

2. 提高施肥技术,改进目前的施肥技术,由撒施变成深施,水田土壤施入 5—15 厘米的还原层,旱地土壤施入 10—12 厘米土层。水田地区改串灌为畦灌。选用无毒、无副作用的硝化抑制剂,以减少氮素的硝化和流失。

3. 发展化肥新品种,大力发展复合肥和长效肥。

4. 积极研究和发展水面养殖适用的肥料品种 陆地和浅海水面养殖将会有很大发展,要提高产量就需施肥,势必增加环境负荷,对环境将带来更大的污染。建议有关部门立即组织攻关,研制适于水面养殖的肥料品种和施用技术。

5. 增加土壤覆盖,控制和减少水土流失。过去,重平原建设不重视山区和河流上游建设是违反农业生态平衡规律的,是治标不治本。应树立山区平原一起抓的战略思想,植树种草,增加土壤覆盖率,是减少水土流失的根本。

参 考 文 献

[1] 张夫道等,农业现代化探讨,第57期,1—37(1983)。

- [2] 张夫道等,农业现代化探讨,第23期,1—10(1984)。
- [3] 黑龙江农科院土肥所,土壤肥料,(4),23—25(1978)。
- [4] 赵振达等,土壤通报,(4),27—29(1979)。
- [5] 晋清源等,山西农业科学,(3),2—4(1981)。
- [6] 朱兆良,土壤,(1),2—9(1985)。
- [7] 鲁如坤,土壤学进展,(6),1—12(1979)。
- [8] 黄东迈等,中国科学,(10),907—912(1982)。
- [9] 赫崇岩等,土壤通报,(3),1—3(1981)。
- [10] 施秀珠等,土壤养分、植物营养与合理施肥(孙羲主编),329—340,农业出版社,1983。
- [11] 袁增玉等,原子能农业应用,(2),34—39(1981)。
- [12] 聂光明等,原子能农业应用,(2),16—20(1982)。
- [13] 郭云桃等,湖北农业科学,(7),14—18(1981)。
- [14] 陈荣业、朱兆良,土壤学报,19(2),122—130(1982)。
- [15] 奚振帮等,土壤学报,15(2),113—125(1978)。
- [16] 朱兆良等,科学通报,(11),503(1977)。
- [17] 赵振达等,土壤养分、植物营养与合理施肥(孙羲主编),217—229,农业出版社,1983。
- [18] 孙羲主编:农业化学,66,上海科技出版社,1979。
- [19] 杨国治等,土壤通报,(3),4—7(1981)。
- [20] 南京土壤研究所,土壤知识,第35页,农业出版社,1976。
- [21] 刘中柱,土肥建设,(4),1—35(1982)。
- [22] 夏元初等,中华放射医学与防护杂志,(3),50—53(1982)。
- [23] 舒金华,环境科学丛刊,5(4),24—30(1984)。
- [24] 马玉琴等,辐射防护,(5),48—52(1981)。
- [25] 张夫道,土壤肥料,(1),16—19(1984)。
- [26] 中国农科院土肥所,科学实验年报,P.79—93,1981。

植 物 对 SO_2 污 染 的 反 应

曹洪法 刘厚田 舒俭民 高映新

(中国环境科学研究院)

SO_2 是大气中的主要污染物,来源于煤、石油燃烧和含硫矿石的冶炼等。随着世界对能源和自然资源需求的增加, SO_2 污染日趋严重。 SO_2 的气相和液相两种形式都会对环境产生有害的影响。气相 SO_2 明显地危害植物、动物、人体和建筑材料等。 SO_2 和大气水蒸气相互作用形成液相 SO_2 ,最终以酸雨

的形式返回地面,对土壤、植物、湖泊、河流和整个生态系统产生很大的影响。

植物对 SO_2 污染的反应是十分复杂的。早期研究基本上集中在 SO_2 对植物影响的症状学和田间调查。近十几年来,采用了复杂的实验设计以及先进的熏气装置和分析技术,研究 SO_2 对植物的毒害作用和影响。本

