

物—土壤系统的影响,阐明重金属在系统中能量交换变化规律,必须从个体或群体角度来研究植物生理作用和环境的相互关系,尤其是植物的光合作用和蒸腾作用,因为它们与植物的生长、发育和再生产有密切关系。在不同的环境中会有敏感的变化,因此,重金属进入生态系统后,植物功能的变化,光合作用和蒸腾作用是很明显的。Miles 等指出氯化铅(2.4 mM)使菠菜和西红柿叶绿粒对光合成反应大大抑制。Maarib Bakri 等研究玉米叶绿粒 PS II 活性受铅的抑制是在 pH 6.5—6.7 最大。

美国有人研究认为铅可改变大豆的光合成,抑制菠菜叶绿素中光合成的电子运转,发现电子传递反映的电流对呼吸、光合成的进程有不利影响。F. A. Bazzaz 等(1974)研究铅对大豆、玉米的影响说明,基质中铅的处理浓度增加,减少了纯的光合和呼吸。铅的处理浓度低时,玉米比大豆反应更敏感;铅的处理浓度高时,大豆比玉米更敏感。基质的铅在 250 毫克/植物时,大豆光合作用只 10%,

而玉米 47%,甚至玉米铅含量高于大豆,蒸腾作用也与光合作用相似。

总之,重金属对生态系统的影响因素很多。生态系统各组成成分之间,生物与环境之间关系极其复杂,为了弄清重金属对生态系统的影响,首先必需取得对植物—土壤系统影响的各方面的数值,因为一种或几种重金属加入生态系统后,造成生态系统的变化,也就是说植物和它周围环境建立的一种动态平衡关系。由于某种变化,造成失调,这种失调都会在植物体(或生物)上反应出来。严重污染时,(生物)植物种类、数量、生长发育量上的差异,群落盖度、群体密度,生物体内重金属积累量及相互间关系的变化是多种多样的,必需从定量动态的关系来研究,得出生态系统各组成成分相互变化参数,最后将数字用系统分析方法来描述重金属在生态系统的状态、变化途径。并建立一个数学模式来模拟重金属对生态系统的影响及其在生态系统运转、归宿的规律。

苔藓植物与大气污染

吴鹏程 罗健馨

(中国科学院植物研究所)

随着工业的发展,大气污染问题日益引起重视。在应用各种方法测定和防治大气污染的过程中,逐渐认识到植物对大气污染物有特异反应,从而可以利用这种特性作为指示,以监测环境,保护人民身心健康。近年来,苔藓已被认为是仅次于地衣的指示大气污染最敏感植物类群之一。根据它对大气中主要污染物质,如不同浓度的二氧化碳、氟化氢等的反应,可划分为不同的敏感或忍耐的

反应类型。在一定的地区,可绘制大气污染分布图,测定大气净度,提供一个较简便有效的方法,以反映出大气中污染物的长期影响。

在六十年代,苔藓植物对大气污染的反应,人们进行了调查。Declvosalle 对照了比利时在 1850 年约具有 600 种苔藓植物,现由于人类直接或非直接的活动,尤其是大气污染的影响,几乎 114 种苔藓已消失,34 种十分稀少。在荷兰的阿姆斯特丹,1900 年曾记载

过的 23 种苔藓已绝迹。加拿大蒙特利尔一山上, Le Blanc 等观察到过去 50 年中,那里习见的一些苔藓植物:白齿藓 (*Leucodon sciuroides*)、沙地薄罗藓 (*Leskea arenicola*)、皱叶牛舌藓 (*Anomodon rugelii*, 异名: *A. apiculata*) 和北美绢藓 (*Entodon seductrix*) 等现已极罕见。Gilbert 调查泰恩河流域后认为,当那里冬天的二氧化硫浓度超过 50 微克/米³或 0.017 ppm,多数苔藓植物就不能存在。因此,曾有人认为:作为一个类群——苔藓植物比地衣更易受大气污染的影响,尤其值得注意的,附生苔藓植物现已被成功地利用来绘制城市的大气污染分布图。正如 1968 年 4 月在荷兰瓦赫宁根举行的大气污染对动、植物影响的会议上所采纳的决议,加强推荐附生隐花植物(主要指地衣和苔藓)为大气污染的生物指示者。其理由是:(1)它们非常容易获得;(2)它们所显示对大气污染的特殊敏感性远远超过绝大多数高等植物。

