

水稻与油菜种子萌发对酸雨的胁迫反应

曾庆玲¹, 张光生¹, 沈东兴², 戴玉锦³, 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. 锡山区种子公司, 江苏 无锡 214064; 3. 苏州科技学院, 江苏 苏州 215009)

摘要:采用 pH 值为 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、5.0 的模拟酸雨处理水稻、油菜种子的试验结果表明, 在 pH 2.0 时两者均不发芽, 在 pH 2.5 时只有水稻异状发芽, pH \geq 3.0 时, 水稻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, 水稻异状发芽率则随 pH 值上升而降低. 部分生理指标的试验结果表明, 水稻和油菜的吸水值、呼吸速率、贮藏物质运转效率也与 pH 值显著正相关, 水稻贮藏物质消耗率与 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, 水稻种子各项指标变幅低于油菜的事实表明, 水稻抗酸雨胁迫能力强于油菜.

关键词:酸雨; 水稻; 油菜; 萌发

中图分类号:S131 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 - 2043(2004)05 - 0921 - 05

Effect of acid rain on germination of Rice and Rape

ZENG Qing-ling¹, ZHANG Guang-sheng¹, SHEN Dong-xing², DAI Yu-jin³, ZHOU Qing¹

(1. The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Wuxi 214036, China; 2. Seed company, Xishan District, Wuxi 214064, China; 3. College of Science and Technology of Suzhou, Suzhou 215009, China)

Abstracts: Rice and rape seeds were subjected to a simulated acid rain adjusted to pH value of 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0, and to pH values of 6.5 (the control) 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 remarkably inhibited by pH 2.0 treatments for the two species. Rice seeds germinated abnormally at pH 2.5. Rape seeds didn't germinated at pH 2.5. From pH 2.5 to pH 5.0, the percentage of abnormal germination of rice decreased in relation with decreased acidity levels. When pH values above 3.0, percentage germination, germination energy, germination index and vigor index of rice and rape seeds increased in relation with decreased acidity levels. The positive correlation between each index and pH value was remarkable. From pH 3.0 to pH 5.0, the amplitude differences of these indexes of rice seeds were 4.00%, 4.67%, 3.60%, 35.90%, respectively. In the same acidity levels, the amplitude differences of rape seeds were 16.67%, 10.67%, 21.44%, 52.99%, respectively. These data evidenced that the amplitude differences of these indexes of rice seeds were remarkably lower than those of rape. The experiment data about physiological aspect demonstrated that water absorption rate, respiratory rate and the transformation rate of storage reserve of rice and rape seeds also increased with increased pH values. The positive correlation between these indexes and pH value was remarkable. The loss rate of storage reserve of rice increased with increased pH values but that of rape decreased. Inhibition index of shoot and root length of two kinds of seeds decreased in relation with increased pH values. The negative correlation between inhibition index and pH value also was remarkable. From pH 2.0 to pH 5.0, the amplitude differences of water absorption rate, respiratory rate of rice seeds were 4.84%, 73.07%, respectively. The amplitude differences of rape seeds were 10.38%, 87.50%, respectively. From pH 3.0 to pH 5.0, the loss rate of storage reserve, the transformation rate of storage reserve, inhibition index of root length, inhibition index of shoot length of rice seeds were 3.39%, 9.21%, 77.74%, 12.00%, respectively. The amplitude differences of rape seeds were 7.55%, 15.70%, 81.61%, 55.87%, respectively. The amplitude differences of index of rice seeds were lower than those of rape. The experiment data suggested that rice had stronger fastness than rape under acid rain stress.