文对近期的研究进展和动向作一简要介绍。

一、植物和硫

1860 年 Sacks 等确定硫是植物生长的主要矿物营养元素,其中 90% 用于氨基酸(半胱氨酸、蛋氨酸)的合成,其余主要构成在叶绿素合成中起重要作用的酶的组成成份。植物叶子硫含量范围在 500—1400ppm,干物重的硫含量范围在 0.5—14mg/g。植物通常从土壤中摄取离子形式的硫,也可以通过叶子吸收大气中的 SO_2 或 SO_3 。硫的同化作用超过一定的临界值时,就明显地影响植物光合作用、呼吸作用和其它生理过程。一般认为 0.15ppm SO_2 为高等植物生命不受伤害的临界浓度,若大气中 SO_2 浓度超过这水平,就会增加叶子中硫的含量,引起不可逆的伤害,最终使植物死亡。

二、植物反应和 SO_2 浓度、 暴露时间的关系

植物对 SO_2 的反应主要取决于浓度和暴露时间。一般把植物的反应分成三类:急性伤害、慢性危害和生理生化危害。急性伤害一般指 SO_2 浓度超过 1ppm 的短期暴露,由于植物迅速吸收 SO_2 而造成的。引起慢性危害的 SO_2 浓度一般在 0.10—0.15ppm 范围内持续几天,几星期或几个月的作用造成的。生理生化危害表示植物生理生化过程的改变,如光合作用、气孔运动和酶活性等。最近 Whitercourt 环境研究小组,把 SO_2 对植物的伤害症状分成三种类型:瞬时的、急性和慢性的。由于这种划分是以伤害症状持续的时间和植物受害的程度为根据的,因而更可靠,有助于在田间条件下,描述植物对 SO_2 污染的反应状况。

SO_2 对植物的危害程度随时间而变化。Guderian 报道,红三叶的受害程度和光合速度、硫积累量之间密切相关。气孔是气相污染物进入植物体的主要通道, SO_2 对植物的

危害主要发生在白天,夜间气孔关闭, SO_2 的影响大大减小。植物对 SO_2 的敏感性随季节的变化而变化,叶片的生理条件和成熟程度,在决定植物本身对 SO_2 反应,也是一个重要因素。生理功能旺盛的新展开叶对 SO_2 的伤害为最敏感,刚刚吐露的幼叶和生理活动衰退的老叶受害轻。

三、 SO_2 对形态学和亚细胞水平的影响

气相 SO_2 主要通过气孔扩散进入叶子,少量的 SO_2 可被叶片表皮吸收。和气相 SO_2 相反,硫酸雾和气溶胶对植物表皮具有更大的腐蚀作用。Tamm 指出, SO_2 生成的酸雨能引起表皮的腐蚀。由于叶子表皮层的破坏,增加了植物对环境因子的敏感性。非导管植物,尤其是地衣和苔藓类对 SO_2 的敏感性更大。由于它们叶绿素含量低,没有角质层保护,在较高浓度 SO_2 作用下,绝大多数地衣不能繁殖,群落很小,其生物量和大气中 SO_2 浓度呈负相关。

Mathotra 等报道,10—50ppm 低浓度液相 SO_2 (aqueous sulfur) 对松针组织在亚细胞水平没有影响,100ppm 液相 SO_2 对叶绿体有一定程度的损害,在 500ppm 液相 SO_2 时,在超亚显微结构水平显现出明显的变化,如类囊体膨胀,叶绿体内膜解体等。从 SO_2 处理松针组织的离体叶绿体进行的希尔反应来看,放氧速度显著受抑。这一结果与上述细胞学上的观察相一致。

Fsher 指出,蚕豆 (*Vicia faba*) 在 0.25 ppm SO_2 中暴露 1 小时,子座类囊体和基膜扩展,提高 SO_2 浓度或增加暴露时间,使颗粒类囊体扩展,尤其是囊体的上底座。在 0.25ppm SO_2 中暴露 1 小时引起的类囊体扩展,即使把供试材料转移到未受污染的大气环境中,也不能恢复,说明这种影响是不可逆的。 SO_2 处理叶绿体,在亚细胞水平产生的变化,明显地反映到光合组织。结果表明,若海绵组织出现可见伤害,光合过程受阻、光合效

