

# 水稻叶片对模拟酸雨伤害的生理反应

惠 红 高绪评

(江苏省植物研究所, 南京 210014)  
中国科学院

**摘要** 水稻暴露于 pH 2.5~4.2 的模拟酸雨中 2 个月后测定表明: 叶片叶绿素含量下降, 细胞液离子外渗率增加, 气孔阻抗增高, 蒸腾速率降低。不同叶位的水稻叶片对模拟酸雨的敏感性不同, 杂交稻(汕优 63)对模拟酸雨的敏感性较粳稻(中粳 864)高。

**关键词** 模拟酸雨; 水稻; 生理反应

**The physiological responses of rice leaves to simulated acid rain** Hui Hong and Gao Xu-Ping (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014), *J. Plant Resour. & Environ.* 1996, 5(3): 41~45

Rice was exposed to pH 2.5~4.2 simulated acid rain for two months, the chlorophyll content and transpiration rate of leaves were reduced, with the percent of percolating ion and stomatal resistance increasing. The leaves in different leaf position possessed different sensitivity to simulated acid rain. Hybrid rice (Shanyou 63) was more sensitive than keng rice (Zhongjing 864) to simulated acid rain.

**Key words** simulated acid rain; rice; physiological responses

酸雨对生态环境的破坏, 已成为最引人注目的全球性环境问题之一。近年来, 随着工业生产高速发展, 我国南方大多数城市和地区普遍出现酸雨, 尤以西南地区的酸雨最严重<sup>[3]</sup>。酸雨能影响植物的生长发育, 酸性较强的酸雨甚至引起植物组织的伤害或坏死<sup>[6,9]</sup>, 造成农作物减产和品质下降<sup>[7,8]</sup>。因此, 酸雨已成为造成农作物减产的重要因素之一。本文通过观察水稻叶片在模拟酸雨影响下叶绿素含量、细胞质膜透性、气孔阻抗及蒸腾速率等生理指标的变化, 进一步研究酸雨对植物影响的生理机制, 探讨植物对酸雨的生理响应, 为研究酸雨对水稻产量和质量的影响阈值, 制订环境质量标准提供依据。

## 1. 材料和方法

### 1.1 试验材料和处理

试验于 1989 年在中山植物园试验场地进行, 采用田间开放式研究系统, 为避免自然降雨干扰, 场地上方安装活动塑料大棚。试验植物选用粳稻“中粳 864”和杂交稻“汕优 63”, 以幼苗移栽的方式盆栽, 按常规管理, 选择生长一致的正常植株进行模拟酸雨处理。

模拟酸雨的离子成分根据当地自然降雨的化学组分配制(表 1), 配制时全部采用比电阻

为 1.0 兆欧以上的去离子纯水,用当地天然降雨中硫酸根和硝酸根离子含量的重量比配成混合液,酸度用精度为 0.01 pH 的离子计调制。试验设置 pH 5.6, 4.2, 3.5 及 2.5 四个处理,以 pH 5.6 为对照。每一处理选用 10 盆以上植株。用人工降水器每周喷模拟酸雨 2 次,每次每个处理喷洒 50 L,持续时间约为 0.5 h,连续试验 2 个月。

表 1 模拟酸雨的离子成分

Tab 1 Ion components of simulated acid rain

离子 Ion	含量(mg/l) Content	离子 Ion	含量(mg/l) Content	离子 Ion	含量(mg/l) Content	离子 Ion	含量(mg/l) Content
K <sup>+</sup>	0.22	Ca <sup>2+</sup>	2.43	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.64	Cl <sup>-</sup>	0.59
Na <sup>+</sup>	0.20	Mg <sup>2+</sup>	0.07	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.22	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.63

## 1.2 测定项目和方法

1.2.1 叶片叶绿素含量测定 选用旗叶和三位叶,用 SPAD 501 型叶绿素含量测定仪测定,每个处理重复测定 20 片叶子。

1.2.2 叶片细胞质膜透性测定 选用正常叶片,将叶基部 10 cm 以下部分和叶尖 5 cm 以上部分除去,取中段洗净,吸干水分,剪成 0.5 cm 的小段,混匀。称取 1.0 g,加入 20 ml 去离子水,经真空抽气,放置 5 h,用 DDS-11 型电导仪测定其电导率,并与全杀死叶片比较。

