

韶山针阔叶混交林凋落物层的淋溶及缓冲作用

杜春艳¹, 曾光明^{1,*}, 张 龚², 苏小康¹, 王玲玲¹, 黄 璐¹, 蒋益民^{1,2}

(1. 湖南大学环境科学与工程学院, 长沙 410082; 2. 湖南省环保局, 长沙 410082)

摘要:在韶山森林设立 4 个 10m × 10m 的标准样地, 分别收集凋落物、凋落物层淋滤液和冠层穿透水, 研究了韶山森林凋落量季节动态, 凋落物淋滤液和冠层穿透水特征以及凋落物层对酸沉降的缓冲作用。结果表明: (1) 韶山森林凋落高峰出现在秋季, 凋落量随着海拔增加而增加; (2) 凋落物淋滤液中盐基阳离子浓度除夏季 $K^+ > Ca^{2+}$ 外, 其余季节均为: $Ca^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Mg^{2+} > Na^+$, 与冠层穿透水中阳离子浓度分布基本是一致的; (3) 除 Ca^{2+} 外, 凋落物淋滤液和冠层穿透水中各阳离子浓度相关性显著, K^+ 达到了极显著相关水平, 证实了韶山森林通过凋落物养分归还的 K^+ 主要来自森林冠层的滤出; (4) 除个别点外, 凋落物淋滤液中各阳离子总浓度较冠层穿透水均有不同程度的增加, 秋季增幅最大, 冬季次之, 这与凋落物量变化一致; (5) 韶山森林冠层穿透水 pH 值变动范围为 4.58 ~ 7.13, 最低值出现在冬季, 最高值出现在夏季, 凋落物淋滤液 pH 值变动范围为 5.02 ~ 6.69, 均高于韶山表层土壤 pH 平均值 5.0, 且最低值出现在春季, 最高值出现在秋季; (6) 冬季凋落物淋滤液 pH 值较冠层穿透水均增加, 增幅范围在 0.06 ~ 1.35 之间, 而其他季节 (除样地 C 的秋季外) pH 值均有所下降, 这表明韶山森林凋落物层冬季具有较强的酸缓冲作用, 而其他季节由于盐基阳离子的滤出不足以抵消凋落物本身分解产生的有机酸类物质的酸化作用, 而使凋落物淋滤液 pH 值降低。

关键词:凋落物; 盐基阳离子; 季节动态; 酸缓冲

文章编号: 1000-0933(2008)02-0508-09 中图分类号: Q142, Q948, S715.3, S718.5 文献标识码: A

The eluviations and acid buffering effect of litterfall in Shaoshan conifer and broad-leaved mixed forest

DU Chun-Yan¹, ZENG Guang-Ming^{1,*}, ZHANG Gong², SU Xiao-Kang¹, WANG Ling-Ling¹, HUANG Lu¹, JIANG Yi-Min^{1,2}

1 College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

2 Hunan Environmental Protection Bureau, Changsha 410082, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0508 ~ 0516.

Abstract: A total of four 10 × 10 m² standard sampling plots in Shaoshan forest were chosen, and litterfall, litterfall leaching and throughfall were collected respectively for this study. The seasonal dynamics of litterfall and its effect on acid deposition, as well as the characteristics of litterfall leaching and throughfall, were studied. The research results showed that: (1) The quantity of litterfall in autumn is larger than that of other seasons in Shaoshan forest, and the quantity of litterfall increases along with the altitude increases; (2) Concentration of each base cation in other seasons is in the order of $Ca^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Mg^{2+} > Na^+$ besides $K^+ > Ca^{2+}$ in summer, which is consistent with the trend in throughfall; (3)

基金项目:国家杰出青年科学基金资助项目(50425927, 50225926)

收稿日期:2006-11-08; **修订日期:**2007-04-29

作者简介:杜春艳(1983 ~), 女, 湖北荆州人, 硕士, 主要从事大气沉降化学和森林水文学研究. E-mail: dcyhb220@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zgming@hnu.cn

Foundation item: The project was financially supported by the National Foundation for Distinguished Young Scholars of China (No. 50425927, 50225926)

Received date: 2006-11-08; **Accepted date:** 2007-04-29

Biography: DU Chun-Yan, Master, mainly engaged in atmosphere pollution chemistry and forest hydrology. E-mail: dcyhb220@126.com

There is a remarkable pertinence between the concentrations of base cations in litterfall leaching and in throughfall except for Ca^{2+} , yet K^{+} concentration reached the ternal salient pertinence level, which approves that the K^{+} reverting to soil by litterfall comes from forest canopy leaching mostly in Shaoshan forest; (4) Besides some individual spots, the concentration summation of all base cations in litterfall leaching is higher than that in throughfall in various degrees, and the increase range in autumn is the biggest followed by that in winter, which is consistent with the quantity change of litterfall; (5) The change scope of pH value in throughfall is 4.58—7.13, the minimum value appears in winter, and the maximum appears in summer, while the change scope of pH value in litterfall leaching is 5.02—6.69, which is higher than the average pH of surface soil layer (pH 5.0), but the minimum value appears in spring, and the maximum appears in autumn; (6) The pH of litterfall leaching at each study plot increases in winter, about 0.06—1.35 higher than throughfall pH, but decreases in other seasons (barring plot C in autumn), which indicates that litterfall in Shaoshan forest is a fine acid-buffering system in winter, however, because the base cations leaching from litterfall is not enough to counteract the organic acid produced by litterfall decomposition in spring, summer and autumn, so the pH of litterfall leaching is going down in these seasons.

