

# 不同抗性种子萌发对酸雨胁迫时间的响应 III

## ——酸雨持续胁迫对 3 类种子 4 项萌发指标的影响

曾庆玲<sup>1</sup>, 周青<sup>1</sup>, 戴玉锦<sup>2</sup>

(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. 苏州科技学院, 江苏 苏州 215009)

**摘要:**以 pH3.0、3.5、4.0 模拟酸雨处理水稻、小麦和油菜种子, 研究酸雨胁迫时间对 3 类种子萌发的影响。试验表明, 随酸雨胁迫时间  $t$  延长, 水稻与小麦的消耗(运转)率变化幅度 <CK, 油菜消耗率> CK, 且  $t=7$  d 时, 不同胁迫强度下消耗(运转)率增幅及与 CK 的差值是水稻 <小麦, 达到差异显著水平的胁迫时间是水稻> 小麦> 油菜; 不同胁迫强度下根(芽)抑制指数与抑制指数增(减)幅的变化规律是水稻 <小麦 <油菜, 说明 3 类种子萌发耐酸雨胁迫能力存在胁迫上的明显差异, 表现为水稻> 小麦> 油菜。

**关键词:**种子; 贮藏物质消耗率; 贮藏物质运转率; 根(芽)抑制指数; 酸雨胁迫时间

**中图分类号:**S131   **文献标识码:**A   **文章编号:**1672 - 2043(2004)06 - 1073 - 04

### Effect of Acid Rain on Seed Germination of Three Plants III:

#### Continuous Acid Rain Stress on the Physiological Index During Seed Germination

ZENG Qing-ling<sup>1</sup>, ZHOU Qing<sup>1</sup>, DAI Yu-jin<sup>2</sup>

(1. The Key Lab. of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China;

2. Suzhou Science & Technology College, Suzhou 215009, China)

**Abstract:** Seeds of rice, wheat and rape were subjected to a simulated acid rain with pH value of 3.0, 3.5, 4.0, and 6.5 (the control) to investigate the effects of acid rain stress time on seed germination of various acid-fast plants. The results indicated that the loss and transformation rate of storage reserve of rice and wheat were lower than that of the control, but the loss rate of rape was higher than that of the control with prolonged stress time. When stress time was 3 ~ 7d, the increase of loss rate of storage reserve of rice was 11.03%, 12.44% and 13.14% at pH value of 3.0, 3.5, 4.0, respectively, lower than that of wheat, being 15.69%, 23.47%, 23.81%, respectively. The increase of the transformation rate of storage reserve was lower in rice (being 24.80%, 29.37% and 29.72% at pH value of 3.0, 3.5, 4.0, respectively) than in wheat (being 6.33%, 37.87% and 38.87%, respectively). The loss and transformation rate of storage reserve in rape remarkably changed after 3 ~ 4 days of stress, but that happened in wheat and rice after 6 and 7 days of stress. The order of response to acid stress time was: rice> wheat> rape. After 7 days of stress, the inhibition index of root length of rice was lowest, being 67.86%, 36.49%, 0.92%, at pH value of 3.0, 3.5, 4.0, respectively, that of rape was biggest, being 88.26%, 44.32%, 17.8%, and that of wheat was 84.43%, 43.38%, 3.15%, respectively. The inhibition index of shoot length changed similarly, with the index of rice 16.37%, 11.63% and 0.84%, respectively, lower than that of wheat (46.49%, 15.43%, 3.72%) and that of rape (58.5%, 17.51%, 5.76%). The order of amplitude variation of inhibition index of root, shoot and length was rape> wheat> rice at different acidity levels under stress time from 3 to 7 days. These evidenced that plants could display different sensitivity to acid rain stress, rice had stronger resistance than wheat, and responses of rice and wheat to acid rain stress were faster than that of rape.

