

模拟酸雨对砖红壤盐基离子迁移和释放的影响*

凌大炯¹ 章家恩^{2†} 黄倩春¹ 韩维栋¹ 欧阳颖³

(1 广东海洋大学农学院, 广东湛江 524088)

(2 华南农业大学农学院, 广州 510642)

(3 Department of Water Resources, St. Johns River Water Management District, Palatka, Florida, USA)

摘要 对发育于玄武岩的砖红壤进行了室内模拟酸雨淋溶试验, 结果表明: (1) 酸雨淋溶土壤会引起土壤盐基离子的大量淋失。以土壤中的 K^+ 最易于淋失, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的淋失量最大。酸雨 pH 愈低, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的迁移量愈大。酸雨淋溶土壤的时间越长, 盐基离子的迁移量越大。(2) 土壤经 5 d 的酸雨淋溶后, 土壤交换性盐基离子的含量均随淋溶时间的增加而减少。酸雨的 pH 不同, 则土壤交换性盐基离子所受的影响不同。(3) 与原土壤相比较, 短期 (5 d) 的酸雨淋溶, 可使土壤交换性 Ca^{2+} 、 K^+ 以及强酸性 (pH 3.0) 酸雨淋溶的交换性 Mg^{2+} 增加; 土壤被酸雨较长时间 (10 d) 淋溶后, 则会降低土壤交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的含量; 不同时间的酸雨淋溶, 均会降低土壤交换性 Na^+ 的含量。(4) 土壤经酸雨淋溶后, 某些矿物会发生风化, 释放出盐基离子, 也会使部分交换性盐基离子转成非交换态。

关键词 模拟酸雨; 砖红壤; 盐基离子; 迁移; 释放

中图分类号 S15; X5 **文献标识码** A

酸雨是指 pH < 5.6 的酸性降雨, 是大气中酸性沉降物的一种湿沉降, 是大气遭受酸性气体污染的一种表现。酸雨是人类面临的最严重的环境问题之一^[1]。酸性强、持续时间长的酸雨不仅会直接使鲜花凋谢, 树叶脱落, 农作物枯萎, 建筑物和文物古迹受到腐蚀, 人体健康受到威胁, 而且还会导致江、河、湖泊逐渐酸化, 浮游生物死亡, 土壤中营养物质不断溶出, 造成铝及其他金属对鱼类和植物的危害^[1~3]。在生产林区, 酸雨降落, 使土壤的酸性增强, 养分下降, 森林的生长缓慢、枯黄、甚至死亡^[4]。这些问题的出现, 引起了世界上许多科学家的极大关注。

酸雨进入土壤后会引发土壤内部一系列的化学变化, 包括粘土矿物表面吸附的阳离子与酸雨氢离子交换, 元素淋溶, 粘土矿物风化, 土壤酸化等^[5], 结果导致土壤中的盐基离子发生迁移和释放及某些毒性元素 (铝、锰等) 的释出和活化^[6,7], 进而引起土壤养分含量的变化或毒害。

砖红壤是海南省和湛江市雷州半岛的主要土壤

类型之一, 对该地区农业的发展起着举足轻重的作用。据湛江市环保部门的监测结果, 湛江市历年的酸雨频率都在 50% 以上, 降水 pH 值最低的在 3.5 以下, 属重度污染地区, 且酸雨频率呈上升趋势, 降水 pH 值呈下降趋势, 湛江市受大气降水酸化的程度越来越严重^[8]。本文研究模拟酸雨对砖红壤盐基离子的影响, 旨在为全面评价酸雨的生态效应提供基础数据, 亦可为综合治理退化砖红壤及建立砖红壤退化的预测预报体系提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

样本采集点为玄武岩发育而成的砖红壤芒果园 (取自湛江志满)。样本采集时多点采集有代表性的 0~20 cm 土壤样本, 将采集的土样在自然条件下风干, 过 1 mm 筛, 混匀。样品的基本性质如表 1。

* 广东省自然科学基金项目 (010274、032246) 和广东省科技攻关项目 (2002C5050201、2004B20101017) 资助

† 通讯作者, E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

作者简介: 凌大炯 (1962~), 男, 副教授, 硕士, 主要从事土壤农化和污染生态方面的科研和教学工作。E-mail: zjxyting@163.com

收稿日期: 2005-10-07; 收到修改稿日期: 2006-09-27

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of tested soils

pH	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	交换性阳离子 Exchangeable cations (cmol(+) kg ⁻¹)						BS (%)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	
4.75	22.08	5.838	0.777	0.192	0.241	0.352	0.891	37.82

