

文章编号: 1001-1498(2000)06-0598-10

广州市酸雨对不同森林冠层 淋溶规律的研究*

周光益¹, 徐义刚², 吴仲民¹, 骆土寿¹, 李炳球³, 何在成²

(1. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520;

2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

3. 广州市白云山园林管理局, 广东 广州 510405)

摘要: 1998年4月至1999年3月对广州市白云山马尾松林和常绿阔叶林、广州市龙眼洞马尾松林两试验点进行了酸雨的监测,并测定和分析了林内穿透雨物理量及化学量,旨在探讨酸雨对不同森林冠层养分淋溶规律的影响。结果表明:(1)广州市酸雨占降雨次数的79.7%或占降雨量的95.1%。(2)酸雨通过林冠层后,pH值明显增加。(3)在马尾松林和常绿阔叶林中,某些单次降雨出现 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、 Na^+ 的负淋溶现象,说明森林对这些离子(特别是 NO_3^- 、 Al^{3+})具有吸收作用;阔叶林全年的 NO_3^- 和 Al^{3+} 净淋溶为负值,说明阔叶林比马尾松林对这两种离子具有更强的吸收能力。(4)雨水酸度增加(即pH值减小),明显地提高阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 冠层淋溶百分率。(5) NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 这三种离子的冠层淋溶百分率明显地与雨水中 SO_4^{2-} 及 NO_3^- 浓度成负相关。(6) SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 的冠层淋溶序列,在白云山常绿阔叶林中为 $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{NO}_3^-$;在白云山马尾松林中为 $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Al}^{3+}$,在龙眼洞马尾松林中为 $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Al}^{3+}$ 。

关键词: 酸雨; 冠层淋溶; 马尾松; 南亚热带常绿阔叶林

中图分类号: S718.55

文献标识码: A

酸雨即酸性湿沉降,一般是指 $\text{pH} < 5.6$ 的降雨。最近,将酸雨的临界值定为4.5。酸雨中不仅含有大量的 H^+ ,而且还含有高浓度的具有酸化作用的 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 等,同时也有许多金属阳离子、重金属、微量元素及各种有机污染物。酸雨对陆地及水生生态系统的影响已成为全球范围的重大环境问题。酸雨对森林生态系统的影响,在国内外引起了人们的高度重视,并有许多的研究报道,但这些报道主要集中在酸雨对林木生长及生产力影响、酸雨对森林土壤的影响以及模拟酸雨实验等方面^[1~10]。广东特别是珠江三角洲地区的酸雨比较严重^[11],但酸雨对这一地区森林生态系统的影响研究几乎是个空白。本文选取该地区主要森林类型之一的马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)林和常绿阔叶林为研究对象,分析酸雨通过森林林冠层后

收稿日期: 2000-03-13

基金项目: 广东省自然科学基金项目“大气污染对珠江三角洲森林的影响及经济损失评估”(960515)和广东省林业厅项目“水源林水质生态效益及森林优化模式研究”的部分研究内容

作者简介: 周光益(1964),男,湖南新宁人,副研究员,硕士。

* 野外调查和树种的鉴定得到植物学家黄全先生的帮助,化学分析由中国科学院广州地球化学研究所的谢长生、于赤灵和中国林科院热带林业研究所杨乐苏完成,在此一并感谢。

所发生的水化学变化规律。

1 研究地概况

龙眼洞观测点位于广州市的东北部, $31^{\circ}55' N$, $108^{\circ}08' E$, 海拔 60 m。气候为亚热带季风气候, 历年平均年降雨量为 1 600 mm, 且主要集中在雨季; 土壤为花岗岩发育而成的砖红壤; 研究林分为 21 年生的马尾松人工林, 经林分样地调查, 计算出林分的密度为 $1\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均胸径为 10.2 cm, 平均树高为 8.1 m, 林下植被的盖度为 80%, 主要的植物种有黄牛木 (*Cratogeomys ligustrum* B1.)、九节木 [*Psychotria rubra* (Lour.) Poir.]、桃金娘 [*Rhodomyrtus tomentosa* (Art.) Hassk.]、龙船花 (*Ixora chinensis* Lam.)、豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* Allen)、铁芒箕 [*Dicranopteris linearis* (Burm. F.)]、掌叶海金沙 (*Lygodium digitatum* Presl.) 等。

白云山观测点设在广州市中部的白云山风景区内, 与龙眼洞观测点间的水平距离约 13 km, 两地的气候和土壤条件基本一致。白云山试验点海拔为 200 m, 马尾松林为 40 年生的人工林, 林分的密度小, 平均胸径为 31.0 cm, 平均树高为 16.8 m, 林下植被的盖度为 90%, 主要的植物种有九节木、桃金娘、潺胶木姜 (*Litsea glutinosa* C. B. Rob.)、三叉苦 (*Euodia leptota* Merr.)、野牡丹 (*Melastoma sanguineum* Sims.); 白云山常绿阔叶林的主要建群树种为黄牛木、山苦槠 [*Euodia meliifolia* (Hance) Benth.]、剑叶灰木 (*Symplocos lancifolia* S. et Z.)、柳叶桉楠 (*Machilus salicina* Hance) 及人工补植的红花油茶 (*Camellia semiserrata* C. W. Chi), 林分的密度为 $2\ 400 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均胸径为 8.9 cm, 平均树高为 7.5 m, 林下植被稀少。

