

酸雨对黄土磷的淋溶效应

韩亚萍, 马耀光, 吉鸿敏

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用室内土柱模拟淋溶试验, 分析了陕西省杨凌区 3 种土壤在 5 个酸雨梯度的侵蚀作用下, 土壤磷的释放和迁移规律。结果表明, 酸雨会使土壤受到一定程度的酸化, 而土壤的酸化程度与酸雨的 pH 值、土壤的类型、土壤的 pH 值、阳离子交换量、有机质含量有关。土壤对酸雨的缓冲能力由大到小的顺序为: 腐殖质层 > 母质层 > 黏化层。随着酸雨累积淋溶量的增加, 土壤磷的释放总量呈增加趋势, 但淋失率会下降。酸雨的 pH 值为 5 时土壤磷的累积淋失量最大, 土壤磷的累积淋失量和淋失率顺序为: 腐殖质层 > 黏化层 > 母质层。酸雨对腐殖质层的磷具有最强侵蚀效应。母质层和黏化层的酸化主要发生在土壤表层, 而腐殖质层酸化主要发生在土壤底层, 酸雨侵蚀后腐殖质层酸化最严重。长期的酸雨侵蚀会导致土壤磷流失, 造成土壤养分贫瘠化。

关键词: 酸雨; 黄土; 磷; 淋失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0066-06

中图分类号: S157.1, X517

Leaching Effect of Acid Rain on Phosphorus of Loess Soil

HAN Ya-ping, MA Yao-guang, JI Hong-min

(College of Water Resource and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A leaching experiment was conducted using soil column simulation to investigate the release and transferring characteristics of phosphorus in three soils of Yangling Demonstration Zone, Shaanxi Province under erosion effects of five acid rain gradients. The results showed that acid rain resulted in soil acidification to some extent, which was controlled by the pH value of the acid rain, soil type, soil pH value, cation exchange capacity and organic matter content. The soils could be ranked in terms of acid rain buffering capacity in a descending order as humus layer > parent material layer > adhesive layer. With the increase of total leaching amount by acid rain, the total soil phosphorus release amount increased with a decreasing leaching rate. Soil phosphorus loss amount achieved the maximum value with acid rain that has a pH value of 5. The soils could be then ranked in terms of either the cumulative soil phosphorus release amount or the leaching rate in a descending order as humus layer > adhesive layer > parent material layer. Acid rain showed the strongest erosion effect on phosphorus of the humus layer. The acidification in the parent material layer and the adhesive layer occurred mainly in surface, while the acidification in the humus layer mainly occurred in the lower part. The most severe acidification by acid rain was found in the humus layer. Long-term acid rain leaching could lead to soil phosphorus loss and causes soil nutrient impoverishment.

Keywords: acid rain; loess soil; phosphorus; leaching loss

土壤中的磷是植物生长的主要营养元素之一, 磷的流失会对植物的生长产生营养亏缺和失衡, 流失的磷还会作为面源污染物进入地下水和地表水中, 造成水体的富营养化危害^[1]。我国的工业化快速发展, 大气污染形成的酸雨在中国的中东部和南方地区广泛

分布, 在北方的一些地区也间有发生^[2]。酸雨会导致土壤酸化, 阳离子交换能力变低和贫营养化, 营养元素磷的大量淋失影响植物的正常生长^[3-8]。多数研究^[9-13]集中在施肥条件下南方土壤在酸雨作用下的氮磷释放迁移规律方面, 但西北地区黄土在酸雨侵蚀

收稿日期: 2012-08-10

修回日期: 2012-10-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“西北旱区生态经济效益统一度量的水资源合理配置研究”(50879071)

作者简介: 韩亚萍(1988—), 女(汉族), 河南省平顶山市人, 硕士研究生, 主要从事水资源利用与保护方向的研究。E-mail: hanyapinghpy@163.com。

通信作者: 马耀光(1957—), 男(汉族), 陕西省武功县人, 教授, 硕士生导师, 主要从事水资源利用与保护的教学工作。E-mail: Myg0609@yahoo.com.cn。

