

模拟酸雨对不同园林植物叶片生理生态特性的影响

宋晓梅¹, 曹向阳²

(1. 扬州工业职业技术学院, 江苏 扬州 225000; 2. 中电建路桥集团扬州建设发展有限公司, 江苏 扬州 225000)

摘要:采用盆栽方法,以自来水(pH 值 6.5)作为对照,研究了 pH 值为 1.7、3.0、4.3、5.6 模拟酸雨条件下新梢增长量、叶片损伤程度和叶片生理生态特性,并分析了园林植物对酸雨污染的敏感性反应。结果表明:不同 pH 值的酸雨对园林植物新叶片有不同程度的抑制,酸雨的酸度越大,对园林植物叶片的伤害越大,以 pH 值 1.7 的模拟酸雨对园林植物叶片的伤害最为严重,pH 值 5.6 伤害较为轻微,但不同种类之间对酸雨的抗性有明显差异;pH 值 4.3~5.6 处理对园林植物新梢生长率没有显著的影响和抑制作用,而 pH 值小于 3.0 处理则严重抑制了园林植物新梢生长;随模拟酸雨强度的增强,园林植物叶片的细胞质膜透性和丙二醛(MDA)含量逐渐升高,当 pH 值小于 3.0 时,细胞质膜透性和丙二醛(MDA)含量则急剧增加,当 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片则严重受损;园林植物叶片叶绿素含量、叶片 N 和 P 含量随酸雨强度的增加逐渐降低,当 pH 值小于 3.0 时,园林植物叶片叶绿素含量、叶片 N 和 P 含量则急剧降低,当 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片则严重受损;相关分析表明,酸雨增加了园林植物对环境的敏感性。园林植物对酸雨具有较强的抵抗能力,对园林植物生理活动影响的阈值 pH 值大致介于 3.0~4.3,因此,本研究的 6 种园林植物可以作为酸雨灾害严重地区园林绿化及植被构建的物种。

关键词:模拟酸雨; 园林植物; 叶片; 生理生态特性

中图分类号:S685;X517

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)02-0365-06

Effect of Simulated Acid Rain on the Physiological and Ecological Characteristics of Different Garden Plants

SONG Xiaomei¹, CAO Xiangyang²

(1. Yangzhou College of Industrial Technology, Yangzhou, Jiangsu 225127, China;

2. Yangzhou Construction Development, Power China Road Bridge Group Co., Ltd. Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

Abstract: Based on pot experiments, we studied the effects of acid rain on the physiological and ecological characteristics of different garden plants which were treated with simulated acid rain at pH 1.7, 3.0, 4.3, 5.6 and 6.5 (CK). The results showed that the acid precipitation with different pH values inhibited, to different extents, shoot growth of all the 6 species, and the harm suffered by the plants increased with the acidity of rain, the simulated rain had no inhibition to plants at pH 4.3 and 5.6, and had significant inhibition to plants under pH 3.0. As the acidity of the simulated rain increased, the MDA content and plasmalemma permeability of the leaves increased, when pH was less than 3.0, the MDA contents and plasmalemma permeability of the leaves sharply increased, and when pH was 1.7, the garden plant leaves were badly damaged. While the chlorophyll content, N and P contents had the opposite trend with the MDA content and plasmalemma permeability of the leaves. The result revealed that acid rain enhanced the sensitivity of different garden plants to environment through correlation and regression analysis, the species differed in their susceptibility to acid rain, pH 3.0 to 4.3 could be used as an invisible critical point of acid rain damage to their leaves. Therefore, these different garden plants could be considered as one of the landscaping and vegetation constructing plants in the acid rain-hit areas.

Keywords: simulated acid rain; garden plants; physiological and ecological characteristics

酸雨在科学上称作酸沉降,是指大气中的 SO_2 , SO_3 和氮化物与雨、雪等作用形成 H_2SO_4 和 HNO_3 等含酸成分的降雨或降雪等^[1];国际规定酸雨为 pH

值 < 5.6 的降水,作为严重威胁世界环境的十大问题之一而备受世界各国科学家关注^[2]。早在 20 世纪 60 年代,国内外学者就酸雨对植物生长的影响做了

大量的研究,酸雨可使植物叶片失绿、枯落、生长减缓、生物量下降^[2];20世纪70年代,酸雨已逐步成为世界性的公害,先是在欧洲、北美相继出现大范围的酸雨^[3];80年代中期以后,我国酸雨问题日益严重,酸雨区域也日益扩大(面积达到40%),雨水的酸性也愈来愈强,而我国已成为继欧洲、北美之后的世界第三大酸雨区^[4]。近年来我国酸雨分布正在以城市为中心向远郊和农村蔓延,雨水的酸性也愈来愈强,江苏省的酸雨污染情况也相当严峻,大部分地区的降水pH值 <4.0 ,有时甚至达到pH值2.0,酸雨频率达50%以上,大部分地区酸雨频率超过60%,酸雨所致的经济损失和对生态平衡及植物本身的严重影响已引起人们的关注^[5-6]。

