

30 种草本观赏植物对模拟酸雨的反应*

张光生 顾苏云 胡捷 周青**

(江南大学工业生物技术教育部重点实验室 无锡 214036)

摘要 采用叶面喷洒模拟酸雨方法,研究了 30 种草本观赏植物对酸雨急性伤害的反应。试验结果表明,随酸雨胁迫强度增强,多数草本观赏植物叶片伤斑面积加大。当酸雨 pH 达 2.0 时,所有植物叶片均出现伤斑,其中近半数种类叶片伤斑面积 >20%。30 种草本观赏植物中敏感植物 3 种,占 10.0%;抗性植物 17 种,占 56.67%;中等抗性植物 10 种,占 33.33%。在设定的酸雨胁迫强度(pH 2.0~3.5)下,多数植物的伤害阈值可被确定,惟有羽衣甘蓝、三色堇和葱兰在 pH 2.0 酸雨胁迫下仍无法确定其伤害阈值,表明此 3 种草本观赏植物对酸雨有极强抗性。试验表明 30 种受试草本观赏植物抗酸雨能力强弱与叶片细胞 pH 变化有关,即叶片细胞 pH 缓冲能力影响了酸雨对叶片的表观伤害效应。

关键词 草本观赏植物 模拟酸雨 叶片表观伤害 抗性划分

Response of thirty species of herbaceous ornamental plants to simulated acid rain. ZHANG Guang-Sheng, GU Su-Yun, HU Jie, ZHOU Qing (The Key Lab of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China), *CJEA*, 2007, 15(2): 104~107

Abstract Urgent effect of simulated acid rain sprayed on leaves of thirty herbaceous ornamental species was studied. The results show that the injured areas of foliar of ornamental plants are enlarged when the pH value of acid rain decreases. Foliar injury occurs in all of leaves treated with acid rain at pH 2.0, whose area is larger than 20 percent of leaf area in almost half species. There are three sensitive species, seventeen resistant species and ten secondary resistant species, which account for 10.0, 56.67 and 33.33 percent of thirty herbaceous ornamental species, respectively. The injury threshold values of most plants are observed at pH 2.0~3.5 designed in this experiment. However, those of *Brassia campestris*, *Viola tricolors* and *Zephyranthes candida* are not fixed at pH 2.0. It indicates that three herbaceous ornamental plants own a strong resistance to acid rain. The results show that the resistance of thirty herbaceous ornamental plants to acid rain is related to the change of pH value of leaf cell, showing that the change of pH value of leaf cell results in the appearant injury in leaf.

Key words Herbaceous ornamental plants, Simulated acid rain, Apparent injure in leaf, Partition in resistance

(Received July 14, 2005; revised Sept. 28, 2005)

酸雨(Acid rain, AR)作为全球主要环境问题之一,已引起世人广泛关注^[1,2,12,13]。目前,有关酸雨对陆地生态系统植被及城市绿化植物影响的报道多集中在乔木和灌木上^[3],涉及草本绿化植物的工作散见于刊端^[4~6],而有关草本观赏植物的研究几近空白。本文以酸沉降频度较高的无锡市为例^[7],研究了当地 30 种草本观赏植物对模拟酸雨急性伤害的反应,其结果可为热带、亚热带酸雨多发区的城市环境绿化、美化,特别是草本观赏植物的合理布局提供参考。

1 试验材料与方法

模拟酸雨配制参照江苏省各主要酸雨区的酸雨元素构成与酸根离子比值($\text{SO}_4^{2-}:\text{NO}_3^- = 4.8:1$),先配制 pH1.0 模拟酸雨(以下简称酸雨)母液,将母液调制成 pH2.0、2.5、3.0、3.5 酸雨,对照为与酸液离子成分相同的中性溶液(pH6.5),并经 PHS-29A 酸度计(上海精密科学仪器有限公司)校准。试验于 2004 年 4~6 月在无锡市锡惠公园与江南大学植物暖房中进行。选择晴天上午 9:00 开始喷洒酸雨。以

