

# 模拟酸雨对土荆芥生长和抗氧化酶活性的影响<sup>①</sup>

邓洪平<sup>1</sup>, 尹 灿<sup>2</sup>, 王 馨<sup>1</sup>, 刘开全<sup>1</sup>, 刘长坤<sup>1</sup>

1. 西南大学 生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 泸州老窖天府中学, 四川 泸州 646000

**摘要:** 以入侵植物土荆芥为研究材料, 同属植物藜作为对照, 研究在不同 pH 值的模拟酸雨处理下, 土荆芥生长及抗氧化酶活性的变化. 结果表明: 土荆芥根受到的影响最为严重, 根质量比和根冠比随模拟酸雨 pH 值的减小显著下降, 而叶和茎受到的影响不大. 随着模拟酸雨胁迫程度的加深, SOD 活性呈上升趋势, CAT 活性呈下降趋势, POD 活性则表现为先升后降, 呈单峰曲线型变化. 藜的生长变化与土荆芥相似; 而酶活性中, SOD 活性变化与土荆芥一致, CAT 和 POD 活性均具有不同的变化趋势. 藜对当地的酸雨已具有一定的适应性, 但强酸雨条件下土荆芥比藜具有更高的适应能力.

**关键词:** 土荆芥; 酸雨; 生物量分配; 抗氧化酶活性

**中图分类号:** Q949.745.1

**文献标志码:** A

随着工业的发展, 酸雨已成为全球性的重大生态环境问题之一. 自 1982 年以来, 我国酸雨已覆盖国土面积的 40% 左右, 并且正在以城市为中心向远郊和农村蔓延<sup>[1]</sup>. 酸雨不仅污染土壤、湖泊, 腐蚀金属、建造物, 对生物体也有较大的危害, 植物更是酸雨污染的主要受体<sup>[2]</sup>. 目前普遍认为酸雨对植物的伤害表现在 2 个方面, 一方面酸雨淋溶对植物的地上部分直接造成伤害, 另一方面酸雨导致土壤酸化, 对植物产生间接影响<sup>[3]</sup>. 据报道, 酸雨也可以促进某些外来植物的入侵, 并为其扩散和蔓延创造有利的条件<sup>[4]</sup>. 因此, 研究酸雨对入侵植物生长发育和生理代谢等的影响, 有利于探明入侵植物在酸雨地区的入侵格局及生态影响.

土荆芥(*Chenopodium ambrosioides* L.) 又名臭草、杀虫芥、鹅脚草, 为藜科藜属一年生或多年生草本植物, 原产热带美洲, 现广布于世界热带及温带地区<sup>[5]</sup>. 土荆芥有强烈的芳香味, 生长在路边、河岸、荒地和农田中<sup>[6]</sup>, 是一种入侵植物. 本研究是在人工条件下, 以同属植物藜(*C. album* L.) 作为对照, 对土荆芥施以不同 pH 的酸性溶液, 研究在模拟酸雨条件下土荆芥生物量分配和抗氧化酶活性的变化, 探讨土荆芥对酸雨的反应规律, 以期对入侵植物入侵机制的认识、防治对策的制订等提供一定的理论与实践依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与培养

于 2009 年 4 月从重庆市缙云山采集当年生土荆芥和藜幼苗移植于塑料花盆内培养, 盆栽土壤采自西南大学生态园. 每隔 3 d 浇 1 次 Hoagland 营养液, 每次 50 mL, 其余时间补水, 培养 30 d 后选择生长均匀一致的植株作为实验材料, 进行胁迫处理.

① 收稿日期: 2009-10-10

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC, 2008BB5256); “211”工程三期建设经费资助项目.

作者简介: 邓洪平(1970-), 男, 重庆忠县人, 博士, 副教授, 主要从事植物系统进化研究.

