

模拟酸雨对樟树种子萌发 和幼苗生长的影响*

樊后保

臧润国

(福建林学院, 南平 353001)

(中山大学)

摘 要 在模拟酸雨条件下, 对樟树的种子萌发和幼苗生长进行了观测。结果表明, pH 2.0 的模拟酸雨严重地抑制了种子的萌发, 伤害了幼苗的叶片, 降低了叶绿素的含量, 增加了细胞的透性, 使叶汁液和土壤酸化, 从而阻碍了幼苗的生长。pH 3.5 的模拟酸雨尽管对幼苗产生一定的负作用, 但却增加了幼苗的生物量。pH 5.0 和 pH 6.0 的模拟酸雨对种子萌发和幼苗生长的影响不明显。

关键词 樟树; 模拟酸雨; 酸雨; 种子; 萌发; 实生苗; 生长; 效应

中图分类号 Q948.1

酸雨是人类目前面临的一个重大环境问题, 已引起各国政府和专家的极大关注。酸性降水对植被的潜在影响主要有两种方式: 直接影响和间接影响。直接影响是指酸雨能伤害叶片细胞, 干扰植物新陈代谢, 加速叶片养分淋失, 改变了共生关系以及寄主与寄生物的相互作用, 从而使植物生长受阻, 甚至死亡; 而间接影响是指酸雨致使土壤酸化, 盐基离子淋溶, 进而导致某些有毒金属元素如铝的活化, 伤害植物根系, 引起植物衰亡^[1-4]。值得注意的是, 已获得的有关酸性降水对植被影响的知识仍相当有限。这些潜在影响的重要性必须通过大量的研究才能确定。然而, 由于这些影响的复杂性和其他外界因素的干扰, 给野外调查带来很多困难。因此, 许多研究者试图通过模拟酸雨试验来揭开其中的奥秘, 并取得了较大进展^[6-8]。我国在这一领域的研究起步较晚, 且多以农作物作为研究对象^[7-9]。本文通过温室试验, 以期了解模拟酸雨对樟树(*Cinnamomum camphora*)这一重要经济树种的影响程度和伤害机理。

1 实验材料和方法

1.1 模拟酸雨的配制

按对当地自然降水化学成分的测定结果, 用分析纯硫酸和硝酸按摩尔比8:1配成母液。将母液加自来水调配成 pH 值为2.0, 3.5, 5.0和6.0的酸性水溶液。水溶液的 pH 值用日本产 D-14型 pH 计测定, 以自来水(pH 值范围6.60~6.75)作对照(CK)。

收稿日期: 1996-03-02; 修回日期: 1996-05-29

*日本国际绿化推进中心(JIFPRO)资助项目

1.2 发芽试验

将采集的樟树种子用 $5.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的甲醛溶液消毒后,整齐排列于垫有滤纸的培养皿(经高温消毒)中。每培养皿放100粒种子。重复5次。放置在 $25\sim 30^\circ\text{C}$ 的恒温箱内进行发芽。每天用吸管滴模拟酸雨2~3次,保持滤纸和种子的充分湿润。试验期间观测发芽情况和发芽天数。

1.3 苗木试验

1994年冬,将樟树种子播种于装有7.5 kg 当地红壤的盆钵中。出苗前用自来水浇灌。翌年春待苗木长到12 cm 高左右,每盆留3株幼苗,将盆钵随机分成5种处理。重复5次。置于玻璃温室中。每周对幼苗喷洒两次模拟酸雨。夏季高温期间适当增加喷洒次数。试验自5月10日开始,一直延续到11月10日。喷洒酸雨总量相当于1 024mm 降水量。

1.4 苗木生长指标和生理指标的测定

1.4.1 叶伤害调查 试验结束前,统计每株苗木的总叶片数及出现明显黄棕色斑块的受害叶片数,以受害叶片数占总叶片的百分比来表示苗木的受害程度。

1.4.2 叶绿素含量的测量 以乙醇提取,用721型分光光度计测定叶绿素a, b 含量。

1.4.3 叶汁液 pH 值和土壤 pH 值的测定 取新鲜叶洗净后用滤纸擦干,剪碎后称取2 g,研磨成糊状后加蒸馏水30 mL,拌匀,稳定0.5 h后,用D-14型 pH 计测其 pH 值。试验结束后,按处理分别在各个盆钵中取土样。混合后,每样品称取10 g,加蒸馏水25 mL,搅拌0.5 h,稳定0.5 h后测其 pH 值。