* 江南大学工业生物技术教育部重点实验室基金项目(jcyj2004127)资助

** 通讯作者

收稿日期:2005-07-14 改回日期:2005-09-28

pH2.0、2.5、3.0、3.5 酸雨直接喷洒植株叶片 2 次(间隔 1h), 滴液为限。处理与对照植株各 3 株, 24h 后剪取叶片用于测定其伤害面积和叶片细胞 pH。叶片 pH 测定、伤害程度判断与伤害面积测定按文献[8~10]进行。

2 结果与分析

2.1 酸雨对植物叶片的伤害作用

表 1 表明, 随酸雨胁迫强度(简称胁强)增强, 多数草本观赏植物叶片的伤斑面积随之加大。当 pH 达 2.0 时, 所有植物叶片均出现伤斑, 其中近半数种类的伤斑面积 > 20%, 惟有金鱼草、四季报春、甜菜、羽衣甘蓝、金边香水玉簪、斑马竹芋、芍药、三色堇和葱兰的伤害程度 ≤ 5%, 这些植物抗酸雨伤害能力最强; pH 上升为 2.5 时, 伤害面积为 5% 的植物有钩钟柳、万寿菊(黄花)、彩叶草、百日草、金光菊、日本吊兰、矮牵牛、一串红、金钱吊兰、红花酢浆草、石竹、绣球花、金鱼草、四季报春和甜菜, 其抗酸雨胁迫表现也较出色; 胁强为 pH3.5 时, 只有虞美人、早金莲、四季秋海棠、彩叶草 4 种草本植物的叶片伤斑面积 ≥ 5%, 这些植物对酸雨伤害较敏感。试验观察发现, 酸雨急性伤害造成的叶片伤斑多呈点、块或圆形, 其颜色历经了由浅至深(白至黄至褐色)的渐变过程。初时伤斑仅散现于叶脉间, 随胁迫时间延长, 斑点渐多, 连结成片。上述表现与以往在木本植物叶片上观察到的酸雨急性伤害表现征象一致^[1, 3]。

伤害阈值是表征植物对酸雨伤害敏感性高低的量化指标, 本试验采用酸雨强度与喷洒次数(*n*)的 2 指标体系, 分析了 30 种草本观赏植物的酸雨伤害阈值。表 2 表明, 在本试验设定的酸雨胁强下, 多数草本观赏植物的酸雨伤害阈值可被确定, 惟有羽衣甘蓝、三色堇和葱兰叶片在 pH2.0 的最高酸雨胁强下, 仍未出现 5% 的伤斑面积, 即试验无法确定其伤害阈值。

表明此 3 种草本观赏植物对酸雨具有极强抗性。试验中对 30 种草本观赏植物叶片施以不同强度酸雨(喷洒叶片 2 次), 24h 后统计植物的伤害叶数和叶片伤害面积, 以进行植物抗性等级的划分。考虑到我国华东、西南地区自然酸沉降的实际 pH, 并兼顾植物自身生态适应特征(即预留植物对酸雨进一步发展的应变潜力), 将 pH 3.0 的观测数据定为本研究伤害值计算依据, 计算方法如下^[8]:

表 1 酸雨(AR)胁迫下植物叶片的伤害程度*

Tab. 1 The injury degree of leaves treated with simulated acid rain at various pH values

植物 Ornamentals	酸雨的 pH pH value of acid rain				
	CK	2.0	2.5	3.0	3.5
虞美人	0	+++++	+++++	+++	++
蒲包花	0	+++++	+++++	-	0
倒挂金钟	0	+++++	++	-	0
钩钟柳	0	+++++	-	0	0
万寿菊	0	+++++	-	0	0
早金莲	0	++++	+++	-	-
玉 簪	0	++++	++	-	0
大丽菊	0	++++	++	-	0
四季秋海棠	0	++++	+	-	-
雪叶莲	0	++++	+	-	0
彩叶草	0	++++	-	-	-
百日草	0	++++	-	Δ	0
金光菊	0	+++	-	-	Δ
日本吊兰	0	+++	-	Δ	0
矮牵牛	0	+++	-	Δ	0
金盏菊	0	++	+	-	Δ
一串红	0	++	-	Δ	Δ
金钱吊兰	0	+	-	-	0
红花酢浆草	0	+	-	Δ	0
石 竹	0	+	-	Δ	0
绣球花	0	+	-	0	0
金鱼草	0	-	-	-	Δ
四季报春	0	-	-	-	0
甜 菜	0	-	-	Δ	0
金边香水玉簪	0	-	Δ	Δ	Δ
斑马竹芋	0	-	Δ	Δ	Δ
芍 药	0	-	Δ	0	0
羽衣甘蓝	0	Δ	Δ	Δ	Δ
三色堇	0	Δ	Δ	0	0
葱 兰	0	Δ	0	0	0