2 研究方法

降雨量测定: 在林分附近的空旷地, 设置一标准雨量筒以测定林外降雨量, 同时布设 1 个干净的塑料盆, 收集每次降雨过程的化学分析水样。

林内穿透雨水的测定: 在林内随机铺设相当于 8 个标准雨量筒的槽式收集器(离地面 70 cm 高), 用于测定穿透雨水量。

水样的化学分析: 每次降雨, 采集林外降雨、林内穿透雨水水样, 取样后立即送实验室进行分析。全氮用扩散法, 磷用磷钼蓝比色法, K、Ca、Mg、Al 用原子吸收光谱法, 硅用硅钼蓝比色法, pH 值用 DF-807 型离子计测定。

3 结果与分析

3.1 酸雨频率分析

从 1998 年 4 月至 1999 年 3 月, 共采集了 59 次降雨水样, 雨量范围从 1.4~102.1 mm, 这 59 次降雨总量(1 548.7 mm) 占年降雨量的 93.3%, 各不同降雨量级的取样次数及其雨量分配比例见图 1。

从酸雨的频率看(图 2), 将降雨的 pH 值划分为 7 个等级即 ≤ 3.5 , 3.5~4.0, 4.0~4.5, 4.5~5.0, 5.0~5.5, 5.5~6.0 及 > 6.0 , 无论是降雨次数还是相应的雨量, 在各 pH 值等级的分配格局呈偏态分布, 且所占的最大比例都在 pH 值为 4.0~4.5 这一范围; 若以 $\text{pH} < 4.5$ 为酸雨的临界值, 则降雨次数的 50.8% 或降雨量在 78.2% 为酸性降雨, 若以 $\text{pH} < 5.6$ 为酸雨的临界值, 则酸雨频率更高, 占降雨次数的 79.7% 或占降雨量的 95.1%, 这一数据说明广州市的

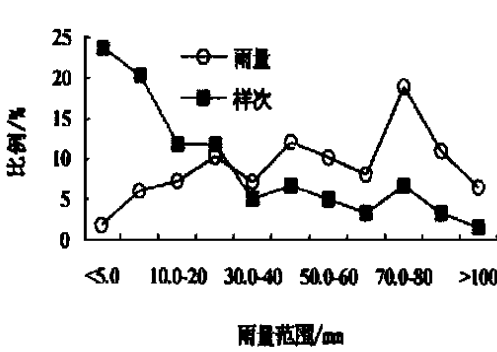


图1 采集的水样在不同雨量级的分布

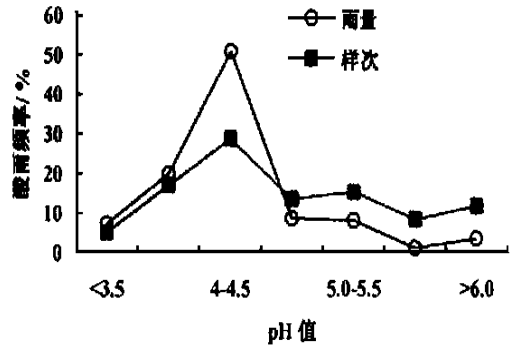


图2 广州市酸雨频率分析

酸雨是相当严重的, 应引起政府及有关部门的高度重视。

3.2 单次降雨过程的冠层淋溶

从图3可以看出, 两试验点的马尾松林和常绿阔叶林中, 穿透雨的 pH 值明显大于雨水, 即各林分中穿透雨 H⁺ 含量明显小于雨水, 说明雨水与森林植物体(主要是树叶)发生了离子交换作用。

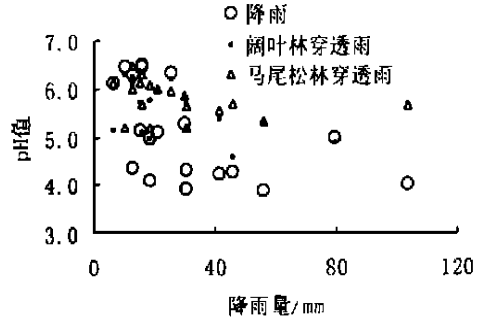
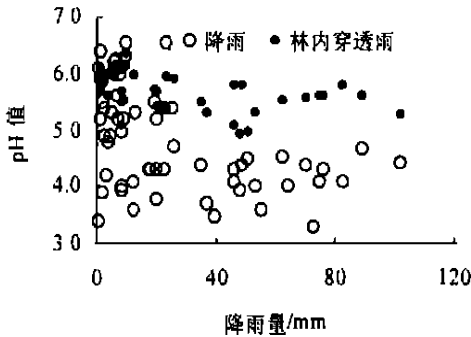


图3 降雨和林内穿透雨的 pH 值[龙眼洞马尾松林(左图)、白云山阔叶林和马尾松林(右图)]

