

酸雨、植物(综述)

陈锐章

(广西植物研究所)

一、酸雨

大气中的二氧化碳在蒸馏水中达到平衡时的酸度(pH)约为5.6,因而通常把pH值 ≤ 5.6 的雨称为酸雨〔1〕。美国酸雨评价计划组织(NAPAP)于1983年根据僻远地区自然降雨的背景值已接近pH5.0,建议把pH值 ≤ 5.0 的雨称为酸雨〔3〕。

酸雨主要由二氧化硫和氮氧化物在大气或水滴中转化为硫酸和硝酸所造成的。这两种酸占酸雨总酸量90%以上。国外的酸雨,硫酸与硝酸之比约为2:1,我国的酸雨,硫酸与硝酸之比约为9:1〔2〕。

人类对于酸雨的认识,可追溯到1872年,当时英国化学家R.A.Smith发现英国曼彻斯特城区的雨水含有硫酸并称之为酸雨(Acid Rain)。目前,表示酸雨的词还有 Acid Precipitation和Acid Deposition。从1872年到1972年整整一百年的时间内,对酸雨的研究工作基本上停留在监测降雨的酸度和频率,观察酸雨对陆地水域、物料和生物的影响。1972年,瑞典政府根据该国土壤学家S.Oden从1961~1968年的工作中了解到酸雨可能产生的严重生态后果,向联合国人类环境会议提出“跨国的污染:大气和降水中硫的影响”的报告,引起普遍的重视。各国政府纷纷制订国家级的研究计划。例如,美国于1975年制订了为期10年的研究计划,日本于1983年制订了为期5年的研究计划,我国从1982年起在全国范围内对酸雨进行了连续3年普查,了解到我国有两个酸雨区,一个是包括重庆、贵阳、柳州、恩施等地的西南酸雨区,一个是包括南昌、黄石、株州、杭州等地的华东酸雨区。酸雨问题已列为第七个五年计划的攻关项目。研究内容包括酸雨形成的机理,酸雨的迁移转化,以及酸雨对生态系统的影响等等。

根据现有的资料,酸雨迁移的距离可达2000公里,酸雨的足迹已遍及全球,酸雨的酸度还有增强的趋势,对陆地和水域中的生物,土壤、岩石、文物和建筑,以及人体健康的威胁已经成为当前全球性的重大环境问题之一〔4、5、6〕。

二、酸雨对植物的影响

随着对酸雨研究工作的进展,有关酸雨对植物的影响已做了不少工作,并把酸雨落到植物体上产生的影响称为酸雨的直接影响,把酸雨对植物的环境发生影响进而使植物受到的影

* 本文1987年3月23日收到。

响称为酸雨的间接影响〔7、8、9、10、11〕。

1. 酸雨对植物的直接影响。

(1) 叶。叶片受酸雨影响出现的症状最为明显，因而被试验观察得也最多。美国对35个主要作物品种（年总产值达500亿美元）用pH值分别为3.0、3.5、4.0和5.6（对照）的模拟硫酸雨进行了试验。得到的结果是，用pH值为3.0的酸雨处理，35个品种的作物中有31个品种植物的叶片出现受害症状；用pH值为3.5的酸雨处理，有28个品种的叶片出现受害症状；用pH值为4.0的酸雨处理，只有5个品种的叶片出现受害症状。叶菜类植物的叶片受害时，经济产量受到影响，但是莴苣的叶片受害后，在上市前受害叶已被剥除经济产量不受影响〔12〕。苹果类果树幼苗受pH3.5以下的酸雨处理，叶片上伤斑占总叶面积达20%以上，树体因而逐渐衰亡〔13〕。国内对蕃茄、辣椒、黄瓜等作物用pH值1.5、2.5、3.5、4.5和5.6（对照）的酸雨处理，其结果是：用pH值1.5和2.5的酸雨处理，3种植物的叶片均出现受害症状，pH值3.5以上的酸雨均无明显的症状〔14〕。对水稻等13个品种的植株，用pH值2.5、3.0、3.5、3.9和5.6（对照）的模拟硫酸雨进行试验的结果，水稻（9个品种）和大猪屎青等10种植物对酸雨具有很强的抗性，受pH值为2.5的酸雨处理叶片不致受害。蕹菜、大豆、辣椒受pH值为2.5或3.0的酸雨处理后，叶片有伤斑出现，pH值3.5以上的酸雨对叶片无害〔17〕。模拟硫酸雨对秋播小麦孕穗期叶片引起伤斑的临界酸度为pH3.6，对春播小麦拔节期叶片引起伤斑的临界酸度为pH2.8〔24〕。小麦叶片受害的阈值为pH3.0〔25〕酸雨能淋失叶片的营养元素，破坏叶面的角质层叶片因而易受病虫的侵害〔28、29〕。

