

# 维管束植物桂花树叶片对大气氮沉降的吸收研究

王燕丽<sup>1,2</sup>, 肖化云<sup>1\*</sup>, 肖红伟<sup>1,2</sup>, 朱仁果<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 本文通过测定维管束植物桂花树叶片的氮含量和氮同位素组成, 分析其对大气氮沉降的截留吸收机制。为期一年(2009.03~2010.03)的监测数据显示, 桂花树叶片氮含量为 1.33%~3.09%, 平均值为 2.18%; 叶片  $\delta^{15}\text{N}$  为 +0.54‰~+3.78‰, 均值为 +2.29‰。桂花树叶片  $\text{N}\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}$  的季节性变化趋势, 总体呈现春、冬高, 夏、秋低的规律, 这与已有的贵阳市雨水监测数据一致。对比不同树冠厚度的叶片样品, 发现叶片  $\text{N}\%$  随树冠厚度增加而降低, 顶部叶片  $\text{N}\%$  表现为最高(2.39±0.4%), 说明桂花树的树冠层对大气氮沉降有明显的截留吸收作用。桂花树顶部叶片  $\delta^{15}\text{N}$  最偏负, 而上覆树冠层最厚的下方叶片的  $\delta^{15}\text{N}$  最偏正, 反映了树冠层在吸收大气氮沉降过程中存在选择性吸收, 引起同位素分馏, 即树冠层越厚, 穿冠水  $\delta^{15}\text{N}$  越偏正, 且分馏程度与树冠厚度成正比, 导致下方叶片  $\delta^{15}\text{N}$  最高。

**关键词:** 桂花树; 叶片  $\text{N}\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ ; 大气氮沉降; 树冠厚度

中图分类号: X517 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2012)02-0148-06

由于人为活动增加, 使得过量含氮化合物向大气系统迁移, 这是导致大气酸沉降的主要因素。大气中的氮通过干、湿沉降输入地表生态系统, 从而影响其结构、功能和演化<sup>[1]</sup>。喀斯特生态系统比较脆弱, 其自身维持和修复能力差, 对环境因素的改变极为敏感<sup>[2]</sup>。西南的四川、贵州等地, 是我国酸雨最严重的地区<sup>[3]</sup>, 亟需加强对西南喀斯特地区的酸沉降监测研究。由于长期暴露在人为污染环境下, 城市及其周边区域的生态环境比自然生态系统更为脆弱敏感, 因而大气高氮沉降的影响可能更为严重<sup>[4]</sup>。贵阳是西南喀斯特地区的代表城市之一, 研究贵阳市生态系统中氮的污染程度、时空变化规律及来源, 具有重要意义。

氮沉降的人为成因主要有化石燃料的燃烧(交通和工业活动等  $\text{NO}_x$  排放)、农业活动、废弃物和畜牧业等氨( $\text{NH}_3$ )释放<sup>[4]</sup>。由于大气氮沉降中氮的形态复杂、沉降形式多样, 要直接采样分析, 获得准确性较高的大气氮沉降数据, 往往比较困难, 目前许多地区仍然缺乏详细的大气氮沉降监测资料。

基于大气中不同氮源的同位素值存在差异, 植物叶片  $\delta^{15}\text{N}$  已被用于指示大气氮沉降的形态和来源, 也有研究借助树冠内部附生苔藓的  $\delta^{15}\text{N}$  值, 反映生态系统氮动态和指示植物生长地的大气氮输入<sup>[5]</sup>。有研究者认为植物叶片同位素组成不仅可以反映污染物的类型和迁移, 还可用于指示其生长地长期的、综合的大气环境变化状况<sup>[6]</sup>。苔藓, 因受基质干扰小, 对大气污染非常敏感, 已被公认为可靠的生态指示物<sup>[7,8]</sup>, 但大气高氮, 会对苔藓造成严重的毒害, 使其不能正常生长<sup>[9]</sup>, 监测应用很受限制, 相较之下, 本研究选取的维管束乔木类叶片, 尤其是多年生树种, 在盖度、频度、丰富度以及生物量等方面都具有优势<sup>[10]</sup>。

