

# 空气凤梨对气体污染物的监测和修复

郑桂灵, 王思维, 李 鹏

(西南科技大学 生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010)

**摘 要:**空气凤梨是一类生长在空气中、不需要土壤的特殊植物。其生长所需的水分和营养可以全部来自空气,因此也能够同时吸附或吸收大气降尘中的污染物(包括有机污染物及重金属污染物),从而成为有效的监测环境变化的“指示生物”和去除环境污染的修复植物。文章综述了空气凤梨的生物学特征,以及对环境污染的响应机制。

**关键词:**空气植物;重金属;生物修复;环境污染

**中图分类号:**S 682.2<sup>+</sup>9 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2011)04-0208-03

随着工农业和经济的快速发展,重金属、有机物以及放射性核素等对土壤、水及大气的污染日益严重,监测及修复这些污染物质的理论与技术成为当前国内外研究的热点。作为 20 世纪 90 年代初兴起的一项新技术,植物修复是以植物忍耐或富集某种或某些有机、无机污染物为基础,利用绿色植物吸收、聚集、降解、固定环境中的污染物从而减少或减轻污染物毒性的技术<sup>[1]</sup>。这项技术在处理污染物的同时并不对环境造成破坏,经济效益高,生态效果显著,应用前景广泛,因此过去 20 a 来被认为是一种处理环境污染有效的方法。

空气植物是一类生长在空气中、不需要土壤、生长所需的水分和营养可以全部来自空气的特殊植物。但是,这一类群所包括的植物范畴并不清晰。许多附生植物类群,如兰科、苦苣苔科中的附生种类,甚至一些附生蕨类都能直接从空气中吸收水分和养分,但经常只被作为附生植物看待。目前唯一被广泛接受的、并且了解最多的气生植物是指“空气凤梨”这一类特殊的植物,在有些时候“Air plant”一词甚至只代表空气凤梨(*Tillandsia*)<sup>[2]</sup>。因为空气凤梨直接从空气中吸收水分和养分,因此也能够同时吸收大气降尘中的污染物(包括有机污染物及重金属污染物),从而成为有效的检测环境变化的“指示生物”和去除环境污染的修复植物。但除阿根廷、巴西等部分国家在进行系统的研究外,利用空气凤梨监测、修复环境污染的研究在其它国家进行的还很少。

## 1 空气凤梨作为指示植物的生物学特征

空气凤梨为凤梨科多年生草本植物,主要集中在凤

梨科(Bromeliaceae)铁兰属(*Tillandsia*)中。它们有真正的根,但根不发达,没有吸收水分和养分的功能,仅起到固定植株和少量空气交换的作用,叶片表面的鳞片被认为是它们真正吸收水和养分的器官<sup>[3]</sup>。因此,它们不需要长在土中,只需要接受雨水或吸收空气中的湿气便可生存。“空气凤梨”原产于美国南方及中南美洲,早在 100 多 a 前就有人栽培观赏,但直到 20 世纪 80 年代才在国外流行起来,我国则是近几年才开始引种的。

空气凤梨耐干旱,组织中储存的水分能够忍受昼夜和季节的变化所引起的干旱胁迫。研究发现,大多数空气凤梨都属于景天酸代谢途径(CAM, Crassulacean acid metabolism pathway)植物<sup>[3]</sup>,它们叶片上的气孔白天关闭,可以避免蒸腾作用引起的水分流失,而在夜晚气孔张开,吸收水分和固定 CO<sub>2</sub>。这种固定 CO<sub>2</sub> 的途径被称为景天酸代谢途径,依靠这种途径,它们既能巧妙的避开阳光照射造成的水分流失,维持水分平衡,又能同化 CO<sub>2</sub>,进行正常的光合作用<sup>[3]</sup>。

因为空气凤梨直接从存在污染物的空气中获得养分和水分,因此,它们与其它附生植物一样,其叶片及整个植株中的元素构成和生理响应能较程度的反映大气降尘中重金属污染物的输入<sup>[4]</sup>,从而成为灵敏的检测重金属污染的指示植物。