一、影响苔藓植物对大气污染反应的因素

植物对大气中不同污染程度的指示,主要反映在植物受伤害的症状方面,如需在短时间内获得结果,植物受伤害的显示速度是关键,这就需要在不同的植物中加以选择。体形高大、内部组织构造复杂的植物对大气污染的反应显然缓慢;相反,组织简单、形体小的植物反应迅速。例如,大部分常绿树用 0.4 ppm 的二氧化硫气体熏蒸,100 小时后肉眼未见受害,而同样浓度的二氧化硫气体对苔藓植物熏蒸几十小时即枯死。影响苔藓植物对大气中有毒物质的反应,与其不同的生态类型相一致,从垫状一层状—交织生长—叶状体苔类或附生苔藓,其敏感度随之递增。如通常成大片生长或垫状丛生的金发藓科 (*Polypodiaceae*) 植物与成层生长的塔藓科 (*Hypnaceae*) 植物对大气污染的反应较弱,而树干附生的木灵藓科 (*Orthotrichaceae*) 植物

反应较强,叶状体的蛇苔科 (*Conocephalaceae*) 植物反应特别强。因此, Gilbert 把真藓 (*Bryum argenteum*)、新月苔 (*Lunularia cruciata*) 以及墙藓 (*Tortula muralis*) 考虑为抗毒的植物。而角齿藓 (*Ceratodon purpureus*)、葫芦藓 (*Funaria hygrometrica*) 以及薄囊藓 (*Lepidobryum pyriforme*) 被认为是喜毒藓类。Taoda 发现短枝高领藓 (*Glyphomitrium humillimum*) 和日本灰藓 (*Hypnum yokohamense* var. *kusatsuense*) 对二氧化硫气体最具有忍耐力,多枝藓 (*Haplohymenium sieboldii*)、羊角藓 (*Herpetineuron toccoeae*) 和鳃叶苔 (*Trocholejeunea sandvicensis*) 对二氧化硫忍耐力差,而真藓 (*Bryum argenteum*) 和附干藓 (*Schwetschkea matsumurae*) 对二氧化硫最不具忍耐力。

Syratt 和 Wanstall 研究不同苔藓植物在含相同浓度的二氧化硫气体中,改变其湿度,发现湿度愈大对叶绿体的损伤愈大。Skye 认为温度对苔藓植物与大气污染的反应亦密切相关:当冬季每下降 10°C 而增加空气中的二氧化硫浓度 3 ppm 或 84 微克/米³,处在较寒冷地区的苔藓比温暖地区污染指标高。

显然,所有能忍受污染气体的苔藓植物具有一个共同的特点,对二氧化硫有较高的变换效能,从生活周期的高度敏感状况,可随即转为更具忍耐性的配子体阶段,并予迅速生长。

然而,苔藓植物的着生基质对反应大气

表 1 新西兰克赖斯特彻奇地区的苔藓植物因着生基质的不同对大气中二氧化硫的敏感度产生变异

种 类	在冬季忍受二氧化硫的浓度 (ppm)	
	着生石墙上	附生树干
<i>Brachythecium rutabulum</i>	0.02	0.004
<i>Bryum rubrum</i>	0.03	0.004
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0.02	0.04

中的污染状况的影响尤为明显。其敏感度从土生种—石生种—树干附生种而递增。通常，着生树干上的种类，其敏感度远远大于生长在其它基质上的。甚至相同的种类由于着生在不同的基质上对大气中污染物质的反应亦随之获得不同的结果(表1)。因此，树干附生的苔藓植物被习惯应用于指示大气污染。

二、附生苔藓植物对大气污染反应的形态和生理特性

苔藓植物的地理分布很广，但对环境的细微变动非常敏感，尤其是树干上附生的苔藓植物不受土壤和其它基质的影响，因而具备了其它高等植物所未有的特性：

(1) 体形小，生长缓慢，一旦受害不易恢复；

(2) 附生树干不受土壤或其它基质中pH值变化的影响；

(3) 叶片多为单层细胞，污染物质可从叶片背腹面直接侵入叶细胞，每个细胞所受的平均浓度大于其它高等植物；

(4) 供生活的全部水分和养料来自雨水或露水，其中往往带有经过浓缩的污染物质；

(5) 为多年生植物，全年受大气污染的影响。

现已知附生苔藓植物对二氧化硫、氟化氢和臭氧等均有明显的敏感性。

通常藓类对二氧化硫的反应表现在植物体尖部多暴露的叶片首先失却色素，然后全部叶片及芽条丧失叶绿素。Le Blanc 和 Rao 根据安大略地区的研究总结出二氧化硫平均浓度高于 0.154 ppm 时，将对当地苔藓植物产生急性伤害；界于 0.087—0.154 ppm 之间引起慢性损伤。Gilbert 把几种苔藓植物(*Campylopus sericeus*、*Grimmia pulvinata*、*Hypnum cupressiforme* 及 *Tortula muralis*) 移入泰因河畔纽卡斯尔的较高的二氧化硫污染区，3 个月后即开始腐烂。其中欧灰藓(*Hypnum cupressiforme*) 显示叶绿素迅速分裂，