1.2.3 叶片气孔阻抗和蒸腾速率测定 选用旗叶 10~12 片,用 LC-1600 型便携式气孔仪测定叶背中部主脉附近的气孔阻抗和蒸腾速率。

## 2. 结果与讨论

### 2.1 模拟酸雨对水稻叶片叶绿素含量的影响

2.1.1 随着模拟酸雨 pH 值的降低,水稻叶片叶绿素含量呈下降趋势(表 2) 以杂交稻旗叶为例,与 pH 5.6 对照相比,pH 4.2, 3.5, 2.5 模拟酸雨使叶片叶绿素含量分别降低了 1.69%, 1.97% 和 5.92%,其中 pH 2.5 的模拟酸雨对叶片叶绿素含量有显著的影响( $P < 0.01$ )。而杂交稻三位叶、梗稻旗叶和三位叶受 pH 2.5 模拟酸雨的影响后,叶绿素含量也显著降低,分别比对照降低了 15.15%, 6.78% 和 6.29%。以上的结果说明当模拟酸雨的 pH 值达到 2.5 左右时,水稻叶片叶绿素合成受抑,分解速度增加,光合作用降低。

表 2 模拟酸雨对水稻叶片叶绿素含量的影响

Tab 2 The effects of simulated acid rain on the chlorophyll content of rice leaves

品种 Variety	叶位 Leaf position	叶绿素含量 Chlorophyll content (mg/100 cm <sup>2</sup> )			
		pH 5.6(CK)	pH 4.2	pH 3.5	pH 2.5
梗稻 Keng rice	旗叶 Flag leaves	3.54 ± 0.14	3.44 ± 0.22	3.47 ± 0.22	3.30 ± 0.20 <sup>a</sup>
	三位叶 Third leaves	3.50 ± 0.39	3.37 ± 0.20	3.36 ± 0.24	3.28 ± 0.31 <sup>b</sup>
杂交稻 Hybrid rice	旗叶 Flag leaves	3.55 ± 0.18	3.49 ± 0.19	3.48 ± 0.23	3.34 ± 0.25 <sup>a</sup>
	三位叶 Third leaves	3.30 ± 0.30	3.15 ± 0.34	3.09 ± 0.25 <sup>a</sup>	2.80 ± 0.43 <sup>a</sup>

a:  $P < 0.01$ ; b:  $0.01 < P < 0.05$

2.1.2 不同叶位叶片的叶绿素含量与模拟酸雨的 pH 值有一定的关系 从图 1 可以看出,随

着模拟酸雨 pH 值的降低,三位叶的叶绿素含量与 pH 值呈线性相关( $r=0.982$ ,  $r=0.962$ ),而旗叶的叶绿素含量与 pH 值则呈双曲线关系( $r=-0.952$ ,  $r=-0.980$ )(见图 2)。植物不同叶片的叶绿素含量(Y)与模拟酸雨 pH 值(X)之间的关系各具特点,在相关关系  $Y=A+BX$  中表现为 A, B 值的不同<sup>[4]</sup>, A 值越大,表明叶片中叶绿素含量的本底值越高, B 的绝对值越大,表明叶绿素含量易受模拟酸雨 pH 值的影响,其敏感性越强。根据图 1 和图 2 相关方程分析可知,粳稻和杂交稻三位叶的 B 绝对值均比旗叶小,说明三位叶对模拟酸雨的敏感性较旗叶小,这与叶片的生长发育成熟度及其功能有关。旗叶是水稻的主要功能叶,其代谢处于旺盛期,生长比较幼嫩,因而,对模拟酸雨的敏感性较强。而三位叶较成熟,生长稳定,代谢功能渐渐衰减,所以,水稻三位叶对模拟酸雨的伤害具有较强的抗性。

