

酸雨对水稻、小麦和油菜种子萌发的影响

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, 无锡 214036; 2. 南京师范大学化学与环境科学学院, 南京 210097)

摘要:采用 pH 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 与 5.0 模拟酸雨处理水稻、小麦和油菜种子的实验结果表明, 3 者在 pH 2.0 时不发芽, 在 pH 2.5 时只有水稻和小麦异状发芽, pH ≥ 3.0 时, 水稻、小麦和油菜种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数都与 pH 值显著正相关, 水稻和小麦的异状发芽率则随 pH 值上升而降低。部分生理指标的实验结果表明, 水稻、小麦和油菜的吸水值、呼吸速率和贮藏物质运转效率也与 pH 值显著正相关, 水稻与小麦贮藏物质消耗率与 pH 值显著正相关, 而油菜与 pH 值显著负相关; 水稻、小麦和油菜的芽、根长抑制指数都与 pH 值显著负相关。酸雨胁迫下, 种子各项指标变幅为水稻 < 小麦 < 油菜, 这表明抗酸雨胁迫能力为水稻 > 小麦 > 油菜。

关键词:酸雨; 水稻; 小麦; 油菜; 种子萌发

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)01-0181-04

Effect of Acid Rain on Seed Germination of Rice, Wheat and Rape

ZENG Qing-ling¹, HUANG Xiao-hua², ZHOU Qing^{1*}

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

2. College of Chemistry and Environment Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Rice, wheat and rape seeds were treated with simulated acid rain at pH 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 and 5.0 levels for 7 days in order to understand the effects of acid rain on seed germination of various acid-fast plant. The germination test showed that seed germination was absolutely inhibited at pH 2.0 for three species. Rice and wheat seeds germinated abnormally at pH 2.5. When pH values above 3.0, percentage germination, germination energy, germination index, vigor index of rice, wheat and rape seeds increased in relation with decreased acidity levels. In contrast, the percentage of abnormal germination of rice and wheat decreased. The experiment data about physiological aspect demonstrated that water absorption rate, respiratory rate and storage reserve transformation rate of rice, wheat and rape seeds also increased with increased pH values. The storage loss of rice and wheat increased with increased pH values but that of rape decreased. Inhibition index of shoot and root length of three kinds of seeds decreased in relation with increased pH values. The amplitude difference of index of rice was lower than that of wheat, and wheat was lower than that of rape. The experiment data showed that rice had stronger fastness than wheat and rape, wheat had stronger fastness than rape under acid rain stress.

Key words: acid rain; seed germination; rice; wheat; rape

酸雨伤害植物的研究国内外已有大量报道, 但多数工作较少考虑种子萌发过程及内在变化对酸雨的反应^[1, 2]。李荣生、聂呈荣、彭彩霞等人^[3~5]报道了模拟酸雨对蔬菜、花生、水稻和玉米种子萌发与幼苗生长影响, Park 等人^[6]研究了模拟酸雨对 *Arabidopsis thaliana* 种子萌发与根、芽生长限制。上述工作丰富了人们对酸雨与种子萌发关系的认识。本试验以水稻 (*O. sativa*)、小麦 (*T. aestivum*) 和油菜 (*B. chinensis* var. *oleifera*) 种子为试材, 研究其种子萌发过程对酸雨急性胁迫伤害的差异反应, 旨在进一步认识酸化环境下植物种群变化动态, 也可正确评估酸雨给农业生产造成的损失提供参考。

1 材料和方法

1.1 模拟酸雨配制

模拟酸雨(含离子构成, 以下简称酸雨)配制参

照文献^[7], 先配制 pH 1.0 酸雨母液, 其中硫酸根和硝酸根体积比为 4.7:1。用蒸馏水将母液调制成 pH 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 和 5.0 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

将水稻新品 5356、扬麦 58、淮杂油 1 号种子用 0.1% 升汞消毒 8 min, 去离子水冲洗数次, 从中取 50 粒种子均匀排列在直径 12 cm、垫有 2 层滤纸培养皿中, 以 pH 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 和 5.0 酸雨进行胁迫处理, 对照 (CK) 为与酸液离子成分相同的中性溶液 (pH 6.5), 置恒温培养箱中 (25 °C $\pm$ 0.5 °C), 每处