下产生的磷的释放和迁移规律尚不清楚。

本研究通过土柱淋滤试验,探索酸雨对黄土磷的释放机理及迁移规律,以期为西北地区土壤营养流失规律的认识和黄土的农业保育提供一定的科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验选取渭北黄土区 3 种典型的土壤,母质层为西北农林科技大学旱区农业节水工程教育部重点实验室试验田内探井 5 m 深处取样,腐殖质层为杨凌的林草地表层 30 cm 取样,红褐色黏化层为杨凌地区

黄土岩系 20 m 深处的古土壤。将采集土壤在牛皮纸上风干,磨碎,过 20 目筛备用,土壤的基本性质详见表 1。

1.2 酸雨淋滤试验

1.2.1 酸雨的配置 降水化学组成根据西安地区环境监测资料进行调配^[14],选取如表 2 所示的盐类用去离子水配置模拟酸雨的基液。

模拟酸雨中 SO_4^{2-} : NO_3^- 按摩尔比为 3:1 的比例配置酸母液,并用基液分别调配 pH 值为 5.6, 5.0, 4.0 和 3.0 的模拟酸雨淋溶液,用基液(pH=6.5)作对照。

表 1 供试土壤基本性质

土壤类型	pH 值	有机质/%	阳离子交换量/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	钙/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	镁/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
母质层	8.83	19.594	21.405 8	0.522	0.04	0.015	1.35
黏化层	8.77	7.522	10.535 1	0.240	0.064	0.029	1.38
腐殖质层	9.11	21.191	21.916 3	0.346	0.122	0.039	1.32

表 2 酸雨化学组成分析

SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	H^+	Ca^{2+}	NH_4^+	Na^+	Mg^{2+}	K^+	pH 值
149.9	49.68	55.42	1.55	195.88	113.76	58.07	27.52	17.14	6.5

1.2.2 实验装置 将土壤装入内径为 10 cm,高为 65 cm 的 PVC 管里。土样高度为 40 cm,土柱按土壤的容重分层填充。土柱底部铺一层滤纸和石英砂 30 g(约 1 cm)以固定土样,上层铺石英砂 30 g(约 1 cm)以保证淋溶液均匀浸透土壤且不溅出,土柱下面用收集瓶接收滤液。

杨凌区年平均降水量为 639 mm,考虑到蒸发径流等因素,土壤入渗量按降雨量的 60%估算,表层土壤每年接受降水下渗量约为 400 mm。采用间歇淋溶法使其接近自然降水,一次淋滤模拟的酸雨相当于 200 mm 降雨量,每隔 5 d 淋滤 1 次,共淋滤 6 次,累计 3 a 的降雨量,每次淋溶结束后收集滤液进行测定。淋溶结束后,待重力水充分释出将土柱内土壤分层(每隔 5 cm)取样,放在牛皮纸上自然风干,磨碎,过 20 目筛待测定分析。

1.3 测定方法

淋滤液的磷酸盐采用磷钒钼黄分光光度法,pH 值采用电位法测定;土壤测定参照土壤农化分析方法^[15],土壤的全磷采用硫酸—高氯酸溶光度法,pH 值采用电位法(水土比为 2.5:1)。

2 结果与讨论

2.1 酸雨侵蚀对土壤的酸化效应

2.1.1 土壤淋滤液 pH 值变化 酸雨中的 SO_4^{2-} 与

土壤表面的羟基发生配位交换释放出羟基,羟基与 H^+ 中和使淋滤液的 pH 值从 3~6.5 上升为 7.0~8.2 变为微碱性。碱性的土壤使酸雨的酸度对淋滤液 pH 的影响不明显,不同酸度的酸雨在土壤缓冲作用下淋滤液的 pH 值相差不大,pH 值为 3 与 pH 为 6.5 的酸雨淋溶后淋滤液 pH 值的差值仅为 0.1~0.2,pH 值为 3.0 的酸雨淋溶后淋滤液的 pH 值相对较小。