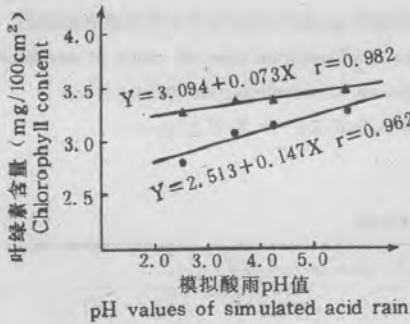


图 1 水稻三位叶叶绿素含量与模拟酸雨 pH 值的关系

Fig 1 The relationship between pH values of simulated acid rain and chlorophyll content in the third leaves of rice

● 杂交稻 Hybrid rice ▲ 粳稻 Keng rice

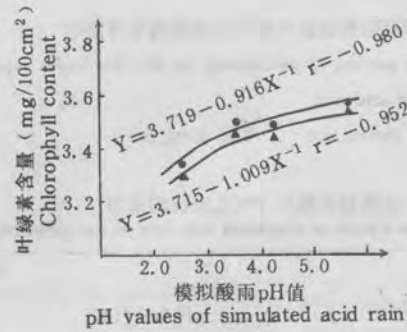


图 2 水稻旗叶叶绿素含量与模拟酸雨 pH 值的关系

Fig 2 The relationship between pH values of simulated acid rain and chlorophyll content in the flag leaves of rice

● 杂交稻 Hybrid rice ▲ 粳稻 Keng rice

## 2.2 模拟酸雨对水稻叶片细胞质膜透性的影响

随着模拟酸雨 pH 值的降低,水稻叶片细胞质膜透性发生变化,细胞液离子外渗率增加(图 3),粳稻从 18.8% (pH 5.6)增加到 23.9% (pH 2.5),杂交稻从 20%增加到 29%。经曲线拟合,二者呈双曲线关系(见图 4),其相关方程杂交稻为  $Y^{-1}=0.0639-0.0703X^{-1}$ ,粳稻为  $Y^{-1}=0.0622-0.0526X^{-1}$ ,相关系数分别为  $r=-0.985$ ,  $r=-0.952$ 。相关系数检验表明,二者呈显著负相关( $P<0.05$ )。植物细胞膜是活细胞与外界环境之间的界面和屏障,当植物处于逆境条件时,不良环境首先刺激细胞膜,改变了细胞的差别透性,使细胞内电解质外渗增加,刺激越强烈,外渗量越大。因而,随着模拟酸雨 pH 值降低,  $[H^+]$  浓度增大,水稻叶片细胞质膜伤害加重,细胞内电解质的外渗率增加。但外渗的离子也部分中和了模拟酸雨的酸度,使其 pH 值升高,对模拟酸雨也起了一定的缓冲作用<sup>[5]</sup>。因此,细胞电解质外渗率增加现象既说明模拟酸雨对细胞质膜有损害,也表明植物叶片对模拟酸雨有一定的缓冲能力,是水稻叶片受模拟酸雨影响的一个生理指标,也是植物自身保护的一种措施。

## 2.3 模拟酸雨对水稻叶片气孔运动的影响

受模拟酸雨的影响,水稻叶片气孔运动明显改变(表 3)。粳稻叶片在 pH 5.6 的模拟酸雨中,其气孔阻抗为  $0.742 s \cdot cm^{-1}$ ,随着模拟酸雨 pH 值的降低,气孔阻抗增高,在 pH 2.5 时达

到  $0.957 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 而杂交稻则从 pH 5.6 时的  $0.413 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$  增加到 pH 2.5 时的  $0.567 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 每一处理的气孔阻抗都与对照存在着显著差异。

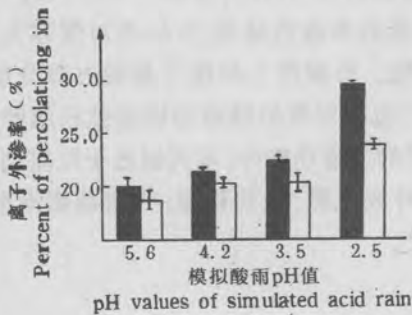


图3 模拟酸雨伤害后水稻叶片细胞离子外渗率

Fig 3 The percent of percolating ion for rice leaves exposed to simulated acid rain

