

# 模拟酸雨和几种低分子量有机酸淋溶 对土壤交换性盐基的影响<sup>①</sup>

李平<sup>1,2</sup>, 王兴祥<sup>1\*</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 采用原状土柱进行模拟淋溶实验, 比较研究了模拟酸雨和几种低分子量有机酸对红壤交换性盐基的影响。结果表明: 与去离子水对照相比, pH 3.5 和 pH 4.5 模拟酸雨淋洗后, 0~20 cm 土层土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量增加了 5.19%~14.65%, 而这种增加主要发生在 10~20 cm 土层。100  $\mu\text{mol/L}$  和 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后, 0~20 cm 土层土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量与模拟酸雨淋洗后的结果相差不大, 有的层次甚至还要稍低; 而在 20~50 cm 土层则增加了 10.42%~96.41%。有机酸淋洗后, 土壤交换性盐基的增加受矿物溶解和盐基迁移两方面的影响, 而下层的增加可能主要是盐基迁移的影响, 由此可见有机酸或许加快了盐基离子向下迁移的速度和土壤酸化过程。

**关键词:** 模拟酸雨; 低分子量有机酸; 淋溶; 土壤交换性盐基

**中图分类号:** S153

低分子量有机酸广泛存在于土壤中, 它主要来源于有机残体的分解、微生物的代谢、植物根系的分泌和施入土壤有机物的转化<sup>[1]</sup>。已有的研究成果表明, 低分子量有机酸可以促进土壤矿物的风化, 从土壤矿物中溶解出各种阳离子<sup>[2-4]</sup>, 影响养分的有效性<sup>[5-9]</sup>和土壤的吸附解吸特征<sup>[10-11]</sup>, 这在高温多雨的红壤地区可能会加速盐基离子的淋失, 从而可能加剧酸性土壤的酸化。

因此, 本文通过模拟土柱淋溶实验, 以去离子水淋溶为对照, 比较研究模拟酸雨及几种低分子量有机酸淋溶对土壤交换性盐基含量的影响, 从而进一步探讨低分子量有机酸在土壤酸化过程中所起的作用。

## 1 材料与方 法

本实验采用原状土柱淋溶的方法, 土柱采自中国科学院红壤生态实验站水土保持实验区荒草地, 土壤黏土矿物组成为: 31.2% 高岭石、23.7% 蒙脱石、20.8% 白云母、13.4% 针铁矿、5.3% 三水铝石、3.2% 钠长石、1.5% 无定型铝、0.9% 金红石, 土壤

剖面其他理化性质见前文<sup>[12]</sup>。实验共设 15 个处理, 每个处理 4 个重复, 详见前文<sup>[12]</sup>。采用间歇淋溶法, 每隔 7 天用 1000 ml 去离子水 (CK)、模拟酸雨及几种低分子量有机酸溶液进行淋洗, 收集每次的淋出液。实验结束后, 将 PVC 管内的土柱按 0~5、5~10、10~15、15~20、20~30、30~40、40~50 cm 分 7 层取出, 土壤自然风干后, 研磨过 60 目筛备用, 并测定每个层次土壤的交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  含量, 其中土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$  的测定方法为乙酸铵交换-火焰光度法<sup>[13]</sup>, 土壤交换性  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的测定方法为乙酸铵交换-原子吸收分光光度法<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 模拟酸雨淋溶对土壤交换性盐基的影响

由图 1、2 可知, 模拟酸雨淋洗后, 土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量均要高于 CK。盐基离子含量的增加主要发生在 0~20 cm 土层, 而在 20~50 cm 土层, 酸雨淋洗后各盐基离子含量与 CK 相差不大。与 CK 相比, pH 3.5 和 pH 4.5 模拟酸雨淋洗后 0~20 cm 土层土壤交换性  $K^+$  平均含量为 0.113

<sup>①</sup>基金项目: 国家自然科学基金项目 (40371067) 和中国科学院创新方向项目 (KZCX3-SW-417 和 ISSASIP0208) 资助。

\* 通讯作者 (xxwang@issas.ac.cn)