率降低,且这种影响是不可逆的。如没有明显的可见伤害,则光合过程的部分恢复是可能的。

四、叶组织的 K^+ 流失和质膜渗透性

许多文献报道,伴随着 SO_2 暴露观测到叶组织中 K^+ 渗漏到培养介质中。在大多数地衣中, K^+ 释放的初始阶段符合 Michaelis-Menten 方程。由于 K^+ 的释放伴随着生长发育、生理生化的反应,因此,用不会导致 K^+ 的释放的 SO_2 临界浓度,来评价地衣的敏感性是一简单易行的有效方法。 K^+ 流失的研究对确定地衣的大气中最大允许 SO_2 浓度,提供了有价值的资料和依据。 SO_2 引起细胞膜结构蛋白的变化,导致细胞膜渗透性的改变,使营养离子外渗。Bell 等在 S_{23} 黑麦草的研究中,以生活细胞在 SO_2 作用下出现的 K^+ 流失作为膜渗透性指标。

五、气孔运动

气孔是植物气体交换和水蒸气扩散的主要道路。在 SO_2 作用下气孔运动有明显的影响。气孔对 SO_2 的反应随植物种类、 SO_2 浓度和暴露时间等因素的变化而变化。Majernik 报道了生长 5 个星期的扁豆叶片气孔对 SO_2 暴露的反应(见图 1)。在相对湿度 40%,温度 18℃ 以上的条件下, SO_2 促进气孔张开,由此促进更多的 SO_2 进入植物体。图 1 可以看出,用 SO_2 处理的扁豆,气孔张开速度大于对照,且气孔张开度大,同时延缓了气孔在黑暗条件下关闭的时间。1ppm SO_2 对扁豆气孔张开的影 响是可逆的,但连续作用 6 小时后,气孔反应就成为不可逆的。Ashendon 发现肾形菜豆在 0.1ppm SO_2 的长期作用下,开始时促进了蒸腾作用,说明气孔张开,但三天后蒸腾作用的速度就恢复到对照的水平。许多植物长期暴露在低浓度 SO_2 的情况下,气孔运动受到抑制。曹洪法和 Olszyk 报道,0.15ppm SO_2 使菜豆气孔传导率下降,

0.20ppm SO_2 使豌豆气孔扩散阻力增加。

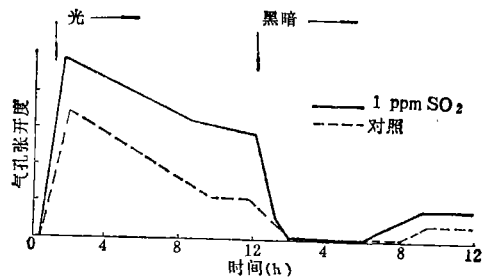


图 1 1ppm SO_2 对扁豆气孔的影响

关于气孔行为中 CO_2 和 SO_2 相互作用的研究指出,在大气中一般 CO_2 浓度情况下,0.25ppm 或更高浓度的 SO_2 明显增加,气孔呈现出关闭。不同植物之间,气孔对 SO_2 反应程度的变化是很大的,因此可以认为在污染地区选择作物种类和品种,气孔反应是一个十分有用的指标。

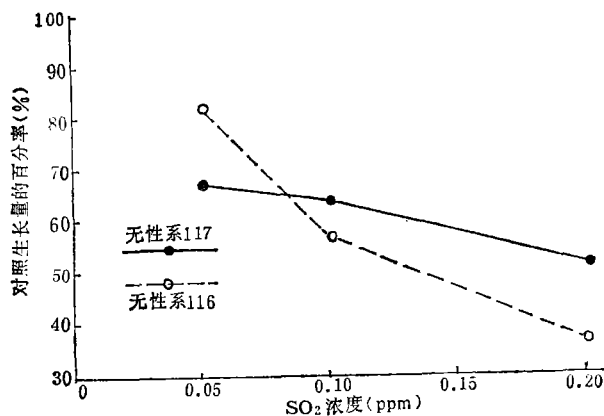
抗蒸腾剂有助于气孔恢复,因为气孔张开引起水分通过蒸腾作用而过量的消耗,造成在 SO_2 污染地区植物对水分的需求将进一步增加。某些化合物如 OED (oxyethylene decosanol) 绿在 SO_2 污染源附近对植物进行叶面喷施,由于 OED 绿等抗蒸腾剂在叶表面形成一薄膜,从而能减少 SO_2 所造成的伤害和影响。