(2) 茎。由于茎的表面有树皮的保护，通常不易受到酸雨的损害，即使出现受害也不易于察觉，因而未见有这方面的报道。

(3) 花和果实。pH值为3.5~4.5的酸雨对大多数菊花均没有影响，pH值低于3.5的酸雨使菊花的花瓣褪色而失去观赏价值〔26〕。pH值3.0左右的酸雨能使苹果花粉粒的发芽率大大降低从而严重影响到苹果的着果率、果重、产量和质量〔13〕。蕃茄果实受pH值3.0的酸雨处理，果皮出现伤斑而降低商品价值〔12〕。但是，水稻在开花期用pH值为2.5的酸雨处理，开花、结实和千粒重都不受影响〔17〕。

(4) 种子。酸雨与种子的发芽生长之间互有影响。水稻种子用pH值为3.5、4.5和5.5的硫酸或硝酸液浸泡过夜，发芽率均有不同程度的降低。大豆种子在pH值为3.5的硫酸液环境中发芽生长，15日龄的幼苗干重比对照低〔16〕。大多数花卉种子在pH2.0时不萌发，在pH3.0时发芽率较低〔26〕。用12种植物种子进行试验的结果认为pH3.0是种子发芽的关键酸度。〔15〕另一方面，植物种子具有中和酸液的能力，浸过植物种子的酸液pH值均有不同程度的升高。pH值为3.7、4.6和5.7的硫酸液投入9种植物种子浸泡过夜，酸液pH值分别升高1~2个pH单位〔16〕。

以上酸雨对植物各器官的直接影响的酸度阈值为pH3.0左右。恰与酸雨对生理现象发生影响的阈值相一致。例如，中等浓度的二氧化硫，在pH2.2的条件下，能使地衣的叶绿素转变为脱镁叶绿素，但在pH3.2以上的条件下便不会发生此种转变〔30〕。离体的绿豆根尖细胞，在外液的pH值发生变化时，细胞内部的pH值一般并不跟随外液的pH值变化而变化，只有当外液的pH值变化很大达到3或10时，细胞才失去调节能力，内部pH值便发生明显的变化〔27〕。

据报道,植物对二氧化硫和氯等酸性污染物的抗性与细胞的耐酸力有着密切的关系〔19、20〕。少数对酸雨影响阈值大于或小于 $\text{pH}3.0$ 的植物,可能是它们的耐酸力在起作用。

用 pH 值均为 2.0 的不同种类的酸液处理青菜叶片时,受害的程度以硫酸液为最重,其次是硫酸、盐酸和硝酸三者的混合液,再次是盐酸,最轻是硝酸〔14〕。亚硫酸的毒性又比硫酸大,大猪屎青对 250ppm 的亚硫酸溶液很敏感〔21〕,但它却能忍受 $\text{pH}2.5$ 的硫酸液〔17〕。对附生的苔藓植物,亚硫酸的毒性比硫酸大 30 倍〔29〕。

