

模拟酸雨对土壤磷元素淋失的影响

雷 波^{1,3}, 王定勇², 包维楷¹

(1. 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041; 2. 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 用不同酸度的模拟酸雨, 通过严格的土柱淋洗试验, 研究了在不同酸度的模拟降水下, 重庆市施用不同肥料的蔬菜地的土壤(紫色土壤)中磷元素(P 元素)淋失量的变化情况。结果表明, 不同酸度的降雨对土壤磷元素的淋失量的影响不同, 总体上酸雨引起的磷元素淋失量的大小顺序为 $L_{pH5.5} > L_{pH4.5} > L_{pH3.5} > L_{pH6.5}$; 在同种酸度下, 施用了化肥和混合肥(化肥 + 有机肥)的土壤, 磷元素的淋失量相对较大, 而不施肥的对照土壤和加了有机肥的土壤, 磷元素淋失量较小。

关键词: 模拟酸雨; 土柱; 肥料; 磷元素; 淋失量; 酸度

中图分类号: S131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)03 – 0516 – 04

Effects of Simulated Acid Rain on Leaching Loss of Phosphorus in Soil

LEI Bo^{1,3}, WANG Ding-yong², BAO Wei-kai¹

(1. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Resources and Environment College, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Through soil columns leaching, the effect of different simulated acid rain on the leaching amount of phosphorus in Chongqing grey purple soil with different fertilizers was investigated. The leaching amount of phosphorus in the soil changed with the acidity of simulated acid rain and generally was in an order: $L_{pH5.5} > L_{pH4.5} > L_{pH3.5} > L_{pH6.5}$. Fertilizer kinds, including chemical, organic or mixed fertilizer, also influenced the leaching characteristics of the soils. More phosphorus leaching was found in the soil applied chemical or mixed fertilizer than that in the soils without chemical or mixed fertilizer.

Keywords: simulated acid rain; soil column; fertilizer; phosphorus; leaching amount; acidity

许多研究结果表明, 酸雨对土壤的影响主要表现为阳离子的淋溶、土壤酸化以及有毒元素的释放。土壤的酸化常是土壤阳离子淋溶所致, 土壤阳离子的淋溶速率又制约了土壤阴离子的淋溶。土壤含碳酸根的阴离子的淋溶常常是自然发生的, 而硝酸根和硫酸根这类阴离子的淋溶则主要受土地利用和酸沉降的影响。因此, 土壤元素离子的淋溶是多种外因共同作用的结果。酸雨对土壤元素迁移的影响表现在两个方面: 一是使元素迁移的速率加快; 二是使元素形态从迟效态向可供作物吸收的易迁移状态转化^[2, 5, 9, 11]。

土壤营养元素的损失主要是因为土壤受雨水的冲刷后, 元素随着地表水和地下水系的流动而流失。

特别在遭受了酸度较强的酸雨淋洗后, 损失量极大。重庆市是重酸雨区, 市郊蔬菜土壤因常年接受大量酸沉降和施用化肥, 已表现出程度不同的养分匮乏和宜种度下降^[6~8, 10, 12, 13]。针对这一现象, 为保持土壤中磷元素的平衡, 设计了室内土柱淋洗试验, 以探明酸雨、化肥、有机肥以及混施肥料对土壤中磷元素的淋溶特性的影响, 为土壤养分缺乏的综合防治和土壤酸化的控制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 土壤和土柱的设计和处理

采集西南农业大学农场菜地中的紫色土壤, 取其 0 ~ 20 cm 的表层土壤若干。土壤经自然风干后, 进行磨碎, 用 3 ~ 5 mm 的筛网进行筛选, 并装入内径为 5.4 cm, 高为 30 cm 的塑料筒里, 土柱层的高度为 20

收稿日期: 2003 – 09 – 18

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KSCX1 – 07 – 02); “十五”
国家科技攻关项目(2001BA606A – 05)

