

# 环境酸化的现状与展望

瑞典农业部 '82 环境委员会



科学出版社

# 环境酸化的现状与展望

瑞典农业部'82环境委员会

姜邦晔 邱永祥 胡镇欧 译  
董建龙 张朝行 孟志敏

赵殿五 校

科学出版社

1989

## 内 容 简 介

本书是瑞典知名学者为1982年环境酸化国际会议所撰写的背景资料,系统地概括了欧洲和北美迄今的研究成果。内容有:酸雨母质的排放、输送和沉降,湖泊、河流、林地、耕地、地下水的酸化,材料腐蚀以及酸雨的其他有害影响,环境酸化的防治对策和技术,以及环境酸化的未来发展趋势。

本书可供环境、生态、能源、国土规划等方面的研究人员和大专院校师生参考。

Swedish Ministry of Agriculture  
Environment '82 Committee  
**ACIDIFICATION TODAY AND TOMORROW**  
Swedish Ministry of Agriculture Environment '82 Committee  
1982

## 环境酸化的现状与展望

瑞典农业部 1982 环境委员会

姜邦晔 邱永祥 胡镇欧 董建龙 张朝行 孟志敏 译

赵殿五 校

责任编辑 尚久方

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1989 年 6 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1989 年 6 月 第一次印刷 印张: 6 1/2 插页: 8

印数: 0001—850 字数: 165,000

ISBN 7-03-000709-3/O · 190

定 价: 15.60 元

## 译 者 的 话

环境酸化是当前世界上受到广泛关注的一个重大环境问题。环境酸化的根源是酸雨,1972年,在联合国人类环境会议上,瑞典提出了关于酸雨及其生态危害的报告。1982年,再次在瑞典斯德哥尔摩召开了环境酸化国际会议。这时,经过十年的观察、研究和争论,酸化已成为一个欧洲和北美各国必须重视和认真对待的环境问题。为准备此次会议,瑞典政府组织了一些知名学者编写了本书,作为会议的基础文件。本书也是第一本系统论述酸化问题的科学著作。

近些年来,酸雨研究的规模不断扩大,各个方面发表了大量的论文和报告。本书较全面地概括了欧洲和北美的研究成果。书中收集了大量的数据和图表,从造成酸雨的大气污染物,酸雨对湖泊、森林、饮用水、材料的危害,控制措施等方面对酸化问题进行了详细的论述。在探讨当前环境酸化现状的同时,本书用约一半篇幅对其未来趋势做了估计并指出:随着工业化和能源消费增多,酸化问题还会出现在新地区,特别是热带和亚热带地区,使那里的森林、湖泊受害;氮氧化物在酸雨形成中的作用将会上升;酸化地区更多有害金属进入饮用水和地下水,将会威胁人群的健康。因此,本书发出呼吁,一定要制止环境的酸化!事后的救治措施,如施加石灰等,不能治本,因而必须减少酸化污染物的排放量。除种种技术手段之外,节能也是一项减少排放量的有效措施。

本书指出:环境是否发生酸化并使生态受害,决定于酸化大气污染物的沉降量和环境本身对酸化的敏感性。并不是任何地方一有酸雨就必然会引起环境酸化。这是一个值得注意的重要的论点。我国的酸雨研究,虽起步较晚,但发展很快。希望本书的翻译出版,对我国的酸雨研究能提供一些有益的经验 and 帮助。

在本书的翻译过程中,中国科学院研究员阳含熙先生给以许多鼓励和支持,在此表示深切的谢意。

# 前 言

1980年12月1日,瑞典农业部部长 Anders Dahlgren 指定了“1982-环境”(Environment'82)委员会的成员和专家。该委员会的任务之一,是组织1982年斯德哥尔摩环境酸化会议(The 1982 Stockholm Conference on the Acidification of the Environment)。委员会指示专家们就环境酸化的发展和规模起草报告。

