

刘 炜,周运超,张春来. 石灰土盐基离子迁移对模拟酸雨的响应[J]. 中国岩溶, 2018, 37(3): 336-342.
DOI:10. 11932/karst20180303

石灰土盐基离子迁移对模拟酸雨的响应

刘 炜^{1,2},周运超^{1,2},张春来^{3,4,5}

(1. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州大学贵州省森林资源与环境研究中心, 贵阳 550025;
3. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 4. 自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;
5. 联合国科教文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004)

摘 要:为揭示酸雨条件下石灰土盐基离子迁移特征及其缓冲性能,对石灰土进行了室内模拟酸雨淋溶试验,探讨酸雨酸度、土层厚度、土表覆被对石灰土酸化/石灰土抗酸性以及盐基离子迁移的影响。结果表明:(1)在 pH=3.5、4.5、5.5 的酸雨淋溶下,石灰土盐基离子迁移量差异不显著,对酸雨具有极强的缓冲能力。期间, Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 释放呈显著线性相关。(2)土壤厚度对石灰土抗酸性有极显著影响,土壤越厚,对酸雨的抗性越大,反之越小。(3)土厚比 1:2.5:5 的石灰土盐基离子淋失状况为 K^+ 淋失量 1:1.43:2.06, Ca^{2+} 淋失量为 1:1.63:3.13, Mg^{2+} 淋失量为 1:1.64:3.15,表明土厚的增加能大大降低酸雨对盐基的淋溶。(4)石灰土土表覆盖不同,其盐基离子迁移淋溶量差异明显,但并不对土壤酸化效应产生显著影响。

关键词:石灰土;盐基离子;土壤厚度;降水酸度

中图分类号:X144

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2018)03-0336-07

0 引 言

人类活动和工业发展造成大气污染日益严重,酸沉降问题随之出现,并对生态系统产生极大的负面影响^[1-2]。土壤作为酸雨的受体,与酸雨接触后会发生一系列的反应,包括粘土矿物表面吸附的阳离子与酸沉降中氢离子交换、元素淋溶、粘土矿物风化等,这些反应能导致土壤营养性盐基元素(K、Na、Ca、Mg等)损失和某些毒性元素的释出与活化^[3-4]。大量研究^[5-8]表明:酸雨导致土壤盐基离子淋失,盐基饱和度下降。同时,土壤对酸沉降有一定的缓冲作用,不同土壤的缓冲能力也各不相同^[9]。国内外对于红壤、砖红壤、黄壤、紫色土等非石灰性土壤的酸缓冲性已有详细的研究报道^[7, 10-14],而对于石灰土研究相对较少。贵州是我国南方酸沉降比较严重的省份之一^[15],是典型喀斯特地区。喀斯特地区的碳酸盐岩经风化成土作用形成石灰土,但由于碳酸盐岩成土速

率慢,土层普遍存在薄且分布不连续的特点,并随着石漠化的演进及水土流失的加剧,土层变薄愈加明显^[16-17]。酸雨下,喀斯特地区土壤对酸雨缓冲性是否随土壤厚度的变化而均匀变化呢?有研究^[18]认为:土壤厚度对溶出液的盐基含量有影响,但具体影响程度怎样?土壤厚度变化与相应的土壤对酸缓冲性关系如何?鲜见报道。为此,本文对石灰土在酸沉降条件下盐基离子迁移动态及其缓冲机制进行研究分析,并探讨喀斯特地区不同土厚与石灰土盐基离子迁移量之间关系,为石灰土对酸沉降缓冲机制及喀斯特地区土壤酸化的预防治理提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

石灰土采自贵州省贵阳市花溪区青岩镇,由纯灰岩风化形成,pH 为 8.25,土壤基本理化性质如表 1。

基金项目:中国地质科学院岩溶地质研究所地质调查委托项目(YR-JJHT-2017-206);贵州省一流学科建设项目(编号:GNYL[2017]007);贵州省“百层次”培养计划(QKHRC-2015-4022)

第一作者简介:刘炜(1993—),男,硕士研究生,从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:914366180@qq.com。

通信作者:周运超(1964—),男,博士,教授,主要从事森林土壤碳固定及林木营养等研究工作。E-mail:yc409@163.com。

收稿日期:2017-07-10

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Physical-chemical properties of soils tested

指标	有机质	CaCO ₃	K		Ca		Mg	
			可溶	全量	可溶	全量	可溶	全量
质量分数/%	2.067 9	4.220 0	0.001 7	0.007 0	0.026 7	28.692 9	0.002 6	0.166 0

