

大气中的生物冰核

陈汝珍

(气象科学研究院)

众所周知,雨、雪、冰雹的形成与云中冰相的生成和发展有密切关系,而云中冰相的生成,在温度不太低时,是与被称作“冰核”的杂质有关的。几十年来,气象学家对大气中的成冰核进行了许多研究,为核成分和核源问题提供了大量重要的线索。一般认为,冰核的主要来源有:地面土壤微粒,矿物尘埃,工业烟尘,火山爆发的火山灰以及流星尘埃和海洋来源等。这些核源的冰核一般在 -10°C 以下活化。但温度高于 -5°C 的云中有时观测到也会产生冰晶。在火山较多的太平洋沿岸观测到的大气冰核浓度也并非很高。所有这些,说明冰核的来源和性质实际上还不真正清楚。

Soulage 在 1957 年首先发现生物物质可以作为大气冰核,曾报道过细菌在云室中可以成为冰晶的核心。Vali(1968)发现含有大量有机物质的天然土壤比单纯的粘土土壤有更好的成冰活性。Schnell 和 Vali(1972,1973)报道了在天然生长的植物的分解过程中能产生大量的有机冻结核,其活化温度为 -4°C 。在世界各地收集的腐烂的植物中发现普遍都存在活化冻结核。此后,科学家们对大气中产生冻结核的生物研究又重感兴趣。

迄今为止,科学家们观测到在自然界中大量活跃的冰核里包含有若干种的细菌和海洋浮游生物,它们也存在在大多数腐烂的植物堆中。这些冰核有细菌核,海洋核和叶瓣核,总称为生物冰核。其活化温度一般在 -2°C 左右。

本调研报告简单介绍生物冰核的取样,资料处理和有关的实验结果。

一、生物冰核的取样、资料处理

一般选择在远离人为源的地方收集新鲜的叶子、掉在地面最上层的叶子以及腐烂的叶子。把这些样本装进不易起化学反应的塑料袋里,在环境温度下贮藏。在取样 1—2 小时内就测定其冰核含量。

用液体吸净器(liquid scrubber)捕获腐烂草

木所产生的天然气溶胶。这种方法是把一个聚乙烯做的开底的一米³的“帐篷”安放在腐烂的植物上面,由一个真空泵把“帐篷”里的气溶胶抽出由水带走,最后用收集到的水样检验其冻结核含量。

用标准的 20 微米的生物网筛捞取一米深的水层,得到天然的浮游生物和其他有机物质。把收集到的样品装进密封的瓶子里,冷冻贮存。

在降水时,可把事先密封的,消毒过的塑料袋暴露在雨水中,取样结束时把收集的降水直接冷冻起来,到检测时再将其溶化。也可在飞机上将消毒过的塑料袋伸出飞机蒙皮 30 厘米以外,取得云中或云下的水样品。

取得样品以后,随即准备样品溶液(或粉末)。最简单的方法是将待检测的 1 克叶子或海洋浮游生物的样品放入 100 克蒸馏水中搅拌混合,稳定 5 分钟后,通过粗滤纸过滤掉小枝,小片,小昆虫等,把滤出液引进消过毒的注射器中做冻滴试验。

对细菌的分离、培养是这样的。将收集的叶子用水浸泡,在室温下培养,然后涂在细菌培养基上面;雪的样品先溶化再涂在细菌培养基上;河水、湖水等样品可直接涂在细菌培养基上。全部涂层都在室温下培养 3~5 天,直至把纯的微生物团样品分离出来,这就制备了细菌培养液,也可把它浓缩成粉末。

用 Vali(1971)的方法可对样品的冻结核含量进行测量。试验时,用已准备好的样品溶液分成体积大小相等的样滴,把几十个大小相等的样滴安放在可控制温度的光洁平台上,然后使平台温度从室温下降至 -25°C ,可得出一定温度下的核化浓度。

Garvey(1975),Maki(1978)等人曾在科罗拉多州立大学的等温室内估算过叶瓣和细菌核在云中的冻结效率。

二、测量结果

1. 叶瓣核

早期用植物叶子在实验室内的试验结果表示,只有当叶子开始衰老时才有成冰核能力(Schnell 和 Vali 1972)。后来,他俩又在北半球收集了 55 种主要树木的叶子,取样地区分为三组。第一组是从北美经过不列颠向东到亚洲北部的西伯利亚,到日本。第二组是从日本经东南亚到印度。第三组是从佛罗里达到巴哈马岛。取样时间绝大部分都在 9—12 月间。试验结果表示了很多样品在 -4°C 就活化,而当温度为 -10°C 时,核浓度可达 10^9 /克。观测到冰核的丰富程度与植物种类关系不大,而与取样的地理位置有关,进而分析,成核量与取样地的气候密切相关。

Köppen 和 Geiyer(1954)以及 Strahler(1965)曾把全球分成六个主要气候区。其中三个区有广泛的植物分布(A.热带 C.湿润温带 D.寒温带),其他三个区只有少量的植物(B.干旱 E.极地 H.高原)。他们测量了三个气候区样品的冻结核谱,每组至少从三个地区取十个样品,主要结果列在表 1。

表 1 同种植物在不同气候区的冻结核浓度(-10°C ,个/克)

