

二氧化硫剂量与植物急性伤害关系

曹洪法

(中国环境科学研究院生态所)

O.C. 泰勒

(美国加州大学大气污染研究中心)

摘 要

应用大气污染植物动态反应模拟装置系统测定了菜豆和苜蓿的 SO_2 剂量-反应关系。这2种植物对 SO_2 有类似的敏感性, $0.5\text{ppmSO}_2 \times 4$ 小时产生可见伤害症状。苜蓿在 $2.0\text{ppm} \times 4$ 小时出现50%的叶片可见伤害; 菜豆在 $1.0\text{ppm} \times 8$ 小时显示出50%的叶片可见伤害, $2.0\text{ppmSO}_2 \times 12$ 小时引起100%的叶片可见伤害。

剂量-反应表面图的形状表明, 菜豆和苜蓿出现可见伤害症状需要一定的暴露间隔。 SO_2 剂量和可见伤害率之间不成线性关系。 SO_2 浓度和暴露时间对叶片可见伤害率都有影响, 两者相比, 就菜豆而言, 浓度是更重要的因素, 但是对苜蓿, 浓度和时间是同等重要的。

SO_2 是大气污染中的主要污染物, 来源于煤、石油燃烧和含硫矿石的冶炼等。随着世界对能源和资源需求的增加, SO_2 污染日趋严重。制定保护生态平衡和植被的大气质量标准, 要研究植物对污染物的敏感性, 及其剂量反应关系, 探求大气污染物的阈浓度, 为标准提供可靠的生态基准。污染物浓度和暴露时间是研究大气质量标准中植被基准的两个主要因子。植物对 SO_2 的敏感性和植物伤害与 SO_2 剂量(浓度 $\times$ 时间)之间的关系, 首先由O'Gara (1922)提出。在七十年代以前, 许多实验已陈述了植物对 SO_2 浓度和暴露时间的反应(Zimmerman, 1956; Spiering, 1967; Dreisner, 1970)。但仍不清楚在植物出现可见伤害中, 起决定因子的究竟是污染物浓度, 还是暴露时间。近年来大气污染熏气装置和污染物连续检测技术的进展, 为剂量反应的定量研究提供了技术保证。Temple (1972)和Constantinidou (1979)研究了树木可见伤害与 SO_2 剂量的关系。本文报告了一年生草本植物急性伤害与 SO_2 剂量的关系, 并利用剂量反应表面图进行评价。

一、材料和方法

1. 植物材料

选用菜豆(*Phaseolus vulgaris*)和苜蓿(*Medicago sativa*)作供试植物。苜蓿种子先在泥炭沼-沙混合苗床发芽, 待出苗后移植到塑料盆内, 每盆一株; 菜豆种子直接播种在塑料钵中, 当第一叶展开时每盆定苗成一株。土壤为加州大学2号盆栽土。植物生长在有活性炭过滤空气和送风装置的温室内, 以消除环境中大气污染的干扰。在植物生长期间温度 $21-35^\circ\text{C}$, 光周期12小时, 相对湿度39—58%, 光合活性光子流量达 $1,300\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。当菜豆和苜蓿的苗龄分别为13天、15天时, 进行 SO_2 熏气处理。

2. SO₂熏气处理

SO₂熏气处理包括5种浓度(0.25、0.50、1.00、1.50和2.00ppm)与5个暴露时间(1、2、4、8和12小时)共25种SO₂剂量(浓度×时间)处理。每种处理重复40盆。进行SO₂处理时,植物置于大气污染动态反应模拟装置(CSTR)系统的熏气室。熏气室为1.30米²×1.50米高,活性炭过滤的空气经PVC管输入。各熏气室的排气口保持10毫米水柱负压,熏气室换气次数为2次/分。SO₂由高纯氮稀释为2%,经污染物分配装置和PVC管内的空气混合而输入熏气室,用闪烁荧光SO₂分析仪连续测定熏气室SO₂浓度。SO₂浓度分配和测定由微电脑控制并自动记录。

在SO₂暴露期间,光合活性光子流量为 $1,200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,温度在71—92°F,相对湿度为44—66%。植物在SO₂暴露前先浇水,并置于对照熏气室1小时,以适应其环境,然后转移到各SO₂剂量处理的熏气室,处理之间随机排列,以避免不同熏气室之间的可能差异。

