

表 10 表层土壤中阴离子的流通量

| 阴离子<br>模拟酸雨 pH | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |      |     | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |     |     |
|----------------|-------------------------------|------|-----|------------------------------|-----|-----|
|                | 3                             | 4    | 5   | 3                            | 4   | 5   |
| 流通量(mg/100g)   |                               |      |     |                              |     |     |
| 土种             |                               |      |     |                              |     |     |
| 油砂土            | 124.4                         | 7.8  | 2.7 | 17.9                         | 0.4 | 0   |
| 灰棕紫泥土          | 120.9                         | 8.4  | 4.3 | 18.9                         | 0.9 | 0.6 |
| 黄泥土            | 127.4                         | 10.5 | 9.8 | 19.8                         | 1.2 | 0.9 |
| 第四纪红土          | 116.4                         | 8.8  | 2.4 | 15.8                         | 0.6 | 0.6 |
| 赤沙土            | 126.0                         | 8.6  | 2.7 | 19.1                         | 1.6 | 1.1 |

### 三、结 语

土壤酸化的影响取决于降水 pH 值、降水的离子组成,也取决于土壤的起始特征(如 CEC, BEC, 有机质含量)。酸雨增强了土壤阳离子的淋溶,酸度越大,盐基离子淋溶强度越大。淋溶强度的增加,因土壤类型的不同有明显的差异。如果土壤的阳离子交换量较低,盐基饱和度变化可能较大。盐基离子如果得不到补偿,土壤肥力就会降低,酸度就会提高。酸雨对土壤阳离子淋溶的影响主要取决于与酸有关的阴离子的迁移率。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>是

酸雨中最主要的阴离子(占 70% 以上,中国占 90%)。因而,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在土壤中的迁移和土壤对 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的吸附特性在相当大程度上决定着土壤酸化速率和金属离子淋溶强度。

### 参 考 文 献

- [1] McFee, W.W. et al., *Water, Air and Soil Pollution*, 7, 401—408(1977).
- [2] 赵殿五, 大气污染防治技术与能源环保对策, 159—169 页, 海洋出版社, 1984 年。
- [3] 黄洪峰、谭文澄译, 区域环境研究译文集, (2), 106—120(1983)。
- [4] 杨景辉, 土壤学进展, (5), 11—19(1984)。
- [5] 篠崎光夫, 环境技术(日)12(12), 821—827(1983)。

## 模拟酸雨处理的青菜显微和亚显微结构 观察及部分生理指标测定

王 玮

(上海农业科学院土壤肥料研究所)

模拟酸雨的影响研究已屡见报道<sup>[1]</sup>,但在植物影响方面目前较多的是在对叶面宏观损伤量的观察、产量的计算及部分生理指标

的测定。然而,在细胞水平上了解酸雨对植物的影响程度、影响机制无疑是重要的。

本文仅以青菜为对象,采用显微、亚显微

分析和生理指标测定的方法,初析其损伤。

## 一、材料和方法

### (一) 降雨处理及植物材料

试验用模拟酸雨含有添加的阳、阴离子,其浓度与上海地区自然降雨中的离子组分相似(表 1)。雨液酸度用 mol 比为 3:1 的硫酸和硝酸调节。

表 1 试验处理液的组分 (mg/L)

| 离子 | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> |
|----|-------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------------------|
| 浓度 | 13.0                          | 1.5                          | 8.0             | 1.4            | 4.0             | 6.0              | 1.0              | 3.0                          |

将二周龄虹明大白菜 (*Brassica campestris* var. *chinensis*) 幼苗移栽入田间开放小区(面积 1.96m<sup>2</sup>),移栽 10d 后开始试验。试验设 pH2.0、3.0、3.5、4.0 和 5.6(ck),三次重复。以工农-36 型机动喷雾器为降雨装置,降雨滴直径约 0.2—1.0mm,降雨强度 51mm/h。每周降雨 2—3 次,每次持续约 20min,降雨量为 17mm。试验总降雨 15 次,总降雨量 255mm。