收稿日期: 2004-02-06; 修订日期: 2004-06-28

基金项目: 国家发展改革委员会基金项目 (GFZ040628); 江苏省科技厅基金项目 (BG2001045)。

作者简介: 曾庆玲 (1975, 8 ~) 女, 四川梁坪人, 硕士, 研究方向为环境生态学。

* 通讯作者: E-mail: zhouqeco@yahoo.com.cn

理 3 皿,每天更换溶液并统计发芽数,萌发 1 周。

1.3 测试方法

种子活力测定按种子检验原理和技术^[8]进行。
发芽指数： $GI = \sum (Gt / Dt)$,式中 Gt 为不同时间的发芽数， Dt 为相应的发芽日数。

活力指数： $VI = S \times \sum (Gt / Dt)$, S 为一定时期内幼苗生长势,以每株苗平均鲜重(FW)表示。

吸水值:通过比较种子浸泡前后重量差并与种子浸泡前比较而得出^[9]。

呼吸速率:参照文献[10],植物种子萌发 3d,用 DDS-307 型电导率仪测定种子呼吸速率[$CO_2 / (FW \cdot \text{时间})$],单位 $mg \cdot (g \cdot h)^{-1}$ 表示。

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^[11]。

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^[12]。

2 结果与分析

2.1 酸雨对 3 种植物种子萌发影响

2.1.1 对种子发芽率影响

发芽率是反映种子品质优劣的重要指标.表 1 数据显示,当酸雨强度(pH)为 2.0 ~ 2.5 时,3 种植物种子发芽率均为 0,在其它酸雨强度上,三者发芽率均随 pH 上升而增加,水稻、小麦和油菜发芽率都与 pH 呈显著正相关($r = 0.9959, 0.9867, 0.9552$)。从降幅看,pH3.0 酸雨使水稻发芽率下降 2.67%,与 CK 差异不显著.小麦与油菜则不然,等强度酸雨胁迫下,降幅达 8.67%、15.33%,呈差异显著水平;发芽率变幅比较(pH3.0 ~ 5.0) 同样显示,水稻为 4.0%,明显低于小麦(10.00%)、油菜(16.67%)。上述结果表明,水稻、小麦和油菜种子萌发对酸雨耐受性不同,水稻耐酸雨胁迫能力 > 小麦 > 油菜。

2.1.2 对种子发芽势影响

发芽势是表征种子活力指标,pH ≤ 2.5 时,水稻、小麦和油菜种子发芽势为 0,此后三者发芽势随 pH 上升而增加.酸雨影响三者发芽势的规律近同于发芽率,即 pH3.0 ~ 5.0 时,水稻、小麦和油菜发芽势与 pH 呈显著正相关($r = 0.9986, 0.9665, 1.000$);pH3.0 时,水稻下降 0.67%,与 CK 差异不显,小麦(6.00%)与油菜(8.00%)达差异显著水平;发芽势变幅(pH3.0 ~ 5.0),水稻 4.0%,明显低于小麦(9.33%)、油菜(10.67%),pH5.0 时,水稻 > CK 4.00%,小麦 > CK3.33%,油菜 > CK2.00%,再次证明水稻抗酸雨能力 > 小麦 > 油菜(表 1)。