1.2 供试石灰岩岩片

供试岩片采自广西桂林泥盆系融县组石灰岩,岩片面积 4 cm²、厚度 5 mm。岩片主要化学组成详见表 2。

表 2 供试石灰岩岩片主要化学组成

Table 2 Chemical composition of limestone rock sheets tested

指标	全量 K	CaCO ₃	MgCO ₃
质量分数/%	0.019 3	69.080 9	0.399 7

1.3 试验设计

研究以室内实验手段模拟酸雨对石灰土的元素迁移的影响。土样经 1 cm 土筛分筛 6 次,充分混匀后过 2 mm 土筛制成。依照贵州省喀斯特地区土壤厚薄特征状况,设计土壤厚度:10 cm、25 cm、50 cm。淋溶管直径 20 cm,上部架设滴液装置,下部设滤网及出水口,出水口与淋溶管同轴。管底置定量纯灰岩片(文中分析均减去相应岩片的 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 溶蚀量),管内石灰土设计容重 1.0 g·cm⁻³。模拟植被设计为多年生黑麦草,设计土壤深度为 25 cm,各淋溶管土表施草种 50 g,以均一水量浇水培育 15 d,期间对“石灰土—碳酸盐岩系统”淋溶管以相同水量浇水处理,以保持各管条件一致。

根据贵州省酸沉降情况并排除外源盐基的影响,用分析纯硫酸和硝酸按 4:1(体积比)来配置模拟酸雨母液。再分别用去离子水配制 pH 为 3.5、4.5、5.5 的溶液,得到 3 个梯度的 pH 溶液。依照贵阳市花溪区历史平均月降水记录,选择贵阳市花溪区自然

降水集中的月份(5—10 月,总计 6 个月)为模拟时段。各月模拟降水量为:180 mm、230 mm、170 mm、130 mm、90 mm、100 mm。每月进行降水 2 次(每次降水量=该月模拟降水总量/2),降水周期为 15 d,设计降水强度为大雨,单位降水量为 15 mm·h⁻¹。对模拟降水后淋出液予以回收,分析淋出液 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 含量。

1.4 分析方法

K⁺ 用火焰光度计法;Ca²⁺、Mg²⁺ 用 EDTA 络合滴定法;pH 值采用电位法测定;有机质采用重铬酸钾外加热法^[19]。

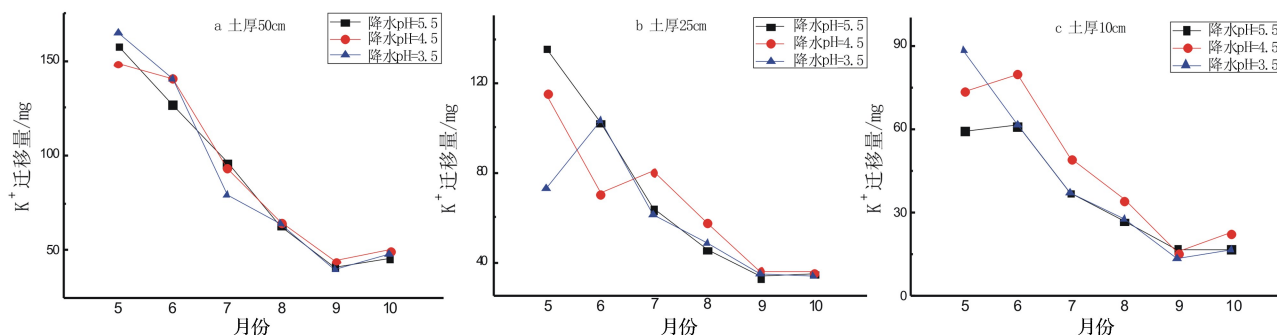
所有分析结果用 Excel、SPSS 和 Origin8.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 模拟酸沉降下土壤盐基离子迁移动态

2.1.1 K⁺ 迁移动态

K⁺ 迁移情况如图 1 所示。模拟酸沉降前期,K⁺ 迁移量相对较高,随酸雨淋溶量加大(淋溶时间增加),K⁺ 迁移量呈现出线性下降趋势。随着土壤厚度增加,相应 K⁺ 迁移量呈明显上升趋势,K⁺ 迁移量最大值 164.467 mg,最小值 14.013 mg,实验期平均迁移量 65.096 mg。对模拟酸沉降处理下 K⁺ 迁移量的方差分析显示,土壤厚度和降水量对 K⁺ 迁移有极显著影响(P=0.000<0.05,P=0.000<0.05),而降水酸度对 K⁺ 迁移影响差异不显著(P=0.662>0.05)。