土壤经酸雨淋溶后淋滤液 pH 值在 7.0~8.2 变化,母质层淋滤液的 pH 值随累积淋溶量的增加先增大后减小,淋滤液 pH 值在累积淋溶量为 800 mm 时最大。黏化层和腐殖质层淋滤液 pH 值在整个变化过程中的峰值区有波动,黏化层淋滤液 pH 值随淋溶量增加表现为两个增大减小的过程,400 和 800 mm 淋溶量是 pH 峰值区变化的两个次峰值;腐殖质层淋滤液 pH 值随累积淋溶量增加表现为两个减小增大的变化过程,400 和 800 mm 淋溶量是 pH 值变化的两个低转折点(图 1)。母质层和黏化层的 pH 值均在酸雨淋溶量 800 mm 以后下降,腐殖质层的 pH 值在 600 mm 以后下降。

淋溶酸雨的质子输入通量较低时, SO_4^{2-} 与土壤胶体表面的羟基发生配位交换释放的羟基与酸雨的 H^+ 中和;随着淋溶量增加质子输入通量增大,土壤表面铝溶出, H^+ 可能转化为水溶性铝或可交换性酸。

由于母质层、黏化层钙镁离子含量相对较低,土壤盐基离子丰度小,土壤盐基释放和铝溶出的缓冲作用使土壤淋滤液 pH 值随淋洗的持续进行而上升,但随着酸雨淋溶量的增加,土壤盐基释放和铝溶出的量逐渐减少,碱性土壤的缓冲作用明显减弱,淋滤液 pH 值降低。

腐殖质层有机质含量高,土壤中的有机质在初期酸蚀过程中分解释放出有机酸(H^+ 离子),这可由腐

殖质层的 pH 值最高而淋滤后的 pH 值最低佐证。在 600 和 1 200 mm 时的 pH 值升高,200~400 mm 和 600~800 mm 的两次 pH 值降低过程,与土壤在淋溶过程中的阳离子交换、有机酸分解出羧基和氨基对淋滤液 pH 值的影响有关。

淋滤液的 pH 值越高,说明土壤对酸雨的缓冲能力越强,土壤对酸雨的缓冲能力的顺序为:腐殖质层 > 母质层 > 黏化层。

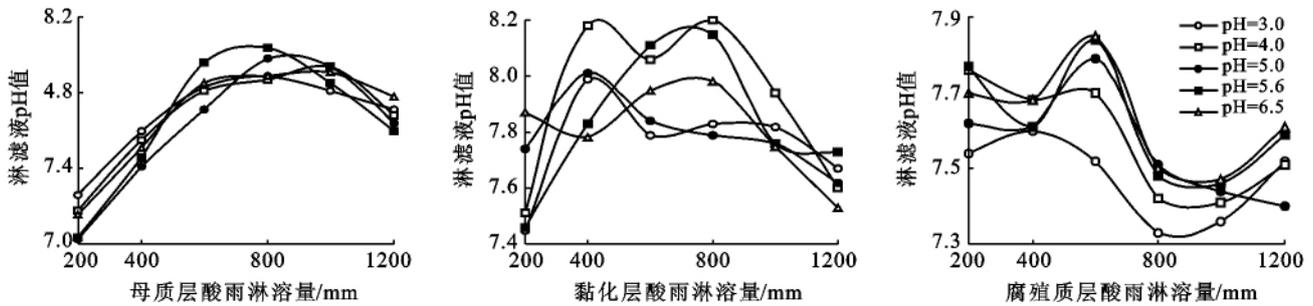


图 1 不同酸雨梯度土壤淋滤液 pH 值的变化

2.1.2 酸雨淋溶后土壤酸度变化 酸雨淋溶土壤后, H^+ 与土壤表面吸附的盐基离子交换吸附在土壤表面,被交换的盐基离子随渗透液流失,土壤表面的 H^+ 又与矿物晶格的 Al 反应生成交换性铝使土壤酸化。淋溶 1 200 mm 酸雨的 3 种土壤的 pH 值变化如图 2 所示,随土壤深度增加母质层剖面 pH 值略有增加,偏酸性的酸雨对表层土壤的酸化作用更强;黏化层更明显的表现为土壤 pH 值随土层深度增加而增