* 0: 伤害面积 = 0; Δ: 伤害面积 0% ~ 5%; -: 伤害面积 5%; +: 伤害面积 5% ~ 10%; ++: 伤害面积 10% ~ 20%; +++: 伤害面积 20% ~ 30%; ++++: 伤害面积 30% ~ 50%; +++++: 伤害面积 > 50%。

表 2 草本观赏植物在酸雨胁迫下的伤害阈值

Tab.2 The injury threshold values of plants treated with simulated acid rain

植物 Ornamentals	伤害阈值(pH×n) Injury threshold value	植物 Ornamentals	伤害阈值(pH×n) Injury threshold value	植物 Ornamentals	伤害阈值(pH×n) Injury threshold value
虞美人	3.5×2	大丽菊	3.0×2	矮牵牛(紫花)	2.5×2
早金莲	3.5×2	雪叶莲	3.0×2	万寿菊(黄花)	2.5×2
彩叶草	3.5×2	玉 簪	3.0×2	红花酢浆草	2.5×2
四季秋海棠	3.5×2	倒挂金钟	3.0×2	绣球花(草本)	2.5×2
金光菊	3.0×2	钓钟柳	2.5×2	斑马竹芋	2.0×2
金鱼草	3.0×2	甜 菜	2.5×2	金边香水玉簪	2.0×2
金钱吊兰	3.0×2	一串红	2.5×2	芍 药	2.0×2
金盏菊	3.0×2	百日草(红花)	2.5×2	羽衣甘蓝*	
四季报春	3.0×2	石 竹	2.5×2	三色堇*	
蒲包花	3.0×2	日本吊兰	2.5×2	葱 兰*	

* 24h 后伤斑面积仍未达 5% 以上。

$$\text{伤害值}(\%) = [\text{伤害叶数}(\%) + \text{伤害面积}(\%)] / 2 \quad (1)$$

表 3 酸雨(pH3.0)对草本观赏植物叶片伤害值

Tab.3 The injury values of leaves treated with simulated acid rain at pH 3.0

植物 Ornamentals	伤害值/% Injury value	植物 Ornamentals	伤害值/% Injury value	植物 Ornamentals	伤害值/% Injury value
虞美人	65.00	金鱼草	27.17	甜 菜	3.65
早金莲	53.56	百日草(红花)	25.50	石 竹	0.20
彩叶草	51.50	大丽菊	25.41	金边香水玉簪	0.03
玉 簪	47.35	一串红	22.60	绣球花(草本)	0.00
金光菊	37.50	金钱吊兰	22.50	万寿菊(黄花)	0.00
倒挂金钟	35.84	红花酢浆草	20.17	钓钟柳	0.00
雪叶莲	27.56	矮牵牛(紫花)	19.17	日本吊兰	0.00
蒲包花	27.50	斑马竹芋	16.34	三色堇	0.00
四季报春	27.50	金盏菊	10.84	葱 兰	0.00
四季秋海棠	27.50	羽衣甘蓝	8.35	芍 药	0.00

式中,伤害叶数系伤害面积达 5% 以上叶片数占植株处理总叶片数百分比,伤害面积是叶片伤害面积占处理总面积的百分数。以 30% 叶片伤害值作为伤害级差,将 30 种观赏植物划成 3 个伤害等级: I 为抗性植物,伤害值 < 25%; II 为抗性中等植物,25% ≤ 伤害值 ≤ 50%; III 为敏感植物,伤害值 > 50%。30 种草本观赏植物的计算结果见表 3。从表 3 可知,在受试的 30 种草本观赏植物中,敏感植物仅 3 种,为虞美人、早金莲、彩叶草,占总数的 10.0%;抗性植物 17 种,为三色堇、葱兰、芍