■ 杂交稻 Hybrid rice □ 梗稻 Keng rice

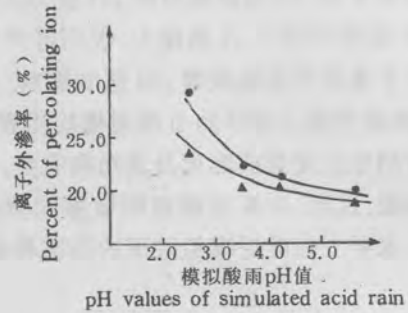


图4 模拟酸雨 pH 值与水稻叶片离子外渗率的关系

Fig 4 The relationship between pH values of simulated acid rain and percent of percolating ion for rice leaves

● 杂交稻 Hybrid rice ▲ 梗稻 Keng rice

表3 模拟酸雨对水稻叶片气孔阻抗的影响

Tab 3 The effects of simulated acid rain on the stomatal resistance of rice leaves

水稻品种 Variety of rice	气孔阻抗 Stomatal resistance ( $\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ )			
	pH 5.6 (CK)	pH 4.2	pH 3.5	pH 2.5
梗稻 Keng rice	$0.742 \pm 0.0710$	$0.766 \pm 0.0956$	$0.796 \pm 0.110$	$0.957 \pm 0.118^a$
杂交稻 Hybrid rice	$0.413 \pm 0.0309$	$0.502 \pm 0.0583^a$	$0.470 \pm 0.0566^b$	$0.567 \pm 0.0108^a$

a:  $P < 0.01$ ; b:  $0.01 < P < 0.05$

已有实验证明<sup>[1]</sup>, 气孔保卫细胞中的 pH 值与  $\text{K}^+$  浓度的变化都能影响气孔运动, 这主要与保卫细胞中  $[\text{H}^+]$  和  $[\text{K}^+]$  的离子交换有关。酸雨中具有较高浓度的  $[\text{H}^+]$ , 当其沉降在水稻叶片上时, 叶片的吸收使得保卫细胞中  $[\text{H}^+]$  浓度增加, 干扰了正常的离子交换, 使得保卫细胞膨压下降, 气孔关闭, 这可能是酸雨引起水稻叶片气孔阻抗增高的原因之一。水稻叶片受酸雨污染后, 气孔关闭, 一方面使正常的代谢过程受到干扰, 另一方面也是叶片自身保护的一种措施, 因为气孔关闭可阻碍叶片继续通过气体交换吸收有害物质, 使植物免受进一步伤害。在其他气体污染质如  $\text{HF}$ 、 $\text{SO}_2$  等对植物的伤害过程中, 叶片气孔也有类似的运动变化。

#### 2.4 模拟酸雨对水稻叶片蒸腾作用的影响

水稻叶片受模拟酸雨影响, 其蒸腾速率发生变化(表 4), 模拟酸雨处理使杂交稻和梗稻叶片蒸腾速率下降, 这是由于模拟酸雨首先对气孔运动有伤害, 引起气孔关闭, 改变叶片正常的蒸腾作用。同时气孔关闭, 蒸腾速率的下降, 必然导致叶温升高而使叶片出现灼烧症状, 这也是酸雨对植物叶片伤害产生可见症状的原因之一。

#### 2.5 不同水稻品种对模拟酸雨的敏感性

不同品种的水稻植株对模拟酸雨伤害的敏感性有差异(表 5)。杂交稻三位叶在 pH 3.5 时, 叶绿素含量比对照下降 6.36%, 而梗稻三位叶在受到 pH 2.5 模拟酸雨的伤害时, 叶绿素含量才下降 6.29%; 在 pH 2.5 的模拟酸雨中, 杂交稻叶细胞电解质外渗率, 比对照增