图 1 各土壤厚度下 K⁺ 迁移状况Fig. 1 Migration situations of K⁺ under different soil thicknesses

2.1.2 Ca^{2+} 迁移动态

Ca^{2+} 迁移情况如图 2 所示。模拟的 5—7 月, Ca^{2+} 迁移量相对较高, 并且 5—9 月 Ca^{2+} 迁移量呈明显降低趋势, 到 10 月, Ca^{2+} 迁移量出现一个上升过程, 可能是 10 月降水量较 9 月增加(酸性离子输入量加大), Ca^{2+} 更多的迁移淋溶出土体。 Ca^{2+} 迁移量随

土壤厚度增加而呈明显上升趋势。 Ca^{2+} 迁移量最大值 8 186.701 mg, 最小值 254.104 mg, 实验期平均迁移量 1 572.663 mg。由方差分析, 土壤厚度和酸雨淋溶量对 Ca^{2+} 迁移有极显著影响($P=0.000<0.05$, $P=0.000<0.05$), 降水酸度对 Ca^{2+} 迁移影响差异不显著($P=0.914>0.05$)。

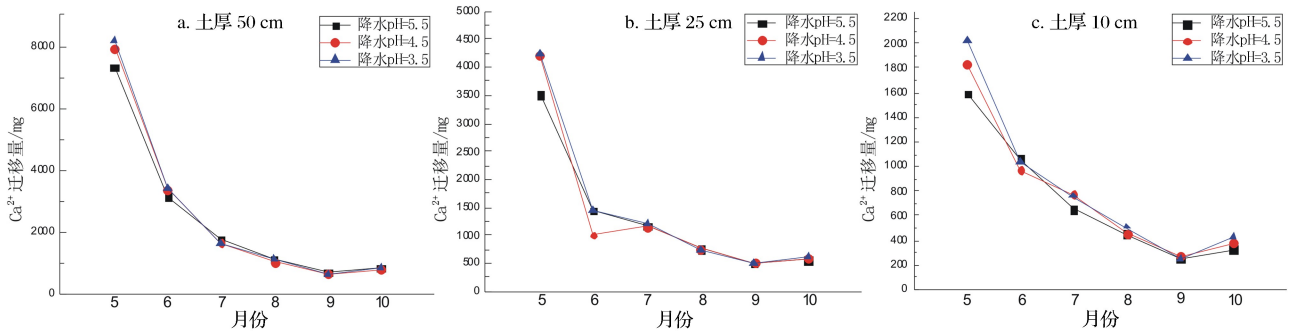


图 2 各土壤厚度下 Ca^{2+} 迁移状况

Fig. 2 Migration situations of Ca^{2+} under different soil thicknesses

2.1.3 Mg^{2+} 迁移动态

Mg^{2+} 迁移曲线与 Ca^{2+} 有类似趋势。如图 3 所示, 5—7 月 Mg^{2+} 迁移量相对较高, 5—9 月 Mg^{2+} 迁移量呈现明显降低趋势, 到 10 月, Mg^{2+} 迁移量同样出现一个上升过程。原因也是 10 月降水量较 9 月增加, 酸性离子输入加大, 盐基离子更多的迁移淋溶出土体。另外, 土壤厚度增加, 相应的 Mg^{2+} 迁移量同

样呈上升趋势。并且 Mg^{2+} 迁移量均小于 Ca^{2+} , 其中 Mg^{2+} 迁移量最大值 1 251.804 mg, 最小值 36.345 mg, 实验期内平均迁移量 240.723 mg。方差分析表明, 土壤厚度和酸雨淋溶量对 Mg^{2+} 迁移有极显著影响($P=0.000<0.05$, $P=0.000<0.05$), 降水酸度对 Mg^{2+} 迁移影响差异不显著($P=0.179>0.05$)。

