农业环境科学学报 2005,24(1):35－38
Journal of Agro-Environment Science

酸雨对不同抗性植物种子萌发过程的影响Ⅱ

——酸雨短程胁迫时间对植物种子4项萌发生理指标的影响

曾庆玲[1]，黄晓华[2]，周　青[1]

(1. 江南大学工业生物技术教育部重点实验室，江苏 无锡 214062；2. 南京师范大学化学与环境科学学院，江苏 南京 210097)

摘　要：以pH2.5、3.0、3.5、4.0的模拟酸雨处理水稻、小麦和油菜种子，研究了酸雨胁迫时间对3种植物种子萌发贮藏物质消耗率、贮藏物质运转率、根长抑制指数和芽长抑制指数的影响。结果表明，随酸雨胁迫时间的延长，水稻、小麦贮藏物质消耗率降低，油菜则增加，贮藏物质运转率皆降低；3类种子根长和芽长抑制指数都随酸雨胁迫时间的延长而增加，达到差异显著性的胁迫时间是水稻>小麦>油菜。说明3类种子萌发耐酸雨胁迫能力存在明显差异，表现为水稻>小麦>油菜。

关键词：酸雨；水稻；小麦；油菜；种子萌发；胁迫时间

中图分类号：X132　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672－2043(2005)01－0035－04

Effects of Acid Rain on Seed Germination of Three Plants Under Time Stress

ZENG Qing-ling[1], HUANG Xiao-hua[2], ZHOU Qing[1]

(1. The Key Lab. of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Wuxi 214036, China; 2. College of Chemistry and Environment Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: The responses of seed germination subject by acid rain using rice (O. sativa), wheat (T. aestivum) and rape (B. chinensis var. oleifera) seeds were investigated in our test. Four simulated acid rain (SAR) solutions with pH 2.5, 3.0, 3.5 and 4.0, respectively, and neutral solution (pH6.5) as control were conducted in the present study. In addition, the loss (transformation) rates during storage period and inhibition index of root (shoot) length were measured under the acid rain stress in our experiment. The results indicated that the storage reserve loss (transformation) rates of rice and wheat decreased with prolonged stress days at a certain acidity levels. In contrast, the storage reserve transformation rate of rape decreased and the storage reserve loss rate increased. The inhibition indexes of root (shoot) length for the 3 kinds of seeds increased with prolonged stress days at the certain acidity levels. The stress time when significant difference of each index above was perceptible between treatment groups was that rice> wheat> rape. The storage reserve loss (transformation) rate of rice and wheat was increased in relation with decreased acidity levels in the identical stress time. The storage reserve transformation rate of rape increased and the storage reserve loss rate decreased with decreased acidity levels. The inhibition indexes of root (shoot) length of 3 kinds of seeds decreased with decreased acidity levels. The experiment data further evidenced that plants could display different sensitivity under acid rain stress, in which rice had stronger resistance than wheat, and rape was more susceptible to acid rain than rice and wheat.

Keywords: acid rain; rice; wheat; rape; germination; time stress

前文[1]报道了酸雨对水稻与小麦种子萌发的影响，获得了酸雨影响种子萌发的若干信息。本文进一步研究种子萌发过程中酸雨胁迫时间（简称“胁时”）对水稻、小麦和油菜种子贮藏物质运转率、贮藏物质消耗率、芽长抑制指数、根长抑制指数的影响，旨在进一步了解3类植物种子萌发对酸雨胁迫时间的响应。

收稿日期：2004－06－07

基金项目：国家计委基金(GJX01100626)；江苏省科技厅基金(BG2001045)

作者简介：曾庆玲(1975—)，女，四川梁平人，环境生态与工程硕士。

联 系 人：周　青，教授(博导)。E－mail: zhouqeco@yahoo.com.cn

1　材料和方法

1.1　材料处理方法

模拟酸雨配置方法与种子萌发过程同文献[1]，但酸雨胁迫强度改为pH 2.5、3.0、3.5、4.0。酸雨胁时（t = d）处理方法与表述形式为：酸雨胁迫1d转于CK相同的溶液中至萌发试验结束，示为（1AR + 6W），胁迫2 d转CK相同的溶液中，示为（2AR + 5W）…，直至胁迫7 d（7AR）。每处理方式3皿，3次重复，每天更换1次溶液。1周结束萌发实验，测试指标，对数据进行统计处理。

1.2　测试方法

贮藏物质消耗率和运转效率：贮藏物质消耗率（%）=（发芽前种子重量 - 发芽种子各部分干重和）/发芽前种子重量 × 100；贮藏物质运转效率（%）= 苗干重（芽 + 根）/苗各部分干重（芽 + 根 + 籽粒）× 100[2]。