1.4.4 细胞透性的测定 取新鲜叶洗净后擦干,剪碎成 1cm^2 左右的小块。边缘用滤纸擦净。称取3 g,加蒸馏水60 mL,浸提24 h后用日本产ES-14型电导仪测定其 EC 值。

1.4.5 高度和地径测定 于试验前及结束时分别测定1次每株苗木的高度和地径。其中地径用游标卡尺测定。

1.4.6 生物量的测定 于实验结束时,每处理随机选择9株苗木,连根挖出,清洗后分别根、茎、叶于 75°C 恒温箱中烘干48 h后称量。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨对种子发芽率的影响

方差分析 F 检验结果表明,不同处理对樟树种子发芽率具有显著的影响(表1)。pH 2.0 的模拟酸雨严重抑制了种子的萌发,其发芽率只有对照的48.9%。在试验过程中还发现,经 pH 2.0 处理的发芽种子,小根和胚轴明显也受到了伤害,呈锈色,发芽后不久即枯萎死亡,幼苗成活率极低。其他处理对种子发芽率的影响不明显,且萌发后幼苗生长正常。

表1 模拟酸雨对樟树种子发芽率的影响

Table 1 Effects of simulated acid rain on germination percent of *Cinnamomum camphora*

项 目	pH 水 平				CK	差异显著性水平
	2.0	3.5	5.0	6.0		
平均发芽率/%	45.0	90.0	88.0	93.0	92.0	$F = 28.57^{**}$

注: $F_{0.01}(4.70) = 3.61$

2.2 模拟酸雨对幼苗的伤害

酸性沉降物往往首先通过气孔进入植物, 损害叶片的内部构造, 表现受害症状。各种pH水平的模拟酸雨对幼苗叶片均产生了不同程度的伤害, 尤以pH 2.0的处理最为明显, 受害叶片数高达50.60%(表2)。受害症状表现为叶缘和叶脉间产生黄棕色不规则的坏死斑点和斑块, 叶片退绿, 慢慢黄化, 直至枯萎。从表2中还可以发现, 经处理后的幼苗, 其平均单株叶片数均比对照组低。这说明了模拟酸雨抑制了幼苗的生长和叶原基的发育。

表2 模拟酸雨对幼苗叶片的伤害
Table 2 Damage of simulated acid rain to foliage

项 目	pH 水 平				CK	差异显著性水平
	2.0	3.5	5.0	6.0		
平均单株总叶片数/张	41.7	56.1	57.0	45.8	59.1	$F = 4.24^{**}$
平均单株受害叶片数/张	21.1	7.5	3.4	2.8	0.9	$F = 40.52^{**}$
受害率/%	50.60	13.37	5.96	6.11	1.52	$F = 64.82^{**}$

注: $F_{0.01}(4,70) = 3.61$

2.3 模拟酸雨对叶绿素含量的影响

在植物的光合作用过程中, 叶绿素是吸收光的主要色素。它把捕获的光能转变为化学能, 形成植物的生产。因此, 叶绿素含量的高低将直接影响幼苗的生长。表3可见, pH 2.0和pH 3.5的模拟酸雨比较明显地降低了叶绿素a, b的含量。叶绿素a, b总量分别只有对照组的60.3%和76.3%。经pH 5.0和pH 6.0处理的苗木, 其叶绿素a + b总量也略有下降。叶绿素a/b比率在各处理间也存在显著差异。这说明模拟酸雨对叶绿素a, b的影响程度相对较大。

表3 模拟酸雨对幼苗叶绿素含量的影响
Table 3 Effects of simulated acid rain on chlorophyll contents of seedlings

项 目	pH 水 平				CK	差异显著性水平
	2.0	3.5	5.0	6.0		
叶 绿 素 a	0.399	0.522	0.603	0.724	0.719	$F = 75.50^{**}$
叶 绿 素 b	0.380	0.464	0.531	0.587	0.573	$F = 26.89^{**}$
叶 绿 素 a+b	0.779	0.986	1.134	1.311	1.292	$F = 7.22^{**}$
叶 绿 素 a/b	1.05	1.13	1.14	1.23	1.25	$F = 3.24^{**}$

