

张艳玲,郭东强,陈健波,等.模拟酸雨对桉树和红锥凋落叶养分释放的影响[J].江苏农业科学,2021,49(13):117-120.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.023

模拟酸雨对桉树和红锥凋落叶养分释放的影响

张艳玲¹,郭东强²,陈健波²,杨梅¹

(1.广西大学林学院,广西南宁 530004; 2.广西林业科学研究院,广西南宁 530001)

摘要:酸雨是导致林地土壤酸化、生产力下降的主要影响因素之一。通过模拟酸雨淋洗桉树与红锥凋落叶,分析其养分释放及 pH 值变化情况,探讨 2 个树种对酸雨的缓冲作用。设置 pH 值为 3.0、4.0、5.0 等 3 个模拟酸雨等级,以 pH 值为 6.0 的清水处理作为对照。结果表明,模拟酸雨处理下,桉树与红锥凋落叶养分释放受到不同程度的抑制,凋落叶养分含量随 pH 值降低而增加,淋洗液养分含量随 pH 值的降低而降低;红锥凋落叶养分含量低于桉,淋洗液养分含量都高于桉,相对滞留率和下降率表现为桉树 > 红锥;红锥凋落叶淋洗液 pH 值增加值大于桉。因此,红锥凋落叶养分释放受酸雨抑制作用较小,在酸雨 pH 值为 4.0、5.0 时,红锥凋落叶对酸雨的缓冲作用比桉树强,当 pH 值为 3.0 时,2 个树种凋落叶对酸雨均没有明显的缓冲作用。

关键词:酸雨;桉;红锥;凋落叶;养分含量;养分释放

中图分类号: X517;S714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)13-0117-04

由于工业的快速发展,酸雨污染已成为全球面临的主要环境问题之一^[1]。我国已成为继欧洲和北美洲之后的全球第三大酸雨重灾区,我国的酸雨区主要集中在华中、西南、华东沿海等 3 个区域,广西壮族自治区属于西南酸雨区^[2]。日益严重的酸雨问题给陆地生态系统带来严峻的挑战^[3],1950—1965 年期间,酸雨使瑞典森林生产率下降 2% ~ 7%^[4]。酸雨导致生态系统退化,环境质量下降,生物多样性下降,树木营养状况和土壤肥力降低,环境中有毒物质积累增多等^[5]。同时森林生态系统可以通过林冠层、凋落物层和林下土壤等对酸雨产生一定的缓冲作用^[6-8]。

桉(*Eucalyptus robusta* Smith)为桃金娘科桉属乔木,是亚热带地区主要的造林树种,我国桉人工林面积 546 万 hm^2 ,广西地区桉种植面积为 256 万 hm^2 ,约占全国桉人工林种植面积的 47%^[9]。但由于长期种植桉以及化肥的使用、酸雨等危害导致土壤酸化、地力衰退,因此研究人员提出桉可持

续经营模式,通过纯林改造混交林,选择合适的混交树种,改善土壤状况^[10]。红锥(*Castanopsis hystrix*)作为优良的用材树种,是桉纯林改造混交林主要树种之一;因此本研究以桉和红锥为研究对象,采用模拟酸雨淋洗凋落叶,分析其养分含量和 pH 值变化,探讨桉和红锥凋落叶对酸雨的响应,为今后营造桉混交林提供参考。

1 材料与方法

1.1 样地概况

试验林地位于广西壮族自治区南宁市广西国有高峰林场(地理位置为 22°13' ~ 23°32' N, 107°45' ~ 108°51' E),年平均温度为 21.6 °C,极端最高气温为 40.4 °C,极端最低气温为 -2.4 °C。年均降水量可达 1 304.2 mm,平均相对湿度为 79%。

