

酸雨对重庆几种土壤中元素释放的影响

周国逸

小仓纪雄

(中国科学院华南植物研究所, 广州, 510650) (东京农工大学农学部)

5154.1

A

摘要 本文通过一个严格的实验设计,研究了荒地,人工马尾松林,樟树林,公园耕作土等4种土壤的自然土柱在受到完全根据天然降水而配制成的不同酸度的人工模拟酸雨在严格的人工控制下的淋洗后,淋洗液的pH值变化和各種物质元素浓度的变化规律,表明了重庆南山的几种主要土壤都存在一定的抗酸化能力,在这个临界值范围内,土壤溶液的pH值及其中物质的元素浓度都相对稳定;而在此范围以外,土壤溶液pH值急剧下降。 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子浓度爆发式地增加,而其他元素则相对稳定,这就证明了酸雨通过土壤危害植物的一种方式,同时,文章还分析了几种土壤类型的抗酸雨能力的相对强弱以及它们的Ca/Al摩尔浓度比。

关键词: 土壤,模拟酸雨,淋洗液,pH值。

THE INFLUENCES OF ACID RAIN OF THE LIBERATION OF SEVERAL ELEMENTS FROM VARIOUS SOIL TYPES IN CHONGQING

Zhou Guoyi

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China, 510650)

Norio Ogura

(Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan)

Abstract Based on a strict experimental design, four soil types that are sterile land, man-made Masson Pine forest soil, Camphore forest soil and cultivated soil from Nanshan Park were selected to be leached by simulated acid rain of four pH values. The results show that all the four types of soil had some capability of anti-acidification and in this range, the pH of leached solution and elements in it could keep relative stable. However, out of this range, the pH of leached solution dropped greatly and the cation Al, Ca, Mg increased dramatically. At the same time, this paper analysed the damages of terrestrial ecosystem by high concentration of aluminium according to the ratio of Ca/Al and the aluminium content.

Key words: soil, simulated acid rain, leached solution, pH.

酸雨降落到森林这样一个下垫面时,是以穿透水和树干流的形式到达地面的。大量的观测研究证明^[1-4],在重庆南山地区,穿透水的 pH 值比大气酸雨的 pH 值更低,且树干流的 pH 值比穿透水的 pH 值还低,本文的实际观测结果就是如此(参见表 1)。因此,一场原来 pH 并不很低的大气降水,在经过林冠到达林地的过程中,其酸度也有加强的作用,它加剧了酸雨对森林的影响,且这种影响作用由于林冠对到达林地的降水量和酸度的重新分配而趋向于不均匀化,越靠近根系的部分影响越大。本文研究了重庆南山荒地,人工马尾松纯林,樟树林,公园耕作土等 4 种土壤受自然酸性雨(包括大气降雨、穿透雨,树干流)和模拟酸雨的淋洗后,其流出液的各种元素成分含量的变化,以其说明在酸雨的影响下,不同土壤类型中物质释放的规律。

1 材料与方 法

1.1 材 料

采集上述 4 种土壤 0~20 cm, 20~40 cm 两层自然土柱(直径 6.5 cm, 长度 20 cm),用实验室用的塑料薄膜捆包以保持其自然状况带回实验室放入一特定的装置中,此装置由两部分组成,第一部分是容纳土柱的玻璃管,其上端可以承接模拟酸雨的喷洒,下端经过滤滤出淋洗液,玻璃管可以分节拆装以利于土柱的装载;第二部分是控制喷洒量的自动酸雨喷洒器。

分别收集不同酸度的大气降水及其相应的各树种(马尾松与樟树)的穿透水和树干流,据此配制成各种酸度的人工模拟酸雨。4 种土壤的基本情况如下:

类型 1 贫瘠,荒地土壤,土壤发育不良,位于西坡,植被主要为小灌丛和五节芒。

类型 2 幼龄马尾松林地土壤,采样地点位于坡度大于 40°的东北坡坡顶,地被物不多。

类型 3 20 年生樟树林下土壤,林冠较郁蔽,林下植被丰富,采样部位位于山坡下部。

类型 4 重庆南山公园耕作土壤。

1.2 实验室处理与分析

根据采集到的水样分析结果,用去离子水加上各种成分配制成与自然水样在成分和含量上基本一致的各种酸度的模拟酸雨,其 pH 值分别为 6.12, 4.45, 3.49 和 2.67。选择这样一个模拟酸雨梯度,主要的是与实际的酸性雨情况相一致,这样对实际研究的问题更有意义,在设计模拟酸雨酸度时,本文不仅注意其 pH 值,更参考了实际水样中的各元素含量,由于在收集到的各种水样中没有 pH 值介于 3.49~2.67,且又合适的参考样品,因此未在此范围内设计更多的模拟酸雨梯度,笔者认为由 3.49 与 2.67 这两个 pH 梯度相隔不大,从而其实验结果有足够的精度。

值得说明的是虽然在实际的大气降水中, pH 值达到 2.67 的强酸雨几乎没有,但大量观测表明树干流的 pH 值几乎都在这个值的附近(参见表 1),因此,在配制 pH 值为 2.67 的模拟酸雨时,主要参考了树干流的化学成分。

根据土壤容重,按土样与模拟酸雨量之比为 1:5 的模拟酸雨量连续喷洒土柱表面,同时收集渗滤液,喷洒的时间长度 15 h 连续喷洒,由于土壤容重的不同,喷洒强度(单位时间的喷洒量)随土壤类型的不同有些差异,大约为 287 ml/h(合 1.43 mm/min),与重庆平均降雨强度近似。

表 1 重庆南山大气降水、穿透水和树干流的 pH 值
Table 1 The acidity of rainfall, throughfall and stemflow in Chongqing area

水 样 Water sample	大气降水 Rainfall	穿透水 Throughfall	树干流 Stemflow
樟树 Camphore	4.41	3.43	2.66
马尾松 Masson Pine	4.41	3.58	2.71

型电导仪测定电导率。

2 结果与分析

2.1 土壤溶液的 pH 值

用上述方法处理后, 测得土壤液的 pH 值如表 2 所示:

大气降水为 48 次测定值的平均, 樟树林穿透水为 26 次, 树干流为 21 次的平均; 马尾松穿透水 29 次, 树干流 18 次平均。

从表 2 可以看到, 各种土壤溶液的酸度随模拟酸雨的 pH 值呈相似的变化趋势,

模拟酸雨的 pH 值由 6.12 经 4.45 变到 3.49 时, 土壤溶液的 pH 值平均由 4.1 经 3.9 变化到 3.8, 变化范围不到 0.3 个 pH 单位, 说明这些类型的土壤在抗酸化方面有一定的能力; 但当模拟酸雨的 pH 值由 3.49 变到 2.67 时, 土壤溶液的 pH 值达到 2.7, 变化了 1.1 个 pH 单位, 表明土壤抗酸化能力已遭到破坏。

由此可以认为土壤在抗酸雨方面对酸雨酸度存在一个临界值, 大致介于 3.49~2.67 之间, 当降雨酸度小于此值时, 土壤能较为有效地防止其淋洗液的酸化; 当降雨酸度大于此值时, 土壤抗酸化的能力消失, 其淋洗液的酸度随雨水酸度而变化。

如上 4 种土壤的淋洗液中, 以类型 2 的 pH 值相对较低, 而且易于受到酸雨的影响, 酸度达到 4.5 时, 就有明显的反应, 而事实上马尾松树干流的酸度又是最低的, 因而其土壤受害严重。

2.2 铝离子浓度

Saigusa *et al.* (1980) 和 Kawai, K. 认为^[5-6]土壤溶液中高浓度的 Al^{3+} 直接对植物根系造成伤害, 妨碍根的生长和吸收功能。