作者简介: 雷 波(1978—), 男, 在读研究生, E – mail: leibo@cib. ac. cn

联系人: 包维楷, E – mail: baowk@cib. ac. cn

cm, 平均每柱的土壤容重为 $1.29\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 每根土柱中土壤重量平均为 535 g , 然后根据实验要求, 将土壤进行 4 种处理, 分别为对照、加入有机肥、化肥、混合肥(有机肥和化肥)。加入的化肥量为每根土柱 5 g , 其中含尿素 3 g , 过磷酸钙 2 g ; 有机肥的加入量为每根土柱 25 mL , 其中含有全磷 $0.1876\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。混合肥就是将同等量的两种肥料同时加入。

表 1 供试土壤的磷元素性质

Table 1 Characters of Phosphorus in the experimental soil				
地点	pH 值	有机质/%	全 P / $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效 P / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
农场蔬菜地	4.30	1.377 2	0.583 8	36.25

1.1.2 酸雨的配置

用收集到的自然酸雨母液, 经稀释 1 000 倍后, 加入浓硫酸调配出 pH 值分别为 3.5、4.5、5.5、6.5。选择这样一个模拟酸雨梯度, 达到与实际酸雨情况基本相一致^[13]。

1.2 实验室处理与分析

根据重庆市多年降雨量的情况, 模拟重庆市各月份的降雨量, 并对土柱表面进行连续喷洒。一次喷洒模拟了 1 个月的降雨(见表 2), 为了给土柱充分反应的时间, 每隔 24 h 喷洒 1 次, 每次喷洒强度大约为 $287\text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$, 与重庆市平均降雨强度相似^[7, 13]。

表 2 模拟重庆酸雨的月降雨量

Table 2 Monthly rainfall of simulating the acid rain in Chongqing												
月份	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
模拟酸雨量/mL	0	0	103	275	275	504	504	504	275	103	103	103

合氧化物对磷元素产生强烈的吸附作用; 高 pH 值时, 土壤中磷酸根与钙镁离子进行反应, 产生化学沉淀, 影响了磷元素的有效性, 最终影响了该元素的淋失量^[4]。

2.2 不同肥料的使用对土壤磷元素淋失量的影响

酸度的变化对土壤磷元素的淋失有重要的影响, 但是磷元素的淋失关键还在于土壤自身对酸雨的抵

滤出液使用 722 冷原子分光光度仪, 通过钼锑抗分光光度法测定 P 元素的含量, 即为淋失的 P 元素的量。

2 结果与分析

2.1 不同酸度酸雨对土壤磷元素淋失的影响

根据测定得出, 当 pH 为 5.5 时, 磷元素淋失量最大。对施用化肥的土壤来说, 磷元素的淋失量顺序为: $L_{\text{pH}5.5} > L_{\text{pH}4.5} > L_{\text{pH}3.5} > L_{\text{pH}6.5}$, 说明 pH 从 5.5 到 6.5 之间的某个酸度值将会引起磷元素最大量的淋失; 施用了混合肥的土壤与之相比, 磷元素的淋失量变化曲线略有不同, 其淋失量大小的顺序为: $L_{\text{pH}5.5} > L_{\text{pH}3.5} > L_{\text{pH}4.5} > L_{\text{pH}6.5}$, 这可能说明在从 pH3.5 及其以下的酸度到 pH4.5, 磷元素淋失是递减的; 而 pH4.5 到 5.5, 磷元素的淋失具有一个上升的趋势(如图 1)。但是, 对照土壤和有机肥土壤的整个变化趋势不明显。当酸度接近中性时, 淋失量就减少, 其他 3 种处理的土壤都是如此。总的来说, 酸度为 pH4.5 的酸雨对土壤磷元素的淋失影响高于酸度为 pH3.5 的酸雨, 即土壤磷元素淋失量对酸雨酸度的反应大小应为 $L_{\text{pH}5.5} > L_{\text{pH}4.5} > L_{\text{pH}3.5} > L_{\text{pH}6.5}$ 。对于大多数土壤来说, 磷元素的有效性在土壤 pH = 5.5 左右时为最大, 当 pH 值低于 5.5 时, 磷元素的有效性都降低, 因为铁铝及其水

Figure 1 Relationships between acidity and the accumulative leaching amount of soil phosphorus