作者简介: 李平 (1982—), 男, 江西吉水人, 博士研究生, 主要从事红壤资源、农业生态的研究。E-mail: pli@issas.ac.cn; my\_daily2004@163.com

cmol/kg 和 0.110 cmol/kg, 分别比 CK 的 0.105 cmol/kg 增加了 7.70% 和 5.19%; 土壤交换性 Na<sup>+</sup> 平均含量为 0.087 cmol/kg 和 0.082 cmol/kg, 分别比 CK 的 0.077 cmol/kg 增加了 13.12% 和 6.95%; 土壤交换性 Ca<sup>2+</sup> 平均含量为 0.331 cmol/kg 和 0.329 cmol/kg, 分别比 CK 的 0.311 cmol/kg 增加了 6.21% 和 5.87%; 土壤交换性 Mg<sup>2+</sup> 平均含量为 0.080

cmol/kg 和 0.078 cmol/kg, 分别比 CK 的 0.069 cmol/kg 增加了 14.65% 和 12.26%。从图 1 还可以看出, 交换性 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 的增幅在 10 ~ 20 cm 土层要大于 0 ~ 10 cm 土层, 这可能是因为 0 ~ 10 cm 土层土壤矿物释放的部分 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 随淋洗液迁移到 10 ~ 20 cm 土层后又被土壤胶体吸附的缘故。

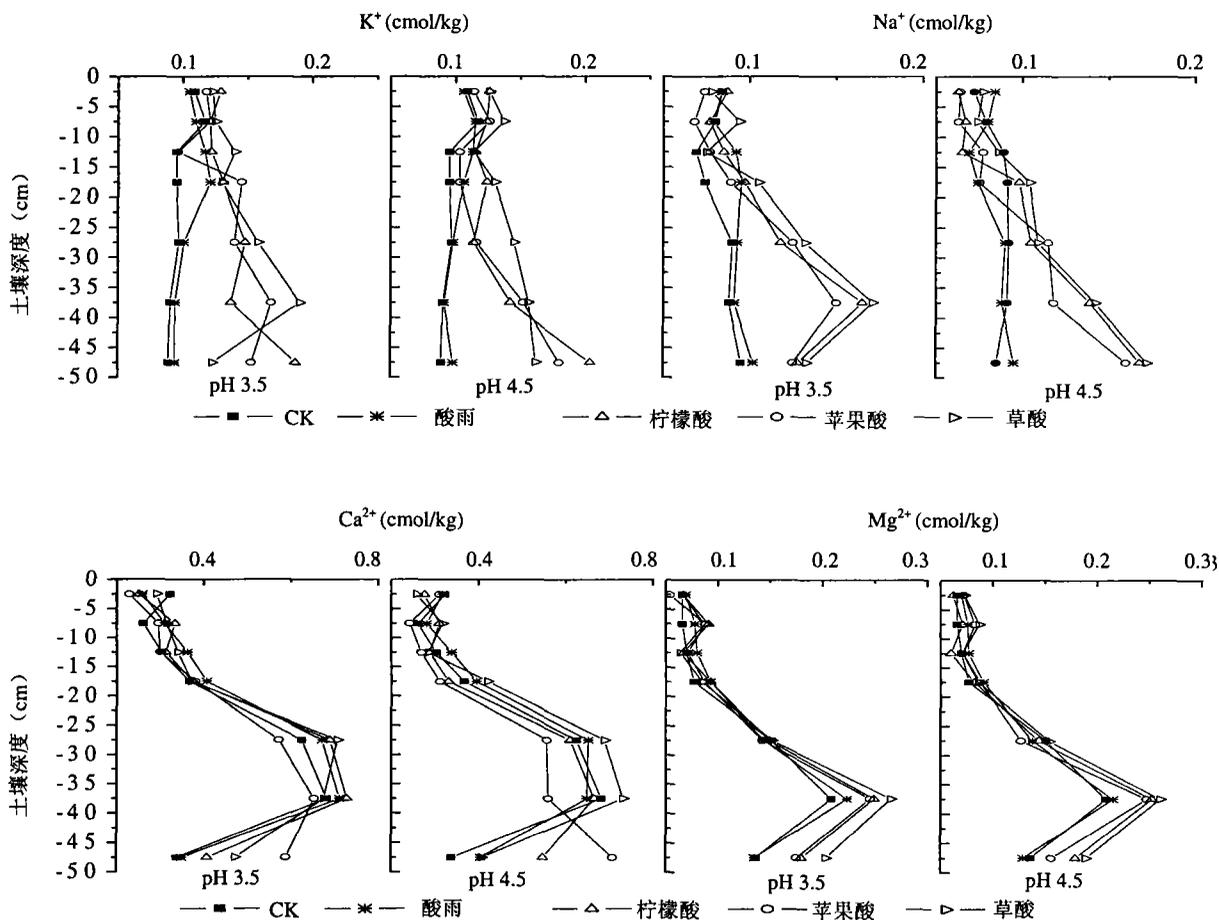


图 1 模拟酸雨与低浓度 (100 μmol/L) 的有机酸淋溶对土壤交换性盐基的影响

Fig. 1 Effects of leaching with simulated acid rain and low-concentration organic acids on soil exchangeable base

