

## 臭氧对春小麦生长的影响及稀土的防护效应\*

### EFFECT OF OZONE ON GROWTH OF SPRING WHEAT AND THE PREVENTION OF RARE EARTH TO OZONE INJURY

安黎哲; 王勋陵 5512101

臭氧是一种严重危害植物的大气污染物, 虽然目前对臭氧防护的机制尚待研究, 但一般防护措施有3种: 改变植物的抗性, 提高植物的抗胁迫能力, 阻挡和分解臭氧; 调节植物的生理生化过程, 降低臭氧对植物引起的伤害。本文研究了稀土对春小麦伤害的防护作用, 为防护臭氧对植物的伤害提供参考。

#### 1 材料与方法

1.1 供试春小麦(*Triticum aestivum* L.)为81529-2品种, 种子经消毒后, 3月初盆栽, 置于塑料大棚内, 自然光照, 白天温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 晚上为 $15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 $60\% \pm 5\%$ , 4叶期时熏气, 取相同节位的叶来测定。

#### 1.2 稀土处理

供试稀土为混合稀土硝酸盐微肥(RE), 白银稀土公司提供, 含 $\text{RE}_2\text{O}_3$ 为38.17%, 配成0.3g/l的溶液。供试植物分为2组, 一组在2叶期喷施RE溶液, 7d后再喷施1次; 另一组喷清水作对照。

#### 1.3 臭氧熏气

采用开顶式熏气装置, 熏气罩内臭氧浓度为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 40\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 白天熏气4h, 共熏气21d, SY-1型臭氧发生器发生臭氧, 硼酸碘化钾法测定臭氧浓度。

#### 1.4 分析方法

按Arnon(1949)的方法测定叶绿素含量。用电导法测定电解质渗出率, 来确定膜透性的变化。按照Steponus方法<sup>[1]</sup>测定TTC还原力来确定叶片活力的大小。

#### 1.5 生长分析

在植物开始熏气前7d取样后, 每隔1周一次, 洗净吸干, 称取根、茎、叶及总解重, 测定叶面积。样品在 $80^{\circ}\text{C}$ 下干燥48h, 再分别称根、茎、叶及总干重, 计算相对生长率(RGR)、净同化率(NAR)、叶面积比(LAR)、叶重比(LWR)和叶面积系数(SLA), 生长分析所得数据全部采用Duncan多重检验法处理。

生长分析计算公式<sup>[2]</sup>:

$$RGR = \int \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} dt = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}, \quad NAR = \int \frac{1}{A} \frac{dW}{dt} dt = \frac{(W_2 - W_1)(\ln \bar{A}_2 - \ln \bar{A}_1)}{(t_2 - t_1)(\bar{A}_2 - \bar{A}_1)},$$

$$LAR = \frac{\bar{A}_2}{W_2}, \quad LWR = \frac{LW_2}{W_2}, \quad SLA = \frac{\bar{A}_2}{LW_2}$$

$\bar{A}_i$ —— $t_i$ 时刻整株植物的叶面积;  $\bar{A}$ ——叶面积变化函数;  $LW_i$ —— $t_i$ 时刻整株植物的叶干重;  $W_i$ —— $t_i$ 时刻整株植物干重;  $W$ ——整株植物干重的变化函数。

## 2 试验结果

### 2.1 臭氧熏气下稀土对植物生长的影响

暴露在臭氧中的植株其RGR小于对照, 当施用RE后植株RGR增高, 在臭氧熏气的第3周, RGR减少了4.6%, 在第4周其RGR接近于对照( $P > 0.05$ )。未施用RE的植株在处理的第3周和第4周RGR分别下

\* 本文为国家自然科学基金资助课题。

本文于1992年6月22日收到, 修改稿于1993年1月6日收到。

降了 10.2% 和 14.3% ( $P < 0.05$ ) (图 1, a)。由于在春小麦生长的前期呈指数生长, 生理代谢旺盛, 生长速度快, 对臭氧相对敏感, 因此,  $RGR$  在这一期间变化明显, 对植株生长的影响大。经 RE 处理的植株, 熏气结束后 1 周,  $RGR$  回升, 植物生长有良好恢复, 未经 RE 处理的植株,  $RGR$  却一直呈下降趋势。