## 1.2 实验处理

酸雨的配制按照重庆市酸雨中  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  (5 : 1) 的比例<sup>[7]</sup>, 采用浓硫酸、浓硝酸(分析纯), 按硫酸根和硝酸根离子质量浓度为 5 : 1 配制酸雨母液, 再用蒸馏水逐级稀释制成 pH 值为 2.0, 2.5, 3.5, 4.59, 5.6 (不受污染的大气中形成降水的理论 pH 值为 5.6) 的模拟酸雨溶液, pH 值 5.6 为对照组, 各处理重复 3 次. 重庆市区酸雨的平均值为 pH 4.59<sup>[8]</sup>. 每隔 2 d 进行模拟酸雨喷洒处理, 每次每盆叶面均匀喷施 50 mL, 其余时间补营养液. 处理 15 d 后采取叶片进行丙二醛含量及抗氧化酶活性的测定, 处理 30 d 后收获植株进行生物量的测定.

## 1.3 测定方法

### 1.3.1 生物量的测定

将植株用水浸泡去除根部土壤, 然后将根、茎、叶分开, 80 °C 烘至恒定质量. 计算下列参数<sup>[9]</sup>: 叶质量比 = 叶片干物质量 / 植株总干物质量; 茎质量比 = 茎干物质量 / 植株总干物质量; 根质量比 = 根系干物质量 / 植株总干物质量; 根冠比 = 地下部干物质量 / 地上部干物质量.

### 1.3.2 抗氧化酶活性及丙二醛含量的测定

取土荆芥叶片进行抗氧化酶活性及丙二醛含量的测定. SOD(超氧化物歧化酶)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定<sup>[10]</sup>; CAT(过氧化氢酶)活性的测定采用  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解法测定<sup>[11]</sup>; POD(过氧化物酶)活性采用愈创木酚法测定<sup>[11]</sup>. MDA(丙二醛)的含量采用硫代巴比妥酸法测定<sup>[12]</sup>.

## 1.4 数据处理

试验数据的处理和相关分析用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 软件(13.0 版本)完成. 用 One-way ANOVA 中的 LSD 法检验各处理间的差异显著性.

## 2 结果与分析

### 2.1 模拟酸雨对土荆芥和藜生长的影响

经酸雨处理 30 d, 土荆芥的生长受到了抑制, 株高随酸雨 pH 值的减小存在明显的下降趋势, pH 2.5 和 pH 2.0 处理组土荆芥叶片出现黄色细小伤斑, 少数叶片褪绿变黄, pH 2.0 处理组伤害症状更为严重. 各处理水平土荆芥的根质量比和根冠比存在差异, 随酸雨 pH 值的减小而降低; 茎质量比和叶质量比无显著性变化, 但叶质量比有上升趋势. 显然, 强酸雨抑制了土荆芥根的生长, 但对叶的生长有刺激作用.

在模拟酸雨胁迫下, 藜的生长也受到了抑制, 高酸度处理组藜叶片同样出现了伤害症状. 与土荆芥不同的是, 藜根质量比、根冠比随酸雨 pH 值的减小表现出先降后升的趋势, pH 2.0 处理组藜的根质量比和根冠比较对照组增加了 17.14% 和 20.45%, 其原因不明, 有待进一步研究. 各酸雨处理水平藜的叶质量比和茎质量比也无显著性差异(表 1).

表 1 模拟酸雨对 2 种植物生物量分配的影响

模拟酸雨 pH 值	土 荆 芥				藜			
	根质量比/%	茎质量比/%	叶质量比/%	根冠比/%	根质量比/%	茎质量比/%	叶质量比/%	根冠比/%
5.6	6.87a	18.10	34.76	7.81a	7.94b	20.65	30.60	9.23b
4.59	6.41a	18.21	35.16	7.23a	7.94b	19.61	31.75	9.23b
3.5	6.10a	17.27	36.67	6.82a	7.37c	20.92	31.00	8.47c
2.5	5.93ab	16.41	37.89	6.62ab	7.38c	22.02	29.78	8.48c
2.0	4.94b	17.17	38.37	5.42b	9.33a	19.94	29.80	11.15a
<i>F</i>	4.879*	0.472	1.110	4.876*	23.073**	1.513	1.119	24.014**
<i>p</i>	0.019	0.756	0.404	0.019	0.000	0.271	0.401	0.000

注: 表中数据为 3 个重复的平均数; \* 表示处理之间差异显著,  $p < 0.05$ ; \*\* 表示处理之间差异极显著,  $p < 0.01$ ; 同列字母相同者, 表示 ( $p = 0.05$ ) 水平差异不显著.