Keywords: acid rain; rice; rape; germination

收稿日期: 2003 - 10 - 20

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(1976—), 女, 重庆梁坪人, 环境与生态工程硕士。

联系人: 周青, E-mail: zqwx@263.sina.com

酸雨对植物的生态生理影响国内外已有大量报道^[1],但多数关于酸雨影响植物的研究很少考虑种子组成以及萌发过程中种子内在变化对酸雨影响的反应^[2]。因此,研究不同抗性植物种子萌发及生理生化过程对酸雨胁迫伤害的应激反应甚为重要。本试验以抗酸雨植物水稻(*Oryza sativa*)和敏感性植物油菜(*Brassica juncea*)种子为试材^[3],研究其萌发过程对酸雨急性胁迫伤害的差异反应,旨在进一步认识酸雨伤害植物的机理,并为酸雨防治研究积累基础试验数据。

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^[4],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。以蒸馏水将母液调制成 pH 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、5.0 的模拟雨水,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”、油菜“淮杂油一号”种子用 0.1% 升汞分别消毒 10、6 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 层滤纸的培养皿中,以 pH 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、5.0 酸雨进行胁迫处理,对照(CK)为与母液离子成分相同的中性溶液(pH 6.5),置恒温培养箱中(25℃±0.5℃),水稻浸种 24 h,油菜浸种 12 h 后萌发,每处理 3 皿,每天更换溶液,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^[5]进行。

发芽指数: $GI = \sum (Gt / Dt)$,式中 Gt 为在不同时间的发芽数, 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,以每株苗的平均鲜重(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^[6]。

呼吸速率:参照文献[7],植物种子萌发 3 d,用 DDS-307 型电导率仪测定种子呼吸速率,单位以 $\text{mg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$ 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) / 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 + 子粒) × 100%^[8]。

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%^[9]。

2 试验结果

2.1 酸雨对水稻、油菜种子萌发状况的影响

2.1.1 对种子发芽率的影响

发芽率是反映种子品质优劣的重要指标。表 1、2 数据显示,除酸雨强度为 pH 2.0~2.5 时,2 种抗性植物种子发芽率均为零外,在其他酸雨(pH)强度上,二者发芽率均随 pH 上升而增加,水稻和油菜发芽率都与 pH 呈显著正相关(r 值分别为 0.995 9、0.955 2);从降幅看,pH 3.0 酸雨使水稻发芽率下降 2.67%,与 CK 差异不显著。油菜则不然,等强度酸雨胁迫下,降幅达 15.33%,呈差异显著水平;发芽率变幅比较(pH 3.0~5.0)同样显示,水稻为 4.0%,明显低于油菜(16.67%)。上述结果表明,水稻和油菜种子萌发对酸雨耐受性不同,水稻耐酸雨胁迫能力强于油菜。

2.1.2 对种子发芽势的影响

发芽势是表征种子活力指标。pH 2.0~2.5 时,水稻和油菜种子发芽势为零,此后二者发芽势随 pH 上升而增加。酸雨影响二者发芽势规律近同于发芽率,即 pH 3.0~5.0 时,水稻和油菜发芽势与 pH 呈显著正相关(r 值分别为 0.998 6、1.000);pH 3.0 时,水稻下降 0.67%,与 CK 差异不显,油菜(8.0%)达差异显著水平;发芽势变幅(pH 3.0~5.0),水稻 4.67%,明显低于油菜(10.67%),pH 5.0 时,水稻 > CK 4.0%,油菜 > CK 2.67%,再次证明水稻抗酸雨能力强于油菜,见表 1、表 2。

2.1.3 对发芽指数和活力指数的影响

发芽与活力指数是反映种子活力的综合指标。酸雨胁迫下,二项指标变律也与发芽率变化近同。pH 3.0~5.0 时,水稻和油菜发芽与活力指数与 pH 呈显著正相关(r 值分别为 0.981 7、0.994 8、0.990 8、0.987 5);pH 3.0 时,水稻二项指标降幅为 8.89% 和 35.90%,油菜为 17.45% 和 49.29%,均与 CK 差异明显,但降幅油菜 > 水稻;二项指标变幅(pH 3.0~5.0),水稻(8.60%、35.90%) < 油菜(21.44%、52.99%),且高强度酸雨(pH 3.0~3.5)胁迫下更为明显(水稻 2.92%、10.90% < 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 对种子异状发芽率的影响