表 1 酸雨对 3 种植物种子萌发的影响¹⁾

Table 1 The effects of acid rain on germination of plant seeds

植物	处理/pH	发芽率/ %	发芽势/ %	发芽指数	活力指数	异状发芽率/ %
水稻	CK	96.00a	92.00a	31.49(100.00) a	3.76(100.00) a	1.33a
	2.0	0.00b	0.00b	0.00(0.00) c	0.00(0.00) d	0.00a
	2.5	0.00b	0.00b	0.00(0.00) c	0.00(0.00) d	90.00c
	3.0	93.33a	91.33a	28.69(91.11) b	2.41(64.10) c	4.67b
	3.5	94.67a	92.00a	29.60(94.03) ab	2.82(75.00) b	1.33a
	4.0	95.33a	92.67a	31.09(98.73) a	3.43(91.22) a	1.33a
	5.0	97.33a	96.00a	31.40(99.71) a	3.76(100.00) a	1.33a
小麦	CK	92.67a	90.00a	29.05(100.00) a	5.00(100.00) a	2.00a
	2.0	0.00c	0.00c	0.00(0.00) d	0.00(0.00) d	0.00a
	2.5	0.00c	0.00c	0.00(0.00) d	0.00(0.00) d	40.67c
	3.0	84.00b	84.00d	25.39(87.40) c	2.70(54.00) c	12.67b
	3.5	88.00b	87.33c	27.69(95.32) b	3.90(78.00) b	6.00a
	4.0	93.33a	92.67ab	29.09(100.14) a	4.92(98.40) a	3.33a
	5.0	94.00a	93.33b	29.14(100.31) a	5.28(105.60) a	2.00a
油菜	CK	85.33a	75.33a	33.58(100.00) a	3.51(100.00) a	0.00a
	2.0	0.00c	0.00d	0.00(0.00) d	0.00(0.00) d	0.00a
	2.5	0.00c	0.00d	0.00(0.00) d	0.00(0.00) d	0.00a
	3.0	70.00b	67.33c	27.72(82.55) c	1.78(50.71) c	0.00a
	3.5	84.67a	74.00a	32.73(97.47) a	3.20(91.17) b	0.00a
	4.0	85.33a	78.00b	34.58(102.98) b	3.57(101.71) a	0.00a
	5.0	86.67a	78.00b	34.92(103.99) b	3.64(103.70) a	0.00a

1) 表中数据为平均数,括号内为相对百分含量,同列中字母相同者差异不显著,显著水平为 0.05($p < 0.05$),表 2 同。

2.1.3 对发芽指数和活力指数影响

发芽与活力指数是反映种子活力的综合指标. 酸雨胁迫下, 2 项指标变化也与发芽率变化近同(表 1) .pH3.0~5.0 时,水稻、小麦和油菜发芽与活力指数与 pH 呈显著正相关($r=0.9817、0.9900、0.9948、0.9908、0.9985$ 和 0.9875) ;pH3.0 时,水稻 2 项指标降幅为 8.89%和 35.90%,小麦为 12.60%和 46.0%,油菜为 17.45%和 49.29%,均与 CK 差异明显,但降幅油菜>水稻;2 项指标变幅(pH3.0~5.0) 是水稻(8.60%、35.90%)<小麦(12.91%、51.60%)<油菜(21.44%、52.99%),且高强度酸雨(pH3.0~3.5) 胁迫下更为明显(水稻 2.92%、10.90%<小麦 7.92%、24.0%<油菜 14.92%、40.46%).同样证明水稻种子抗酸雨能力强于油菜.

2.1.4 对种子异状发芽率影响

异状发芽率指“只长出胚芽而无胚根(或胚根生长异常)的种子数占供试种子数之百分比,表示逆境对种子萌发伤害效应”.实验表明,随酸雨(pH2.5~5.0)强度降低,水稻与小麦异状发芽率呈下降趋势,pH 2.5 时,水稻异状发芽率高达 90%,pH 3.0 陡降至 4.67%,小麦则为 40.67%、12.67%,pH ≥3.5 后,水稻与小麦异状发芽率与 CK 几乎无差别.与之对应的是油菜种子,在 pH2.5 时多数已经死亡,少数异状发芽种子在萌发实验结束时也致死.水稻异状发芽种子大部分只长出胚芽而无胚根,但当胁迫萌发实验结束转与 CK 相同条件时,仍能长出胚根恢复生长.反映

出水稻小麦耐酸雨冲击能力强于油菜(表 1) .

2.2 酸雨对 3 种植物种子萌发生理的影响

2.2.1 对种子吸水值影响

表 2 数据显示,不同 pH 酸雨处理水稻、小麦与油菜种子,其吸水值均随 pH(2.0~5.0) 增加而增大,两者吸水值与 pH 呈显著正相关($r=0.9597、0.9928、0.9720$) ,唯在增幅与增速(与 CK 差值) 上存在差异,与 CK 相比,水稻种子吸水值增幅(4.84%)<小麦(6.65%)<油菜(10.38%),增速尤其是低 pH(pH2.0~3.0) 酸雨胁迫下的增速,水稻(-1.71%)>小麦(-1.99%)>油菜(-8.35%).虽然此强度酸雨对水稻、小麦与油菜吸水值都有显著抑制效应,但水稻种子水分代谢对酸雨胁迫的适应性反应速度优于小麦,优于油菜.