## 2 空气凤梨对环境污染的响应机制

在某些特定的污染条件下,植物会对大气中的污染物出现生理响应,即发生植株受损症状。植物在受污染地区出现的生理响应方式多种多样,比如通过改变自身的叶绿素含量、丙二醛、生物量、生长速度以及自身的元素构成来反映该地区的大气污染状况。而观察叶子的受伤程度和定量测定植物体内的元素累积情况是利用植物进行生物监测最常见的方法,尤其是测定低浓度污染(包括单一污染物质和混合污染物质)环境下长期暴

**第一作者简介:**郑桂灵(1979-),女,博士,讲师,现主要从事生物修复研究工作。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(41005084)。

**收稿日期:**2010-11-19

露的元素富集结果,这是任何仪器分析方法都无法比拟的<sup>[4]</sup>。

对于空气凤梨产生的生理响应,阿根廷的 Pignata 等提出了一个 FDI(foliar damage index)指标,即凤梨叶片损伤指标,来表征空气凤梨的生理响应<sup>[5]</sup>。该指标表述为  $FDI = [(Chl-b/Chl-a) + (S/Sm)] \times [(MDA/MDAm) + (HPCD/HPCDm)] \times (DW/FW)$ ,在该公式中,Chl-b、Chl-a、S、MDA、HPCD 分别代表鲜重时的叶绿素 b、叶绿素 a、硫、丙二醛和共轭二烯过氧化物的含量,而带有角标 m 的分母代表的是所有位点样品的算术平均值。通过计算 FDI 值,利用计算机程序即可模拟出直观反映空气凤梨叶片受损程度的分布样式图。

Pignata<sup>[5]</sup>在提出 FDI 指标的同时,在阿根廷  $5 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 的地区上通过大范围利用 *T. capillaries* 来进行监测试验,描绘了 *T. capillaries* 在该区域的 FDI 分布图,从分布图上可以观察到空气凤梨叶片破坏程度,间接得出不同区域的空气污染物差异。Bermudez 在比较几种空气凤梨监测能力的试验中也采用了该公式,通过比较 FDI 值的不同,得出几种凤梨对不同空气污染物的敏感性差异以及对重金属的耐受性,同时也证明了 FDI 是表征空气凤梨生理响应的优秀指标<sup>[1]</sup>。

### 3 利用空气凤梨监测污染物浓度变化与人类活动的关系

空气凤梨作为生物指示剂对重金属污染进行监测由来已久。早在 1952 年 MacIntire 就利用松萝(*Tilandsia usneoides* L.)来检测雨水中氟化物的含量。但是系统地研究空气凤梨对重金属的吸附始于 20 世纪 90 年代。松萝成为人们最为频繁利用的空气凤梨之一。Calasansa 和 Malm<sup>[6]</sup>发现松萝是一种很好的检测空气中重金属离子汞污染的指示植物,因为它能快速、有效地积累空气中飘浮的汞离子,并对一些胁迫环境,如高温、高汞离子浓度及氧化剂(Cl<sub>2</sub>)等,有较强的拮抗(Resistance)能力。Malm<sup>[7]</sup>用松萝来研究圣保罗地区的空气中重金属污染状况,对 26 种微量元素进行分析,发现 Zn 和 Ba 的富集主要集中在交通运输频密的地区,这 2 种元素来源可能与交通运输活动有关。而在工业区 Zn 和 Co 含量最高,稀有元素 Fe 和 Rb 主要来源于土壤颗粒,同时也证明松萝凤梨无论在室内还是室外都是汞元素的灵敏指示植物。Bastos<sup>[8]</sup>用松萝对巴西的金加工厂内外的汞元素进行富集,然后研究汞元素在松萝体内的保持力,发现松萝能够稳定代表金加工厂内外的汞浓度的相关性。