Key Words: litterfall; base cation; seasonal dynamic; acid buffering effect

大气酸性物质的干湿沉降是经过森林冠层,然后通过森林地表凋落物层进入土壤层,使土壤酸化、养分流失,进而危害森林的。关于森林冠层盐基淋溶对酸沉降缓冲机理和降水化学的研究已有较多的报道^[1~4],而凋落物层是森林生态系统营养循环的一个重要物质库,植物从土壤中吸收的大部分营养,最终主要通过凋落物分解,降雨的淋溶回归到土壤,是土壤营养的重要来源。在土壤强烈酸化的条件下,凋落物层通过增加土壤有机质,提高土壤和下渗液的盐基量,增加土壤 pH 值,降低土壤的水解性总酸度等途径来储存、供给营养和缓解土壤的酸化作用^[5~8]。关于单一林分凋落物量、分解速率及养分归还的实验室模拟研究国内外已有较多报道^[9~11],而自然条件下亚热带针阔叶混交林凋落物层养分淋溶归还以及对酸沉降的缓冲影响研究却少见报道。森林冠层穿透水主要反映了高大乔木冠层和低矮灌木冠层对降水的综合作用,而凋落物淋滤液则反映了凋落物对于大气降水进入土壤之前的继续作用,本文通过对湖南韶山森林凋落物层淋滤液和穿冠水化学性质以及凋落物量的分析研究,探讨了韶山森林不同海拔凋落物的季节分配、淋溶归还以及对酸沉降的缓冲作用,为进一步探讨酸沉降下韶山森林土壤酸化的缓冲机制积累资料。

1 研究地概况

研究地韶山位于湖南省中部,东经 $112^{\circ}91'$,北纬 $27^{\circ}87'$,海拔在 25~290m 之间,距离最近的城市湘潭市(约 60 万人口)30km,属于亚热带气候,丘陵地貌,研究样地年降雨量 1200~1700mm,平均降雨量为 1550mm,而降雨的 20% 集中在春季,60% 集中在夏季,秋冬季节降雨很少,较干燥;年平均温度为 $16.7 \sim 17.4^{\circ}\text{C}$;相对湿度春季达到 80%,夏季达到 90%;林内物种多样,存在明显的二维冠层结构,高大乔木冠层以杉木、马尾松和樟树为主,郁蔽度为 82%,树龄在 20~40a 间,低矮灌木冠层以山茶花、夹竹桃和冬青树为主,郁蔽度为 41%,树龄在 10~20a 间,植被保护完好。土壤类型主要为黄壤、黄棕壤,表层土壤 pH 为 5.0 ± 0.1 ^[4],为敏感性土壤。

2 实验方法

2.1 样品采集

在韶山森林选择了 4 个 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的标准大样地,其位置分布见表 1。

凋落物采集:2001 年 1 月~2003 年 12 月在每个大样地处随机放置 4 个规格为 $0.45\text{m} \times 0.45\text{m}$ 的凋落物收集框,共 16 个框,收集框距地面 1m,每月收集框内凋落物 4 次,分别称重,则每年共收集 16×48 个样。

冠层穿透水采集:在每个样地处分别放置一个冠层穿透水收集器,采样装置由一个漏斗($d = 15\text{cm}$)、一个带有尼龙过滤网的接口(为了防止树叶和昆虫的进入)和一个体积为 2L 或 5L(根据降雨量确定)的聚乙烯瓶组成,采集方法是将整套装置置于各样地土中,使聚乙烯瓶口与地表平齐,漏斗上口高出地面约 10cm 采样。

2001 年 1 月 ~ 2001 年 12 月每月收集 4 次,所有冠层穿透水样品在 4℃ 下避光保存并在 24h 之内送往实验室,每月分别将各样地处 4 次的样品混合制成月样品低温避光保存以备测定。

凋落物淋滤液采样:在每个样地穿透水收集器附近设置一个凋落物淋滤液采样点,在每个采样点处凋落物层下面放置一个过滤式渗滤液采集器,由一个 30cm × 30cm 塑料盘、尼龙网和有机玻璃管组成,所采集的淋滤液通过有机玻璃管连接到一个 5L 的聚丙烯容器,容器上的刻度用于测量溶液的体积。2001 年 1 月 ~ 2001 年 12 月每月收集 4 次,所有凋落物淋滤液样品在 4℃ 下避光保存并在 24h 之内送往实验室,每月分别将各样地处 4 次的样品混合制成月样品低温避光保存以备测定。

表 1 研究样地概况

Table 1 The location of the plots in the catchment

样地 Plot	位置 Location	坡向 Slope	海拔 Altitude(m)	植被种类 Vegetation species
A	半山上 Halfway up western valley	W30E	75 ~ 100	冠层 Top-canopy layer: 杉木 China fir, 马尾松 <i>Massoniana</i> , 樟树 <i>Camphor wood</i> , 竹子 <i>Bamboos</i> ; 亚冠层 Sub-canopy layer: 山茶花 <i>Camellia</i> , 夹竹桃 <i>Oleander</i> , 冬青树 <i>Holly</i> , 厚皮香 <i>Ternstroemia</i>
B	山脊上 High up on western ridge	W30S	125 ~ 175	
C	山谷 Down in western valley-bottom	W10S	25 ~ 50	
D	山脊之下 5m 5 meters below eastern ridge	E35S	50 ~ 75	