药、日本吊兰、钓钟柳、石竹、金边香水玉簪、甜菜、羽衣甘蓝、金盏菊、红花酢浆草、斑马竹芋、矮牵牛(紫花)、一串红、万寿菊(黄花)、金钱吊兰、绣球花(草本),占 56.67%;中等抗性植物 10 种,为大丽菊、金鱼草、四季报春、四季秋海棠、雪叶莲、蒲包花、百日草(红花)、金光菊、玉簪、倒挂金钟,占 33.33%。

2.2 酸雨对植物叶片 pH 的影响

叶片的表现征象往往反映出叶片内在的生理变化。为此,试验中同步测定了酸雨各胁迫下叶片细胞的 pH(表 4)。与 CK 相比,虞美人、早金莲达到差异显著的胁迫为 pH 3.5,倒挂金钟、玉簪、彩叶草、金盏菊、四季报春为 pH 3.0,红花酢浆草、石竹、一串红、万寿菊(黄花)、四季秋海棠、矮牵牛(紫花)、金钱吊兰、蒲包花、大丽菊、雪叶莲为 pH 2.5,百日草(红花)、金边香水玉簪、芍药、日本吊兰、斑马竹芋、绣球花(草本)、钓钟柳为 pH 2.0。此结果与表 2 中 30 种草本观赏植物的酸雨伤害阈值剂量与上文抗性等级划分基本相符,表明植物抗酸雨能力的强弱与叶片细胞 pH 的变化有关,即叶片细胞 pH 改变导致了叶片表现伤害发生。

3 讨 论

酸雨的环境植物学效应研究表明,酸雨致害效果既取决于酸雨作用剂量,也受植物生态生理特性影响^[1,2]。在同质(气候、土壤等)环境中,植物抗酸雨能力分异的主要原因只能是植物的自身特征。植物叶片外部形态与内部生理反应构成植物对酸雨伤害的立体防御系统^[2]。如本试验所涉及的 30 种草本观赏植物,近 3/5 是抗性植物,只有 3 种为敏感性植物。前者的形态学特征,或是叶子质地较厚(如斑马竹芋)或具

蜡质、绒毛等发达的附属结构(如钓钟柳、一串红),降低酸雨在叶面滞留时间,或是披针状、线形、鳞片状叶子(如石竹、芍药、葱兰),叶面积缩小使酸雨滞留量减少,从而减少酸雨侵入叶片的净通量。鉴于叶片的上述形态和结构特征是受植物叶龄限制,所以处在生长期的幼嫩叶片抗酸雨能力明显弱于成龄叶片。

在植物生活史中,叶片面积与其上的附属物数量随叶片成熟而趋于恒定,截留的酸雨量有限,一旦酸雨突破第一道防线进入叶片后,内在的生理防御机能便开始发挥作用。研究显示,在细胞的诸项深层应激反应中,细胞液对酸雨的缓冲能力不可小觑^[11],因为叶片细胞内部的 pH 环境直接影响着生化代谢网络的各种反应酶系,继而实现其对植物光合作用、呼吸作用、N 素及矿质代谢、膜质过氧化等生理过程的控制。本试验中,酸雨胁迫下 30 种草本观赏植物,叶片汁液 pH 与各自 CK 达到差异显著性的酸雨胁迫(pH,表 4)与其以叶片伤斑面积为依据划分的植物抗性等级近乎完全吻合。上述事实说明,叶片细胞液对酸雨的缓冲能力是影响植物伤斑形成的重要因素之一,可以作为快速鉴定草本观赏植物对酸雨抗性强弱的指标。此外,本试验中发现的 3 种敏感草本观赏植物可用于监测酸雨的产生或指示其危害。