园林绿化植物是改善城市环境、维护生态平衡的重要物质基础,在园林绿化过程中为了尽快达到美化、绿化的目的往往在选择植物时会选择多年生的成年园林植物进行绿化^[7-8]。随着工业化、城市化的迅猛发展,城市区域也往往是酸雨的频发区,在此基础上,探讨园林植物对不同pH值酸雨的敏感程度和耐受力的差别,对城市绿化树种的选择、工程应用、栽培管理及植物引种保护等都具有重要意义^[7-8]。目前有关酸雨对植物影响的研究,大多以农作物、蔬菜类、部分经济作物和森林树种为研究对象,对园林植物的研究也主要是集中在酸雨对其种子及幼苗阶段的影响,对多年生园林植物影响的研究报道较少,因此研究不同pH值酸雨对多年生园林植物的影响能够更好运用于生产实践当中。本试验以6种园林植物为材料,用模拟酸雨处理的方法,研究模拟酸雨对不同园林植物叶片生理生态特性的影响,为今后园林绿化的树种选择和提高抗酸雨栽培技术的应用及环境监测提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参照江苏省各主要酸雨区中酸根离子均值的比例配制,以浓 H_2SO_4 和浓 HNO_3 体积比为8:1配制成酸雨母液,利用该母液添加适当蒸馏水配制各酸度溶液,用数显酸度计测定并配制出pH值分别为1.7,3.0,4.3,5.6的模拟酸雨溶液,对照(CK,pH值5.6)选择自来水,配制好的溶液4℃保存备用。

1.2 酸雨处理

试供园林植物为油茶(*Camellia oleifera*)、茶梅(*Camellia sasanqua*)、火棘(*Pyracantha crenatoserrata*)、海桐(*Pittosporum tobira*)、栀子花(*Gardenia jasminoides*)和南天竹(*Nandina domestica*),均为2a生苗,购于扬州市植物育苗中心。试验于2014年

春季在扬州市农科院的农场大棚内进行,取当地的黄红壤(微酸性,肥力中等偏上)做为栽培土壤,盆内的土层厚度约为25cm,每盆1株,生长期间保证充足的水分供应,选择生长一致、株高基本一致的上述园林植物,种植于高50cm、直径为40cm的塑料花盆中,每种园林植物7盆,共42盆,常规管理。经4个月的恢复生长,于2014年7月开始进行模拟酸雨的喷淋试验,酸雨喷洒采用小型喷雾器喷雾法,每隔10d喷1次,每次均喷至叶片滴液为度,连续喷6次,时间持续2个月,喷淋统一在早上晚上7:00进行(以便于酸雨更好的作用),在喷施酸雨后,根据扬州市多年的月均降水量,平均每株植物喷淋的酸雨量约为100ml(与当地总的降雨量基本持平),酸雨处理期间适当补水,试验进行至2015年6月时,进行各项相关指标的测定。

1.3 测定方法

在模拟酸雨处理后的第10d(酸雨处理前的指标),用游标卡尺测量新梢的长度,计算增长量,用叶面积测定仪测定叶面积和受害叶面积并分析叶片的伤害程度^[9]。新梢增长量=处理后的梢长—处理前的梢长;新梢增长率(%)=新梢增长量/处理前的梢长;受害叶面积指数(%)=受害叶面积/总处理叶片面积 $\times 100\%$

2015年6月中旬均匀采取园林植物植株中上部、同向、同节位枝条的1a生叶片(酸雨处理后生长半年的指标),其中,每个植株分别采取5片叶,每盆剪取25片叶剪碎后进行充分混匀,对各项指标进行3次重复测定,取其平均值。

硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(MDA)含量;电导仪法测定细胞膜透性;混合液浸提法以80%丙酮溶液浸提比色分析测定叶绿素a,b值;洗净烘干后粉碎后过0.5mm筛,凯氏定氮法测定叶片全氮含量,钒钼黄吸光度法测定叶片全磷含量^[10]。

采用Excel 2003和SPSS 18.0数据统计和单因素方差分析(One-way ANOVA), t 检验比较各处理间差异显著。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨对园林植物叶片的伤害

