

- (1973).
- [3] Rau, J. G. and Wooten, D. C. *Environmental Impact Analysis Handbook*, pp. 49—69, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [4] White, F. A. *Our Acoustic Environment*, pp. 228—261, John Wiley and Sons, New York,

- 1975.
- [5] Edwards, R. G. et al., *Sound and Vibration*, 14, 20(1980).
- [6] Battig, K. et al., *Archives Environ. Health*, 35, 228(1980).

O₃ 对雏菊和矢车菊的可见和不可见伤害

屠立莉 贺建秀

(中国科学院植物研究所北京植物园)

人们对大气污染物使植物叶片产生可见伤害的观察已有五十来年的历史,近二、三十年来对植物生长以及生理变化的大量测定结果表明,污染物对植物还可引起不可见伤害(或隐蔽伤害),并且这种不可见伤害往往先于可见伤害。

本工作以草本植物雏菊和矢车菊为材料,观察叶片可见伤害症状,生长速度和叶、根的碳水化合物含量的变化,据两种伤害程度(可见和不可见)确定两种植物的受害剂量。

一、试验材料和方法

1. 供试植物 花蕾期盆栽雏菊 *Bellis perennis* L. 和矢车菊 *Centurca cyanus* L.,

2. 熏气浓度和时间 (1) 矢车菊和雏菊各4盆置于动态熏气箱内,于0.14ppm O₃ 下熏气各5h, (2) 雏菊4盆置动态熏气箱内,于0.04ppm O₃ 浓度下连续熏气4d 和4+6d (中间停熏1d), 每天2.5h.

3. O₃ 发生及测定 采用O₃ 发生器(邯郸718所生产)产生O₃, 发生器安装于熏气箱中气体混合室内,浓度由可调变压器控制,浓度测定采用碱性碘化钾法。

4. 根和叶干重测定: 整株盆栽植物从盆内移出,抖掉根部泥土,分别用自来水和蒸馏水冲洗,70℃烘箱中烘烤48小时,分别称量

根和叶干重。

5. 碳水化合物测定 植物叶片的根和碳水化合物按Ebell法^[1]提取,提纯和脱色,将上述烘烤干的根、叶加入20ml 80%乙醇在沸水浴上提取4h,提取液用醋酸铅、饱和硫酸钠和炭粉分别沉淀、脱色和离心,离心液通过0.65μ孔径醋酸纤维素滤膜,该溶液用于测定还原糖和总糖(醇溶性)。还原糖按哈丁试剂法^[2]进行,总糖按蒽酮法^[3]进行。

淀粉提取按Ebell法^[3]进行: 80%乙醇提取后的残渣用1mol HCl在沸水浴中保持2h,水解完全后,调pH,活性炭粉脱色,最后按哈丁试剂法^[2]测定。试验过程避免用滤纸过滤,以免影响结果的重复性。

6. 相对生长率和可见伤害的测定: 目测叶片的可见伤害,以受害面积约占叶片总面积的百分数表示。

植物的根和丛簇(雏菊为根生叶植物,没有茎)的平均相对生长率($\overline{RGR}$)按下面公式计算

$$\overline{RGR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

其中: W_2 为第二次收获时干重(克), W_1 为第一次收获时干重(g), $t_2 - t_1$ 为两次收获时的时间间隔(d)。所得数据用数理统计方法处理。

表 1 O₃ 熏气对植物生长量的影响 (g/d)

组 织	处 理	浓度 植物 种类 熏气 时 间	0.14ppm			0.04ppm	
			雏 菊		矢车菊	雏 菊	
			熏气后 38h	熏气后 9 d	熏气后 9 d	连续熏气 4 d	连续熏气 4+6d (中间停熏 1d)
根	CK		0.42±0.07	0.71±0.10	1.52±0.47	0.45±0.13	1.00±0.22
	O ₃		0.47±0.08 ^Δ	0.65±0.06 ^Δ	1.37±0.38 ^Δ	0.44±0.01 ^Δ	0.56±0.12*
丛簇 (叶)	CK		1.71±0.15	1.80±0.14	9.52±0.61	1.43±0.10	1.91±0.51
	O ₃		1.80±0.18 ^Δ	2.10±0.17 ^Δ	8.72±0.48 ^Δ	1.40±0.23 ^Δ	1.62±0.30 ^Δ

* 表示 $P < 0.05$, 对照组和熏气组有显著性差异, Δ 表示 $P > 0.05$, 两者无显著性差异。

表 2 O₃ 熏气对植物组织中糖类含量的影响 (mg/g · 干)