我们的报告分4部分。开头部分是从科学和政治角度讲述了酸化问题的历史。接着是到写报告时为止我们对于酸化的各种问题的知识摘要。叙述是以瑞典情况为依据的,但是也注意了国际上的情况。报告的第3部分,我们讨论了未来几十年内酸化问题的各种可能的发展方向,以及我们认为具有极重要意义的一些问题。报告的这一展望部分,不可避免地具有推测性质。报告第4部分是结尾部分,在这一部分里我们对估价和结论做了总结。

专家组共同对报告内容负责。起草各部分的具体专家的姓名,写在相应部分的结尾。

关于限制二氧化硫和氮氧化物排放的途径和方法部分,是我们和瑞典工程科学院(The Swedish Academy of Engineering Sciences)合作写成的。

我们征询了各领域的一些专家的意见。他们也为本报告提供了某些材料。其中,我们要特别提及的是 Gunna Abrahamson, Hans Martin Seip 和 Peter Steen。

本报告的编辑是 Britt Aniansson,插图绘制者是 Ina Lehmann, Anne-Marie Bergstrand 和 Mats Aronsson,装帧设计是 Jan Bohman。在将本报告译成英文、俄文和西班牙文的工作中,瑞典商会(The Swedish Trade Council)的 Språktjänst 翻译服

务公司给了我们宝贵的帮助。

最后，对我的同事们在这项工作中表现出来的热情和献身精神，我深表谢意。

Göran Persson

委员会专家组主席

# 目 录

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 前言.....                           | v   |
| I. 环境酸化问题——几十年期间的科学和政治.....       | 1   |
| II. 环境酸化的现状 .....                 | 19  |
| 什么是环境酸化? .....                    | 20  |
| 大气酸化污染物的排放、传输和沉降.....             | 26  |
| 环境的酸化: 湖泊和河流.....                 | 37  |
| 环境的酸化: 林地和耕地.....                 | 53  |
| 环境的酸化: 地下水——饮用水.....              | 66  |
| 腐蚀, 健康影响和植物直接受伤害.....             | 76  |
| 投放石灰以防治湖泊和河流的酸化.....              | 93  |
| 减少排放量的技术和费用.....                  | 106 |
| III. 酸化展望 .....                   | 119 |
| 如果硫的排放量增加将会导致气候变异和酸化地区<br>扩大..... | 120 |
| 氮氧化物与酸化.....                      | 128 |
| 林地与水.....                         | 138 |
| 酸化增高金属的迁移率.....                   | 147 |
| 酸化威胁欧洲的森林.....                    | 157 |
| 加石灰处理解决不了酸化问题.....                | 165 |
| 脱硫和有效地使用能源能减少污染物的排放.....          | 178 |
| IV. 制止酸化——总结和结论 .....             | 189 |

# **I. 环境酸化问题—— 几十年期间的科学和政治**

“无声无息的危机”。

“也许是有史以来冲击着我们的最严重的环境威胁”。

“一次正在发生的环境大灾难”。

“我们现在和将来面临的最大的环境问题”。

“最大的自然灾祸”。

“一种缓慢降临的灾难，一个看不见的敌人”。

这些是描写斯堪的纳维亚半岛及北美洲土地和水的酸化的激烈言词。这些话反映了人们在面对一种广泛的和无所不包的环境影响时，表现出来的深刻焦虑。人们已经知道和了解了这种影响的有害后果，包括直接的和间接的后果。在斯堪的纳维亚半岛上的国家里——主要是瑞典和挪威——人们在谈论着“我们的最大环境问题”，然而，酸化已不再仅仅是斯堪的纳维亚的问题了。今天在这里已经和正在发生的事情，明天也将或多或少地成为其他国家的现实。酸化的迹象及其对环境的影响，也正在美国和加拿大的东部、联邦德国、比利时、荷兰、丹麦、波兰、英国和其他一些西欧和东欧的国家出现。