1.2 试验设计

1.2.1 样品采集 凋落叶样品于 2016 年 11 月 30 日采集于 14 年生的桉、红锥人工林。在林地中分别设置 3 个 20 m × 20 m 样地,在样地中以“Z”形路线采集新凋落的、外形较完整、无明显分解痕迹的新鲜凋落叶样品带回实验室,次日进行模拟酸雨试验。

1.2.2 模拟酸雨淋洗装置 依据广西壮族自治区当地酸雨特征^[11],本试验利用硫酸和硝酸配制 pH 值为 3.0、4.0、5.0 的酸雨处理液,并设置 pH 值为 6.0 的蒸馏水为对照组(CK),每个处理重复 3 次。采用敞口圆形塑料容器(内径为 15 cm)制作凋落叶

收稿日期:2020-11-25

基金项目:广西创新驱动发展专项(编号:桂科 AA17204087-6);广西林业科技推广示范项目(编号:g12020kt01);国家自然科学基金(编号:31070560)。

作者简介:张艳玲(1996—),女,山西柳林人,硕士研究生,主要从事林学研究。E-mail:974534742@qq.com。

通信作者:杨梅,博士,教授,主要从事森林培育研究。E-mail:346855295@qq.com。

淋洗装置,放入 2 cm 剪碎的凋落叶。将已配制好的酸雨处理液装入可以控制流速的树体专用输液袋倒挂在塑料容器上方,控制流速为 200 mL/d,模拟酸雨淋洗 20 d,塑料瓶连接在装置下方接收淋洗液,为防止试验过程中水分蒸发,采用保鲜膜密封淋洗装置的每个接口。

1.3 指标测定

测定凋落叶和凋落叶淋洗液全氮(N)、全磷(P)、全钾(K)、全钙(Ca)、全镁(Mg)含量。测定全氮、全磷含量时采用硫酸-过氧化氢消煮法制备待测液^[12],全氮含量采用流动分析仪进行测定^[13],全磷含量用原子吸收分光光度计测定^[14]。全钾、全钙、全镁含量测定时采用硝酸-高氯酸消煮法制备待测液,全钾含量采用火焰光度计进行测定,全钙、全镁含量采用原子吸收分光光度计进行测定^[15]。

1.4 数据处理

与对照组比较,计算凋落叶养分相对滞留率和凋落叶淋洗液养分下降率,采用 SPSS 22.0 统计分析软件进行单因素方差(ANOVA)分析和 Duncan’s 新复极差法进行显著性检验,并采用 Excel 软件作图。

$$\text{相对滞留率} = \frac{m_1 - m_{\text{CK1}}}{m_{\text{CK1}}} \times 100\%;$$
$$\text{下降率} = \frac{m_{\text{CK2}} - m_2}{m_{\text{CK2}}} \times 100\%。$$

式中: m_1 表示模拟不同 pH 值酸雨淋洗后凋落叶养分含量; m_2 表示模拟不同 pH 值酸雨淋洗后凋落叶淋洗液养分含量; m_{CK1} 表示对照组凋落叶养分含量; m_{CK2} 表示对照组凋落叶淋洗液养分含量。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨对桉和红锥凋落叶养分含量影响

由表 1、图 1 可知,模拟酸雨淋洗 20 d 后,桉和红锥凋落叶养分含量均随处理液 pH 值的降低而增加。相同 pH 值酸溶液处理下,凋落叶养分含量表现为桉 > 红锥;除 Ca 含量外,桉凋落叶的其他养分相对滞留率均高于红锥。pH 值为 5.0 时,酸雨处理对桉凋落叶 P 的释放影响较大,其相对滞留率达到 40.32%,显著大于红锥;其次为红锥凋落叶 Ca 的释放,其相对滞留率为 27.72%,显著大于桉。pH 值为 4.0 时,酸雨处理对桉凋落叶 P、K、Mg 的释放影响显著强于红锥,其相对滞留率分别达到 59.08%、43.63%、39.55%,但对 Ca 释放的影响表现为红锥显著大于桉,其相对滞留率为 44.44%;pH 值为 3.0 时,酸雨处理影响桉和红锥凋落叶养分的释放,桉凋落叶 P 和 Mg 受影响较大,其相对滞留率分别达到 88.02%、100.00%;红锥凋落叶 Ca 和 Mg 受影响较大,Ca 的相对滞留率为 70.33%,大于桉,Mg 的相对滞留率为 86.06%。