模拟酸雨对园林植物的叶片产生不同程度的危害,受害症状表现为叶缘和叶脉间产生黄棕色和黑褐色的不规则斑块、衰老斑,顶端幼叶卷曲、皱缩,难以展开。模拟酸雨的pH值越低,对园林植物叶片的伤害越大,尤以pH值1.7的模拟酸雨对园林植物叶片的伤害最为严重(表1),在试验中,我们观察到,开始

时酸雨使园林植物的新枝嫩叶产生局部的、散生的斑点和坏死斑点,继而叶片退绿、黄化、慢慢枯萎,且叶片的宽度和展开度都受到不同程度的抑制,斑点直径<1.1 mm。随后,伤斑直径不断增大,达到 2.0 mm 以上,最后导致整片叶片枯萎死亡。试验发现,叶片接触酸雨后,当天很少出现症状,多数植物在第 2 d 才有伤斑出现,3~4 d 后症状稳定下来并充分显现;伤斑种类有圆斑、条斑、无规则斑点等,受害植物叶片可见伤斑的形状、大小因植株的种类而异。从表 1 中可以看出,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,植物叶面伤害指数不断增大,由此可知酸雨对园林植物叶片伤害的程度与酸雨的 pH 值大小直接相关,pH 值越小,叶片伤害程度越大,其中以 pH 值 1.7 的处理受害最严重,pH 值为 5.6 与对照差异不显著($p>0.05$),pH 值低于 5.6 均显著高于对照($p<0.05$),并且他们之间差异均显著($p<0.05$)。不同园林植物受伤害的程度不同(受害叶面积指数大,则对酸雨的抗性较弱),其中以栀子花和南天竹对酸雨的抗性较强,火棘和海桐对酸雨的抗性较弱。

表 1 模拟酸雨对园林植物受害叶面积指数的影响

园林 树种	pH 值					/%
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)	
油茶	42.3±3.2	25.7±2.3	1.2±0.3	0.3±0.1	0.0	
茶梅	63.7±5.6	36.9±1.5	4.8±1.2	1.5±0.3	0.0	
火棘	62.3±1.3	32.4±0.9	5.3±2.1	2.1±0.5	0.0	
海桐	55.2±2.5	34.1±2.6	4.3±1.5	1.8±0.6	0.0	
栀子花	32.1±4.2	23.5±1.8	1.1±0.3	0.6±0.2	0.0	
南天竹	35.8±2.3	16.7±2.5	0.9±0.5	0.5±0.2	0.0	
均值	48.6±3.4a	28.2±1.4b	2.9±0.9c	1.1±0.5d	0.0d	

注:相同字母表示在 0.05 水平差异不显著,下同。

2.2 模拟酸雨对园林植物新梢生长量的影响

由表 2 可知,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,不同园林植物新梢增长率均不断降低,其中 pH 值为 1.7 时,不同园林植物新梢增长率变化范围在 4.3~18.4,pH 值为 3.0 时,不同园林植物新梢增长率变化范围在 12.3~26.4,pH 值为 4.3 时,不同园林植物新梢增长率变化范围在 16.8~38.9,pH 值为 5.6 时,不同园林植物新梢增长率变化范围在 39.8~59.1,pH 值为 6.5(CK)时,不同园林植物新梢增长率变化范围在 68.2~83.2;对于同一种园林植物而言,随着 pH 值的降低,新梢增长率在 pH 值为 4.3 时急剧降低,此后降低幅度趋于平缓,由此可知模拟酸雨的 pH 值越低,对园林植物新梢增长率的影响越大;对于园林植物新梢增长率的平均值而言,不同 pH 值条件下园林植物新梢增长率差异均显著($p<0.05$)。

表 2 模拟酸雨对园林植物新梢增长的影响 /%

园林 树种	pH 值				
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)
油茶	9.3±2.1	12.3±3.6	16.8±1.6	39.8±5.3	68.2±9.6
茶梅	4.3±0.8	16.8±2.7	23.7±2.9	42.7±4.2	71.3±8.3
火棘	4.6±1.3	15.4±1.5	19.2±3.4	46.2±6.9	83.2±7.2
海桐	10.5±2.4	26.4±3.2	35.4±2.1	56.8±5.1	76.3±8.2
栀子花	18.4±3.2	25.7±2.8	38.9±2.3	59.1±4.7	78.1±6.3
南天竹	15.3±1.8	23.2±2.3	23.7±2.4	47.6±3.8	79.1±7.1
均值	10.4±2.1e	20.0±2.6d	26.3±2.8c	48.7±5.2b	76.0±7.6a