“从我们最初觉察到酸化问题的规模到今天，不过十年时间。酸化现象存在多年，一直到 20 世纪 60 年代末都不为人们所注意，是不奇怪的。与其他许多环境影响不同，酸化是一个悄悄的过程——开始时几乎不为人所觉察。我们的嗅觉和味觉分辨不出已酸化的和没有受酸化影响的湖水或井水。在许多情况下，森林中一个酸湖中的清澈透明的湖水，也可以呈现出秀丽景色的假象。在已酸化的林区生长的树，看起来和别的地方的树一模一样，至少在酸化现象不是很严重时一直是这样。”

上面这段话引自 1981 年 6 月一份总结瑞典环境酸化情况的

报告<sup>[1]</sup>。作者继续写道：

“湖泊中成千上万条鱼死亡这件事我们已经知道多年了。但是，我们直到最近才得以证实，由于酸化的结果，泉和井中饮用水的有毒重金属含量，足以对健康造成威胁。在酸化了的土地上，林木的生长可能开始变慢，然而到现在为止这仅仅是一种猜测——我们要确切了解这一点，至少还需要 20 年。”

与此同时，在关于瑞典的湖泊和水道里进行加石灰处理（一个五年试验计划）所取得经验的最终报告<sup>[2]</sup>中，主持计划的权威人士写道：

“几十年来，瑞典的土地和水域，一直暴露在急剧增加的酸沉降作用之下。引起这一情况的主要原因，是在瑞典国内和国外化石燃料用量的增加。这种燃料燃烧时，释放出大量的酸性的硫和氮的化合物，它们经由大气可以输送到很远的地方去。酸化物质的排放主要造成两种环境问题。第一种是由于空气中含有大量的酸化物质，特别是二氧化硫，对人类健康、植被和材料都能造成损害。主要受影响的是城市和大排放源的周围地区。虽然已经观察到对于建筑物、金属结构和文物的明显损害，但对于健康的不良影响，却难于确切测定。第二个问题是环境酸化。这是由于硫和氮的化合物的沉降使土地和水域发生酸化而引起的。这种情况影响了湖泊和河流中的生物，也引起了土壤和地下水特性的变化。”

报告继续说，“必须把酸化问题看作是 20 世纪 80 年代最重要的环境问题。它对渔业及河湖中所有动植物的不良影响，已经为所进行的调查令人信服地证实了。酸化也威胁到地下水和土地。由于林业生产量的减少和金属的活动而产生严重损害的风险，是长期的、巨大的。”

在关于挪威酸性降水对森林和鱼类的影响研究计划 (SNSF) 的一份报告<sup>[3]</sup>中,开头是这样说的:

“几年前,‘酸性降水’和‘酸雨’这些词语,是生态学和大气化学的某些专门领域的科学家使用的深奥的专门术语。而在最近几年,这些词语在许多国家,已成为令人烦恼的家喻户晓的用语。……为什么要这样长的时间,人们才认识到酸性降水是一个重要的生态和环境问题呢?”

美国和加拿大正在联合准备《越境大气污染意向备忘录》,参加工作的一个小组,在一份中期报告<sup>[4]</sup>中用下面的话阐述了他们对北美酸化问题的看法:

“这份关于已经了解到的酸沉降情况的总结表明,这个问题是一个真正的问题,而且是严重的。已经有文件证明了对两国环境造成的损害。如果任其发展,不加制止,酸沉降就可能成为需要付出巨大的经济和社会代价的问题。为了对酸沉降问题有更明确的了解,必须继续进行研究。作为一个实际情况,减少酸沉降影响最好的办法,就是减少引起这个问题的污染物质的排放。”

加拿大环境问题的权威人士也强调酸化问题的重要性和危险性。下面这段话摘自《顺风》(Downwind)<sup>[5]</sup>这一刊物:

“酸雨是我们这么多环境问题中的一个突出例子。它的影响是国际性的。它的起因涉及许多国家。它的后果远远超出国界。它的圆满解决需要国际间的合作行动。”