3. 植物叶片可见伤害测定

SO₂暴露后,处理植物被送回温室。48小时后,测定菜豆和苜蓿叶片的可见伤害。其伤害率计算:伤害叶面积/总叶面积×100。

二、结果和讨论

1. 对SO₂的敏感性

菜豆和苜蓿这2种植物对SO₂有类似的敏感性(见表1)。在0.50ppm SO₂作用下4小时,叶片呈现出可见伤害。叶片的伤害症状是相同的,在叶脉间先出现棕红色斑渍,逐渐褪色成

表1 不同剂量SO₂对菜豆和苜蓿的急性伤害

table 1 effects of acute exposures of Pinto Bean and alfalfa to SO₂ dose

种类	SO ₂ (ppm)	暴露后叶片急性伤害百分率(%)				
		1 h	2 h	4 h	8 h	12 h
菜	0.25	0	0	0	0	0
	0.50	0	0	10	10	10
	1.00	<5	20	40	50	50
豆	1.50	40	50	60	70	70
	2.00	60	80	80	90	100
苜	0.25	0	0	0	0	0
	0.50	0	0	<5	10	20
	1.00	0	<5	10	30	40
蓿	1.50	5	20	30	40	60
	2.00	10	30	50	70	90

白色而枯干。菜豆在1.0ppm SO₂作用下8小时,叶片可见伤害率为50%,2.0ppm SO₂作用下12小时,叶片伤害率达100%。苜蓿在1.0ppm SO₂暴露下8小时,叶片伤害率为30%,2.0ppm SO₂暴露4小时,伤害率达50%。

这2种植物叶片的叶龄和敏感性之间的关系表现完全一致。在植株顶部新展开、生理功能旺盛的叶片对SO₂最敏感,其次是展开的成熟叶片较植株下部的较老叶片敏感,新生的幼小叶抗性最强。在试验期间0.50、1.00、和1.50ppm处理的幼嫩叶片,均未出现可见伤害。

2. 剂量反应关系

SO₂的剂量反应关系由O'Gara (1922) 提出来的。他以紫花苜蓿在 SO₂作用下的急性伤害试验结果为依据, 推导出剂量-伤害效应方程式。其模式为: $t(c-a) = b$ (1)

式中:

t = 暴露时间 (小时)

c = 污染物在 t 时间内使植物出现伤害的浓度 (ppm)

a = 伤害阈值以下浓度, 不管暴露多长时间不出现可见伤害症状 (ppm)

b = 常数

方程式 (1) 可重新排列为

$$c = \frac{b}{t} + a \quad (2)$$

c 对 $\frac{1}{t}$ 作图是一条线。参数 a 是 $\frac{1}{t} = 0$ 或 t 为 ∞ 的截距, 因此 a 可被认为是植物伤害的临界浓度。因此, O'Gara方程式可改为

$$t = b \left(\frac{1}{c-a} \right) \quad (3)$$

实践表明O'Gara方程不适合植物污染伤害的试验结果。植物伤害程度与SO₂剂量之间不呈线性关系。因此Guderian (1960)、Zohn (1968)、Heck (1971) 和Larson (1976) 等相继推导出植物伤害程度与 SO₂ 剂量关系的模式。其中以 Guderian 的函数方程式最具代表性。有关污染物浓度和暴露时间与植物伤害关系的函数方程为:

$$t = Ke^{-b(c-a)} \quad (4)$$

式中:

c = 污染物的浓度 (ppm)

a = 植物伤害的污染物临界值 (ppm)

b = 生物因子的总和

t = 暴露时间 (小时)

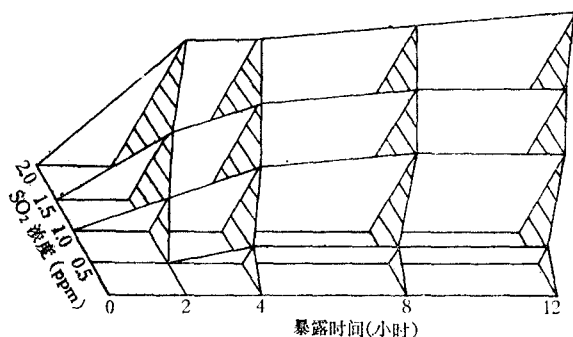
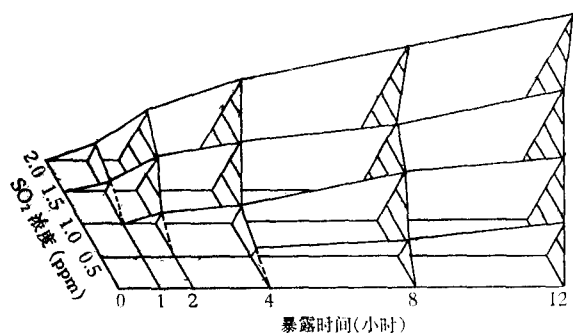
K = 植物生长年龄 (小时)