2.2.2 对种子呼吸速率影响

呼吸速率是种子萌发过程中能量代谢状态,或组织损伤程度的间接反映.在不同 pH(2.0~5.0) 酸雨胁迫下,水稻、小麦和油菜种子呼吸速率均发生明显改变,且与 pH 呈显著正相关($r=0.9865、0.9988、0.9889$) ;与 CK 相比(表 2),水稻呼吸速率变幅(73.07%)<小麦(83.87%)<油菜(87.50%),尤其在高强度酸雨(pH2.0~3.0) 胁迫下,三者呼吸速率与 CK 相比,均达差异显著水平,但水稻呼吸速率变幅(23.07%)<小麦(25.81%)<油菜(56.25%),表明酸雨对水稻与小麦能量代谢的干扰小于油菜.

表 2 酸雨对 3 种植物种子生理活动的影响

Table 2 The effects of acid rain on physiological activities of plant seeds							
植物	处理/pH	吸水值/ %	呼吸速率	贮藏物质消耗率/ %	贮藏物质运转率/ %	芽长抑制指数/ %	根长抑制指数/ %
水稻	CK	36.14a	0.26(100.00) a	31.46a	33.65a	0.00a	0.00a
	2.0	30.40d	0.06(23.08) e	24.35c	0.00d	100.00e	100.00d
	2.5	33.64c	0.10(38.46) d	25.07c	6.14c	86.11 d	100.00d
	3.0	34.43bc	0.12(46.15) d	28.56b	25.21 b	12.84c	78.66c
	3.5	34.91b	0.16(61.54) c	29.52b	28.49bc	8.28b	36.49b
	4.0	35.11ab	0.22(84.62) b	30.41 ab	31.17ae	0.84a	0.92a
	5.0	35.24ab	0.25(96.15) a	31.95a	34.42a	-1.61a	-2.30a
小麦	CK	60.39a	0.31(100.00) a	27.16a	46.35a	0.00a	0.00a
	2.0	53.77d	0.04(12.90) f	12.69e	0.00d	100.00f	100.00e
	2.5	55.52c	0.07(22.58) e	15.33d	2.84d	95.90e	100.00e
	3.0	58.40b	0.11(38.71) d	20.83c	33.18c	34.32d	80.89d
	3.5	59.21b	0.16(51.61) c	23.48b	40.23b	15.43c	40.87c
	4.0	60.39a	0.21(67.74) b	25.22b	45.51a	3.72b	3.15b
	5.0	60.42a	0.30(96.77) a	27.78a	46.25a	-0.34a	-1.56a
油菜	CK	93.21a	0.16(100.00) a	16.74a	43.18a	0.00a	0.00a
	2.0	81.34d	0.04(25.00) e	28.60d	0.00e	100.00e	100.00f
	2.5	82.27d	0.07(43.75) d	30.03d	0.00e	100.00e	100.00f
	3.0	84.86c	0.13(81.25) c	25.02c	27.13d	56.36d	85.07e
	3.5	86.17c	0.15(93.75) a	21.20b	39.23c	17.51c	44.32d
	4.0	90.67b	0.16(100.00) a	19.87b	41.96b	5.76b	17.80c
	5.0	91.72ab	0.18(112.50) b	17.47a	42.83ab	0.49a	3.46b

2.2.3 对种子贮藏物质消耗率与运转效率影响

表 2 数据说明,随 pH(2.0 ~ 5.0)上升,水稻、小麦贮藏物质消耗率和运转效率都呈增加趋势,且与 pH 呈显著正相关 ($r = 0.9815, 0.9934, 0.9620, 0.9747$). 油菜 2 项指标变化呈明显消长态势,即贮藏物质消耗率与 pH 呈负相关 ($r = -0.9962$),运转效率与 pH 呈正相关 ($r = 0.9840$). 低 pH(2.0 ~ 3.0)条件下,油菜种子呼吸增强,储藏物质消耗增加,外输减少,暗示此时生理代谢出现紊乱,或大量物质用以损伤胚细胞的修复^[13,14];从贮藏物质运转效率改变走向看,pH3.0 时,水稻降幅(8.44%) < 小麦(13.17%) < 油菜(16.05%);pH3.0 ~ 5.0 时,水稻变幅(9.21%) < 小麦(13.07%) < 油菜变幅(15.70%),表明水稻种子萌发过程中,贮藏物质运转效率对酸雨胁迫耐受强度 > 油菜.