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”。试验表明,随酸雨(pH2.5~5.0)强度降低,水稻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%,pH \geq 3.5 后,水稻异状发芽与 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为与 CK 相同条件时,仍能长出胚根,恢复生长。反映出水稻耐酸雨冲击能力强于油菜,见表 1、表 2。

表 1 酸雨对水稻种子萌发的影响

Table 1 The effects of acid rain on rice seeds germination

处理/pH	发芽率/%	差值	发芽势/%	差值	发芽指数	相对值	活力指数	相对值	异状发芽率/%	差值
CK	96.00	—	92.00	—	31.49	100.0	3.76	100.00	1.33	—
2.0	0.00**	-96.00	0.00**	-92.00	0.00**	0.00	0.00**	0.00	0.00	-1.33
2.5	0.00**	-96.00	0.00**	-92.00	0.00**	0.00	0.00**	0.00	90.00**	+88.67
3.0	93.33	-2.67	91.33	-0.67	28.69**	91.11	2.41**	64.10	4.67*	+3.34
3.5	94.67	-1.33	92.00	0.00	29.60*	94.03	2.82**	75.00	1.33	0.00
4.0	95.33	-0.67	92.67	+0.67	31.09	98.73	3.43	91.22	1.33	0.00
5.0	97.33	+1.33	96.00	+4.00	31.40	99.71	3.76	100.00	1.33	0.00

注: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$,下同。

表 2 酸雨对油菜种子萌发的影响

Table 2 The effects of acid rain on rape seed germination

处理/pH	发芽率/%	差值	发芽势/%	差值	发芽指数	相对值	活力指数	相对值	异状发芽率/%	差值
CK	85.33	—	75.33	—	33.58	100.00	3.51	100.00	0.00	—
2.0	0.00**	-85.33	0.00**	-75.33	0.00**	0.00	0.00**	0.00	0.00	0.00
2.5	0.00**	-85.33	0.00**	-75.33	0.00**	0.00	0.00**	0.00	0.00	0.00
3.0	70.00**	-15.33	67.33**	-8.00	27.72**	82.55	1.78**	50.71	0.00	0.00
3.5	84.67	-0.66	74.00	-1.33	32.73	97.47	3.20**	91.17	0.00	0.00
4.0	85.33	0	78.00	+2.67	34.58*	102.98	3.57	101.71	0.00	0.00
5.0	86.67	+1.34	78.00	+2.67	34.92**	103.99	3.64	103.70	0.00	0.00

2.2 酸雨对水稻、油菜种子萌发生理的影响

萌发的生理基础是胚细胞内各种生理活动由静转动,对其分析有助于获得更多影响种子萌发信息。

2.2.1 对种子吸水值的影响

表 3、表 4 数据显示,不同 pH 酸雨处理水稻与油菜种子,其吸水值均随 pH(2.0~5.0)增加而增大,两者吸水值均与 pH 呈显著正相关($r=0.9597, 0.9928, 0.9720$),惟在增幅与增速(与 CK 差值)上存在差异,与 CK 相比,水稻种子吸水值增幅(4.84%)<油菜(10.38%),但增速,尤其是低 pH(pH2.0~3.0)酸雨胁迫下的增速,水稻(-5.74、-2.5、-1.71)>油菜(-11.87、-10.94、-8.35),虽然此强度酸雨对水稻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油菜。

2.2.2 对种子呼吸速率的影响

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 值分别为 0.9865、0.9889);

与 CK 相比,水稻呼吸速率变幅(73.07%)要低于油菜(87.50%),尤其在高强度酸雨(pH2.0~3.0)胁迫下,两者呼吸速率与 CK 相比,均达差异显著水平,但水稻呼吸速率变幅(23.07%)<油菜(56.25%),表明酸雨对前者能量代谢的干扰小于后者,见表 3、表 4。

