

空气污染对植物的影响

· 译文集 ·

韦安阜 编译



上海科学技术文献出版社

空气污染对植物的影响译文集

韦安阜 编译

*

上海科学技术文献出版社出版

(上海高安路六弄一号)

新华书店上海发行所发行

江苏宜兴南漕印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.25 字数: 99,000

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

印数: 1—3100

书号: 13192·34 定价: 0.55 元

《科技新书目》12-194

前 言

空气,是人类赖以生存,万物靠它才能生长的混合气体。空气被污染了,不仅将对人体带来危害,而且也会伤害植物,给农业生产造成巨大损失。

在受污染的大气中,究竟有多少种有毒物质,目前尚无准确数字。据初步分析统计,仅在烟囱冒出的烟尘中,就含有 400 多种有毒物质。日本的研究资料说明,通常造成危害的大气污染物约有 28 种,其中以二氧化硫、氟化氢、臭氧、过氧乙酰硝酸酯、氮的氧化物和碳氢化合物等对植物的危害最为严重。而且它们在空气中只需很低含量,就能对植物造成严重危害,例如二氧化硫在空气中的浓度只要达到百万分之一时,就会伤害植物。

空气污染是怎样危害植物的呢?一方面,有毒气体如二氧化硫和氧化氮等,可以直接伤害植物。它们进入植物组织以后,干扰酶的作用和代谢机能,使之逐渐变黄干枯,提前落叶,造成作物减产,甚至颗粒无收。另一方面,有毒气体中的二氧化硫和空气中的水蒸汽结合,变成“硫酸烟雾”,除了直接伤害植物以外,随雨雪降到地面上以后,可使土壤酸化,从而危害植物的正常生长。此外,空气变得污浊以后,影响阳光照射,阻碍植物光合作用的进行,也可使植物生长缓慢,因而减产。

植物受空气污染的危害症状可以分为急性、慢性和隐性三种情况。在空气中有害气体浓度较高时,植物叶片、甚至在芽、花、果实和枝梢上会突然出现大量伤斑等急性症状。有害气体浓度较低时,植物的叶片会退绿,并出现一些斑点,叶绿素的功

能也会受到一定的影响。隐性危害是从植物外表看不出什么病症的,但由于有害物质的集聚,使植物的产量和品质下降。另外,被空气污染后的植物,生长减缓,抵抗性削弱,也容易造成易受病、虫侵袭的间接危害。

随着工业的飞速发展,空气污染也日趋严重,如何防治空气污染,消除它们的危害,也已成为我国人民迫切希望解决的问题。为此,特选译了近年出版的有关著作,以供参考和借鉴。

本书一共收集了九篇译文,第一篇论述二氧化硫对植物的影响。二氧化硫能使植物细胞酸化,一切生理作用失常,甚至使原生质凝固,导致植物生长迟缓,发育不良,因而迅速枯萎死亡。特别当空气中具有烟尘和其它气体污染物时,二氧化硫的危害就更加严重。在很多光化学烟雾事件中,它也是罪魁祸首,因而成为当前空气污染防治的主要对象。第二篇论述氧化氮对植物的影响。氧化氮是不稳定的气体混合物,主要成份是一氧化氮和二氧化氮,一氧化氮在空气中很快就变成二氧化氮。它们都是有毒气体,在那滚滚黄烟中含量很高,能损坏庄稼,危害人畜。第三篇论述臭氧对经济植物的影响。由工厂或汽车散发到空气中的氮氧化物在阳光紫外线的照射下,放出氧原子并和空气中的氧结合成为臭氧。只要亿分之三的浓度就能使敏感的作物及树木受到伤害,从而造成损失。第四篇论述微粒对植物的影响。自然界中某些特殊微粒物质对植被的影响虽然差异很大,但是值得加以重视。第五篇论述植物对混合污染物的反应。第六篇论述空气污染物对植物光合作用的强烈抑制作用,说明植物在污染了的空气中所以减产甚至死亡的主要原因。第七篇论述树木对空气污染的反映。第八篇论述一般植物对几种常见污染物质的反应。第九篇以综合及表格形式表达了空气污染物对高等植物的代谢和生化作用的影响。八、九两篇都可作为