1.2 模拟酸雨的配制和试验设置

用分析纯硫酸和硝酸按 9:1 来配制模拟酸雨母液,再分别用去离子水配制 pH 为 2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0 的溶液;以去离子水加少量氨水(5 000 ml 去离子水约加含 N 16.8% 的氨水 0.1 ml)配成 pH 7.0 的溶液,共得到 7 个梯度的 pH 溶液。

将土样分为 4 个淋溶时间(5 d、10 d、15 d、21 d)、7 个 pH 值模拟雨水,共 28 个处理,每个处理 3 次重复,每个重复称样 1 000 g 装入内径 10 cm、高 20 cm 的平底塑料桶中。塑料桶底开小孔用以漏水,装土前在桶底铺一层玻璃纤维及二层慢速定量滤纸,装完土样后,在土样表面再放置一层玻璃纤维和一层慢速滤纸以防土粒溅出。

考虑到土壤盐基离子的迁移动态是随降水在土体中的下渗速率而变的,淋溶时将配制好的模拟酸雨以 6 ml min⁻¹ 的速率(相当于当地降水过程在土体中较为普遍的下渗速率)均匀喷淋在滤纸上,让其自行缓慢下渗,渗滤液用漏斗(漏斗上有一层滤纸)导入 500 ml 的容量瓶中收集。为更接近自然降水过程,采用间歇淋入法,使土壤有一定的反应时间。每次淋溶的模拟酸雨量为 250 ml,每隔 24 h 淋溶 1 次,共淋溶 21 次,累积淋溶量分别为 1 250 ml、2 500 ml、3 750 ml、5 250 ml。每淋 500 ml 模拟酸雨收集淋溶样 1 次,每收集 1 次淋出液均进行 pH 值、K、Na、Ca、Mg 的测定,共测定 10 次。

样品停止淋溶后,让其在桶内自行风干,待土壤不粘手时,再将其分散平铺在牛皮纸上进一步风干。样品风干后,过 1 mm 筛,混匀,然后再对土样进行 pH 值、交换性盐基(Ca、Mg、K、Na)的测定。

1.3 理化分析与统计分析方法

淋出液的盐基离子(Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺)直接在岛津原子吸收分光光度计上进行测定,土壤交换性盐基离子采用 1 mol L⁻¹ 中性 NH₄OAc 交换—原子吸收光谱法进行测定,pH 的测定采用电位法^[9]。利用 Excel 软件进行数据计算和方差分析。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨淋溶后土壤盐基离子的迁移动态

2.1.1 Ca²⁺、Mg²⁺ 的迁移动态 各模拟酸雨处理淋溶土壤后 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 迁移的时间动态相似(表 2)。由表 2 可看出,各模拟酸雨处理在前 3 d 的 Ca²⁺、Mg²⁺ 迁移量都比较高,随着酸雨淋溶量的加大(即淋溶时间的增加),pH 2.5 模拟酸雨处理的 Ca²⁺、Mg²⁺ 的迁移量出现一个下降—上升的过程,其余酸度的模拟酸雨处理则出现下降—上升—下降的过程。

pH 2.5 的模拟酸雨淋溶土壤后,Ca²⁺、Mg²⁺ 的迁移量在第 5 天测定时出现一个下降的过程,随后又开始上升,第 9 天以后则出现一个快速增加的过程,第 17 天以后其迁移量的增加又趋平缓。pH 3.0、3.5、4.0 三个处理的 Ca²⁺ 迁移量变化趋势相同,但 pH 3.0 模拟酸雨处理的 Ca²⁺ 迁移量在第 11~21 天均高于前 3 d 的迁移量,pH 4.0~7.0 几个处理的 Ca²⁺、Mg²⁺ 迁移量均以第 3 天的测定值为最高。

盐基离子的大量淋失是酸雨对土壤最基本的影 响。在酸雨作用下,随着 pH 的下降,土壤的正电荷增加,负电荷减少,从而使净电荷减少得更多。这样,不仅对钙离子的吸附量显著减少,而且由于 Ca²⁺ 与土壤的结合能力随 pH 的降低而剧烈减少,所以其吸附的牢固程度也大为减少,使 Ca²⁺ 易于随渗漏水淋失^[10],导致土壤板结、土壤肥力下降。