含量 (mg/g · 干)	叶片 部位	植物 名称	矢 车 菊		雏 菊		
			近基部叶	中间部位叶	近基部叶	中间部位叶	顶部幼叶
还原 糖	CK		65.00±4.50	79.6±5.1	48.80±1.90	69.5±1.0	51.5±2.0
	O ₃		42.9±2.90**	76.9±2.7 ^Δ	32.3±0.9**	69.8±2.3 ^Δ	22.0±1.4**
	%		66		66.2		42.7
蔗 糖	CK		43.75±3.31	66.29±3.36	31.33±3.1	40.5±1.5	78.0±2.2
	O ₃		2.50±1.25	检测不出**	4.75±3.2**	检测不出**	检测不出**
	%		5.71		15.2		
淀 粉	CK		63.7±4.0	46.00±4.0	76.7±2.9	69.7±1.5	46.3±1.5
	O ₃		61.0±1.7 ^Δ	44.00±2.8 ^Δ	57.8±2.0**	57.7±1.5*	59.0±1.4*
	%				75.4	82.8	128.3
碳 水 化 合 物	CK		178.08±12.52	191.88±2.21	157.92±1.6	179.66±1.1	175.8±2.5
	O ₃		106.42±1.28**	117.38±5.83**	95.37±1.7**	127.9±0.6**	80.88±3.0**
	%		59.76	61.17	60.3	71.2	46.0

注: 表中数据为熏气后 38h 测定所得。

** 表示 $P < 0.01$, * 表示 $P < 0.05$, 均有显著性差异, Δ 表示 $P > 0.05$, 对照组和处理组无显著性差异。蔗糖含量由总糖含量减去还原糖含量求得。碳水化合物含量分别由总糖含量加上淀粉含量求得。

表 3 O₃ 熏气对植物组织中碳水化合物含量的影响 (mg/g·干)

糖 类	处 理	浓 度 植 物 种 类	0.04ppmO ₃ , 熏气后 2 天测		0.14ppm O ₃ 5 小时, 熏气后 9 天测	
			连续熏气 4 天, 雏菊	连续熏气 4+6 天, 雏菊	雏菊	矢 车 菊
还 原 糖	CK	38.7±2.3	48.5±2.6	31.3±1.2	33.5±4.4	
	O ₃	64.2±1.4**	59.2±2.4*	60.7±1.2**	32.7±3.1 [△]	
	%	165.9	122.1	193.9		
蔗 糖	CK	111.3±1.3	65.3±5.2	2.4±1.6	8.38±1.7	
	O ₃	19.2±3.8**	37.5±1.5**	4.3±1.6 [△]	14.4±2.6*	
	%	17.3	57.4		171.8	
淀 粉	CK	74.7±4.6	96.7±2.3	74.0±6.9	47.7±6.7	
	O ₃	70.7±2.3 [△]	85.3±5.5*	69.3±4.6 [△]	42.7±4.0 [△]	
	%		88.2			
碳 水 化 合 物	CK	224.7±2.8	210.4±5.3	107.8±4.9	89.8±2.4	
	O ₃	154.8±2.6**	183.7±1.3**	134.2±3.0**	89.8±3.4 [△]	
	%	68.9	87.3	124.5		

** P<0.01, 表示和对照组有极显著差异, * P<0.05, 对照组和 O₃ 组有显著差异, ^ΔP>0.05 表示无显著差异。

二、试 验 结 果

1. 叶片可见伤害

0.14ppm O₃ 熏气 5h 后 3d, 雏菊叶片上开始出现白色小斑点, 此后几天受害症状发展, 一些斑点连结成白色斑块。雏菊除顶部幼叶(未展开叶)外, 植株其它部位叶均不同程度地受到伤害。

矢车菊仅近基部叶有极轻微的受害症状, 其症状为叶片上呈现浅黄色斑块, 约占受害叶面积的 40%, 受害症状于熏气后 48h 出

现, 以后未见发展。

0.04ppm O₃ 连续熏气 4+6d (中间停熏 1d) 的雏菊, 直至连续熏气结束后的第二天, 未见受害症状。

2. 对植物生长的影响

于 0.14ppm O₃ 熏气 5h 的雏菊和矢车菊虽在熏气后, 叶片先后不同程度地呈现可见伤害症状, 但在熏气后 9d, 其根部和丛簇干重和对照组的根重和丛簇干重并无显著差异 (表 1)。这表明暴露于 O₃ 的雏菊和矢车菊, 各器官的生长量和叶片表面的可见伤害