2.3 模拟酸雨对园林植物叶片细胞膜透性和丙二醛(MDA)含量的影响

由表 3 可知,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,不同园林植物叶片相对细胞膜透性均不断增大,其中 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片相对细胞膜透性变化范围在 26.7%~53.2%,pH 值为 3.0 时,不同园林植物叶片相对细胞膜透性变化范围在 11.8%~45.2%,pH 值为 4.3 时,不同园林植物叶片相对细胞膜透性变化范围在 9.8%~35.2%,pH 值为 5.6 时,不同园林植物叶片相对细胞膜透性变化范围在 1.2%~2.7%,pH 值为 6.5(CK)时,不同园林植物叶片相对细胞膜透性变化范围在 0.3%~0.9%;对于同一种园林植物而言,随着 pH 值的降低,相对细胞膜透性在 pH 值为 4.3 时急剧增加,此后增加幅度趋于平缓,由此可知模拟酸雨的 pH 值越低,对园林植物叶片相对细胞膜透性的影响越大;对于园林植物叶片相对细胞膜透性的平均值而言,不同 pH 值条件下园林植物叶片相对细胞膜透性差异均显著($p<0.05$)。

由表 4 可知,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,不同园林植物叶片丙二醛含量均不断增大,其中 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片丙二醛含量变化范围在 11.3~19.7 $\mu\text{mol/g}$,pH 值为 3.0 时,不同园林植物叶片丙二醛含量变化范围在 9.2~16.3 $\mu\text{mol/g}$,pH 值为 4.3 时,不同园林植物叶片丙二醛含量变化范围在 7.2~14.1 $\mu\text{mol/g}$,pH 值为 5.6 时,不同园林植物叶片丙二醛含量变化范围在 0.9~2.6 $\mu\text{mol/g}$,pH 值为 6.5(CK)时,不同园林植物叶片丙二醛含量变化范围在 0.1~0.6 $\mu\text{mol/g}$;对于同一种园林植物而言,随着 pH 值的降低,叶片丙二醛含量在 pH 值为 4.3 时急剧增加,此后增加幅度趋于平缓,由此可知模拟酸雨的 pH 值越低,对园林植物叶片丙二醛含量的影响越大;对于园林植物叶片丙二醛含量的平均值而言,pH 值为 1.7 和 pH 值为 3.0 园林植物叶片丙二醛含量差异不显著($p>0.05$),pH 值 3.0 和 pH 值为 4.3 园林植物叶片丙二醛含量差异不显著($p>0.05$),不同 pH 值处理下园林植物叶片丙二醛含量均显著高于对照($p<0.05$)。

表 3 模拟酸雨对园林植物叶片相对细胞质膜透性的影响

园林 树种	pH 值				
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)
油茶	40.3±5.2	35.7±2.4	25.3±1.9	2.3±0.6	0.3±0.1
茶梅	53.2±4.3	45.2±3.5	35.2±2.6	1.2±0.3	0.6±0.3
火棘	49.3±5.1	43.1±2.9	31.7±3.2	2.4±0.7	0.9±0.3
海桐	38.6±3.8	36.4±3.1	24.1±3.8	1.8±0.3	0.5±0.2
栀子花	37.2±2.6	25.7±1.6	13.5±2.4	2.7±0.5	0.7±0.2
南天竹	26.7±3.2	11.8±2.3	9.8±2.3	1.6±0.4	0.5±0.3
均值	40.9±3.5a	33.0±2.6b	23.3±2.5c	2.0±0.5d	0.6±0.2e

表 4 模拟酸雨对园林植物叶片丙二醛(MDA)含量的影响

园林 树种	pH 值				
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)
油茶	17.1±3.1	13.5±1.8	11.6±0.9	2.6±0.6	0.6±0.2
茶梅	17.3±2.9	16.3±2.6	13.2±1.8	1.3±0.8	0.3±0.1
火棘	19.7±3.1	15.2±3.5	14.1±2.3	2.1±0.5	0.2±0.1
海桐	16.2±2.4	14.7±2.4	12.3±2.4	1.2±0.9	0.3±0.1
栀子花	11.3±2.6	9.5±1.8	8.6±1.8	1.5±0.3	0.4±0.2
南天竹	14.5±1.8	9.2±1.9	7.2±1.7	0.9±0.2	0.1±0.1
均值	16.0±2.1a	13.1±2.3ab	11.2±1.9b	1.6±0.6c	0.3±0.1d