建置新厂和订立栽培计划的参考。

本书可供我国从事环境保护的科技人员、领导干部以及大专院校有关专业师生们阅读参考。

韦安阜 1981 年 1 月

目 录

二氧化硫对植物的影响.....	(1)
氧化氮对植物的影响.....	(14)
臭氧对经济植物的影响.....	(32)
微粒污染物对植物的影响.....	(46)
空气污染物质对植物表观光合作用的抑制.....	(63)
植物对混合污染物质的反应.....	(75)
树木对污染空气的反应.....	(92)
一般植物对几种常见空气污染物质的反应.....	(100)
空气污染对高等植物的代谢和生化作用的 影响简表.....	(110)

二氧化硫对植物的影响

J. B. Mudd

引 言

作为一种空气污染物质，二氧化硫比任何其它化学物质的历史都要悠久。空气中二氧化硫通常是来自燃烧矿石燃料、煤炭和石油。采用含硫较少的燃料，可减少其来源。倘若燃烧含硫燃料的话，则可利用各种技术控制其产生。根据 1965 年资料，世界上空气中二氧化硫的来源中，每年有 51 吨硫来自燃烧煤炭，有 11 吨硫来自燃烧石油，有 11 吨硫来自提炼石油。

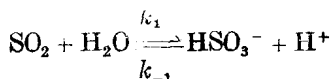
本文就二氧化硫对植物的生理和生物化学作用加以阐述。

化学方面的探讨

1. 实验室研究

二氧化硫的某些化学性质已经在 Schroeter 所著的书籍中讨论过了。二氧化硫于 0°C 时在水中的溶解度为 228 克/升。这等于在 1 份水中溶解 80 份的 SO_2 。二氧化硫也很容易溶解于有机溶剂中。例如，在水/三氯甲烷中的分配系数为 0.72，在水/苯中则为 0.44。

二氧化硫的水合作用是很迅速的：

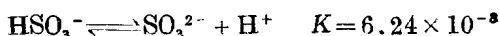


$$k_1 = 3.4 \times 10^6 / \text{秒}$$

$$k_{-1} = 3.4 \times 10^8 M^{-1} / \text{秒}$$

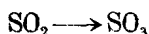
反应条件是 20°C 和 0.1M 离子强度。值得注意的是，当有表面活性剂存在时，由于 SO₂ 被表面活性剂所吸收，SO₂ 在水中溶解的速度也降低了。

由于 H₂SO₃ 能存在于溶液中，因而溶解于水中未电离的硫就是 SO₂ 的说法值得怀疑。然而，电离常数已经确定。



2. 空气中的研究

SO₂ 是空气中的主要含硫化合物。它能氧化成 SO₃，水合以后就形成 H₂SO₄：



SO₂ 和硫酸盐的关系，已经在美国所搜集的监测资料中阐述了。SO₂ 和硫酸盐之间的关系是非线性的。当 SO₂ 在低浓度时，硫酸盐会随 SO₂ 浓度成比例地增加；但当 SO₂ 在高浓度时，硫酸盐就不再增加。在美国费城的特殊情况下，市区的 SO₂ 和硫酸盐之比要比郊区约高二倍。因此，部分硫酸盐可能是从 SO₂ 的氧化作用得来。

Cox 和 Penkett 曾报道了在有或没有 NO 和 2-戊烯存在时，SO₂ 的光氧化作用情况。当 NO 和 2-戊烯存在时，SO₂ 氧化成 H₂SO₄ 悬浮微粒的作用大大增强。这种增强无疑是“光化学烟雾”形成机制的一个方面。但是，确切的氧化剂究竟是什么，还

不知道。臭氧和低浓度的 SO_2 不易发生作用，似乎不可能是它们的氧化剂。Cox 和 Penkett 认为，氧化剂可能是过氧原子团或过氧酰基硝酸盐。

SO_2 或硫酸盐对植物的作用依赖于它们在溶液中的活力。Thomas 等估计，亚硫酸盐的毒性比硫酸盐要大 30 倍。因此，空气中 SO_2 氧化成硫酸盐的程度，对植物来说，是关系重大的。

敏 感 性

1. 症 状

在 Jacobson 和 Hill 所著书籍中，可以找到 SO_2 对某些植物造成伤害的照片。最通常的严重伤害形式是脉间缺绿(见图)。多数情况下，脉间出现黄化现象；然而有时受伤组织呈现棕褐色。敏感品种有菠菜、黄瓜和燕麦，而玉米和芹菜以及柑桔品种则具有抗性。