抑制指数：测量每株苗芽长和根长，根（芽）长抑制指数以平均根（芽）长计，抑制指数（%）=（CK长度 - 处理长度）/CK长度 × 100[3]。

2　结果与分析

2.1　酸雨胁时对贮藏物质消耗率的影响

种子萌发过程中子叶内贮藏物质水解、运输到胚轴成为胚根（芽）生长养料[4]。表1数据是酸雨胁迫时间对贮藏物质消耗率的影响。当酸雨胁强（pH）一定时，随胁时（t = d）延长，水稻和小麦贮藏物质消耗率递减，油菜则递增。各胁强下水稻和小麦贮藏物质消耗率与胁时呈显著负相关（$\alpha = 0.05$，$r_{水稻} = -0.9998, -0.9936, -0.9983, -0.9990$；$r_{小麦} = 1.0000, -0.9998, -0.9996, -0.9971$），油菜与胁迫时间呈显著正相关（$\alpha = 0.05$，$r_{油菜} = 1.0000, 0.9993, 0.9974, 0.9993$）。高强度酸雨（pH2.5）胁迫下，贮藏物质消耗率维持不变的胁时是水稻5 d（5AR + 2W）> 小麦3 d（3AR + 4W）和油菜3 d（3AR + 4W）。其他胁强（pH3.0～4.0）下，贮藏物质消耗率与CK相比，达到差异显著水平时的胁时也是水稻 > 小麦 > 油菜。表明种子萌发贮藏物质消耗受酸雨的影响是水稻 < 小麦 < 油菜。

2.2　酸雨胁时对贮藏物质运转率的影响

表2数据显示，当酸雨胁强（pH）一定时，随胁时（t = d）延长，3类种子贮藏物质运转率均呈递减趋势。各胁强下3类种子贮藏物质运转率与胁迫时间呈显著负相关（$\alpha = 0.05$，$r_{水稻} = -0.9773, -0.9996, -0.9995, -0.9999$；$r_{小麦} = -1.0000, -0.9983, -0.9988, -0.9989$；$r_{油菜} = -0.9997, -0.993, -0.9942$）。高强度酸雨（pH2.5）胁迫下，贮藏物质运转率为零的起始胁时是水稻5 d（5AR + 2W）> 小麦3 d（3AR + 4W）> 油菜1 d（1AR + 6W）。其它胁强（pH3.0～4.0）下，贮藏物质运转率与CK相比，达到差异显著水平时的胁时也是水稻 > 小麦 > 油菜。表明种子萌发过程中，贮藏物质运转过程对酸雨胁迫耐受强度是水稻 > 小麦 > 油菜。

油菜贮藏物质消耗（运转）率与水稻、小麦变化趋

表1　酸雨胁时对贮藏物质消耗率的影响

Table 1　Effects of acid rain on storage reserve loss rates of seed under short - term stress

	pH	1AR + 6W	2AR + 5W	3AR + 4W	4AR + 3W	5AR + 2W	6AR + 1W	7AR
水稻	CK	32.16a	32.16a	32.16a	32.16a	32.16a	32.16a	32.16a
	2.5	24.15b	23.61c	22.98c	22.42c	21.84c	21.84d	21.84d
	3.0	30.31a	29.85b	29.43b	29.16b	28.95b	28.89c	28.56c
	3.5	31.06a	30.61ab	30.29bd	30.03bd	29.87bd	29.64bc	29.52bc
	4.0	32.10a	31.70ab	31.36ad	31.05ad	30.81ad	30.66b	30.41b
小麦	CK	27.18a	27.18a	27.18a	27.18a	27.18a	27.18a	27.18a
	2.5	13.44c	12.28c	11.37d	11.37d	11.37d	11.37e	11.37e
	3.0	24.81b	24.07b	23.29c	22.64c	21.93c	21.39d	20.83d
	3.5	26.44ab	25.94a	25.37b	24.95b	24.44b	23.90c	23.48c
	4.0	27.55a	27.01a	26.64ab	26.38ab	26.02ab	25.59b	25.22b
油菜	CK	16.51a	16.51a	16.51a	16.51a	16.51a	16.51a	16.51a
	2.5	26.65e	29.02d	30.03d	30.03d	30.03d	30.03d	30.03d
	3.0	21.11d	21.96c	22.50c	23.26c	23.91c	24.46c	25.02c
	3.5	14.57c	16.10a	16.96a	17.90b	18.86b	20.24b	21.20b
	4.0	11.31b	12.90b	14.74b	16.19a	17.31a	18.85b	19.87b