2.4 模拟酸雨对园林植物叶片叶绿素含量的影响

酸雨明显影响 6 种园林植物叶片叶绿素 a 和 b 含量,随模拟酸雨的强度的加强,叶绿素的含量逐渐降低,并且 6 种园林植物叶片叶绿素 a 和 b 含量具相同的变化趋势。由表 5 可知,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,不同园林植物叶片叶绿素 a 含量均不断降低,其中 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片叶绿素 a 含量变化范围在 2.69~3.23 mg/g,pH 值为 3.0 时,不同园林植物叶片叶绿素 a 含量变化范围在 3.13~3.85 mg/g,pH 值为 4.3 时,不同园林植物叶片叶绿素 a 含量变化范围在 4.23~4.98 mg/g,pH 值为 5.6 时,不同园林植物叶片叶绿素 a 含量变化范围在 4.72~5.04 mg/g,pH 值为 6.5(CK)时,不同园林植物叶片叶绿素 a 含量变化范围在 4.87~5.31 mg/g;对于同一种园林植物而言,随着 pH 值的降低,叶绿素 a 含量在 pH 值为 4.3 时急剧降低,此后降低幅度趋于平缓,由此可知模拟酸雨的 pH 值越低,对园林植物叶片叶绿素 a 含量的影响越大;对于园林植物叶片叶绿素 a 含量的平均值而言,不同 pH 值条件下园林植物叶片叶绿素 a 含量均显著低于对照($p>0.05$),pH 值 4.3 和 pH 值为 5.6 园林植物叶片叶绿素 a 含量差异不显著($p>0.05$)。

由表 6 可知,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,不同园林植物叶片叶绿素 b 含量均不断降低,其中 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片叶绿素 b 含量变化范围在 1.05~1.27 mg/g,pH 值为 3.0 时,不同园林植

物叶片叶绿素 b 含量变化范围在 1.24~1.73 mg/g,pH 值为 4.3 时,不同园林植物叶片叶绿素 b 含量变化范围在 1.85~2.34 mg/g,pH 值为 5.6 时,不同园林植物叶片叶绿素 b 含量变化范围在 2.14~2.71 mg/g,pH 值为 6.5(CK)时,不同园林植物叶片叶绿素 b 含量变化范围在 2.46~2.81 mg/g;对于同一种园林植物而言,随着 pH 值的降低,叶绿素 b 含量在 pH 值为 4.3 时急剧降低,此后降低幅度趋于平缓,由此可知模拟酸雨的 pH 值越低,对园林植物叶片叶绿素 b 含量的影响越大;对于园林植物叶片叶绿素 b 含量的平均值而言,不同 pH 值条件下园林植物叶片叶绿素 b 含量均显著低于对照($p>0.05$),pH 值 4.3 和 pH 值为 5.6 园林植物叶片叶绿素 b 含量差异不显著($p>0.05$)。

表 5 模拟酸雨对园林植物叶片叶绿素 a 的影响 mg/g

园林 树种	pH 值				
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)
油茶	3.23±1.03	3.85±0.56	4.98±0.86	5.04±1.23	5.23±1.24
茶梅	3.01±0.95	3.26±0.67	4.57±0.67	4.98±1.01	5.01±1.13
火棘	2.85±1.12	3.87±0.81	4.23±0.65	4.72±0.63	4.87±0.95
海桐	3.14±0.86	3.35±0.76	4.76±0.81	5.24±0.89	5.31±0.98
栀子花	3.02±0.73	3.54±0.56	4.63±0.82	5.03±0.91	5.12±1.14
南天竹	2.69±0.91	3.13±0.61	4.52±0.77	4.85±0.87	4.93±1.03
均值	2.99±0.98d	3.83±0.74c	4.62±0.79b	4.98±0.92b	5.08±1.05a

表 6 模拟酸雨对园林植物叶片叶绿素 b 的影响 mg/g

园林 树种	pH 值				
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)
油茶	1.21±0.23	1.68±0.36	2.34±0.69	2.51±0.26	2.63±0.37
茶梅	1.27±0.15	1.73±0.39	2.13±0.53	2.71±0.61	2.81±0.51
火棘	1.05±0.35	1.56±0.51	2.09±0.61	2.30±0.53	2.54±0.56
海桐	1.07±0.34	1.43±0.42	1.85±0.58	2.15±0.29	2.67±0.49
栀子花	1.14±0.26	1.35±0.15	2.04±0.43	2.23±0.54	2.54±0.62
南天竹	1.06±0.29	1.24±0.42	1.92±0.62	2.14±0.61	2.46±0.38
均值	1.13±0.31d	1.50±0.38c	2.06±0.67b	2.34±0.48b	2.61±0.59a