2.2 分析方法

分别称重各大样地的凋落物量,计算各季凋落物量及年均凋落物量;每月分别取 1L 的凋落物淋滤液和穿透水大样(大样不足 1L 按实际体积取样),尽快测定其 pH 值,并对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 及 NH_4^{+} 含量进行测定与分析。pH 值采用 PHS-3C 数字酸度计测定,金属离子采用原子吸收分光光度计(SH-3800)进行分析, NH_4^{+} 采用 DX-120 型离子色谱仪(DIONEX)进行分析。在检测方法上完全采用 ISO10523、ISO14911 等国际标准方法。现场布点监测、实验室分析、质量保证方面执行欧洲空气污染长距离传输监测和评价协作(EMEP)方法。

2.3 数据处理方法

pH 值平均值计算采用氢离子浓度雨量加权法;离子浓度均值计算采用离子浓度雨量加权法;采用 SPSS11.5 统计分析软件进行相关性分析计算和检验同一森林样地不同采样点的数据差异性。

3 结果与讨论

3.1 韶山森林凋落物特征

韶山森林 2001 ~ 2003 年凋落物量的季节分配见表 2,从表 2 可以看出韶山秋季凋落量最大,冬、春季次之,夏季最少,主要由于秋、冬季节树木处于生长衰退期,且气候干燥,大量的枯枝、老叶、死皮随风自然凋落,而春、夏季节韶山气候湿润,温度适宜,是植物生长的旺盛时期,又韶山地处内陆,受台风的影响较小,故韶山森林凋落高峰不同于广东鼎湖山混交林^[12]凋落高峰出现在夏季。韶山森林不同研究样地年均凋落物量也存在差异,样地 B 年均凋落量最大,样地 A 和 D 年均凋落量居中,样地 C 年均凋落量最少,而样地 B 位于山脊,海拔最高,样地 C 位于山谷,海拔最低,说明韶山森林凋落物量是随海拔增加而增加的,这与韶山森林不同海拔高度林木光合作用的强度和新陈代谢的速率有关。

表 2 韶山森林凋落物量季节分配

Table 2 Seasonal distributing of litterfall quantity in Shaoshan forest

季节 Season	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	全年 Whole
凋落物量范围 Range of litterfall quantity(t/hm^2)	0.89 ~ 1.03	0.7 ~ 0.95	1.41 ~ 1.53	0.8 ~ 1.12	4.09 ~ 4.34
凋落物量均值 Average quantity of litterfall(t/hm^2)	0.94	0.81	1.46	1.0	4.21

由于凋落物的地带性明显,故对我国不同地区代表性森林凋落物量进行对比分析(表 3)。从表 3 可以看

出,韶山中亚热带针阔叶混交林年均凋落量远低于海南热带森林和南亚热带针阔叶混交林,而高于南亚热带马尾松针叶林和温带、寒温带森林,这与韶山森林植被类型、结构及气候环境密切相关。

表 3 我国地带性森林凋落物量对比表

Table 3 Contract of litterfall quantity in different zone of China

研究地 Plot	气候特征 Climate character	森林类型 Forest type	凋落物量 Litterfall quantity (t/(hm ² ·a))
湖南韶山 Shaoshan in Hunan	中亚热带 Mid-subtropical zone	针阔叶混交林 Conifer and broadleaf mixed forest	4.22 (This study)
广州鼎湖山 Dinghushan in Guangzhou	南亚热带 South-subtropical zone	针阔叶混交林 Conifer and broadleaf mixed forest	8.50 ^[12]
		马尾松林 Pine forest	2.34 ^[13]
海南岛尖峰岭 Jianfengling in Hainan	热带 Torrid zone	山地雨林 Montane rain forest	8.2 ^[14]
		半落叶季雨林 Half-defoliated seasonal rain forest	9.7 ^[14]
吉林长白山 Changbaishan in Jilin	寒温带 Cold temperate zone	高山冻原植被 Alpine tundra vegetation	0.99 ^[15]
新疆天山 Tianshan in Xinjiang	温带 Temperate zone	落叶松、云杉等混交林 Larch and spruce mixed forest	2.1 ^[16]
西藏色季拉山 Sejila Mountains in Xizang	寒温带 Cold temperate zone	暗针叶林 Dark coniferous forest	0.3205 ^[17]

3.2 韶山森林凋落物层淋滤液及冠层穿透水特征

3.2.1 凋落物层淋滤液及冠层穿透水盐基阳离子浓度季节分布

将各标准样地处的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 和 NH_4^{+} 各月浓度进行加权平均,得到各季凋落物层淋滤液及冠层穿透水盐基阳离子浓度分布(表4),从表4可以看出,韶山森林凋落物淋滤液中盐基阳离子以 K^{+} 和 Ca^{2+} 浓度最高,除夏季 $\text{K}^{+} > \text{Ca}^{2+}$ 外,其余季节淋滤液中离子浓度排序为: $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^{+} > \text{NH}_4^{+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{+}$,淋滤液中所有离子在秋季的滤出浓度为最高,冬季次之,春、夏季最低。这与韶山冠层穿透水的离子滤出浓度变化趋势基本是一致的。