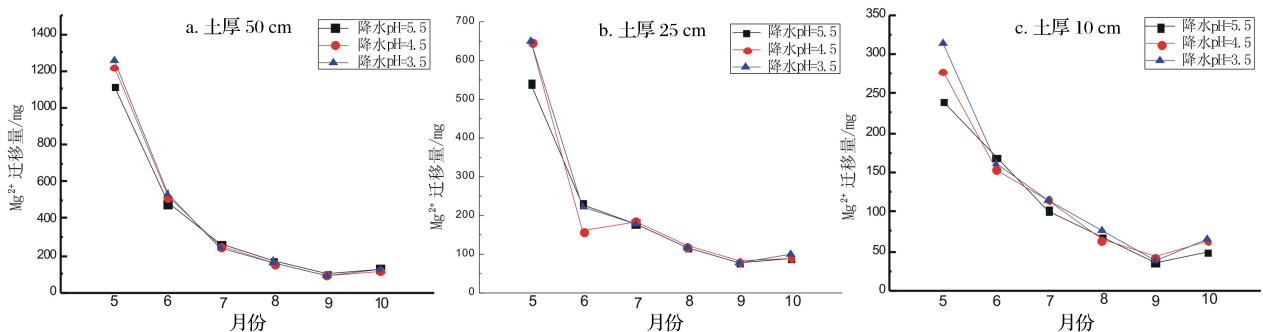


图 3 各土壤厚度下 Mg^{2+} 迁移状况

Fig. 3 Migration situations of Mg^{2+} under different soil thicknesses

2.2 模拟酸沉降对盐基淋溶总量的影响

2.2.1 酸沉降下土壤厚度对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 淋溶总量的影响

模拟酸沉降下, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 迁移量随土壤厚度增加而增加(图 4), 但三者增加程度不同。土厚比为 1 : 2.5 : 5, 酸沉降下石灰土 K^+ 迁移量为 1 : 1.43 : 2.06、 Ca^{2+} 为 1 : 1.63 : 3.13、 Mg^{2+} 为 1 : 1.64 : 3.15, Ca^{2+} 迁移量比例关系极相似于 Mg^{2+} 迁移量而不同于 K^+ 迁移量, 且三者迁移量比

例关系均不同于土壤厚度比, 而是相对偏低。酸沉降下相同土壤厚度之间, K^+ 迁移量 $< \text{Mg}^{2+}$ 迁移量 $< \text{Ca}^{2+}$ 迁移量。

2.2.2 降水 pH 对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 淋溶总量的影响

降水 pH 在 5.5、4.5、3.5 之间变化时, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 迁移随降水 pH 减少而增加, 与降水 pH = 5.5 相比, 降水 pH = 4.5 和 3.5 条件下 K^+ 迁移量增加 2.0% 和 14.9%, Ca^{2+} 迁移量增加 6.6% 和 11.8%, Mg^{2+} 迁移量增加 6.6% 和 11.4% (图 5)。

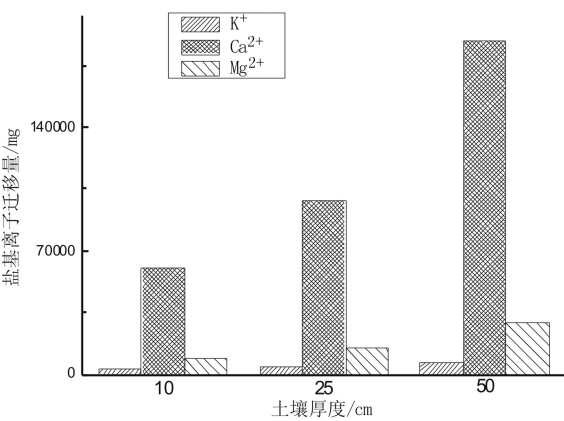


图 4 不同厚度土柱盐基离子迁移总量
Fig. 4 Amounts of migration of base cations under different soil thicknesses

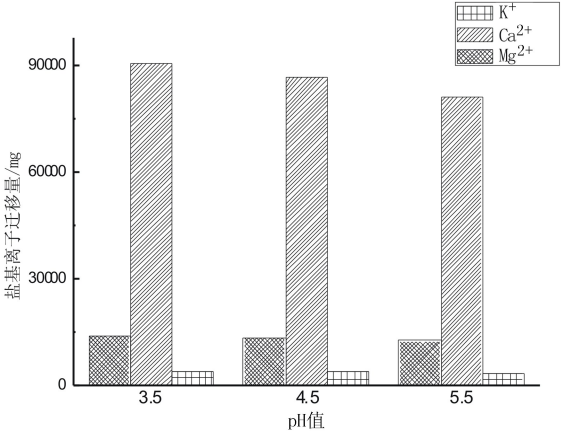


图 5 不同降水 pH 下土壤盐基离子迁移总量
Fig. 5 Amounts of migration of base cations under different pH values of rain

淋出液 pH 值均大于模拟降雨 pH 值,历次淋出液 pH 最小值 7.3、最大值 8.49(表 3)。说明石灰土对外源 H⁺ 有很强的吸附和缓冲能力,也表明石灰