注: $F_{0.01}(4,20) = 4.43$ $F_{0.05}(4,20) = 2.87$

2.4 模拟酸雨对叶片细胞透性的影响

电解质溶液的导电过程是通过溶液中所有离子的迁移运动来进行的。因此, 叶片外渗液电导率的高低能够指示叶片的细胞透性。从表4可以看出, 叶片外渗液的电导率随模拟酸雨pH值的减小而增加。这表明植物处于酸雨这一逆境条件下, 细胞膜受到伤害, 透性增加, 使细胞内电解质, 特别是阳离子的大量外渗。而在未受污染的自然条件下, 一般不存在细胞内和细胞壁中的阳离子析出现象, 如果有, 也是极少量的^[2]。由于酸雨加速了阳离子的析出, 引起植物养分亏损, 从而影响生长。

表 4 模拟酸雨对细胞透性的影响

Table 4 Effects of simulated acid rain on cell permeability

项 目	pH 水 平					差异显著性水平
	2.0	3.5	5.0	6.0	CK	
细胞外渗液电导率/ $\text{cs}\cdot\text{m}^{-2}$	45.0	90.0	88.0	93.0	92.0	$F = 28.57^{**}$

注: $F_{0.01}(4,20) = 4.43$

2.5 模拟酸雨对叶汁液 pH 值和土壤 pH 值的影响

方差分析表明, 模拟酸雨对叶汁液具有显著的酸化作用(表 5)。叶汁液随 pH 值的降低而降低, 两者具有紧密的线性关系(相关系数 $r = 0.9503^*$): $Y_1 = 5.1662 + 0.0642x$ 。其中 Y_1 为叶汁液 pH 值, x 为模拟酸雨 pH 值。实验证明, 酸性沉降物中的氢离子能够与叶片角质层中的阳离子相互交换。这种交换的结果导致了叶细胞原生质的酸化。

模拟酸雨对土壤的酸化作用也是很明显的(表 5)。模拟酸雨 pH 值与土壤 pH 值之间也存在紧密的线性关系: $Y_2 = 4.2887 + 0.2210x$ 。其中 Y_2 为土壤 pH 值, x 为模拟酸雨 pH 值, 相关系数 $r = 0.8856$ 。这说明了酸雨通过对土壤的酸化而间接地影响了植物的生长。

表 5 模拟酸雨对叶汁液 pH 值和土壤 pH 值的影响

Table 5 Effects of simulated acid rain on pH of fresh leaf sap and pH of soil

项 目	pH 水 平					差异显著性水平
	2.0	3.5	5.0	6.0	CK	
叶汁液 pH 值	5.31	5.40	5.44	5.52	5.65	$F = 3.22^*$
土壤 pH 值	4.49	5.40	5.47	5.50	5.71	$F = 48.94^{**}$

注: $F_{0.01}(4,20) = 4.43$; $F_{0.05}(4,20) = 2.87$

2.6 模拟酸雨对幼苗高生长和地径生长的影响

从统计上来说, 模拟酸雨对幼苗高生长量没有显著的影响(表 6)。但表 6 中的数据显示, 模拟酸雨对幼苗高生长具有一定的促进作用。

地径生长量在各处理间具有显著的差异(表 6)。pH 2.0 的模拟酸雨明显抑制了幼苗地径的生长, 而 pH 3.5 的处理则促进了地径的生长, pH 5.0 和 pH 6.0 的处理对幼苗地径生长表现出一定的负作用。

表 6 模拟酸雨对高生长(H)和地径(D)生长量的影响

Table 6 Effects of simulated acid rain on the growth of height and diameter

项 目	pH 水 平					差异显著性水平
	2.0	3.5	5.0	6.0	CK	
H/cm	27.3	26.0	28.3	25.2	25.2	$F = 0.853$
D/cm	0.307	0.432	0.358	0.328	0.384	$F = 5.48^{**}$

注: $F_{0.01}(4,70) = 3.61$

2.7 模拟酸雨对幼苗生物量的影响

生物量能够比较客观地反映植物捕获光能转变为物质生产的能力。表7显示, pH 2.0 的处理明显地降低了幼苗根、茎、叶的生物量, 而 pH 3.5 以上的处理则增加了幼苗的生物量。pH 2.0 的处理也使根茎比率下降。这反映了幼苗地下部分的生长相对减弱, 影响了植株对水分和矿质养分的吸收能力。其他处理也使根茎比率略有下降。

表7 模拟酸雨对幼苗生物量和根茎比的影响

Table 7 Effects of simulated acid rain on the biomass and root-shoot ratios of seedlings