## 2.2 模拟酸雨对土荆芥和藜丙二醛含量的影响

丙二醛(MDA)是植物器官在逆境或衰老时发生膜脂过氧化作用的产物,通常用来表示细胞膜脂过氧化程度及植物对逆境条件反应的强弱.在不同 pH 值酸雨的处理下,土荆芥和藜 MDA 含量随胁迫程度的增加而升高.酸雨 pH 值为 2.0 时,土荆芥 MDA 含量较对照增加了 23.55%,而藜 MDA 含量则增加了 20.94%(图 1).

## 2.3 模拟酸雨对土荆芥和藜抗氧化酶活性的影响

### 2.3.1 模拟酸雨对土荆芥和藜 SOD 活性的影响

SOD 是一种能及时清除生物体内超氧阴离子自由基( $O_2^-$ )的金属酶,它可以维持机体中自由基产生和清除动态平衡.在不同 pH 值酸雨的处理下,土荆芥和藜 SOD 活性呈上升趋势,酸雨 pH 值为 2.0 时,SOD 活性达到最大,分别较对照增加了 8.57%和 8.34%.二者 SOD 活性的变化趋势相似(图 2).

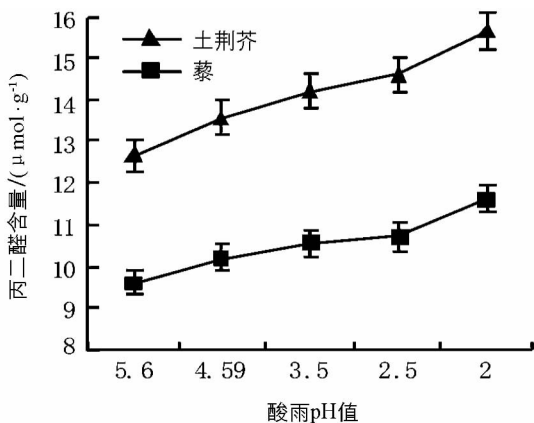


图 1 模拟酸雨对 2 种植物丙二醛含量的影响

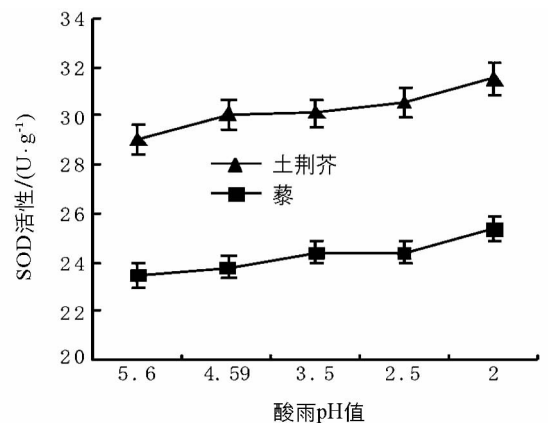


图 2 模拟酸雨对 2 种植物 SOD 活性的影响

### 2.3.2 模拟酸雨对土荆芥和藜 CAT 活性的影响

CAT 能有效清除植物体内过氧化氢对细胞的氧化作用.不同 pH 值酸雨的处理下,土荆芥 CAT 活性呈下降趋势,酸雨 pH 值为 2.0 时,CAT 活性较对照降低了 15.38%.而藜 CAT 活性随酸雨胁迫程度的增加出现先升后降的趋势,pH 值为 4.59 时,藜 CAT 活性增加了 2.61%;pH 值为 2.0 时,CAT 活性较对照已降低了 24.35%.虽然 pH4.59 的酸雨增加了藜 CAT 活性,但强酸雨仍对藜 CAT 活性有抑制作用,且抑制作用大于土荆芥(图 3).