10 周后只剩下不到 10%；呼吸率开始时不变或稍增加，后来急剧下降。

在含有氟化氢的污染空气中，当暴露因素(浓度×时间)低，对苔藓植物的损伤就低，体内积累的氟化物比率就低，而最终复原率(失却积累的氟化物)就高。在暴露因素为 780 (650 ppb × 12 小时)时，某些藓类显示缺少叶绿素的斑点，叶绿体稍微分解；经三周后，氟的浓度减少为 26—36%。另一方面，当暴露因素高，苔藓植物体内氟化物浓度高，而复原率低。

苔藓植物对臭氧的反应曾由 Comeau 和 Le Blanc 作过试验，他们把葫芦藓的配子体分别置于浓度为 0.25、0.5、1.0 和 2.0 ppm 中 4、6 和 8 小时，结果尖部叶片比基叶具有更强的再生能力，再生百分比与暴露因素基本上成反比率。

事实还十分清楚，大气污染甚至影响附生苔藓植物的有性生殖。在蒙特利尔 6 个区的调查，发现褶叶青藓 (*Brachythecium salebrosum*) 和多蒴薄罗藓 (*Leskea polycarpa*) 分别在 4 个或 1 个污染区中不生长孢蒴，在其它区中则分别减少 65—92%。

三、利用苔藓植物测定大气污染的方法

大气中污染物质对苔藓植物产生的损伤是测定的依据，它们在各地所产生的不同程度的反映，相应地表明了环境中污染物的差异和变化，人们可由此获得大气污染的状况以及大气的净度指标。总的来说，利用苔藓植物测定大气污染的方法分为两个方面：一个方面是直接测定在自然生境中生长的苔藓植物，另一方面取部分苔藓植物的个体放在一定的装置中试验。具体方法如下：

1. 绘制污染分布图

调查城镇和工业区的大气污染，绘制污染分布图是一项基本的工作，要求是从当地树干附生的苔藓植物种类(树基、石上或土上

的苔藓不作统计)、多度(复盖度)着手,选择城镇或工厂邻近地区的田野或路旁空旷处,不受高建筑或其它树木等蔽阴而充分暴露在污染大气中的树木。Taoda 和 Ando (1967, 1972) 等采用生态的方法,调查从树的近基部至树高 2 米 5 处所有的附生苔藓植物。它们的多度分三级加以记录*,每个点调查 10—15 株树,或不少于 5 株,然后平均计算百分率。在城镇或工业区的各代表性地点分别调查后可得到如表 2 的结果。再按各个点的多度重新排列,可清晰地显示出该地区附生苔藓植物的分布状况(见表 3)。出现的种类和

多度大的地点,大气污染度低,越邻近污染源,种类越稀少,甚至完全消失。由此可划分 I 至 IV 个不同程度的污染地带。在带 I 内完全无附生苔藓的生长,为大气污染度最高的中心地区,带 IV 内大气污染度最低。以此制成污染分布图,能清楚地显示出大气污染源及严重的污染地区,提供有关部门来研究和着手清除引起大气污染的根源,以防患于未然。但在具体利用和分析上述数据时,需要同时在各点配合作简单的二氧化硫、氟化氢等仪器测定,以便对照,并观察污染源在风的上方还是下方,以及当地的气温变化,最后

表 2 一个城市(或工厂)及其邻近地区附生苔藓植物调查的原始记录表示例

苔藓名称	调查地点(代号)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
大灰藓 <i>Hypnum plumaeforme</i>		2	1	2			3		1			2
钟帽藓 <i>Venturiella sinensis</i>			1	2			2					
东亚碎米藓 <i>Fabronia matsumurae</i>	3	2	2	2	1	2	3		1			3
列胞耳叶苔 <i>Frullania moniliata</i>							1					1
钝叶囊藓 <i>Macromitrium japonicum</i>			1	3			1					

表 3 上述原始记录经过整理后,显示各调查地点大气污染对苔藓植物的影响

苔藓名称	调查地点(代号)											
	11	10	8	5	6	9	2	1	3	12	4	7
东亚碎米藓 <i>Fabronia matsumurae</i>				1	2	1	2	3	2	3	2	3
大灰藓 <i>Hypnum plumaeforme</i>						1	2	●	1	2	2	3
钟帽藓 <i>Venturiella sinensis</i>									1	●	2	2
钝叶囊藓 <i>Macromitrium japonicum</i>									1	●	3	1
列胞耳叶苔 <i>Frullania moniliata</i>										1	●	1

得出精确的结果。

2. 计算大气净度指数 (I. A. P.)