**Keywords:** seed; storage reserve loss rate; storage reserve transformation rate; inhibition index of shoot (root); stress time

有关酸雨对植物生长发育、生物量影响的生态生

理研究国内外已有大量报道<sup>[1-3]</sup>, 但对其胁迫作物种子萌发的探讨相对较少, 特别是不同抗性种子对酸雨胁迫反应的内容更少<sup>[4, 5]</sup>。本试验以抗性植物水稻 (*O. sativa*)、中等抗性植物小麦 (*T. aestivum*) 和敏感

收稿日期: 2003 - 10 - 23

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

作者简介: 曾庆玲(1975—), 女, 重庆梁平人, 环境与生态工程硕士。

联系人: 周青, 教授(博导)。E-mail: zqwx@263.sina.com

性植物油菜 (*B. chinensis* var. *oleifera*) 种子为试材<sup>[6]</sup>, 研究萌发过程中酸雨胁迫时间(简称胁时,下同)对其贮藏物质运转率(简称运转率,下同)、贮藏物质消耗率(简称消耗率,下同)、芽长抑制指数、根长抑制指数的影响,目的是进一步了解不同抗性植物种子萌发对酸雨胁迫方式的响应,以为抗酸(雨)减灾的环境生态理论与实践提供背景资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 模拟酸雨配制

模拟酸雨(含离子构成,简称酸雨,下同)的配制参照文献[7]。先配制 pH 1.0 的酸雨母液,其硫酸根和硝酸根的体积比为 4.7:1。以去离子水作为稀释液,将母液分别调制成 pH3.0、3.5、4.0 的酸雨,并经 PHS-29A 酸度计(上海精密科学仪器有限公司)校准。

### 1.2 材料处理方法

将水稻“5356”、小麦“扬麦 58”、油菜“淮杂油 1 号”种子用 0.1% 升汞分别消毒 15、5、10 min,去离子水冲洗数次后,取 50 粒种子均匀排列在直径 12 cm、垫有 2 层滤纸的培养皿中,以 pH 3.0、3.5、4.0 模拟酸雨进行胁迫处理,对照(CK)是与母液离子成分相同的中性溶液(pH6.5)。将培养皿置于恒温培养箱中(25℃±0.5℃)中浸种萌发,每天更换溶液 1 次,1 周结束萌发试验。酸雨胁迫 3 d 起,每处理每天取样 3 皿,测量每粒发芽种子的芽长、根长,测量每皿发芽种

子的各部分干重,至萌发试验结束,对数据进行统计处理。

### 1.3 测试方法

种子萌发指标测定按文献[8]、[9]提供方法进行。

消耗率(%) = (发芽前种子重量 - 发芽种子各部分干重) / 发芽前种子重量 × 100%。

运转效率(%) = 苗干重(芽 + 根) / 苗各部分干重(芽 + 根 + 籽粒) × 100%。

根(芽)抑制指数(%) = (CK - 处理) / CK × 100, 其中根(芽)长以每株苗平均根(芽)长计%。

## 2 试验结果

### 2.1 胁时对种子贮藏物质消耗率的影响

图 1 数据显示,酸雨胁强(pH)一定时,伴随胁时( $t = d$ )延长,3 类种子消耗率皆呈递增趋势,不同的是水稻与小麦消耗率 <CK, 而油菜 > CK。当  $t = 7$  d 时,不同胁强下消耗率增幅及与 CK 的差值是水稻(11.03%、12.44%、13.14%, -4.10%、-2.09%、-1.15%) < 小麦(15.69%、23.47%、23.81%, -12.09%、-2.70%、-1.54%)。结合油菜种子消耗率及其增幅始终 > CK 的代谢异常事实(见讨论),足以窥见抗酸雨胁迫能力为油菜 < 小麦 < 水稻。再由 CK 与各胁强消耗率达到差异显著水平所需的胁时看,水稻(7d) > 小麦(6d) > 油菜(3d),同样说明 3 类种子贮藏物质消耗过程耐酸雨胁迫能力是水稻 > 小