凋落物淋滤液中 Ca^{2+} 在春季相对于冠层穿透水浓度有所降低,表现为吸收富集作用,而在夏季相对于冠层穿透水略有增加,秋、冬季节增幅较大,可能的原因有:①秋、冬季节降水频率明显降低,凋落物表面截留了较多含有 Ca^{2+} 的干沉降物质,如尘土等,会被雨水淋洗下来,从而使滤出液浓度明显增加;②Ca 是难溶解稳定化合物的组分,它的不可移动性使它在老器官如落叶中含量较高,也是淋滤液中 Ca^{2+} 浓度普遍增加的可能原因。

凋落物淋滤液中 Mg^{2+} 在各个季节相对于冠层穿透水浓度均表现为增加,冬季增幅最大,主要是冬季凋落物上截留了较多含 Mg^{2+} 干沉降物质,在雨水的冲刷下使淋滤液中 Mg^{2+} 浓度增加,春、夏季节 Mg^{2+} 的滤出主要来源于凋落的嫩叶或嫩枝,Mg 是植物生长的必要元素,枝叶衰老凋落前 Mg 元素进行了转移,使得秋季凋落物中 Mg 含量很低,淋滤液中浓度增幅较小。

凋落物淋滤液中 Na^{+} 在各个季节相对于冠层穿透水浓度变化不大,除夏季外,其它月份在凋落物淋滤液中均有少量的富集,可能是由于新鲜凋落物中 Na^{+} 浓度较低而表现出富集现象^[18],但由于韶山夏季受远洋季风的频繁影响,高空远距离输送来了较多 Na^{+} ,使其含量升高而不再富集,淋滤液中浓度保持不变。

凋落物淋滤液中 K^{+} 在各个季节较冠层穿透水均有不同程度的增加,夏季增幅最大,冬、春季节次之,而秋季增幅最小。同植物器官中 Mg 一样,枝、叶等在衰老凋落前 K 也进行了转移,而邱尔发等^[19]的研究证明了 K 在新鲜凋落物中主要以离子形态存在,且极易迁移,可因降雨淋溶或离子交换作用而流失,一般在凋落物腐烂分解失重之前便开始流失,故随着凋落物分解的进行, K^{+} 滤出浓度基本停止增加。韶山夏季降雨量为

全年最高,降雨最频繁,又夏季凋落物中嫩叶或嫩枝占很大比例,因此夏季凋落物中 K^+ 在分解初期及时被淋溶进入了凋落物淋滤液中而使其浓度迅速增加。秋季凋落物中 K^+ 含量很低,虽然淋滤液中 K^+ 浓度为全年最高,但其主要来源于冠层的盐基淋溶,因此增幅很小。

凋落物淋滤液中 NH_4^+ 浓度在秋季较冠层穿透水增加明显,冬、春季节凋落物淋滤液中 NH_4^+ 浓度降低,说明其在凋落物中进行了富集。有研究表明^[17]凋落物中 N 的含量最高,养分归还中 N 的释放总量最大,而本研究中冬、春季节凋落物对 NH_4^+ 的富集主要是由于秋季凋落高峰后,在新鲜凋落物中 N 的含量不能满足微生物生长和参与分解的 C/N 需要,需要进行 N 素富集,莫江明等^[20]的研究也表明了凋落物分解初期 N 元素呈现先固存然后矿化的变化趋势。王彦辉^[21]等研究表明干旱条件下,富含 NH_4^+ 的酸化枯枝落叶会发生氨挥发,也是冬季凋落物淋滤液中 NH_4^+ 浓度较冠层穿透水降低的可能原因。凋落物淋滤液中 NH_4^+ 在夏、秋季节表现为滤出归还,主要是随着夏季凋落物分解速率的加快,C/N 降低,不再需要吸收 N 素的缘故,这与 Guo 和 Sims^[22]研究结果是相吻合的。

表 4 盐基阳离子浓度季节分布表
Table 4 Seasonal distributing of base cations concentration

	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
	TF	LL	TF	LL	TF	LL	TF	LL
Ca^{2+}	8.79 (0.32)	6.08 (1.17)	3.08 (0.22)	4.71 (0.47)	17.26 (2.71)	19.85 (2.87)	7.67 (1.47)	11.72 (2.36)
Mg^{2+}	0.8 (0.11)	1.36 (0.27)	0.59 (0.07)	0.97 (0.12)	3.76 (0.59)	3.95 (0.68)	1.68 (0.41)	2.85 (0.51)
Na^+	0.45 (0.06)	0.35 (0.05)	0.27 (0.08)	0.27 (0.07)	1.79 (0.46)	0.74 (0.11)	0.55 (0.08)	0.43 (0.07)
K^+	3.47 (0.47)	4.33 (0.74)	3.57 (0.33)	5.99 (2.27)	19.33 (2.76)	19.57 (2.30)	6.55 (1.22)	8.93 (0.68)
NH_4^+	2.40 (0.26)	2.36 (0.26)	2.51 (0.60)	2.90 (0.52)	7.59 (0.92)	8.81 (1.80)	3.18 (0.19)	2.49 (0.38)

