤微生物活动活跃,有机质分解快,土壤CO₂浓度愈高。而金佛山自然保护区出现了相反的情况,山顶温度低,有机质分解慢,但土壤CO₂浓度高于山下,可能与大旱这一特殊的气候有关,因为在高温和干旱条件下,可能会造成土壤中微生物的休眠,从而导致由土壤微生物释放的CO₂量减少。

山顶土壤水分依次为:竹林地>林地>草地。山下土壤水分大小排序:灌丛地>灌草丛地。山顶3种土地利用方式下土壤水分的平均值是山下的3.97倍(表2)。虽然土地利用方式、坡度和土层深度对土壤水分含量都有重要的影响^[23,24],但在特殊的气候年中,山下持续高温,久旱无雨,日照强烈,土壤水分易于蒸发,而山顶日照少,云雾多,从而使得山顶土壤水分较山下高。

山顶土壤孔隙度大小排序:竹林地 (68.56%)>林地 (65.80%)>草地(62.81%)。山下土壤孔隙度大小排序:灌丛地

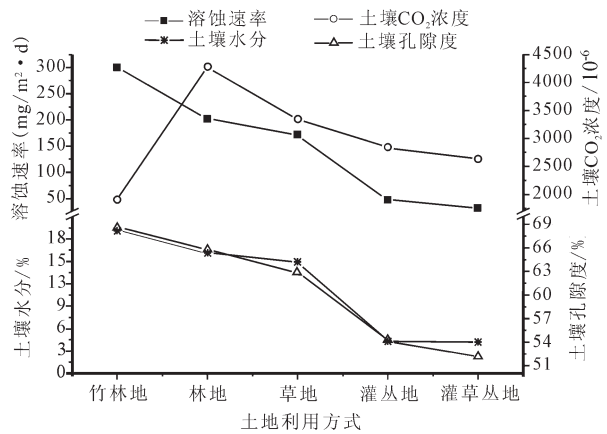


图2 土壤CO₂浓度、水分和孔隙度对溶蚀速率的影响
Fig.2 Effects of soil CO₂ concentration, moisture and porosity in soils on the dissolution rates of limestone tablets

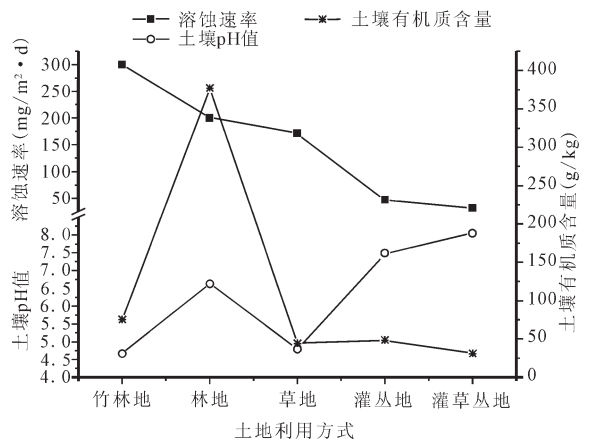


图3 土壤pH值、有机质含量对溶蚀速率的影响
Fig.3 Effects of the pH and organic matter content in soils on the dissolution rates

(54.26%)>灌草丛地(52.13%)。山上3种土地利用方式的孔隙度均比山下大,总体上大12.53%(表2)。一般地,土壤孔隙度取决于颗粒组成、有机质含量和土壤结构,也深受土地利用方式的影响。

山顶土壤pH值依次为:竹林地<草地<林地,均小于7.0。山下为:灌丛地<灌草丛地,均大于7(表2),显中性、弱碱性。竹林地和草地处灰岩区缓坡,在湿润多雨的环境下淋溶作用强,发育期长,接受堆积,不易被侵蚀,土层深厚,且受母岩影响小,代换性钙、镁含量低,代换酸含量高,pH值低,土壤向酸性方向发展。从而导致竹林地和草地pH偏低,显微酸性到强酸性反应。而林地的高有机质含量理应表现为土壤交换性氢离子较多^[25],pH值低,但结果不尽然。发育于山顶灰岩区陡坡的林地,坡面物质极易发生迁移,土层浅薄,土体构型不完