六、光合作用

光合作用是植物最重要的生理功能。光合作用过程对 SO_2 污染是十分敏感的。Muller 指出,大豆在 0.1ppm、0.3ppm 和 0.7ppm SO_2 田间间歇暴露下,光合速度明显减少。0.3ppm 和 0.7ppm SO_2 处理的大豆分别比对照减少 40% 和 60%,且反应是不可逆的。0.7ppm SO_2 处理引起光合作用速度变化的最短反应时间为 25 分钟;0.3ppm 暴露的最短反应时间为 2.5 小时。Keller 用 0.05、0.1 和 0.2 ppm SO_2 处理挪威云杉 10 个星期,研究 SO_2 对 CO_2 吸收和年轮生长结构的影响。发现

表 1 0.2ppm SO₂ 对挪威云杉的影响

云杉无性系	CO ₂ 吸收减少(%)	新生细胞减少(%)	木比重减少(%)	木材产量减少(%)
116	45	40	31	46
117	70	36	46	61

图 2 SO₂ 对云杉生长的影响

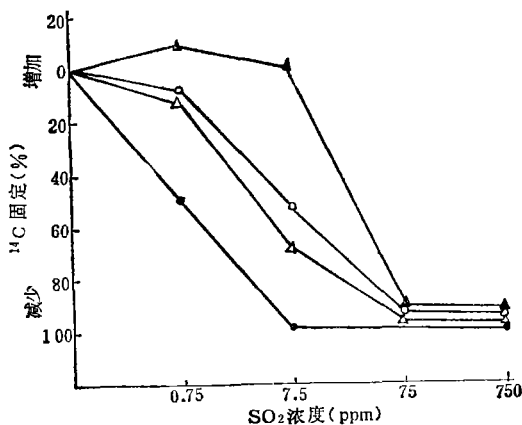
在发芽和茎生长期，CO₂ 吸收下降，新年轮的细胞数和新木的比重明显减少（见表1和图2）。

近年来用¹⁴C 技术研究了 SO₂ 对碳固定的影响。Unsworth 报道，在高浓度 SO₂ 和低 pH 溶液中预培养的地衣，¹⁴C 固定的变化十分明显（见图3）。在 pH 3.2 和 7.5ppm SO₂ 处理影响最大。在 SO₂ 浓度和 pH 高的情况下，影响小；pH 不同但 SO₂ 浓度达 7.5ppm 时，就使碳的固定完全被抑制。SO₂ 对植物光合作用的有害影响程度与浓度，暴露时间、暴露频率、pH 和植物种类密切相关。

SO₂ 对光合作用的显著影响，部分原因是由于它对光合色素的影响。SO₂ 可以在三个方面和叶绿素反应，即漂白（如颜色的消失）、叶绿素脱镁（叶绿素分子降解为无光合活性的脱镁叶绿素）和色素光谱特性的变化。

七、呼吸和光呼吸

与 SO₂ 对光合作用的影响相反，SO₂ 能

图 3 SO₂ 对地衣¹⁴C 固定的影响

促进植物的呼吸作用。Syratt 报道，在相对湿度 100% 的条件下，5ppm SO₂ 增加地衣 *Diconanowesia Cirrate* 和 *Metzgeria furcata* 的呼吸速度 30% 以上。有的学者认为 SO₂ 污染增加植物的呼吸速度，在此过程中多产生的能量用于 SO₂ 迅速氧化成硫酸盐，这似乎是植物本身抵御污染，减轻毒害而发展的新陈代谢途径。