2.5 模拟酸雨对园林植物叶片氮、磷含量的影响

由表 7 可知,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,不同园林植物叶片 N 含量均不断降低,其中 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片 N 含量变化范围在 21.4~22.4 mg/kg,pH 值为 3.0 时,不同园林植物叶片 N 含量变化范围在 22.1~25.2 mg/kg,pH 值为 4.3 时,不同园林植物叶片 N 含量变化范围在 24.2~26.8 mg/kg,pH 值为 5.6 时,不同园林植物叶片 N 含量变化范围在 24.6~27.2 mg/kg,pH 值为 6.5(CK)时,不同园林植物叶片 N 含量变化范围在 25.3~28.3 mg/kg;对于同一种园林植物而言,随着 pH 值的降低,N 含量在 pH 值为 4.3 时急剧降低,此后降低幅度趋于平缓,由此可知模拟酸雨的 pH 值越低,对园林植物叶片 N 含量的影响越大;对于园林植物叶片 N 含量的平

均值而言,不同 pH 值条件下园林植物叶片 N 含量均显著低于对照($p>0.05$),pH 值 4.3 和 pH 值为 5.6 园林植物叶片 N 含量差异不显著($p>0.05$)。

由表 8 可知,在同一条件下,随着酸雨 pH 值的降低,不同园林植物叶片 P 含量均不断降低,其中 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片 P 含量变化范围在 1.35~1.55 mg/kg,pH 值为 3.0 时,不同园林植物叶片 P 含量变化范围在 1.54~1.73 mg/kg,pH 值为 4.3 时,不同园林植物叶片 P 含量变化范围在 1.72~1.87 mg/kg,pH 值为 5.6 时,不同园林植物叶片 P 含量变化范围在 1.75~2.01 mg/kg,pH 值为 6.5(CK)时,不同园林植物叶片 P 含量变化范围在 1.86~2.14 mg/kg;对于同一种园林植物而言,随着 pH 值的降低,P 含量在 pH 值为 4.3 时急剧降低,此后降低幅度趋于平缓,由此可知模拟酸雨的 pH 值越低,对园林植物叶片 P 含量的影响越大;对于园林植物叶片 P 含量的平均值而言,不同 pH 值条件下园林植物叶片 P 含量均显著低于对照($p>0.05$),pH 值 4.3 和 pH 值为 5.6 园林植物叶片 P 含量差异不显著($p>0.05$)。

表 7 模拟酸雨对园林植物叶片氮含量的影响

园林 树种	pH 值				
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)
油茶	24.1±3.2	25.2±2.6	26.8±3.6	27.2±1.9	28.3±3.1
茶梅	22.4±4.1	24.0±3.4	25.7±2.5	26.1±2.7	26.7±2.6
火棘	22.3±2.6	24.3±1.9	25.1±1.6	25.3±3.1	25.4±3.4
海桐	22.9±3.5	24.3±2.2	25.9±2.9	26.4±2.5	27.2±2.8
栀子花	21.6±1.9	22.1±3.4	23.9±3.4	24.6±1.9	25.3±2.3
南天竹	21.4±2.8	22.6±2.7	24.2±1.8	25.3±2.5	26.1±1.8
均值	22.5±3.1d	23.8±2.9c	25.3±2.5b	25.8±2.3b	26.5±2.6a

表 9 模拟酸雨下园林植物叶片生理指标相关性分析

项目	伤害叶面积指数	新梢增长率	细胞膜透性	丙二醛	叶绿素 a	叶绿素 b	叶片 N
新梢增长率	-0.325						
细胞膜透性	0.523*	-0.566*					
丙二醛	0.638*	-0.612*	0.723**				
叶绿素 a	-0.634*	0.614*	-0.356	-0.566*			
叶绿素 b	-0.567*	0.716**	-0.503*	-0.617*	0.813**		
叶片 N	-0.546*	0.356	-0.623*	-0.741**	0.356	0.413	
叶片 P	-0.238	0.564*	-0.541*	-0.633*	0.542*	0.320	0.716**

注:** 相关性在 0.01 水平上显著(双尾);* 相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

3 讨论与结论

大量研究结果表明^[10-12],酸雨的酸度越高(pH 值越低),对植物造成的伤害就越重,其中酸雨对植物可以造成多方面的伤害,而叶片是直接的受害器官;一些研究指出,酸雨处理可以导致生长受抑制,叶绿素减少,细胞膜透性增大以及叶面形成可见性伤斑,本试验也得到类似结论。基于以往研究和本试验结