加,酸化主要发生在土壤表层,而且淋溶后的土壤 pH 值明显低于母质层。

对于碱性更强的腐殖质层经酸雨淋溶后 pH 值却随深度增加而减小,平均 pH 值也明显低于母质层和黏化层的 pH 值。腐殖质层碱性虽然最强,酸雨侵蚀后土壤酸化更严重,可能与腐殖质层有机质、腐殖酸含量高有关,在酸雨侵蚀下大分子有机酸被分解,使土壤酸性加强。

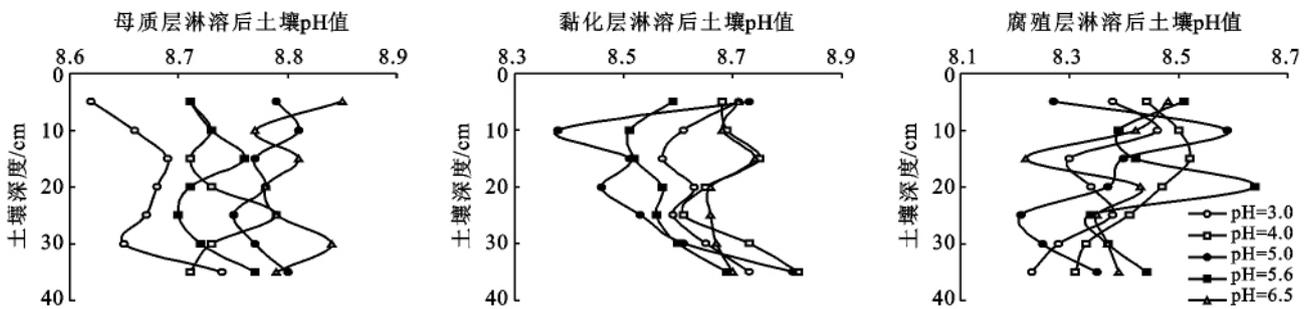


图 2 不同酸雨梯度土壤沿剖面的酸度变化

黏化层的土壤 pH 值、阳离子交换量和有机质含量最小,对酸雨的缓冲能力最低,多次酸雨淋溶使得土壤含水量处于饱和状态,在表层可供交换的阳离子供给不足时酸雨渗透下层土壤,土壤层被酸化的程度比母质层大,上层土壤对酸雨的缓冲作用使得侵蚀底层土壤的酸雨中交换性 H^+ 减少,底层土壤受酸化程度低。腐殖质层的钙镁离子、阳离子交换量和有机质含量均高于母质层和黏化层,酸雨淋溶时表层土壤释放的盐基离子随水迁移到下层土壤,底层土壤不仅会

与 H^+ 发生交换吸附使土壤酸化,而且底层土壤在酸雨的长期侵蚀下进入次缓冲体系发生矿物风化,土壤原生及次生铝硅酸盐发生酸性水解,腐殖酸也在酸雨的侵蚀下分解成小分子酸,因此底层土壤酸化更为严重。

pH 值为 6.5 的微酸性雨水淋溶后土壤 pH 值与土壤原来 pH 值相差不大,由于碱性离子向下淋滤迁移的作用土壤 pH 值在某些深度上甚至高于原来的土壤 pH 值;pH 值为 5.6,5.0 和 4.0 的酸雨淋溶土

壤后土壤稍有酸化;pH 值为 3.0 的酸雨淋溶后土壤酸化较严重,可使母质层、黏化层和黄土类腐殖质层的 pH 值分别降低 0.19,0.22 和 0.89,降幅分别为 2.2%,2.5%和 9.8%。

由此可见,土壤酸化与酸雨的 pH 值相关,pH 值越低,土壤酸化影响越大。土壤酸化与土壤的类型有关,土壤 pH 值越高,土壤受酸化影响越小;土壤阳离子交换量越大,土壤受酸雨影响越小;土壤有机质含量高,酸雨影响越大。