降雨 7、15 次时分别测定叶绿素,膜透性等生理指标;降雨 4 次后进行显微镜观察。

试验期间(1985 年 10 月 3 日至 11 月 7 日)自然降雨量 212.9mm, pH6.50。

### (二) 显微、亚显微分析

1. 扫描电子显微镜 (SEM) 取新鲜叶片用导电胶胶于铜台上。JSM-840 型扫描电子显微镜上观察并照相。

2. 透射电子显微镜 (TEM) 样品在 4℃ 的 2% 戊二醛中固定 24h, 磷酸缓冲液 (pH 7.4) 漂洗后再用 2% 锇酸固定 1h。将 pH7.4 的磷酸缓冲液漂洗后的样品经不同浓度系列乙醇和 100% 丙酮脱水。Epon-812 包埋后在 LKB-V 切片机上切片 (500 Å) 并用醋酸铀和柠檬酸铅染色。DXA4-10 型透射电子显微镜下观察照相。

3. 光学显微镜 样品固定、漂洗、脱水等步骤均同 2, 只是制成 2μ 的切片、用天青蓝、美蓝染色后在 44XII 型多用途显微镜上观察、照相。

### (三) 植物生理指标测定

1. 根伤流量 选择生长势基本一致的青菜,在其茎部离地面约 2—3cm 处用锋利小刀割断,立刻套上塞有称重脱脂棉花的塑料套。一定时间后取下小套称重,同时将割下部份亦称重。

2. 叶片叶绿素 随机钻取小圆片若干,加石英砂、碳酸钙及少许水,研磨成匀浆后用 80% 丙酮提取。721 型分光光度计测定。

3. 膜透性 (1) 相对电导率随机取下直径 0.65cm 的圆片 10 片。重蒸水清洗后加 3ml 重蒸水真空渗注 5—10min。测定渗出液电导率,然后叶片连同渗出液置于沸水浴中烧煮 5min,再测电导率。(2) 钾离子渗出量。渗出液制备基本同(1),圆片加入 5ml 重蒸水真空渗注。日立-518 型原子吸收计测定。

4. TTC (2,3,5-三苯基氯化四唑) 法测定叶片活力

随机取圆片 10 片,在 0.05mol/L pH7.4 的磷酸缓冲液(内含 0.6% TTC)中真空渗入 5—10min。在 28℃ 左右的培养箱中保温 20 h。弃出溶液,用水清洗,再在热乙醇中抽提 5min。冷却后用 721 型分光光度计(λ = 530 nm)测其光密度值。

以上 2—4 部分的样品采集于同一时刻,同一植株部位。

## 二、结果和讨论

### (一) 叶片宏观和微观损伤的区别

在经二次 pH2.0 模拟酸雨处理的青菜叶片上出现了典型的酸雨损伤症状,即局部的、散生的微小坏死斑。最初斑点直径为 <1—1 mm 左右。随着降雨次数的增加,伤斑直径可增至 2mm 以上。这是由大量细小损伤斑相连而成。

在肉眼未见损伤的叶片上(经 pH3.0 模拟酸雨处理的),用 SEM 观察发现了无数微小变形细胞和凹陷的损伤区域(图 1),并且叶片伤斑的形成常发生在叶脉附近(图 2)。

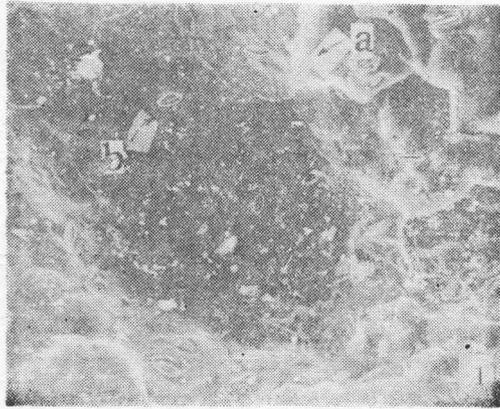


图 1 叶片微观损伤  
pH3.0 处理 SEM × 150  
a. 凹陷区域 b. 关闭的气孔

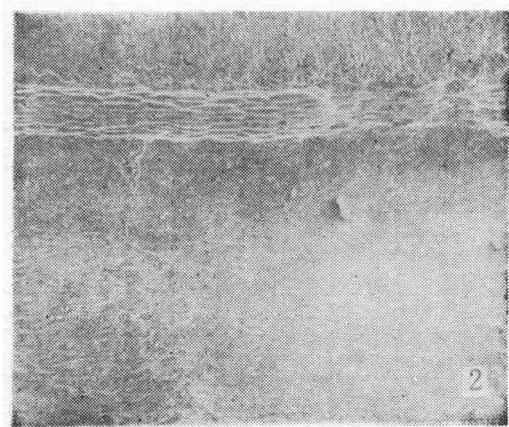


图 2 叶片微观损伤  
SEM × 22  
损伤以叶脉处为重

叶片酸雨伤斑的出现具有局部性,即一旦伤斑产生仅在它周围的一些表皮细胞发生瓦解并形成一圆环状凹陷。

(二) 气孔开度对酸雨的反应

植物气孔是植物进行气体交换的主要通道,一旦失去其正常功能对植物生长将带来一系列影响<sup>[2]</sup>。SEM 照片记录了青菜经模拟酸雨处理后气孔的开闭状况(见图 1, 3)。可见,模拟雨酸度不同植物叶片表现出气孔开