3.2.1 降雨量与淋溶

从图4看出, 在广州市龙眼洞马尾松试验林地中, 阴离子中的 SO₄²⁻ 和阳离子中的 Ca²⁺, 其冠层淋溶百分率随雨量的增加呈明显减少的趋势; SO₄²⁻ 出现这种现象可能是因为雨量大的降水多为酸性, 其 SO₄²⁻ 含量较高, 且森林对 SO₄²⁻ 有一定吸收作用的缘故^[2,12]。Ca²⁺ 出现这种现象, 说明在该马尾松林地中 Ca²⁺ 的冠层淋溶主要来自于陆地源(尘埃), 因为沉积在林冠层的尘埃被小雨量的降雨淋洗下来时, 使得林内穿透雨的 Ca²⁺ 浓度明显增大即冠层淋溶百分率增高, 在降雨量较大时, 大量的雨水冲淡了林内穿透雨的 Ca²⁺ 浓度, 使得冠层淋溶百分率比相应的小雨量要低。NO₃⁻、NH₄⁺、Al³⁺、Na⁺ 的冠层淋溶与降雨量的关系不明显, 说明这几种离子的冠层淋溶受多种因素的影响, 情况比较复杂。K⁺ 和 Mg²⁺ 的冠层淋溶百分率随雨量的增加基本保持在一定值范围变化并略有下降, 由于 K 和 Mg 是两种活性较强的元素, 不论是小雨量还是较大雨量, 其冠层淋溶百分率都比较高, 但随雨量的增加其淋