注：AR：acid rain，W：water。$P < 0.05$，下同。

表2 酸雨胁时对贮藏物质运转率的影响

Table 2 Effects of acid rain on storage reserve transform rates of seed under short - term stress

	pH	1AR + 6W	2AR + 5W	3AR + 4W	4AR + 3W	5AR + 2W	6AR + 1W	7AR
水稻	CK	34.17a	34.17a	34.17a	34.17a	34.17a	34.17a	34.17a
	2.5	10.74c	9.06d	7.44d	6.22d	0.00d	0.00d	0.00d
	3.0	29.86b	28.97c	28.15c	27.46c	26.73c	25.98c	25.21c
	3.5	31.41b	30.90b	30.52b	30.08b	29.53b	29.04b	28.49b
	4.0	34.02a	33.50a	33.00a	32.53a	32.07a	31.57ab	31.07ab
水麦	CK	52.72a	52.72a	52.72a	52.72a	52.72a	52.72a	52.72a
	2.5	5.44d	3.83d	0.00d	0.00e	0.00e	0.00e	0.00e
	3.0	41.73c	40.22c	38.85c	37.26d	36.24d	35.00d	33.18d
	3.5	48.29b	46.86b	45.67b	44.00c	42.50c	41.52c	40.23c
	4.0	50.92ab	49.90ab	48.60b	47.86b	47.07b	46.23b	45.51b
油菜	CK	44.30a	44.30a	44.30a	44.30a	44.30a	44.30a	44.30a
	2.5	0.00d	0.00d	0.00d	0.00d	0.00d	0.00d	0.00d
	3.0	40.21c	37.72c	35.76d	33.35d	31.42d	29.11d	27.12d
	3.5	42.16b	41.22b	40.51c	39.41c	38.67c	38.13c	37.23c
	4.0	43.84a	42.91a	42.51b	42.05b	41.63b	40.90b	40.50b

势相反，推测与种子类别及对酸雨抗性有关。油菜属双子叶油料植物，由于种子萌发对酸雨敏感，随胁时延长，细胞结构瓦解，代谢网络破坏，贮藏物质被呼吸降解而难以作为细胞生长的结构或能量物质运转至胚轴供胚根（芽）生长利用，表现为消耗增加、外输减少、根芽抑制指数增加的响应特征[4]，见表3、表4。

2.3 酸雨胁时对根长抑制指数的影响

抑制指数直观反映酸雨对种子萌发的抑制强度。表3是酸雨胁迫时间对种子根长抑制指数影响。随胁时（t = d）延长，3类种子根长抑制指数均递增，各胁强（pH）下的根长抑制指数与胁时呈显著正相关（α = 0.05，$r_{水稻}$ = 0.9992，0.9992，0.9998，0.9990；$r_{小麦}$ = 1.0000，0.9970，0.9998，0.9981；$r_{油菜}$ = 0.9993，0.9978，0.9987）。高强度酸雨（pH2.5）胁迫下，3类种子根长抑制指数达到完全抑制（100%）的起始胁时是水稻5 d（5AR + 2W）> 小麦3 d（3AR + 4W）> 油菜1 d（1AR + 6W）。在其他胁强（pH3.0～4.0）下，根长抑制指数与CK相比，达到差异显著水平时的胁时也是水稻> 小麦> 油菜。证明种子萌发对酸雨耐受性是水稻 > 小麦 > 油菜。

2.4 酸雨胁时对芽长抑制指数的影响

在种子萌发过程中，酸雨对根系生长发育的阻滞作用势必影响植物胚芽生长。酸雨对种子萌发时芽生长的影响与根生长近同。表4数据表明，随着胁时（t = d）延长，3类种子芽长抑制指数均呈递增趋势，各胁强（pH）芽长抑制指数与胁时均呈显著正相关

表3 酸雨胁时对根长抑制指数的影响

Table 3 Effects of acid rain on inhibition index of root length under short - term stress

	pH	1AR + 6W	2AR + 5W	3AR + 4W	4AR + 3W	5AR + 2W	6AR + 1W	7AR
水稻	CK	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	2.5	43.89d	51.96d	66.75d	82.49d	100.00d	100.00d	100.00d
	3.0	20.20c	28.79c	38.25c	50.44c	59.81c	69.90c	78.66c
	3.5	13.49b	18.16b	21.86b	25.91b	29.61b	33.43b	36.49b
	4.0	0.09a	0.20a	0.36a	0.52a	0.66a	0.80a	0.92a
小麦	CK	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	2.5	80.64d	90.04e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e
	3.0	39.87c	52.45d	60.03d	65.94d	71.22d	75.99d	80.89d
	3.5	3.61b	10.22c	15.84c	22.07c	28.88c	34.46c	40.87c
	4.0	0.56a	1.10b	1.39b	1.74b	2.22b	2.65b	3.15b
油菜	CK	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	2.5	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e
	3.0	36.91d	45.63d	53.87d	63.78d	70.38d	76.91d	85.07d
	3.5	16.83c	23.40c	28.31c	32.08c	35.86c	39.59c	44.31c
	4.0	1.40b	4.50b	7.96b	11.46b	14.35b	16.15b	17.80b