$LAR$  是叶面积和植物总于重的比率, 在植物生长早期该比值最大。臭氧熏气使  $LAR$  下降, 施用 RE 的植株在熏气的第 3 周,  $LAR$  下降了 6.8% ( $P < 0.05$ ), 第 4 周有所回升, 仅低于对照 1.2%, 未施用 RE 的植株, 在处理的第 3 周和第 4 周  $LAR$  分别下降了 12% 和 11.5% ( $P < 0.05$ ) (图 1, b)。在现代生长分析模型中, 假设叶面积和于物质成正比, 结构于物质的生长取决于当时储存物质的数量<sup>[5]</sup>。 $LAR$  的减少表明臭氧熏气影响了植物的正常生长。

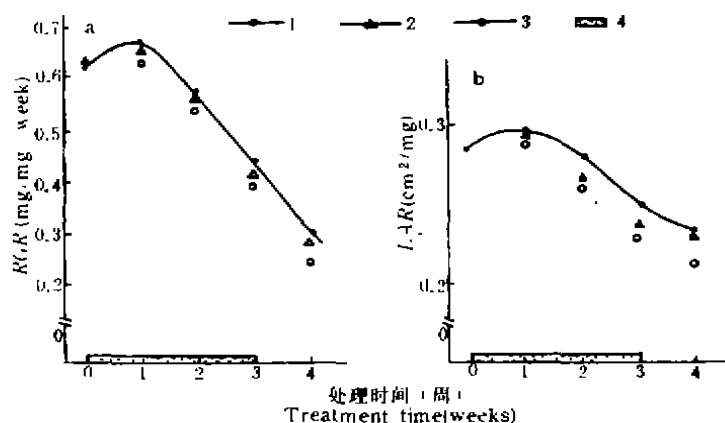


图 1 RE 处理后生长因素  $RGR$ (a) 和  $LAR$ (b) 对臭氧的反应

1. 对照 Contrast, 2. RE+O<sub>3</sub> 处理 RE+O<sub>3</sub> Treatment, 3. O<sub>3</sub> 处理 O<sub>3</sub> Treatment, 4. 熏气期间 Fumigation time.

Fig. 1 Response of  $RGR$ (a) and  $LAR$ (b) to ozone after spraying RE

臭氧熏气对  $NAR$  的影响由图 2 示出。臭氧熏气前, 喷施 RE 的植株  $NAR$  稍高于对照, 熏气后则低于对照, 在处理的第 3 周和第 4 周,  $NAR$  分别下降了 9.9% 和 2.2% ( $P < 0.05$ ), 但却一直高于未喷施 RE 的植株。未施用 RE 的植株在处理的第 3 周和第 4 周分别下降了 11.6% 和 9.4% ( $P < 0.05$ ) (图 2, a)。 $NAR$  的减小表明单位叶面积对植株干重净增减少。

$LWR$  的变化也表现出下降趋势, 在第 4 周接近于对照水平 (图 2, b), 说明臭氧熏气使叶片光合作用受到抑制, 物质积累减少, 叶片变薄, 施用 RE 的植株减缓了这些变化的进程, 生长状况好于未经 RE 处理的植株。

$SLA$  是单位叶重所表现的叶面积, 即叶相对厚度的一种量度。臭氧熏气前, 施用 RE 的植株  $SLA$  小于对照, 叶片较厚。处理两周后,  $SLA$  高出对照, 第 3 周又降低。未施用 RE 的植株在熏气的第 1 周高于对照 8% ( $P < 0.05$ ), 而后随处理时间的延长而下降 (图 3)。这和  $LWR$  的变化相一致。

## 2.2 臭氧熏气下 RE 对叶片叶绿素含量和膜透性的影响

臭氧熏气使春小麦叶片褪绿和坏死, 因此常以叶绿素含量表明植物受到伤害的程度。熏气前 RE 处理的植株其叶片叶绿素含量高于对照熏气第 3 周和第 4 周叶绿素含量分别下降了 29.6% 和 31% ( $P < 0.01$ ), 未施用 RE 的植株叶绿素含量分别下降了 33.3% 和 38.4% ( $P < 0.01$ ) (图 4, a)。施用 RE 使臭氧对植株叶片叶绿素降解缓慢。电解质渗漏率是膜系统受伤的量度。RE 处理的植株在第 3 周和第 4 周电解质渗漏率分别为 27% 和 22% ( $P < 0.01$ ), 而未施用 RE 的植物叶片其电解质渗漏率则分别为 35% 和 40% ( $P < 0.01$ ) (图 4, b)。

## 2.3 臭氧熏气下 RE 对叶片细胞活力的影响

TTC 还原力的高低可用于检测植物组织活力大小, 它与植物组织内脱氢酶的活力与光合作用的还原力水平有关, 当细胞代谢活动受到损伤时, 就引起了 TTC 还原力的下降。随熏气时间延长, TTC 还原力下降, 施