土在吸附缓冲酸雨 H⁺ 的同时,土中盐基离子被不断地交换淋溶出来,盐基饱和度降低。

表 3 淋出液 pH 值
Table 3 pH values of leachate

植被状况	土厚/ cm	模拟酸雨 pH 值	降水量/mm											
			90	90	115	115	85	85	65	65	45	45	50	50
土表裸露	50	5.5	7.3	7.51	7.54	7.58	7.62	7.69	7.74	8.16	8.46	8.37	7.66	7.72
		4.5	7.37	7.54	7.54	7.58	7.61	7.66	7.66	8.17	8.43	8.4	7.62	7.76
		3.5	7.53	7.55	7.58	7.62	7.67	7.72	7.81	8.23	8.35	8.33	7.76	7.84
栽培黑麦草	25	5.5	7.56	7.56	7.59	7.64	7.69	7.74	7.82	8.23	8.33	8.29	7.77	7.84
		4.5	7.43	7.43	7.46	7.52	7.58	7.63	7.76	8.28	8.46	8.42	7.75	7.82
		3.5	7.44	7.4	7.44	7.5	7.55	7.61	7.76	8.22	8.43	8.45	7.69	7.72
土表裸露	25	5.5	7.54	7.54	7.57	7.57	7.67	7.72	7.86	8.29	8.49	8.37	7.71	7.77
		4.5	7.52	7.55	7.56	7.58	7.69	7.74	7.8	8.23	8.48	8.34	7.68	7.81
		3.5	7.47	7.53	7.55	7.56	7.62	7.71	7.77	8.3	8.36	8.3	7.69	7.8
土表裸露	10	5.5	7.58	7.57	7.6	7.62	7.75	7.75	7.83	8.19	8.25	8.27	7.87	7.9
		4.5	7.64	7.64	7.66	7.82	7.81	7.86	7.89	8.12	8.18	8.1	7.72	7.92
		3.5	7.74	7.66	7.68	7.75	7.74	7.74	7.84	8.19	7.97	8.03	7.73	7.86

2.2.3 酸沉降下植被覆盖对 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 淋溶总量的影响

黑麦草地上和地下生物量分别为 25.27 g 和 11.86 g 的条件下,厚度 25 cm 的石灰土栽植黑麦草比无植被的土壤 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 离子迁移量分别减少了 20.12%、14.25% 和 14.39%(表 4),说明土表覆盖差异影响着 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 迁移量。

石灰土栽植黑麦草一定程度上能遏制盐基离子迁移淋溶出土体(表 5)。对两种不同土表覆盖下

表 4 降水期内植被差异下的盐基离子迁移量汇总

Table 4 Amounts of migration of base cations under different vegetations during rain period

土壤厚度 /cm	植被 状况	运移量/mg		
		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
25	栽植黑麦草	3 689.416	84 210.918	12 860.483
25	无植被	4 618.454	98 202.269	15 021.602

K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 迁移量同降水酸度进行相关分析,结果表明二者之间相关性较差,相同于无植被石灰土,

栽植黑麦草石灰土在 $pH=3.5、4.5、5.5$ 的 3 组降水酸度差异下,盐基离子迁移量差异不显著。

表 5 降水期内不同 pH 值模拟降水下土柱内盐基离子迁移量汇总

Table 5 Amounts of migration of base cations under different pH values of rain during precipitation period

模拟酸雨 pH 值	运移量/mg					
	K^+		Ca^{2+}		Mg^{2+}	
	栽植黑麦草	无植被	栽植黑麦草	无植被	栽植黑麦草	无植被
5.5	851.672	1 248.419	21 887.123	23 813.437	3 349.934	3 651.772
4.5	1 072.165	1 114.325	21 322.969	26 478.974	3 271.425	4 053.142
3.5	896.640	1 067.426	20 609.468	25 815.765	3 116.503	3 946.390

石灰土经酸雨淋洗后,土壤 pH 变化差异不大, pH 最大 7.92、最小 7.72(表 6);表明石灰土仍具极大的酸缓冲空间。

表 6 实验后土壤 pH 变化表

Table 6 Changes of soil pH values after experiment

植被状况	土厚/cm	模拟酸雨 pH 值	实验后土壤 pH 值
土表裸露	50	5.5	7.72
		4.5	7.76
		3.5	7.84
栽培黑麦草	25	5.5	7.84
		4.5	7.82
		3.5	7.72
土表裸露	25	5.5	7.77
		4.5	7.81
		3.5	7.80
土表裸露	10	5.5	7.90
		4.5	7.92
		3.5	7.86