淋溶初期的 Ca²⁺、Mg²⁺ 迁移量相对较高,Liu 等^[11] 将之归为盐效应的影 响。土壤经过磨碎破坏了原先结构,暴露出大量可交换点,这也是初期迁移量高的一个重要原因。之后 Ca²⁺、Mg²⁺ 迁移量的增加是易风化物分解的结果^[12,13]。

2.1.2 K⁺、Na⁺ 的迁移动态 由表 2 可知,经 pH 2.5 的模拟酸雨淋溶土壤后,K⁺ 的迁移量随淋溶时间的增加呈明显上升趋势。pH 3.0 的模拟酸雨淋

溶土壤后, K^+ 的迁移量在 19 d 前都是随淋溶时间的增加而增加, 19 d 后则出现下降的趋势。pH3.5~5.0 的模拟酸雨淋溶土壤后, K^+ 的迁移量均出现升—降—升—降的变化趋势, 且第二个升—降趋势的出现均很平缓; 总体上表现为, 淋溶初期随淋溶量的增加而增加, 第 13 天开始下降, 第 19 天略有上升, 第 21 天又出现下降。pH7.0 的模拟雨水淋溶土壤后, K^+ 的迁移量只有前 7 d 为上升趋势, 随后则表现为下降的趋势。

各 pH 模拟酸雨淋溶土壤后 Na^+ 的迁移动态表现一致。酸雨淋溶开始时 Na^+ 的迁移量最大, 随着淋溶时间的增加 Na^+ 的迁移量逐渐减少。由此说明, 酸雨淋溶土壤开始时, 酸雨中的 H^+ 与土壤中的交换性 Na^+ 发生交换, 导致土壤中 Na^+ 的大量流失, 随着淋溶的进行, 由于土壤中交换态的 Na^+ 数量减少 (流失和转为非交换态), 以及土壤胶体的吸附作用, Na^+ 的迁移量逐渐减少。

表 2 模拟酸雨淋溶土壤后的淋出液盐基含量

Table 2 Base contents in leachate after leaching with simulated acid rain ($mg L^{-1}$)

淋溶时间 Leaching time	阳离子 Cations	pH2.5	pH3.0	pH3.5	pH4.0	pH4.5	pH5.0	pH7.0
3d	Ca^{2+}	27.02	26.74	26.28	26.50	26.13	26.73	25.87
	Mg^{2+}	2.43	2.49	2.49	2.53	2.28	2.33	2.24
	K^+	2.10	2.35	2.63	2.36	2.01	2.04	2.53
	Na^+	6.18	5.97	5.74	5.08	5.96	5.54	5.45
5d	Ca^{2+}	22.44	20.51	20.30	20.07	20.16	20.97	20.12
	Mg^{2+}	1.82	1.65	1.60	1.65	1.63	1.67	1.64
	K^+	3.11	3.05	2.82	2.84	2.85	2.94	3.52
	Na^+	3.97	3.90	3.62	3.63	4.00	3.77	3.69
7d	Ca^{2+}	23.15	20.94	20.43	20.17	18.48	20.39	19.85
	Mg^{2+}	1.88	1.68	1.66	1.65	1.49	1.64	1.60
	K^+	3.43	3.43	3.62	3.53	3.24	3.53	3.63
	Na^+	2.86	2.74	2.71	2.55	2.45	2.64	2.54
9d	Ca^{2+}	27.74	22.62	20.74	20.63	20.30	20.49	19.44
	Mg^{2+}	2.17	1.82	1.63	1.63	1.60	1.62	1.54
	K^+	4.16	3.86	3.62	3.54	3.52	3.5	3.54
	Na^+	2.38	2.25	2.05	1.86	2.10	1.81	1.76
11d	Ca^{2+}	32.25	27.86	23.98	21.23	20.64	21.12	19.71
	Mg^{2+}	2.49	2.23	1.93	1.71	1.65	1.68	1.56
	K^+	4.65	4.32	3.93	3.60	3.48	3.42	3.5
	Na^+	1.33	1.19	1.24	0.96	1.05	1.13	1.12
13d	Ca^{2+}	42.86	29.80	25.04	22.76	22.49	22.65	20.99
	Mg^{2+}	3.17	2.48	2.23	1.98	1.91	1.94	1.83
	K^+	5.06	4.39	3.61	3.51	3.39	3.38	3.37
	Na^+	0.91	0.87	1.00	0.97	0.83	0.97	1.10
15d	Ca^{2+}	49.15	35.08	28.42	24.35	23.10	21.51	20.77
	Mg^{2+}	3.52	2.69	2.45	2.15	1.97	2.00	1.87
	K^+	5.58	4.76	3.61	3.42	3.28	3.19	3.17
	Na^+	0.78	0.68	0.82	0.80	0.66	0.79	0.86
17d	Ca^{2+}	55.55	33.76	25.76	23.75	21.42	21.53	19.83
	Mg^{2+}	3.80	2.66	2.21	2.04	1.93	1.92	1.82
	K^+	5.85	4.81	3.60	3.38	3.14	3.08	3.06
	Na^+	0.53	0.38	0.67	0.76	0.39	0.46	0.56
19d	Ca^{2+}	58.16	32.91	24.81	22.64	21.58	19.59	18.33
	Mg^{2+}	3.93	2.59	2.19	1.91	1.82	1.81	1.72
	K^+	6.18	4.98	3.76	3.44	3.17	3.13	3.02
	Na^+	0.35	0.18	0.46	0.40	0.17	0.26	0.27
21d	Ca^{2+}	59.46	30.72	22.66	20.51	17.88	16.76	16.17
	Mg^{2+}	4.03	2.44	2.03	1.80	1.72	1.65	1.59
	K^+	6.35	4.76	3.58	3.33	2.98	2.87	2.97
	Na^+	0.34	0.28	0.35	0.51	0.28	0.32	0.31