通常认为， SO_2 是由气孔进入植物组织而造成植物伤害。因此，在有利于气孔开张的情况下，容易造成植物伤害。例如，水分亏缺易使气孔关闭，从而使植物免受伤害。幼嫩且已充分开张的叶片首先出现伤害，那些正在开张的叶片则受到伤害最少。

2. 剂 量

用 $0.05 \sim 0.5 \text{ ppm}$ 浓度的 SO_2 ，处理 8 小时，即可对敏感品种造成伤害。如果暴露时间较短的话(30 分钟)，浓度须提高到 $1 \sim 4 \text{ ppm}$ 。抗性品种则需 2 ppm 的浓度处理 8 小时或 10 ppm 的浓度处理 30 分钟才能造成伤害。这些数字是从利用 SO_2 作为单独污染物质进行试验得来。假如还有其它污染物质存在时， SO_2 的作用可能还要更大一些。

关于 SO_2 危害植物的“临界”浓度问题，有关文献中报道很

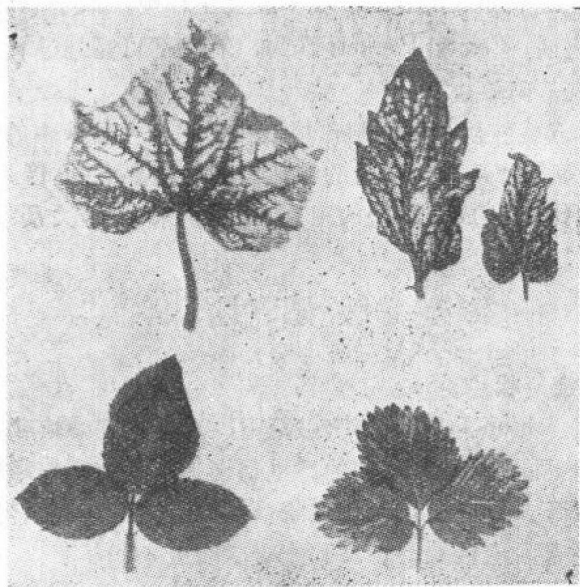


图 由 SO_2 造成的脉间缺绿情况
上(左到右)黄瓜、番茄；下(左到右)玫瑰、草莓

多。这一概念的要点是，在低于一定浓度时， SO_2 对植物不造成伤害，这可能是由于植物能把溶解了的 SO_2 通过代谢使成为无毒物质，但浓度一旦超过这种代谢能力时，有毒物质就集聚起来，因而也就超越了“临界”。“临界”概念可体现于用来描述 SO_2 伤害发展条件的 O'Gara 方程式中。

$$(C - C_R)t = K$$

$C = \text{SO}_2$ 浓度

$C_R = \text{临界浓度}$

$t = \text{引起初始伤害所需时间}$

$K = \text{常数；临界剂量。}$

这一方程式已作了修正，并建议以此代替旧式。但是，由于能够影响病征发展的变异性如此之多，如果再进一步加以简化，似乎并不见得有什么好处。O'Gara 方程式的要点是：(1) 不管熏蒸时间多长，在一定的浓度以下，将不会产生什么伤害；(2) 在一定浓度以上时，浓度和暴露时间结合起来，将会引起伤害。

生 理 作 用

1. 对气孔开张的影响

Unsworth 等报告说，浓度在 $0.1 \sim 0.5 \text{ ppm}$ 间的 SO_2 能刺激气孔张开，对缺水植物即将部分关闭的气孔，这种情况特别明显。他们报告说，在黑暗条件下， SO_2 能使气孔部分张开，有其它污染物质和 SO_2 起协合作用时，这种刺激气孔开张的情况特别显著。Menser 和 Heggstad 报告说，当 SO_2 和 O_3 起协合作用时，虽然气孔孔隙的扩大并不怎么明显，而且仅仅在叶片上表面才较为明显，但其征象确和 O_3 所造成的情况很相似。

然而， SO_2 对气孔的作用，看来并不简单。Majernik 和 Mansfield 曾对 SO_2 和其它环境变化对气孔开张的影响作了一系列的研究。他们首先报告说，相对湿度高于 80% ， SO_2 刺激了气孔张开，以后就受到更多的条件限制。他们将其工作总结如下：