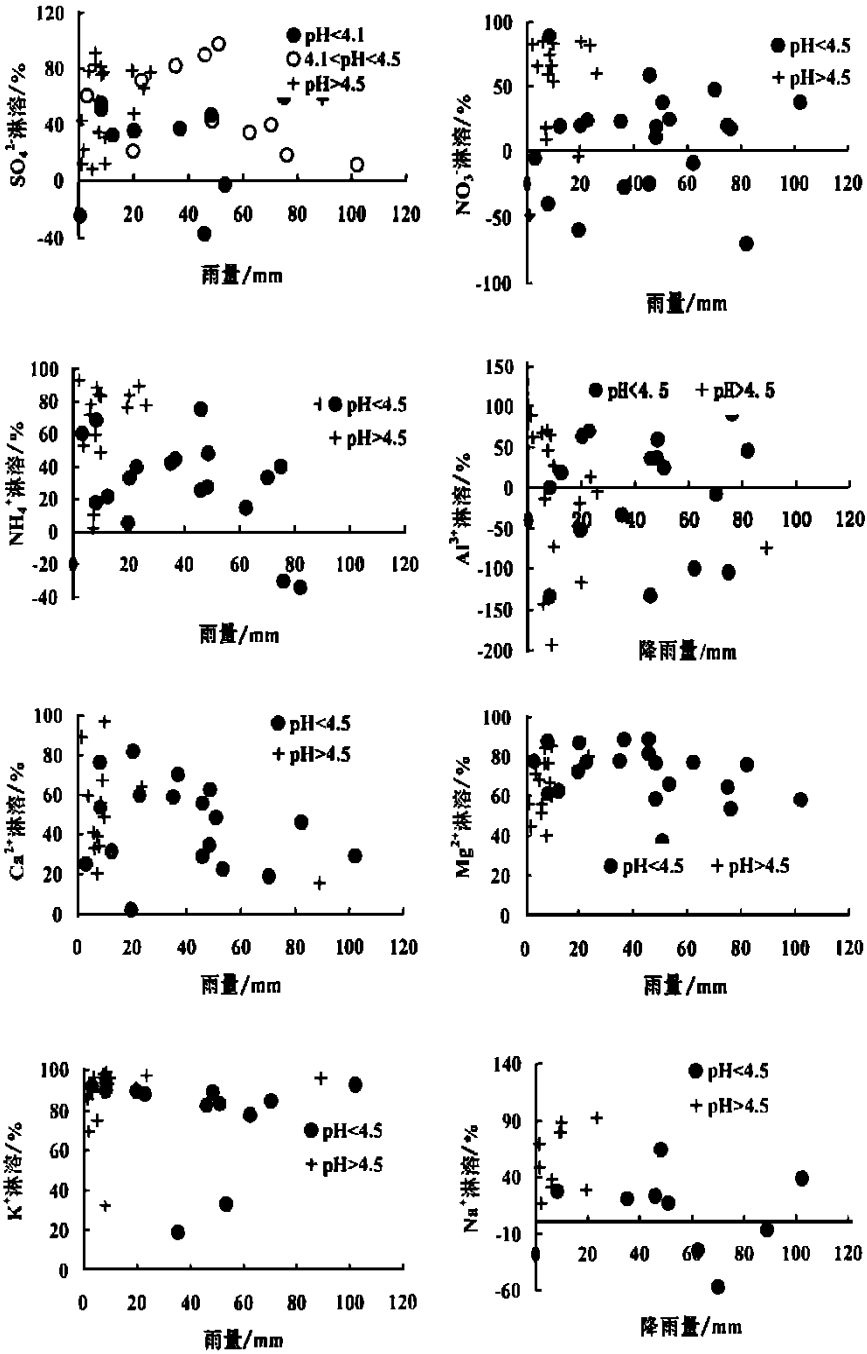


图 4 广州市龙眼洞马尾松人工林冠层化学淋溶

溶百分率略有下降, 说明了冠层淋溶在一定程度上仍受陆地尘埃的影响。

在白云山马尾松林和常绿阔叶林中, 其冠层淋溶百分率和降雨量间的关系同龙眼洞马尾松林的冠层淋溶规律相似(见图 5、6)。

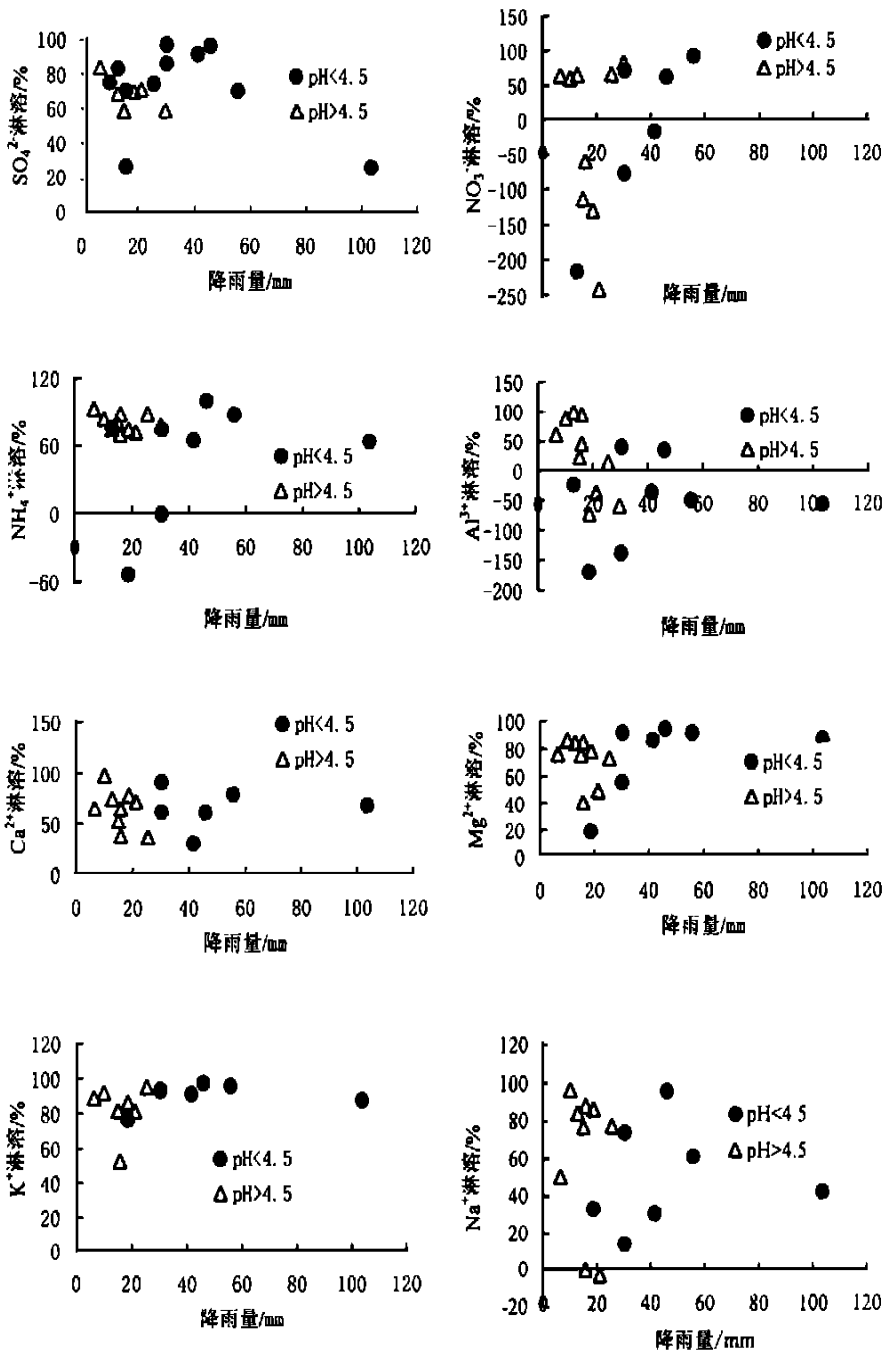


图5 广州市白云山马尾松人工林冠层化学淋溶

从图 4、5 和 6 亦可看出, SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、 Na^+ 的冠层淋溶在这 3 种林分中都出现有负值, 说明马尾松林和常绿阔叶林对这些离子(特别是 NO_3^- 和 Al^{3+}) 具有吸收作用, M. K. Mahendrappa^[12]对 3 种阔叶林和 6 种针叶林 13 a 的观测研究也得出绝大多数林分能吸收