不同酸度的模拟酸雨淋洗后土壤交换性盐基含量的增加是土壤对酸雨的缓冲作用造成的。廖柏寒<sup>[14]</sup>的研究结果表明, 土壤中存在初级和次级缓冲体系, 初级缓冲体系为缓冲能力小但反应较为迅速的阳离子交换缓冲过程, 次级缓冲体系则是缓冲能力较大但动力学上较慢的土壤矿物风化缓冲过程。同时阴离子吸附、黏土的铝边缘和铝氧化物的溶解也

对土壤缓冲酸沉降有一定的作用<sup>[15-16]</sup>。在模拟酸雨淋洗的初始阶段, 对酸雨起缓冲作用的主要是初级缓冲体系, 酸雨中的 H<sup>+</sup> 与土壤中的盐基离子发生交换反应, 在消耗了部分 H<sup>+</sup> 的同时使部分盐基离子向下部土层迁移。随着淋溶的不断进行, 大量的 H<sup>+</sup> 进入土壤从而破坏了土壤初级缓冲体系, 这样次级缓冲体系开始发挥作用, 土壤矿物在 H<sup>+</sup> 的作用

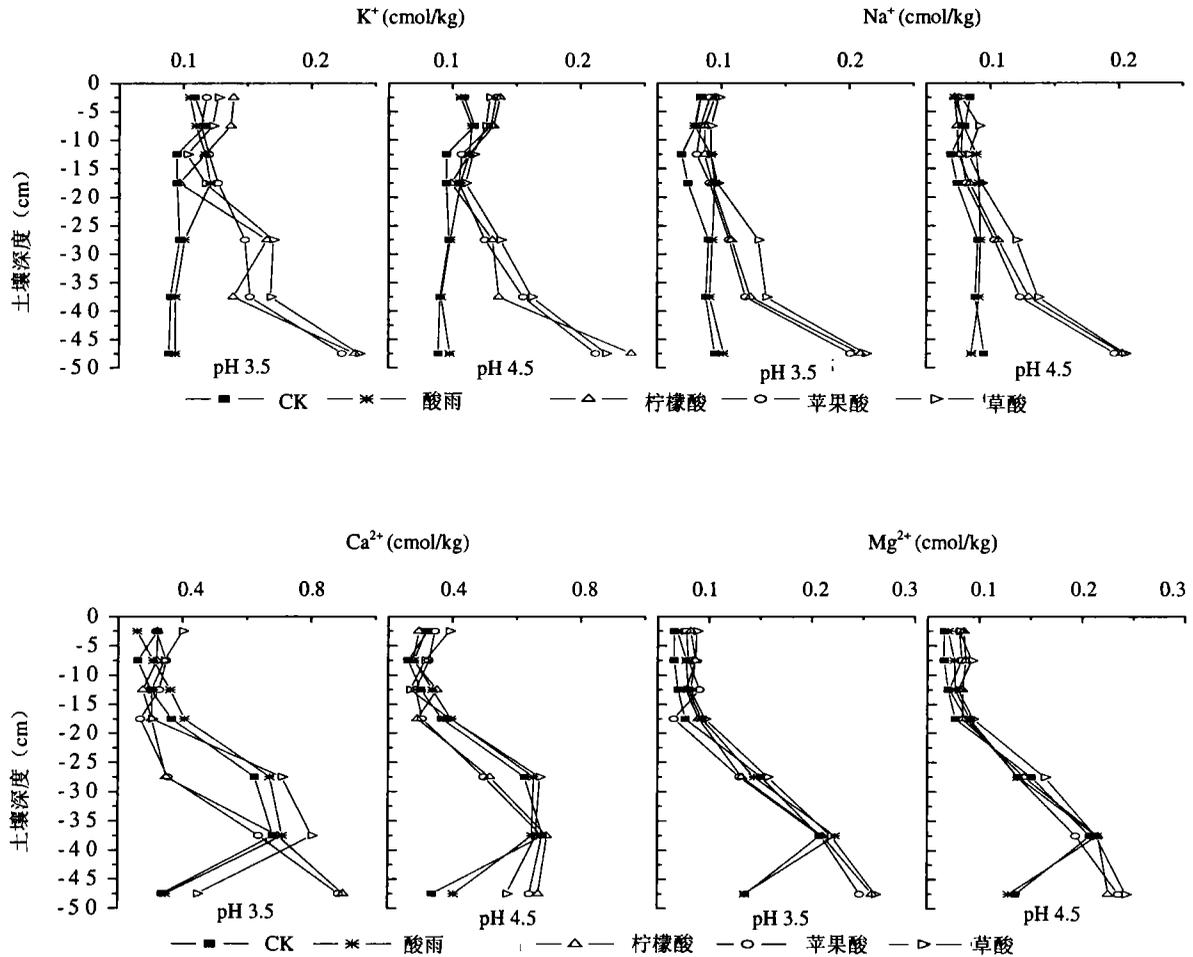


图 2 模拟酸雨与高浓度 (10 mmol/L) 的有机酸淋溶对土壤交换性盐基的影响

Fig.2 Effects of leaching with simulated acid rain and high-concentration organic acids on soil exchangeable base

下发生风化分解作用从而消耗酸雨中的  $H^+$  并释放出大量的盐基离子。从图 1 可以看出, pH 3.5 酸雨淋洗后土壤交换性盐基的增幅要大于 pH 4.5 酸雨, 这是因为土壤矿物的风化作用是以酸性水解反应为主要过程<sup>[17-18]</sup>, 因此, 反应环境的  $H^+$  浓度是风化动力学的一个重要控制因子<sup>[17]</sup>。酸雨的 pH 越低, 它含的  $H^+$  就越多, 土壤矿物的风化作用就越强, 矿物释放出来的盐基离子含量就越多, 土壤交换性盐基含量的增幅也就越大。此外, 酸雨淋洗后土壤盐基离子的迁移过程主要发生在 0~20 cm 土层, 这也说明酸雨对土壤酸化的作用主要在这一层次, 王代长等<sup>[19]</sup>也有相似的研究结果。吴甫成等<sup>[20]</sup>有关近 20 年来衡山土壤酸化情况的研究结果也表明, 在酸沉降的影响下, 土壤酸化有一个由表及里的过程。

## 2.2 低分子量有机酸淋溶对土壤交换性盐基的影响

图 1 和 2 还显示了浓度为 100  $\mu\text{mol/L}$  和 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后各层次土壤交换性盐基离子含量的变化。在相同 pH 条件下, 100  $\mu\text{mol/L}$  和 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后各层次土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  离子含量与模拟酸雨处理相比有所不同。