TF: 冠层穿透水 Throughfall; LL: 凋落物淋滤液 Litterfall leaching; 括号内为标准差 Standard errors are given in parentheses

3.2.2 凋落物淋滤液与冠层穿透水盐基阳离子浓度相关性分析

对凋落物淋滤液与冠层穿透水离子浓度进行相关性(pearson 相关系数法)分析(表 5),表明森林凋落物层回归土壤的养分与其冠层滤出浓度直接相关,其中 K^+ 相关系数最大,而 *L. ukonmaano*^[23]等的研究表明,高浓度的 K^+ 主要由冠层滤出、冲洗、离子交换引起的,本研究中凋落物淋滤液与冠层穿透水中 K^+ 的高度相关也证实了通过凋落物养分归还的 K^+ 主要来自韶山森林冠层的滤出。凋落物淋滤液与冠层穿透水中 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 NH_4^+ 呈显著相关关系,说明这些离子受冠层滤出影响也比较大,而 Ca^{2+} 未呈现出显著相关关系,表明其受凋落物本身养分分解释放及尘埃的影响较大,对于缓解酸性降水对土壤的酸化起主要作用。

表 5 凋落物层淋滤液及冠层穿透水盐基阳离子浓度相关系数表
Table 5 Correlation coefficient of base cation concentration between throughfall and litterfall leaching

盐基阳离子 Base cation	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+
相关系数 Correlation coefficient	0.907	0.954 *	0.990 **	0.993 **	0.986 *

* * 显著性水平 0.01 Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); * 显著性水平 0.05 Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

3.2.3 凋落物淋滤液与冠层穿透水盐基阳离子滤出总浓度分析

分别将各标准样地处凋落物淋滤液和冠层穿透水各次测量得到的盐基阳离子总浓度进行加权平均,得到各样地的盐基阳离子总浓度的季节分布(图 1),从图 1 可以看出,除样地 A 和 D 处春季凋落物淋滤液盐基阳离子总浓度较冠水有所降低外,其余各季各样地较冠层冠水均有不同幅度的增加,其中秋季增加最为显著,最大增幅达 22.7 mg/L,冬季次之,这主要与韶山森林在秋冬季节凋落物量较高有关。夏季样地 C 增幅较

大,主要是样地 C 地处山谷,阳离子汇流作用明显,其他各样地夏季阳离子总浓度较穿透水增幅不大,这也与韶山森林各样地夏季凋落量最少是一致的。

结合图 1 还可以看出,样地 B 处秋、冬季节凋落物淋滤液盐基阳离子总浓度较穿透水增幅更加明显,可能是样地 B 处的凋落量最大所致;样地 C 次之,主要是由于样地 C 处于山谷,汇合了地表径流下来的部分盐基阳离子而使阳离子总浓度增加。样地 A 和 D 处春季凋落物淋滤液盐基阳离子浓度的降低可能是春季凋落物对主要盐基阳离子 Ca^{2+} 和 NH_4^+ 的富集或吸收导致,样地 C 由于汇流作用春季凋落物淋滤液中盐基阳离子总浓度并未下降,反而呈现增加趋势。

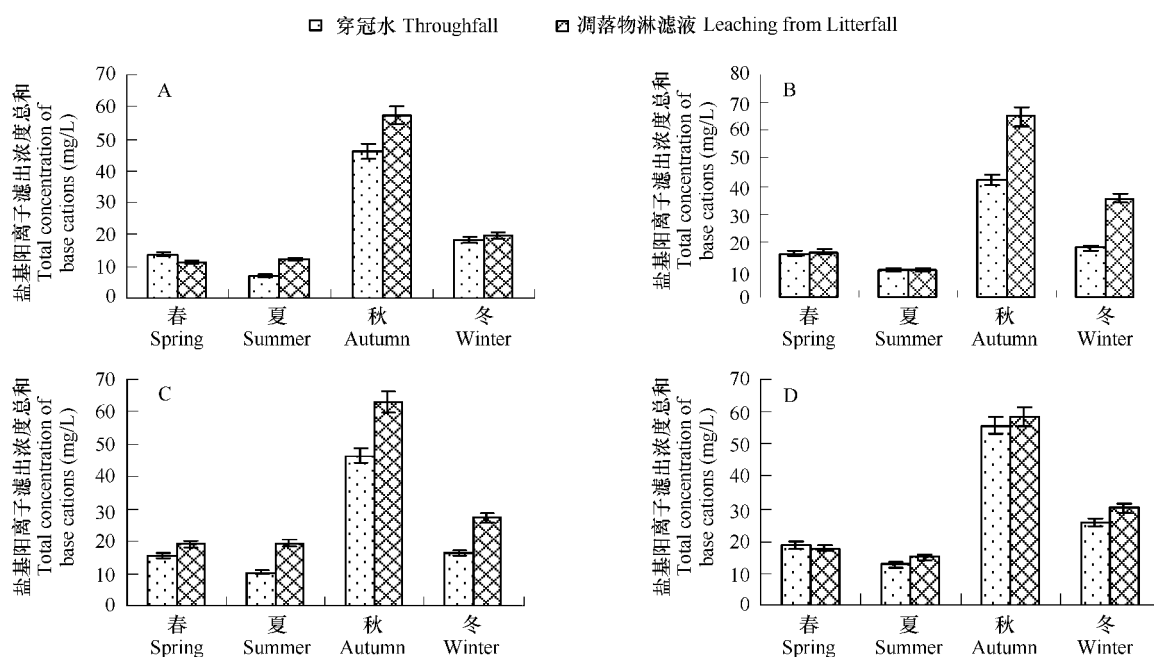


图 1 冠层和凋落物层滤出盐基阳离子总浓度的季节分布

Fig. 1 Seasonal dynamics of total concentration of base cations leaching from forest canopy and litterfall