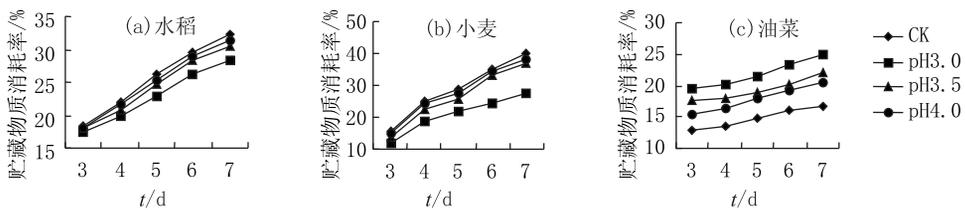


图 1 酸雨胁时对种子消耗率的影响

Figure 1 Effect of acid rain on storage reserve loss rate of seeds

麦 > 油菜。

### 2.2 胁时对种子贮藏物质运转率的影响

由图 2 可知,与胁时( $t = d$ )对种子消耗率的影响近同,3 类种子运转率均随胁时延长而呈上升趋势,然其增幅 <CK。当  $t = 7$  d 时,不同胁强下运转率增幅及运转率与 CK 差值分别是:水稻 24.80%、29.37%、29.72%, -7.04%、-1.85%、-0.80%; 小麦 26.33%、37.87%、38.87%, -23.86%、-9.16%、-2.56%; 油菜的 2 项指标则小于水稻,估计与其消

耗率变化相关。由此得知,酸雨对种子运转率影响为水稻 < 小麦,或种子萌发抗酸雨胁迫能力为水稻 > 小麦。从 CK 与各胁强运转率达到差异显著水平所需的胁时看,水稻(7d) > 小麦(6d) > 油菜(4d),说明 3 类种子萌发时,贮藏物质运转过程耐酸雨胁迫能力存在明显差异,表现为水稻 > 小麦 > 油菜。

### 2.3 胁时对种子根长抑制指数的影响

图 3 数据表明,随酸雨胁时( $t = d$ )延长,水稻、小麦及油菜种子根长抑制指数增加,且始终大于 CK。当

$t = 7$  d 时, 不同胁迫下根长抑制指数与抑制指数增(减)幅的变化规律分别是: 水稻 67.86%、36.49%、0.92%、4.41%、4.31%、-8.18%; 小麦 84.43%、43.38%、3.15%、6.33%、8.62%、-9.03%; 油菜 88.26%、44.32%、17.8%、8.48%、14.68%、12.52%。由三者抑制指数的变化特点可以断定, 酸雨

对胚根生长的抑制程度为水稻 < 小麦 < 油菜, 或种子萌发抗酸雨胁迫伤害的能力为水稻 > 小麦 > 油菜。再从 CK 与胁迫 (pH) 根长抑制指数达到差异显著水平的胁迫时看, 3 类种子均为 3 d, 暗示该萌发过程对酸雨胁迫的反应比消耗率与运转率敏感。而  $t = 7$  d 时, 三者 CK 与处理 (pH4.0) 间差异显著性下降的事实仍可