表 1 桉树、红锥凋落叶模拟酸雨淋洗后养分含量

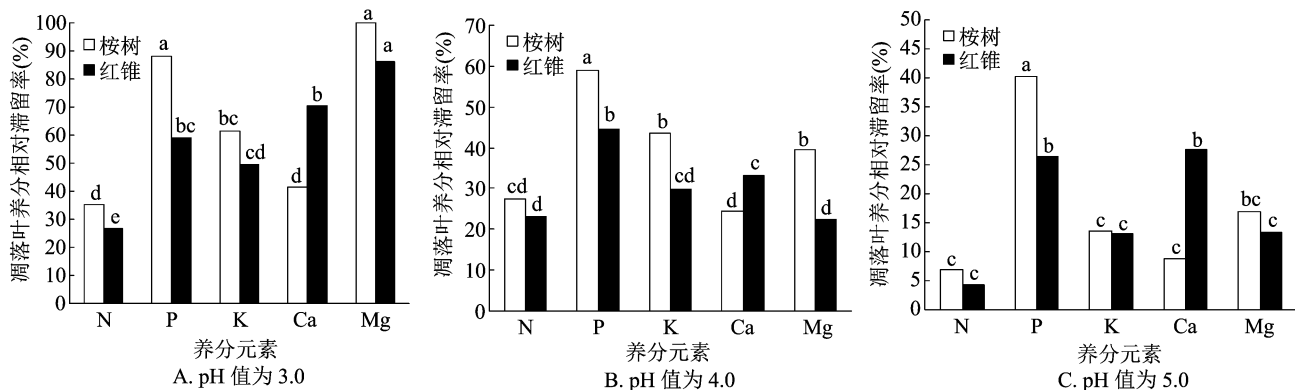
植物	处理 pH 值	养分含量(mg/g)				
		N	P	K	Ca	Mg
桉树	3.0	30.037 ± 0.48a	3.140 ± 0.16a	6.259 ± 0.21a	5.170 ± 0.17a	1.180 ± 0.04a
	4.0	28.267 ± 1.18b	2.657 ± 0.39b	5.573 ± 0.48b	4.537 ± 0.06c	0.823 ± 0.03c
	5.0	23.733 ± 1.08c	2.343 ± 0.20bc	4.403 ± 0.39cd	3.970 ± 0.09d	0.690 ± 0.04d
	6.0(CK)	22.187 ± 0.41cd	1.670 ± 0.23d	3.881 ± 0.17e	3.647 ± 0.08e	0.587 ± 0.05ef
红锥	3.0	27.483 ± 0.55b	2.627 ± 0.06b	5.488 ± 0.17b	4.957 ± 0.13b	1.023 ± 0.10b
	4.0	26.733 ± 0.76b	2.383 ± 0.21bc	4.766 ± 0.11c	4.047 ± 0.07d	0.673 ± 0.05d
	5.0	22.657 ± 1.02cd	2.087 ± 0.13c	4.154 ± 0.14de	3.717 ± 0.13e	0.623 ± 0.04ef
	6.0(CK)	21.730 ± 0.93d	1.650 ± 0.11d	3.668 ± 0.10e	2.907 ± 0.07f	0.553 ± 0.07f

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 2 同。

2.2 模拟酸雨对桉和红锥凋落叶淋洗液养分含量影响

由表 2、图 2 可知,桉和红锥凋落叶在不同 pH 值酸雨处理下,淋洗液养分含量排序为 N > K > Ca > P > Mg;淋洗液 N 含量随处理液 pH 值的升高先升高后降低,pH 值为 5.0 酸雨处理下全 N 含量最高,