对于交换性  $K^+$  而言, 有机酸淋洗后 0~20 cm 土层土壤交换性  $K^+$  含量与模拟酸雨处理相差不大, 有的层次甚至还要稍低, 而在 20~50 cm 土层则有明显的增加。与模拟酸雨处理相比, pH 为 3.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20~50 cm 土层土壤交换性  $K^+$  含量分别增加了 61.75%、59.47% 和 64.66%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸

和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $K^+$  含量分别增加了 82.85%、78.55% 和 96.41%。pH 为 4.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $K^+$  含量分别增加了 58.38%、55.30% 和 61.85%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $K^+$  含量分别增加了 73.64%、69.54% 和 79.32%。

有机酸淋洗后土壤交换性  $Na^+$  含量与  $K^+$  有相似的变化趋势。与模拟酸雨处理相比, pH 为 3.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Na^+$  含量分别增加了 46.60%、42.50% 和 55.39%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Na^+$  含量分别增加了 52.67%、47.67% 和 66.11%。pH 为 4.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Na^+$  含量分别增加了 46.94%、40.31% 和 50.82%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Na^+$  含量分别增加了 54.96%、49.30% 和 63.71%。

对于交换性  $Ca^{2+}$  而言, 与模拟酸雨处理相比, pH 为 3.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Ca^{2+}$  含量分别增加了 5.59%、3.23% 和 6.62%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Ca^{2+}$  含量分别增加了 8.56%、4.55% 和 13.27%。pH 为 4.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Ca^{2+}$  含量分别增加了 5.72%、4.24% 和 7.49%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Ca^{2+}$  含量分别增加了 8.21%、4.73% 和 10.27%。