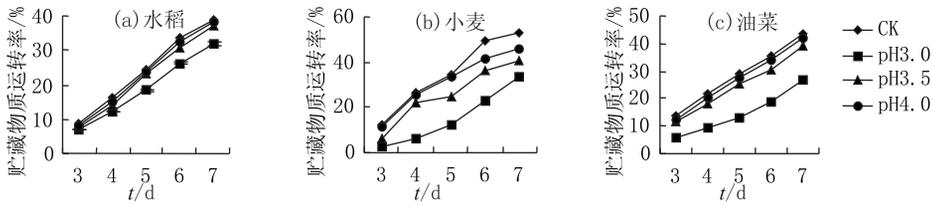


图 2 酸雨胁迫对种子运转率的影响

Figure 2 Effect of acid rain on storage reserve transformation rate of seeds

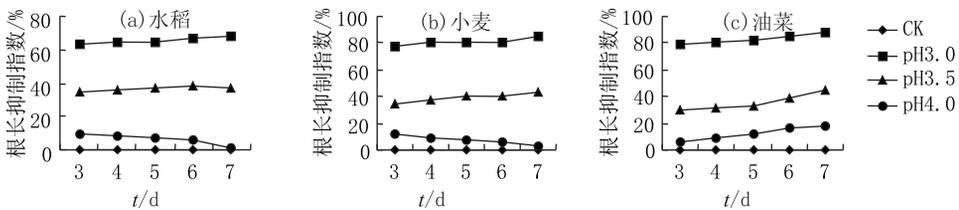


图 3 酸雨胁迫对种子根长抑制指数的影响

Figure 3 Effect of acid rain on inhibition index of root length of seeds

看出, 其抗酸雨胁迫能力排序是水稻 > 小麦 > 油菜。

### 2.4 胁迫对种子芽长抑制指数的影响

图 4 数据指出, 伴随酸雨胁迫 ( $t = d$ ) 增加, 3 类种子芽长抑制指数的变化趋势不尽一致, 水稻为低高低, 小麦基本是由高至低, 油菜是低至高 (pH3.0) 和高至低, 且芽长抑制指数始终 > CK。从处理与 CK 的芽长抑制指数大小与其最大增(减)幅变化看,  $t = 7$  d 时分别为水稻 16.37%、11.63%、0.84%、-8.73%、-6.71%、-5.46%; 小麦 46.49%、15.43%、3.72%、-9.62%、-7.09%、-6.16%; 油菜 58.5%、17.51%、5.76%、10.88%、-15.66%、-8.07%。由此推断, 胚芽生长受酸雨胁迫的抑制程度为水稻 < 小麦 < 油

菜。此时 CK 与处理 (pH4.0) 差异显著性下降的事实同样证明, 三者抗酸雨胁迫能力也是水稻 > 小麦 > 油菜。由 CK 与胁迫 (pH) 芽长抑制指数达到差异显著水平所需胁迫时皆为 3 d 分析, 3 类种子胚芽生长对酸雨胁迫反应的敏感性 > 消耗率与运转率。

### 3 讨论

研究结果表明, 酸雨胁迫 ( $t = d$ ) 对种子萌发过程中贮藏物质消耗(运转)率, 根(芽)长抑制指数具有显著影响, 3 类抗性种子萌发对酸雨胁迫时的响应方式也不尽一致, 其差异主要表现在 4 项指标变幅及响应胁迫的时间上。

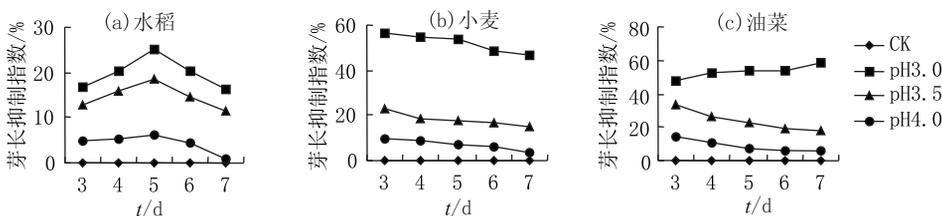


图 4 酸雨胁迫对种子芽长抑制指数的影响

Figure 4 Effect of acid rain on inhibition index of shoot length of seeds

贮藏物质消耗是种子(“源”)萌动、生理生化反应运行、贮藏物质转化与转移的标志<sup>[10]</sup>。从贮藏消耗率对胁迫时的响应看,虽然 3 类种子消耗率都随胁迫时延长而增加,但生态生理学含义明显不同。水稻、小麦增幅始终 <CK, 结合胁迫时对根(芽)抑制指数影响分析,消耗率下降导致可供胚根(芽)生长的物质减少,使后者生长受抑。相反,油菜消耗率增幅 > CK, 但依其酸雨胁迫下运转率始终 <CK 的事实可以判断,这是酸雨伤害种子胚乳与胚细胞,造成代谢网络瓦解,呼吸耗能增加的表现。从对物质与能量利用角度看,后者响应胁迫时变化对种子贮藏物质消耗产生的负面效应强于水稻与小麦。酸雨胁迫下,3 类种子贮藏物质消耗均达差异显著水平的时间是水稻(7 d) > 小麦(6 d) > 油菜(3 d)。即水稻对酸雨胁迫时响应最迟,小麦次之,油菜最早。