2.2 模拟酸雨 pH 值与土壤盐基离子迁移量的关系

通过对各 pH 模拟酸雨处理的盐基离子迁移量的方差分析可知,酸雨 pH 对土壤的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 迁移量有极显著影响,对 Na^+ 迁移量的影响不显著;淋溶时间对土壤的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 迁移量的影响极显著;酸雨的 pH 和淋溶时间对土壤盐基离子迁移量的交互影响达极显著水平。

酸雨淋溶土壤后, Na^+ 的迁移量与酸雨的 pH 无关,只是随淋溶时间的不同而不同; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的迁移数量和变化趋势则与酸雨的 pH 值有关。酸雨 pH 愈低, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的迁移数量愈大(表 2)。Wood 和 Bormann^[14]曾报道,pH 3.0 的模拟酸雨使土壤中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等离子明显淋失,而 pH2.3 的酸雨则使土壤的交换性阳离子几乎耗竭。本试验表明,土壤经酸雨淋溶后, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的迁移数量有随酸雨 pH 降低而增加的趋势。由 pH7.0 的雨水到 pH2.5 的酸雨造成的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的迁移总量分别上升了 97.91%、68.28%、43.37%。可见,在低 pH 条件下,砖红壤仍有较多可释放的阳离子;低 pH 的酸雨淋溶会引起酸性土壤中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的大量淋失,随着酸雨 pH 的升高, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的淋失明显减弱。

从元素的迁移率——淋出液中离子含量与原土壤中离子含量之比^[15]来看,当酸雨的 pH 3.0 时, $\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$;pH=2.5 时则是 $\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$;可见,各 pH 模拟酸雨淋溶土壤后,以土壤中的 K^+ 最易于淋失。从离子迁移量来看,

$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$,各 pH 模拟酸雨淋溶土壤后,土壤中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的淋失量最大;这与樊后保等^[14]的研究结果相同。各处理的盐基离子迁移量均小于原土壤中交换性盐基离子含量(表 1、表 2),这是因为受土壤胶体的作用,尽管土壤中交换性盐基离子与酸雨中 H^+ 交换被淋失,但仍有相当大的量被吸附在土壤胶体上^[15]。