2.2.3 对种子贮藏物质消耗率与运转效率的影响

表 3、表 4 数据说明,随 pH(2.0~5.0)上升,水稻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 值分别为 0.9815、0.9620)。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 值分别为 -0.9962),运转效率与 pH 呈正相关(r 值分别为 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,揭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;从贮藏物质运转效率改变走向看,pH2.5~3.0 时,水稻降幅(27.51%和 8.44%)<油菜(43.18%、16.05%),pH3.0~5.0 时,水稻变幅(9.21%)<油菜变幅(15.70%),表明种子萌发过程中,贮藏物质运转效率对酸雨胁迫耐受强度为水稻>

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3、表4数据指出,酸雨对水稻与油菜根、芽抑制强度随 pH(2.0~5.0) 上升减弱,呈显著负相关($r = -0.9794$ 、 -0.9825 、 -0.9563 、 -0.9974)。pH2.5时,水稻根、芽抑制指数(100.0%、86.11%)

<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%,明显小于油菜85.07%、56.36%;二指标变幅为前者(77.68%、8.36%)<后者(81.61%、55.87%),说明水稻抗酸雨能力高于油菜。至于两者根长抑制指数均大于芽长抑制指数,则与酸雨对根系直接胁迫、对芽生长间接伤害有关。

表3 酸雨对水稻种子生理活动的影响

Table3 The effects of acid rain on rice seed physiological activities

处理 /pH	吸水值 /%	差值	呼吸速率	相对值	贮藏物质消耗率/%	差值	贮藏物质运转率/%	差值	芽长抑制指数/%	差值	根长抑制指数/%	差值
CK	36.14	—	0.26	100.00	31.46	—	33.65	—	0.00	—	0.00	—
2.0	30.40**	-5.74	0.06**	23.08	24.35**	-7.11	0.00**	-33.65	100**	+100	100**	+100
2.5	33.64**	-2.50	0.10**	38.46	25.07**	-6.39	6.14**	-27.51	86.11**	+86.11	100**	+100
3.0	34.43**	-1.71	0.12**	46.15	28.56**	-2.90	25.21**	-8.44	12.84**	+12.84	78.66**	+78.66
3.5	34.91*	-1.23	0.16**	61.54	29.52*	-1.94	28.49**	-5.16	8.28**	+8.28	36.49**	+36.49
4.0	35.11	-1.03	0.24	92.31	30.41	-1.05	31.17	-2.48	0.84	+0.84	0.92	+0.92
5.0	35.24	-0.90	0.26	100.03	1.95	+0.49	34.42	+0.77	-1.61	-1.61	-2.30	-2.30

表4 酸雨对油菜种子生理活动的影响

Table4 The effects of acid rain on rape seed physiological activities

处理 /pH	吸水值 /%	差值	呼吸速率	相对值	贮藏物质消耗率/%	差值	贮藏物质运转率/%	差值	芽长抑制指数/%	差值	根长抑制指数/%	差值
CK	93.21	—	0.16	100	16.74	—	43.18	—	0	—	0	—
2.0	81.34**	-11.87	0.04**	25.00	28.60**	+11.86	0.00**	-43.18	100**	+100	100**	+100
2.5	82.27**	-10.94	0.07**	43.75	30.03**	+13.29	0.00**	-43.18	100**	+100	100**	+100
3.0	84.86**	-8.35	0.13**	81.25	25.02**	+8.28	27.13**	-16.05	56.36**	+56.36	85.07**	+85.07
3.5	86.17**	-7.04	0.15	93.75	21.20**	+4.46	41.08*	-2.10	9.59**	+9.59	35.90**	+35.90
4.0	90.67	-2.54	0.16	100	19.87*	+3.13	41.96	-1.22	5.76**	+5.76	17.80**	+17.80
5.0	91.72	-1.49	0.18	112.51	7.47	+0.73	42.83	-0.35	0.49	+0.49	3.46**	+3.46