本研究表明: Al^{3+} 离子浓度的高低决定于土壤溶液的酸碱性, 几乎与土壤溶液的 pH 值呈相似的变化规律, 实验中, 当模拟酸雨的 pH 值在 3.45 以上时, 土壤溶液的 Al^{3+} 离子浓度并没有多大变化, 但当模拟酸雨的 pH 值达 2.67 时, 所有类型的土壤溶液中 Al^{3+} 离子浓度都有极大的增加, 不同溶液之间的浓度相差很小, 这说明尽管土壤类型有不同, 但其潜在的 Al^{3+} 量都很大。酸度的增加, 都有对植物造成毒害的可能。

同时, 用 2.5 倍(按日本土壤化学联合会标准)的各种模拟酸雨作如上同样实验, 喷洒时间长度为 7.5 h, 喷洒强度和上面一样, 以测定土壤淋洗液的 pH 值。

土壤淋洗液用日本岛津新一代的原子吸收光谱分析仪 AA670 测定金属离子, 用离子色谱仪 IC200 测定阴离子, 用 PHL-10 型酸度计测定 pH 值, 用 CM-7B

表 2 模拟酸雨影响后的土壤溶液 pH 值

Table 2 pH of soil solution affected by simulated acid rain

模拟酸雨 pH pH of simulated acid rain	6.12	4.45	3.49	2.67
土壤类型 1 Soil type 1	3.89	3.93	3.71	2.70
土壤类型 2 Soil type 2	3.84	3.68	3.62	2.62
土壤类型 3 Soil type 3	4.28	4.15	3.95	2.68
土壤类型 4 Soil type 4	4.43	4.15	4.07	2.70

表 3 模拟酸雨淋洗液中 Al^{3+} 浓度的变化 (mg/l)
Table 3 Aluminium content in the leached solution from soil

土 壤	模拟酸雨酸度 pH of acidrain							
	6.12		4.45		3.49		2.67	
土壤层次 (cm) Soil layers	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40
土壤类型 1 Type 1	0.41	0.51	0.49	0.79	0.24	0.30	27.45	32.35
土壤类型 2 Type 2	2.16	1.48	2.13	1.28	1.03	0.95	38.48	36.40
土壤类型 3 Type 3	0.50	0.53	0.53	0.50	2.33	2.77	32.74	33.55
土壤类型 4 Type 4	0.20	0.18	0.28	0.25	0.17	0.31	31.51	31.37

从上表中可以看到： Al^{3+} 浓度以第二种类型的土壤溶液中含最高，受强酸雨的影响后，达到 37.44 mg/l，这可能是马尾松更易于受到酸雨危害的直接证据了。以第一种类型的含量最低，为 29.90 mg/l，当模拟酸雨的 pH 值由 6.12 变到 2.67 时，土壤溶液中 Al^{3+} 离子浓度分别增加了：类型 1、65 倍；类型 2、20 倍；类型 3、64 倍；类型 4、157 倍。酸雨对植物的危害很大程度上是通过土壤进行的，而受酸雨影响后，土壤中 Al^{3+} 离子浓度的变化量对植物的影响是一个很重要的参数。樟树林下土壤 Al^{3+} 离子对酸雨的敏感性比马尾松林地土壤大；公园耕作土壤 Al^{3+} 离子对酸雨的敏感性远远大于自然的荒地土壤。

土壤层次的不同对各种 pH 模拟酸雨的淋洗液中 Al^{3+} 浓度的差别影响不大，同一土壤不同层次之间相对差异较大的只有一个，为 pH=4.45 影响下的土壤类型 2，其他的都很小，但有：