整,土体构型简单,处发育初期,pH值高于竹林地和草地。山下的灌丛地、灌草丛地基岩出露面积较大,侵蚀加剧,土层较薄,土体构型为A-B-R型,土壤容重增加,土壤正向发育受到干扰,淋溶作用减弱,钙、镁离子补充增多,从而维持极低的代换酸含量和较高的pH值,呈中性或弱碱性反应。

4.2.2 土壤环境多因子对岩溶溶蚀速率的影响

总体上溶蚀速率与土壤CO₂浓度、水分和孔隙度有较好的正相关,土壤CO₂浓度、水分越高,孔隙度越大,溶蚀速率就越高(图2)。研究表明CO₂是水对碳酸盐岩溶蚀作用的动力,使水的溶蚀能力提高几十倍^[26,27]。土壤CO₂溶于水生成碳酸,反应式(1)平衡向右偏移,致使反应式(3)平衡向右偏移,进而导致反应式(2)平衡持续向右偏移,碳酸盐岩不断溶解。这一系列反应在水溶液中进行,离开了水,反应必将终止。岩溶形成的主导外力是水的溶蚀和侵蚀力,其溶蚀力始终起先导作用。所以在有一定土壤CO₂浓度的基础上要配合一定量的水分,才能使得CO₂具有侵蚀性,构成对碳酸盐岩的溶蚀能力。在发生岩溶溶蚀过程中,如果说CO₂是动力,那么水则为载体,只有动力,缺乏载体是不会发生溶蚀的。因而并不能笼统地说土壤CO₂浓度越高,溶蚀强度就越大。总体上看,溶蚀速率随着土壤CO₂浓度的增大而增加,但在竹林地出现反常现象,土壤CO₂浓度最低,但其溶蚀速率反而最大。

溶蚀速率随着土壤pH值的降低而增大,呈很好的负相关(图3)。pH值低,氢离子浓度高,碳酸盐岩不断溶解。这表明在土壤CO₂浓度偏低和有机质含量不高的情况下,土下溶蚀速率主要受土壤pH值控制,在竹林地表现的尤为明显。

土壤有机质含量与溶蚀速率也存在一定的正相关性,但有机质含量最高,溶蚀速率并不一定是最高,在林地上表现得最为明显(图3)。另外,一些研究揭示了有机质水解而形成的水溶性有机碳^[28],很大一部分表现出酸性和螯合性^[29,30],无机肥料中残留的酸根,如硝酸、硫酸、磷酸,以及有机质分解过程中产生的少量有机酸等^[31],在一定程度上也加速了土壤环境中对碳酸盐岩的溶蚀。

4.2.3 土壤环境因子相互耦合对岩溶溶蚀速率的影响

一般地,有机质含量和pH值呈负相关,主要是因为有机质含量高,土壤交换性氢离子较多,同时有机质含量高,导致土壤微生物呼吸作用和有机质分解过程中放出的CO₂与水结合,降低土壤pH值,增强了土壤的酸性。但竹林地土壤在有机质含量不高的情况下,pH值却最低,林地有机质含量最高,pH值却不是最低的原因,上文已经作了讨论。有机质含量也影响孔隙度大小和性质。除林地外,土壤孔隙度与有机质含量呈较好的正相关,相关系数 $R^2=0.7108$ 。

另外,土壤持水性能与有机质含量^[32]和孔隙状况^[33]有关,即雨水的入渗和水分蓄存取决于孔隙度的大小和有机质含量的多少。金佛山这5种土地利用方式,土壤孔隙度和水分的相关系数 $R^2=0.9808$ 。同时又由于土壤含水量与土壤pH值之间存在显著的相关性,其相关系数 $R^2=-0.7512$,表明湿润地带土壤的pH值明显低于干旱半干旱地带。

