

江西鹰潭地区森林生态系统 NO₂ 浓度变化规律

樊建凌^{1,2}, 胡正义^{1*} (1.中国科学院南京土壤研究所, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 南京 210008; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用中国科学院红壤生态试验站(江西鹰潭)森林微气象分站二氧化氮(NO₂)定位连续观测数据, 分析了 2003 年 8 月~2004 年 7 月江西鹰潭森林大气 NO₂ 浓度的分布特征和动态变化。结果表明, 该森林生态系统 NO₂ 浓度时均值、日均值和月均值分别为 12.2, 12.2, 17.4 μg/m³, 其中 51.7% 的日均浓度介于 10~15 μg/m³。白天 NO₂ 浓度比夜晚低 7%, 最大峰值浓度在夜晚 21:00。秋、冬季 NO₂ 浓度高, 春、夏季低。大气 NO₂ 浓度季节变化表明该地区已受到污染, 但污染较轻, NO₂ 满足国家 I 级标准。

关键词: 森林; 二氧化氮; 动态; 野外定位观测

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2006)02-0171-05

Dynamics of atmospheric NO₂ concentration in a forest eco-system at Yingtan, Jiangxi Province. FAN Jian-ling^{1,2}, HU Zheng-yi^{1*} (1.State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *China Environmental Science*, 2006,26(2): 171~175

Abstract: The distribution pattern and dynamics of atmospheric NO₂ concentration in a forest ecosystem at Yingtan city of Jiangxi Province were analyzed with data from a one-year from August 2003 to July 2004) field automatic observation. The hourly, daily and monthly mean concentration of NO₂ were 12.2, 12.2 and 17.4 μg/m³, respectively. The 51.7% of hourly mean concentration of NO₂ ranged from 10 μg/m³ to 15 μg/m³. The mean NO₂ concentration was lower by 7% at the daytime than at the night, while the highest NO₂ concentration was observed at 21:00. NO₂ concentrations were higher in the autumn-winter seasons than in the spring-summer seasons. The high concentration of NO₂ suggested that the atmosphere was polluted in the study area, however, the present pollution class was still attributed to the national first-grade standard.

Key words: forest; NO₂; dynamics; field investigation

二氧化氮(NO₂)是大气污染物之一,以干、湿沉降的方式进入土壤-植物系统.NO₂也是臭氧的前体物质,对臭氧形成具有重要影响,空气中过量的 NO₂ 会严重影响人体健康^[1-3]。国内外对城市 NO₂ 浓度进行了许多观测研究^[4-6]。但是,直到 20 世纪 80 年代,氮氧化物作为乡村污染物的重要性才被确认^[7],而国内对非城市地区 NO₂ 的研究很少^[1,2,8,9],对森林生态系统中 NO₂ 原位动态观测研究则更少见。

本研究以中国科学院红壤生态试验站森林小气候分站为依托,对森林生态系统 NO₂ 浓度变化动态进行了观测,并分析了 NO₂ 浓度变化的规律和特征,为了解森林生态系统 NO₂ 污染状况提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验场地

实验在中国科学院红壤生态试验站(江西鹰潭)森林小气候分站进行。下垫面为落叶阔叶林(小叶栎, *Quercus Chenii*),四周较开阔,附近 5km 范围内没有大的污染源。鹰潭市燃煤火电厂位于实验地上风方向以西 10km 处,贵溪电厂位于观测地以东 30km 处。对样点监测 12 个月(2003 年 8 月~2004 年 7 月),共 145d。

收稿日期: 2005-07-13

基金项目: 国家“973”项目(G1999011805);中国科学院知识创新项目(ISSASIP0205);土壤与农业可持续发展国家重点实验室基金资助

* 责任作者, 研究员, zhyhu@issas.ac.cn

1.2 大气 NO₂ 浓度观测

采用 TH-2001 大气环境自动观测系统(武汉天虹智能仪表厂)野外定位监测大气 NO₂ 浓度,采样高度约为 4.2m,监测系统每分钟测定 1 次;用 APS-2 型自动雨水收集器(武汉天虹智能仪表厂)收集雨水,逢雨必收.