3 讨 论

3.1 盐基离子迁移对酸沉降的响应

土壤盐基离子是植物生长必须的营养元素,也是影响土壤质量的重要因素。盐基离子含量越多,土壤盐基饱和度就越大盐基离子。酸雨进入土壤系统会发生一系列化学反应,导致盐基离子迁移淋溶,是酸雨对土壤最基本影响^[7]。土壤盐基离子迁移量随模拟酸沉降量的增加而降低(图 1—3),此变化趋势显然与供试土壤中盐基离子总量被淋溶减少相一致。

淋溶实验初期(模拟的 5—7 月),盐基离子迁移量相对较高,是因为土壤原先结构经磨碎后被破坏,暴露出大量可交换点,酸沉降下盐基离子更易被淋溶迁移^[14, 20]。酸沉降下 Ca^{2+} 迁移量最大,远大于 Mg^{2+} , Mg^{2+} 又大于 K^+ (图 1—3);是由土体本身盐基离子含量差异造成(表 1)。土壤中 Ca^{2+} 含量最高,酸沉降下 Ca^{2+} 释放量也最大(图 2),表明 Ca^{2+} 在质子缓冲过程中起着最主要作用^[8]。外源质子的增加使二价盐基离子淋溶量增加,而一价离子增加量少^[21]。一价离子的交换淋溶过程易于进行, H^+ 浓度的增加对多数土壤一价离子的交换不会产生太大影响^[3]。 Ca^{2+} 迁移量虽远大于 Mg^{2+} ,但二者之间比例极其相似(图 2—5),相关分析表明 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 的释放显著线性相关(1.000^{**})。原因是土中进行缓冲的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 数量比较充足,均在缓冲过程中起主要作用;其次二者皆是二价离子,可能石灰土在酸沉降下 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 释放机理和来源基本相似。

石灰土盐基离子淋溶释放量受模拟酸雨 pH 值影响不大(图 1—3),这与仇荣亮等^[7]研究相一致,原因是酸雨 pH 高于 3.5 时,盐基释放量取决于溶解迁移,此时控制阳离子淋溶数量的是降雨量;因此, pH 高于 3.5 的酸雨沉降尚不会对土壤盐基离子淋溶速度造成太大的影响,但进入土壤系统的 H^+ 归宿应值得注意。酸沉降下盐基离子淋溶量大小与土壤类型有关,一般情况下土壤 pH 与盐基饱和度越大,盐基离子淋溶量就越大,土壤酸化程度受酸雨的影响越小;土壤 pH 和盐基饱和度越低,迁移淋溶量越小,受酸雨影响则越大。石灰土盐基饱和度极高,且含游离碳酸盐及碳酸盐矿物碎片,当酸雨进入土壤,石灰土可长时间保持较高的淋溶强度^[18]。降水 pH 值低且

持续时间短,可淋溶出高浓度的盐基离子;而长期淋溶下,盐基离子会在某一时刻出现峰值,淋失峰的出现与酸雨 pH 值并不呈简单的线性关系,说明土壤盐基离子的淋失是一个复杂的地球化学过程^[22-23]。酸雨进入石灰土后与之发生一系列化学反应:(1)与以离子形式存在于土壤溶液中的盐基离子反应;(2)与吸附在土壤胶体表面的盐基离子发生交换反应;(3)与石灰土中碳酸盐矿物进行反应^[8-9]。其缓冲机制是:一方面通过消耗来自淋入液 H^+ ;另一方面释放等量盐基离子而实现。本次实验淋出液 pH 值最小 7.27、最大 8.54,均显著大于降水 pH 值(表 3),并且实验后土壤 pH 变化不大(表 6),都表明石灰土酸缓冲能力强,土壤并未发生严重酸化效应,仍具极大的酸缓冲空间。淋出液的 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 比例也反映了这一点:而供试石灰土可溶性 K 占可溶性 K、Ca、Mg 总量的 5.84%,Ca 占 86.13%,Mg 占 8.39%;全量 K 占全量 K、Ca、Mg 总量的 0.02%,Ca 占 99.40%,Mg 占 0.58%;而淋出液 K^+ 总迁移量占 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 淋溶总量的 3.49%, Ca^{2+} 占 83.71%, Mg^{2+} 占 12.80%,淋出液 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与可溶 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 比例相近,不同于全量 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 比例,而土壤走向酸化的标志是淋出液 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 之间比例接近于全量 K、Ca、M 比例,说明在 6 个月酸雨淋溶下,石灰土仍具极大的缓冲空间和能力。

酸雨淋溶量对石灰土盐基离子迁移有极显著影响。盐基离子迁移量随酸雨淋溶量加大而逐渐减小,说明盐基释放能力随淋洗量增加而衰减。石灰土 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 释放能力较强,在一定的淋洗量后呈线性变化,但最终仍将趋于一稳定值^[23]。