2.3 模拟酸雨对土壤交换性盐基离子的动态影响

各 pH 模拟酸雨淋溶不同时间后的土壤交换性盐基离子的变化如表 3 所示。与原土壤相比较,在淋溶的初期(5 d),土壤交换性 Ca^{2+} 、 K^+ 的含量呈上升趋势;经酸雨淋溶 5~21 d 的土壤交换性 Ca^{2+} 、 K^+ 的含量表现为随淋溶时间的增加而减少。当酸雨的 pH 3.5 时,土壤交换性 Ca^{2+} 的含量随酸雨 pH 的升高而升高;当酸雨的 pH 3.5 时,除淋溶 5 d 的外,其土壤交换性 Ca^{2+} 的含量则随酸雨 pH 的升高而降低。除强酸度(pH 3.0)酸雨淋溶的交换性 Mg^{2+} 在前 5 d 表现略有增加外,其余的淋溶时间及 pH 3.5 的酸雨淋溶均随淋溶时间的增加而减少。土壤被酸雨较长时间(10 d)淋溶后,其交换性 K^+ 的含量随酸雨 pH 降低而降低(pH4.0 酸雨淋溶 15 d 的除外),低 pH 酸雨淋溶土壤的时间越长,则土壤交换性 K^+ 的含量下降得越多。土壤经酸雨淋溶后,土壤交换性 Na^+ 的含量均随淋溶时间的增加而减少;当酸雨的 pH 4.0 或酸雨 pH 4.5 而淋溶时间 10 d 时,不同淋溶时间的土壤交换性 Na^+ 的含量均随酸雨 pH 的降低而降低。

表 3 模拟酸雨淋溶土壤后的土壤盐基含量

Table 3 Base contents in soil after leaching with simulated acid rain ($\text{mmol} (+) \text{kg}^{-1}$)

淋溶时间 Leaching time	阳离子 Cations	pH2.5	pH3.0	pH3.5	pH4.0	pH4.5	pH5.0	pH7.0
5d	Ca^{2+}	61.22	61.44	61.59	60.31	61.08	62.31	61.59
	Mg^{2+}	7.89	7.80	7.62	7.58	7.56	7.54	7.53
	K^+	1.94	1.94	1.95	1.96	1.96	1.98	1.98
	Na^+	2.01	2.05	2.11	2.17	1.96	1.95	1.89
10d	Ca^{2+}	54.85	56.71	56.78	55.78	54.98	53.64	54.22
	Mg^{2+}	7.53	7.37	7.15	6.88	6.76	6.97	6.76
	K^+	1.77	1.79	1.81	1.84	1.87	1.91	1.92
	Na^+	1.21	1.39	1.65	1.78	1.30	1.38	1.50
15d	Ca^{2+}	50.22	50.67	53.60	52.74	52.43	52.04	50.79
	Mg^{2+}	6.52	6.36	6.42	5.99	5.97	6.05	5.91
	K^+	1.72	1.76	1.81	1.80	1.83	1.87	1.90
	Na^+	0.95	1.20	1.42	1.60	0.89	1.10	1.32
21d	Ca^{2+}	41.39	43.54	46.01	45.61	45.39	43.07	42.81
	Mg^{2+}	5.19	4.84	4.94	4.92	5.06	5.02	4.55
	K^+	1.60	1.65	1.68	1.71	1.76	1.80	1.79
	Na^+	0.56	0.78	0.95	1.04	0.69	0.71	0.87

方差分析表明,酸雨 pH 对淋溶后的土壤交换性盐基离子含量有极显著或显著(Ca^{2+})影响;淋溶时间对土壤交换性盐基离子量有极显著影响;酸雨 pH 和淋溶时间对土壤交换性盐基离子的交互影响也达极显著水平。

对不同淋溶时间的土壤交换性盐基离子量以及相应淋溶时间淋出液中盐基离子量与原土壤的交换性盐基离子量相比较(表 2、表 3)可知,土壤经酸雨淋溶后,土壤中交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 离子量与淋出液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 离子量之和出现高于或低于原土壤中交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 离子量的现象。这说明土壤经酸雨淋溶后某些矿物会发

生风化,释放出盐基离子,同时也会使部分交换性盐基离子转成非交换态。樊后保^[14]、俞元春^[15]等的研究也表明土壤经酸雨淋溶后,某些矿物会发生风化,释放出盐基离子。

为进一步说明矿物风化输入的阳离子量以及由交换态转为非交换态的离子量,通过下列方程 $\text{WP} = \text{SL} - \text{RI} - (\text{BE} - \text{AF})$ (式中,WP 指风化输入,SL 指土壤淋滤液中含有,RI 表示酸雨输入,BE 和 AF 分别指实验前后土壤中交换性阳离子含量。由于模拟酸雨用去离子水配制,阳离子的含量为零,因此方程中的 RI 项在计算时可略去)^[14],计算出相应的结果列于表 4。

表 4 矿物风化输入土壤的阳离子量

Table 4 Input of soil cations through weathering of soil minerals ($\text{mmol}(+) \text{kg}^{-1}$)