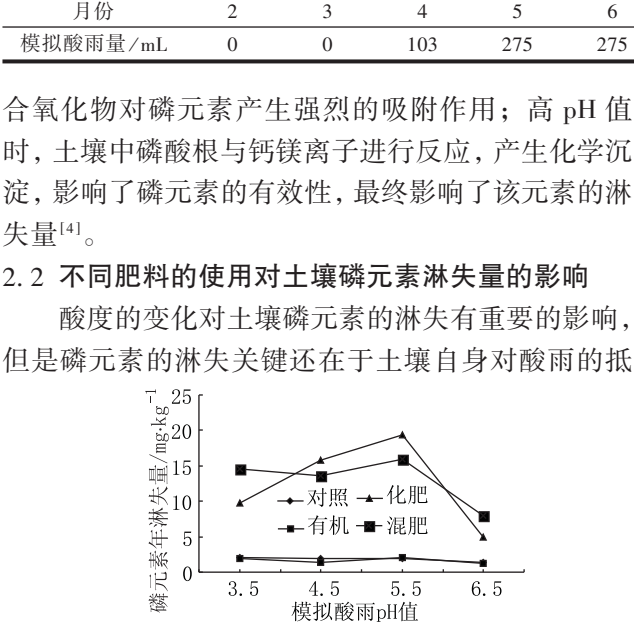


图 1 酸度与土壤磷元素的累积淋失量的关系

Figure 1 Relationships between acidity and the accumulative leaching amount of soil phosphorus

抗能力。无论哪一个 pH 值梯度, 对照土壤和施用了有机肥的土壤都保持了一个较低的淋失量, 这说明有机肥是一种较好的肥料, 能够保持土壤肥力, 对酸雨的影响有一定的抗性。而施用了化肥和混合肥(化肥 + 有机肥)的土壤磷元素的淋失量有明显的提高。pH 值为 3.5 和 6.5 的酸雨喷洒过的土壤, 其磷元素淋失量的变化趋势相似: 混合肥土 > 化肥土 > 对照土 > 有机肥土; 而在 pH 值为 4.5 与 5.5 的酸雨下, 不同处理的土壤中的磷元素淋失量大小变化趋势相似: 化肥土 > 混合肥土 > 对照土 > 有机肥土(如图 2 所示)。可见在不同的酸度条件下, 化肥对土壤磷元素的淋失影响不可忽视。

2.3 酸雨沉降过程中土壤磷元素淋失量的变化

根据重庆市多年的降雨情况, 模拟了不同月份酸雨的沉降情况(如表 2 所示)。由于 2、3 月份几乎没有

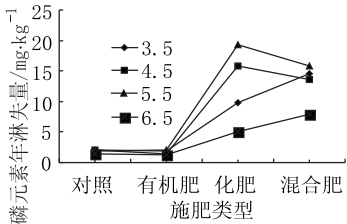


图 2 不同肥料与土壤磷元素累积淋失量的关系

Figure 2 Relationships between different fertilizers and the accumulative leaching amount of soil phosphorus

降雨,是土壤结构自身的一个调整时段,因此将这两月忽略不计。另外,当第一次注入模拟酸雨时,土柱下几乎没有淋洗液的流出,对磷元素的测定只能从第二次即 5 月份开始。模拟降雨的周期为 5 月到次年 1 月。

2.3.1 酸度为 pH3.5 时土壤磷元素淋失量随时间的变化

由图 3 不难看出,各种处理过的土壤磷元素淋失情况的变化规律相似。总的来说,在 5、7、8、9 月磷元素的淋失量相对较高。5 月份由于是和 4 月合为一次进行测量,所以就出现了第一个淋失高值。而 7 月、8 月、9 月 3 个月则是因为降雨量较大,导致了磷元素淋失量较大,特别是 7 月和 8 月几乎为全年的最高值,在最高淋失量的值以后,土壤磷元素的淋失呈递减的规律。而在最后一次模拟降雨,也就是 1 月份,又有上升的趋势。全年磷元素淋失量的最低值出现在 6 月、12 月,但是其降雨量并非最低。化肥土最大值出现在 7 月,最低值出现在 12 月;混肥土最大值在 8 月,最低在 6 月;对照土最高值出现在 8 月,最低值出现在 12 月;有机土最高在 9 月,最低在 12 月。