其他养分含量都随酸雨 pH 值升高而增多。同一 pH 值酸雨处理下,淋洗液养分含量表现为桉 < 红锥,下降率表现为红锥 < 桉。酸雨对桉和红锥凋落叶淋洗液的不同养分释放的影响不同,pH 值为 4.0 的酸雨处理对桉凋落叶淋洗液 N、P、K 和 Mg 的影响显著大于红锥,其 P、K 和 Mg 与 CK 相比下降率为



柱上不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。图 2、图 3 同

图 1 模拟不同 pH 值酸雨淋洗后凋落叶养分相对滞留率

表 2 桉、红锥凋落叶模拟酸雨淋洗后淋洗液养分含量

植物	处理 pH 值	养分含量 (mg/L)				
		N	P	K	Ca	Mg
桉树	3.0	2.152 ± 0.099e	0.282 ± 0.009e	0.654 ± 0.054f	0.519 ± 0.018e	0.106 ± 0.013e
	4.0	2.493 ± 0.089d	0.359 ± 0.021d	0.798 ± 0.018e	0.587 ± 0.019d	0.143 ± 0.015d
	5.0	3.504 ± 0.066b	0.528 ± 0.012b	1.038 ± 0.041c	0.661 ± 0.022b	0.194 ± 0.002bc
	6.0 (CK)	3.329 ± 0.092b	0.576 ± 0.012a	1.141 ± 0.032b	0.712 ± 0.019a	0.254 ± 0.008a
红锥	3.0	2.408 ± 0.113d	0.388 ± 0.007d	0.779 ± 0.008e	0.605 ± 0.006cd	0.130 ± 0.005d
	4.0	2.887 ± 0.104c	0.474 ± 0.008c	0.960 ± 0.030d	0.631 ± 0.011bc	0.182 ± 0.010c
	5.0	3.929 ± 0.208a	0.586 ± 0.011a	1.171 ± 0.026ab	0.713 ± 0.012a	0.213 ± 0.011b
	6.0 (CK)	3.396 ± 0.068b	0.594 ± 0.043a	1.228 ± 0.016a	0.745 ± 0.023a	0.266 ± 0.012a

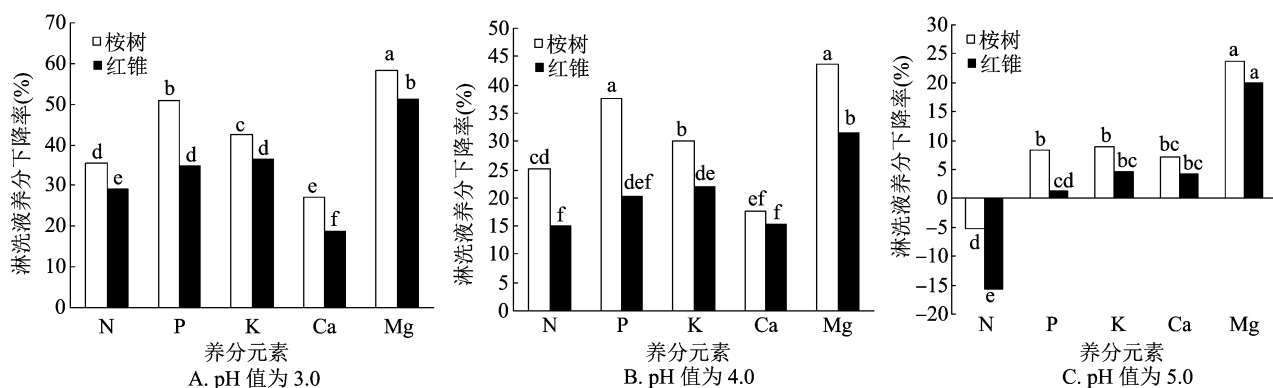


图 2 模拟不同 pH 值酸雨淋洗后凋落叶淋洗液养分下降率

37.67%、30.06%、43.70%，红锥凋落叶淋洗液 Mg 含量受影响最大，下降率为 31.58%；pH 值为 3.0 的酸雨处理对桉和红锥凋落叶淋洗液 N、P、K 和 Mg 的影响显著大于 Ca，且桉显著大于红锥，其中桉凋落叶淋洗液 P 和 Mg 受影响较大，其下降率分别达到 51.04%、58.27%，红锥凋落叶淋洗液 Mg 受影响较大，其下降率为 51.13%。