2.2.4 对水稻、油菜种子抑制指数的影响

抑制指数直观反映出酸雨对种子萌发的抑制强度.表 2 数据指出,酸雨对水稻、小麦与油菜根、芽抑制强度随 pH(2.0 ~ 5.0)上升减弱,呈显著负相关 ($r = -0.9794, -0.9768, -0.9825, -0.9563, -0.9634, -0.9974$). pH2.5 时,水稻根、芽抑制指数(100.0%,86.11%) < 小麦(100.0%,95.90%) < 油菜(100.0%,100.0%),pH3.0 ~ 5.0 时,酸雨对水稻根、芽最大抑制强度为 78.66%、12.84%,明显小于小麦 80.89%、34.32%,二者都小于油菜 85.07%、56.36%;各胁强下,水稻根、芽抑制指数 < 小麦 < 油菜.说明水稻抗酸雨能力高于油菜.至于两者根长抑制指数 > 芽长抑制指数,或与酸雨对根系直接胁迫、对芽生长间接伤害有关.

3 结论

(1) 酸雨胁迫强度(pH) ≤ 2.5 时,因酸度过高导致水稻、小麦和油菜种子皆不萌发,表现为发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数为 0;

(2) 酸雨胁迫强度(pH) ≥ 3.0 时,水稻、小麦和油菜种子响应酸雨胁迫的 5 项萌发指标变幅是水稻

< 小麦 < 油菜,酸雨伤害阈值是水稻(pH3.0 ~ 3.5)

< 小麦(pH3.5 ~ 4.0) < 油菜(pH(4.0 ~ 5.0));

(3) 水稻、小麦和油菜种子萌发的 6 项生理指标与酸雨强度(pH)呈明显正(或负)相关.酸雨胁迫强度(pH) ≥ 2.5 时,3 种植物种子 6 项生理指标的变幅是水稻 < 小麦 < 油菜,其生理反应阈值(pH ≥ 2.0) < 萌发反应阈值(pH ≥ 3.0).

参考文献:

[1] Kang H, L W Sang. Responses of maternal siblings of *Pinus densiflora* to simulated acid rain[J]. *Plant Biology*, 2001, **44**(3): 131 ~ 140.

[2] 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.

[3] 李荣生,胡哲生,时忠杰. 模拟酸雨对蕹菜种子发芽的影响[J]. *农业环境保护*, 2001, **20**(5): 355 ~ 356,365.

[4] 聂呈荣,陈思果,温玉辉,等. 模拟酸雨对花生种子萌芽及幼苗生长的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2003, **25**(1): 35 ~ 36.

[5] 彭彩霞,彭长连,林桂珠,等. 模拟酸雨对农作物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2003, **11**(4): 400 ~ 404.

[6] Park J B, Lee S. Growth responses of *Arabidopsis thaliana* exposed to simulated acid rain[J]. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 1999, **40**(1): 146 ~ 151.

[7] 张耀民,吴丽英,王晓霞,等. 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] 颜启传. 种子检验原理和技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,2001. 2,66,102.

[9] 方能虎,洪法水,赵贵文. 稀土元素对水稻种子萌发活力、吸水量和膜透性的影响[J]. *稀土*, 2000, **21**(4): 52 ~ 54.

[10] 贺润喜,王玉国,张石城. 用电导仪测定植物组织呼吸速率[J]. *山西农业大学学报*, 1997, **17**(2): 165 ~ 167.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] Zhou Q, Huang XH, ZHANG Y, et al. Effect of cerium on seed germination under acid rain[J]. *Rare Earths*, 2002, **18**(4): 298 ~ 300.