## 生态学与经济

“偷偷摸摸”,“有暗藏危险”,“无声无息”,这些是在描述酸化所造成的环境影响时,常常出现的典型用语。土地和水的酸化是一个复杂问题,它包括在谈论“我们的环境”时所概括的那些化学

报告<sup>[1]</sup>。作者继续写道：

“湖泊中成千上万条鱼死亡这件事我们已经知道多年了。但是，我们直到最近才得以证实，由于酸化的结果，泉和井中饮用水的有毒重金属含量，足以对健康造成威胁。在酸化了的土地上，林木的生长可能开始变慢，然而到现在为止这仅仅是一种猜测——我们要确切了解这一点，至少还需要 20 年。”

与此同时，在关于瑞典的湖泊和水道里进行加石灰处理（一个五年试验计划）所取得经验的最终报告<sup>[2]</sup>中，主持计划的权威人士写道：

“几十年来，瑞典的土地和水域，一直暴露在急剧增加的酸沉降作用之下。引起这一情况的主要原因，是在瑞典国内和国外化石燃料用量的增加。这种燃料燃烧时，释放出大量的酸性的硫和氮的化合物，它们经由大气可以输送到很远的地方去。酸化物质的排放主要造成两种环境问题。第一种是由于空气中含有大量的酸化物质，特别是二氧化硫，对人类健康、植被和材料都能造成损害。主要受影响的是城市和大排放源的周围地区。虽然已经观察到对于建筑物、金属结构和文物的明显损害，但对于健康的不良影响，却难于确切测定。第二个问题是环境酸化。这是由于硫和氮的化合物的沉降使土地和水域发生酸化而引起的。这种情况影响了湖泊和河流中的生物，也引起了土壤和地下水特性的变化。”

报告继续说，“必须把酸化问题看作是 20 世纪 80 年代最重要的环境问题。它对渔业及河湖中所有动植物的不良影响，已经为所进行的调查令人信服地证实了。酸化也威胁到地下水和土地。由于林业生产量的减少和金属的活动而产生严重损害的风险，是长期的、巨大的。”

摸”，“无声无息”，这些字样事实上已经为“迅速”，“明显”这些词语所取代。瑞典的研究人员促进了关于大气污染物远距离传输以及酸化对土地和水的影响的辩论。斯堪的纳维亚正成为一个人们可以找到与这个巨大的环境问题有关的许多问题答案的地方。

## 没有边界的大气污染问题

1982年快到了。自从联合国1972年在斯德哥尔摩召开人类环境会议以来，我们已经用了十年时间对环境问题进行了解和调查。大气污染物的排放不仅仅是一个国家的忧虑，因为已经证明，不可能把这些污染物限制在排放它们的国家的边界之内。我们的报告将阐述酸化在瑞典已经达到的程度（也涉及到别的国家）并讨论酸化继续下去的后果。希望我们的调查结果，对其他国家草拟情况报告和计划的人有用，并能引起他们的兴趣。

在斯堪的纳维亚，当涉及保护环境时，我们不得不寄希望于国际团结上。瑞典人和挪威人在国内采取的办法。不论规模多大，都不可能停止正在我们两国造成的损害，甚至不可能决定性地加以控制。如果我们限制国内酸化物质的排放，受益的只不过是地区；国际范围的限制是绝对必要的条件。十年前，从斯堪的纳维亚发出的这方面的呼吁，被认为是夸张的和基本上不必要的，实际上象是在要求一种特殊的恩惠。但到今天，大家都清楚地看出，限制污染物的排放，是保持整个欧洲和北美（扩大看当然也是全世界）良好生态环境的基础。也很清楚，这件事不再仅限于酸化物质（如硫和氮的化合物）的排放和传输。风和气团可以运送多种多样的被怀疑为对人类健康和环境造成损害的物质，其中包括金属和有机物。