3.2 土厚和覆被对石灰土盐基离子迁移的影响

石灰土土壤厚度对盐基离子迁移有极显著影响,盐基离子迁移量随土壤厚度增加而增加。土壤厚度增加则参与交换作用的盐基离子增加,从而大大增加土壤对酸雨的抗性^[18]。另外,相同酸沉降条件下,盐基离子迁移量并未与土壤厚度呈现一致的倍数增加关系,而是低于土壤厚度的增加倍数。土壤厚度的增加能大大降低酸雨对盐基的淋溶强度、淋溶量和淋溶速度^[18],这与土壤盐基饱和度、结构、孔隙度等因素的差异有关。

酸沉降下石灰土土表覆盖状况不同,其盐基离子迁移量不同(表 4、5)。上述现象可能:(1)植被对酸雨有一定的截留与缓冲作用,随着植被生长和生物量增加,相应的缓冲作用增强,从而缓解土壤酸化进程。

(2)植被根系生长对于土壤有一定的固定改善作用,原来被磨碎破坏原先结构,暴露出大量可交换点的土壤,在栽植植被之后,土壤结构得到极大改善,原来暴露的可交换点不在暴露或者暴露出的可交换点得到减少,故迁移量减少。(3)盐基离子是植物生长发育所必不可少的营养元素,植被生长发育须吸收土壤盐基离子,导致土壤盐基离子总量减少。(4)在酸性沉降物冲击下,植物体为了保护本身组织中的化学平衡会主动吸收阳离子,从而迁移淋溶出土体的盐基离子量减少。酸沉降下,石灰土植被覆盖与否可能会导致土壤本身盐基离子总量的不同,但对土壤的酸化效应并没有显著影响。对土壤酸化效应起重要影响的还是土壤自身属性差异。从土壤本身盐基离子总量来说,植被生长和植被为了保护组织中的化学平衡会主动吸收阳离子,从而造成土壤盐基离子量减少;但从迁移淋溶出土体的盐基离子量来说,植被除自身吸收外,植被地上部分对酸性沉降物的截留缓冲作用及植被根系对于土壤的固定改善作用,使得土壤结构得到改善,大量的盐基离子可交换点减少,从而减缓了盐基离子的迁移淋溶。

4 结 论

酸雨淋溶下,石灰土盐基离子大量淋失,以 Ca^{2+} 淋失量最大,其次是 Mg^{2+} ,最后 K^+ ; Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 的释放显著线性相关。土壤厚度对盐基离子迁移淋失有极显著的影响,土壤越厚,石灰土对酸雨的抗性越大,反之则越小;盐基离子迁移量没有与土壤厚度呈现相一致倍数增加关系,而是低于土壤厚度的增加倍数。同时石灰土盐基离子淋失量并未与降水酸度呈现线性关系;在 pH=3.5、4.5、5.5 三组降水酸度下,石灰土盐基离子迁移量差异不显著。淋出液 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与供试土壤可溶 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 比例相近,不同于全量 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 比例,说明在 6 个月酸雨淋溶下,石灰土仍具极大的缓冲空间和能力,走向酸化的标志是淋出液 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 之间比例接近于全量 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 比例,其缓冲机制是一方面通过消耗来自淋入液 H^+ ,另一方面释放等量的盐基离子而实现。石灰土 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的释放能力较强,在一定的淋洗量之后呈线性变化,但最终仍将趋于一稳定值。酸雨条件下,石灰土土表覆盖状况不同,其盐基离子迁移淋溶量不同,但酸性沉降物对石灰土的酸化效应,植被覆盖与否并不起主要影响。