在前人的研究基础上, 本文以西南城市贵阳为例, 分析探讨维管束植物叶片对城市环境大气氮沉降的响应规律。本研究选取维管束植物桂花树, 是基于其在城市绿化中应用普遍, 耐适环境广, 便于不同区域进行对比分析<sup>[11]</sup>; 终年常绿, 枝繁叶茂, 样品量充足, 确保分析研究的正常进行; 桂花树叶片叶表

收稿日期: 2011-11-29; 改回日期: 2012-02-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40573006; 40721002)

第一作者简介: 王燕丽(1986-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为大气环境同位素地球化学。E-mail: wangyanlingok@163.com。

\* 通讯作者: 肖化云。E-mail: xiaohuayun@vip.skleg.cn。

光滑,容易洗去浮灰等杂质,去除干扰,再加上其叶形较大,对大气氮沉降响应的有效面积大<sup>[12]</sup>,可作长期环境因子的良好指示物,应用于评价生态系统的监测和健康评价,具有更广的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

本文以西南城市贵阳为例,研究区选在贵阳市中心中国科学院地球化学研究所园区内。贵阳市曾有过严重的酸雨污染历史,在政府的管制和污染治理之后,贵阳市降水的酸度有所缓和,但是仍有不低的酸雨出现频率<sup>[13]</sup>。近年来,有关贵州酸雨排放特征和演变规律的研究,取得了不少成果<sup>[14,15]</sup>。利用同位素地球化学研究手段,对贵阳市干湿沉降的物质来源、大气化学过程以及时间和空间上的变化规律进行了深入研究<sup>[16]</sup>,有很好的研究基础,丰富的基础数据便于后续研究的对比分析。

由于产业经济结构和城市污水处理程度有差异,不同城市地区大气氮沉降的来源和形态可能存在较大差异。本研究所选的研究区域贵阳市,城区较小,交通强度相对较低,加上部分重型污染工厂在1997年已关闭,49%居民使用天然气作为生活燃料替代燃煤,使得贵阳市大气中 $\text{NO}_x$ 含量较低,但贵阳市污水排放量和其中氨氮含量较高,且污水处理程度很低,市区主要受大气铵( $\text{NH}_y$ )输入的控制<sup>[14,17]</sup>。本课题组先前已完成贵阳市TSP、雨水等干湿沉降的监测<sup>[18]</sup>,也开展了应用石生苔藓指示贵阳市大气氮沉降的研究,取得了一些关于大气氮沉降影响植被 $\delta^{15}\text{N}$ 的证据<sup>[19,20]</sup>。

### 1.2 样品采集和处理

本研究所选桂花树,其树冠为标准的伞状,树冠层厚达1.0 m,直径约有1.9 m。采样时间为2009.03~2010.03。按照植物样品采样原则,所选样树近旁无高层建筑或其他高大树木遮蔽影响,依据不同树冠层厚度,环树干采集等距叶片混合为综合样<sup>[11,19]</sup>。按照部位不同,主要分三类样品:顶部叶片、树冠薄和树冠厚部位的叶片,见图1中分别对应编号1、2、3。

叶片样品采集后,先用稀HCl溶液(1.5 mol/L)泡洗以去除表面尘土,去离子水反复清洗,最后用Milli-Q超纯水冲洗干净,直至清洗液中检测不出无机氮( $\text{NH}_4^+$ 或 $\text{NO}_3^-$ )。将植物叶片于70℃真空干燥箱中烘至恒重,而后用液氮冷冻磨碎,过筛