表 4 O_3 熏气后雏菊根组织中还原糖、蔗糖和淀粉的含量 ($mg/g \cdot \text{干}$)

糖 类	处理方式	连续暴露 4 天			连续暴露 4+6 天		
		CK	O_3	%	CK	O_3	%
还原糖		32.2 ± 1.12	$44.8 \pm 1.0^{**}$	139.1	28.7 ± 0.6	$52.8 \pm 0.9^{**}$	184
蔗 糖		213.6 ± 6.2	$71.9 \pm 6.4^{**}$	33.7	198.9 ± 2.0	$99.3 \pm 2.8^{**}$	49.9
淀 粉		49.2 ± 2.4	$75.4 \pm 2.0^{**}$	153.3	50.4 ± 1.2	$96.3 \pm 1.4^{**}$	191.1
碳水化合物		295.0 ± 6.1	$192.0 \pm 5.8^{**}$	65.1	279.5 ± 2.6	$248.4 \pm 3.2^{**}$	88.9
每个植株根部平均 碳水化合物		132.8	84.5	63.6	279.5	139.1	49.8

** $P < 0.01$ 表明和对照组有显著差异。

无关。

3. 对碳水化合物含量的影响

碳水化合物是植物重要的养份，在植物的结构组织和代谢中起着重要作用，多数植物中碳水化合物占干重量的 50—80%。因而它对植物具有特殊意义。

试验结果表明：

(1) 植物叶片的部位不同，还原糖、蔗糖和淀粉含量也不相同。上部叶片的糖含量比基部高，基部叶片的淀粉含量却比上部叶片高。暴露于 $0.14 \text{ ppm } O_3$ 的植物不同部位叶片，碳水化合物含量变化不完全相同，中间部位的叶片较基部和顶部变化较小。顶部的碳水化合物含量又较基部叶片为大(表 2)。

(2) 连续暴露于低浓度 O_3 的雏菊，其还原糖含量增加，这不同于短时间一次性暴露于较高浓度的雏菊。这表明暴露于 O_3 的方式不同，植物的碳水化合物的变化也不完全相同。

(3) O_3 的两种熏气方式试验都导致暴露于 O_3 的植物叶片的蔗糖含量大大低于对照植物的蔗糖量。蔗糖的减少量大于还原糖和淀粉的变化量，其中淀粉相对变化较小(表 2、表 3)。

(4) 结果还表明，熏气停止后，经过一段时间，叶片碳水化合物含量有可能逐渐恢复(表 3)。

4. O_3 对植物根部的影响

雏菊根部和 O_3 并不直接接触，但从试验结果可见，雏菊根部对 O_3 的反应要比丛簇敏感。表 1 可见，暴露于 $0.04 \text{ ppm } O_3$ 4+6 天的雏菊，其丛簇干重和对照组相比并无显著性减少，但根部干重却比对照组显著减少。低浓度熏气组的根部相对生长率大大低于对照组，熏气组根部的 $\overline{RGR}$ 比丛簇的 $\overline{RGR}$ 减少得多。因此， O_3 对根部的影响比叶大。

对暴露于 $0.04 \text{ ppm } O_3$ 4 天和 4+6 天(均 2.5 小时/天)的雏菊根部碳水化合物含量进行测定的结果表明，处理组根部的还原糖和淀粉含量均高于对照组，但蔗糖含量却均比对照组低得多(表 5)。

综上所述，雏菊根部干重和碳水化合物含量比地上部分的叶片。干重和碳水化合物含量减少得多。从表 4 可见连续暴露 4+6 天的 $0.04 \text{ ppm } O_3$ 雏菊，其每棵植株平均碳水化合物含量仅为对照的 49.8%，正是由于根部碳水化合物含量的减少，致使 4+6 天的雏菊根部干重大大低于相应的对照雏菊的根