2.2 酸雨淋溶后土壤全磷变化

2.2.1 土壤淋滤液的磷变化 土壤淋滤液磷的释放率随着酸雨淋溶量的增加总体呈下降趋势(图 3),母质层与黏化层基本呈直线下降,200 mm 淋溶量时释放率分别为 0.17%和 0.5%;腐殖质层的释放率总体随淋溶作用的持续进行下降,但是在 400 和 1 000 mm 处有两个强淋溶点,释放率分别为 0.4%和

0.27%。淋溶初期酸雨的 pH 值对磷的释放影响较明显,不同酸度的酸雨造成土壤磷的释放差异性较大,随着酸雨侵蚀时盐基离子的释放和铝的溶出,不同酸度的酸雨对土壤磷的释放量差异逐渐变小。

淋溶初期酸雨的影响造成土壤可溶性磷的流失,随着酸雨的淋溶土壤中可移动性磷逐渐减少,造成磷的释放率逐渐变小。腐殖质层钙镁离子含量高,对土壤中的磷有较强吸附作用,淋溶初期土壤对酸雨的缓冲作用使得土壤磷较难释放,淋洗一段时间后土壤酸化,盐基离子的释放使土壤固定磷的能力变差加速磷的淋失。

从图 4 可见,长期的淋溶作用会造成土壤磷的持续释放。母质层与黏化层都是在 pH 值为 5.0 时磷的释放量最大,而腐殖质层是在 pH 值为 5.6 时释放量最大,不同酸度的酸雨对土壤磷的释放差异较大,土壤对酸雨很敏感。