1970 年, Le Blanc 和 De Slooven 以地衣和苔藓对大气污染的敏感度为基础,设计出 $IAP = \sum_n (Q \times f) / 10$ 的公式计算大气纯度的指数。其中 n 是一个地区内附生苔藓种的总数, Q 是一个种在该地区内所有地点同时出现的附生苔藓植物的平均数,而 f 是一个地点的每一个种凭主观估计的复盖度和出现的频率,采用 5 级制**统计。 $Q \times f$ 的总数被 10 除,缩小为一个便于处理的数据。 IAP 值

高代表较少污染区内具有丰富的附生地衣或苔藓,而 IAP 值低指示污染环境中较少而发育不全的附生植被。 Le Blanc 和 De Sloover 曾以蒙特利尔市地衣和苔藓植物多年统计的

- * 1 = 稀少;偶然发现的种,复盖度很低。
- 2 = 较丰富;常着生树干的种,但复盖度低或有时较丰富。
- 3 = 丰富;经常出现的种,生长亦较茂密。
- ** 5 = 很常见而在所有树上具有高复盖度的种。
- 4 = 常见或在某些树上有高复盖度的种。
- 3 = 不常见或在某些树上有中等复盖度的种。
- 2 = 不常见或复盖度低的种。
- 1 = 稀少而复盖度很低的种。

IAP 数据, 绘制成该市精确的大气污染分布图。

3. 忍耐指数 (R. T.)

Taoda 以熏蒸情况下某些附生苔藓植物对二氧化硫的忍耐度为基础, 计算相应的忍耐指数。其公式为 $RT = (100a + 50b)/(a + b + c)$, a 系具高度忍耐性的被试验的种数, b 系具中等忍耐性的被试验的种数, c 指不具忍耐性的被试验的种数。

4. 移植法

在调查大气污染的方法中, Brodo (1961)、Le Blanc 和 Rao (1966)、Gilbert (1968) 和 Paly (1970) 等采用从非污染区切割下附生有苔藓植物的树皮, 然后移至污染区作测定试验。目前取用的是直径为 5 厘米左右的树皮圆盘为材料, 放置在围绕工厂或污染区不同污染程度的地点, 把它们钉在架子上或 8—10 米高处的树干上, 圆盘面向污染源。事先对每个圆盘分别用彩色胶卷照相, 在分隔一定时间后再分别取下照相, 比较附生圆盘上的苔藓的变化。每次还取同一组中的对照材料作显微镜观察, 并进行化学分析(提取色素等……), 注意它们的色泽变化, 细胞质壁

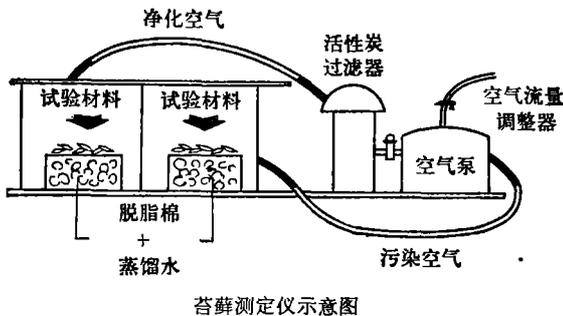
分离的情况和叶绿素的减少等。通过不同的大气污染浓度对附生苔藓植物的损伤状况, 来判别污染源邻近地区对人类健康的有害程度。

5. 苔藓测定仪

见图, 是在一块平板上有二个小室的小型测定装置。室内置以脱脂棉花和蒸馏水, 其中一个通过流量为每分钟 0.5 升或 1.0 升的污染空气; 另一个通过流量相等的活性炭净化了的空气。

试验时, 把选取的苔藓除去枯老的部分和植物体的尖端, 留下等长生长良好的绿色部分, 分别放在通过污染空气或净化空气的小室内的脱脂棉上即可。在苔藓植物置入后, 即加入充分的蒸馏水, 调整好空气的流量。暴露的时间将随污染的程度而异, 一般是 1—2 周左右。在非净化室内试验的苔藓植物死亡后, 把它和净化室内的苔藓相比较, 以后者植物体的绿色部分为 100%, 再比较污染室内苔藓植物个体的绿色部分。通常净化室内的苔藓无变化, 甚至有所伸展。如果污染程度较轻, 污染室内的苔藓未受严重损伤, 二周内, 两个室内的苔藓植物的生长量亦会有差异。在对照后计算污染的受害率, 以此来判断大气的污染状况。

简言之, 利用苔藓植物来测定和指示大气污染的状况是一项比较新的工作, 目前全世界仅十多个城市中曾作过这方面的研究, 已获得不少宝贵的经验可作借鉴, 并摸索出具体调查方法和指标, 为深入地利用苔藓植物作为大气污染的“监测器”, 奠定了初步的基础。



苔藓测定仪示意图

更 正

本刊 1979 年第 2 期第 34 页图中“人类生物体运动”和“环境物质的人为释放”之间应加—→号;“环境物质的人为释放”和“物质的环境地球化学旋迴”之间的箭头应倒转过来。