2. 酸雨对植物的间接影响。

(1) 土壤。酸雨淋洗土壤使土壤酸化,阳离子淋失,盐基饱和度降低,枯枝落叶层及腐殖质的矿化速度降低,土壤中固氮藻类的固氮速率降低,从而削弱了生态系统的营养循环〔35〕。酸雨还能从土壤中淋出有毒的物质(活性铝和其它重金属),使植物受到损害。完成这些过程需要相当长的时间(40~50年),可以划分为4个阶段。在第1阶段,酸雨使土壤中硫和氮的含量增加,树木呈现出受益的状况,生长迅速,有人称这一阶段为酸雨与森林的蜜月阶段。这一阶段相对比较短暂一般为10年左右。在第2阶段中,随着酸雨降落到土壤的硫和酸不断增加,导致土壤的中和能力和养分的供应能力减弱。到第3阶段,土壤中出现大量的活性铝和其它有毒物质,土壤中的 Ca/Al 比率小于 1 。随着这一比率低至 0.15 时,生态系统将失去恢复能力。在第4阶段,处于濒危状态的植物,一旦遇到突发性的自然灾害便死亡〔47〕。酸雨对土壤中阳离子的淋洗,与酸雨中的硫酸与硝酸比率有关,比率越高,淋洗作用愈大〔30〕。

铝不是植物的必要元素,但大多数植物都含铝(含量为 $50\sim 200$ 毫克·公斤 $^{-1}$),有些植物如绣球花含铝达 4 万毫克·公斤 $^{-1}$ 〔32〕。绣球花的花瓣通常为粉红色,含铝量高时呈蓝色〔33〕。在特定的条件下,少量的铝对植物的生长有好处。例如茶树缺铝时,叶片缺绿,施用铝便能转绿,砂培的桉树幼苗,缺铝时生长受阻,叶小褪绿,施用铝可使生长增加 5 倍;铝对多种草本植物的根有促进生长的作用〔32〕。不同植物对铝的耐受性差异很大。例如马铃薯在土壤 pH 值 3.8 ,活性铝含量 $6\sim 7$ 毫克·百克土 $^{-1}$ 时易患病,产量低。驴喜豆的根经 2ppm 的铝液处理,吸磷的能力比对照低 $2/3$ 。松树能在含铝 240ppm 的培养液中生长〔33、34〕。铝离子通常从根尖的初生细胞壁透入细胞吸附在细胞膜上,抑制对钙的吸收和输导,抑制DNA的合成,使 K^+ 的漏失增加,根分生组织的生长受阻,严重时根尖变色死亡。生长正常的根细胞的细胞膜,有阻碍铝离子进入细胞的能力。当根细胞处于不正常的生理状况下,(例如处于厌氧条件下),细胞膜对铝离子的阻碍作用将受到损害,而且一旦受到损害就很难于恢复〔36〕。用水稻进行的试验表明,完整的稻株插植于含铝 240ppm 的培养液中能够长期生存,只是根系的生长比对照差而已,如果在插植前将稻根全部剪除再插植于含铝 150ppm 的培养液中,10天后稻株便枯萎死亡,插于含铝 60ppm 的培养液中,生长也比对照差。试验者认为,根系的剪口铝离子不受细胞膜的阻碍而进入,使稻株受害死亡〔18〕。

(2) 其它污染物或气象因素的综合影响。在其他污染物或气象因素综合影响下,1982年重庆市多次 pH 值在 3.6 以上的酸雨,使上万亩水稻和其他农林作物受到损害〔37、38〕。然而,在酸雨单因素试验中, $\text{pH}2.5$ 的酸雨对水稻没有伤害作用〔17〕。 $\text{pH}2.0$ 的酸雨处理多次,在叶面及叶鞘仅出现少量灰白色点状伤斑〔22〕。

(3) 病虫害。酸雨与植物病虫害之间的关系比较复杂。酸雨对植物产生伤害之后,给病虫害侵染提供了方便。另一方面酸雨对病虫害又有抑制作用,从而可以减轻病虫害的传播和

蔓延。例如, 蕃茄先经酸雨处理, 叶片出现伤斑后再接种假单孢菌可使病害加重; 如果先接种假单孢菌, 随后用酸雨处理, 由于酸雨能抑制假单孢菌的滋长, 病害因而减轻^[39]。四川省奉节地区有97万亩华山松, 由于受大气污染和酸雨的影响, 落叶病和线虫病大量发生, 50万亩受到不同程度的损害, 其中22万亩已经枯死^[40]。pH3.2的模拟酸雨使土壤线虫增加, 植物病害加重。酸雨使喷施到马铃薯和食荚菜豆叶片上的氢氧化铜和氢氧化二苯基锡等农药失效^[41]。