3.3 韶山森林凋落物层酸缓冲作用探讨

3.3.1 韶山森林凋落物层淋滤液及冠层穿透水 pH 季节动态

凋落物淋滤液中盐基阳离子总浓度的增加能够推断凋落物与雨水中 H^+ 存在盐基交换,但要研究凋落物对酸沉降的缓冲作用还必须结合 pH 值的变化综合考虑,因为凋落物分解产生的有机酸类物质的滤出也会增加凋落物淋滤液的酸度。

凋落物淋滤液和冠层穿透水 pH 值随季节变化如图 2 所示。从图 2 可以看出,各研究样地冠层穿透水和凋落物淋滤液 pH 值均呈现出季节性波动:冠层穿透水 pH 值变动范围为 4.58 ~ 7.13,最低值出现在冬季,最高值出现在夏季;凋落物淋滤液 pH 值变动范围为 5.02 ~ 6.69,变动范围较穿透水窄,均高于韶山表层土壤 pH 平均值 5.0,说明韶山森林酸沉降还未对表层土壤酸化构成威胁。凋落物淋滤液 pH 值夏、秋季节高于冬、春季节,最高值出现在秋季,最低值出现在春季,这与王彦辉等^[21]的研究结果是一致的。春季由于凋落物分解速率加快,分解产生的有机酸使凋落物淋滤液酸度增加,pH 值降低,而秋季新鲜凋落物基本处于未分解阶段,产生的有机酸类物质较少,且冠层穿透水 pH 值较高而使凋落物淋滤液 pH 值维持在较高水平。

3.3.2 凋落物层酸缓冲作用探讨

从图 2 看出,各样地春季凋落物淋滤液较冠层穿透水 pH 值均有不同幅度的降低,降幅范围在 0.94 ~ 1.57 之间,平均降低了 1.25 个 pH 单位,且最大降幅出现在样地 B,可能与样地 B 凋落量最大,海拔最高,水热条件充足,凋落物分解较其他样地快,分解产生的有机酸多紧密相关。夏季各样地凋落物淋滤液较冠层穿

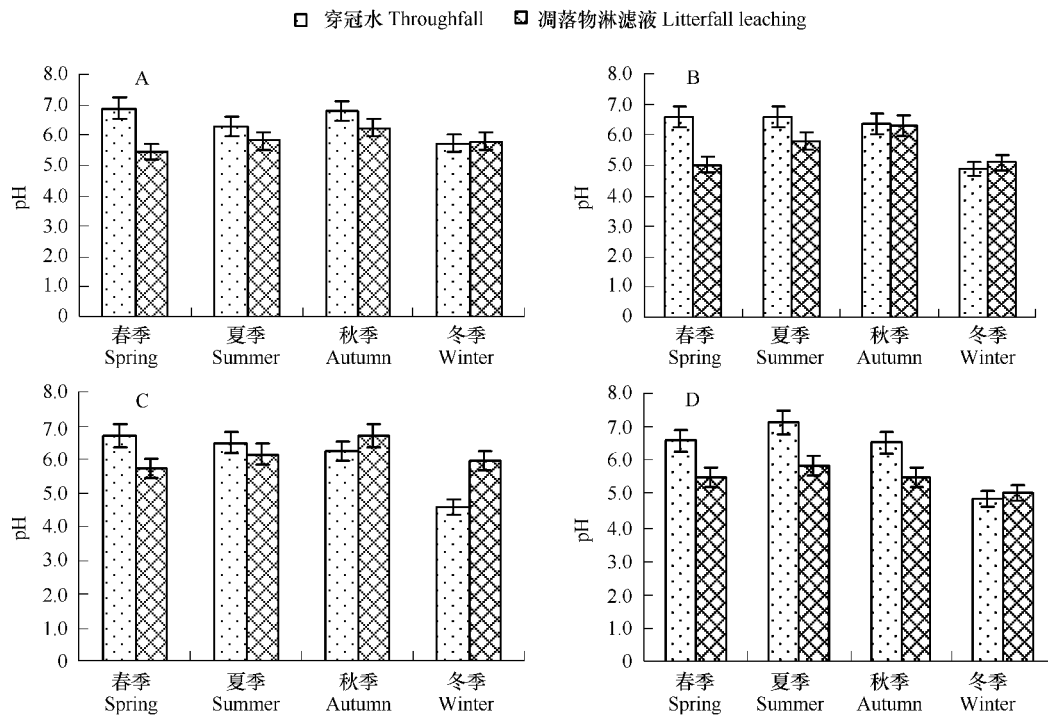


图2 韶山森林各样地穿冠水与凋落物淋滤液 pH 值季节动态变化图

Fig. 2 Seasonal pH dynamics of throughfall and litterfall leaching at each spot in Shaoshan forest