部干重。

三、讨 论

1. 近一、二十年来,大量文献报道大气污染物可影响植物的生长,产量以及植物体中碳水化合物含量。Alten^[4]等报道生长减少并不和叶片的可见伤害成正比。暴露于 0.1ppm O_3 的两种玉米品种,叶片有明显可见伤害,但植物的高度和重量的减少均无统计意义。Heck^[5]表明叶片没有可见伤害,但生长受到抑制。Heggstad^[9]的试验结果表明,植物暴露于短时间,较高浓度的 O_3 所引起的叶片可见伤害甚至比暴露于长时间较低浓度 O_3 更为奏效。本试验的 O_3 浓度,熏气时间和植物品种和上述作者所用的不同,但结果相同;0.14ppm O_3 暴露 5 小时的剂量为 0.75ppm 小时,它小于 0.04ppm 暴露 4+6 天 (2.5h/d) 的剂量 (1ppm · h),但前者雏菊叶片导致明显受害,后来未引起可见伤害,前者生长未受到影响,而后者根部生长受到明显的抑制。Allens^[10]的结果表明,急性暴露于大气污染物和慢性暴露所得植物叶片可见伤害的阈值明显不同。本工作的结果进一步表明,要求得切实可用的植物可见伤害的受害阈值,以及筛选抗性植物品种,在与实际相近的大气浓度下进行是十分重要的。

2. 植物暴露于 O_3 , 促使光合速率降低,呼吸速率增高有过许多报道^[6,7]。碳水化合物作为光合作用产物,其含量随光合速率的降低而降低。碳水化合物做为植物呼吸基质,其含量随呼吸速率增高而降低。Miller^[6]等和 Tingey^[7]等把碳水化合物含量减少归因于光合速率的降低。

Taylor 等^[8]以橙树幼苗为试验材料表明, O_3 暴露停止后几个小时,植物的光合速率恢复到原来的值。这或许能解释本试验结果,即受 O_3 暴露影响的叶片的碳水化合物含量,在暴露停止后 9 天,浓度逐渐恢复。

3. 在众多有关 O_3 对碳水化合物代谢变

化的报道中,总碳水化合物含量降低的结论是一致的,但在还原糖、淀粉含量的增减上,其结果各不相同。这可能和植物种类,熏气方式不同有关。Tingey 等^[7]表明短时间暴露于较高 O_3 浓度 (0.5ppm, 2h), 还原糖稍有降低,但长期暴露于低浓度 O_3 的植物,其叶片还原糖含量增加,淀粉减少。本试验结果的雏菊碳水化合物的还原糖、淀粉含量,在短时间,较高浓度下的暴露和较长时间连续暴露于较低浓度有所不同,这可能是由于熏气方式(熏气浓度、时间)不同所致。

4. 植物暴露于大气污染物后,碳水化合物的变化表明它在污染物的暴露响应中不仅仅提供基质,可能还起着更重要的作用。Dugger 等^[11]认为糖在细胞代谢中为组成代谢反应提供基质,而这种组成代谢反应对细胞膜的修复是必要的。Kozioł^[12]认为当植物生长受到可利用的碳水化合物数量限制时,污染物对同化和利用代谢作用的影响变得重要了。Wellburn 等^[13]认为要阻止由污染物引起的生化改变需要消耗能量和营养材料,一旦能量和养料消耗超过输入的能量和可利用的养料,就会产生可见伤害。事实上代谢变化(不可见伤害)先于叶片的可见伤害已有广泛报道。本工作的结果也清楚地表明了这一事实。

参 考 文 献

- [1] Ebell, L. F., *Phytochemistry*, **8**, 227—233 (1969).
- [2] 蔡武城等,生物物质常用化学分析法, 6—7 页,科学出版社,1982 年。
- [3] Ebell, L. F., *Phytochemistry*, **8**, 25—36(1969).
- [4] Alten S. Heagle, et al., *Phytopathology*, **62**, 683—687 (1972).
- [5] Heck, W. W. et al., in *Air Pollut.* 3rd ed. Vol. 2. ed. A. C. Seern. 158—229, academic press., New York, 1977.
- [6] Miller, P. R. et al., *J. air Pollut. Control. Assoc.*, **19**, 435—438 (1969).
- [7] Tingey, D. T. et al., *plant Physiol.*, **29**, 33—38 (1973).
- [8] Taylor, O. C. et al., *plant Physiol.*, (supplement) xxvi* xxvii (1961). (下转第 17 页)