有机酸淋洗后土壤交换性  $Mg^{2+}$  含量的变化趋势与  $Ca^{2+}$  相似。与模拟酸雨处理相比, pH 为 3.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Mg^{2+}$  含量分别增加了 14.51%、11.51% 和 22.49%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Mg^{2+}$  含量分别增加了 16.55%、13.74% 和 24.08%。pH 为 4.5 时, 100  $\mu\text{mol/L}$  的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Mg^{2+}$  含量分别增加了 18.42%、10.42% 和 24.44%; 10 mmol/L 的柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $Mg^{2+}$  含量分别增加了 19.38%、15.03% 和 26.18%。

由上所述可知, 有机酸淋洗后 0 ~ 20 cm 土层交换性盐基离子含量与模拟酸雨处理相差不大, 有的层次还要稍低, 但在 20 ~ 50 cm 土层交换性盐基离子含量均高于模拟酸雨处理。在淋溶的初期, 土壤还处于初级缓冲体系, 缓冲能力较小, 在有机酸作用下土壤矿物释放出大量的盐基离子。随着淋溶的不断进行, 上层土壤释放的盐基离子随淋洗液不断向下层迁移, 这可能是 20 ~ 50 cm 土层交换性盐基离子含量比模拟酸雨淋洗后显著增加的主要原因, 从图 1、2 也可以看出, 在 20 ~ 50 cm 土层盐基离子增加的幅度最明显。土壤中  $K^+$ 、 $Na^+$  的移动性比较强, 它们很容易由上层土壤向下层移动;  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的移动性虽然没有  $K^+$  和  $Na^+$  强, 但它们仍然有一个向下迁移的趋势。同时, 土壤交换性  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的增加幅度小于交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ , 这是因为土壤本身交换性  $K^+$ 、 $Na^+$  含量比交换性  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  含量要低, 故其相对增加幅度更大。由此可见, 本实验中用相当于 1 年降雨量的模拟酸雨和低分子量有机酸溶液淋洗后, 在 0 ~ 50 cm 的土层内仍有比较明显的盐基离子向下迁移的现象发生, 长期下去上层土壤中的盐基离子将向更深的土层迁移从而加速上层土壤的酸化过程。

有机酸淋洗后土壤交换性盐基离子含量的增加也是土壤缓冲有机酸酸化作用的一种表现, 而这种增加是有机酸解离的  $H^+$  和有螯合能力的有机配体共同作用的结果<sup>[21]</sup>。首先, 由于供试的各低分子量有机酸溶液均是有一定酸度的水溶液, 它进入土壤后, 溶液中的  $H^+$  被矿物表面吸附, 降低了表面能。被吸附的  $H^+$  与矿物内、外表面及结构中的离子发生交换反应, 被交换的离子发生解析, 离开矿物表面或结构进入溶液, 实现了矿物在酸性水溶液中的溶解, 从而释放出大量的盐基离子<sup>[22]</sup>。其次, 在有机酸溶液中, 邻位带羟基和羧基的小分子有机酸很容易与矿物结构中的金属离子形成金属-有机复合物<sup>[23]</sup>, 因此加速了矿物的分解<sup>[24]</sup>。Stumm 等<sup>[25]</sup>认为: 矿物表面羟基的质子化以及矿物内表面有机配位复合物的形成必然导致金属-氧键不断变弱, 因此促进了矿物的分解。除此之外, 土壤化学组成、原子键以及晶体结构在有机酸促进土壤矿物盐基离子释放的过程中也起到了一定的作用<sup>[26]</sup>。

不同有机酸淋洗后, 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性盐基含量增幅的大小顺序为: 草酸 > 柠檬酸 > 苹果酸。由于 3 种有机酸离解常数的不同, 使相同浓

度和 pH 条件下各有机酸解离出的  $H^+$  和有机配体数量不同, 同时不同有机配体与盐基离子的螯合能力也不同, 这些不同点使不同有机酸在活化释放土壤矿物盐基离子方面存在一定的差异。