透水 pH 值也有不同程度的降低,降幅范围在 0.33 ~ 1.3 之间,有研究^[24]表明夏季的温度和湿度都有利于微生物的繁殖与活动,凋落物分解最快,且韶山降雨丰富,分解产生的有机酸类物质及时被淋溶,导致凋落物淋滤液 pH 值降低。秋季除样地 C 外,各样地凋落物淋滤液较冠层穿透水 pH 值降幅范围在 0.05 ~ 1.04 之间。虽然韶山森林在春、夏、秋季凋落物淋滤液中阳离子滤出总量较穿透水有不同程度的增加(春季 A、D 样地除外),但凋落物中盐基阳离子仍然不足以抵消凋落物分解产生的有机酸类物质的酸化作用,那么韶山森林凋落物层在春、夏、秋季并不能降低雨水酸度,而是增加其酸度,增幅为春季 > 夏季 > 秋季。

韶山森林穿透水冬季 pH 值为全年最低,但从凋落物淋滤液 pH 值看,并未随着冠层穿透水酸性达到最低而继续降低,从图 2 也可以看出冬季凋落物淋滤液 pH 值较冠层穿透水均有所增加,增幅范围在 0.06 ~ 1.35 之间,相关研究^[24]表明冬季枯枝落叶分解基本停止,即冬季凋落物分解产生的有机酸可以忽略,那么淋滤液 pH 值的增加主要来自于凋落物中盐基阳离子和雨水中 H^+ 的交换作用,从前面分析可知,韶山冬季凋落物淋滤液中盐基阳离子总浓度较冠层水是增加的,且增幅较大,仅低于秋季,这表明韶山森林凋落物层在冬季是一个较强的酸缓冲系统,与李志安^[7]对华南重要人工林酸碱缓冲能力研究中得出的结论是一致的。

4 结论

(1) 韶山森林凋落物量以秋、冬、春、夏次序递减,年均凋落物量为 $4.22 t/hm^2$,远低于海南热带森林和南亚热带针阔叶混交林,而高于南亚热带马尾松针叶林和温带、寒温带森林,且韶山森林凋落物量是随海拔增加而增加的。

(2) 韶山森林凋落物淋滤液中盐基阳离子以 K^+ 和 Ca^{2+} 浓度最高,除夏季 $K^+ > Ca^{2+}$ 外,其余季节淋滤液中离子浓度排序为: $Ca^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Mg^{2+} > Na^+$,淋滤液中所有离子在秋季的滤出浓度最高,冬季次之,春、夏季最低。这与韶山冠层穿透水的离子滤出浓度变化趋势基本是一致的。凋落物淋滤液与冠层穿透水阳离子浓度相关性分析表明除 Ca^{2+} 外,各离子相关性显著,特别是 K^+ 的高度正相关证实了韶山森林通过凋落物养分归还的 K^+ 主要来自冠层的滤出。

除个别样地春季凋落物淋滤液盐基阳离子总浓度较冠层水有所降低外,其余各样地各季均有不同幅度的

增加,其中秋季增加最为显著,冬季次之。

(3)韶山森林冠层穿透水 pH 值变动范围为 4.58 ~ 7.13,最低值出现在冬季,最高值出现在夏季;凋落物淋滤液 pH 值变动范围为 5.02 ~ 6.69,变动范围较穿冠水窄,但均高于韶山表层土壤 pH 平均值 5.0,说明韶山森林酸沉降还未对表层土壤酸化构成威胁。

韶山森林凋落物中盐基阳离子由于不足以抵消凋落物分解产生的有机酸类物质的酸化作用,而在春、夏、秋季并不能降低雨水酸度,而是增加其酸度,增幅为春季 > 夏季 > 秋季。而冬季韶山森林凋落物淋滤液中盐基阳离子总浓度和 pH 值较穿冠水均是增加的,这表明韶山森林凋落物层在冬季是一个较强的酸缓冲系统,又韶山冬季降水酸性最强,因此保护凋落层免受破坏对于缓冲冬季强酸性降水对土壤的酸化起着十分重要的作用。

References:

- [1] González-Arias A, de Arano I M, Bárcena-Ruiz M J, *et al.* Origin of atmospheric deposition and canopy buffering capacity in stands of radiata pine and pedunculate oak in the Basque Country. *Forest Ecology and Management*, 2006, 229: 268 — 284.
- [2] Zhang G, Zeng G M, Jiang Y M, *et al.* Modelling and measurement of two-layer-canopy interception losses in a subtropical evergreen forest of central-south China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2006, 10: 65 — 77.
- [3] Zhou G Y, Yan J H. The influences of regional atmospheric precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2002 — 2012.
- [4] Zhang G, Zeng G M, Jiang Y M, *et al.* Estimation of Exchange of Proton and Major Elements in Two-layer Canopies under Acid Rain in a Subtropical Evergreen Forest in Central-south China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2006, 48(8): 1154 — 1162.
- [5] Chen D Q. Studies on the decomposition of schima superba litter and on the law of it on the soil effect. *Journal of Fujian Forestry Sci and Tech*, 2001, 28(2): 35 — 38.
- [6] Hagen-Thorn A, Varnagiryte I, Nihlgård B, *et al.* Autumn nutrient resorption and losses in four deciduous forest tree species. *Forest Ecology and Management*, 2006, 228: 33 — 39.
- [7] Li Z A, Cao Y S, Zou B, *et al.* Acid Buffering Capacity of Forest Litter from Some Important Plantation and Natural Forests in South China. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45 (12): 1398 — 1407.
- [8] Zimmermann S, Braun S, Conedera M, *et al.* Macronutrient inputs by litterfall as opposed to atmospheric deposition into two contrasting chestnut forest stands in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 2002, 161, 289 — 302.
- [9] Yang Y S, Chen G S, Guo J F, *et al.* Litter decomposition and nutrient release in a mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(3): 275 — 282.
- [10] Guo L B, Sims R E H. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 75: 133 — 140.
- [11] Rapp M, Regina I S, Rico M, *et al.* Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in *Mediterranean oak* forests. *Forest Ecology and Management*, 1999, 119: 39 — 49.
- [12] Zhang D Q, Ye W H, Yu Q F, *et al.* The litterfall of representative forests of successional series in Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (6): 938 — 944.
- [13] Mo J M, Kong G H, Brown S, *et al.* Litterfall response to human impacts in Dinghushan pine forest. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25 (6): 656 — 664.
- [14] Wu Z M, Lu J P, Du Z H. Litter production and storage in the natural and regenerated tropical montane rain forests at Jianfengling, Hainan island. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18 (4): 306 — 313.
- [15] Wei J, Wu G, Deng H B. Researches on nutrient return of litterfall in the alpine tundra ecosystem of Changbai Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (10): 2211 — 2216.
- [16] Li X Y, Sun J K, Chang Z H, *et al.* A study on litter and forest floor in Tianshan mountains. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 406 — 417.
- [17] Zhong G H, Xin X B. Chemical properties of litter in dark coniferous forest of Sejila Mountains in Tibet. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1): 167 — 169.
- [18] Wang J, Huang J H. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperate zone of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 375 — 380.
- [19] Qiu E F, Chen Z M, Zheng Y S. Dynamics of litterfall and its decomposition and nutrient return of shoot-used *Dendrocalamus latiflorus* in

mountainous areas of Fujian Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (5): 811—814.

- [20] Mo J M, Brown S, Peng S L, *et al.* Role of understory plants on nutrient cycling of a restoring degraded pine forests in a MAB reserve of subtropical China. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1407—1413.
- [21] Wang Y H, Rademacher P, Folster H. Influence of water content and temperature on the pH-values of solution extracted from acidified forest floor materials of Norway Spruce. For Sci Res, 1997, 11(1): 16—23.
- [22] Guo L B, Sims R E H, Horne D J. Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand II. Litter fall and nutrient return. Biomass and Bioenergy, 2006, 30: 393—404.
- [23] Ukonmaanaho L, Starr M. Major nutrients and acidity: budgets and trends at four remote boreal stands in Finland during the 1990s. The Science of the Total Environment. 2002, 297: 21—41.
- [24] Zhao J, Shao Y Q, Kong X H. Decomposition of litters and its effects on soil biological environment in Huangfuchuan basin. Agro-environmental Protection, 2002, 21(6): 543—545.

参考文献:

- [3] 周国逸, 闫俊华. 鼎湖山区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响. 生态学报, 2001, 21(12): 2002~2012.
- [5] 陈堆全. 木荷凋落物分解及对土壤作用规律的研究. 福建林业科技, 2001, 28(2): 35~38.
- [12] 张德强, 叶万辉, 余清发, 等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究. 生态学报, 2000, 20(6): 938~944.
- [13] 莫江明, 孔国辉, Sandra BROWN, 等. 鼎湖山马尾松林凋落物及其对人类干扰的响应研究. 植物生态学报, 2001, 25(6): 656~664.
- [14] 吴仲民, 卢俊培, 杜志鹄. 海南岛尖峰岭热带山地雨林及其更新群落的凋落物量与贮量. 植物生态学报, 1994, 18(4): 306~313.
- [15] 魏晶, 吴钢, 邓红兵. 长白山高山冻原生态凋落物养分归还功能. 生态学报, 2004, 24(10): 2211~2216.
- [16] 李叙勇, 孙继坤, 常直海, 等. 天山森林凋落物和枯枝落叶层的研究. 土壤学报, 1997, 34(4): 406~417.
- [17] 钟国辉, 辛学兵. 西藏色季拉山暗针叶林凋落物层化学性质研究. 应用生态学报, 2004, 15(1): 167~169.
- [18] 王瑾, 黄建辉. 暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较. 植物生态学报, 2001, 25(3): 375~380.
- [19] 邱尔发. 麻竹山地笋用林凋落物发生、分解及养分归还动态. 应用生态学报, 2005, 16(5): 811~814.
- [20] 莫江明, Sandra Brown, 彭少麟, 等. 林下层植物在退化马尾松林恢复初期养分循环中的作用. 生态学报, 2002, 22(9): 1407~1413.
- [21] 王彦辉, Peter Rademacher, Horst Folster. 水分和温度对挪威云杉林枯枝落叶层浸提液 pH 值的影响. 林业科学研究, 1997, 11(1): 16~23.
- [24] 赵吉, 邵玉琴, 孔祥辉. 皇甫川地区枯枝落叶的分解及其对土壤生物环境的影响. 农业环境保护, 2002, 21(6): 543~545.