1.3 数据处理

用已测定的每分钟 NO₂ 浓度,计算每小时平均浓度(时均浓度);以 24h 内 NO₂ 时均浓度计算日均浓度;由 NO₂ 日均浓度计算其月均浓度.在 NO₂ 时均浓度的基础上,将 145d 的时均浓度按时间段进行统计,从而获得 NO₂ 浓度的日变化规律.将 145d 的时均浓度,按白天(7:00~19:00)和夜晚(0:00~7:00,19:00~24:00)进行统计,获得白天和夜晚 NO₂ 浓度均值.

1.4 NO₂ 污染状况分析

利用空气污染指数法^[10]计算了 NO₂ 的空气污染分指数.第 i 种污染物分指数 I_i 由实测浓度值 C_i 按照分段性方程计算.

当第 i 种污染物 C_i 符合 $C_{ij}<C_i<C_{i,j+1}$ 时,

$$I_i = \frac{(I_{i,j+1} - I_{i,j})}{C_{i,j+1} - C_{i,j}} \cdot C_i - C_{i,j} + I_{i,j}$$

式中: C_i 为污染物的浓度监测值; I_i 为污染物的污染分指数; I_{ij} 、 I_{ij+1} 为表 1 中污染物在 j 和 $j+1$ 转折点的污染分指数值; C_{ij} 、 $C_{i,j+1}$ 为与此对应的 NO₂ 浓度限值^[10].

表 1 空气污染指数分级浓度限值

Table 1 Air pollution index and concentration limit

污染指数	NO ₂ 浓度(mg/m ³)	污染指数	NO ₂ 浓度(mg/m ³)
0	0	300	0.565
50	0.05	400	0.75
100	0.1	500	0.94
200	0.15		

2 结果与讨论

2.1 NO₂ 浓度特征值与频率分布

由表 2 可见,该森林生态系统 NO₂ 浓度时均值、日均值和月均值分别为 12.2,12.2,17.4μg/m³.

我国西部清洁大气中 NO₂ 平均浓度为 0.1μg/m^{3[9]};龙凤山、临安和瓦里关山 3 个大气本底监测站 1994~1995 年平均浓度分别为 2.7×10⁻⁹(NO_x), 8.1×10⁻⁹(NO_x),0.04×10⁻⁹(NO₂)^[1].美国南方清洁的农村地区 NO₂ 中值浓度为 2.5μg/m^{3[11]},威尔士 NO₂ 浓度一般在 4.1~22.6μg/m³ 之间^[12].可见,本研究地区的森林生态系统的 NO₂ 浓度比国内外清洁地区高.

表 2 2003 年 8 月~2004 年 7 月 NO₂ 浓度特征值(μg/m³)

Table 2 Characteristic values of NO₂ concentrations from August 2003 to July 2004(μg/m³)

项目	时均值	日均值	月均值
最大值	145.8	54.8	44.7
最小值	1.0	2.1	7.6
平均值	12.2	12.2	17.4
标准差	10.1	7.0	10.7
变异系数(%)	82.9	57.6	61.6

由表 2 还可以看出,研究地森林生态系统 NO₂ 浓度时均浓度变异系数较大(82.9%),而日均浓度、月均浓度变异系数相对较小(57.6%~61.6%).这表明,一天当中 NO₂ 排放量或者影响 NO₂ 消长的因素变化较大.

由图 1 可见,森林生态系统中 NO₂ 日均浓度值在 0~30μg/m³ 之间出现 141 次,占全年所监测天数的 97.2%;其中,NO₂ 日均浓度值在 10~15μg/m³ 之间出现的天数最多,共出现 75d,占全年所监测天数的 51.7%;5~10μg/m³ 出现 39d,占全年所监测天数的 26.9%;NO₂ 日均值超过 50μg/m³(国家大气环境质量 I 级标准^[13])的只有 1 次.说明该森林生态系统中 NO₂ 浓度值总体较低.