参考文献

- [1] 杨胜天, 李巍, 吕涛, 等. 酸雨对森林植被的影响及在贵州龙里的初步研究: 代“酸雨胁迫影响森林植被及其生态效益的评估”专栏序言[J]. 环境科学学报, 2010, 30(1): 1-6.
- [2] 陈静. 大气酸沉降及其环境效应的研究进展[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 1999(1): 82-88.
- [3] 徐伟. 模拟酸雨淋溶下粤北土壤离子释放特征及机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
- [4] 仇荣亮, 吴箐. 陆地生态环境酸沉降敏感性研究[J]. 环境科学进展, 1997(4): 9-23.
- [5] 孙水娟, 文倩, 谢平. 酸雨对土壤质量影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(5): 2774-2777.
- [6] 凌大炯, 章家恩, 欧阳颖. 酸雨对土壤生态系统影响的研究进展[J]. 土壤, 2007(4): 514-521.
- [7] 仇荣亮, 董汉英, 吕越娜, 等. 南方土壤酸沉降敏感性研究Ⅶ: 盐基淋溶与缓冲机理[J]. 环境科学, 1997(5): 25-29.
- [8] 刘俐, 周友亚, 宋存义, 等. 模拟酸雨淋溶下红壤中盐基离子释放及缓冲机制研究[J]. 环境科学研究, 2008(2): 49-55.
- [9] 廖柏寒, 李长生. 土壤对酸沉降缓冲机制探讨[J]. 环境科学, 1989(1): 30-34.
- [10] 萧月芳, 史衍玺, 刘春生, 等. 模拟酸雨对山东主要土壤类型理化性质的影响[J]. 环境科学, 1997(3): 28-31.
- [11] 刘春生, 宋国茜, 史衍玺, 等. 模拟酸雨对山东棕壤理化性质影响的研究[J]. 山东农业大学学报, 1998(2): 79-84.
- [12] 刘俐, 宋存义, 李发生. 模拟酸雨对红壤中硅铝铁释放的影响[J]. 环境科学, 2007(10): 2376-2382.
- [13] 郭朝晖, 黄昌勇, 廖柏寒. 模拟酸雨对红壤中铝和水溶性有机质溶出及重金属活动性的影响[J]. 土壤学报, 2003(3): 380-385.
- [14] 凌大炯, 章家恩, 黄倩春, 等. 模拟酸雨对砖红壤盐基离子迁移和释放的影响[J]. 土壤学报, 2007(3): 444-450.
- [15] 李佳, 李巍, 侯锦湘, 等. 贵州地区酸雨作用下典型森林植被冠层淋溶规律研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(10): 1297-1302.
- [16] 周运超, 王世杰, 卢红梅. 喀斯特石漠化过程中土壤的空间分布[J]. 地球与环境, 2010, 38(1): 1-7.
- [17] 周运超, 周习会, 周玮. 贵州岩溶土壤形成及其可持续利用[J]. 山地农业生物学报, 2005, 24(5): 419-425.
- [18] 蒋秋怡, 何黎明, 马跃, 等. 用模拟酸雨淋溶法研究红壤和红色石灰土的盐基迁移状况[J]. 浙江林学院学报, 1993(03): 4-12.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 中国农业科技出版社, 2000.
- [20] Liu K H, Mansell R S, Rhue R D. Cation removal during application of acid solutions into air-dry soil columns. [J]. Soil Science Society of America Journal, 1990, 54(6): 1747-1753.
- [21] Hartikainen H. Soil Response to Acid Percolation; Acid-Base Buffering and Cation Leaching[J]. Journal of Environmental Quality, 1996, 25(4): 638-645.
- [22] 戎秋涛, 杨春茂, 徐文彬. 模拟酸雨对浙东北红壤中盐基离子和铝的淋失影响研究[J]. 环境科学学报, 1997(1): 33-39.
- [23] 孟范平, 李桂芳. 酸雨对土壤元素化学行为的影响[J]. 中南林学院学报, 1998(1): 27-34.

Response of base cations migration of lime soil to simulated acid rain

LIU Wei^{1,2}, ZHOU Yunchao^{1,2}, ZHANG Chunlai^{3,4,5}

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Research Center of Forest Resources and Environment in Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550025, China;

3. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China;

4. Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;

5. The International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract In order to reveal the characteristics of soil base cations migration and their buffering properties under the influence of simulated acid rain in lime soil, we have made a simulation test of acid rain leaching on lime soil of karst areas. Results show that there is no significant difference in the amount of ionic migration of lime soil under rainfall of pH=3.5, 4.5 and 5.5, indicative of a strong buffering capacity to acid rain. During the simulation period, the release of Ca^{2+} is significantly linearly related to the release of Mg^{2+} . In addition, soil thickness has a remarkable influence on the acid resistance of lime soil. The thicker the soil, the greater the resistance, and vice versa. Then the leaching rate of soil thickness ratio 1:2.5:5 base ion is analyzed. Results show that the leaching losses are 1:1.43:2.06 for K^+ , 1:1.63:3.13 for Ca^{2+} , and 1:1.64:3.15 for Mg^{2+} , respectively. The increase of soil thickness can greatly reduce the leaching of acid rain to the baseions. While lime soil surface cover has a different expression, in which base cations are different in migration and leaching, but do not have significant effect on soil acidification.

Key words lime soil, base cations, soil thickness, precipitation acidity

(编辑 吴华英)