闭情况也不同。在无可见损伤的叶片上(pH 3.0)虽有瓦解的表皮细胞,但气孔与正常叶片的气孔一样是关闭着的。而在较严重损伤(有宏观损伤, pH2.0)的叶片上观察到了开放着的气孔。经测量,开放气孔占观察气孔数的 72.3%,其中气孔平均开度 2.29 $\mu\text{m}$ (n=16),范围为 0.91~5.45 $\mu\text{m}$ 。



图 3 叶片气孔开闭状况  
SEM × 220, pH2.0 处理

可以认为强酸性的雨使坏死组织中的表皮细胞干枯而导致保卫细胞的收缩及气孔的持久开放。这个结果与 Adams<sup>[3]</sup> 等对 telisii 蒿的研究结果相符合。由于气孔口的张大和伤口的存在,使病原体和其它气态污染物容易侵入、水份散失增加,因而降低了植物抗性。

(三) 酸雨对叶面组织学影响

酸雨可使叶片细胞受到损伤,它包括近轴表皮细胞、栅栏细胞的瓦解,甚至危及海绵细胞和远轴表皮细胞。本研究提供的显微照片说明这一损伤次序(见图 4, 5)。

暴露于 pH3.0 模拟雨的叶子首先在表皮细胞出现了轻度瓦解及栅栏叶肉细胞增生,细胞间隙减小,维管束附近的细胞损伤略重些。但这一酸度对叶片海绵组织影响不明显。

观察到 pH2.0 处理叶片的表皮细胞完全瓦解,栅栏细胞无规则排列现象。海绵细胞也

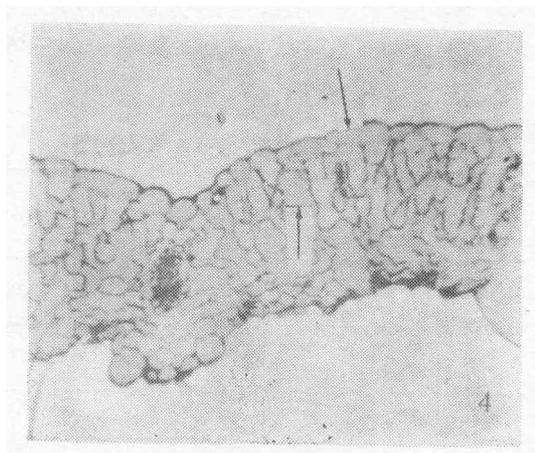


图 4 变形的表皮细胞及栅栏细胞  
pH3.0 处理,  $\times 63$

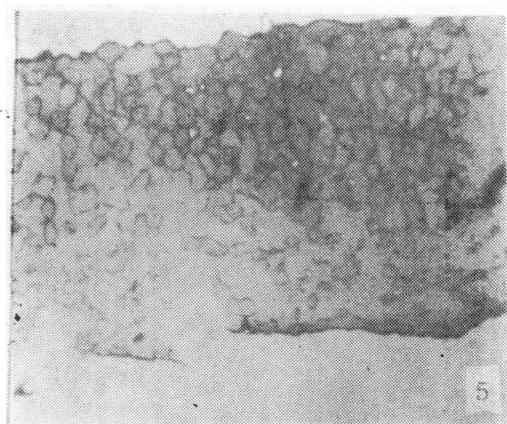


图 5 损伤的叶片细胞  
pH2.0 处理,  $\times 63$   
表皮细胞、栅栏细胞瓦解, 海绵细胞瓦解, 叶片增厚

出现了部分瓦解。整个叶肉细胞层中大面积的细胞分裂和细胞伸长形成了叶片的增厚。

Evans 等报道了菜豆 (*P. Vulgaris*)、向日葵 (*Helianthus annuus*)、欧洲蕨 (*Pteridium aquilinum*)、沼生栎 (*Quercus palustris*) 和杨树 (*Populus sp.*) 叶子的酸雨损伤, 先在近轴叶表面而后影响内部组织。

