浙 江 农 林 大 学 学 报，2015，**32**(2)：188 – 194
Journal of Zhejiang A & F University
doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2015.02.004

天目山地区大气酸沉降的动态特征

郑世伟[1]，江　洪[1,2]，唐敏忠[1]

（1. 浙江农林大学 国际空间生态与生态系统生态研究中心，浙江 临安 311300；2. 南京大学 国际地球系统科学研究所，江苏 南京 210093）

摘要：随着工业的快速发展，大气环境的污染情况也更加严重。针对中国的大气酸沉降日益加剧的现状，本研究着眼于工业较发达的长江三角洲地区，通过在 2012 年 8 月–2013 年 9 月期间采集天目山地区降水样品，并进行相关的数据分析，以探究大气酸沉降的现状和特征，为该地区的生态环境保护提供数据支持。结果表明：天目山地区的降水属于典型的酸性降水，其酸碱度年平均值为 pH 4.81，其变化具有明显的季节性特征：夏高冬低；水中的硫酸根/硝酸根(SO_4^{2-}/NO_3^-)离子质量浓度的比值范围为 4.13~8.89，说明该地区的酸沉降中，硫酸根(SO_4^{2-})对酸雨的酸度贡献较大。天目山大气湿沉降的电导率 C_E 值以及铵态氮(NH_4^+-N)，硝态氮(NO_3^--N)和硫酸根(SO_4^{2-})的质量浓度随时间而呈规律性变化，大体表现为：秋季或冬季最高，而夏季最低。研究期间，天目山地区的大气湿沉降的无机氮总量为 5.25 kg·hm^{-2}，降水的无机氮月平均质量浓度为 1.109 mg·L^{-1}。降水样品的硝态氮(NO_3^--N)和铵态氮(NH_4^+-N)质量浓度，硝态氮(NO_3^--N)和硫酸根(SO_4^{2-})质量浓度变化均呈线性相关关系，分别是 $y = 1.392\ 0x – 0.315\ 5$，$R^2 = 0.768\ 0$ 和 $y = 0.180\ 3x + 0.013\ 8$，$R^2 = 0.886\ 6$；地面搜集降水样品的硝酸根(NO_3^-)质量浓度和臭氧监测仪器(OMI)卫星对流层二氧化氮(NO_2)的垂直柱浓度也存在密切的相关关系，并且这种相关性呈季节性变化，表现为秋冬季正相关性，而在春夏季则为负相关性。图 4 表 1 参 19

关键词：森林生态学；环境化学；大气酸沉降；动态；天目山
中图分类号：S718.5；X131.1　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-0756(2015)02-0188-07

Research on the characteristics and dynamics of acid deposition in Mount Tianmu

ZHENG Shiwei[1]，JIANG Hong[1,2]，TANG Minzhong[1]

（1. International Research Center of Spatial Ecology and Ecosystem Ecology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China）

Abstract：With the rapid development of industry, pollution of the atmospheric environment becomes much more serious. Due to increasing atmospheric acid deposition in China, this research at the foot of Mount Tianmu, located in the more developed industrial area of delta of the Yangtze River, was conducted from August 2012 to September 2013 to collect rainfall and analyze its pH, C_E, NH_4^+-N, NO_3^--N, and SO_4^{2-} concentrations, to explore the present status and characteristics of atmospheric acid, provide data support for the protection of the ecological environment of Mount Tianmu area. Results implied that the rainfall in Tianmu district belongs to the typical acidic precipitation, the annual average of rainwater pH was 4.81, and pH of rainwater shows seasonal variation: high in summer and low in winter. The range of SO_4^{2-}/NO_3^- ions ratio in samples was 4.13–8.89, which indicating that SO_4^{2-} contributes greater to the acidity of acid rain in the region. C_E values, NH_4^+-N, NO_3^--