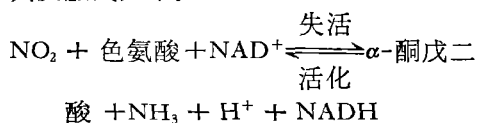
光呼吸是某些植物的叶绿素组织中所特

有的呼吸类型,仅仅是在光的作用下才能出现,光呼吸是 C_3 植物所特有的。Tanaka 报道, SO_2 促进 C_3 高等植物光呼吸作用,由于 SO_2 的污染,光呼吸速度增加 25% 以上,产量下降 15%。

八、 SO_2 对酶的影响

SO_2 对植物许多酶系统产生影响,引起酶分子空间结构的变化,使双硫键断裂,导致酶的活性丧失。资料表明,在低浓度 SO_2 作用下,催化酶反应就十分敏感。它的失活是由于酶分子空间结构的改变。

核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶 (RuDP) 对 SO_2 也非常敏感。离体菠菜叶绿素在 SO_2 作用下,磷酸烯醇式丙酮酸 (PEP) 羧化酶和其它光合酶受到明显抑制。结果表明,PEP 羧化酶和 RuDP 羧化酶的抑制是 SO_2 对重碳酸盐位置的竞争性抑制。Kamogawa 报道,在 SO_2 作用下叶中形成的硫化物抑制土豆和兔肉中提取的磷酸化酶。Jaeger 等指出,在还原胺化作用方向, SO_2 活化谷氨酸脱氢酶,在氧化氨化作用方向, SO_2 使它失去活性,而谷氨酸合成酶是很难受 SO_2 的影响的。其反应式如下:



相同性质的研究表明,其它酶如过氧化酶对 SO_2 也很敏感。 SO_2 对同一种酶的影响因细胞器的不同而不同。Pahlick 报道, SO_2 可抑制线粒体中的谷氨酸-草酰乙酸转氨酶,但对细胞质中的同一种酶则没有影响。很多研究指出,ATP、糖含量和叶绿素 a/b 比是随 SO_2 作用而降低。其减少量和 SO_2 浓度呈正相关。Hawey 报道,捷克松在 0.05、0.1 和 0.25ppm SO_2 的处理下,ATP 明显受抑,分别比对照低 20%、27% 和 35%,呈现出随 SO_2 浓度增加而减少的趋势。当 SO_2 熏气结束,ATP 水平很快恢复到对照水平。因此可以认为,ATP

对 SO_2 的反应,在一定浓度以下是可逆的。

九、对蛋白质合成和氨基酸成分的影响

蛋白质合成是最重要的生物过程之一。蛋白质含量下降很可能影响植物的产量和品质。Godzik 报道,0.7ppm SO_2 处理菜豆 6—72 小时,增加了自由氨基酸的含量,以天门冬氨酸和谷氨酸含量增加最为显著。 SO_2 暴露 6 小时后,蛋白质含量下降。Sukuki 指出,苗龄为一个月的小麦麦苗在 300 ppm $^{14}CO_2$ 和 2ppm SO_2 作用下,30 分钟后,麦苗中自由氨基酸含量增加,但氨基酸组成成分中,丝氨酸含量急剧减少,仅为对照的 50%。这种氨基酸新陈代谢失调与细胞中硫化物的形成密切相关。丝氨酸的减少影响了 IAA 前体色氨酸的合成。Tanaka 报道, SO_2 污染和植物氨基酸组成成分的改变之间显示出密切的相关性。 SO_2 处理的植物,谷氨酸含量较对照减少 20—40%,谷氨酰氨含量较对照增加 130—240%。在地衣 (*Lecanura melarophthalma*) 的蛋白质中的氨基酸组成,尤其是胱氨酸的百分率,随 SO_2 污染程度的变化而变化。

十、 SO_2 对生长发育和产量的影响

SO_2 污染对植物生长和产量的影响是十分重要的。据估计在工业化国家农业产量损失的一个重要因素是农作物对 SO_2 的敏感性。Tanigama 观察到日本水稻产量与大气中 SO_2 水平之间呈现出明显的相关性。虽然未发现任何可见伤害症状,但结果分析表明水稻产量和各地区工业发展水平之间密切相关。因此,研究 SO_2 污染对生长和产量影响的重要性超过伤害症状的调查。