($\alpha = 0.05$, $r_{\text{水稻}} = 0.9972, 0.9964, 0.9995, 0.9998$; $r_{\text{小麦}} = 1.0000$, 0.9997, 0.9993, 0.9988; $r_{\text{油菜}} = 0.9984, 0.9995, 0.9993$)。高强度酸雨(pH2.5)胁迫下，3 种植物种子芽长抑制指数达到完全抑制(100%)的起始胁时为：水稻 5 d(5AR + 2W)> 小麦 3 d(3AR + 4W)> 油菜 1 d(1AR + 6W)。其他胁强(pH3.0 ~ 4.0)下，芽长抑制指数与 CK 相比，达差异显著水平时的胁时也是水稻> 小麦> 油菜。即种子萌发对酸雨的耐受性是水稻> 小麦> 油菜。从而以抑制指数诠释了 3 类种子萌发对酸雨产生差异性反应的原因。从本研究所选 4 个萌发指标对酸雨胁迫的敏感性看，以根芽抑制指数最高，从酸雨胁迫时间为 1 d(1 AR + 6W)起，各胁强之间均呈现差异显著性，这与抑制指数直观反映酸雨对种子萌发抑制程度有关，至于根长抑制指数大于芽长抑制指数可能由于根直接受酸雨胁迫而芽间接受胁迫所致。

表 4　酸雨胁时对芽长抑制指数的影响

Table 4　Effects of acid rain on inhibition index of shoot length under short - term stress

	pH	1AR + 6W	2AR + 5W	3AR + 4W	4AR + 3W	5AR + 2W	6AR + 1W	7AR
水稻	CK	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	2.5	27.47d	50.99d	65.49d	80.81d	100.00d	100.00d	100.00d
	3.0	5.18c	6.72c	9.01c	10.16c	10.94c	11.91c	12.84c
	3.5	2.13b	2.97b	4.17b	5.18b	6.25b	7.35b	8.28b
	4.0	0.05a	0.19a	0.34a	0.46a	0.60a	0.72a	0.84a
小麦	CK	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	2.5	76.76d	86.40e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e
	3.0	15.48c	19.40d	22.64d	25.61d	29.04d	31.86d	34.32d
	3.5	3.74b	5.44c	7.34c	9.22c	11.70c	13.48c	15.43c
	4.0	0.51a	0.95b	1.54b	2.09b	2.58b	3.02b	3.72b
油菜	CK	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	2.5	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e	100.00e
	3.0	30.13d	34.94d	39.72d	44.22d	49.93d	53.73d	56.36d
	3.5	5.31c	7.93c	10.08c	11.96c	13.85c	16.00c	17.50c
	4.0	0.77b	1.47b	2.19b	3.09b	4.04b	4.97b	5.76b

3　结论

(1)随酸雨胁时(t = d)的延长，水稻、小麦贮藏物质消耗率降低，油菜则增加，三者运转率皆降低。达到差异显著性的胁时是水稻> 小麦> 油菜。

(2)随酸雨胁时(t = d)的延长，水稻、小麦贮藏物质运转率降低，达到差异显著性的胁时是水稻> 小麦> 油菜。

(3)随酸雨胁时(t = d)的延长，3 类种子根(芽)长抑制指数都增加，达到差异显著性的胁时也是水稻> 小麦> 油菜。

上述结果说明 3 类种子萌发对酸雨胁时响应存在明显差异，耐酸雨胁迫能力表现为水稻 > 小麦 > 油菜。

参考文献:

[1] 曾庆玲, 梁婵娟, 沈东兴, 等. 酸雨对不同抗性植物种子萌发的影响(Ⅰ)[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(1): 39 - 42.

[2] 刘华山, 李玉玲, 王德勤, 等. 不同 S22 基因型玉米种子萌发过程中的生理生化特性变化[J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(1): 15 - 17.

[3] 任安芝, 高玉葆. 铅、镉、铬单一和复合污染对青菜种子萌发的生物学效应[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 19 - 22.

[4] 傅家瑞. 种子生理[M]. 北京: 科学出版社, 1985.6.

[5] 冯宗炜, 曹洪法, 周修萍. 酸沉降对生态环境的影响及其恢复技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.2 - 3.

[6] 高吉喜, 曹洪法, 舒俭民. 酸雨对植物新陈代谢的影响[J]. 环境科学研究, 1996, 9(4): 41 - 45.

[7] Zhou Qing, Huang Xiao - hua, Zhang Yi, et al. Effect of cerium on seed germination under acid rain[J]. *J RARE EARTHS*, 2002, 18(4): 298 - 300.