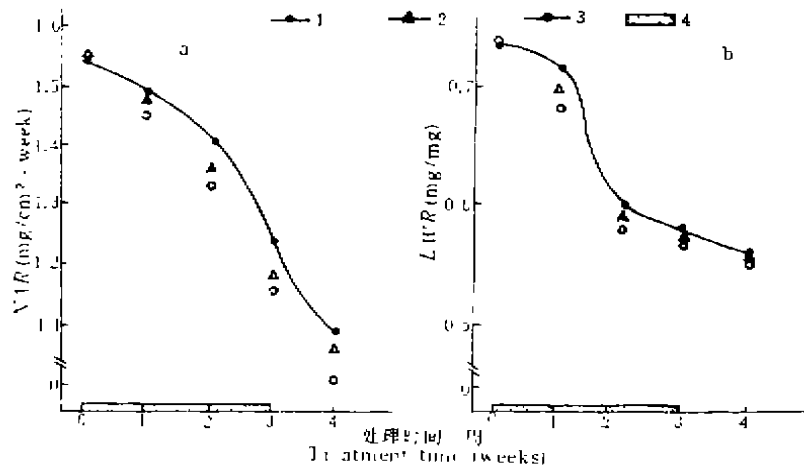


图 2 RE 处理后生长因素 NAR(a) 和 LWR(b) 对臭氧的反应

1. 对照 Contrast, 2. RE+O<sub>3</sub> 处理 RE+O<sub>3</sub> Treatment, 3. O<sub>3</sub> 处理 O<sub>3</sub> Treatment, 4. 熏气期间 Fumigation time  
 Fig. 2 Response of NAR(a) and LWR(b) to ozone after spraying RE

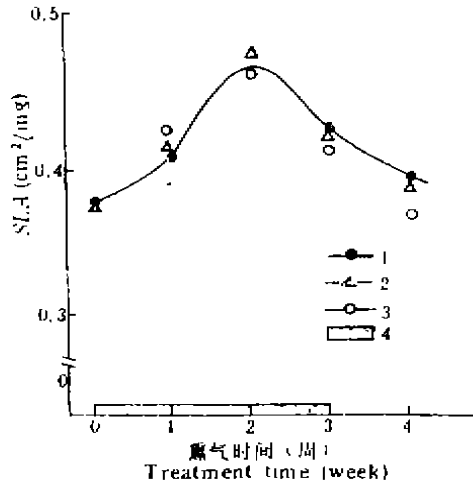


图 3 RE 处理后生长因素 SLA 对臭氧的反应

1. 对照 Contrast, 2. RE+O<sub>3</sub> 处理 RE+O<sub>3</sub> Treatment,  
 3. O<sub>3</sub> 处理 O<sub>3</sub> Treatment,  
 4. 熏气期间 Fumigation time  
 Fig. 3 Response of SLA to ozone after spraying RE

用 RE 可使植株叶片 TTC 还原力维持在较高水平。在熏气第 3 周第 4 周, TTC 还原力分别为对照的 73% 和 75% ( $P < 0.01$ ) 而未施用 RE 的植株叶片组织的还原力分别为 58% 和 43% ( $P < 0.01$ ) (图 5)。

### 3 讨论

本试验所选用的 RE 浓度是经过多次试验后选出的最佳喷施浓度。在 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的臭氧浓度下, 施用 RE 的植株叶片所表现的可见伤害要比未施用 RE 的植株小。

生长分析的结果表明, 臭氧熏气下, LAR 和 RGR 减少的同时, NAR 也减小, 这是由于净光合速率已不能满足正常生长的需要所致, 而施用 RE 的植株 LAR、NAR 和 RGR 的减小幅度要小于未施用 RE 的植株, 并且在停止熏气后植株的生长有所恢复, 在图 3 中 2 种处理在熏气的 1—2 周内, SLA 高于对照, 第 3 周都低于对照, 这可能是叶面积生长受到强烈抑制所致。SLA 的增加也是 LAR 减少的一个因素。因为叶重的减少直接导致了 LAR 的下降。LWR 的减小又必然导致以叶重为主体的整个植株重量的减少。

RE 能提高很多作物的叶绿素含量<sup>[1]</sup>, 提高膜结构的稳定性<sup>[2]</sup>。本试验结果表明, 施用 RE 的植株叶绿素含量高, 光合作用强, 叶片细胞膜对电解质的外渗较低, 并且叶片组织的细胞活力大, 叶片可见伤害小, 可见, 施用 RE 对防护植物以免臭氧伤害有良好的效果。