表 8 模拟酸雨对园林植物叶片氮磷含量的影响

园林 树种	pH 值				
	1.7	3.0	4.3	5.6	CK(6.5)
油茶	1.51±0.23	1.73±0.62	1.85±0.62	1.92±0.71	1.95±0.62
茶梅	1.35±0.62	1.69±0.53	1.81±0.59	1.99±0.23	2.03±0.65
火棘	1.46±0.43	1.65±0.46	1.75±0.61	1.83±0.61	1.86±0.69
海桐	1.44±0.51	1.63±0.52	1.82±0.45	1.87±0.52	1.97±0.71
栀子花	1.55±0.43	1.62±0.67	1.87±0.62	2.01±0.57	2.14±0.63
南天竹	1.41±0.41	1.54±0.38	1.72±0.61	1.75±0.54	1.87±0.58
均值	1.45±0.46d	1.63±0.59c	1.80±0.68b	1.90±0.56b	1.97±0.43a

2.6 模拟酸雨下园林植物叶片生理指标相关性分析

由表 9 可知,在模拟酸雨条件下,不同园林植物叶片生理各指标存在一定的相关性,由表可知,园林植物叶片上海叶面积指数与细胞膜透性和丙二醛含量呈显著的正相关($p<0.05$),与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶片 N 含量和叶片 P 含量呈显著的负相关($p<0.05$);园林植物叶片增长率与细胞膜透性和丙二醛含量呈显著的负相关($p<0.05$),与叶绿素 b 含量呈极显著的正相关($p<0.01$),与叶绿素 a 含量和片 P 含量呈显著的正相关($p<0.05$);园林植物叶片细胞膜透性与叶绿素 b 含量、叶片 N 含量和叶片 P 含量呈显著的负相关($p<0.05$),与丙二醛含量呈极显著正相关($p<0.01$);园林植物叶片丙二醛含量与叶片 N 含量呈极显著负相关($p<0.01$),与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和叶片 P 含量呈显著的负相关($p<0.05$);园林植物叶片叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量呈极显著正相关($p<0.01$),与叶片 P 含量呈显著的正相关($p<0.05$);园林植物叶片 N 含量与叶片 P 含量呈极显著的正相关($p<0.05$)。

果,我们认为酸害产生,一方面由于酸雨破坏了植物叶表面的腊质和角质层,损害了植物的表皮结构,干扰保护原细胞的正常功能,使酸性物质通过气孔或表皮扩散入植物而使植物细胞中毒。本研究中,pH 值 4.3~5.6 处理对园林植物新梢生长率没有显著的影响和抑制作用,而 pH 值小于 3.0 处理则严重抑制了园林植物新梢生长,叶片根系被灼烧甚至死亡,叶片萎缩,可能是由于酸雨中过多的 H⁺ 导致膜透性增

加,离子失去平衡,自由基积累,从而呼吸收到抑制,物质代谢发生紊乱等,从而其新梢的增长产生抑制影响,新梢增长率分别随模拟酸雨 pH 值下降而下降。由此可知,酸雨对园林植物叶片生长的阈值可能介于 3.0~4.3, pH 值 3.0 可以大致认为是酸雨对园林植物造成隐形伤害的阈值,因此,建议将园林植物作为酸雨灾害地区园林绿化及植被构建的物种之一,这可能与酸雨的配置方式、比例及品种的特性有关,同时也说明了园林植物对酸雨具有一定的抗性。

在酸性胁迫环境迫下,MDA 是膜脂氧化的最终产物,是反映膜脂过氧化程度以及膜结构稳定性最为直接的指标,可用于衡量细胞膜伤害的程度^[13]。由表 3,4 可知,不同园林植物叶片细胞质膜透性和 MDA 含量均随着酸性的增强而增加,这与酸性环境下细胞膜系统受损伤、酶活性发生改变有关,模拟酸雨处理后 6 种园林植物叶片的细胞质膜透性都显著上升,叶片的细胞质膜透性越高,当 pH 值小于 3.0 时,膜脂过氧化产物和丙二醛(MDA)含量则急剧增加,当 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片则严重受损。丙二醛积累越多说明植物受伤害越严重,植物所处环境越恶劣,而且酸雨 pH 值越低,其反应越明显,这与前人的研究结果相一致^[8,10,13]。随着时间加长受到病菌侵染霉变,内部毒害物质上升所致,这也是园林植物对于环境的胁迫,所表现出来的细胞过氧化产物增多而启动的一种应激机制。