e = 自然对数

这些参数随植物种类、环境条件和伤害程度等的变化而改变。

所有这些暴露时间和污染物浓度方程都是由试验数据直接推导出来的, 有很大的局限性, 且不能描述暴露时间、污染物浓度和伤害程度三者之间的复杂关系, 必须运用三维图象法的方式表达。Heck等(1966) 创立了剂量-反应表面图来显示 O₃浓度、暴露时间与菜豆、烟草伤害程度的关系。这种方法清楚地呈现出植物伤害如何随污染物浓度或暴露时间而变化的完整清晰图象。

为了表示 SO₂ 浓度、暴露时间和植物伤害程度之间三维的相互作用, 本试验采用剂量-反应表面图。SO₂浓度以ppm、暴露时间以小时表示, 在垂直面的每一平行线代表叶片伤害枯斑率增加10%, 每一平行虚线表示增加 5%。菜豆和苜蓿可见伤害与暴露时间、SO₂ 浓度的关系见图 1 和图 2。

图1 SO_2 暴露下菜豆的剂量反应表面fig. 2 dose-response Surface of pinto bean to SO_2 图2 SO_2 暴露下苜蓿的剂量反应表面fig. 2 dose-response surface of alfalfa to SO_2

菜豆和苜蓿的剂量反应表面指出, 植物可见伤害出现需要一定的暴露时间。其暴露时间的长短与 SO_2 浓度密切相关。菜豆在 0.50ppm SO_2 作用下出现可见伤害症状, 暴露时间为 4 小时; 在 1.0ppm 时, 暴露时间仅需 1 小时。植物伤害的临界浓度取决于暴露时间。暴露时间短, 临界浓度高, 暴露时间长, 临界浓度就低。如苜蓿在 SO_2 暴露时间为 4 小时, 其临界浓度为 0.50ppm ; 暴露时间 1 小时, 临界浓度为 1.50ppm 。

图 1 清楚地表明, 植物伤害是暴露时间和 SO_2 浓度的函数。菜豆的剂量-反应表面呈现出在 $0.50\text{ppm} \times 4$ 小时以上, 叶片伤害率增加, 并随 SO_2 浓度和暴露时间增加而增加。但是伤害程度和 SO_2 剂量不成直线相关。 1ppm $\text{SO}_2 \times 4$ 小时的剂量 (4ppm SO_2 -小时) 所引起的伤害率不等于 2ppm $\text{SO}_2 \times 2$ 小时的剂量 (4ppm SO_2 -小时) 处理的伤害数量, 前者伤害率为 40%, 后者伤害率达 80%。由此可见, 当污染物总剂量相同时, 植物产生的

可见伤害数量不相等。图 1 进一步指出, 菜豆的伤害程度随 SO_2 浓度增加而增加, 其增加的程度大于暴露时间增加所引起的伤害程度。暴露时间为 2 小时, 其 SO_2 浓度分别为 0.5、1.0、1.5 和 2.0ppm , 叶片可见伤害率分别是 0、20、50、和 80%; 但 SO_2 浓度 0.5ppm , 暴露时间分别为 1、2、4、8 和 12 小时, 其叶片伤害率在 4—12 小时范围内维持在 10% 的水平。由此可以认为, SO_2 浓度和暴露时间对菜豆伤害程度都有影响, 但二者相比, 浓度是起决定作用的主要因子。这与 Temple (1972) 关于挪威枫树在 SO_2 急性暴露条件下, 剂量-反应试验结果相一致。报道指出, 这两种植物的伤害率缓慢地随时间增加而增加, 但随 SO_2 浓度增加而迅速升高。在引起可见伤害过程中, SO_2 浓度的重要性大于暴露时间。