近年来大量报道 SO_2 污染对植物生长和产量的影响。Garsed 报道苏格兰松在 0.05 ppm SO_2 作用下连续 77 个星期,虽未出现任何可见伤害,但茎直径的生长量较对照低 20%。Farrar 用苏格兰松在 0.06ppm 下作用 26 个星期,干重比对照减少 50%;茎的直径

表 2 低浓度 SO₂ 长期暴露对植物的影响

SO ₂ (ppm)	暴露时间	植物种类	影响程度	作 者
0.068	20 星期	意大利黑麦草	绿叶干重减 28%	Ashendon, 1980
0.068	20 星期	梯 牧 草	总干重下降 51%	Ashendon, 1980
0.06	26 星期	苏格兰松	干重下降 50%, 茎高和松针长度分别减少 50% 和 25%	Farrar, 1978
0.02	32 星期		种子产量减少 50%	Thompson, 1980
0.068	12 星期	兰 牧 草	总干重减少 35%	Ashendon, 1980
0.02	13 星期	冰 草	蛋白质含量下降 15%	Schwartz, 1978
0.14	4 星期	罗 汉 松	植株高度下降 8%	Kress, 1977
0.25	5 星期	大 豆	总干重减少 15%, 植株高度下降 25%	Reinert, 1980
0.02	4 星期	黄 瓜	叶、根干重和产量分别下降 33.4、56.5 和 36.0%	Meistrick, 1980
0.09	7 星期	大 豆	产量减少 6.4%	Sprugel, 1980
0.12	7 星期	大 豆	减产 12.3%	Sprugel, 1980
0.25	7 星期	大 豆	植株高度、总干重和产量分别下降 32%、20% 和 19.2%	Reinert, 1980
0.22	8 星期	豌 豆	叶蛋白、种子蛋白和产量分别下降 15.0%、5.0% 和 13.2%	Sardi, 1981
0.10	11 星期	西 红 柿	产量减少 16%	Oshima, 1978

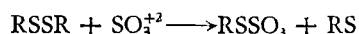
明显地小于对照;茎高和松针的长度下降,较对照分别减少 50% 和 25%。Sprugel 指出, 0.09、0.10、0.12 和 0.19ppm SO₂ 处理大豆 7 个星期,未观察到可见伤害,而大豆产量分别较对照减少 6.4%、5.4%、12.3% 和 12.2%。近几年来十分重视低浓度长期暴露对植物生长和产量的影响,大多数研究认为 SO₂ 浓度在 0.03ppm 以下,对多数植物生长和产量无明显影响(见表 2)。

十一、SO₂ 毒害机理

SO₂ 在很多方面影响植物生长和代谢过程。Rao 以 5ppm SO₂ 处理二种石黄衣 (*Xanthoria fellax* 与 *X. parietina*)、梅衣 (*Parmelia caperata*) 和粉蜈蚣衣 (*Physcia millegrana*)。研究了与 SO₂ 伤害有关的脱镁叶绿素现象,发现 SO₂ 在水中溶解而形成亚硫酸,降解叶绿素分子的卟啉环,使 Mg²⁺ 流失,成为没有光合活性的脱镁叶绿素。

SO₂ 具有氧化或还原能力,是氧化剂还

是还原剂取决于系统中的氧化还原电位。当介质中 pH 下降,SO₂ 的毒害作用就增强。地衣色素的漂白是氧化过程。SO₂ 对酶和其它具生理生化活性的蛋白质分子的一个重要影响是切割二硫键,按下列反应式进行:



在蛋白质分子中二硫键的破坏,改变了蛋白质分子结构的空问构型,使酶失去活性和催化作用。同样,SO₂ 影响细胞膜的结构蛋白,改变了细胞渗透性。

亚硫酸盐在细胞中过量积累,可与其它离子络合,改变了有金属离子成分的酶在反应过程中的电子传递方式。已经观察到 CO₂ 固定酶上 SO₂ 对 CO₂ 或重碳酸盐位置的竞争。Zeigler 对菠菜的核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶、苹果酸脱氢酶等的研究,证明 SO₂ 对底物中的成分产生竞争性抑制酸式硫酸盐与醛类、甲基酮等有机物进行反应也可引起植物的毒害作用。Mukerji 等发现,植物在 SO₂ 作用下形成二羟醋酸酸式硫酸盐,该化合物和