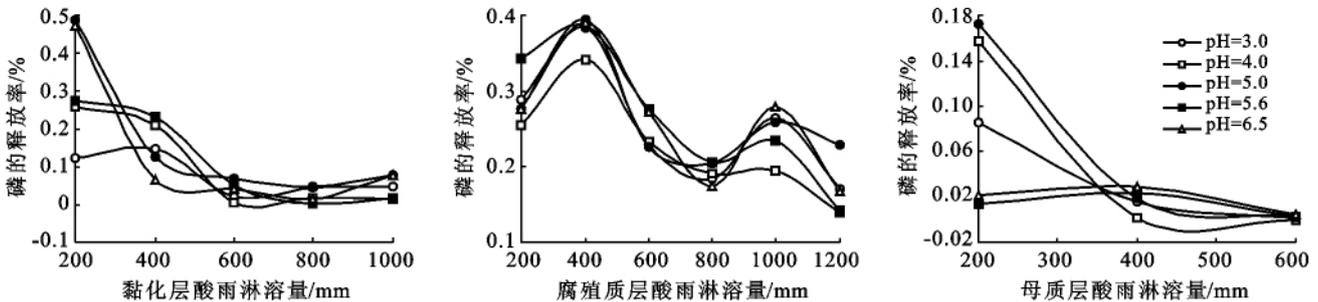


图 3 不同酸雨梯度土壤淋滤液磷释放率的变化

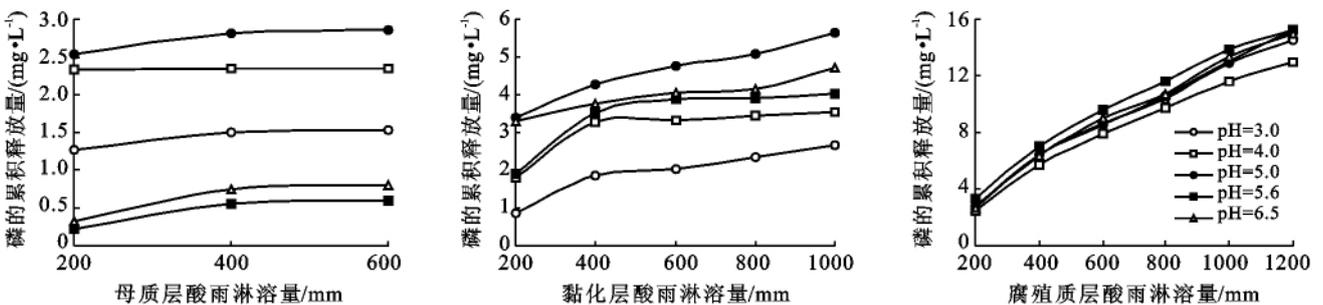


图 4 不同酸雨梯度土壤淋滤液磷含量的累积变化

2.2.2 酸雨淋溶后土壤全磷变化 土壤经酸雨淋溶后全磷的含量随深度增加先增大后减小,不同酸度的酸雨淋溶后的起伏变化幅度不同(图 5),3 种土壤在土壤剖面变幅最大的酸雨 pH 值分别为:5.0(母质层),5.6(黏化层),5.0 和 5.6(腐殖质层)。这是因为 pH 值为 5.0 和 5.6 时土壤磷的释放量最大,在此酸度的酸雨影响下土壤受侵蚀淋溶效应最严重,土壤结构的破坏会影响离子在土壤体内的迁移速率,由于堆积、迁移的综合效应,土壤剖面磷含量会有明显的变

化趋势。

土壤全磷含量受不同酸度的酸雨淋溶后在 10、25 和 35 cm 深度有明显差异,母质层在 10 cm 深度土壤全磷含量差异最大,pH 值为 5.0 的酸雨淋溶后有最大全磷含量 0.8 g/kg;黏化层在 25 cm 深度处磷的含量差别明显,pH 值为 6.5 的酸雨淋溶后最大全磷量为 0.27 g/kg,pH 值为 5.6 的酸雨淋溶后全磷含量最小;腐殖质层在 10 cm 深度处磷的含量差别明显,pH 值为 5.6 的酸雨作用下最大全磷量为 0.43 g/kg。

这是由于磷在土壤层中随水迁移过程中的含水量变化和层位堆积所致,底层磷含量低可能因为多次酸雨

淋溶后土壤含水量饱和,酸雨长期浸泡底层土壤而使土壤的磷释放和流失较多。

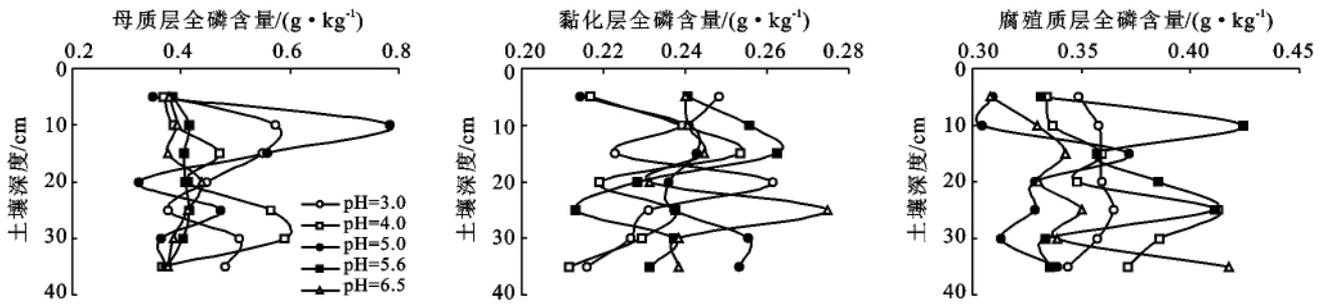


图 5 不同酸雨梯度土壤剖面全磷含量变化

2.3 土壤磷的流失效应

由图 6—7 可见,土壤磷的淋溶率与酸雨 pH 值的关系和土壤磷的累积释放量与酸雨 pH 值的关系变化趋势相一致,土壤中磷的累积释放量随着酸雨 pH 值下降略有增大,而在酸度增加到一定时又会随着 pH 值下降呈减小趋势。这是因为土壤酸度增加会加快铁、铝的活化,土壤对磷的固定能力加强;另一方面强酸性降雨使土壤酸性磷酸酶的活性变高,促使磷转化为有效态而增加了磷的淋失。在以上原因综合作用下,土壤的磷的累积淋失量在 pH 值为 5.0 时达到最高。