苜蓿的剂量-反应表面完全不同于菜豆的。图 2 指出, 剂量反应表面的形状是对称的。叶片伤害程度随 SO_2 浓度和暴露时间的变化而变化。如 SO_2 浓度 1.50ppm , 暴露时间 1、2、4、和 8 小时, 叶片伤害率分别为 10、20、30 和 40%; 暴露时间 8 小时, 其叶片伤害率也随 SO_2 浓度的增加而增加。叶片伤害率随 SO_2 剂量增加而增加。由此可以认为, 在苜蓿产生可见伤害的过程中, SO_2 浓度和暴露时间是同等重要的。这与 Constantidou (1979) 和 Temple (1972) 等从 *Wmus parvifolia*、*Pinus resinosa* 和 *Quercus palustris* 等木本植物试验得到的结果一致。

三、小 结

1. 菜豆和苜蓿对 SO_2 有相似的敏感性。在 0.50ppm SO_2 作用下4小时, 出现可见伤害症状。

2. 植物出现可见伤害需要一定的暴露时间, 暴露时间长短取决于 SO_2 浓度。可见伤害的临界浓度和暴露时间密切相关, 不同暴露时间有各自的临界浓度。苜蓿在暴露时间4小时, 其临界浓度为 0.50ppm , 2小时的临界浓度为 1.0ppm , 1小时的临界浓度为 1.50ppm 。菜豆在暴露时间1小时, 其临界浓度为 1.0ppm 。

3. 由剂量反应表面图分析看出, 菜豆产生可见伤害主要作用因子是 SO_2 浓度; 苜蓿在出现伤害过程中, SO_2 浓度和暴露时间是同等重要的。剂量反应表面图是表示可见伤害程度、 SO_2 浓度和暴露时间的相互作用的一个十分有用的方法。

参 考 文 献

- Constantinidou, H.A. 1979 Effects of SO_2 and O_3 on *Ulmus Americana* seedlings, *Can. J. Bot.* 57(1): 48—52.
- Dreisinger, B.R. 1970 Monitoring atmospheric sulfur dioxide and correlating its effects on crops and forests in the Subury area. In: proceedings of the conference on the impact of air Pollution on vegetation, p.23—28.
- Guderian, R. 1960 Probleme der erfassung und beutielung von workungen auf die vegetation. *Z. Pflanze-nkrankh Pflanzenschutz* 67(2): 257—262.
- Heck, W.W. et al., 1966 Ozone, nonlinear relation of dose and injury in plant, *Science* 151:577—582.
- Heck, W.W. et al., 1971 Ozene time-concentration model to predict acute foliar injury. In: proceedings of the second international clean air congress, p.249—251.
- Larson, R.I. et al., 1976 An air quality data analysis system for interrelating effects, standards and needed source reduction, part 3, vegetation injury. *JAPCA* 26(4): 324—328.
- O'Gara, P.J. 1922 Sulfur dioxide and fame problems and their solution. *J. Ind. Eng. Chem.* 14:744—745.
- Spiering, F.W. 1967 Method for determining the susceptibility of trees to air pollution by artifician fumigation. *Atmos. Environ.* 1:205—210.
- Temple, P.J. 1972 Dose-response of urban trees to SO_2 . *JAPCA* 22:271—274.
- Zahn, R. 1963 Untersuchungen über die bedeutung kontinuierlicher und pflanzenreaktion. *Staub*. 23(7):334—352.
- Ziminerman, P.W. 1956 Susceptibility of plant to HF and SO_2 . *Contrib. Boyce Thompson Inst* 18:263—273.

DOSE-INJURY RELATIONSHIP TO SO_2 IN PLANTS

Cao Hongfa

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences)

O.C. Taylor

(Air Pollution Research Center of University of California, Riverside)

Experiment was conducted to determine dose-response relationship of pinto bean and alfalfa plants to SO_2 with CSTR system. Results indicated that at gi-

ven concentration and periods of exposure, these species appeared to have similar susceptibility to SO_2 . Visible injury was produced at 0.50ppm of SO_2 for 4 hours. Alfalfa showed 50% leaf necrosis at exposure 2 ppm for 4 hours. 50% leaf necrosis occurred on pinto bean at 1.0 ppm for 8 hours, and developed 100% leaf necrosis at 2.0 ppm for 12 hours.

The shapes of dose-response surfaces indicated that an initial exposure time span was needed before injury on pinto bean and alfalfa occurred. There was nonlinear relation between dose and injury in plants. For pinto bean, concentration of SO_2 was of greater importance than the duration of exposure in determining degree of injury, but for alfalfa, exposure duration and SO_2 concentration were of equal importance in producing injury.