(100目),保存于干净自封袋中备用待测。土壤样品,拣去树根、石粒、石灰结核等杂物后,取其中约5 g新鲜土,用于测定土壤pH值等一些基本理化性质,其余部分风干,粉碎过筛(100目)备用。

在对应桂花树底下,采集根际土,挖掘深度约20~80 cm,不剖面作混合样品;在研究开展初期(2009.03~2009.05),采集了4个土壤样品,作元素含量分析和氮同位素分析,数据显示无明显差异,故后续采样更改采样频率,在2009.09~2009.10期间采样3次,取均值作分析。

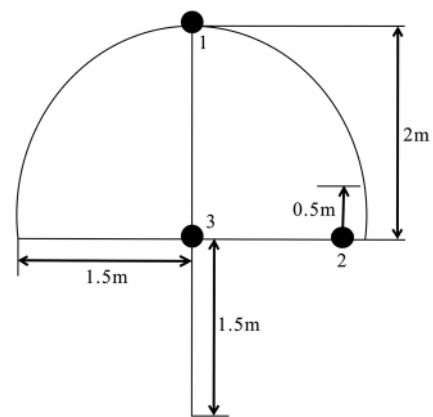


图1 桂花树叶片样品采集部位示意图

Fig. 1 Sketch map of sampling positions in *Osmanthus Fragrans*

### 1.3 元素分析和同位素测定

样品上机测定前,再70℃重新干燥后,称取约2 mg样品(叶片或土样),用全自动元素分析仪(型号PE2400 II, USA),采用标准物质胱氨酸(N%=11.7%),测定其元素含量,测量误差为±0.1%。

氮同位素值测定,叶片样品使用连续流质谱仪CF-IRMS(IsoPrime JB144)进行测定。由于土样氮含量较低,土样氮同位素值改用质谱(Finigan MAT 252)测定。 $\delta^{15}\text{N}$ 测定数据采用硝酸钾标准物质ST-N1( $\delta^{15}\text{N}=-1.89\%$ )、ST-N2( $\delta^{15}\text{N}=+21.38\%$ )进行校正,分析测试的标准偏差为±0.2%。

本研究中所有分析实验,均在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 叶片氮含量

本文研究结果显示,在2009.03~2010.03监测期间,桂花树叶片氮含量为1.33%~3.09%,平均值为2.18%。对应树底下采集的根际土壤样品,其

总氮含量(TN)为0.47%。如图2所示,不同部位的叶片N%虽然存在着差异,它们随时间的变化规律大致相近,总体表现为春、冬高,而夏、秋低,这与贵阳市雨水( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ )监测结果一致<sup>[21]</sup>。

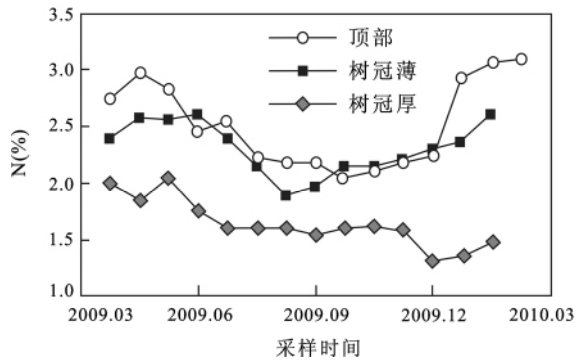


图2 叶片N%随时间的变化

Fig. 2 Temporal variation of foliar N%

叶片组织氮含量可用于评价大气氮沉降水平和空间变化的指标<sup>[22,23]</sup>。Baddeley等(1994)<sup>[24]</sup>发现大气氮供给的增加能明显使苔藓叶片组织氮含量增加,肖化云等(2010)<sup>[25]</sup>还研究得出了苔藓氮含量与大气氮沉降的定量关系( $y=0.05x+0.73$ ),维管束叶片也具有相似指示性。本研究中,同一棵桂花树下方的土壤无明显季节差异(TN为 $0.47\% \pm 0.1\%$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 为 $+2.32\% \pm 0.5\%$ )。此外,土壤受降雨、降尘等影响导致其同位素组成的变化,也可归因于大气氮引起的差异,因此,与大气中氮存在形态、沉降方式的多样性相比,土壤基质氮可作为稳定氮源考虑<sup>[5]</sup>,叶片氮含量的变化反映大气氮沉降的差异。