1. 在含有 $320 \sim 330 \text{ ppm}$ CO_2 的潮湿空气中（水汽压小于 7 毫米 Hg 柱）， SO_2 浓度在 0.25 ppm 以上时，气孔一般张开较大。

2. 具有相同浓度的 SO_2 ，但相对湿度较低（水汽压大于 7 毫米 Hg 柱）时，气孔关闭。

3. 提高周围空气中的 CO_2 浓度，可以抵消潮湿空气中 SO_2

对气孔张开的影晌。

4. 在没有 CO_2 的潮湿空气中, SO_2 只能使原已张开得很大的气孔略微增大。

就天然植被来说, 后两条并不怎么重要, 而前两条却是重要的。它有助于解释前人对 SO_2 和湿度相互关系的观察结果。Majernik 和 Mansfield 强调说, 他们的发现完全是用豌豆做材料的, 对其它植物就不一定有这样的典型性了。的确, Menser 和 Heggestad 曾用使豌豆气孔开张的 SO_2 浓度来熏蒸烟草, 却使烟草的气孔关闭了。

2. 协合作用

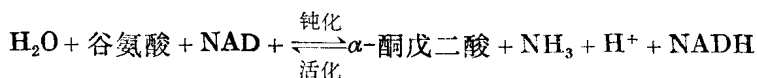
Menser 和 Heggestad 首次报告了 SO_2 和 O_3 对烟草的伤害, 具有协合增效作用。 O_3 的浓度是 0.03ppm, SO_2 的浓度是 0.25ppm。在白天温度为 $24\sim 26^\circ\text{C}$ 和 80~100% 相对湿度条件下, 熏蒸 2 或 4 小时。两种气体单独处理时都没有什么病征出现。MacDowall 和 Cole 也证实了这些结果, Cole 并确定了这两种气体的临界剂量, O_3 是 20pphm/小时, SO_2 是 300pphm/小时。两种气体在临界剂量时增效作用最为显著。

3. 对氨基酸组成的影响

Arndt 曾对熏蒸 SO_2 (0.24ppm) 以后的菜豆、白三叶以及混合牧场草中自由氨基酸的受影响情况进行了测定。经过熏蒸的植株中, 氨基酸的含量确有增加的趋势; 然而这种增加的迹象不能用 1 或 2 种氨基酸来加以说明。所用分析方法是定量纸层析法, 尚不清楚利用离子交换柱自动氨基酸分析法是否可测出更微细的变化。

Jäger 和 Pahlich 曾致力于 SO_2 处理对豌豆苗里谷氨酸和谷氨酰胺作用的研究, 对谷氨酸脱氢酶和谷氨酰胺合成酶的作用也进行了测定。用 1.3ppm 的 SO_2 熏蒸 24 小时以后, 降低了

谷氨酸的含量(相当于对照组的 20~40%),提高了谷氨酰胺的含量(相当于对照组的 130~240%)。谷氨酸脱氢酶在还原的胺化作用方向被活化了,而在氧化的脱胺作用方向则被钝化了。



对谷氨酰胺合成酶没有什么明显作用。总而言之,SO₂熏蒸以后,被熏叶片中的蛋白质含量降低了。Pahlich 曾对被 SO₂熏蒸后植株中谷氨酸-草酸盐转氨酶的活性进行了测定,发现酶的线粒体型比细胞质型更为敏感。

关于空气污染物质对植物的影响,很多生理方面的观察都得到相同的结果。然而对于 SO₂ 却很难提出一个明确的致害起始点。SO₂ 的生物化学反应下文将予详述,其中任何一个反应或有待发现的反应都关系到叶片中氨基酸和蛋白质含量的改变。

4. 对光合作用和叶绿素的影响

Brinckmann 等总结了对加入亚硫酸盐和乙醛或酮类而形成某些化合物以后,光合作用在各方面受到抑制的前人所做工作。但对这些加入的混合物在暴露于 SO₂ 污染大气的叶片中能否形成,则不能肯定。Jiracek 等从暴露于 1%SO₂ 中 1~4 天的豌豆苗的不同部分离析出甘油醛、α-酮戊二酸和丙酮酸+草酸盐等混合物。这些产物肯定是形成了,但就所用 SO₂ 的浓度如此高来看,α-羟基磺酸盐是否在 ppm 级浓度的 SO₂ 中形成,不免有些怀疑。