硫化物一样是酶的抑制剂。

十二、对植物群落和组成的影响

SO₂ 对自然群落的影响有以下几个方面: (1)对种群和种类组成的直接影响, (2)对微生物的影响, (3)间接影响, 如改变植物和病菌体的关系等。在加拿大 Ontario 地区的冶炼厂排放的 SO₂, 使有花植物种类减少, 尤其在工厂附近地区仅存在少数抗性强的种类, 敏感性种类在群落中消失。0.019 ppm SO₂ 能引起云杉林的伤害, 0.016 ppm SO₂ 造成雪松林的破坏。Mcclenahen 调查了俄亥俄河流域东部阔叶林的结构和组成变化, 结果表明, 木本上层种类和杂草层的密度与 SO₂ 浓度呈负相关, 在空间分布上随着 SO₂ 浓度梯度增加而减少。

十三、SO₂ 和其它污染物的复合作用

在环境中的污染物决不会单独存在, 重要的污染物如颗粒物、SO₂、NO₂、氟化物和 O₃ 等一般以不同比例的混合物一起出现。其中有些污染物可以相互反应形成次生污染物, 如碳氢化物和氮氧化物等一次污染物在阳光作用下发生光化学反应生成二次污染物 O₃、PAN 等。对生物来说, 污染物的复合影响一般不同于单一污染物, 其影响可能是协同、相加和颉颃。

1. SO₂ 和 NO₂ 的复合作用: 在煤、石油燃烧和金属冶炼过程中同时释放 SO₂ 和 NO₂, 组成了气相污染物中的重要结合。监测资料表明, 在某些污染地区这两种污染物浓度均已达到或超过伤害植物的临界浓度。

Tingey 研究了 SO₂ 和 NO₂ 对大豆、萝卜、扁豆、燕麦、烟草和土豆等六种植物的复合污染的影响。用 0.05 ppm 和 0.25 ppm 处理 4 小时, SO₂ 或 NO₂ 在该浓度都未引起植物可见伤害, 但 SO₂ 和 NO₂ 以上述两种浓度混合起复合作用时, 植物呈现出明显的可见伤害症状。按照 SO₂ 和 NO₂ 复合污染引起的伤害程度, 这六种植物的敏感性顺序为大豆 > 萝卜 > 土豆 > 扁豆 > 燕麦 > 烟草。SO₂ 和 NO₂ 的复合污染使叶子上表面出现的伤害症状和 O₃ 引起的症状相似。在叶子的下表面引起的淡红色色素沉淀斑点或局部银色光泽斑点, 在空间上的分布与上表面的伤害无关。

Bennet 等研究了 SO₂ 和 NO₂ 对 *Avena sativa*、*Raphanus sativus*、*Lycopersicum esculentum* 和甜菜等的复合影响。结果表明, 影响程度因种类、浓度而异, 有的是相加、有的是协同、有的是颉颃。White 等报道, SO₂ 和 NO₂ 对苜蓿光合速度影响, 以 0.15 ppm SO₂ 和 0.15 ppm NO₂ 处理, 或以 0.25 ppm SO₂ 和 0.25 ppm NO₂ 处理, 均为协同作用, 但协同程度随污染物浓度增加而下降。以 0.5 ppm SO₂ 和 0.5 ppm NO₂ 处理对光合速度的影响不是协同作用, 而是相加作用。

2. SO₂ 和 HF 的复合影响: 在铝、铁和铜冶炼过程中同时排放 SO₂ 和 HF, 它们在大气中混合引起植物的伤害, 影响植物生长和发育, 干扰新陈代谢过程。Matsushima 报道, 0.8 ppm SO₂ 和 2.3 ppb HF 单独存在时, 对柑桔不产生任何可见伤害, 但两者结合, 不但引起伤害症状, 而且影响柑桔的生长和发