2.3 模拟酸雨对桉和红锥凋落叶淋洗液 pH 值影响

从图 3 可知，模拟酸雨淋洗处理后，凋落叶淋洗

液的 pH 值都有不同程度升高，红锥的变化值大于桉。当处理液 pH 值为 5.0、4.0 时，红锥凋落叶淋洗液 pH 值变化值分别为 1.14、0.95，而桉凋落叶淋洗液 pH 值变化值分别为 0.87、0.53，说明红锥凋落叶对酸雨的缓冲作用较强；而在 CK 及处理液 pH 值为 3.0 时，2 个树种的凋落叶淋洗液 pH 值均无明显变化。

3 讨论与结论

酸雨对森林生态系统造成的危害通常是通过

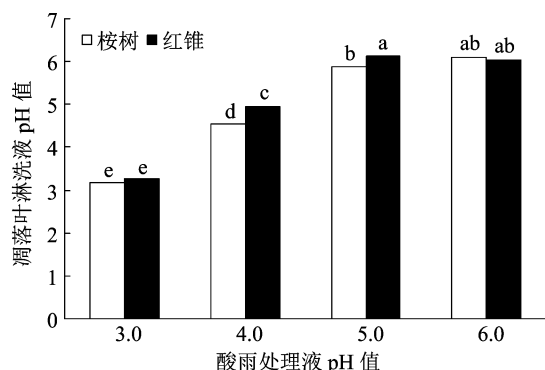


图3 桉、红锥凋落叶模拟酸雨淋洗后淋洗液 pH 值

土壤间接反映出来。大量酸性物质输入土壤,使土壤生态系统承受更多的 H^+ 负荷,不可避免地导致土壤酸化^[16-17]。凋落叶是土壤表面除树冠层外第 2 道保护屏障,对于土壤酸化有一定的缓冲作用^[18-19],且酸雨对不同树种凋落叶养分释放影响不同^[19-20]。本研究发现桉和红锥凋落叶对酸雨都有不同程度的缓冲作用,且红锥凋落叶缓冲作用较强。凋落叶对酸雨缓冲作用的主要表现为酸雨中 H^+ 与凋落叶组织中的盐基阳离子发生交换反应,淋洗出 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等,使得酸雨中 H^+ 含量降低^[7,21]。pH 值为 5.0 的模拟酸雨处理对桉和红锥凋落叶淋洗液养分含量影响较小,淋洗液 pH 值增高值较大,2 个树种对酸雨都有一定的缓冲作用;pH 值为 4.0 的酸雨处理对桉凋落叶淋洗液 N、P、K 和 Mg 的影响显著大于红锥,且与 CK 相比,红锥 K、Mg、Ca 的洗出受抑制作用较小,而且淋洗液 pH 值上升幅度最大,因此红锥对酸雨的缓冲作用更强,K、Mg、Ca 的淋出是凋落叶缓冲酸雨的主要原因。但生态系统对酸雨的缓冲作用具有一定的临界值^[16],当模拟酸雨 pH 值为 3.0 时,桉和红锥凋落叶淋洗液养分含量相对滞留率较大,淋洗液 pH 值升高较小,凋落叶对酸雨的缓冲效果不明显。