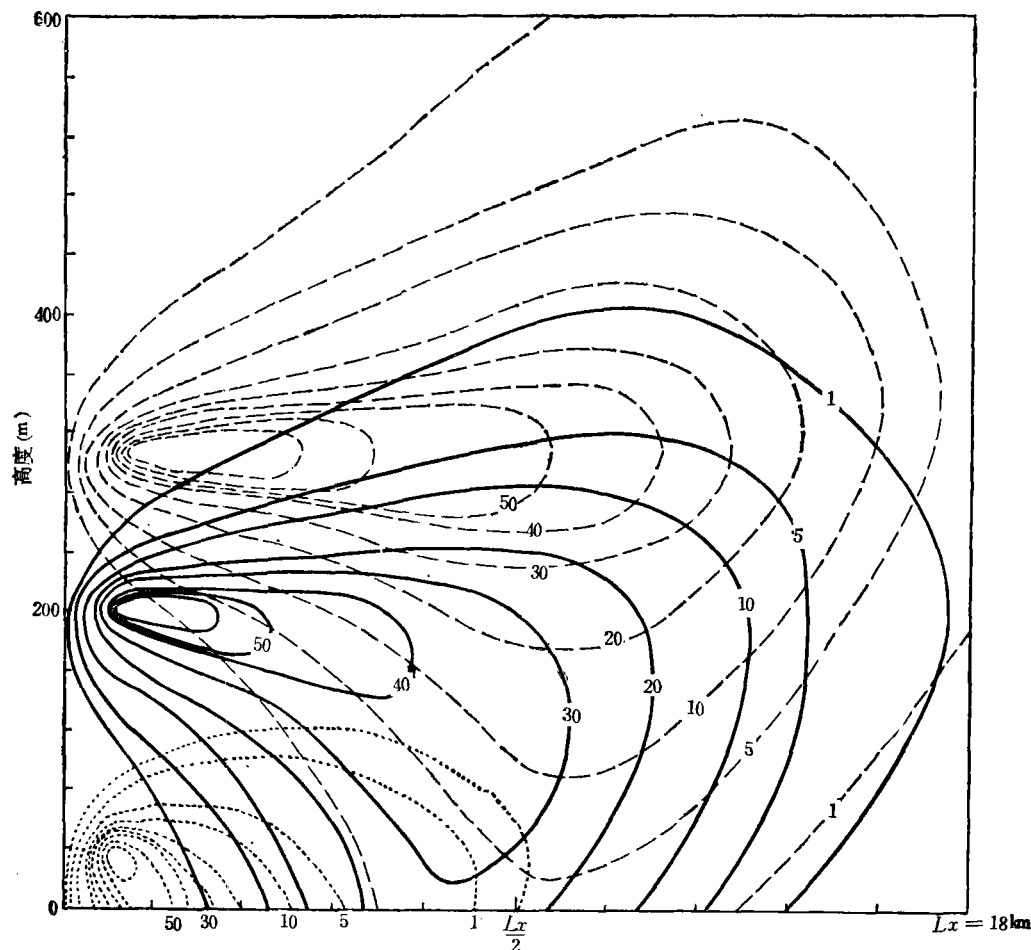


图 5 浓度分布与源高关系。虚线为 310m, 实线为 195m, 点线为 37m

增大 1.6—2.2 倍; 最大接地浓度随源高增高而减小, 并呈现显著的非线性关系。

3. 风切变强弱是影响烟羽的输送和扩散的重要机制, 当风速垂直切变小时, 烟羽的烟轴为水平分布, 浓度在垂直方向几乎是以烟轴为轴对称分布的。当垂直风切变较大时, 它会引起污染物显著地向地面扩散, 形成最大接地浓度, 污染物的垂直分布严重地偏离

对称分布。因而, 在这种条件下使用以对称正态分布为基础的高斯模式去估算垂直方向浓度分布是不合适的。

参 考 文 献

- (上接第47页)
- [9] Heggstad, H. E., *J. Air Pollut. Control. Assoc.*, **11**, 691—694 (1966).
 - [10] Allen S. Heagle, *Environ. Pollut.*, **19**, 1—10 (1979).
 - [11] Dugger, W. M. et al., *A. Rev. Pl. Physiol.*, **21**, 214—234 (1970).
 - [1] 周明煜等, *环境科学* **1**(5), 12—17(1980).
 - [2] 曲绍厚等, *地球物理学报* **24**(2), 229—237(1981).
 - [3] T. R. Oke, *Review of urban climatology 1968—1973*, W. M. O. Note No. 134(1973).
 - [12] Koziol, M. J., *Exp. Bot.*, **29**, 1037—1043 (1978).
 - [13] Manafield, T. A., *Effects of Air pollutants on plants*, Soc. Exp. Biol. Semin. Ser. 1 Cambridge University Press, Cambridge, pp. 105—114, 1976.