土壤酸度与土壤交换性酸和交换性盐基含量密切相关。刘世全等<sup>[27]</sup>在研究了西藏酸性土壤的酸度特征后发现, 土壤 pH 与土壤交换性酸呈近线性的负相关, 与盐基饱和度呈非线性正相关。同时, 土壤的酸性强度主要随土壤交换性 Al 含量及其在交换性酸中的相对比例的增加而加强。从前文<sup>[12]</sup>的结果可知, 各低分子量有机酸淋洗后土壤交换性 Al 含量的大小顺序为: 柠檬酸 > 草酸 > 苹果酸, 土壤 pH 的大小顺序为: 柠檬酸 < 草酸 < 苹果酸。而本文结果表明, 土壤交换性盐基含量的大小顺序为: 草酸 > 柠檬酸 > 苹果酸, 与土壤交换性 Al 含量的大小顺序稍有不同, 这可能是有机酸与 Al 和盐基离子之间螯合能力的不同造成的。土壤 pH 的大小顺序说明对土壤酸度起主导作用的是土壤交换性 Al 含量<sup>[27]</sup>。

虽然在模拟酸雨和低分子量有机酸的作用下, 土壤矿物会释放出盐基离子, 从而增加土壤交换性盐基含量, 但是交换性盐基在土壤中还有一个由上向下迁移的趋势, 下层土壤盐基的增加可能主要是由于上层土壤盐基向下迁移的影响。如果加大酸雨和有机酸的淋洗量, 延长淋洗的时间, 盐基离子有可能向更深层次的土壤迁移甚至淋出土壤进入地下水, 而盐基的淋失有可能加剧土壤酸化的进程, 在高温多雨的红壤地区这一情况更为严重。由此可见, 模拟酸雨和低分子量有机酸淋洗后仍然能对土壤起到酸化的作用。

### 3 结论

(1) 不同酸度的模拟酸雨淋洗后, 土壤交换性盐基离子的含量均要高于 CK, 且这种增加主要发生在 0 ~ 20 cm 土层。与 CK 相比, pH 3.5 和 pH 4.5 模拟酸雨淋洗后 0 ~ 20 cm 土层土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量增加了 5.19% ~ 14.65%。

(2) 柠檬酸、苹果酸和草酸淋洗后, 0 ~ 20 cm 土层土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量与模拟酸雨淋洗后相差不大, 而 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  含量比模拟酸雨淋洗后有显著增加, 其中  $K^+$ 、 $Na^+$  的增加幅度比  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  大。由结果分析可知, 低分子量有机酸的淋洗

加速了土壤矿物分解和盐基离子向下迁移的速度, 而这种迁移有可能加速土壤酸化的进程。

(3) 相同浓度和 pH 条件下, 不同有机酸淋洗后, 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性盐基含量增幅的大小顺序为: 草酸 > 柠檬酸 > 苹果酸。有机酸的浓度越高, 20 ~ 50 cm 土层土壤交换性盐基含量越高; 有机酸的 pH 越低, 土壤交换性盐基含量越高。下层土壤交换性盐基含量越高表明其土壤矿物分解和盐基离子向下迁移速度越快。

### 参考文献:

- [1] 莫淑勋. 土壤中有机的产生、转化及对土壤肥力的影响. 土壤学进展, 1986, 4 (1): 1-10
- [2] Tan KH. Degradation of soil minerals by organic acids // Huang PM. Schnitzer M. Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. Soil Science Society of American Journal, 1986, 50:1-28
- [3] 徐仁扣, 季国亮, 蒋新. 低分子量有机酸对高岭石中铝释放的影响. 土壤学报, 2002, 39 (3): 334-340
- [4] Blake RE, Walter LM. Kinetics of feldspar and quartz dissolution at 70-80°C and near-neutral pH: Effects of organic acids and NaCl. Geochim. Cosmochim. Acta., 1999, 63: 2043-2059
- [5] 曾清如, 周细红, 廖柏寒, 杨仁斌, 铁柏青. 低分子量有机酸对茶园土壤 Al、F、P、Cu、Zn、Fe、Mn 的活化效应. 茶叶科学, 2001, 21 (1): 48-52
- [6] 陆文龙, 曹一平, 张福锁. 根分泌的有机酸对土壤磷和微量元素的活化作用. 应用生态学报, 1999, 10 (3): 379-382
- [7] Chen YL, Han SJ, Zou CJ, Zhou YM, Cheng GL. Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil. Journal of Forestry Research, 2002, 13(2):115-118
- [8] 胡红青, 廖丽霞, 王兴林. 低分子量有机酸对红壤无机磷转化及酸度的影响. 应用生态学报, 2002, 13 (7): 867-870
- [9] Feng K, Lu HM, Sheng HJ, Wang XL, Mao J. Effect of organic ligands on biological availability of inorganic phosphorus in soils. Pedosphere, 2004, 14 (1): 85-92
- [10] Xu RK, Yang ML, Wang QS, Ji GL. Effect of low-molecular-weight organic acids on  $Cl^-$  adsorption by variable charge soils. Pedosphere, 2004, 14 (3): 405-408
- [11] Liao M, Xie XM. Cadmium release in contaminated soils