2.2 NO₂ 日动态变化规律

虽然土壤-植物系统也能排放氮氧化物,但是土壤排放的 95%氮氧化物是 NO^[3].因此,大气 NO₂ 主要来源于汽车尾气和矿石燃料的燃烧^[14].在污染严重的城市中,NO₂ 浓度变化受人为活动(主要是交通运输)影响明显,NO₂ 日变化曲线常出现典型的单峰或双峰形式.白建辉等^[8]在鼎湖

山研究发现,地面 NO₂ 浓度呈单峰形式,上午 8:00 出现一天中的最大值,到中午 12:00 左右减弱到较低值;张盛华^[15]研究发现,南通市 NO_x 浓度呈双峰形式,其峰值出现在上午 8:00~10:00 和晚间 19:00~21:00,谷点出现在凌晨 4:00~5:00 和下午 13:00~16:00 之间。

(13.8μg/m³),然后又开始下降,直到凌晨 4:00~5:00 降到较低浓度.白天 NO₂ 浓度比晚上低 7% (图 3).这种 NO₂ 浓度日变化规律可能是由于城市/公路车辆和发电厂燃煤 NO₂ 排放后向非城市长距离输送、NO₂ 大气光化学反应、森林系统植物对 NO₂ 的吸收共同作用所致。

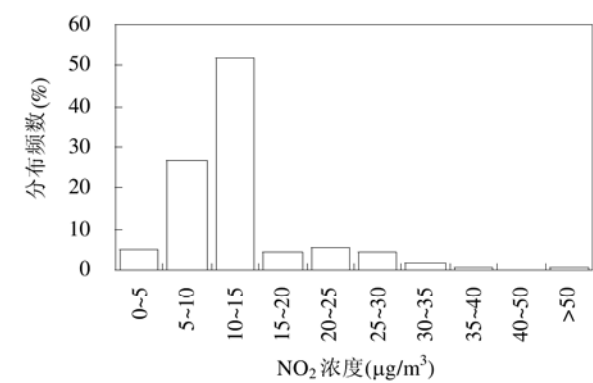


图 1 NO₂ 日均浓度频数分布

Fig.1 Frequency distribution of NO₂ diurnal average concentration

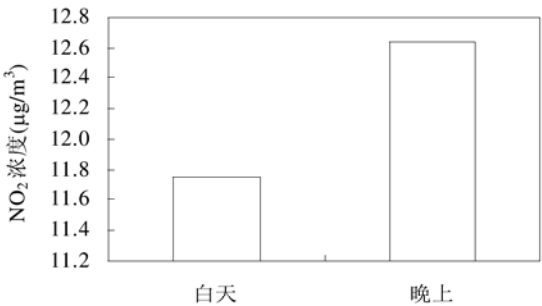


图 3 白天和夜晚 NO₂ 浓度比较

Fig.3 Comparison of NO₂ concentration between daytime and night

图 2 为 2003 年 8 月~2004 年 7 月鹰潭红壤生态试验站 NO₂ 日变化曲线。

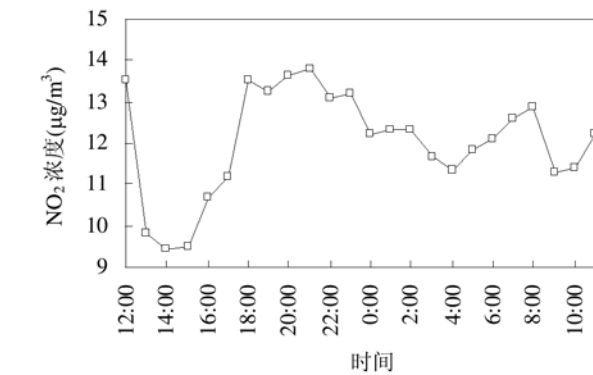


图 2 2003 年 8 月~2004 年 7 月 NO₂ 浓度日变化
Fig.2 Diurnal change of NO₂ from August 2003 to July 2004