## 2.2 叶片氮同位素组成

桂花树叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 为 $+0.54\% \sim +3.78\%$ ,均值为 $+2.29\%$ 。对应根际土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 为 $+2.32\%$ ,与叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 的均值较为接近。将不同部位叶片分别作随时间变化的曲线,如图3所示。顶部叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 变化比较明显,呈现春、冬高的趋势;上有树冠层覆盖的叶片样品,其 $\delta^{15}\text{N}$ 波动比较平缓,但总体表现为比顶部叶片偏正。

大气中的含氮气溶胶或是 $\text{NO}_x$ 气体被雨水捕获或沉降到叶片表面,附着叶表的离子通过叶片的角质层孔道,到达表皮叶肉细胞外壁,经过外壁胞质连丝体到达表皮细胞的质膜,再被转运到叶肉细胞内部,最后达到叶脉韧皮部,进入植物体内的营养元素循环<sup>[5]</sup>。因此,在相同的土壤基质供应下,叶片表面所接受到的大气氮沉降量的多少,将直接影响到叶片N%和 $\delta^{15}\text{N}$ 。

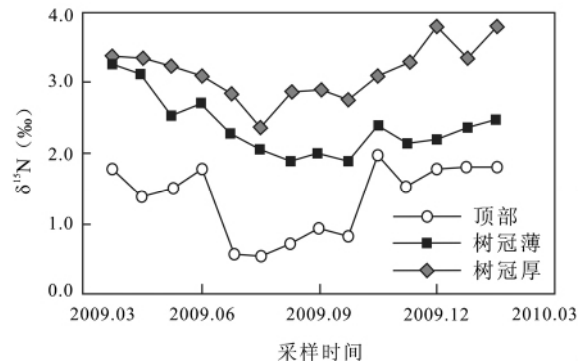


图3 叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 随时间的变化

Fig. 3 Temporal variation of foliar  $\delta^{15}\text{N}$

利用植物对大气污染的灵敏响应,判断污染物类型及污染程度,是生物监测环境污染的重要方面。很多研究人员借助对大气沉降敏感的苔藓植物,开展植物指示大气氮沉降来源等信息的研究<sup>[26]</sup>。Solga等(2005)<sup>[27]</sup>利用苔藓植物氮同位素指示了氮沉降来源的空间变化,并反映了大气沉降中铵态氮和硝态氮的比例和氮沉降输入对植物生产力的影响,此外还可通过该比例反映不同形态氮沉降对苔藓生长的贡献和论证人为因素氮源对苔藓植物氮同位素的控制。

由于土生树种生长所需的氮,既有来自于大气,也有来自于土壤,因此关于土生树木叶片对大气氮沉降的响应能力,研究相对较少<sup>[28]</sup>。已有的少量对针叶树种的研究,结果证明松针 $\delta^{15}\text{N}$ 可以示踪大气氮源<sup>[29]</sup>,已有学者研究取得了一些关于大气氮沉降影响植物氮动态的证据<sup>[30]</sup>。尽管土壤是维管束植物的重要营养库,土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 可能影响叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ <sup>[31]</sup>,但是本研究中所对比分析的是同一棵树不同树冠厚度部位叶片的N%、 $\delta^{15}\text{N}$ 差异,可以排除端元贡献率的影响。