#### (四) 酸雨对线粒体和叶绿体的影响

线粒体主要由外膜、内膜(嵴)及衬质组成。已知丙酮酸氧化(三羧酸循环)的酶系统集中在线粒体的可溶性衬质中, 而电子传递和氧化磷酸化的酶系统在内膜上<sup>[4]</sup>。经 pH 2.0 处理叶片中线粒体的结构表现出明显变

化。线粒体的嵴间变大, 内含物减少(图 6)。这样酶分子附着的表面就减小, 细胞呼吸减弱, 从而导致植物有氧糖氧化过程受阻。



图 6 结构改变的线粒体  
pH2.0 处理, TEM  $\times 13600$

经 TEM 观察, pH3.0 处理的植株叶绿体的片层结构被破坏, 且类囊体膜明显扭曲(图 7、8)。Ferenbaugh<sup>[5]</sup> 和 Hindawi<sup>[6]</sup> 曾报道, 菜豆叶子受到 pH3.0 或更低的模拟酸雨损伤时, 叶绿体的完整性破坏且叶绿素含量降低, 这与本研究结果相符。



图 7 损伤的叶绿体片层结构  
pH3.0, TEM  $\times 13600$

叶绿体片层结构被破坏后则意味着捕获光能的机构效能降低, 因而就不能有效地收集光能, 加速光合反应。同样也使细胞代谢受阻。

#### (五) 酸雨对叶绿素的影响



图 8 损伤的叶绿体片层结构  
pH2.0, TEM × 13600

测定表明, 青菜叶片叶绿素受到了模拟酸雨的影响(图 9), 一般模拟液酸性愈强下降值愈大, 并且随着模拟酸雨喷洒次数的增加, 叶绿素含量上升, 影响程度减轻。这主要是由于植物在生长过程中的规律性变化及植物本身对酸雨产生了一定的抗性所致。

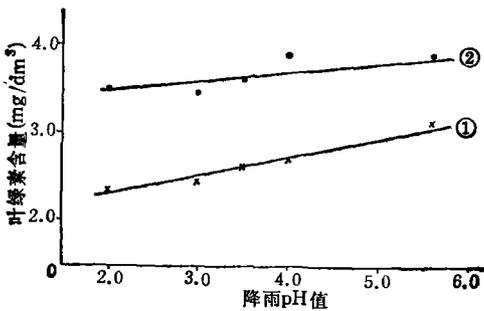


图 9 酸雨对青菜叶片叶绿素的影响\*  
\* 图中数据为三次重复的平均值  
① 降雨7次 ② 降雨15次

(六) 酸雨对叶片膜透性的影响

对青菜叶片的相对电导率和  $K^+$  渗出量的测定可知, 其数值随降雨酸度的增加而增加(表 2), 并且降雨次数愈多一般增加值亦愈大, 这主要是因为膜的耐受性下降所致。

(七) 酸雨对酶活性的影响

用 TTC 法测定经四次酸雨喷洒的大田种植青菜叶片的细胞活力后发现, 各酸度处理的叶片细胞活力均有所下降, pH2.0、3.0

3.5、4.0 和 5.6 的细胞活力指标分别为 73.8%、72.0%、71.5%、74.1% 和 100% (三次重复的平均值)。

表 2 叶片相对电导率和  $K^+$  含量的变化

| 降雨次数 | 处理                |       |       |       |       |
|------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|      | 项目                | pH2.0 | pH3.0 | pH3.5 | pH4.0 |
| 7    | 相对电导率的增加百分率(%)    | 64.83 | 3.68  | 0.55  | 0.92  |
|      | $K^+$ 渗出的增加百分率(%) | 74.6  | 26.9  | 21.8  | 31.3  |
| 15   | 相对电导率的增加百分率(%)    | 39.72 | 13.30 | 9.54  | 6.44  |
|      | $K^+$ 渗出的增加百分率(%) | 99.1  | 50.9  | 16.4  | 65.2  |