### 2.3.3 模拟酸雨对土荆芥和藜 POD 活性的影响

POD 能在逆境胁迫或衰老过程中清除植物体内的过氧化氢,使过氧化氢维持在一个较低的水平.随着酸雨胁迫程度的增加,土荆芥 POD 活性呈现出先增后降的趋势,且均高于对照.酸雨 pH 值为 3.5 时,POD 活性达到最高值,较对照增加了 66.98%.而藜 POD 活性呈现出升-降-升的变化.pH 值为 4.59 时,藜 POD 活性较对照增加了 18.63%,pH 值为 2.5 时,POD 活性较对照已降低 10.78%.有研究表明,POD 可以参与叶绿素及生长素的氧化降解,从而加强对植物生长的抑制和伤害<sup>[13]</sup>.因此,pH 值为 2.0 时,藜 POD 活性的大幅度提高可能是藜伤害程度加深或是 POD 酶系统功能已失调.比较二者 POD 活性的变化,在不同 pH 值酸雨处理水平,土荆芥 POD 活性均高于藜(图 4).

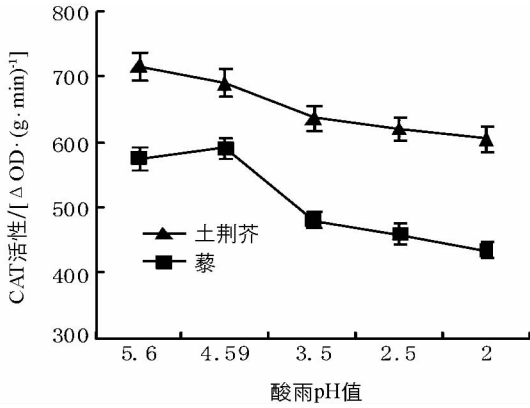


图 3 模拟酸雨对 2 种植物 CAT 活性的影响

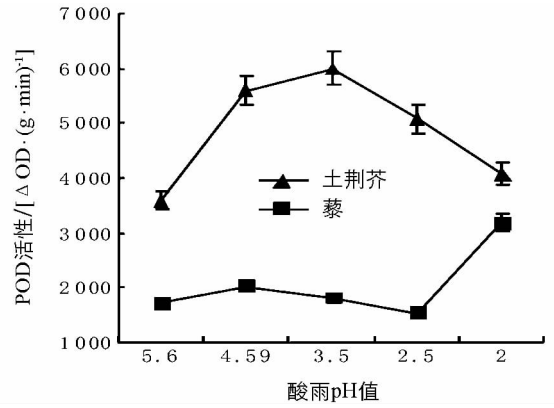


图 4 模拟酸雨对 2 种植物 POD 活性的影响

### 3 讨 论

在人工模拟酸雨条件下,土荆芥形态和生物量的分配发生了变化,生长受到了抑制.酸雨对土荆芥根茎叶生长的影响中,根受到的影响最为严重,根质量比和根冠比显著下降,而对土荆芥叶和茎的影响不大.尽管强酸雨对土荆芥叶造成了一定的可见性伤害,但仍刺激了叶的生长.这与付晓萍等<sup>[2]</sup>总结酸雨对植物营养生长的影响中得出的结论一致.酸雨条件下藜的生长变化与土荆芥相似,但在强酸雨(pH 2.0)下藜根质量比和根冠比增加,其原因不明,有待进一步研究.在酸雨条件下,土荆芥和藜都是通过刺激地上部分的生长,增强本身的光合作用,合成更多的有机物和能量来抵御酸雨逆境带来的危害.

在胁迫条件下,植物体内活性氧会大大增加,它们对许多生物功能大分子有破坏作用,包括引起膜脂过氧化或膜脂脱脂作用<sup>[14]</sup>.然而,植物体内有保护酶系统来降低或消除活性氧对膜质的破坏作用,包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)等.在酸雨胁迫下,土荆芥和藜的SOD, CAT, POD 分别具有不同的活性变化以及酶活性最高点,反应出种间对酸雨抗性的差异.随酸雨酸度的增高,土荆芥 SOD 活性呈上升趋势, CAT 活性呈下降趋势, POD 活性则表现为先升后降呈单峰曲线型变化.藜除 SOD 活性变化与土荆芥一致, CAT 和 POD 活性均具有不同的变化趋势.在酸雨 pH 值为 4.59 时,藜 SOD, CAT, POD 的活性均高于对照,推测藜生长的最适 pH 值在 4.59 左右.藜作为重庆本土杂草对 pH 值为 4.59 的酸雨已具有一定的适应性,但仍无法适应强酸雨条件,而强酸雨条件下土荆芥 SOD, CAT, POD 活性变化均高于藜,说明在强酸雨下土荆芥可能比藜具有更强的适应性能力.