萌发初期,胚根伸长主要依赖胚轴贮藏物质的供应,此后胚根(芽)继续生长,则靠贮藏物质水解并经胚轴向胚根(芽)运输,其运转(“流”)效率高在一定程度上决定胚根、(芽)生长速度与状况<sup>[10]</sup>。研究显示,3 类种子响应胁迫时的规律是水稻种子贮藏物质运转率增幅小于小麦(且小于各自 CK)。至于油菜种子运转率增幅(21.09%、26.30%、28.8%)小于水稻和小麦,可能与其贮藏物质消耗过高、外输减少有关,反映的生态学信息是耐酸雨能力油菜 <水稻 <小麦。作为佐证的是 3 类种子运转率皆达差异显著水平时间还是水稻(7d) > 小麦(6d) > 油菜(4d),表现为水稻对酸雨胁迫时响应最迟,小麦次之,油菜最早。依此从胁迫时与运转率关系阐释了 3 类种子对酸雨抗性产生差异的原因。

根长抑制指数反映了酸雨胁迫时对种子胚根(“库”)生长的影响,而植物地下地上生长相关性意味着酸雨对根系生长发育的阻滞作用势必影响到植物胚芽(“库”)的生长。研究证实,胁迫(pH)为 3.0、 $t = 7$  d 时,3 类种子根、芽长的抑制指数是水稻 (<68.0%、17.0%) <小麦 (<85.0%、<47.0%) <油菜 (<88.0%、<59.0%),根长抑制指数增加导致芽长抑制指数同步增加,但不是简单的线性关系。再从三者对胁迫时的响应分析,虽皆为 3 d,但第 7 d 时

水稻 2 项抑制指数与 CK 差异不显著,说明根系与胚芽生长对酸雨胁迫时的响应程度为水稻 <小麦 <油菜,或 3 类种子萌发对酸雨胁迫的抗性是水稻 > 小麦 > 油菜。

综上所述,酸雨胁迫时对种子萌发影响是通过制约贮藏营质分解、输送及在新器官中合成过程,即“抑其源,阻其流,扼其库”实现的。而生活型差异也是种子抗性分异应考虑的因素。水稻与小麦是单子叶淀粉种子,油菜属双子叶油质种子<sup>[10]</sup>,相关酶系对酸雨胁迫的差异反应导致了贮藏物质分解、转运规律(如消耗率,运转率)不同乃至合成差异,最终造成抗性分异。因此,3 类抗性种子萌发时贮藏物质成分与含量,运转与消耗过程对酸雨胁迫时的响应当是下一步研究目标。

#### 参考文献:

- [1] Kohno - Y, et al. Neutralization of acid droplets on plant leaf surfaces [J]. *Water - Air - and - Soil - Pollution*. 2001, 131 (1 - 4 Part 3): 977 - 982.
- [2] Velikova - Violeta, Tsonev - Tsonko, Yordanov - Ivan. Light and CO<sub>2</sub> responses of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in bean plants after simulated acid rain [J]. *Physiologia - Plantarum* 1999, 107 (1): 77 - 83.
- [3] 冯宗炜. 中国酸雨的生态影响和防治对策 [J]. *云南环境科学*, 2000, 19(增刊): 1 - 6.
- [4] Hou Bao Fan, Yi Hong Wang. Effects of simulated acid rain on germination, foliar damage, chlorophyll contents and seedling growth of five hardwood species growing in China [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 126: 321 - 329.
- [5] Kang - Hyesoon, Lee - Woong - Sang. Responses of maternal siblings of *Pinus densiflora* to simulated acid rain [J]. *J Plant Biology*, 2001, 44 (3): 131 - 140.
- [6] 冯宗炜, 曹洪法, 周修萍, 等. 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.
- [7] 张耀民, 吴丽英, 王晓霞, 张 静. 酸雨对农作物叶片伤害及生理特性影响 [J]. *农业环境保护*, 1996, 15(5): 197 - 208, 227.
- [8] 刘华山, 李玉玲, 王德勤, 台国琴, 孟凡庭, 杨国红. 不同 S<sub>22</sub> 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.
- [9] 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.
- [10] 傅家瑞. 种子生理 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 6, 111.