综合以上分析,土壤CO₂浓度、水分、孔隙度、有机质含量和pH值都有可能作用于碳酸盐岩的溶蚀速率。同时土壤的有机质含量影响土壤CO₂浓度、pH值、水分和孔隙度,孔隙度影响水分的贮存,土壤水分影响pH值,从而使得各因子之间相互耦合作用于土下岩溶的溶蚀。因而土壤中碳酸盐岩的溶蚀不但与土壤环境中侵蚀性组分CO₂、水分、孔隙度、有机质含量和pH值有关,而且与土壤各因子间的相互耦合作用也有关。

5 讨论与结论

土下岩溶的溶蚀是一个在多因子综合影响下的复杂过程,往往是多个影响因子及其相互影响综合作用的结果,所以要综合考虑这些土壤环境因子对岩溶溶蚀速率的影响,且不同的土壤环境,主控因子可能是不同的。因此,多个土壤环境因子之间的交互影响研究以及主控因子的确定是土下碳酸盐岩溶蚀强度研究的重点和难点之一。

表层岩溶带包括碳酸盐岩环境中的土壤及以土壤为载体的生物。土壤中微生物活动对溶蚀速率有着十分重要的作用和意义,微生物活动所分泌的各种有机酸和呼吸作用产生的CO₂对岩溶作用产生影响,微生物的活动量对其生存的环境因素特别是气候的变化有特殊的敏感性。植被根系的呼吸作用也可能对溶蚀速率有影响。所以,在研究土壤环境因子对碳酸盐岩溶蚀速率的影响时,只考虑土壤CO₂浓度、水分、孔隙度、有机质含量和pH值可能是不够的,应同时注意到土壤微生物和植被根系对土下岩溶的溶蚀可能产生的驱动作用。限于笔者研究领域的局限性,未将土壤微生物和植被根系对岩溶溶蚀速率作进一步的研究。

金佛山垂直地带性岩溶动力系统中的岩溶作用有着不同的特征和强度。山上岩溶的溶蚀速率、土壤水分和CO₂浓度明显高于山下,表明山顶的岩溶作用强于山下,这与吴孔运等^[19]得出的研究结论(金佛山山下的岩溶作用强于山顶)恰恰相反。这可能与笔者研究时间大部分处在重庆市百年一遇的大旱时期有关,具体的结论有待进一步观测和研究。

(1)在重庆市南川金佛山地区,不同土地利用方式下岩溶溶蚀速率最大的是竹林地,达300.36 mg/m²·d,最小的为灌草丛地,仅为31.15 mg/m²·d,差异显著,总体表现为:竹林地>林地>草地>灌丛地>灌草丛地,体现了垂直气候带山顶表层岩溶带岩溶作用明显强于山下。

(2)具有侵蚀性的土壤CO₂才构成对碳酸盐岩的溶蚀,并不能笼统地说土壤CO₂浓度越高,溶蚀强度就越大。

(3)碳酸盐岩的溶蚀主要与土壤环境中侵蚀性组分CO₂、水分、孔隙度、有机质含量和pH值有关,同时各个因子之间相互耦合作用对溶蚀速率也有重要的影响。

(4)不同的土地利用方式对岩溶作用的影响方式是不同的,可能是起积极作用的,也可能是起制约作用的。植被的演替和土地利用方式的改变可改善岩溶动力系统的三相条件,从而促进岩溶作用的进行。

参考文献 (Referenees):