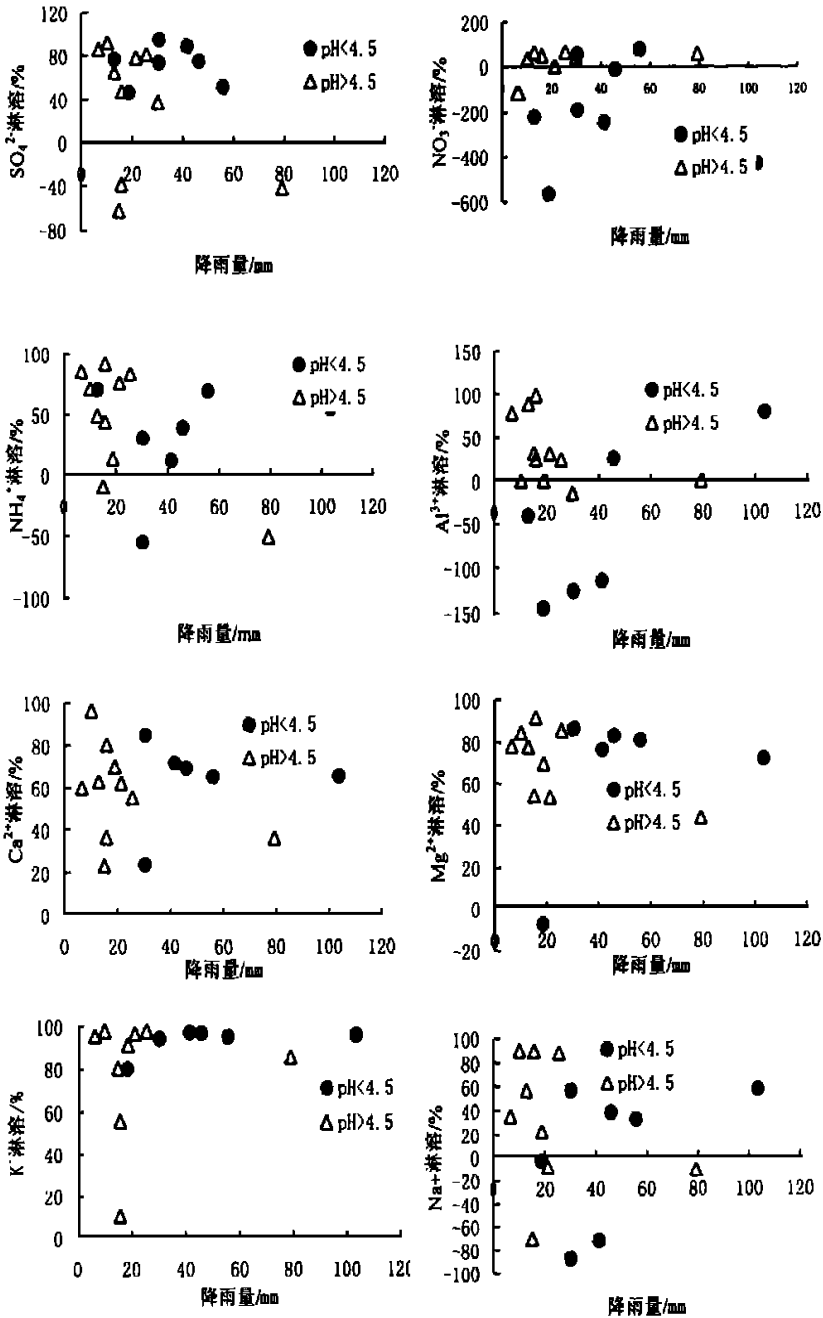


图 6 广州市白云山常绿阔叶林冠层化学淋溶

雨水中的 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 这一结论。森林既中和了酸雨酸性, 又吸收了部分的硫酸根和硝酸根, 减少对土壤、溪流、湖泊的酸化, 森林冠层对 Al^{3+} 的吸收能减少 Al^{3+} 对树木根系的毒害, 这些是良好的环境效应。

3.2.2 雨水酸性与淋溶 从表1看出,随着降雨pH值的增加,阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ 的冠层淋溶百分率呈现减少的趋势,说明酸雨能明显促进森林生态系统 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ 的淋溶; Na^+ 的淋溶百分率,在雨水pH值 < 0.5 范围是随降雨pH值的增加而减少,与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ 的淋溶规律一致,在pH值 > 5.0 时表现出随降雨pH值的增加而增加的趋势; Al^{3+} 表现负淋溶,且在 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 浓度越高时, Al^{3+} 的淋溶百分率负值越大; NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 这3种离子淋溶变化规律一致,明显地表现与雨水中 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的浓度相关,雨水中 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的浓度高时, NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 这3种离子的淋溶百分率小,反之则大。