2.3.2 酸度为 pH4.5 时土壤磷元素淋失量随时间的变化

在此酸度下的磷元素淋失过程与 pH3.5 的酸雨沉降过程相比,淋失趋势相似。对这 4 种类型土壤来

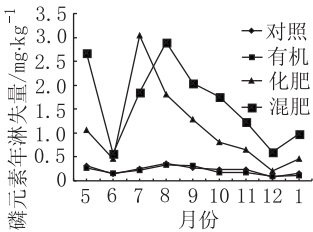


图 3 酸度为 pH3.5 的酸沉降过程与土壤磷元素淋失量的关系

Figure 3 Relationships between the process of pH3.5 acidic deposition and the leaching amount of soil phosphorus

说,5、8、9 月这 3 个月土壤磷元素的淋失量较大,而 7 月份虽然同是降雨量最大的一个月,但却远远低于了这 3 个月。6、12 月的淋失量依然较小。施用了化肥的土壤,5 月份的磷元素淋失值最高,同时 9 月份淋失量也相当大,最低值出现在 6 月份;混合肥的土壤在 8 月份淋失量最大,5、9 月份的淋失量与之相接近,最低值仍然为 6 月份;对照土壤最高值在 9 月,1 月份为全年最高;有机土最高值 8 月份,最低值 12 月(见图 4)。

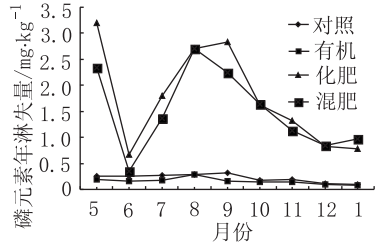


图 4 酸度为 pH4.5 的酸沉降过程与土壤磷元素淋失量的关系

Figure 4 Relationships between the process of pH4.5 acidic deposition and the leaching amount of soil phosphorus

2.3.3 酸度为 pH5.5 时土壤磷元素淋失量随时间的变化

酸度为 pH5.5 时,土壤磷元素淋失量的情况与以上的变化有所不同。混合肥处理的土壤,在 5 月份的淋失量为全年最高,6 月份为最低;化肥土壤中,9 月份的淋失值最大,最低值也出现在 6 月份;对照土和有机土的最大值出现在 8、9 月,这两月的淋失量相差不大,对照土的最低值出现在 5、6 月份,有机土的最低值在 7 月份(见图 5)。

2.3.4 酸度为 pH6.5 时土壤磷元素淋失量随时间的变化

在接近中性酸度的降雨过程中,出现最大值的月份总体在 5、8、9 月。化肥土和混合肥土在 5 月份淋失的磷元素量分别为最大,化肥土最低值出现在 7 月,

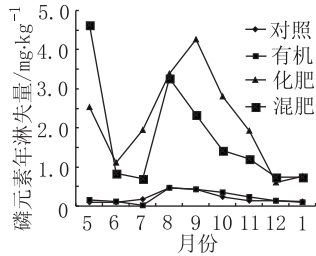


图 5 酸度为 pH5.5 的酸沉降过程与土壤磷元素淋失量的关系

Figure 5 Relationships between the process of pH5.5 acidic deposition and the leaching amount of phosphorus

混肥土的最低值出现在6月。对照土的最高值出现在7月份,最低值出现在11月份;有机土的最高值出现在9月,最低值出现在6月,7月份的值也较低(见图6)。

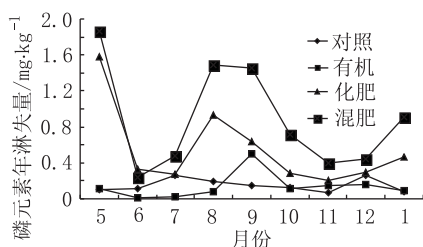


图6 酸度为pH6.5的酸沉降过程与土壤磷元素淋失量的关系

Figure 6 Relationships between the process of pH6.5 acidic deposition and the leaching amount of soil phosphorus