此外,有学者根据测定的松萝体内重金属含量绘制出不同区域的重金属区域变化图,揭示了大气沉降随着时间变化的规律。这种变化图采用黑白等高线图,简洁

易懂,易于与前期检测结果进行比较。Pignata 对阿根廷地区大气沉降中 S、Zn、Cu、Co、Pb、Ni、Fe 和 Mn 元素也做了区域性分布图,从图上可以直观地看出不同地区的主要元素分布和重金属含量<sup>[5]</sup>。随后,Figueiredo 又对巴西圣保罗地区的大气沉降中包括 Co、Ce、Cr、As、Sb、Rb、Sc 等在内的 19 种重金属元素进行测定,采用聚类分析各种重金属的关系。同时对 Ba、Co、Cr 和 Zn 元素做了不同时期的区域性分布图,由图可以观察到 2002~2003 年度每 2 个月几种重金属元素污染变化的趋势图,并通过该图的变化分析几种重金属的来源<sup>[9]</sup>。

除松萝以外,其它铁兰属的空气凤梨也逐渐用来进行重金属污染方面的研究。Schrimpf<sup>[10]</sup>首先在哥伦比亚的高度工业化的 Cauca 峡谷用作为 *T. recurvata* 指示植物检测出空中漂浮的重金属元素。Eduardo 等<sup>[11]</sup>以 *T. capillaris* 和 *T. permutata* 来作为指示植物,采用 TXRF 分析 V、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Pb 和 Br 的含量,利用 CF 值(污染物因子)聚类分析这些元素的来源。以 *T. capillaris* 为研究对象时发现 V、Mn、Fe、Ni、Cu 与 Zn 元素属于城市-工业类,Zn 和 Pb 的 CF 值与道路类呈正相关。以 *T. permutata* 为研究对象时发现 Zn 的 CF 值与城市-工业类呈正相关,而 Pb 的 CF 值与道路类呈正相关。Gonzalo 等<sup>[4]</sup>将 3 种空气凤梨 *T. recurvata*、*T. tricholepis* 与 *T. capillaris* 与地衣 *R. celastri* 进行比较,提示它们对重金属污染的指示能力。结果发现重金属富集量:*T. recurvata* > *T. tricholepis* > *R. celastri* > *T. capillaris*。

### 4 重金属在空气凤梨中的富集部位及影响因素

Filho 与 Andrade 利用松萝作为重金属污染的指示植物,利用 SEM 和 EDXA 技术来分析汞的富集部位及含量,发现试验的松萝的最大汞含量达到了 2072 μg/g。同时发现松萝的鳞片、茎和叶表面位置对汞元素高度吸附,而表皮细胞上却很少吸附。此外,在松萝内部也未发现汞元素。因此可以看出,松萝叶表面的大量鳞片形成了向外延伸的区域,这些区域可以吸收颗粒物及含有 Hg、Cl 和 Zn 等元素的水蒸气<sup>[12]</sup>。

利用松萝对 Amazon 地区的黄金贸易中心进行大气汞污染的研究还发现松萝对汞元素的富集具有季节性的差异,旱季与雨季的富集量差异明显,这种差异是由于黄金制品厂的活动减少造成的。同时也发现汞在大气中扩散时受到了灰尘、温度和潮湿度的影响<sup>[7,9]</sup>。环境的湿度与悬浮颗粒物与汞的沉积率有关,同时还会影响凤梨对其它大气污染物的敏感性<sup>[6]</sup>。

在对 3 种空气凤梨 *T. recurvata*、*T. tricholepis* 与 *T. capillaris* 与地衣 *R. celastri* 指示能力的比较中发现:*T. tricholepis* 与 *T. capillaris* 对农业活动敏感,主要表现为对某些杀虫剂和杀真菌剂敏感;*T. recurvata* 对城市