表1 降雨pH值、硫酸根和硝酸根离子浓度对龙眼洞马尾松人工林冠层淋溶的影响¹⁾

pH 范围	降雨中浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)			冠层淋溶/%							
	平均	SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
< 4.0	3.82	11.61	0.96	28.60	-11.10	-14.22	-48.28	56.62	74.95	91.05	46.00
4.0~4.5	4.26	7.78	0.54	45.07	8.46	29.88	-16.94	29.73	68.88	87.00	5.88
4.5~5.0	4.70	6.52	0.29	70.13	53.32	68.79	-18.31	30.88	65.49	90.33	-5.03
5.0~5.5	5.34	10.45 ^②	0.79 ^②	50.56	11.81	29.93	-24.32	18.57	50.31	89.31	54.32
> 5.5	6.23	8.98 ^②	0.66 ^②	48.71	27.59	80.50	-32.53	17.41	50.40	78.13	41.83

①pH值、离子浓度及各离子淋溶百分率的值为算术平均值。②由于pH > 5.0 的26个分析水样中80%为小于10mm的降雨,且多数是秋冬季所取的样,根据徐义刚和周光益等的研究¹⁾得出,广州市冬季受陆地污染源影响大而使大气中 Ca^{2+} 等碱性物质浓度大,且雨量 $< 10\text{mm}$ 的降雨pH较高,所以虽然 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 浓度大,但被 Ca^{2+} 等碱性物质中和后pH变大。

3.3 3种林分的冠层淋溶及其比较

根据各次降雨过程测得的雨水和林内穿透雨各化学离子的含量,以雨量为权重,计算出试验林分降雨及穿透雨中离子的年平均含量和年沉降率。从表2看出:白云山试验点 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 离子的降雨年沉降率分别为152.74、15.50、21.48、2.19、33.52、2.29、5.63、10.96 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;在该地的常绿阔叶林中,各离子穿透雨年沉降率分别为286.68、14.65、35.86、2.13、55.15、7.11、81.39、13.78 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,相应的冠层净淋溶分别为133.94、-0.85、14.39、-0.06、21.63、4.82、75.76、2.81 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;在该地的马尾松林中,穿透雨离子沉降率分别为578.60、33.90、108.54、2.40、89.96、14.02、69.18、23.66 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,相应的冠层净淋溶分别为425.86、18.40、87.07、0.17、56.44、11.74、63.54、12.70 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。龙眼洞试验点 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 离子的降雨年沉降率分别为110.68、27.94、23.70、2.34、19.43、1.70、7.60、9.84 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,在该地的马尾松林中,各离子穿透雨年沉降率分别为290.66、32.37、48.46、2.38、33.23、4.92、29.87、12.85 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,相应的冠层净淋溶分别为179.98、4.42、24.76、0.04、13.80、3.22、22.27、3.01 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

在白云山和龙眼洞两试验点各离子降雨年沉降中,差异较大的主要是 Ca^{2+} 和 NO_3^- ,白云山的 Ca^{2+} 比龙眼洞的高,可能是由于白云山地处市中心,加上旅游点的交通及人为活动等因素,大气尘埃量比地处市郊的龙眼洞试验点要高的缘故;而龙眼洞的 NO_3^- 比白云山的将近高出1倍,可能是因为龙眼洞位于广州氮肥厂的西北面(广州地区春夏季吹东南和偏南风),且相隔距离较近的缘故。

1) 徐义刚,周光益等.广州市典型森林区酸雨的化学结构、季节变化及其成因.生态学报(待发表).

从 3 种林分冠层淋溶规律的比较中, 发现如下几方面的差异: (1) 各离子的冠层淋溶百分率差异: K^+ 表现为白云山阔叶林 > 白云山马尾松林 > 龙眼洞马尾松林, 其它离子都表现为白云山马尾松林 > 龙眼洞马尾松林 > 白云山阔叶林。(2) 淋溶序列的差异: 白云山阔叶林为 K^+