表 4 酸雨胁迫对植物叶片 pH 的影响

Tab.4 Effects of simulated acid rain on the pH values of cells of ornamentals

植物 Ornamentals	CK	植物叶片 pH pH value of plant cells			
		2.0	2.5	3.0	3.5
金盏菊	6.30a*	5.03d	5.76c	6.16b	6.23a
羽衣甘蓝	6.50a	6.30a	6.39a	6.43a	6.54a
四季报春	6.50a	5.00d	5.93c	6.25b	6.38a
酢酱草	3.03a	2.92b	2.93b	2.94ab	2.97ab
三色堇	6.44a	6.32a	6.34a	6.37a	6.43a
葱 兰	6.06a	5.96a	6.00a	6.03a	6.05a
石 竹	6.93a	6.42c	6.74b	6.80ab	6.82ab
金边香水玉簪	6.65a	6.59b	6.63a	6.65a	6.66a
一串红	6.72a	6.34c	6.55b	6.66a	6.70a
百日草	7.33a	6.95b	7.23a	7.25a	7.28a
万寿菊	6.30a	6.19b	6.21b	6.27a	6.25a
四季秋海棠	2.67a	2.57b	2.58b	2.60a	2.61a
矮牵牛	6.32a	6.21b	6.24bc	6.27ac	6.30a
金钱吊兰	6.40a	6.33b	6.35b	6.39a	6.40a
金鱼草	6.63a	6.42b	6.57a	6.58a	6.61a
旱金莲	5.65a	5.60b	5.61b	5.62b	5.62b
彩叶草	6.46a	6.18d	6.30c	6.43b	6.45a
蒲包花	6.03a	5.93b	5.94b	5.99a	5.97a
芍 药	5.71a	5.56b	5.69a	5.71a	5.71a
日本吊兰	6.34a	6.00b	6.27a	6.30a	6.33a
斑马竹芋	7.11a	6.94b	7.05a	7.07a	7.08a
大丽菊	5.90a	5.69b	5.70b	5.87a	5.90a
雪叶莲	6.83a	6.57b	6.64b	6.79a	6.81a
绣球花	5.60a	5.41b	5.54a	5.57a	5.58a
玉 簪	6.72a	6.35b	6.38b	6.42b	6.67a
倒挂金钟	4.80a	4.57d	4.62c	4.64bc	4.78a
虞美人	6.31a	6.21b	6.22b	6.25b	6.26b
甜 菜	6.52a	6.46a	6.47a	6.48a	6.52a
金光菊	7.59a	7.49a	7.51a	7.53a	7.54a
钓钟柳	6.11a	6.00b	6.06a	6.08a	6.10a

*表中数据均为平均数,同列中不同字母表示不同处理间的差异显著性($P < 0.05$)。

参 考 文 献

- 冯宗炜. 中国酸雨的生态影响和防治对策. 云南环境科学, 2000, 19(A08): 1~6
- 周 青, 黄晓华. 酸雨对陆地生态系统影响与防治研究. 自然杂志, 2002, 24(6): 315~320
- 高绪评, 曹洪法, 舒俭民. 105种植物对模拟酸雨的反应. 中国环境科学, 1987, 7(2): 16~21
- 方志伟. 南平市园林绿化植物抗酸雨能力的研究. 福建林学院学报, 2003, 23(1): 9~13
- 吴杏春, 林文雄, 洪清培, 等. 模拟酸雨对草坪草若干生理指标的影响. 草业科学, 2004, 21(8): 88~92
- 黄建昌, 肖 艳. 模拟酸雨对6种园林植物的影响. 西南农业大学学报, 2002, 24(4): 360~362
- 韩 敏. 江苏省酸雨分布及控制对策. 污染防治技术, 2000, 13(1): 26~27
- 刘荣坤, 胡 艳, 李永政, 等. 沈阳陨石山森林公园 SO₂ 污染现状与植物反应的研究. 生态学杂志, 1998, 17(2): 26~31
- 张延毅, 郭德惠. 模拟酸雨对青菜和莴苣生长的影响. 中国环境科学, 1986, 6(1): 31~36
- 陈树元, 徐和宝, 谢明云. 酸雨和 SO₂ 暴露对一些不同抗性幼树的影响. 生态学杂志, 1998, 17(2): 20~25
- 邓仕坚, 陈楚莹, 张家武. 树冠及叶凋落物对模拟酸雨缓冲能力的初探. 环境科学, 1992, 13(2): 10~17
- Menz F.C., Seip H.M. Acid rain in Europe and the United States; an update. Environmental Science & Policy, 2004, 7: 253~265
- Julia K., Sashwati R., John A.V., et al. Antioxidant responses to simulated acid rain and heavy metal deposition in birch seedlings. Environmental Pollution, 1997, 95(2): 249~258