## 2.3 不同树冠层叶片N%与 $\delta^{15}\text{N}$ 的对比

本研究中按照不同树冠层厚度,分顶部、树冠薄、树冠厚三类样品。分析结果显示,顶部叶片N%最高( $2.39 \pm 0.4\%$ ),树冠厚的部位叶片样品N%最低( $1.63 \pm 0.5\%$ ),说明顶部承接大气沉降最直接、充分;而上方所覆盖的树冠层越厚,下方的叶片样品所能接收到的大气氮沉降越少。这表明树冠层对大气氮沉降有阻滞、截留、吸附作用,故厚树冠下方叶片N%要偏低,与前人研究结果相同<sup>[5]</sup>。

如图4所示,顶端叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 最低,随着上覆树冠层厚度增加,下方叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 逐渐偏正。说明桂花树叶片吸收大气氮的过程存在 $^{15}\text{N}$ 歧视效应,即优

先吸收<sup>14</sup>N,导致树冠下方叶片接收到的穿冠水 $\delta^{15}\text{N}$ 值偏正,且随厚度增加而趋明显,反映了树冠厚度对大气氮沉降氮源同位素组成的控制作用<sup>[32,33]</sup>。

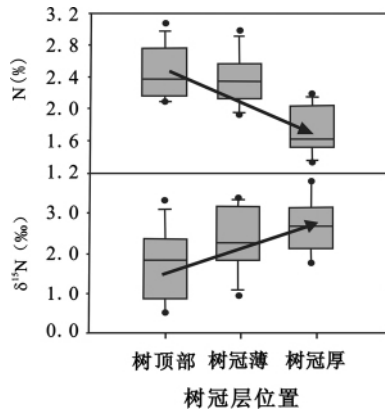


图 4 桂花树叶片 N% 与  $\delta^{15}\text{N}$  随树冠厚度的变化

Fig. 4 Variation of foliar N% and  $\delta^{15}\text{N}$  with canopy thickness

图 4 的结果显示,无树冠遮蔽的顶部叶片  $\delta^{15}\text{N}$  相对偏负,而下方叶片,随着树冠层厚度增加,叶片  $\delta^{15}\text{N}$  逐渐偏正,这一现象与前人对树冠不同部位的附生植物  $\delta^{15}\text{N}$  变化研究<sup>[16,34]</sup>,以及不同位置的穿冠水  $\delta^{15}\text{N}$  变化<sup>[33]</sup> 等所得出的结论一致。

有研究通过直接测定干湿沉降的氮同位素组成,来反映树冠吸收过程中的同位素分馏过程<sup>[35]</sup>; Lindberg 等(1986)<sup>[36]</sup>认为大气沉降中 50% 以上的氮被树冠吸收,而树冠层对大气沉降物质,如降尘、降雨和穿冠水等的吸收,会直接影响到树冠下方叶片或附生植物的氮含量及氮同位素组成。由于实验局限,本研究并未对穿冠水作直接监测,没有穿冠雨水的分析数据,参考前人的研究成果,Bergstrom 和 Tweedie(1998)<sup>[37]</sup>指出不同位置穿冠水的同位素组成差异,主要是由于树冠层吸收过程歧视<sup>15</sup>N 导致分馏而引起。也有很多研究证明叶片吸收大气氮过程中存在<sup>15</sup>N 歧视,即优先吸收<sup>14</sup>N 的同位素分馏机制,如刘学炎等(2007)<sup>[5]</sup>针对桂花树树冠下方苔藓

进行过详细分析,结论也指出树冠下方苔藓的氮同位素组成取决于树冠要素对大气氮沉降吸收过程中的分馏效应大小,而且该分馏效应受很多因素影响<sup>[35,36,38]</sup>,与树冠厚度、树种类型(针叶或阔叶,落叶或常绿,等)、叶片形态(叶片表面积大小)、叶片表面性状(有无细密绒毛、角质层)等密切相关<sup>[39]</sup>。