- due to organic acids. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 223-228
- [12] 李平, 王兴祥. 几种低分子量有机酸淋溶对土壤 pH 和交换性铝的影响. *土壤*, 2005, 37 (6): 669-673
- [13] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 32-33
- [14] 廖柏寒, 李长生. 土壤对酸沉降缓冲机制探讨. *环境科学*, 1989, 10 (1): 30-34
- [15] Liu KH, Mansell RS, Rhue RD. Cation removal during application of acid solutions into air dry soil columns. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54: 1747-1753
- [16] 康敏捷, 金桓镛, 王明光. 模拟酸雨对莲花池森林土壤阳离子淋溶作用. *中国农业化学会志*, 1995, 34 (1): 41-53
- [17] Qiu RL, Wu Q, Zhang YN. Solid components and acid buffering capacity of soils in South China. *Journal of Environmental Science*, 1998, 10 (2): 85-92
- [18] 刘全友. 模拟酸雨对森林土壤风化影响的研究. *环境科学学报*, 1993, 13 (1): 32-37
- [19] 王代长, 蒋新, 贺纪正, 赵振华, 孙磊, 郜红军. 模拟酸雨对阳离子在土体内迁移的影响. *地球化学*, 2004, 33 (1): 46-52
- [20] 吴甫成, 彭世良, 王晓燕, 陈咏淑. 酸沉降影响下近 20 年来衡山土壤酸化研究. *土壤学报*, 2005, 42 (2): 219-224
- [21] Song SK, Huang PM. Dynamics of potassium release from potassium bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52: 383-390
- [22] 蒋引珊, 金为群, 权新君, 王玉洁, 董振亮. 黏土矿物酸溶解反应特征. *长春科技大学学报*, 1999, 29 (1): 97-100
- [23] Kononova MM, Aleksandrova IV, Titova NA. Decomposition of silicates by organic substances in the soil. *Soviet Soil Science*, 1964, 1005-1014
- [24] Huang WH, Kiang WC. Laboratory dissolution of plagioclase feldspars in water and organic acids at room temperature. *Am. Mineral.*, 1972, 57: 1849-1859
- [25] Stumm W, Furaer G, Wieland E, Zinder B. The effects of complex-forming ligands on the dissolution of oxides and aluminosilicates//Drever JL. *The Chemistry of Weathering*. Boston: D. Reidel Publishing Co., 1985: 55-74
- [26] Rich CI. Potassium in soil minerals. *Proc. Colluq. Int. Potash Inst.*, 1972, 9: 15-31
- [27] 刘世全, 张宗锦, 王昌全, 张世熔, 邓良基. 西藏酸性土壤的酸度特征. *土壤学报*, 2005, 42 (2): 211-218

## Effects of Leaching with Simulated Acid Rain and Low Molecular Weight Organic Acids on Soil Exchangeable Base

LI Ping<sup>1,2</sup>, WANG Xing-xiang<sup>1</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** Effects of leaching with simulated acid rain and low molecular weight organic acids on exchangeable bases of red soil were investigated using undistributed soil columns. The results showed that soil exchangeable potassium, sodium, calcium and magnesium in the 0 ~ 20 cm soil layer was increased by 5.19% ~ 14.65% after the soils were leached with simulated acid rain 3.5 and 4.5 in pH, compared with check using deionised water. There was no significant difference in exchangeable potassium, sodium, calcium and magnesium in the 0 ~ 20 cm soil layer between Treatments Citric acid, Malic acid, Oxalic acid and Treatment Simulated acid rain, but the formers did show increase in the base ions by 10.42% ~ 96.41% in the 20 ~ 50 cm soil layer, compared with the latter. The increase of soil exchangeable bases in the subsoil layer can be attributed to dissolution of minerals in the topsoil and leaching of base ions from topsoil. Leaching of base ions from topsoil was the prior mechanism in the study, which indicated that organic acids probably accelerate base ions leaching and soil acidification process.

**Key words:** Simulated acid rain, Low molecular weight organic acid, Leaching, Soil exchangeable base