3 种土壤中腐殖质层的磷累积淋失量最高,其次是黏化层,母质层的磷累积淋失量最小,这除了与土壤的全磷含量有关外,还与土壤有机质、阳离子交换量密切相关。腐殖质层的全磷含量虽然比母质层小,但是腐殖质层有机质含量高,腐殖酸能促进土壤难溶态磷向可溶态磷转化,酸雨侵蚀下会淋失大量的磷。对于母质层来说,虽然全磷含量、有机质、阳离子交换量都比较大,磷的淋失量却最小,土壤经酸雨淋溶 3 次之后淋滤液的磷含量已低于检出限,这是因为黄土中磷主要以无机磷 Ca—P 为主。土壤钙的含量可以反映土壤水溶性有效磷含量,土壤中钙含量顺序依次为:腐殖质层>黏化层>母质层,母质层有效磷含量较少,经酸雨淋溶后大部分磷又转化为不易溶解的固定态磷,母质层的固定磷的能力较强不容易造成磷的淋失。

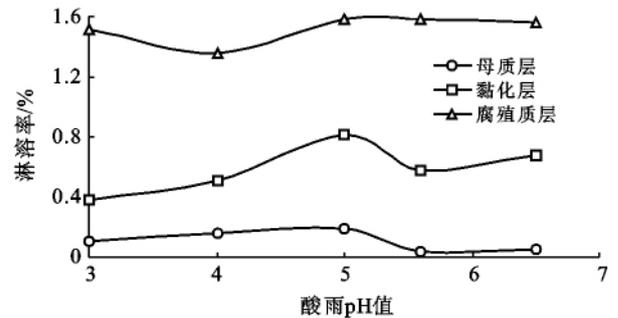


图 7 土壤中磷的淋溶率与酸雨 pH 值的关系

对土壤初次淋溶酸雨后磷的淋失量与酸雨 pH 值的拟合曲线可以看出(表 3),3 种土壤磷淋失量均与酸雨的 pH 值呈现一定相关性,腐殖质层的相关系数最高说明其磷淋失量与 pH 值关系最为密切。而土壤磷的淋失量与酸雨 pH 值的相关系数大小与土壤酸雨的缓冲能力相一致,均为腐殖质层>母质层>黏化层,说明土壤对酸雨中 H⁺ 含量很敏感,缓冲能力越强的土壤对酸雨中 H⁺ 的差异性表现越显著。

表 3 土壤磷的淋失量与 pH 值拟合关系

土壤类型	拟合曲线	相关系数
母质层	$y=0.3389x^3-5.2884x^2+25.975x-38.290$	0.8650
黏化层	$y=0.1690x^3-2.5805x^2+13.244x-20.307$	0.8329
腐殖质层	$y=-0.2107x^3+3.0084x^2-13.697x+22.482$	0.8862

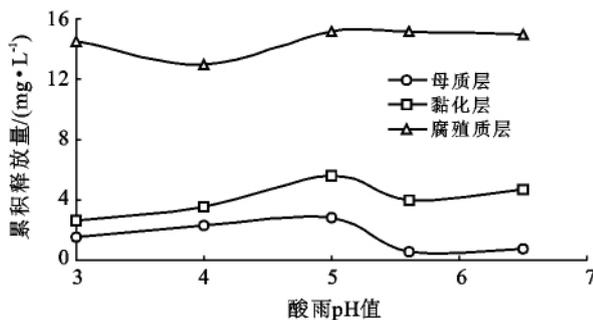


图 6 土壤磷累积释放量与酸雨 pH 值的关系

3 结论

(1) 酸雨淋溶土壤后,土壤会被一定程度的酸化,土壤对酸雨的缓冲能力为:腐殖质层>母质层>黏化层。土壤酸化与酸雨的 pH 值相关,pH 值越低,土壤酸化影响越大。土壤酸化与土壤的类型有关,土壤 pH 值越高,土壤受酸化影响越小;土壤阳离子交换量越大,土壤受酸雨影响越小;土壤有机质含量高,酸雨影响越大。