植物种类	热带 A	湿润温带 C	寒温带 D
稻(<i>Oryza</i>)	5×10^2	9×10^3	
早熟禾属(<i>Poa</i>)	3×10^2	9×10^4	$6 \times 10^8 - 9 \times 10^8$
松属(<i>Pinus</i>)		4×10^4	$8 \times 10^3 - 1 \times 10^9$
杨属(<i>Populus</i>)		1×10^4	$9 \times 10^6 - 2 \times 10^9$
槭属(<i>Acer</i>)		6×10^4	$1 \times 10^9 - 2 \times 10^9$
山毛榉属(<i>Fagus</i>)		9×10^3	$3 \times 10^9 - 5 \times 10^9$
栎属(<i>Quercus</i>)		6×10^4	1×10^9

Vali 等人也注意到叶瓣核的活性随叶瓣的新鲜程度而变化。1973 年 9 月 2 日到 1974 年 2 月 28 日在怀俄明山脉 Snowy Range 地区对一群赤杨丛树所产生的冻结核进行了测量。测量结果表示了温度在 -10°C 以上时,树上的叶子都没有冰核化,腐烂透的叶瓣 90% 样滴的冻结温度为 -5°C ;新鲜落下的叶子,当其颜色由黄色变成浑浊的棕色时,核量显著增加,90% 滴的冻结温度为 $-2 - -3^{\circ}\text{C}$ 。随后活性下降,11 月中旬时其活性稳定并与腐烂透的叶瓣核一样。

叶瓣核综合的物理化学性质还有待进一步研究,目前试验所知,从 B 型, D 型气候区测到的成核粒子直径约为 0.1 微米。化学试验表明叶瓣核难溶于水,在一般的有机溶液中,叶瓣核活性都稳定,但若

加热至 $60 - 100^{\circ}\text{C}$ 以上时,就开始失去活性。实验发现叶瓣核的活化量是干的腐烂叶瓣总量的 1% 或低于 1%。初步试验表明活化的叶瓣核由钾和镁的有机金属螯合物(含有大量的碳,氢和氧分子)组成。

2. 海洋核

在太平洋和大西洋沿岸,浮游生物较集中的地区,收集了海水表面浮游生物的样品。用冻滴技术观测到在 -3.5°C 时就发生冰核化,温度为 -10°C 时,每克浮游生物可产生 10^8 个核。把相同浮游生物的样品通入等温室试验,测量结果在 -10°C 时,可产生 $10^9 - 10^8$ 个/克。而对热带和其他海洋水观测,当温度高于 -15°C 时就很少有冰核化发生。

海洋浮游生物核的直径为 1.0 微米左右。当温度超过 100°C 时活性就破坏。海水浪花的水沫能把高浓度的有机物质带进大气中,许多学者对沿海地区的雪水、雨水进行过研究,发现其有机成份源——核的海洋源。

3. 细菌核

对植物、河水、湖水、雪水和雨水等样品用标准生物显微技术可分离和培育出细菌来。对陆地上的假单胞菌(属 *Fluorescens* 种和 *Syringae* 种)已观测到在 -1.3°C 就可使过冷却水成冰。在 -5°C 时,每立方厘米甚至可产生 10^8 个冰核。对其他几十种细菌的成冰核能力作了普查,都没有发现成冰核性能。这种最活化的细菌(*Fluorescens* 种)为直棒形状,大小为 3—5 微米,能通过极鞭游动。

细菌的活性很不稳定,许多能在 $-2 - -3^{\circ}\text{C}$ 核化的培养液,其活性在 24—48 小时内就大部分丧失。若把细菌悬浮在 0.3% 的福尔马林中,能使活性稳定,但会降低其冻结温度。对细菌室或对培养液进行声波的和离心旋转等物理影响试验,结果表明活性会减少。

十来年前,植物病理学家 Lindow(1975)研究了植物对霜的敏感性。他们观测到在谷类,莴苣和豆子叶中存在细菌冰核时,会增加植物对霜的敏感性。例如,在一次 -2°C 的辐射霜影响以前,对某种成熟的谷类植物上喷洒链霉素,并与邻近未被喷洒的谷类植物相比较,结果是喷洒链霉素的谷类植物约有 50% 受到霜冻破坏,而未受喷洒的谷类植物要损失 70%。

再者,1976 年 4 月 1 日,加利福尼亚的 San Joaquin 盆地的一部分果木遭受到 -2°C 的辐射霜,4 月 7 日, Schnell 收集了果园里受霜害和未受霜的叶子和花朵样本,并在现场对这些样品进行了是否存

在细菌引起冰核化的检测。后来又在威斯康星大学由 Upper 教授领导的一个小组作了检定, 结果发现大部分遭受霜害的果木其成冰核的细菌浓度很高, 细菌一般在叶子里。而没有受霜害的果木其成冰核的细菌浓度低。

最近, 据有关新闻报道, Lindow 和他的同事们从细菌体内基因中找出与冰晶核形成有关的一个基因, 将其分割和切除, 经过这样改造的细菌便不会再产生冰晶核, 他们准备在一块土豆田里给刚出土的幼苗喷洒已经加工过的细菌, 让它们在植物表面排挤会产生冰晶核的细菌。据称, 在实验室里, 用此方法处理过的植物可经受 -5°C 低温而不冻坏。

综上所述, 生物过程引起的冰核在大气过程中有着一定的重要性, 是研究大气和生物圈关系的一个新的方面。大气确定了生物过程的环境, 生物过程又影响了大气。生物冰核可能能直接影响降水过程, 影响气候。因此, 有人担心 Lindow 的细菌冰晶基因试验如在实验室外进行将是一种危险的尝试, 这会破坏那里冰晶的自然形成过程, 影响气候。而 Lindow 认为是有重大实际意义的, 是安全的。所有这一切, 都有待于对生物冰核的进一步观测、研究和探索。