由图 2 可见,NO₂ 浓度从早晨 4:00~5:00 开始增加,直到早晨 8:00 达到 1 个小高峰,然后开始下降,在上午 9:00~10:00 出现低值,随后又开始上升,在中午 11:00~12:00 到达白天最高值,然后又开始下降,在下午 14:00~15:00 达到白天最小值 (9.5μg/m³),接着开始上升,在夜间 21:00 达到峰值

植物能吸收污染物质,如氮化物、硫化物^[16].植物吸收氮化合物、硫化合物与光强有关,这是因为植物叶片气孔开闭受光照所控制^[17].早上太阳出来,植物叶孔张开,开始吸收 NO₂,而此时城市汽车刚开始活动,所排放 NO₂ 向非城市地区扩散需要时间,这导致非城市区 NO₂ 出现低浓度值.随着时间推移,虽然植物继续吸收 NO₂,但是从城市扩散来的 NO₂ 将逐渐增加.当植物吸收 NO₂ 速率小于 NO₂ 扩散速率时,总体表现为大气 NO₂ 逐渐增加.虽然白天汽车排放 NO₂ 浓度比夜晚多,但是森林系统所观测的大气 NO₂ 浓度晚上比白天高(图 3).NO₂ 浓度白天低,晚上高的另一个原因是白天和晚上 NO₂ 光化学反应强度差异所致.白天太阳光作用下,NO₂ 分解成 NO 和活性 O,后者继续形成 O₃^[3].晚上光照不足,限制了 NO₂ 分解.因此,在污染严重的城市中,更应该多植树种草,加强绿化,以增加植物对污染物的吸收,从而改善空气质量。

由图 2 还可见,该森林生态系统 NO₂ 浓度的高值出现在晚上,而且比城市的研究结果^[4,15]晚 1h 左右.这种差异主要是由于城市与非城市地区受 NO₂ 排放源影响程度不同所致.汽车尾气排放

的NO₂对城市和公路1km周边地区有直接影响^[18]. 本研究的实验场地属于非城市区,离公路较远(>2km),不受交通运输直接影响.研究地森林生态系统的 NO₂ 来源于污染物的远距离输送.所以,研究地区 NO₂ 浓度的高值出现的时间比城市晚.

本研究发现,NO₂ 浓度在 14:00 出现一个最小值,这种规律与城市出现时间大致相同^[4,15].下午 NO₂ 光化学反应强烈可能是导致 NO₂ 浓度较低的主要原因^[8].另外,下午气象条件有利于大气湍流运动,通常湍流活动剧烈,导致排放出的污染物很快扩散,没有形成较高的浓度^[4].

2.3 NO₂ 月动态变化规律

由图 4 可见,NO₂ 浓度存在着明显的季节变化趋势,秋、冬季浓度明显高于春、夏季.NO₂ 浓度的峰值出现在 10 月,可达 44.7μg/m³,谷点出现在 2 月,浓度为 7.6μg/m³,峰谷差幅达 37.1μg/m³. 在本研究的森林区域中,与 NO₂ 排放有关的人为活动影响较少.研究地区 NO₂ 主要来自观测点东北部鹰潭市燃煤火电厂及贵溪电厂所排放的废气.秋、冬季,由于生产、生活用电需求量增大,电厂发电量也势必加大,因此造成 NO₂ 浓度在秋、冬季出现较高值.美国科罗拉多未被污染的山区,NO₂ 浓度没有季节性的变化规律^[19].本研究地区 NO₂ 明显的季节变化,与大气受污染所表现的 NO₂ 浓度季节变化特征相吻合^[5].因此,推测本研究地区已受到污染.