项 目	pH 水 平					差异显著性水平
	2.0	3.5	5.0	6.0	CK	
根/g	0.763	3.189	2.565	2.713	2.325	$F = 10.22^{**}$
茎/g	1.594	2.294	2.314	2.049	1.647	$F = 5.48^{**}$
叶/g	1.405	4.020	3.639	3.205	3.535	$F = 8.26^{**}$
全株/g	3.822	9.503	8.518	7.967	7.507	$F = 9.10^{**}$
根茎比/%	0.48	1.39	1.11	1.32	1.41	$F = 6.27^{**}$

注: $F_{0.01}(4,45) = 3.77$

3 小结

pH 2.0 的模拟酸雨严重抑制了樟树种子的萌发, 降低了发芽率。至于其作用机理, 尚有待于进一步的研究。

pH 2.0 的处理对幼苗生长的影响是十分明显的。它增加了叶细胞膜的透性, 加速了阳离子的淋失, 使细胞原生质酸化, 降低了叶绿素的含量, 因而伤害了幼苗的叶片, 抑制了生长。另一方面, 它通过对土壤的酸化, 也间接地影响了幼苗的生长。

然而, pH 3.5 的处理尽管对幼苗叶片造成一定的伤害, 但却促进了幼苗和地径的生长, 增加了单株生物量。Wood 和 Bormann 在对北美乔松的模拟酸雨试验中也发现, pH 4.0 以下的模拟酸雨刺激了幼苗的生长, 并指出是由于酸雨中 NO_3^- 的施肥作用的效果^[6]。

pH 5.0 和 pH 6.0 是目前南平市典型的降水酸度。因此, pH 5.0~6.0 的模拟酸雨对樟树种子萌发和幼苗生长的影响不明显。

致谢 本文承蒙彭少麟教授的指导, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 Tamm C O, Cowling E B. Acidic precipitation and forest vegetation. In: Dochinger L S, Seliga T A. *Proc Internat Symp Acid Precipitation and the Forest Ecosystem*. Upper Darby: NE Eor Exp Sta, 1976. 845~855
- 2 Smith W H. *Air pollution and forests: Interactions between air contaminants and forest ecosystems*. New York: Springer-Verlag, 1981. 178~188
- 3 Likens G E, Bormann F H, Johnson N M. Acid rain. *Environment*, 1972, 14: 3~40
- 4 樊后保, 梁一池, 马壮, 等. 森林截留降水酸度及其对林下土壤的影响. *福建林学院学报*, 1995, 15(1): 1~6
- 5 Wood T, Bormann F. H. Short-term effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations of *Pinus strobus* L. In: Dochinger L S, Seliga T A. *Proc Internat Symp Acid*

- Precipitation and the Forest Ecosystem*. Upper Darby: NE For Exp Sta, 1976. 815~826
- 6 Lee J J, Weber D E. The effect of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species. *For Sci*, 1979, 25(3): 393~398
 - 7 曹洪法, 高映新, 舒俭民, 等. 模拟酸雨对农作物生长和产量影响的初步研究. *植物生态学与地植物学报*, 1989, 13(1): 58~65
 - 8 陈玉谷, 何宗英, 万季林, 等. 模拟酸雨对蕃茄生长影响的试验. *环境科学*, 1989, 10(2): 24~28
 - 9 郑有斌, 青长乐. 模拟酸雨对萝卜生长的影响. *农业环境保护*, 1991, 10(5): 215~217

Fan Houbao (Fujian Forestry College, Nanping 353001, PRC) and Zang Run-guo. **Effects of Simulated Acid Rain on Seed Germination and Seedling Growth of *Cinnamomum camphora***. *J Zhejiang For Coll*, 1996, 13(4): 412~417

Abstract: Seed germination and seedling growth for camphor tree were monitored under exposure the seed and seedling to a simulated acid`rain. The pH 2.0 acid treatment inhibited seed germination and seedling growth by damaging foliage, decreasing chlorophyll`contents, increasing leaf cell permeability, and acidifying leaf sap and the soil. Whereae pH 3.5 acid treatment increased the biomass in spite of some negative effects on seedling growth. No significant treament effects were observed at pH values of 5.0 and 6.0.

Key words: *Cinnamomum camphora*; simulated acid rain; acid rain; seeds; germination; seedling; growth; effect