收稿日期：2014-03-23；修回日期：2014-05-30
基金项目：国家自然科学基金资助项目(41171324)；中科院–挪威研究理事会合作项目(RCN.proj.no.209696/E10，中科院 GBHZ1205)
作者简介：郑世伟，从事森林水文的动态研究。E-mail：zhz15890980317@163.com。通信作者：江洪，教授，博士，博士生导师，从事全球生态和遥感与空间分析等研究。E-mail：jianghong_china@hotmail.com

N and SO_4^{2-} concentration of the rainwater change regularly over time in study area, generally expressed as: their concentrations are higher in autumn or winter and lower in summer. During the study period, the amount of total inorganic nitrogen of atmospheric wet deposition in Tianmu area was 5.25 kg·hm^{-2}·a^{-1}, the average concentration of inorganic nitrogen monthly precipitation was 1.109 mg·L^{-1}. NO_3^--N and NH_4^+-N concentration in rainfall samples showed a linear relationship, as well as the concentration between NO_3^--N and SO_4^{2-}. And their correlation equations are y=1.392 0x–0.315 5, R^2 = 0.768 and y = 0.180 3x + 0.013 8, R^2 = 0.886 6; There is a close relationship between NO_3^- concentration of rainfall samples and OMI satellite troposphere concentration of NO_2 vertical column. And the correlation varies in different seasons, generally expressed as: the correlation was positive in autumn and winter, while becoming negative in spring and summer. [Ch, 4 fig. 1 tab. 19 ref.]
Key words: forest ecology; environmental chemistry; acid deposition; dynamics; Mount Tianmu

大气的酸沉降是指大气中不同来源的酸性物质沉降到森林、湖泊、地表等作用面的过程。根据沉降物的物理性质可分为干沉降(如气溶胶等)和湿沉降(如降水等过程)。大气酸沉降对森林生态系统、城市生态系统、水生生态系统等各类生态系统都能产生不同程度的危害，而且，这种危害可以随着大气环流作用可以扩散到其他国家和区域。因此，它不仅是大气的环境问题，同时也包括了全部的水域、土壤，甚至整个生物圈。关于大气酸沉降的研究最早起始于 19 世纪 40 年代英国化学家 Robert-Smith 对英格兰地区酸沉降现象的科学调查[1]。但直到 20 世纪中叶，斯堪的纳维亚半岛酸化问题给湖泊鱼类带来毁灭性的灾害，酸沉降现象才引起各国学者的普遍关注。此后的研究发现：北美西北部、中国、俄罗斯和南美等均出现了严重的酸雨[2]。20 世纪二三十年代，中国才开始对大气酸沉降开展相关的研究[3]。为进一步掌握酸雨的地区分布，国家环保部门于 1982 年在全国范围内建立了 189 个观测站、523 个降水采样点的酸雨监测网。研究监测发现，20 世纪末期酸雨已覆盖了中国大部分经济较发达地区，酸沉降地区的总面积已超过 270 万 km^2，占国土陆域面积的 30%以上[4]。全国酸雨监测网 2005–2011 年的监测数据显示，中国的酸雨发生频率及酸雨覆盖面积总体均呈降低趋势，但形势依然严峻，酸雨类型仍以硫酸型为主，硝酸盐对降水酸度的贡献逐年增加[5]。中国现已是继西欧和北美之后的世界第三大酸沉降区，并且随着工业的发展，环境恶化仍有加剧的趋势，因此寻求科学有效的污染控制对策和治理措施是当前经济可持续发展的迫切要求。位于长江三角洲的天目山地区，是中国酸雨多发区和水体严重污染区域之一，因此积极在该地区开展大气酸沉降的研究具有十分重要的实践意义和理论价值。

1　实验设计与方法

1.1　研究区概况

天目山地处浙江省西北部临安市境内。天目山由东西 2 座峰组成，东峰的大仙顶海拔为 1 480 m，西峰的仙人顶海拔 1 506 m。天目山于 1956 年被国家林业部划为森林禁伐区，作为自然保护区加以保护。天目山国家级自然保护区位于西天目山，所辖地域总面积为 4 284 hm^2，地理位置为 30°18′30″~30°24′55″ N，119°23′47″~119°28′27″ E，距离杭州 94 km。本试验研究区即在保护区内。