3 结论

(1) 在同一酸度降雨下,土壤的磷元素淋失量的大小顺序为:混肥或化肥>有机>对照。而且,混肥土和化肥土的淋失量远远超过了有机肥土和对照土,后两者只达到前两者总量的15%~20%。主要因为,施用了化肥或混肥后,土壤含磷量增加,而原有的磷素基本达到了饱和(见表1);并且本试验过程中,土壤没有植物进行吸收,磷元素的减少主要依靠淋失这一途径,所以加入的磷元素大多数被淋洗掉。土壤中,酸性较强时(pH=3.5)和接近中性时(pH=6.5),混肥土壤比施用化肥的土壤淋失更大一些,其主要原因是与土壤的本底值相关。而施用了有机肥的土壤磷元素的淋失没有太大的影响,可以得出土壤中化肥的施入可加速磷元素的淋失以及增大磷元素的淋失量。

(2) 在酸度不同的情况下进行比较,当pH=5.5时的磷元素淋失量最大,其他pH条件下,磷元素淋失大小的顺序通常为 $L_{pH4.5} > L_{pH3.5} > L_{pH6.5}$ 。酸性越强,铁铝及其水合氧化物对磷元素就产生更强烈的吸附作用;高pH值降雨条件下,磷酸根被迫与钙镁离子进行反应,产生化学沉淀,影响了磷元素的有效性;而使用pH值为5.5的降雨的特别之处,是因为此时,土壤中的磷元素的有效性最大,即淋失量最大。另外与土壤本身的pH的情况也有相关性,在这里不予考虑。

(3) 一般情况下,磷元素的淋失最为严重的时期为8、9月这两个月,这两个月雨水量较多,约占总量的40%~50%左右。而且在试验过程中进行连续的淋洗,加快了土壤中磷的损失速率,使被固定的磷大

量、快速地溶解出来,提高了磷元素的有效性,其中在9月淋失量最大。高强度、长时间的冲洗,会使土壤的原有机制被破坏。另外,在5月份,几乎所有的淋失都出现了一个较大值,因为4月份没有淋失液的出现,可能也与没有雨水的2、3月一样是一个土壤机制自我调解的时段,使磷元素有效性有充分的时间得到释放。

总之,酸雨的沉降对磷元素的淋失具有重要的影响,然而同时它只是磷元素流失过程中的一个环节。除此之外,必须解决的首要问题是如何控制土壤磷元素有效态的适度量,如何达到磷元素最优化的利用率。土壤磷元素不仅影响了植被的生长,而且作为水体富营养化的主要养分之一,它的大量淋失,会严重影响附近水域的生态环境,甚至造成局部生态系统失衡。因此,控制大气污染,减少酸雨的形成是必要和迫切的。

参考文献:

- [1] 岑慧贤,王树功,仇荣亮,等.模拟酸雨对土壤盐基离子的淋溶释放影响[J].环境污染与防治,2001,23(1):13-26.
- [2] 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[J].农业环境保护,1996,15(4):150-154.
- [3] 陈照喜,王晓蓉,田笠卿,等.模拟酸雨下土壤中稀土元素的环境化学行为和植物可利用性研究[J].环境科学学报,1995,15(1):32-38.
- [4] 贾平,赫伟,李广凡.落叶松人工林土壤中磷的研究[J].东北林业大学学报,1998,26(1):67-69.
- [5] 刘春生,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,1998,29(2):211-216.
- [6] 刘广深,许中坚,徐文彬,等.模拟酸雨对土壤有效磷衰减的影响[J].矿物学报,2002,22(1):35-38.
- [7] 青长乐.酸沉降物对土壤肥力的影响研究[J].西南农业大学学报,1988,10(1):1-11.
- [8] 卫金困,吴强,马丽.林地土壤pH值、磷、钾、有机质和水含量具有可变和可控制性[J].山西林业科技,2000,4:26-30.
- [9] 温达志,周国逸,孔国辉,等.南亚热带酸雨地区陆地生态系统植被、土壤与地表水现状的研究[J].生态学杂志,2000,19(5):11-18.
- [10] 杨学春,牟树森.降尘和酸雨对土壤蔬菜系统影响的研究[J].重庆环境科学,1995,17(5):6-9.
- [11] 杨昂,孙波,赵其国.中国酸雨的分布、成因及其对土壤环境的影响[J].土壤,1999,1:13-18.
- [12] 周百兴,徐渝.重庆市酸雨污染及其对策[J].重庆环境科学,1996,18(2):1-4.
- [13] 周国逸,小仓纪雄.酸雨对重庆几种土壤中元素释放的影响[J].生态学报,1996,16(3):251-257.