表 2 3 种试验林分的冠层化学淋溶的比较

项 目	冠 层 淋 溶							
	O_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
白云山常绿阔叶林 (年降雨量 P/PH 值: 1 590.9 mm/4.39; 年穿透雨量 T/PH 值: 1 322.0 mm/5.36)								
A. 降雨量离子浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	9.60	0.97	1.35	0.14	2.11	0.14	0.35	0.69
B. 穿透雨离子浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	21.69	1.11	2.71	0.16	4.17	0.54	6.16	1.04
C. 降雨离子沉降率/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	152.74	15.50	21.48	2.19	33.52	2.29	5.63	10.96
D. 穿透雨离子沉降率/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	286.68	14.65	35.86	2.13	55.15	7.11	81.39	13.78
E. 冠层净淋溶/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	133.94	-0.85	14.39	-0.06	21.63	4.82	75.76	2.81
F. 淋溶系数(D项/C项)	1.88	0.95	1.67	0.97	1.65	3.11	14.45	1.26
G. 淋溶百分率/%	46.72	-5.82	40.11	-2.61	39.21	67.84	93.08	20.43
H. 淋溶序列	$K^+ > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > NH_4^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Al^{3+} > NO_3^-$							
I. 降雨离子含量序列	$SO_4^{2-} > Ca^{2+} > NH_4^+ > NO_3^- > Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Al^{3+}$							
J. 穿透雨离子含量序列	$SO_4^{2-} > K^+ > Ca^{2+} > NH_4^+ > NO_3^- > Na^+ > Mg^{2+} > Al^{3+}$							
白云山马尾松林 (年降雨量 P/PH 值: 1 590.9 mm/4.39; 年穿透雨量 T/PH 值: 1 409.4 mm/5.56)								
A. 降雨量离子浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	9.60	0.97	1.35	0.14	2.11	0.14	0.35	0.69
B. 穿透雨离子浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	41.05	2.41	7.70	0.17	6.38	1.00	4.91	1.68
C. 降雨离子沉降率/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	152.74	15.50	21.48	2.23	33.52	2.29	5.63	10.96
D. 穿透雨离子沉降率/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	578.60	33.90	108.54	2.40	89.96	14.02	69.18	23.66
E. 冠层净淋溶/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	425.86	18.40	87.07	0.17	56.44	11.74	63.54	12.70
F. 淋溶系数(D项/C项)	3.79	2.19	5.05	1.08	2.68	6.13	12.28	2.16
G. 淋溶百分率/%	73.60	54.28	80.21	7.04	62.73	83.70	91.86	53.67
H. 淋溶序列	$K^+ > Mg^{2+} > NH_4^+ > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > NO_3^- > Na^+ > Al^{3+}$							
I. 降雨离子含量序列	$SO_4^{2-} > Ca^{2+} > NH_4^+ > NO_3^- > Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Al^{3+}$							
J. 穿透雨离子含量序列	$SO_4^{2-} > NH_4^+ > Ca^{2+} > K^+ > NO_3^- > Na^+ > Mg^{2+} > Al^{3+}$							
龙眼洞马尾松人工林 (年降雨量 P/PH 值: 1 660.4 mm/4.37; 年穿透雨量 T/PH 值: 1 433.0 mm/5.53)								
A. 降雨量离子浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	6.67	1.68	1.43	0.14	1.17	0.10	0.46	0.59
B. 穿透雨离子浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	20.28	2.26	3.38	0.17	2.32	0.34	2.08	0.90
C. 降雨离子沉降率/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	110.68	27.94	23.70	2.34	19.43	1.70	7.60	9.84
D. 穿透雨离子沉降率/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	290.66	32.37	48.46	2.38	33.23	4.92	29.87	12.85
E. 冠层净淋溶/($kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	179.98	4.42	24.76	0.04	13.80	3.22	22.27	3.01
F. 淋溶系数(D项/C项)	2.63	1.16	2.04	1.02	1.71	2.90	3.93	1.31
G. 淋溶百分率/%	61.92	13.67	51.10	1.48	41.53	65.53	74.56	23.43
H. 淋溶序列	$K^+ > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > NH_4^+ > Ca^{2+} > Na^+ > NO_3^- > Al^{3+}$							
I. 降雨离子含量序列	$SO_4^{2-} > NO_3^- > NH_4^+ > Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Al^{3+} > Mg^{2+}$							
J. 穿透雨离子含量序列	$SO_4^{2-} > NH_4^+ > Ca^{2+} > NO_3^- > K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Al^{3+}$							

> $Mg^{2+} > SO_4^{2-} > NH_4^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Al^{3+} > NO_3^-$, 白云山马尾松林为 $K^+ > Mg^{2+} > NH_4^+ > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > NO_3^- > Na^+ > Al^{3+}$, 龙眼洞马尾松林为 $K^+ > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > NH_4^+ > Ca^{2+} > Na^+ > NO_3^- > Al^{3+}$, 白云山阔叶林和龙眼洞马尾松林淋溶序列基本相同, 白云山马尾松林的离子淋溶序列与前两种林分差异最明显的是 NO_3^- , 这是由于前两种林分比白云山

马尾松具有较小的林分年龄、较好的林分结构和较大的林木密度,从而增大了森林对 NO_3^- 吸收的可能性,使 NO_3^- 淋溶减少的缘故。(3)冠层净淋溶的差异: K^+ 表现为常绿阔叶林大于两种马尾松林,其它离子的净淋溶都是白云山马尾松林最大;从白云山阔叶林与龙眼洞马尾松比较看出, SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 和 Na^+ 的林冠净淋溶表现为阔叶林小于马尾松林, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的林冠净淋溶表现为阔叶林大于马尾松林。另外,阔叶林 NO_3^- 和 Al^{3+} 全年的净淋溶表现为负值,说明阔叶林对这两种离子具有较强的吸收能力。

4 结 论

(1)广州市降雨 pH 值大多数在 4.0~4.5 这一范围;若以 $\text{pH} < 5.6$ 为酸雨的临界值,则酸雨频率高达 80% 以上,酸雨占降雨次数的 79.7% 或占降雨量的 95.1%。

(2)酸雨通过马尾松林和常绿阔叶林林冠层后,发生了离子交换作用,使穿透雨的 pH 明显大于雨水,即各林分中穿透雨 H^+ 含量明显小于雨水。

(3)通过单次降雨过程的冠层淋溶规律分析,发现 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、 Na^+ 的冠层淋溶在这 3 种林分中都出现有负值,说明马尾松林和常绿阔叶林对这些离子(特别是 NO_3^- 、 Al^{3+}) 具有吸收作用,且阔叶林表现更加明显。