由于广西地区降雨酸度 pH 值平均值为 4.9,最小值为 3.0 左右,是酸雨污染最严重的地区之一^[2,22],红锥凋落叶对酸雨的缓冲作用大于桉,且红锥属于较速生的珍贵乡土树种,干形通直,材质优良,因此在一定的降雨酸度范围内,红锥作为桉的混交树种,可减缓酸雨对人工林地土壤酸化的影响,同时又起到优化桉人工林林分结构、维持林分生产力的重要作用。

参考文献:

- [1] 黄 莺. 全球环境安全问题综述[J]. 国际资料信息, 2004(7): 1-8.
- [2] 陆晓艳, 黄 增, 陈 蓓, 等. “十二五”期间广西酸雨污染变化特征分析[J]. 广西科学, 2019, 26(3): 341-346.
- [3] 刘 萍, 夏 菲, 潘家永, 等. 中国酸雨概况及防治对策探讨[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(12): 30-35.
- [4] 庄 捷, 陈奋飞, 陈岩松, 等. 酸雨对林木伤害的研究[J]. 西部林业科学, 2006, 35(1): 129-133.
- [5] 张俊平, 张新明, 曾纯军, 等. 酸雨对生态系统酸化影响的研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊): 245-249.
- [6] 詹 敏, 窦云鹏, 郭培培, 等. 天目山不同森林类型林冠对酸雨的缓冲作用[J]. 浙江林业科技, 2010, 30(2): 26-30.
- [7] 胡 波, 王云琦, 王玉杰, 等. 重庆缙云山 3 种典型林分对酸沉降的作用机理[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 1-7.
- [8] 余小龙. 亚热带地区常见森林凋落叶对酸雨的缓冲能力及其化学成分研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.
- [9] 刘 涛, 谢耀坚. 中国桉树人工林快速发展动因分析与展望[J]. 桉树科技, 2020, 37(4): 38-47.
- [10] 邹碧山, 黄立新, 张宋英, 等. 广东省桉树人工林可持续发展对策[J]. 绿色科技, 2019(21): 187-188, 190.
- [11] 黄 磊, 王庆国. 广西南宁市酸雨特征及影响因素分析[J]. 贵州气象, 2014, 38(6): 52-54.
- [12] 刘海威, 张少康, 焦 峰. 氮磷添加对不同退耕年限草本植被群落及土壤化学计量特征的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 333-338.
- [13] 张丽萍, 王久荣, 袁红朝, 等. 植物全氮的 AA3 型流动分析仪测定方法研究[J]. 湖南农业科学, 2016(10): 83-86.
- [14] 翁冰萍. 原子吸收分光光度计在土壤磷测定中的应用[J]. 福建农业科技, 2002(3): 17.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [16] 刘美华, 伊力塔, 马元丹, 等. 毛竹、银杏凋落叶对酸雨缓冲作用的研究[J]. 上海农业学报, 2013, 29(2): 29-32.
- [17] 倪 幸, 黄其颖, 叶正钱. 竹炭施用对土壤镉形态转化和小麦镉积累的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 818-824.
- [18] 王仕荣, 宋献方, 肖国强, 等. 基于氢氧同位素的华北平原降水入渗过程[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 495-501.
- [19] 郑文辉, 林开敏, 徐 昇, 等. 7 种不同树种凋落叶对模拟酸雨缓冲性能的研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3): 104-108.
- [20] 伍 琪, 任世奇, 姜同强, 等. 南方四种速生树种凋落叶在不同模拟酸雨环境中变化特性研究[J]. 基因组学与应用生物学, 2020, 39(4): 1758-1768.
- [21] 宋文龙, 杨胜天, 温志群, 等. 贵州典型森林群落植被冠层的酸雨淋溶特征及缓冲作用[J]. 环境科学学报, 2010, 30(1): 15-23.
- [22] 黄红铭, 黄 增, 韦江慧, 等. 2011—2018 年广西酸雨污染变化特征及影响因素分析[J]. 化学工程师, 2019, 33(10): 41-44.