土荆芥作为一种入侵植物,还未完全适应重庆当地的酸雨,暂未见大面积危害现象发生.但土荆芥具有比近缘植物藜更高的抗强酸能力,可能侵入到强酸雨地区进行生长,一旦环境进一步恶化,其潜在的危害性将会突显.因此,应加强环境条件的改善及土荆芥在酸雨地区的防除力度.

#### 参考文献:

- [1] 刘建福,王志奇,孙丹.酸雨胁迫下赤霉素诱导东魁杨梅花芽孕育的生理效应[J].西南师范大学学报:自然科学版,2009,34(3):189-194.
- [2] 付晓萍,田大伦.酸雨对植物的影响研究进展[J].西北林学院学报,2006,21(4):23-27.
- [3] 蔡燕微,江红英,陈中义.模拟酸雨对外来入侵植物空心莲子草的出苗及生长的影响[J].长江大学学报:自然科学版,2007,4(4):73-76.
- [4] 廖周瑜,彭少麟.酸雨对外来植物入侵的影响[J].生态环境,2007,16(2):639-643.
- [5] 中国植物志编辑委员会.中国植物志[M].北京:科学出版社,2004.
- [6] 王云,唐书国,陈巧敏,等.土荆芥种子贮藏与萌发特性的研究[J].草业科学,2008,25(2):103-105.

- [7] 廖柏寒, 蒋青. 我国酸雨中盐基离子的重要性 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 254—256.
- [8] 廖正军, 唐亮. 重庆市酸雨成因及控制对策 [J]. 环境保护科学, 2000, 26(10): 1—5.
- [9] 吴成龙, 周春霖, 尹金来, 等. 碱胁迫对不同品种菊芋幼苗生物量分配和可溶性渗透物质含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 901—909.
- [10] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [11] 邹琦. 植物生理生化试验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进 [J]. 植物生理学通讯, 1991, 30(3): 207—210.
- [13] 张耀民. 酸雨对农作物的叶片伤害及生理特性的影响 [J]. 农业环境保护, 1996, 15(5): 197—208, 227.
- [14] 杨运英, 杨暹. 温度对芥蓝幼苗膜脂过氧化系统的影响 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(8): 124—127.

## Effects of Simulated Acid Rain on the Growth and Activity of Anti-oxidant Enzymes of *Chenopodium ambrosioides* L.

DENG Hong-ping<sup>1</sup>, YIN Can<sup>2</sup>, WANG Xin<sup>1</sup>,  
LIU Kai-quan<sup>1</sup>, LIU Chang-kun<sup>1</sup>

1. School of Life sciences, Southwest University, Key Laboratory (Ministry of Education) of Eco-environments of Three Gorges Reservoir Region, Chongqing 400715, China;

2. Luzhoulaojiao Tianfu Middle School, Luzhou Sichuan 646000, China

**Abstract:** In the research, growth and activity of anti-oxidant enzymes of invasive plants *C. ambrosioides* L. were studied, comparing to the relatives plant *Chenopodium album* L. under different pH values of simulated acid rain. The results indicated that: for the *C. ambrosioides* L., root weight ratio and crown-root ratio decreased significantly as pH values of simulated acid rain declined, and the leaves and stems were affected slightly. As the extent of simulated acid rain stress increased, SOD activity increased, CAT activity declined, and POD activity was expressed as the first rose and then dropped showing a single peak curve-type changes. The growth of *C. album* L. was similar to that of *C. ambrosioides* L., in addition to changes in SOD activity in line with *C. ambrosioides* L., CAT and POD activity had different trends. *C. album* L. was adapted to the local acid rain to a certain extent, on the contrary, *C. ambrosioides* L. was more tolerant than *C. album* L..

**Key words:** *C. ambrosioides* L.; simulated acid rain; biomass allocation; anti-oxidant enzymes

责任编辑 夏娟