为全面了解细胞在不同时间内的耐酸状况, 将叶片浸入盛有不同酸度酸液的标本缸中, 若干小时后用 TTC 法测其活力(图 10)。

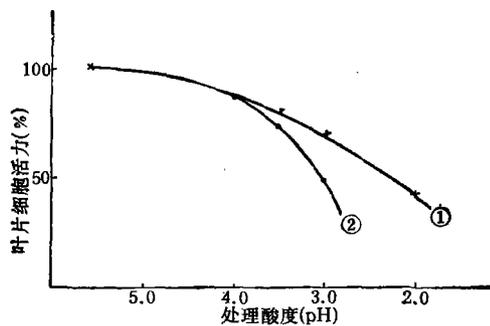


图 10 不同酸度、时间处理的二月龄苗活力  
① 2小时 ② 48小时

结果可知, 叶片活力下降的临界 pH 值随处理时间延长而上升; 叶片抗性与苗龄呈正比。

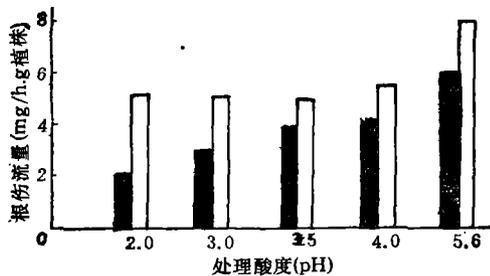


图 11 模拟酸雨喷洒后青菜根系伤流量变化  
■ 降雨六次后测得 □ 降雨15次后测得

### (八) 酸雨对根伤流量的影响

酸雨处理的青菜根伤流量如图 11 所示。酸度增加根伤流量大大地减少。这可能与土壤中活性铝的增加(平均增加 88.97%)有关。

## 三、结 论

通过一系列的试验研究,可得出如下基本结论:

(一) 青菜叶片的微观损伤出现在宏观损伤之前。

(二) 叶面气孔受模拟酸雨影响, pH2.0 酸雨处理的气孔持久地开放。

(三) pH3.0 处理的叶面近轴表皮细胞, 栅栏细胞发生瓦解; pH2.0 处理除上述细胞外, 海绵细胞也发生部分瓦解, 整个叶肉细胞层中细胞的无规则排列使得叶片增厚。

(四) 模拟酸雨使叶绿体和线粒体结构发生变化。

(五) 降雨酸度增加, 叶片膜透性增加, 而叶绿素含量, 酶活性及根伤流量降低。

当然模拟酸雨对青菜的显微、亚显微结

构和若干生理指标的影响是多方面、多层次、多因素的。要全面、细致、准确地了解全部伤害过程、程度和机制尚需进行更广泛的研究。

致谢: 中国科学院上海植生所朱建军同志协助部分实验工作; 上海农科院测试中心赵建华、刘兆良等同志协助电镜观察。上海农科院作物所颜昌敬副研究员、上海农科院土肥所汪雅各副研究员和中国环科院生态所曹洪法同志对本文加以审阅, 指导, 在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] Lee, J. J. et al., *Environ. Experim. Botany*, **21**, 171—185 (1981).
- [2] 赵微平, 作物生理, 72—78 页, 农业出版社, 北京 1985 年。
- [3] Adams, C. M. et al., *Can. J. Botany*, **62**, 463 (1984).
- [4] 潘瑞炽等, 植物生理学, 139—142 页, 人民教育出版社, 北京, 1980 年。
- [5] Forenbaugh, R. W., *Am. J. Botany*, **63**, 282 (1976).
- [6] Hindawi, I. J., *Am. J. Botany*, **67**, 168 (1980).

# 白银深凹露天矿粉尘污染与气象条件

陆国荣 蔡锦勇 唐子沛

(冶金部安全环保研究院)

柳炳桁 马丹文

(白银有色金属公司)

露天矿采坑形如不规则的盆体, 具有空间容积大、生产密集和暴露在自然大气环境之中的特点。因此, 大气边界层结构对露天矿生产环境的空气污染物输送和扩散过程有密切关系。本文在白银深凹露天矿连续四年的污染气象观测的基础上, 对深凹采场内的风流结构类型、时空分布、逆温特征及逆温生消机制以及这些气象条件与粉尘污染的关系进行了研究。

## 一、采坑形状与测点布置

白银深凹露天矿采坑的水平截面近似于椭圆形, 东西向为长轴方向。上部开口东西长 1320m, 南北宽 650m。下部最深平台东西长 235m, 南北宽 35m。若从起剥标高算至闭坑时坑底作业平台水平, 采深 284m。采坑的开采阶段高度 12m, 平台宽 8—10m。台阶面的倾角  $< 60^\circ$ , 最终边坡角 38—45°。