表 3 SO₂ 和 HF 对大麦的伤害

处 理	处理植物株数	叶伤害%±SD
对 照	557	0
HF	558	0.7±5.3
SO ₂	556	21.8±11.3
SO ₂ + HF	602	61.8±0.9

育。Manoll 等报道,菜豆、大麦和甜玉米分别暴露于活性炭过滤空气、HF、SO₂ 和 HF 及 SO₂ 混合污染物,持续时间共 27 天,SO₂ + HF 引起的伤害大于二者分别引起的伤害之和(见表 3)。

3. SO₂ 和 O₃ 的复合作用: Heagle 用大豆研究了 SO₂ 和 O₃ 的相互作用,发现在同一种植物不同品种之间发生不同类型的相互反应。在 SO₂ 和 O₃ 浓度都处在临界浓度时,两者复合所产生的可见伤害,可能是协同作用。当 SO₂ 和 O₃ 浓度低于各自的临界浓度时,复合影响的程度较小。Karnovsky 报道,0.2ppm SO₂ + 0.05 ppm O₃ 和 0.35ppm SO₂ + 0.05ppm O₃, 对三种白杨无性系的影响是协同作用,一种无性系为颉颃作用。

参 考 文 献

- [1] Ashenden, T. W., *Environ. Pollut. Ser., A* 18 45—50 (1979).
- [2] Bennett, J. H. et al., *Environ. Pollut.*, 9 122—132 (1975).
- [3] Black, V. J. et al., *Nature*, 282, 68—69(1979).

- [4] Sprugel, D. G. et al., *Phytopath*, 70(12), 1124 (1980).
- [5] Tamm, C. O. et al., *Ecosystem*, 12, 845—855 (1976).
- [6] Thompson, C. R. et al., *Air Pollut. Cont. Assoc.*, 30(12), 1304—1309 (1980).
- [7] Sardi, K. T., *Environ. Pollut.*, 75, 181—186 (1981).
- [8] Mejestrik, V., *Environ. Pollut. Ser., A* 21, 73—76(1980).
- [9] Oshima, R. J., *CARB Report* A7-1411-30 (1979).
- [10] Malhotra, S. S., *New Phytol.*, 76, 236—243 (1976).
- [11] Bell, T. N., et al., *Nature*, 241, 47(1973).
- [12] Mandl, R. H. et al., *Environ. Pollut.*, 9, 133—135(1975).
- [13] Olszyk, D. M. et al., *Plant Physiol.*, 67, 432—436(1981).
- [14] Reinert, R. A., *Phytopath*, 70, 914—916 (1980).
- [15] Muller, R. N. et al., *J. Appl. Ecol.*, 16, 567—576(1979).
- [16] Keller, T., The Effect of Long Duration Low SO₂ Concentrations upon Photosynthesis of Conifers, *Proceedings, 4th Internat. Clean Air Congress* (1977).
- [17] Varshney, C. K. et al., *Environ. Pollut. Ser., A* 18, 27—49(1979).
- [18] Harrey G. et al., *Can. J. Bot.*, 57, 759—764 (1979).

负轮特性频率法及其在流域水质系统规划中的应用

曾道先 廖 松 王蜀南

(清华大学 水利系)

水资源是我国四化建设中具有特殊重要意义的资源。我国水资源总数虽不少,但按人均计算仅相当世界人均占有量的四分之一,水质污染日趋严重。因此在深入研究并进行水资源规划时,应重视水质系统规划方法的研究。

流域水质系统规划及设计流量问题

水质系统规划通常可分为确定规划目标

(水体功能及水环境质量目标)、建立数学模型(包括参数识别)、进行系统模拟与规划及评价决策等几个步骤。为了建立水质状况与排污量的定量关系,必须首先引入系统中水体的某个流量(称为设计流量)作为系统输入,才能进行模拟计算。目前国内外尚缺乏确定水质规划设计流量的统一准则和标准,设计流量概念也比较含混。但一般均认为枯水季是污染严重时期,因此应取一定保证率下河