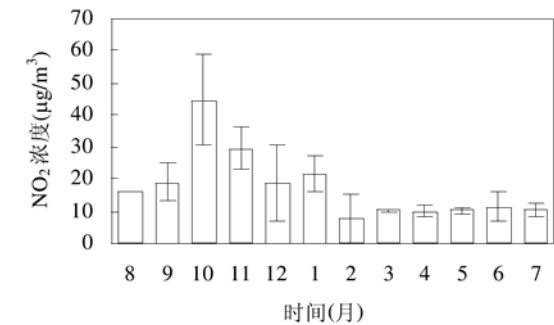


图 4 2003 年 8 月~2004 年 7 月 NO₂ 浓度月变化
Fig.4 Monthly dynamics of NO₂ from August 2003 to July 2004

各月降雨总量变化曲线.在鹰潭红壤生态试验站,春、夏季降雨量明显大于秋、冬季,而 NO₂ 浓度在秋、冬季比春、夏季高.因此,春、夏季节降雨对大气 NO₂ 洗脱作用也是导致 NO₂ 浓度较低的原因之一.煤、油燃烧的 NO₂ 排放、降雨量及植物吸收是 NO₂ 浓度月动态变化的主要决定因素.

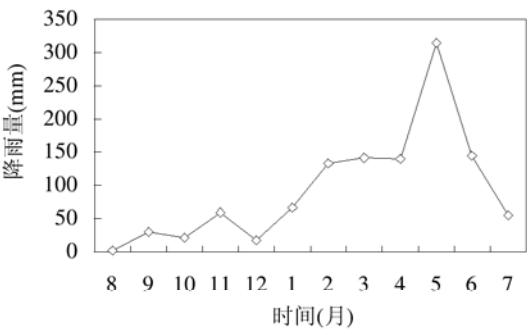


图 5 2003 年 8 月~2004 年 7 月降雨量动态变化
Fig.5 Monthly dynamics of rainfall from August 2003 to July 2004

2.4 NO₂ 污染状况分析

表 3 NO₂ 污染状况及各月最大浓度
Table 3 Monthly pollution index and the highest concentration of NO₂

时间 (年-月)	NO ₂ 月均浓度 (μg/m ³)	I _{NO₂}	级别	质量状况	NO ₂ 月最大 浓度(μg/m ³)
2003-08	16.3	16	I	优	16.3
2003-09	19.0	19	I	优	28.7
2003-10	44.7	45	I	优	54.8
2003-11	29.4	29	I	优	36.5
2003-12	18.8	19	I	优	27.7
2004-01	21.2	21	I	优	27.9
2004-02	7.6	8	I	优	27.8
2004-03	10.1	10	I	优	11.1
2004-04	9.7	10	I	优	11.5
2004-05	10.1	10	I	优	14.6
2004-06	11.4	11	I	优	27.4
2004-07	10.1	10	I	优	12.7

表 3 列出了 2003 年 8 月~2004 年 7 月,研究地森林生态系统的 NO₂ 空气污染分指数、空气质量状况等,并给出了各月 NO₂ 最大浓度值.10 月 NO₂ 浓度最大值达 54.8μg/m³,超过国家 I 级标准^[13],其余各月 NO₂ 浓度最大值都小于

图 5 为 2003 年 8 月~2004 年 7 月该监测站

$50\mu\text{g}/\text{m}^3$, 满足国家 I 级标准^[13], 空气质量均属于“优”。研究地区虽然受到污染, 但污染程度较轻。

3 结论

3.1 研究地区森林生态系统 NO_2 浓度的时均值、日均值和月均值分别为 $12.2, 12.2, 17.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。51.7% 的日均浓度介于 $10\sim 15\mu\text{g}/\text{m}^3$, 26.9% 的日均浓度介于 $5\sim 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