尽管如此,必须考虑 α-羟基磺酸盐乃 SO₂ 毒性的潜在来源。α-羟基磺酸盐最早被认为是羟基乙酸氧化酶和气孔张开的抑制剂。例如,0.8mM 的 α-羟基癸烷磺酸盐就能使气孔的张开受到 50% 的抑制。而且这些抑制剂最近已被认为可能会造成更普

遍的抑制作用。Lüttge 等报告说, 0.5mM 的乙二醛亚硫酸氢盐混合物抑制了 CO_2 的固定作用, 同时 pH 也会随着光而不断地改变。这两位学者和 Murray 以及 Bradbeer 都认为, α -羟基磺酸盐的作用是和膜及输导性能的作用相协调的。

大量资料论述了 SO_2 对叶绿素的作用。Rao 和 Le Blanc 证明, 把地衣暴露于 SO_2 中以后, 体内的叶绿素就被转变成脱镁叶绿素。大家知道, 降低 pH 以后, Mg^{++} 就会从叶绿素中失去而形成脱镁叶绿素。在这种情况下, SO_2 的作用可以完全解释为酸化作用。Grill 和 Haerth 曾总结说, 云杉的针叶对 SO_2 的抗性取决于它们的缓冲能力。较老的针叶在酸性范围内缓冲能力较弱, 较易受到 SO_2 的伤害。Syratt 和 Wanstall 曾对苔藓植物中叶绿素的破坏情况进行了测定。他们发现, 在 SO_2 浓度和湿度都较高的时候, 叶绿素受到的破坏较多。于是他们认为, SO_2 是以硫酸形式发挥作用的。Gilbert 根据他在英国东北部对地衣和苔藓植物的研究结果, 亦得到相同的结论。

5. SO_2 的代谢

硫是植物必需的一种重要营养元素。通常, 植物吸取硫以形成重要的化合物, 如蛋白质中的半胱氨酸和蛋氨酸, 谷胱甘肽, 辅酶 A, 硫辛酸, 生物素, 核酸中的含硫基以及磺基异鼠李糖(在硫酸酯中)。在多数情况下, 所需的硫呈还原态。很多人都致力于植物体中硫酸还原酶类的研究, 而且常常假设在这一过程中, 亚硫酸盐是一种中间产物, 同时外源的亚硫酸盐必须适应于硫酸盐还原的体制。即使如此, 还不能消除这种可能性, 即中间产物的形式, 或许是由于硫酸盐可被活化而亚硫酸盐则不能活化的缘故。假如情况确实如后一种的话, 则亚硫酸盐在被代谢以前, 必须转变成硫酸盐。尽管如此, 但植物组织的胞外制品却完全可以把亚硫酸盐还原成硫化物。Schiff 和 Hodson 曾认

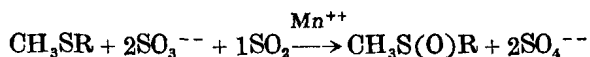
为,在硫酸盐的正常还原过程中,亚硫酸盐以及亚硫酸盐还原酶可能不起作用。

植物组织在吸取放射性硫酸盐以后,产品中就含有放射性亚硫酸盐、硫化物、半胱氨酸和蛋氨酸。把植物暴露于 $^{35}\text{SO}_2$ 中以后,产品中就含有硫酸盐、半胱氨酸、谷胱甘肽和至少一种没有什么特征的混合物。这可以表明,硫酸盐是主要产品。这一观察通常是:把植物暴露于 SO_2 中以后,进行观察,会看到硫酸盐出现聚积现象。De Cormis 也曾把植物暴露于 $^{35}\text{SO}_2$ 中,发现在处理以后,很短期内细胞中 98% 的 ^{35}S 就以硫酸盐形式呈现。15 天以后,发现 2.5% 的 ^{35}S 出现在游离氨基酸中,5% 出现在蛋白质中,92.5% 为硫酸盐形式。也有人报告说,把植物暴露于 $^{35}\text{SO}_2$ 中以后,特别对植物进行了照光,接着会放出 H_2^{35}S 。这些结果再次表明,氧化作用是 SO_2 的主要反应。没有迹象可以说明还原过程是否直接利用溶解了的 SO_2 或通过硫酸盐中间产物。