### 3 结 论

本研究中所选桂花树,为常绿树种,叶片表面积较大,成熟叶片有厚角质层,主要通过叶片气孔直接吸收气态氮化合物( $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}$  及  $\text{NH}_3$  等)。本文所有数据来自同一棵桂花树,撇去其他生理性状的影响,分析不同树冠层厚度的叶片  $\delta^{15}\text{N}$  差异,可以判断树冠层截留大气沉降过程中确实存在分馏。通过分析测定桂花树叶片的 N%、 $\delta^{15}\text{N}$ ,探讨大气中氮的污染程度、时空变化规律及来源,得出以下结论:

1) 常绿树种桂花树叶片 N% 的季节性变化较明显,不同部位叶片均表现为春、冬高,夏、秋低的趋势,这与已有的贵阳市雨水( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ )监测数据一致;叶片  $\delta^{15}\text{N}$  的季节性差异较小,顶部叶片有春、冬高,夏、秋低的规律。

2) 顶部的桂花树叶片具有比下方叶片更高的 N%,说明顶部叶片承接、吸收大气氮沉降最充分。

3) 桂花树冠层对大气氮沉降的吸收过程中有分馏,是造成穿冠水富<sup>15</sup>N 的原因,结果导致下方叶片  $\delta^{15}\text{N}$  偏正。

本研究证明桂花树叶片能够对大气氮沉降作出响应,研究维管束植物叶片对大气氮沉降的响应机制,是深化稳定氮同位素技术在大气氮沉降研究中的应用,可以帮助理解大气物质的输入,以及大气-植被之间的物源关系和相互作用,进一步研究大气氮沉降对西南喀斯特地区城市生态系统营养元素循环的影响,为城市生态系统的多样性保护,提供理论指导。

### 参 考 文 献

- [1] Norby R J. Nitrogen deposition; a component of global change analyses[J]. *New Phytologist*, 1998, 139(1): 189-200.
- [2] 白晓永,熊康宁,杨龙,等.喀斯特石漠化山区的水土流失及防治模式——以贵州省镇宁县为例[J]. *贵州师范大学学报:自然科学版*, 2005, 23(004): 34-38.
- [3] 黄金国,关共凑,李凡.佛山市区大气降水 pH 值的时空分布及酸雨成因研究[J]. *佛山科学技术学院学报:自然科学版*, 2003, 21(003): 54-57.
- [4] Galloway J N, Cowling E B. Reactive nitrogen and the world: 200 years of change[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2002, 31(2): 64-71.