3.2 研究地区森林生态系统 NO_2 浓度日变化规律与城市不同。最大 NO_2 浓度出现在晚上 21:00。白天 NO_2 浓度比晚上低。

3.3 研究地区大气 NO_2 浓度有明显的季节变化。秋、冬季 NO_2 浓度高, 春、夏季低。春、夏季降水洗脱和人为活动排放 NO_2 低是导致春、夏季 NO_2 低的主要原因。

3.4 大气 NO_2 浓度季节变化反映了该地区已受到污染, 但污染程度较轻, NO_2 满足国家 I 级标准。

参考文献:

- [1] 颜 鹏, 李兴生, 罗 超, 等. 我国地面 O_3 、 NO_x 、 SO_2 背景值的观测研究 [J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 53-61.
- [2] 徐晓斌, 丁国安, 李兴生, 等. 中国东北区域本底大气中酸性气体的研究 [J]. 中国环境科学, 1997, 17(4): 345-348.
- [3] 王明星. 大气化学 [M]. 北京: 气象出版社, 1999. 1-143.
- [4] 司瑶冰, 郑有飞, 李彰俊. 呼和浩特市空气污染浓度时空分布特征分析 [J]. 内蒙古气象, 2004, (1): 14-17.
- [5] 王会祥, 唐孝炎, 王木林, 等. 长江三角洲痕量气态污染物的时空分布特征 [J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(2): 114-118.
- [6] Hickman A J, Bevan M G, Colwill D M. Atmospheric pollution from vehicle emissions: Measurements at four sites in Coventry, 1973 [R]. Crow Thorne, U K: Transport and Road Research Laboratory Report No. LR 695, 1976.
- [7] Goldsmith A. Measurements of nitrogen dioxide at rural sites using passive diffusion samplers [R]. Steven age, U K: Warren Spring Laboratory Report LR 582(AP) M, 1986.
- [8] 白建辉, 王明星, 孔国辉, 等. 鼎湖山地面臭氧、氮氧化物变化特征的分析 [J]. 环境科学学报, 1999, 19(3): 262-265.
- [9] 于晓岚, 汤 洁, 李兴生. 我国西部清洁大气中 SO_2 和 NO_2 的观测和分析 [J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 62-68.
- [10] 刘培桐. 环境学概论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [11] Fehsenfeld F, Meagher J, Cowling E. Southern oxidants study-1993 data analysis workshop report [R]. Raleigh N C: North Carolina State University, 1994.
- [12] Ashenden T W, Edge C P. Increasing concentrations of nitrogen dioxide pollution in rural Wales [J]. Environmental Pollution, 1995, 87: 11-16.
- [13] GB3095-82, 国家大气环境质量标准 [S].
- [14] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995. 15-108.
- [15] 张盛华. 南通市空气污染的变化趋势特征分析 [J]. 黑龙江环境通报, 2002, 26(4): 76-79.
- [16] Neubert A, Kley D, Wildt J, et al. Uptake of NO , NO_2 and O_3 by sunflower (*Helianthus annuus* L.) and tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.): Dependence on stomatal conductivity [J]. Atmospheric Environment Part A General Topics, 1993, 27(14): 2137-2145.
- [17] Treshow M. Air pollution and plant life [M]. New York US: John Wiley and Sons, 1984. 417-425.
- [18] Marianne Glasius, Morten Funch Carlsen, Torben Stroyer Hansen, et al. Measurements of nitrogen dioxide on Funen using diffusion tubes [J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 1177-1185.
- [19] Parrish D D, Hahn C H, Fahey D W, et al. Systematic variations in the concentration of NO_x (NO pulse NO_2) at Niwot Ridge, Colorado [J]. Journal of Geophys Research, 1990, 95: 1817-1836.

作者简介: 樊建凌(1981-), 男, 山西太原人, 中国科学院南京土壤研究所硕士研究生, 主要从事大气氮硫沉降与土壤质量演变方面的研究. 发表论文 1 篇。