(2) 土壤淋滤液的磷含量随着土壤淋溶量的增加总体呈下降趋势,但磷的累积淋失量会持续增加,长期的淋溶会造成土壤磷的持续释放,1 200 mm 酸雨侵蚀可使 3 种土壤中的磷分别产生 0.19、0.81 和 1.58% 的淋失率。土壤的磷元素的淋失量在酸雨 pH 值为 5.0 时达到最高,即弱酸性的酸雨对土壤磷的侵蚀作用更强;弱酸性降雨不仅能使土壤酸化,还会造成营养元素磷的大量淋失使土壤贫瘠,应该做好防护措施减少损失。

(3) 3 种土壤磷的淋失率和累积淋失量为:腐殖质层>黏化层>母质层。从磷的淋失量与酸雨 pH 值的拟合关系来看,相关系数大小为:腐殖质层>母质层>黏化层,酸雨对腐殖质层的磷具有最强的侵蚀效应。

(4) 母质层和黏化层的酸化主要发生在土壤表层,而腐殖质层酸化主要发生在土壤底层,酸雨侵蚀后腐殖质层酸化最严重。最易被酸化和淋失营养元素磷的腐殖质层覆盖在植被下方,其营养供给与农业生产能力密切相关,研究土壤受酸雨侵蚀的能力对农业生产意义重大。

[参 考 文 献]

- [1] 杨珏,阮晓红. 土壤磷素循环及其对土壤磷流失的影响[J]. 土壤与环境,2001,10(3):256-258.
- [2] 张新民,柴发合,王淑兰,等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究,2010,23(5):527-532.
- [3] Gorham E. Acid deposition and its ecological effects: A brief history of research[J]. Environmental Science and Policy, 1998,1(3):153-165.
- [4] 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,2007,28(10):2376-2382.
- [5] 刘莉,李晓红. 模拟酸雨对三峡库区 4 种典型土壤酸化及盐基离子淋溶释放的影响[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(8):63-69.
- [6] Galloway J N. Acidic deposition: perspectives in time and space[J]. Water, Air and Soil Pollutant, 1995, 85(1):15-24.
- [7] 鲁如坤,时正元. 磷在土壤中有有效性的衰减[J]. 土壤学报,2000,37(3):323-329.
- [8] 贾兴永,李菊梅. 土壤磷有效性及其与土壤性质关系的研究[J]. 中国土壤与肥料,2011(6):76-82.
- [9] 雷波,王定勇,包维楷. 模拟酸雨对土壤磷元素淋失的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(3):516-519.
- [10] 高太忠,戚鹏. 酸雨对土壤营养元素迁移转化的影响[J]. 生态环境,2004,13(1):23-26.
- [11] 张华,杨永奎. 酸雨对紫色土氮磷淋失的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(1):22-25.
- [12] 许中坚,刘广深,刘维屏. 酸雨对旱地红壤磷素释放的影响研究[J]. 环境科学学报,2004,24(1):134-138.
- [13] 曾曙才,吴启堂. 模拟酸雨对施肥条件下赤红壤氮磷淋失特征的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(6):16-21.
- [14] 玮娜. 中国北方城市与东亚区域降水化学组成对比分析[D]. 江苏南京:南京信息工程大学,2010.
- [15] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- biological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 92(1/2):18-29.
- [14] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等. 不同施肥制度土壤微生物量碳氮变化及细菌群落 16SrDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 分析[J]. 生态学报,2007, 27(3):1079-1085.
- [15] 马星竹,武志杰,陈利军,等. 长期施肥对黑土、棕壤微生物量的影响[J]. 土壤通报,2011,42(1):60-64.

(上接第 65 页)

- [10] 张明,白震. 长期施肥农田黑土微生物量碳、氮季节性变化[J]. 生态环境,2007,16(5):1498-1503.
- [11] 王光华,金剑. 不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2007, 18(6): 1275-1280.
- [12] 单鸿宾,梁智,王纯利,等. 连作及灌溉方式对棉田土壤微生物量碳氮的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010, 28(4):202-205.
- [13] Franchini J C, Crispino C C, Souza R A, et al. Micro-