- [5] 刘学炎, 肖化云, 刘丛强. 碳氮稳定同位素指示苔藓生境特征以及树冠对大气氮沉降的吸收[J]. 地球化学, 2007, 36(003): 286—294.
- [6] Pearson J, Wells D, Sella K, *et al.* Traffic exposure increases natural  $^{15}\text{N}$  and heavy metal concentrations in mosses[J]. *New Phytologist*, 2000, 147(2): 317—326.
- [7] Pitcairn C, Fowler D, Grace J. Deposition of fixed atmospheric nitrogen and foliar nitrogen content of bryophytes and *Calluna vulgaris* (L.) Hull[J]. *Environmental Pollution*, 1995, 88(2): 193—205.
- [8] Gerdol R, Bragazza L, Marchesini R, *et al.* Use of moss (*Tortula muralis* Hedw.) for monitoring organic and inorganic air pollution in urban and rural sites in Northern Italy[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(25): 4069—4075.
- [9] Press M, Woodin S, Lee J. The potential importance of an increased atmospheric nitrogen supply to the growth of *ombrotrophic Sphagnum* species[J]. *New Phytologist*, 1986, 45—55.
- [10] Gebauer G, Dietrich P. Nitrogen isotope ratios in different compartments of a mixed stand of spruce, larch and beech trees and of understorey vegetation including fungi[J]. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 1993, 29(1): 35—44.
- [11] 冀鸿. 植物在环境监测中的应用[J]. 山东环境, 2003, 6(118): 54—55.
- [12] Garten C. Foliar retention of  $^{15}\text{N}$  tracers: implications for net canopy exchange in low- and high-elevation forest ecosystems[J]. *Forest Ecology and Management*, 1998, 103(2—3): 211—216.
- [13] 高一, 卫滇萍. 2005 年贵州酸雨污染情况分析[J]. 地球与环境, 2005, 33(1): 59—62.
- [14] Xiao H Y, Liu C Q. Chemical characteristics of water-soluble components in TSP over Guiyang, SW China, 2003[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(37): 6297—6306.
- [15] Han G L, Liu C Q. Strontium isotope and major ion chemistry of the rainwaters from Guiyang, Guizhou Province[J]. *China*, 2006, 364(1—3): 165—174.
- [16] Liu X Y, Xiao H Y, Liu C Q, *et al.*  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of moss *Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth. for indicating growing environment variation and canopy retention on atmospheric nitrogen deposition[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, 41(23): 4897—4907.
- [17] Xiao H Y, Liu C Q. Sources of nitrogen and sulfur in wet deposition at Guiyang, southwest China[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(33): 5121—5130.
- [18] 肖红伟, 肖化云, 王燕丽. 贵阳大气降水化学特征及来源分析[J]. 中国环境科学, 2010, 012): 1590—1596.
- [19] 刘学炎, 肖化云, 刘丛强. 植物叶片氮同位素 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) 指示大气氮沉降的探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(004): 405—409.
- [20] 刘学炎, 肖化云, 刘丛强, 等. 石生苔藓氮含量和氮同位素指示贵阳地区大气氮沉降的空间变化和来源[J]. 环境科学, 2008, 29(007): 1785—1790.
- [21] 肖红伟. 贵阳市降水硫氮同位素地球化学研究 [D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所博士论文, 2011.
- [22] Pitcairn C, Fowler D, Leith I, *et al.* Bioindicators of enhanced nitrogen deposition[J]. *Environmental Pollution*, 2003, 126(3): 353—361.
- [23] Jauhainen J, Vasander H, Silvola J. Nutrient concentration in shape *Sphagna* at increased N-deposition rates and raised atmospheric  $\text{CO}_2$  concentrations[J]. *Plant Ecology*, 1998, 138(2): 149—160.
- [24] Baddeley J, Thompson D, Lee J. Regional and historical variation in the nitrogen content of *Racomitrium lanuginosum* in Britain in relation to atmospheric nitrogen deposition[J]. *Environmental Pollution*, 1994, 84(2): 189—196.
- [25] Xiao H Y, Tang C G, Xiao H W, *et al.* Mosses Indicating Atmospheric Nitrogen Deposition and Sources in the Yangtze River Drainage Basin, China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(D14): D14301.
- [26] Bragazza L, Limpens J, Gerdol R, *et al.* Nitrogen concentration and  $\delta^{15}\text{N}$  signature of *ombrotrophic Sphagnum* mosses at different N deposition levels in Europe[J]. *Global Change Biology*, 2005, 11(1): 106—114.
- [27] Solga A, Burkhardt J, Zechmeister H G, *et al.* Nitrogen content,  $^{15}\text{N}$  natural abundance and biomass of the two pleurocarpous mosses *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. in relation to atmospheric nitrogen deposition[J]. *Environmental Pollution*, 2005, 134(3): 465—473.
- [28] Gebauer G, Schulze E D. Carbon and nitrogen isotope ratios in different compartments of a healthy and a declining *Picea abies* forest in the Fichtelgebirge, NE Bavaria[J]. *Oecologia*, 1991, 87(2): 198—207.
- [29] Jung K, Gebauer G, Gehre M, *et al.* Anthropogenic impacts on natural nitrogen isotope variations in *Pinus sylvestris*