土壤类型 1 对于所有 pH 值的模拟酸雨，0~20 cm 的土壤淋洗液中 Al^{3+} 离子浓度均低于 20~40 cm。

土壤类型 2 对于所有 pH 值的模拟酸雨，土壤 0~20 cm 的淋洗液中 Al^{3+} 离子浓度均高于 20~40 cm。

土壤类型 3 pH=4.45 的模拟酸雨使得 0~20 cm 土层淋洗液中 Al^{3+} 浓度大于 20~40 cm 土层，其他 pH 的模拟酸雨的情况相反。

土壤类型 4 除 pH=3.49 的模拟酸雨使得 0~20 cm 土层淋洗液中 Al^{3+} 浓度低于 20~40 cm 以外，其他情况相反，参见表 3。

受酸雨影响后，不同层次中 Al^{3+} 的含量是研究植物根系受害的基础，当新生根系分布多的层次在受到高浓度的 Al^{3+} 胁迫后，植物生长将受阻。

2.3 钾、钠离子浓度

受各种 pH 值的模拟酸雨淋洗后，土壤溶液中 K, Na 离子的浓度变化相对于 Al^{3+} 离子要稳定得多，这可能是由于 K, Na 离子在土壤中大多以可溶和易溶的状态存在，而酸雨的酸度对它的影响相对较小。从表 4 中可以看出，整个土层 (0~40 cm) 在 pH=6.12 时，K 离子含量以土壤类型 3 最高为 13.27 mg/l，其次为土壤类型 4，10.76 mg/l，类型 2 是 6.78 mg/l，类型 1 最低，仅 3.83 mg/l，pH=2.67 的模拟酸雨下，类型 3 增加到 14.15 mg/l，类型 4 为 32.88 mg/l，类型 2 为 16.00 mg/l，类型 1 为 8.65 mg/l，格局发生了改变；在 pH=6.12 时，Na 离子含量分别为类型 4 最高 3.12 mg/l，其次是类型 1 为 2.35 mg/l，类型 2 为 1.66 mg/l，类型 3 最低 1.37 mg/l，pH=2.67 时，类型 4 达到 11.36 mg/l，类型 1 为 1.72 mg/l，类型 2 只有 1.56 mg/l，类型 3 增加到 2.51 mg/l。这之中出现了一个异常的情况，

即在 pH 为 2.67 时, 土壤类型 1 和 2 的 Na 离子浓度倒减小了。而对于土壤类型 4, pH=2.67 的模拟酸雨使得 K 离子和 Na 离子都有一个很明显的增幅, 这预示着虽然这种土壤有含量可观的以难溶形式存在 K, Na 元素, 但在酸雨的影响下, 将很容易变为可溶状态, 从而对作物造成影响, 或者是这些可溶态的 K, Na 离子随酸雨流走, 造成养分流失, Ulrich. B 有类似的结论^[7]。

对于模拟酸雨的 pH 值由 6.12 变到 2.67, K 离子浓度分别增加了: 土壤 1, 1.25 倍; 土壤 2, 1.35 倍; 土壤 3, 0.07 倍; 土壤 4, 2.05 倍, 可以认为土壤 4, 土壤 2 及土壤 1 更容易损失 K 离子, 见表 4。

表 4 模拟酸雨淋洗液中 K, Na, Ca, Mg 离子浓度 (mg/l)
Table 4 Content of cation K, Na, Ca, Mg in the leached solution from soil

模拟酸雨 pH 值			6.12		4.45		3.49		2.67	
pH of simulated acid rain										
土壤层次	Soil layers (cm)		0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40
K	土壤类型 1	1	1.86	1.97	2.93	6.55	2.19	2.41	3.74	4.91
	土壤类型 2	2	1.77	5.01	2.99	8.17	7.49	8.23	5.81	12.19
	土壤类型 3	3	10.07	3.21	3.27	4.10	6.84	4.00	5.94	8.22
	土壤类型 4	4	5.92	4.84	7.93	7.36	6.53	5.93	15.72	17.15
Na	土壤类型 1	1	1.61	0.74	3.47	3.73	1.79	1.70	0.69	1.03
	土壤类型 2	2	0.79	0.87	3.47	4.24	4.32	4.35	0.81	0.75
	土壤类型 3	3	0.54	0.83	2.50	1.80	1.84	2.46	1.53	0.98
	土壤类型 4	4	1.45	1.67	2.04	2.10	0.98	1.12	5.63	5.73
Ca	土壤类型 1	1	2.61	2.54	4.02	4.28	2.62	2.65	5.87	7.93
	土壤类型 2	2	7.43	6.82	5.96	7.34	6.88	12.85	64.18	
	土壤类型 3	3	1.94	2.54	6.09	6.55	2.54	3.29	20.41	31.20
	土壤类型 4	4	4.30	4.16	7.20	6.78	4.38	4.24	24.36	22.21
Mg	土壤类型 1	1	0.21	0.23	0.31	0.42	0.21	0.23	0.38	0.65
	土壤类型 2	2	0.81	0.58	1.00	1.10	0.84	0.79	1.62	4.31
	土壤类型 3	3	0.23	0.46	0.74	0.72	0.32	0.95	4.35	5.49
	土壤类型 4	4	0.80	0.77	1.25	1.32	0.81	0.94	10.71	11.69