天目山地处亚热带地区，因受海洋暖湿气流的影响，属于亚热带季风性气候，四季分明，春秋季较短，冬夏季偏长[6]。年平均气温为 14.8~8.8 ℃，最冷月平均气温为 3.4~2.6 ℃，最热月平均气温为 28.1~19.9 ℃。雨水充沛，年雨日为 159.2~183.1 d，年降水量为 1 390~1 870 mm，积雪期较长，比区外多 10~30 d，形成浙江西北部的多雨中心。土壤类型主要为红壤、黄壤和黄红壤。植被类型主要有针叶林、毛竹 *Phyllostachys edulis* 林、常绿阔叶林、常绿落叶阔叶林和落叶阔叶林[7]，且目前正处于向针阔混交林演替的阶段。

1.2　研究方法

1.2.1　*大气降水样品的采集*　在研究区的一开阔处(无建筑物、林冠等遮挡)，安装了 1 台 ZJC 系列智能降水采样器(Ⅰ型)，自动收集降水并记录。收集到的降水样品先测定其体积，然后保存 350 mL 的样品以作分析。采样频率为 1 次·周$^{-1}$。此外，在研究区域设有 1 个小型气象自动监测站，主要测量并记录该地区的湿度、温度、风速、风向和降水量等气象因子。

1.2.2 降水样品测定 降水样品的 pH 值和电导率 C_E 用 MP522 型精密 pH/电导率仪测定。每次测定前都需要用标准溶液校正，pH 值采用“三点法”，电导率 C_E 采用“单点法”。降水样品的铵态氮质量浓度使用美国戴安 DX-1000 离子色谱仪分析测定，硝态氮和硫酸根的质量浓度使用美国戴安 DX-80 离子色谱仪分析测定。水样分析方法是将 1 个月内的水样按照体积数加权平均混合后进行测定。

1.2.3 数据来源与分析 一部分数据来自实验室对水样的分析测定，另一部分数据是基于臭氧监测仪器(OMI，ozone monitoring instrument)遥感技术获得的天目山地区 2012 年 8 月–2013 年 8 月期间天目山地区二氧化氮(NO_2)对流层柱浓度。数据的分析和处理主要利用 Excel 2007 来完成。

2 结果与分析

天目山地区属于亚热带季风性气候，受海洋暖气流的影响，因此降水较为充沛，并且季节变化明显，具体表现为夏季潮湿多雨，而冬季相对干燥少雨。大气中的氮、硫等元素多以湿沉降的形式进入到生态系统。

2.1 天目山地区降水样品的部分特征

2012 年 8 月至 2013 年 9 月，每周收集湿沉降样品，统计记录收集到的降水总体积数，并定期分析测定样品的电导率 C_E 和 pH 值等指标，然后得出降水样品的月平均变化情况，如表 1 所示。其中，样品的 pH 值变化范围较小，一直处于酸性降水水平；电导率 C_E 的值与采样器收集到样品的体积数具有一定的负相关关系，而且季节性显著，如春夏季，两者的相关系数为 0.958 8。这说明，降水的体积数对样品的离子浓度具有一定的稀释作用[8]，故电导率随季节性降水呈现出相应的季节性变化规律。

表 1 研究区降水样品的部分特征

Table 1 Partial characteristics of wet-only precipitation in the study area

降水样品	电导率 C_E /(μS·cm^{-1})	pH 值	降水体积/mL	降水样品	电导率 C_E /(μS·cm^{-1})	pH 值	降水体积/mL
2012-08	8.9	5.95	27 780	2013-04	23.0	4.53	5 700
2012-09	20.9	4.68	11 780	2013-05	21.3	4.54	10 850
2012-10	45.5	4.48	998	2013-06	51.6	5.54	36 930
2012-11	39.5	4.26	6 520	2013-07	9.4	5.47	2 530
2012-12	34.4	4.33	6 050	2013-08	9.5	5.55	6 555
2013-01	27.6	4.35	1 550	2013-09	38.0	4.48	6 345
2013-03	42.7	4.32	13 350				