- stands in an industrially polluted area[J]. *Environmental Pollution*, 1997, 97(1-2): 175-181.
- [30] Binkley D, Högberg P. Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests[J]. *Forest Ecology and Management*, 1997, 92(1-3): 119-152.
- [31] Xiao H Y, Wu L H, Zhu R G, *et al.* Nitrogen isotope variations in camphor (*Cinnamomum Camphora*) leaves of different ages in upper and lower canopies as an indicator of atmospheric nitrogen sources[J]. *Environmental Pollution*, 2011, 159(2): 363-367.
- [32] Hietz P, Hietz-Seifert U. Structure and ecology of epiphyte communities of a cloud forest in central Veracruz, Mexico [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6(5): 719-728.
- [33] Heaton T H E, Spiro B, Robertson S M C. Potential canopy influences on the isotopic composition of nitrogen and sulphur in atmospheric deposition[J]. *Oecologia*, 1997, 109(4): 600-607.
- [34] Wania R, Hietz P, Wanek W. Natural  $^{15}\text{N}$  abundance of epiphytes depends on the position within the forest canopy: source signals and isotope fractionation[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2002, 25(4): 581-589.
- [35] Evans R D. Physiological mechanisms influencing plant nitrogen isotope composition[J]. *Trends in Plant Science*, 2001, 6(3): 121-126.
- [36] Lindberg S E, Lovett G M, Richter D, *et al.* Atmospheric deposition and canopy interactions of major ions in a forest [J]. *Science*, 1986, 231(4734): 141.
- [37] Bergstrom D, Tweedie C. A conceptual model for integrative studies of epiphytes: nitrogen utilisation, a case study[J]. *Australian Journal of Botany*, 1998, 46(2): 273-280.
- [38] Stewart G, Schmidt S, Handley L, *et al.*  $^{15}\text{N}$  natural abundance of vascular rainforest epiphytes: implications for nitrogen source and acquisition[J]. *Plant, Cell & Environment*, 1995, 18(1): 85-90.
- [39] Garten Jr C T, Hanson P J. Foliar retention of  $^{15}\text{N}$ -nitrate and  $^{15}\text{N}$ -ammonium by red maple (*Acer rubrum*) and white oak (*Quercus alba*) leaves from simulated rain[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 1990, 30(3): 333-342.

## Vascular Foliar N% and $^{15}\text{N}$ Responses to Atmospheric Nitrogen Deposition in Guiyang

WANG Yan-li<sup>1,2</sup>, XIAO Hua-yun<sup>1\*</sup>, XIAO Hong-wei<sup>1,2</sup>, ZHU Ren-guo<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** This article deals with the responses of ecological system to atmospheric nitrogen deposition. Leaves of *Osmanthus Fragrans* were collected since Mar. 2009 till Mar. 2010, in an urban area at Guiyang. We measured nitrogen content and isotopic composition of leaves with different canopy thickness, sampling positions were specifically identified. Results turned out that the temporal variation of foliar N% and  $\delta^{15}\text{N}$  showed higher levels in Spring/ Winter, lower levels in Summer/Autumn. That variation trend is consistent with the monitoring data of rainwater in Guiyang. In the case of upper and lower canopies, a decrease in N% of leaves was associated with an increase in canopy thickness, and the upper canopy has the most negative  $\delta^{15}\text{N}$ , while the lower one has more positive isotopic values. These results can be interpreted as that isotopic fractionation happened during uptake of atmospheric N by leaves. In canopy retention processes there is  $^{15}\text{N}$  discrimination, causing the isotope ratios to deviate from the atmospheric nitrogen deposition, and giving rise to the  $\delta^{15}\text{N}$  of lower canopy. This summary coupled with the results of other experiments supported the conclusion that vascular leaves can be used as a robust marker of atmospheric N sources, which can boost the prevention of eco-environmental deterioration.

**Key words:** *Osmanthus Fragrans*; foliar N% and  $\delta^{15}\text{N}$ ; atmospheric nitrogen deposition; canopy thickness