2.4 钙、镁离子浓度

随着酸度的增加, 土壤淋洗液中的 Ca, Mg 离子浓度经历了如表 4 所示的变化过程, 即当酸雨的酸度较小时, 土壤各个层次的钙离子, 镁离子浓度都没有很大的变化, 且变化趋势不稳定, 基本上和 pH 值变化规律相似。同样当模拟酸雨的 pH 值由 3.49 到 2.67 时, 也有一个剧增的现象, 而且其变化格局有相似之处, 但是 Ca, Mg 离子较多地受到土壤类型的影响, 模拟酸雨的酸度较低时, 土壤类型之间的浓度差异较小, 而当模拟酸雨的 pH 值达 2.67 时, 各种土壤类型的浓度相差很大, 荒地土壤淋洗液的 Ca, Mg 离子浓度无大的变化, 特别是 Mg 离子的变化就更小, 可其他土壤类型都有一个跳跃式的增加。

在土壤层次上, Ca, Mg 离子浓度受模拟酸雨影响后的变化格局基本上与土壤类型近似, 模拟酸雨的酸度越小, 差异越小, 酸度越大, 其差异也越大。

因此, 在受到酸雨的危害后, 森林土壤中的 Ca, Mg 离子极易造成爆发式的浓度增加, 受此影响最深的是树干基部的土壤带, 当地形坡度较大时, 这一部分 Ca, Mg 离子随着降

水的淋洗而流失,在重庆常常见到受酸雨危害最严重的往往是山坡部位的森林,这可能与这些部位的土壤蓄水性差的事实有关。参见表 4。

2.5 铝对森林生态系统的危害

土壤活性铝对森林的危害决定于 Ca/Al 的摩尔浓度比例, Saigusa 等(1980)^[5], Kawai (1980)^[6]和 Ulrich(1981)^[7]指出,当土壤溶液中 Ca/Al 比接近于 1 以及土壤溶液中铝的浓度达到 1 mg/l 时,植物将产生受害反应。

表 5 模拟酸雨淋洗液中 Ca/Al 和 Al 浓度 (mg/l)

Table 5 The ratio of Ca/Al and Al content in the leached solution from soil

模拟酸雨 pH 值		6.12		4.45		3.49		2.67	
pH of simulated acid rain		6.12		4.45		3.49		2.67	
土壤层次	Soil layers (cm)	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40
土壤类型 1	Ca/Al	4.28	3.37	5.57	3.64	7.22	6.05	0.14	0.17
	Al(mg/l)	0.41	0.51	0.49	0.79	0.24	0.30	27.47	32.38
土壤类型 2	Ca/Al	2.31	1.52	2.79	3.14	4.79	4.85	0.22	0.48
	Al	2.17	1.49	2.13	1.28	1.03	0.96	38.51	36.42
土壤类型 3	Ca/Al		2.63	3.21	7.71	8.91	0.73	0.42	0.63
	Al		0.50	0.53	0.53	0.50	2.33	32.77	33.57
土壤类型 4	Ca/Al	14.47	15.41	17.44	17.92	17.35	9.15	0.52	0.48
	Al	0.20	0.18	0.28	0.25	0.17	0.31	31.53	31.39