模拟酸雨条件下园林植物根系周围的环境酸化,会降低叶片各项生理功能。叶绿素作为植物光合作用的物质基础和光敏化剂,在光合作用过程中起着接受和转换能量的作用^[14]。有研究指出^[14]酸雨淋洗叶片中 Ca^{2+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} 等阳离子,而 Mg^{2+} 是叶绿素形成不可缺少的物质,这可能是使叶绿素含量减少的主要原因。本试验结果表明,模拟酸雨处理导致园林植物叶片叶绿素含量和叶片 N、P 含量降低。随着酸性的增加,园林植物生长受抑制的程度增大,叶绿素的合成也明显被抑制,当 pH 值小于 3.0 时,叶绿素含量则急剧降低,当 pH 值为 1.7 时,不同园林植物叶片则严重受损。一方面,酸雨酸化园林植物叶片酸化后, Mg^{2+} 从叶绿素中失去而形成脱镁叶绿素从而导致叶绿素的含量下降^[15];另一方面,酸雨中 H^{+} 浓度达到一定值时就会使叶绿素的合成受到抑制,且强酸会促进叶绿素的分解加速,从而使叶绿素含量减少,进而抑制植物生长^[15]。

综合分析可知,酸雨对园林植物生长乃至整个生态系统有着重要影响,酸雨导致园林植物叶片生长受抑,叶绿素含量减少,光合能力下降,影响根系对氮素营养的吸收和同化,使园林植物利用氮素能力下降,最终导致园林植物生长发育受到抑制^[14]。而酸雨对

园林植物叶片生长的作用除了受酸度的影响外,还取决于酸雨的氮硫比,使用的模拟酸雨 H_2SO_4 和 HNO_3 的比例为 8:1,有关这两种酸不同比例下的酸雨对园林植物叶片的影响及其作用机理还有待进一步的研究。本试验仅对酸雨处理期间园林植物的生理生化特性进行了研究,而对园林植物在酸雨处理后的恢复状况以及对园林植物的酸雨敏感期的反应和不同 pH 值条件下溶液中其他离子的差异是否对园林植物有影响等还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Likens G E, Driscoll C T, Buso D C. Long-term effects of acid rain: response and recovery of a forest ecosystem [J]. Science, 1996, 272(5259): 244-252.
- [2] Velikova V, Yordanov I, Edreva A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines [J]. Plant Science, 2000, 151(1): 59-66.
- [3] Likens G E, Bormann F H. Acid rain-A serious regional environmental problem [J]. Science, 1974, 184 (4142): 1176-1179.
- [4] Krug E C, Frink C R. Acid rain on acid soil: A new perspective [J]. Science, 1983, 217(4610): 520-525.
- [5] Dianwu Z, Jiling X, Yu X, et al. Acid rain in south-western China [J]. Atmospheric Environment, 1988, 22 (2): 349-358.
- [6] Zhao D, Sun B. Air pollution and acid rain in China [J]. Ambio, 1986, 15(1): 2-5.
- [7] 赵栋,潘远智,邓仕槐,等.模拟酸雨对茶梅生理生态特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3191-3198.
- [8] 王应军,邓仕槐,姜静,等.酸雨对木芙蓉幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响 [J]. 核农学报, 2011, 25(3): 588-593.
- [9] 黄建昌,肖艳.模拟酸雨对 6 种园林植物的影响 [J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(4): 360-362.
- [10] 李志国,姜卫兵,翁忙玲,等.模拟酸雨对木兰科树种叶片膜脂过氧化和抗氧化系统的影响 [J]. 生态环境, 2007, 16(3): 779-784.
- [11] 方志伟.南平市园林绿化植物抗酸雨能力的研究 [J]. 福建林学院学报, 2003, 23(1): 9-13.
- [12] 李志国,姜卫兵,翁忙玲,等.常绿阔叶园林 6 树种(品种)对模拟酸雨的生理响应及敏感性 [J]. 园艺学报, 2011, 38(3): 512-518.
- [13] 张光生,刘英,周青.种草本观赏植物叶绿素含量和细胞膜透性对酸雨胁迫的响应 [J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 83-87.
- [14] 金余,金静.酸雨胁迫对亚热带典型树种幼苗生长与光合作用的影响 [J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3322-3327.
- [15] 宋文龙,杨胜天,温志群,等.贵州典型森林群落植物冠层叶片遭受酸雨直接伤害的模拟试验与效应分析 [J]. 环境科学学报, 2010, 30(1): 15-23.