淋溶时间 Leaching time	阳离子 Cations	pH2.5	pH3.0	pH3.5	pH4.0	pH4.5	pH5.0	pH7.0
5d	Ca^{2+}	5.31	5.42	5.54	4.26	5.01	6.32	5.51
	Mg^{2+}	0.47	0.37	0.19	0.16	0.12	0.10	0.08
	K^+	0.15	0.16	0.17	0.17	0.16	0.18	0.20
	Na^+	0.04	0.07	0.11	0.14	0.00	-0.04	-0.10
10d ¹⁾	Ca^{2+}	2.99	4.13	3.91	2.82	1.88	0.73	1.08
	Mg^{2+}	0.65	0.41	0.14	-0.13	-0.29	-0.06	-0.30
	K^+	0.29	0.3	0.31	0.33	0.34	0.39	0.43
	Na^+	-0.45	-0.3	-0.07	0.00	-0.41	-0.37	-0.26
15d	Ca^{2+}	3.07	1.47	3.48	2.15	1.62	1.35	-0.25
	Mg^{2+}	0.21	-0.16	-0.18	-0.67	-0.76	-0.65	-0.84
	K^+	0.52	0.51	0.50	0.46	0.46	0.50	0.54
	Na^+	-0.66	-0.44	-0.24	-0.12	-0.76	-0.56	-0.33
21d	Ca^{2+}	2.90	-0.79	-0.45	-1.64	-2.38	-4.72	-5.52
	Mg^{2+}	-0.14	-1.04	-1.13	-1.26	-1.21	-1.23	-1.77
	K^+	0.87	0.77	0.65	0.63	0.64	0.68	0.70
	Na^+	-1.00	-0.83	-0.65	-0.61	-0.94	-0.93	-0.77

1) 10 d 的矿物风化输入量按表 2 中第 9 天和第 11 天淋出液离子量的平均值算出第 10 天的淋出液相应离子含量后计算 The 10th day's input of soil cations through weathering of soil minerals are accounted according to the average of the 9th and the 11th day in table 2

表 4 表明,各 pH 模拟酸雨淋溶土壤后, Ca^{2+} 的矿物风化输入量随淋溶时间的增加而减少,淋溶 21 d 后除 pH2.5 的酸雨处理外,其余 pH 处理均为负数; Mg^{2+} 的矿物风化输入量总体表现也为随淋溶时间的增加而减少,且随淋溶时间的增加,其矿物风化输入量逐渐转为负数,淋溶 21 d 后,则全部 pH 处理均为负数; K^+ 的矿物风化输入量随淋溶时间的增加而增加(这是因为 K^+ 在砖红壤矿物中的结合力较大,随着酸雨的输入,土壤的酸化程度加强, K^+ 的结

合力受到破坏的缘故); Na^+ 的矿物风化输入量除 pH 4.5 的酸雨淋溶 5 d 外,其余的均为负数。这些进一步说明:土壤经酸雨淋溶后某些矿物会发生风化,释放出盐基离子,同时也会使部分交换性盐基离子转成非交换态;短期(5 d)的酸雨淋溶,有利于砖红壤 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的矿物风化;较长时间(10 d)的酸雨淋溶,则会导致已风化进入土壤的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 转成非交换态,甚至原土壤交换态的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 也会转成非交换态,但有利于 K^+ 的矿物风化

进入土壤;除强酸性酸雨(pH 4.0)短期(5 d)淋溶土壤外,Na⁺只发生淋溶淋失和由交换态转为非交换态,而不发生矿物风化。

与原土壤相比较,短期(5 d)的酸雨淋溶,可使土壤交换性Ca²⁺、K⁺以及强酸性(pH 3.0)酸雨淋溶的交换性Mg²⁺增加(表3),这是因为土壤经酸雨淋溶后,某些矿物发生风化后释放出的离子量大于该离子的淋失量所致。土壤被酸雨较长时间(7 d)淋溶后的交换性Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺离子量以及不同时间酸雨淋溶的交换性Na⁺离子量比原土壤低,这是由于土壤经酸雨淋溶后,某些矿物发生风化后释放出的离子量小于该离子的淋失量或者是因为该离子由交换态转为非交换态所造成(表2、表4)。土壤被酸雨较长时间(10 d)淋溶后,交换性K⁺的含量随酸雨pH降低而降低(表3),是因为这时K⁺的淋失量随酸雨pH的降低而加大(表2)。当酸雨的pH 4.0或酸雨pH 4.5而淋溶时间10 d时,不同淋溶时间的土壤交换性Na⁺的含量均随酸雨pH的降低而降低(表3),这是因为Na⁺的矿物风化输入量随酸雨pH的降低而降低或由交换态转为非交换态的量随酸雨pH的降低而加大(表4)。