我们再次引用《顺风》刊物上的一段话：

“近期和长远未来的前景是暗淡的。酸雨引起的当前和潜在的破坏，不论是从经济观点看还是从美学观点看，都是惊人的。拒绝制止这种人为污染而造成的后果，实在无法令人

接受。”

“但是，我们并不是毫无办法和绝望的，因为问题可以解决。人类自己造成的事情，自己也能制止。不过，决心一定要我们自己下。”

## 数据——100 年的老数据和新数据

Ellis B. Cowling 编写的一份历史概要<sup>[3]</sup>表明了酸化问题这些年来是怎样引起科学家和公众注意的。

实际上“酸雨”这个名词是 110 年前创造出来的。英国化学家 Robert Angus Smith 观察到，在工业城市曼彻斯特内和周围地区有“三种空气”。他把它们描绘为“——远处田地里含有碳酸铵的空气，——郊区含有硫酸铵的空气，——市内含有硫酸或酸式硫酸盐的空气”。1872 年他在《空气和降雨：化学气候学的开端》一书中谈到“酸雨”，并讨论了我们现在谈论的与酸化有联系的一些现象：煤的燃烧，有机物的分解，风的轨迹，距海洋的远近，当地降水量。Smith 指出，城内的酸性空气使纺织品褪色，金属表面腐蚀，酸雨则伤害植物和材料。他还指出，砷、铜和其他金属也随工业区上空的雨一起降落。

从 20 世纪 40 年代开始，瑞典土壤研究人员 Hans Egnér 发起对下述问题进行系统调查：植物如何通过大气中物质的沉降而接受更多营养物，换句话说，如何接受更多的“肥料”。Egnér 的测定是最先在地面上进行的对降水和空气的系统监测。Egnér 的监测系统逐步发展，到 1956 年为斯德哥尔摩的国际气象研究所 (The International Meteorological Institute) 所接管，并被定名为欧洲大气化学站网 (European Air Chemistry Network)。东欧也及时地进行了测量。由于有了这个欧洲监测系统，我们现在才能拥有差不多 25 年不间断的降水数据。

在 20 世纪 50 年代以前，人们所注意的污染物在大气中的传输，主要是局地尺度的传输与扩散。瑞典研究人员 Carl Gustav

Rossby 和 Erik Eriksson 相信,空气既可以在近距离内,也可以在远距离间作为传输污染物的媒介,空气传输的物质可能是各种形式的化学物质,这些物质在适当的时候就会在远离它们被吹起来的地方降落下来。

瑞典的 Svante Odén 利用这些背景知识,把孤立的数据与由此必然产生的假说结合起来,又向前迈出了决定性的一步。他综合几个学科的研究结果,又加上他本人多年对地表水化学的观察数据,结果得到一个模式。在这个模式中,许多迹象都倾向说明同一问题——在斯堪的纳维亚,污染物的排放、这些污染物在大气中的传输以及环境的受害(主要是鱼类和湖泊中植物的受害)这三者之间存在着明确的相关关系。1968年 Odén 发表了一篇科学论文,在该论文中,他证明了斯堪的纳维亚国家内的降水酸度越来越大,还证明了大量酸化物质(硫化合物)是中欧和英国的工业区排放出来的。

## 1972 年瑞典关于环境酸化的研究报告

与此同时,有报告说,瑞典西部沿海湖泊酸化情况越来越严重。对含硫降水的影响进行了几次调查,到1972年瑞典已经准备好向联合国斯德哥尔摩人类环境会议提交的一份报告<sup>[7]</sup>。这份报告引起人们的注意,也引起人们的怀疑。无论如何,斯堪的纳维亚大多数研究人员对接受下述理论是有思想准备的:湖泊的酸化和对环境造成的其他损伤,确实可能是风从欧洲其他地区带过来的、并和雨雪一起降落在斯堪的纳维亚的硫引起的。

瑞典的研究报告强调指出,大气污染物的排放是一个真正的国际问题,因而也是国际责任。下面引用的几段话,表明报告的作者们对强调这一问题的国际性质所给予的重视:

“这种情况是极为重要的,因为在西欧这样大小的地区内,人类排放硫的活动可能在邻国造成损害。相邻国家通过大气污染物的影响干扰彼此的经济;因此,了解大气接受污染

物的情况,以及大气在传输和散播这些物质活动中的作用,显然是至关重要的。……大气污染物散播到很远距离以外的地方这一事实,意味着各国是互相影响的。”

“就中欧各国而言,这种相互依赖关系更加明显;而且事态并不局限于硫的沉降——这是公认的既定事实。在大气污染物最终沉降后可能影响当地环境的那些情况下,为了精确地估计这个问题的范围是地方性的,是影响本大陆的或者甚至是全球性的,必须较为确切地了解这些污染物在大气中的存留时间。”

“……硫排放进入大气引起的整个大陆的问题。作为行动的基础,问题的这种国际性质意味着:

- 为了减少酸沉降造成的损害而制定的计划和纲领必须承认这一事实:这些计划和纲领照例要涉及几个国家。
- 为了对付这个问题,必须仔细考虑制定国际协议、国际立法和进行国际控制。”

联合国人类环境会议将上述研究报告列入议事日程,并通过一个宣言。就大气管理问题而言,该宣言中第21条原则是很重要的。这条原则宣称,各国负有义务保证一国内进行的活动不在他国内引起环境损害。

人们公认,1972年瑞典进行的典型研究,并不是唤起对酸沉降和酸化问题广泛注意的第一次尝试,但它确实试图把研究人员的研究结果传达给政治家,并让下述事实获得国际社会的承认:这些问题是区域性的或涉及整个大陆的(视情况而定),因而任何单个受影响的国家所采取的行动,都不能解决问题。需要有一个表达国际间的意愿的宣言。在这一点上,报告中有如下的话:

“鉴于沉降问题是区域性的,在许多情况下有必要拟定国际协议(在一些情况下是双边协议)来对付这个问题。就硫而言,这些协议的目的,应是在几千公里的广大区域内限制排

放, 限制的程度应足以使酸沉降对一个区域内的任何一部分都不会产生严重损害。就斯堪的纳维亚和其相邻国家而论, 这就意味着总的排放量一定不能增加, 而且很可能应减到目前水平的 50%。应该强调指出, 这就是说如果继续把矿物燃料作为主要能源, 并保持目前的能源消耗增加的势头, 那么到本世纪末, 硫的排放量不得超过化石燃料自然含有的硫的 10%。进一步调查瑞典林地生态学的情况, 可能会导致提出更加雄心勃勃的限制目标。”

“展望 2000 年以后的年代, 事情就更加清楚了: 我们本世纪到目前所经历的, 并且看来至少在本世纪未来年代还要为之奋斗的‘指数发展’, 是不可能无限制地继续下去的。从这个更加广泛的意义上看, 向空气中排放硫以及由此产生的有害影响, 只能构成一个方面, 虽然是个重要的方面。我们在这个局部问题上能观察到的对生态系统的破坏, 构成许多迹象中的一个; 这些迹象强烈地提醒人们: 必须防止继续无限制地增加能源消耗, 能源领域未来事态的发展情况对整个人类是一个带有根本性的问题。”

## 欧洲对“空中传输”问题的调查

尽管有着种种怀疑, 或者说是因为有这些怀疑, 在本世纪 70 年代初便开始执行对大气污染物跨越国境传输问题进行研究和调查的计划。经济合作与发展组织 (OECD) 大气委员会率先提出一项重大的国际研究计划, 该研究计划旨在搞清楚, 在欧洲各地, 当地和远方排放的污染物量与观察到的硫污染物量和酸性降水之间的关系。11 个经济合作与发展组织国家积极参与了这项计划。这项计划于 1973 年开始执行, 其名称是: 大气污染远距离传输测定的技术合作规划 (Cooperative Technical Programme to Measure the Long-Range Transport of Air Pollution), 简称 LRTAP。把