三、展望与对策

我国能源的年消费量1983年为6亿多吨标准煤, 其中原煤约占70%, 已经造成相当程度的酸雨。预料到本世纪末, 能源消费量将要翻番, 后果将更为严重^[42]。

到目前为止, 美国已出现过酸度小于pH1.5的酸雨^[43], 日本出现过pH2.9的酸雨^[44], 我国出现过pH2.1的酸雨^[45]。这些都有一次降雨的最低pH值。各地降雨的酸度通常都在pH3.0以上, 一次降酸雨引起直接伤害的情况是不多的。但是, 酸雨对植物的间接影响却不容忽视, 特别是通过对土壤的淋洗, 把森林的土壤淋洗到第4阶段导致林木成片地死亡, 这种状况, 在欧洲和北美已屡有报道, 成为世人触目惊心的事件。因为森林十分广阔, 人力不可能做到像农田那样的精细管理, 酸雨便有可能进行长期的淋洗。为了防止林木受害, 最根本的措施就是控制酸性污染物的排放以消除酸雨。此外, 选择抗酸能力较强的树种和与菌类共生的树种都能减轻酸雨的危害^[46、47]。对于农作物来说, 土壤被淋洗到第4阶段的情况不会出现, 因为一系列的耕作管理措施可以打断和消除酸雨对土壤累积性的淋洗作用。但是, 酸雨与其他污染物或气象因素的协同作用对植物的损害是可能的。最近有报道说, 在酸雨后2小时内, 喷以自然地表水淋洗植物, 可以减轻甚至消除酸雨对植物的损害^[23]。

酸雨影响植物的研究, 已从观察症状反应、寻找伤害阈值逐渐转到对伤害机理的探讨和防治对策的研究。可以预料, 随着对伤害机理认识的深入, 终将提出有效的防治对策。

参考文献

1. 赵殿五: 从能源和降水化学看我国的酸雨, 酸雨, 1983, No.1;
2. 赵殿五: 我国的酸雨形势, 环境问题与科学技术(一), 海洋出版社, 1983;
3. NAPAP: Annual Report to the President and Congress, 13, 1983. (引自江研因等)上海环境科学, 1986, (2).
4. 田钟琦: 世界酸雨形势, 酸雨, 1983, (1)。
5. 李洪珍: 大气污染与酸雨, 酸雨, 1983, (1)。
6. 户冢绩: 酸雨及其对生态系统的影响, 产业公害, 1983, 19(5)。
7. H.H. Neuman: Recent Development in Research on Air Pollution and Plant Injury. CAZM Report, 1983, (9)。
8. 杨景辉: 酸性沉降物对陆地生态和水生生态的影响, 酸雨, 1984, (3)。
9. Russ HoyLe: 隐蔽的历史事实、无声的灾难, Time, 1982, (8)。
10. 曹洪法: 酸雨对生态的影响, 中国环境科学, 1984, (3)。
11. 张耀民: 酸雨对农业的影响, 农业环境保护, 1984, (4)。
12. J.J. Lee et al: Effect of Simulated Sulfuric Acid Rain on Yield, Growth and Foliar Injury of