- [1] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆出版社, 1988:23-67.
Yuan Daoxian, Cai Guihong. The Science of Karst Environment [M]. Chongqing:Chongqing Publishing House,1988:23 -67 (in Chinese).
- [2] 杨胜天, 朱启疆. 论喀斯特环境中土壤退化的研究 [J]. 中国岩溶, 1999, 18(2):169-175.
Yang Shengtian, Zhu Qijiang. Review of the researches on soil degradation in karst environment[J]. Carsologica Sinica,1999, 18(2): 169-175(in Chinese with English abstract).
- [3] Svetlitchnyi A A, Plotnitskiy S V. Spatial distribution of soil moisture content within cathments and its modeling on the basis of topographic data[J]. Journal of Hydrology, 2003, 277:50-60.
- [4] 王玉宽, 朱波, 高美容. 小流域土壤水分空间分异特征及时稳性分析[J]. 山地学报, 2004, 22(1):116-120.
Wang Yukuan, Zhu Bo, Gao Meirong. The characteristics of spatial heterogeneity of soil moisture within catchments and temporal stability [J]. Journal of Mountain Reserch, 2004,22 (1):116-120(in Chinese with English abstract).
- [5] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特峰丛洼地坡面土壤水分空间变异研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8):54-58.
Zhang Jiguang, Chen Hongsong, Su Yirong, et al. Spatial variability of soil moisture on hillslope in clusterpeak depression areas in karst region [J].Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(8):54-58(in Chinese with English abstract).
- [6] 王清奎, 汪思龙, 高洪, 等. 土地利用方式对土壤有机质的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4):360-363.
Wang Qingkui, Wang Silong, Gao Hong, et al. Influence of land use on soil organic matter [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (4):360-363(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈桂秋, 黄道友, 苏以荣, 等. 红壤丘陵区土地利用方式对土壤有机质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2):256-260.
Chen Guiqiu, Huang Daoyou, Su Yirong, et al. Effects of soil organic matter in hilly red soils from mid-subtropics region under various utilization patterns[J].Journal of Agro-Environment Sceince, 2005, 24(2):256-260(in Chinese with English abstract).
- [8] 王冬米. 森林土壤透水储水性能的研究 [J]. 林业科技开发, 2000, 14(4):10-12.
Wang Dongmi. Research of the water permeable and storage in forest soil [J]. China Forestry Science and Technology, 2000, 14(4): 10-12(in Chinese).
- [9] 袁道先, 刘再华, 林玉石, 等. 中国岩溶动力系统[M]. 北京:地质出版社, 2002:51-65.
Yuan Daoxian, Liu Zaihua, Lin Yushi, et al. Karst Dynamic Systems of China [M]. Beijing:Geological Publishing House,2002:59-65(in Chineses).
- [10] Yuan Daoxian. Sensitivity of karst process to environmental change along the PED II transect [J]. Quaternary International, 1996, 37: 105-113.
- [11] Lukas Plan. Factors controlling carbonate dissolution rates quantified in a field test in the Austrian Alps [J]. Geomorphology, 2005, 68: 201-212.
- [12] 刘再华, 何师意, 袁道先, 等. 土壤中的CO₂及其对岩溶作用的驱动[J]. 水文地质工程地质, 1998, 25(4):42-45.
Liu Zaihua, He Shiyi, Yuan Daoxian, et al. Application of information content method to the slope stability assessment [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1998, 25 (4):42-45 (in Chinese with English abstract).
- [13] 何师意, 徐胜友, 张美良. 岩溶土壤CO₂浓度、水化学观测及其与岩溶作用关系[J]. 中国岩溶, 1997, 16(4):319-323.
He Shiyi, Xu Shengyou, Zhang Meiliang. Observation soil CO₂ concentration, hydrochemistry, and their relationship with karst processec [J]. Carsologica Sinica, 1997, 16(4):319-323(in Chinese with English abstract).
- [14] 刘再华. 桂林岩溶水文地质实验场岩溶水文地球化学的研究[J]. 中国岩溶, 1992, 11(3):209-217.
Liu Zaihua. Study on the karst hydrogeochemistry of the Guilin karst hydrogeological experimental site [J]. Carsologica Sinica,1992, 11(3):209-217(in Chinese with English abstract).
- [15] Pan Genxing, Tao Yuxiang, Teng Yongzhong, et al. Influence of pedo-chemical field on epi-karstification in subtropical humid region[J]. Acta Carsologica, 1998, 27(1):175-186.
- [16] 吴孔运, 孙海龙, 汪进良, 等. 重庆金佛山岩溶作用驱动因素初探[J]. 中国岩溶, 2004, 23(3):247-252.
Wu Kongyun, Sun Hailong, Wang Jinliang, et al. Preliminary research on driving factors for karstification in Jinfoshan, Chongqin [J]. Carsologica Sinica, 2004, 23 (3):247-252 (in Chinese with English abstract).
- [17] 俞锦标, 李春华, 赵培道, 等. 贵州普定县岩溶地区土壤空气中的CO₂含量分布及溶蚀作用的研究 [J]. 中国岩溶, 1985, 4:325-331.
Yu Jinbiao, Li Chunhua, Zhao Peidao, et al. Study on carbon dioxide content in soil air and corrosion of carbonate rocks in karst area of Puding country, Guizhou Province [J]. Carsologica Sinica, 1985, 4:325-331(in Chinese with English abstract).
- [18] 潘根兴, 曹建华. 表层岩溶带作用:以土壤为媒介的地球表层生态系统过程——以桂林峰丛洼地岩溶系统为例 [J]. 中国岩溶, 1999, 18(4):287-296.
Pan Genxing, Cao Jianhua. Karstification in epikarst zone: the earth surface ecosystem processes taking soil as a medium—case of the Yaji karst experiment site, Guilin [J]. Carsologic Sinica,1999,18 (4):287-296(in Chinese with English abstract).
- [19] 章典, 师长兴. 青藏高原的大气CO₂含量、岩溶溶蚀速率及其现代岩溶微地貌[J]. 地质学报, 2002, 76(4):566-570.
Zhang Dian, Shi Changxing. CO₂ partial pressure, karst dissolution rate and karst micro-landforms on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (4):566-570 (in Chinese with English abstract).
- [20] 陶于祥, 潘根兴, 孙玉华, 等. 土壤有机碳地球化学及其岩溶作