以上说明,长期酸雨淋溶会导致土壤的交换性盐基离子含量显著降低,也会导致土壤养分库的损耗,造成土壤板结和养分贫瘠。

3 结 论

1) 酸雨淋溶土壤会引起土壤盐基离子的大量淋失。从元素的迁移率来看,以土壤中的K⁺最易于淋失;从离子迁移量来看,则土壤中Ca²⁺、Mg²⁺的淋失量最大。酸雨pH愈低,Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺的迁移量愈大。酸雨淋溶土壤的时间越长,盐基离子的迁移量越大。

2) 酸雨pH对土壤的Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺迁移量有极显著影响,对Na⁺的迁移量影响不显著;淋溶时间对土壤的Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺迁移量的影响极显著;酸雨的pH和淋溶时间对土壤盐基离子迁移量的交互影响达极显著水平。

3) 各pH模拟酸雨淋溶土壤5 d后,土壤交换性Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺的含量随淋溶时间的增加而减少。土壤被酸雨较长时间(10 d)淋溶后,当酸雨的pH 3.5时,土壤交换性Ca²⁺的含量随酸雨pH的升高而升高;当酸雨的pH 3.5时,土壤交换性Ca²⁺的含量则随酸雨pH的升高而降低;土壤交

换性K⁺的含量有随酸雨pH降低而降低的趋势。当酸雨的pH 4.0或酸雨pH 4.5而淋溶时间10 d时,不同淋溶时间的土壤交换性Na⁺的含量均随酸雨pH的降低而降低。

4) 与原土壤相比较,短期(5 d)的酸雨淋溶,可使土壤交换性Ca²⁺、K⁺以及强酸性(pH 3.0)酸雨淋溶的交换性Mg²⁺增加;土壤被酸雨较长时间(10 d)淋溶后,则会降低土壤交换性Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺的含量;不同时间的酸雨淋溶,均会降低土壤交换性Na⁺的含量。

5) 酸雨pH对淋溶后的土壤交换性盐基离子含量有极显著或显著(Ca²⁺)影响;淋溶时间对土壤交换性盐基离子量有极显著影响;酸雨pH和淋溶时间对土壤交换性盐基离子的交互影响达极显著水平。

6) 土壤经酸雨淋溶后,某些矿物会发生风化,释放出盐基离子,也会使部分交换性盐基离子转成非交换态,长期酸雨淋溶会导致土壤的交换性盐基离子含量显著降低,也会导致土壤养分库的损耗,造成土壤养分贫瘠。

参 考 文 献

- [1] 黎秉铭,江成忠,曾世光,等. 酸雨对土壤中铝等金属元素的影响及其迁移机理的研究. 环境科学丛刊,1989,10(3):33~40. Li B M, Jiang C Z, Zeng S G, et al. Study on the impacts of acid rain on aluminum and other metallic elements in soil and their translocation mechanisms(In Chinese). Series of Environmental Sciences,1989,10(3):33~40
- [2] 张毅,译. 酸雨研究百年及其演变. 国外环境科学技术,1994(1):37~40. Zhang Y, trans. One century researches and development of acid rain (In Chinese). Foreign Environmental Sciences and Technology,1994(1):37~40
- [3] 瑞典农业部. 环境酸化的现象及展望. 姜帮华,等译. 北京:科学出版社,1989. 1~60. The Department of Agriculture of Sweden. Issues on Environmental Acidification and Its Perspective (In Chinese). Jiang B H, et al. trans. Beijing: Science Press,1989. 1~60
- [4] Xu C K, Hu Z Y, Cai Z C, et al. Atmospheric sulfur deposition for a red soil broadleaf forest in Southern China. Pedosphere, 2004, 14(3):323~330
- [5] Hutchings T, Scurrill M S. Direct partial oxidation of methane: Effect of oxidation on the reaction. Appl. Catal., 1988, 38:157~165
- [6] 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. 土壤学报,2003,40(3):380~385. Guo Z H, Huang C Y, Liao B H. Effect of simulated acid rain on release of aluminum and dissolved organic matter (DOM) and mobility of heavy metals in contaminated red soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(3):380~385