- Several Crops. Environ. and Exp. Bot., 1981, 21(2).
13. 王业共：空气污染果树遭殃，中国环境报，1985年3月2日；
 14. 李正方等：人工酸雨喷雾对蕃茄等作物早期生长的影响，中国环境科学，1983，(6)。
 15. 高绪平等：模拟酸雨对农作物种子发芽的影响，环境污染与防治，1983，(6)。
 16. 彭桂英：模拟酸雨对植物种子的生理效应，环境科学简讯，1983，(5)。
 17. 彭桂英、陈锐章：几种植物对酸雨的反应，农业环境保护，1986，(6)。
 18. 彭桂英、陈锐章：植物耐铝试验，中国植物生理学会第4次全国会议论文摘要汇编，1986年11月；
 19. 陈锐章：植物抗污机理研究，植物生理学通讯，1982，(1)。
 20. 陈锐章、彭桂英：叶细胞耐酸力与植物抗氯性的关系，植物生理学通讯，1982，(1)。
 21. 陈锐章等：绿化对保护和改善桂林环境的研究，桂林环境污染综合防治研究报告·第二集，1983年12月；
 22. 陈锐章、彭桂英、黄福祥：模拟酸雨对水稻的影响，内部资料(1985)；
 23. 陈锐章等：喷水清除酸雨损害农作物的试验，环境科学学报(即将刊出)；
 24. 赵远驰等：模拟酸雨对小麦生长影响的试验，第五次全国植物与环境保护学术讨论会论文摘要汇编，1985年4月；
 25. 郭德惠、张延毅：对小麦进行人工酸水喷雾处理试验研究，同上刊；
 26. 蒋美珍：园林植物对酸雨的反应，同上刊；
 27. Keiichi Torimitsu et al.: Effect of External PH on the Cytoplasmic and Vacuolar PHS in Mung Bean Root-tip Cells: A P Nucllar Magnetic Study, Plant and Cell Physiol., 1984, 25(8).
 28. Hornvedt R. et al.: Ecological Impact of Acid Precipitation, 1980.
 29. J.B. Mudd, T.T. Kozlowski: Responses of Plants to Air Pollution, 1975.
 30. A.R. Huete and J.G. Mccoll: Soil Cation Leaching by "Acid Rain" With Varying Nitrate-Sulfate Ratios, J. Environ. Qual., 1984, 13(3).
 31. C. Bould et al.: Diagnosis of Mineyal Disorders in Plants, 1984, 1.
 32. B.S. Meger et al.: Introduction to Plant Physiol., 1973.
 33. A.T. 维诺格拉多夫：(1950) 动植物生活中的微量元素，科学出版社，1957.
 34. L.H. McCormick et al.: Variation in Alumium Tolerance among Six Genera of Trees, Forest Science, 1978, 24(4).
 35. Fu Hsian et al.: 酸性沉降物对森林生态系的影响, Environ. Sci. Technol., 1983, 17(1).
 36. Tadao Wagatsuma: Effect of Non-Metabolic Conditions on the Uptake of Aluminum by Plant Roots, Soil Sci. and Plant Nutrition, 1983, 29(3).
 37. 重庆市环境科研监测所、中科院环化所酸雨研究组：重庆市酸雨危害的初步调查，酸雨，1984，(2)。
 38. 重庆市环境科研监测所：重庆酸雨及其环境影响，酸雨，1985，(3)。
 39. S. Bisessar et al.: Influence of Simulated Acidic Rain on Bacterial Speck of Tomato, J. Environ. Qual., 1984, 13(1).
 40. 余叔文等：抢救森林—四川大片松林死亡的调查报告，第五次全国植物与环境保护学术讨论会论文摘要汇编，1985年4月；
 41. J. Troiano and E.J. Butterfield: Effect of Simulated Acidic Rain on Retention of Pesticides on Leaf Surfaces, Phytopathology, 1984, 74(11).
 42. 曲格平：发刊词，酸雨，1983，(1)。
 43. 译自日本《科学》杂志1982年第2期：有关酸雨的报道，环境科学动态，1982，(19)。
 44. 关口恭一等：日本前桥市降落pH2.86的酸雨，大气污染学会志，1983，18(1)。
 45. 冷裕先：沙市西区降落pH值2.10的酸雨，酸雨，1985，(1)。
 46. 译自《The German Tribune》1983.3.6：减少酸雨对森林危害的措施，酸雨，1984，(1)。
 47. 译自苏刊《在国外》1985，(4)：菌类侵蚀林木免受损害，酸雨，1985，(3)。