Guderian 曾对不同年龄的桉木叶中的 SO_2 伤害、硫的集聚以及光合能力进行了有趣的比较。在所有情况下,光合作用的高峰都和硫积聚的高峰相符合(硫在不同混合物中的分布情况未进行测定)。但是,当 SO_2 的浓度从 1ppm 增加到 2ppm 时,伤害的高峰就从老叶转移到幼叶。在后一种情况下,当光合作用(和硫的积聚)达最高峰时,伤害也最严重。这些结果表明,如果把亚硫酸盐转变成硫酸盐看作为一种保护机理,可能太简单化了。Guderian 发现,营养状况对决定 SO_2 伤害方面起着很大作用。提高含 Ca^{++} 和 K^+ 的水平,有降低伤害的趋势,而提高含磷酸盐水平,则使伤害加重。

植物体中亚硫酸盐的氧化作用尚未进行广泛的研究。Syratt 和 Wanstall 发现,在某些藓类植物中, SO_2 会刺激呼吸作用,但

硫酸盐的积聚和呼吸作用无关。硫杆菌属毛皮(或切根)线虫体中亚硫酸盐的氧化作用需要细胞色素 C 作为一种辅助因素,但是在高等植物体中是否也存在着类似的体制,还有待发现。肝褐色的亚硫酸盐氧化酶对解除动物的 SO_2 中毒方面具有一定作用。与此可能有关的是, Yang 在研究植物体中乙烯形成时发现,当甲硫氨酸非酶氧化成甲硫氨酸亚砷时,亚硫酸盐被氧化成硫酸盐:



这一反应被过氧化物歧化酶所抑制,说明过氧化物在氧化过程中是一种中间体。

Yang 和 Saleh 曾报告说,亚硫酸盐是在有 Mn^{++} 、 O_2 以及色氨酸或吡啶乙酸存在时氧化成硫酸盐的。在这一过程中,吡啶化合物也被氧化了。这些反应可能包含植物细胞里的亚硫酸盐的氧化作用,同时也有吡啶化合物的氧化。

生物化学方面的影响

1. 对醛类和酮类的影响

亚硫酸盐和醛类以及酮类之间的反应情况,很多年前就知道了:



尤其就酮类来说,平衡是趋向磺酸盐的。这些反应至少可以在两个方面影响生物体系:(1)捕集具有醛基或酮基的代谢中间产物;(2)形成酶促反应抑制剂的羟基磺酸盐。醛类以及酮类和生物材料的反应,有赖于可能存在于细胞中的 HSO_3^- 和酮类化合物反应的速度及其平衡位置。然而,这些想法还没有

得到足够的重视。

2. 对烯属化合物的影响

借助一个自由基来进行的亚硫酸盐和烯属化合物的反应，一般是产生磺酸。当 pH 增高时，这些反应进行得更快，这说明 SO_3^{--} 是一种活性物质。

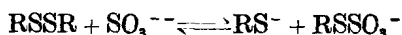
亚硫酸盐和马来酸或富马酸反应，产生磺基羧酸。它和 *N*-乙基顺丁烯二酰亚胺的反应，已被作为测定亚硫酸盐的方法之一。

Lehmann 和 Benson 报告说，在甲基葡萄糖苷酸中加入亚硫酸盐以后，形成产量很高的甲基-6-磺基- α -D-异鼠李糖苷，而亚硫酸盐和磷酸烯醇丙酮酸作用以后则产生 CO_2 、磺基醋酸以及磷酸盐。

$^{35}\text{SO}_2$ 的代谢作用不产生以上反应中的任何产物。Weigal 和 Ziegler 所指不知名的化合物可能含有这种产品。然而和烯属化合物发生作用在生物学上的重要性，迄今仍然毫无所知。

3. 对二硫化物的影响

亚硫酸盐和二硫化物(如胱氨酸)发生作用后产生硫醇和磺酸盐。



和小分子量的化合物如胱氨酸以及蛋白质的反应都是可逆的。为了把反应式引向右方，必须利用汞离子来捕获 RS^- 。亚硫酸盐（一般用高浓度的亚硫酸盐）和蛋白质中的二硫化物进行反应，已被作为分析手段应用。但是，我们仍然怀疑，在暴露于 SO_2 的植物体中是否会发生这种反应？曾有报告说， SO_2 中的 SH 含量对松针所造成的伤害要比对照叶子高 2~4 倍。然而人们对这一作用究竟是如何引起的，可能会感到惊异。也许是 SO_2 改变了叶子的新陈代谢作用，从而产生更多的 SH 化合物。