- 用的关系——以桂林丫吉村岩溶实验场为例 [J]. 火山地质与矿产, 1998, 19(1):40-46.
- Tao Yuxiang, Pan Genxing, Sun Yuhua, et al. The relationship between karst soil organic carbon geochemistry and karstification—taking Yajicun karst experimental field in Guilin as an example[J]. Volcanology & Mineral Resources, 1998, 19(1):40-46(in Chinese with English abstract).
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999:146-165.
- Lu Rukun. Analysis Methods of Soil Agricultural Chemistry [M]. Beijing:Chinese Agricultural Science and Technology Press,1999: 146-165(in Chinese).
- [22] 刘宏, 吴文青. 路南石林现代喀斯特岩溶蚀速率研究[J]. 云南地理环境研究, 1998, 10(增刊):114-121.
- Liu Hong, Wu Wenqing. Research of modern karst dissolution in Lunan stone-forest [J]. Yunnan Geographic Environment Resarch, 1998, 10(supp.):114-121(in Chinese).
- [23] 刘海隆, 蒋大明, 刘洪斌, 等. 不同土地利用方式对岩溶山区旱坡地土壤水分时空分异的影响[J]. 土壤学报, 2005, 42(3):428-433.
- Liu Hailong, Jiang Taiming, Liu Hongbin, et al. Impact of land use on spatio-temporal variation of soil moisture of sloping upland in karst mountainous area [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(3): 428-433(in Chinese with English abstract).
- [24] 王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(1):84-91.
- Wang Jun, Fu Bojie. The impact of land use on spatial and temporal distribution of soil moisture on the Loess Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55 (1):84-91 (in Chinese with English abstract).
- [25] 于天任. 土壤化学原理[M]. 北京:科学出版社, 1987: 347-348.
- Yu Tianren. Soil Chemistry Principle [M]. Beijing:Science Press, 1987:347-348(in Chinese).
- [26] 陈述彭. 西南地区的喀斯特地貌[J]. 地理知识, 1954, 3:74-76.
- Chen Shupen. The karst geomorphology in southwest China [J]. Geographical Knowledges, 1954, 3:74-76(in Chinese).
- [27] 袁道先, 朱德浩, 翁金桃, 等. 中国岩溶学 [M]. 北京:地质出版社, 1993:23-30.
- Yuan Daoxian, Zhu Dehao, Weng Jintao, et al. Karst of China[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993:23-30(in Chinese).
- [28] McGill W B, Hunt H W, Woodmansee R G, et al. Phoenix, a model of the dynamics of carbon and nitrogen in grassland soils[J]. Ecol Bull, 1981, 33:49-115.
- [29] 曹建华, 潘根兴, 袁道先, 等. 岩溶地区土壤溶解有机碳的季节动态及环境效应[J]. 生态环境, 2005, 14(2):224-229.
- Cao Jianhua, Pan Genxing, Yuan Daoxian, et al. Seasonal changes of dissolved organic carbon in soil: its environmental implication in karst area [J]. Ecology and Environment, 2005, 14 (2):224-229(in Chinese with English abstract).
- [30] 曹建华, 潘根兴, 袁道先. 不同植物凋落物对土壤有机碳淋失的影响及岩溶效应[J]. 第四纪研究, 2000, 20(4):359-366.
- Cao Jianhua, Pan Genxing, Yuan Daoxian, et al. Influence of two litters on the soil organic carbon leachings and its karst effect [J]. Quaternary Sciences, 2000, 20 (4):359-366 (in Chinese with English abstract).
- [31] 朱鹤键, 何宜庚. 土壤地理学[M]. 北京:高等教育出版社, 1992: 70.
- Zhu Hejian, He Yigeng. Pedogeography [M]. Beijing: Higher Education Press, 1992:70(in Chinese).
- [32] 李阳兵, 邵景安, 魏朝富, 等. 岩溶山区不同土地利用方式下土壤质量指标响应[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(1):12-15.
- Li Yangbing, Shao Jingan, Wei Chaofu, et al. Response of soil quality indexes to land use of different patterns in karst mountains [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007, 23(1):12-15 (in Chinese with English abstract).
- [33] 吴长文, 王礼先. 林地土壤孔隙的贮水性能分析[J]. 水土保持研究, 1995, 2(1):76-79
- Wu Changwen, Wang Lixian. The analysis on the water storage properties of soil pore in forested land [J]. Reserrch of Soil and Water Conservation,1995, 2 (1):76-79 (in Chinese with English abstract).