(4)雨水的酸性与离子的冠层淋溶关系密切。雨水越酸(即 pH 值越小),阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 冠层淋溶百分率越高; NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 这 3 种离子的冠层淋溶变化规律明显地与雨水中 SO_4^{2-} 及 NO_3^- 浓度成负相关。

(5)处在市区中心(白云山)的老龄马尾松林与市郊(龙眼洞)同种中龄马尾松林相比,各离子的冠层净淋溶系数前者比后者大;除 K^+ 外,同一地点(白云山)的常绿阔叶林比马尾松林的冠层净淋溶系数要小。

参考文献:

- [1] 冯宗炜. 酸雨对生态系统的影响——西南地区酸雨研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [2] 冯宗炜. 酸沉降对生态系统的影响及其生态恢复[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [3] 冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 等. 重庆地区酸雨对马尾松生产力的影响[J]. 大气环境和酸雨, 1986, (3): 38~ 45.
- [4] 朱立民, 冯宗炜. 江苏省森林受酸沉降影响造成的经济损失研究[J]. 农村生态环境, 1997, (1): 1~ 5.
- [5] 周修萍, 秦文娟. 华南三省(区)土壤对酸雨的敏感性及其分区图[J]. 环境科学学报, 1992, 12(1): 78~ 83.
- [6] 高绪平, 曹洪法. 105 种植物对模拟酸雨的反应[J]. 中国环境科学, 1987, 7(2): 16~ 20.
- [7] 冯宗炜, 张家武. 模拟酸雨对树木叶片的伤害和树木抗性的研究[J]. 环境科学, 1988, 9(5): 30~ 33.
- [8] Schaaf W, Weisdorfer M, Huettler F. Soil solution chemistry and element budgets of three scots pine ecosystems along a deposition gradient in north-eastern Germany [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1995, 85: 1197~ 1202.
- [9] Kohno Y. Effect of simulated acid rain on the growth of Japanese cedar, Japanese cypress and Sawara cypress [J]. Journal of Japan Society for Atmospheric Environment, 1995, 30(3): 191~ 207.
- [10] Reuss J O, Johnson D W. Acid deposition and the acidification of soil and waters [M]. New York: Springer Verlag, 1986.
- [11] 陈镇华. 论广州地区酸雨防治对策——广州地区酸雨危害综述[J]. 广州环境科学, 1990, 4: 13~ 20.
- [12] Mahendrapa M K. 森林对雨水化学性质的影响[J]. 林业科技通讯, 1991, 12: 28~ 31.

Influences of Acid Rain on Crown Leaching of Chemical Ions in Different Forest Ecosystem in Guangzhou

ZHOU Guang-yi¹, XU Yi-gang², Wu Zhong-min¹, Luo Tu-shou¹,
LI Bing-qiu³, HE Zai-cheng²

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;

3. Administration Bureau of Baiyunshan Park of Guangzhou City, Guangzhou 510405, Guangdong, China)

Abstract: The rainfall and throughfall in *Pinus massoniana* forest and subtropical evergreen broad-leaved forest at Baiyunshan and in *P. massoniana* plantation at Longyandong were measured during the period of April 1998 to March 1999. The collected samples of rainfall and throughfall were used for analyzing pH value and major element compositions (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). And hence, the crown leaching of main chemical ions in the forests and the relationships between canopy leaching and acid rain were studied. The results indicates that: (1) The frequency of acid rain in Guangzhou is 79.7%, and the amount of acid rain accounts for 95.1% of annual rainfall. (2) The pH value of throughfall in the forest ecosystems is obviously higher than that of rainfall because of the ion exchange in canopy. (3) During the process of some rain, SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Al^{3+} , Na^+ appeared negative leaching in the pine forests and evergreen broad-leaved forest, this phenomenon illustrates that the forests can absorb these ions (especially NO_3^- and Al^{3+}) under the condition of acid rain. In view of annual net crown leaching, the net leaching of NO_3^- and Al^{3+} in the broad-leaved forest is -0.85 and $-0.06 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively, and that in two pine forests are positive leaching, this also illustrates that the evergreen broad-leaved forest has great capacity of absorbing NO_3^- and Al^{3+} . (4) Increase of acidity of rain can obviously increase the ratio of crown leaching of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ and Na^+ . (5) The ratios of crown leaching of NH_4^+ , SO_4^{2-} and NO_3^- have close negative interrelation to the concentration of SO_4^{2-} and NO_3^- in rainfall. (6) The crown leaching array of major elements from high to low in evergreen broad-leaved forest at Baiyunshan is $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{NO}_3^-$, in *P. massoniana* forest at Baiyunshan is $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Al}^{3+}$, in *P. massoniana* plantation at Longyandong is $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Al}^{3+}$.

Key words: acid rain; crown leaching; *Pinus massoniana*; southern subtropical evergreen broad-leaved forest