- [7] 许信玲,肖祥希,谢一青,等. 果园土壤酸化及铝毒矫治的研究. 土壤, 2005, 37(5) :541 ~ 544. Xu X L, Xiao X X, Xie Y Q, et al. Acidification of orchard soil and remediation of soil aluminum toxicity (In Chinese). Soils, 2005, 37(5) :541 ~ 544
- [8] 黄婉. 湛江市区酸雨成因及防治对策. 中国环保产业, 2004, 6: 22 ~ 24. Huang W. Cause of formation of acid rain and countermeasures in city areas of Zhanjiang (In Chinese). Chinese Environment Protection Information, 2004, 6: 22 ~ 24
- [9] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 74, 166, 177 ~ 190. The Committee of Agricultural Chemistry, Soil Science Society of China. General Analysis Method of Soil and Agri-chemistry (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983. 74, 166, 177 ~ 190
- [10] 陈建芳,戎秋涛,刘建明,等. 模拟酸雨对不同层次的红壤元素迁移作用的影响. 农业环境保护, 1996, 15(4) :150 ~ 154. Chen J F, Rong Q T, Liu J M, et al. The influence of simulated acid rain on the element transportation in different red loam layer (In Chinese). Agro-environmental Protection, 1996, 15(4) :150 ~ 154
- [11] Liu K H, Mansell R S, Rhue R D, et al. Cation removal during application of acid solution into air dry soil columns. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 1 747 ~ 1 753
- [12] 仇荣亮,董汉英,吕越娜,等. 南方土壤酸沉降敏感性研究——盐基淋溶与缓冲机理. 环境科学, 1997, 18(5) :23 ~ 27. Qiu R L, Dong H Y, Lu Y N, et al. The study on soil sensibility to acid precipitation in South China ——Base ions leaching and buffering mechanisms (In Chinese). Environmental Science, 1997, 18(5) : 23 ~ 27
- [13] 岑慧贤,仇荣亮,杨平. 土壤酸沉降缓冲机制的探讨. 环境科学研究, 2000, 13(2) :49 ~ 54. Cen H X, Qiu R L, Yang P. Discussion on soil buffering mechanisms of acid precipitation (In Chinese). Research of Environmental Sciences, 2000, 13(2) :49 ~ 54
- [14] 樊后保,林德喜. 模拟酸雨对福建四种山地土壤的淋溶与风化作用. 山地学报, 2002, 20(5) : 570 ~ 577. Fan H B, Lin D X. Leaching and weathering effects of simulated acid rain on four types of mountain soils in Fujian, China (In Chinese). Journal of Mountain Science, 2002, 20(5) :570 ~ 577
- [15] 俞元春,丁爱芳,胡笏,等. 模拟酸雨对土壤酸化和盐基迁移的影响. 南京林业大学学报, 2001, 25(2) :39 ~ 42. Yu Y C, Ding A F, Hu J, et al. Effects of simulated acid rain on soil acidification and base ions transplant (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University, 2001, 25(2) :39 ~ 42

INFLUENCES OF SIMULATED ACID RAIN ON LEACHING AND RELEASE OF BASE IONS IN LATOSOL

Ling Dajiong¹ Zhang Jiaen^{2†} Huang Qianchun¹ Han Weidong¹ Ouyang Ying³

(1 College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

(2 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(3 Department of Water Resources, St. Johns River Water Management District, Palatka, Florida, USA)

Abstract An experiment of leaching of latosol developed from basalt with simulated acid rain was carried out. Results show 1) simulated acid rain caused a large amount of leaching loss of soil base ions, among which potassium was the easiest to get leached and calcium and magnesium were the highest in amount; the lower the pH values and the longer the duration of simulated acid rain, the higher the leaching amount of soil base ions; 2) after 5 days of leaching with simulated acid rain, the amount of soil exchangeable base ions decreased with the increase in leaching time; and the effect varied with pH of the simulated acid rain; 3) a short-time of leaching (5 d) increased contents of soil exchangeable Ca^{2+} , K^+ , and the content of Mg^{2+} (when pH was 3.0) in the soil; however, a long-time of leaching (10 d) did reversely; and the content of soil exchangeable Na^+ was always decreased no matter how long the leaching time was; and 4) leaching with simulated acid rain, triggered weathering of some soil minerals, thus releasing base ions, and turning some soil exchangeable ions into non-exchangeable ones as well.

Key words Simulated acid rain; Latosol; Base ion; Leaching; Release