Effects of soil environmental factors on the dissolution rate of karst in soils —A case study of the State Jinfo Mountain Nature Reserve, Chongqing

YANG Ping-heng¹, ZHANG Cheng^{1,2}, SUN Yu-chuan¹, WU Yue-xia¹,
GAO Yan-fang¹, WANG Dong-yin¹, LI Lin-li¹

(1. School of Geographic Sciences, Southwest China University, Chongqing 400715, China;

2. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Karst Dynamics Laboratory, Ministry of Land and Resources, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: Previous studies paid little attention to the influences of the factors in the soil environment on karst processes. Using the State Jinfo Mountain Nature Reserve in Chongqing as an example, field experiments were conducted and data collected for field standard limestone tablets and the CO₂ concentration, moisture, porosity, pH, and organic matter content of soils. The influences of the soil environmental factors in different land-use patterns and their coupling on the dissolution rates of carbonate are studied. The results indicate the following: There is appreciable difference in average dissolution rates of limestone tablets. They are from the highest to lowest are as follows: bamboo land, woodland, grassland, shrub land and herbal shrub land. The dissolution rates of limestone tablets and pH show a good negative correlation, while the dissolution rate of limestone tablets shows a good positive correlation with soil moisture and porosity. The karst processes at top of Jinfo Mountain are stronger than those at the foot, which is related to the severest drought in a hundred years in Chongqing. The CO₂ concentration, moisture, porosity, pH and organic matter content affect the dissolution rate of the limestone tablets, and in addition, the multi-variable coupling of the factors in the soil environment also affects the dissolution rate of karst.

Key words: soil environmental factor; land-use pattern; dissolution rate of carbonate; Jinfo Mountain Nature Reserve

About the first author: YANG Ping-heng, male, born in 1983, graduate student of Southwest China University, majors in geological environment and resource in karst areas; E-mail: balance@swu.edu.cn.