表 4 模拟酸雨对水稻叶片蒸腾速率的影响

Tab 4 The effects of simulated acid rain on the transpiration rate of rice leaves

水稻品种 Variety of rice	蒸腾速率 Transpiration rate (mg/cm <sup>2</sup> ·s)			
	pH 5.6 (CK)	pH 4.2	pH 3.5	pH 2.5
粳稻 Keng rice	24.13 ± 1.23	23.67 ± 1.39	22.45 ± 1.11 <sup>b</sup>	22.54 ± 1.79 <sup>b</sup>
杂交稻 Hybrid rice	36.28 ± 0.82	34.50 ± 1.30 <sup>a</sup>	37.56 ± 2.02	33.32 ± 3.05 <sup>b</sup>

a; P &lt; 0.01; b; 0.01 &lt; P &lt; 0.05

表 5 模拟酸雨对粳稻和杂交稻叶片生理影响的比较 (%) \*

Tab 5 Comparison of the effects of simulated acid rain on leaves of Keng rice and Hybrid rice

水稻品种 Variety of rice	pH	叶绿素含量 Chlorophyll content		细胞离子外渗率 Percent of percolating ion	气孔阻抗 Stomatal resistance	蒸腾速率 Transpiration rate
		旗叶 Flag leaves	三位叶 Third leaves			
		粳稻 Keng rice	4.2			
	3.5	-1.98	-4.00	8.51	6.78	-6.96
	2.5	-6.78	-6.29	27.13	28.98	-6.59
杂交稻 Hybrid rice	4.2	-1.69	-4.55	6.03	21.55	-4.91
	3.5	-1.97	-6.36	13.07	13.80	3.53
	2.5	-5.92	-15.15	47.24	31.48	-8.41

\* 以 pH 5.6(CK)测定值为基准计算得出表中数据

The numbers in the table was calculated basis on the measurement values of pH 5.6 (CK).

加 47.20%，而粳稻只增加了 27.1%；在 pH 4.2 的模拟酸雨中，杂交稻叶片气孔阻抗显著高于对照，蒸腾速率显著低于对照，而粳稻叶片只在 pH 2.5 的酸雨中，气孔阻抗才与对照有显著差异。由此可见，杂交稻的叶片对模拟酸雨生理伤害的敏感性较粳稻高，受酸雨的生理危害比粳稻重，pH 3.5~4.2 的模拟酸雨对杂交稻叶片的生理活动已能产生影响，而对粳稻只有当模拟酸雨的 pH 值达到 2.5 时，才受到明显的生理伤害。这可能是由水稻不同品种间的遗传特性相异所致。因此在受酸雨污染较重和较频繁的地区，可以根据水稻不同品种间对酸雨的这种抗性差异，选种抗酸雨的粳稻品种，以避免或减少损失。

## 参 考 文 献

- 1 马丁 E S 著(张崇浩译). 1987: 气孔, 科学出版社, 北京.
- 2 中国环境科学院学术委员会办公室编. 1988: 第二届环境科学学术报告会论文集, 中国环境科学出版社, 北京.
- 3 冯宗炜主编. 1993: 酸雨对生态系统的影响——西南地区酸雨研究, 中国科学技术出版社, 北京.
- 4 单运峰主编. 1994: 酸雨、大气污染与植物, 中国环境科学出版社, 北京.
- 5 惠 红, 高绪评. 1989: 某些园林木本植物对模拟酸雨的缓冲能力, 见: 南京中山植物园研究论文集(1988~1989), 江苏科学技术出版社, 南京. 58~65.
- 6 Evans L S, T M Curry. 1979: *Amer. J. Bot.* 66(8): 953~962.
- 7 Evans L S, N F Gmur, D Mancini. 1982: *Environ. Exper. Bot.* 22(4): 445~453.
- 8 Johnston J W Jr, D S Shriner, C I Klarer. 1982: *Environ. Exper. Bot.* 22(3): 329~337.
- 9 Lee J J, E W David. 1979: *Forest Sci.* 25(3): 393~398.

(责任编辑: 宗世贤)