RE 一方面能减轻臭氧对植物的伤害, 增强植物的抗性; 另一方面还使受害植株恢复较快, 其原因可能是 RE 作为必需元素促进植物生长或增加了机体对营养素的吸收<sup>[3]</sup>, 使植物地上部分与地下部分充分生长, 形成良好的幼苗素质, 从而提高了植物的抗/耐臭氧能力。RE 还可能调节激素平衡<sup>[4]</sup>, 提高了多种酶与酶基的

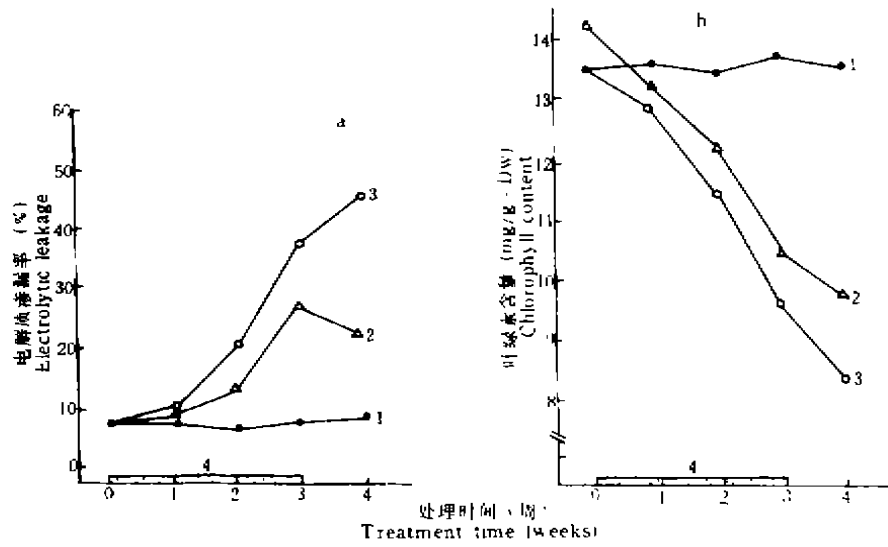


图4 臭氧熏气下喷施RE对叶片膜透性(a)和叶绿素含量(b)的影响

1. 对照 Contrast, 2. RE+O<sub>3</sub> 处理 RE+O<sub>3</sub> Treatment, 3. O<sub>3</sub> 处理 O<sub>3</sub> Treatment, 4. 熏气期间 Fumigation time

Fig. 4 Effects of spraying RE on the electrolytic leakage and chlorophyll content of leaves fumigated with ozone

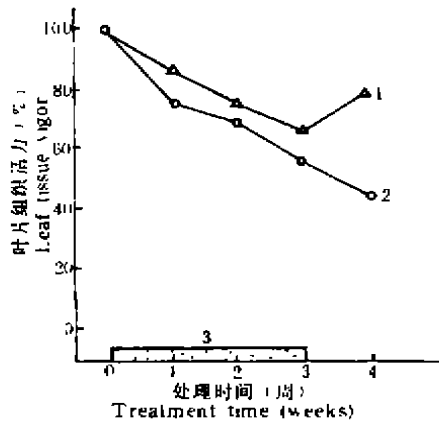


图5 臭氧熏气下喷施RE对叶片组织活力的影响

1. RE+O<sub>3</sub> 处理 RE+O<sub>3</sub> Treatment,  
2. O<sub>3</sub> 处理 O<sub>3</sub> Treatment,  
3. 熏气期间 Fumigation time

Fig. 5 Effects of spraying RE on the tissue vigor of leaves fumigated with ozone

作用活性, 增强植物体的代谢机能, 因而具备了较强的抗性。

参 考 文 献

[1] Steponkus P L and Lanphear F O. Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. *Plant Physiol.* 1967, 42, 1423-1426  
 [2] Evans G C. *The quantitative analysis of plant growth.* Oxford, Blackwell, 1972  
 [3] 董世沪, 卢国程. 稀土的生物学效应. *稀土*, 1987, (4): 42-54  
 [4] 吴兆明, 汤锡珂. 稀土元素对作物某些生理过程的影响. *中国稀土学报*, 1984, 2(2), 75-80  
 [5] 王颖明. 我国稀土农用的六个方面的重大突破. *稀土动态*, 1989, (2), 9-10  
 [6] 石 风, 朱天培, 倪嘉缙. 稀土生物无机化学. *稀土*, 1986, (3), 54-56

安黎哲 王勋陵

An Lizhe Wang Xunling

(兰州大学生物系, 兰州 730000)

(Department of Biology, Lanzhou University, Lanzhou 730000)