普遍认为 Ca/Al 的摩尔浓度比小于 1 时,植物就有危险。表 5 中的数据表明,除土壤类型 2 以外, Ca/Al 比大于 1 时,溶液中 Al^{3+} 离子浓度就小于 1, 相反当 Ca/Al 比小于 1 时,溶液中 Al^{3+} 离子浓度就大于 1。而土壤类型 2 是马尾松林地,土壤酸度比较大,它不仅象前面所说的那样,淋洗液的 pH 值对模拟酸雨的酸度更加敏感,而且其铝的释放量也较其他土壤对酸雨酸度敏感些,各种模拟酸雨下,铝离子浓度普遍显著高于其他土壤类型。

实际过程就是这样的:随着酸度高的降水的不断输入,土壤中释放的铝离子逐步增多,最终对植物产生毒害作用,而此时土壤溶液中其他各种离子的平衡失调又加剧了这种危害性。

2.6 硫酸根离子

SO_4^{2-} 离子几乎不受酸雨酸度的影响,各种土壤淋洗液中的 SO_4^{2-} 离子都分别处于同一个浓度水平,参见图 1。

3 结论

3.1 重庆南山几种主要土壤都有一定的抗酸化能力,表现在受到一定酸度的酸雨淋洗后,土壤溶液的 pH 值能相对稳定,但这种能力有一定的限度,酸度过强时,即受到破坏,这种危害主要发生在树干周围。

3.2 当土壤抗酸化作用被破坏后,伴随而来的是土壤溶液中 Al^{3+} 离子爆发式的增加,同

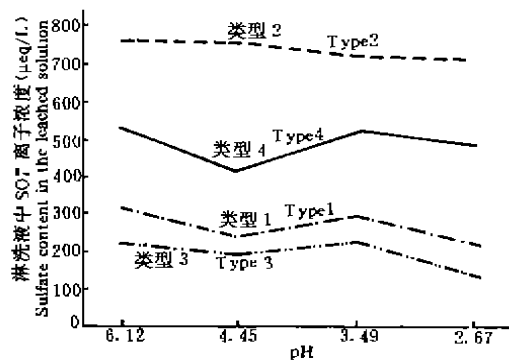


图 1 各土壤淋洗液中 SO_4^{2-} 离子浓度

Fig. 1 Sulphate content in the leached solution from soil

时其它一些养分离子如 Ca、Mg 的浓度也明显增多, Al^{3+} 离子的高浓度造成对树木根系的伤害, 与此相对, K、Na 离子较为稳定, 而 S_4^{2-} 离子几乎不受影响。

3.3 正因为土壤在受到强酸雨影响后, 其溶液中各种成分含量明显增高, 从而地形和部位的不同, 将造成酸雨危害的症状和严重性有差异。

参 考 文 献

- 1 冯宗炜等. 模拟酸雨对树木叶片的伤害和树木抗性的研究. 环境科学, 1988, 9(5): 30~33
- 2 邓仕坚, 陈楚莹等. 林冠及叶凋落物对模拟酸雨缓冲能力的初探. 环境科学, 1992, 13(3): 10~17
- 3 曹洪法等. 森林冠层对酸雨的反应及其影响. 中国环境科学, 1989, 9(2): 81~85
- 4 程伯容, 许广山等. 森林林冠对酸性降水化学组成的影响. 中国环境科学, 1989, 9(2): 155~157
- 5 Saigusa M *et al.* Plant root growth in acid andosols from Northeastern Japan, 2 Exchange acidity y_1 as a realistic measure of Aluminum toxicity potential. *Soil Sci.* 1980, 130(5): 242~250
- 6 Kawai K. The relationship of phosphorus adsorption to amorphous aluminum for characterizing andosols. *Soil Sci* 1980, 129(3): 186~190
- 7 Ulrich B *et al.* Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil Sci.* 1981, 130: 193~199