3 讨论

3.1 水稻与油菜种子萌发对酸雨胁迫反应的差异

本研究表明,水稻、油菜种子萌发对酸雨胁迫的响应明显不同,差别主要表现在伤害阈限、降(增)幅与变幅3个方面:

(1)从伤害阈限看,pH2.0~2.5酸雨完全抑制2种植物萌发,表现为发芽率(势)、发芽(活力)指数为零。这与酸强过高、胁迫过长(7d)引起胚细胞死亡有关,但水稻阈限pH3.0~3.5>油菜pH3.5~5.0。

(2)水稻、油菜种子萌发响应酸雨胁迫的5项萌发指标降(增)幅明显不同,与各自CK相比,水稻降(增)幅(0.67%~35.9%)<油菜(8.0%~49.29%)。

(3)在pH3.0~5.0范围内,与各自CK相比,水稻与油菜种子的上述5项萌发指标变幅是水稻

(4.0%~35.9%)<油菜(8.0%~52.99%)。说明酸雨对水稻萌发的影响低于油菜,或水稻对酸雨的抗性高于油菜。

3.2 种子萌发响应差异的内在原因

进一步研究发现,酸雨胁迫下种子生理生化过程改变是造成萌发响应差异的内在原因:

(1)对表4数据相关分析发现,水稻与油菜种子萌发的6项生理指标与pH呈明显正(或负)相关,说明此时2种种子生理活动严格受酸雨调控。

(2)就响应程度而言,水稻在伤害阈限、降(增)幅与变幅3个方面的改变明显小于油菜,反映出水稻对酸雨耐受性高于油菜。

(3)呼吸强度(能量代谢),吸水值(水分代谢),储藏物质消、输(利用)为总领种子萌发的重要生理过程,影响原生质状态、酶的活化与合成、能量代谢、细胞与组织构建或修复。

总之, 酸雨胁迫下, 水稻 3 者间消长变化协调良好, 如随 pH 上升(酸性减弱), 呼吸由弱变强, 储藏物质消耗分解加快、外输增加, 满足胚根(芽)生长或修复所需, 以至胚根(芽)抑制指数迅即递减。油菜 3 者间变化态势与前不同, 即随 pH 上升、呼吸强度增强, 储藏物质消耗分解下降, 但始终大于 CK, 外输递增, 然而增幅小于水稻。呼吸增强, 消耗分解增加, 外输减少, 导致胚根(芽)生长物质匮乏, 以致胚根(芽)抑制指数递减缓慢。随胁迫减弱, 储藏物质外输增加, 对胚根(芽)生长限制减弱, 抑制指数减低。推测此与低 pH2.0~3.0 条件下, 种子代谢出现紊乱, 储藏物质主要用于受损胚细胞修复等有关^[10,11]。至于 pH5.0 时 2 种植物部分萌发与生理指标优于 CK, 是否与酸雨中含 N、S 元素有关及酸雨对水稻伤害阈值高于以往报道^[3], 是否与酸雨胁迫时长、品种相异, 发育阶段不一有关等, 则尚待证实。

参考文献:

[1] Walker J T, Philips D V, Melin J S. Effects of intermittent acidic irrigations on soybean yields and frogeye leaf spot[J]. *J Environmental and*

Experimental Botany, 1994, 34 (3): 311 - 318.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 颜启传. 种子检验原理和技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001. 66, 102.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘华山, 李玉玲, 王德勤, 台国琴, 孟凡庭, 杨国红. 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.
- [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] 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.
- [11] ZHOU Qing, et al. Effect of cerium on seed germination under acid rain [J]. *J Rare Earths*, 2002, 18(4): 298 - 300.