2.2 天目山地区降水样品的无机氮沉降特征

关于活性氮对大气环境、全球生态系统等造成危害的报道已不胜枚举，因此开展对活性氮的重要组成成分——无机氮的动态研究，是十分必要的。本实验主要对降水样品的铵态氮(NH_4^+-N)和硝态氮(NO_3^--N)的质量浓度进行的分析测定，结果如图 1 所示。可以看到，NH_4^+-N 和 NO_3^--N 质量浓度的变化规律基本一致，均表现为 10 月达到最高，7 月最低。这主要和降水量的大小对离子的浓度具有一定的稀释效应有关[9]。此项结果与向仁军等[10]研究蔡家塘森林小流域时的大气氮湿沉降得出的结果具有一定的一致性，可见无机氮质量浓度的变化确实存在季节性的特征差异。

2.3 天目山地区降水样品的硫酸根(SO_4^{2-})沉降特征

SO_4^{2-}是大气中重要的致酸阴离子，其沉降特征如图 2 所示。结合该地区的降水量数据。可以看出：SO_4^{2-}质量浓度变化与降水量呈一定的的负相关关系，并且春夏季动态变化中表现显著，相关系数为 0.977 0；但在秋冬季的动态变化中不是很明显，这可能是因为其他因素影响的结果，如秋季焚烧作物秸秆、冬季取暖时煤炭的燃烧等排放的二氧化硫能直接影响大气中 SO_4^{2-}的质量浓度。这些将在下面再作进一步的探讨。

2.4 天目山地区降水样品硝酸根(NO_3^-)和硫酸根(SO_4^{2-})质量浓度的相关性分析

由表 1 可知：天目山地区降水的 pH 值平均值为 pH 4.81，低于酸水的临界值 pH 5.65，属于酸性沉降。研究发现 SO_4^{2-}和 NO_3^-都是大气中重要的致酸阴离子[11]，并且由于它们的前体物二氧化硫和氮氧化物在大气中经常共排放，且进入降水的途径相似而具有较高的相关性[12]，如图 3 所示。通过对天目山地

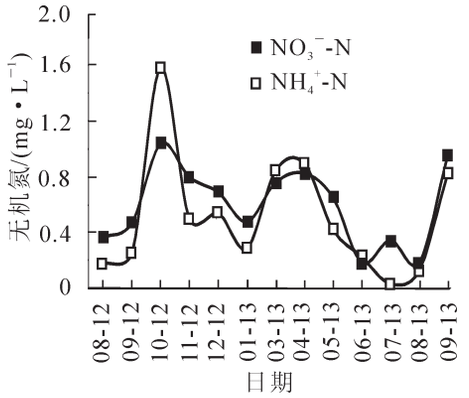

图 1　降水样品的无机氮的月变化动态

Figure 1　NH_4^+-N and NO_3^--N concentrations variation in wet-only precipitation

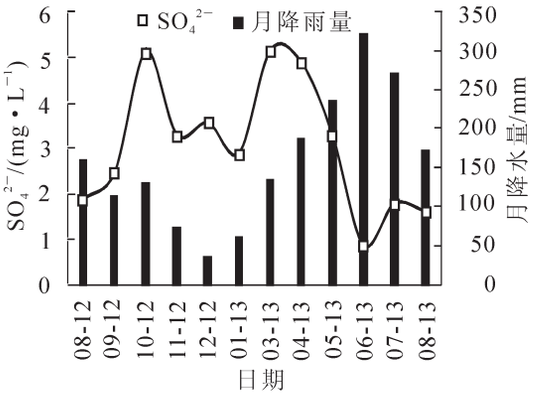

图 2　月降水量和降水中的 SO_4^{2-}的月变化动态

Figure 2　Month rainfall and SO_4^{2-} concentrations variation in wet-only precipitation