与工业活动敏感<sup>[4]</sup>。

## 5 结语与展望

空气凤梨因其直接在空气中生长,从空气中吸收水分和养分的特殊性,成为监测环境污染物、特别是大气污染物的优良指示植物。但从以上介绍可以看出,目前对于空气凤梨吸收环境污染物的研究,主要集中于利用空气凤梨指示大气重金属污染上。而实际上,污染物种类众多,重金属污染只是其中一部分。挥发性有机污染物(Volatile organic compounds, VOCs)是室内外空气中普遍存在且组成复杂的一类有机污染物,它们中有些具有致癌、致畸变、致突变毒性,其中有十几种被列入美国国家环境保护局(EPA)和我国国家环境保护总局确定的优先监测物质名录。萜烯、烷烃、烷基苯、甲醛、乙醛、芳香烃(苯、乙苯、二甲苯)都是其中常见的污染物质。大气颗粒污染物(气溶胶)是悬浮在大气中的多种固体微粒和液体微小颗粒的总和,既可来源于自然界,如火山喷发的烟尘、被风吹起的土壤、流星燃烧所产生的细小微粒和宇宙尘埃等;也可能由人类活动所引起,如煤、油及其它矿物燃料的燃烧物质,以及车辆产生的废气排放至空气中的大量烟粒等。其成分更为复杂,既可能是金属元素,也可能是有机污染物,还可能是几种物质的聚合体,甚至还含有很多放射性物质(如氡)。迄今为止,利用空气凤梨监测这些污染物的研究极少。实际上,空气凤梨吸附、吸收这些污染物质的机理与吸附、吸收大气重金属的机理有很多类似之处。因此,如何更好的利用包括空气凤梨在内的气生植物这一类特殊的植物,为环境污染的治理与修复提供更有有效的植物修复途径将是未来值得研究的课题。

## 参考文献

- [1] 浙江大学环境修复与生态健康教育部重点实验室. 植物修复技术应用前景广泛[J]. 国际学术动态, 2006(3): 26-28.
- [2] 郑桂灵, 李鹏. 气生植物的生物学特征与研究展望[J]. 生物学杂志, 2009(10): 56-58, 62.
- [3] Benzing D H. Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation[M]. Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
- [4] Gonzalo M A, Bermudez J, Rodriguez H, et al. Comparison of the air pollution biomonitoring ability of three *Tillandsia* species and the lichen *Ramalina celastri* in Argentina[J]. Environmental Research, 2009, 109: 6-14.
- [5] Pignata M L, Gudino G L, Wannaz E D. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaries* as a biomonitor[J]. Environmental Pollution, 2002, 20: 59-68.
- [6] Calasans C F, Malm O. Elemental mercury contamination survey in a chlor-alkali plant by the use of transplanted Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (L.) [J]. Science of the Total Environment, 1997, 208(3): 77-165.
- [7] Malm O, Fonseca M F, Miguel P H, et al. Use of epiphyte plants as biomonitors to map atmospheric mercury in a gold trade center city, Amazon, Brazil[J]. Science of the Total Environment, 1998, 213: 57-64.
- [8] Bastos W R, Fonseca M F, Pinto F N, et al. Mercury persistence in indoor environments in the Amazon Region, Brazil[J]. Environmental Research, 2004, 96: 235-238.
- [9] Figueiredo A M G, Nogueira C A, Saiki M, et al. Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of Sao Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor[J]. Environmental Pollution, 2007, 145: 279-292.
- [10] Schrimpf E. Air pollution patterns in two cities in Colombia S. A. according to trace substance content of an epiphyte (*Tillandsia recurvata* L.) [J]. Water Air Soil Pollution, 1984, 21: 279-315.
- [11] Eduardo D, Wannaz H A, Carreras C A, et al. Assessment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina[J]. Science of the Total Environment, 2006, 361: 267-278.
- [12] Filhoa G M, Andrade L R, Farina M, et al. Hg localisation in *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), an atmospheric biomonitor[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 881-887.

## Biomonitoring and Control of Air Pollutants with Air Plant *Tillandsia*

ZHENG Gui-ling, WANG Si-wei, LI Peng

(School of Life Sciences and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000)

**Abstract:** Air plant, i. e. epiphytic *Tillandsia* species, is a kind of special plant growing on rocks, trees shrubs etc without soil. It receives water and nutrients directly from the air through specialized leaves. For this reason they can be selected to carry out monitoring and absorbing atmospheric pollution, including organic and heavy-metal pollutants. Thereby, effective monitoring of environmental change indicator organism' and the removal of environmental pollution remediation plant. This paper the biological characteristics of *Tillandsia* and the response mechanism to environmental pollution were summarized.

**Key words:** air plant; heavy metal; bioremediation; environment pollution