区的 2012 年 8 月至 2013 年 9 月的降水样品 NO_3^-和 SO_4^{2-}质量浓度的测定，发现 SO_4^{2-}和NO_3^-的相关系数为 0.890 0，达到较为显著的水平($P<0.05$)，这说明两者之间确有很高的相关性。

2.5　天目山地区降水样品 NO_3^-质量浓度和对流层柱 NO_2 质量浓度的相关性分析

王跃启等[13]利用 2004 年 11 月至 2008 年 1 月 OMI 卫星对流层二氧化氮的垂直柱浓度数据，对中国 8 个自然地理分区对流层二氧化氮垂直柱质量浓度的年均值、月均值的分布特征的研究表明：对流层二氧化氮质量浓度与人类的活动密切相关。大气中的二氧化氮易于水反应变成 NO_3^-，因此，有理由推测，地面降水样品的 NO_3^-质量浓度与对流层的二氧化氮质量浓度必有一定相关性。

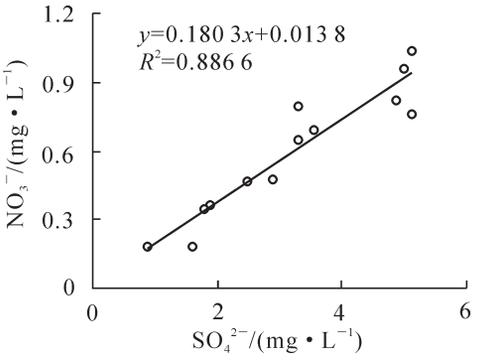

图 3　降水样品NO_3^- 质量浓度和 SO_4^{2-}质量浓度的相关性

Figure 3　Correlation between NO_3^- and SO_4^{2-} concentrations in wet-only precipitation

地面搜集到降水样品的硝态氮月平均质量浓度表明：大气的氮湿沉降在秋季最为严重，夏季最轻。OMI 二氧化氮对流层垂直柱月平均浓度随季节的变化呈现出与NO_3^-质量浓度不完全一致的变化规律，具体表现为冬季最高，春秋季次之，而夏季最低。这主要和季节性降水和氮氧化物的特性有关[14-15]。具体两者之间的相关性如图 4 所示。由图 4 可知：两者的质量浓度变化在秋冬季表现为正相关，且相关系数值较高，达 0.9 以上；而在春夏季则表现为负相关，且相关系数值较低。

3　讨论与结论

3.1　讨论

大气降水样品的 pH 值和电导率 C_E 的变化规律主要与季节性降水有关，可能是因为降水量的大小对离子的质量浓度具有一定的稀释效应[9]。

降水样品的无机氮质量浓度具体表现为秋季最高，春季次之，夏季最低，与青岛地区大气湿沉降的研究结果基本一致[9]。并且，降水的无机氮质量浓度随降水强度的增大呈降低趋势，旱季质量浓度明显大于雨季，降水对大气具有一定的清洗作用[16]。出现上述结果的原因，一方面与季节性降水有关，一方面与煤炭燃烧、化肥挥发、微生物的分解作用等有关。大气降水样品中SO_4^{2-}质量浓度主要来源于大气二氧化硫遇水和空气后发生的氧化反应，因此其质量浓度变化与降水量的大小呈较高的负相关关系[9]。

通过对天目山地区的 2012 年 8 月至 2013 年 9 月的降水样品 NO_3^-和 SO_4^{2-}质量浓度的测定，发现两者具有比较高的相关性，这主要与降水样品 NO_3^- 和 SO_4^{2-}的来源密切相关。二氧化硫和氮氧化物大多来自化石燃料等的燃烧，而闪电作用可以直接把大气的氮气也转化为氮氧化物。二氧化硫在臭氧等条件下可氧化成三氧化硫，遇水即变成 SO_4^{2-}；在大气水分充足的条件下，二氧化硫可以直接变成亚硫酸，然

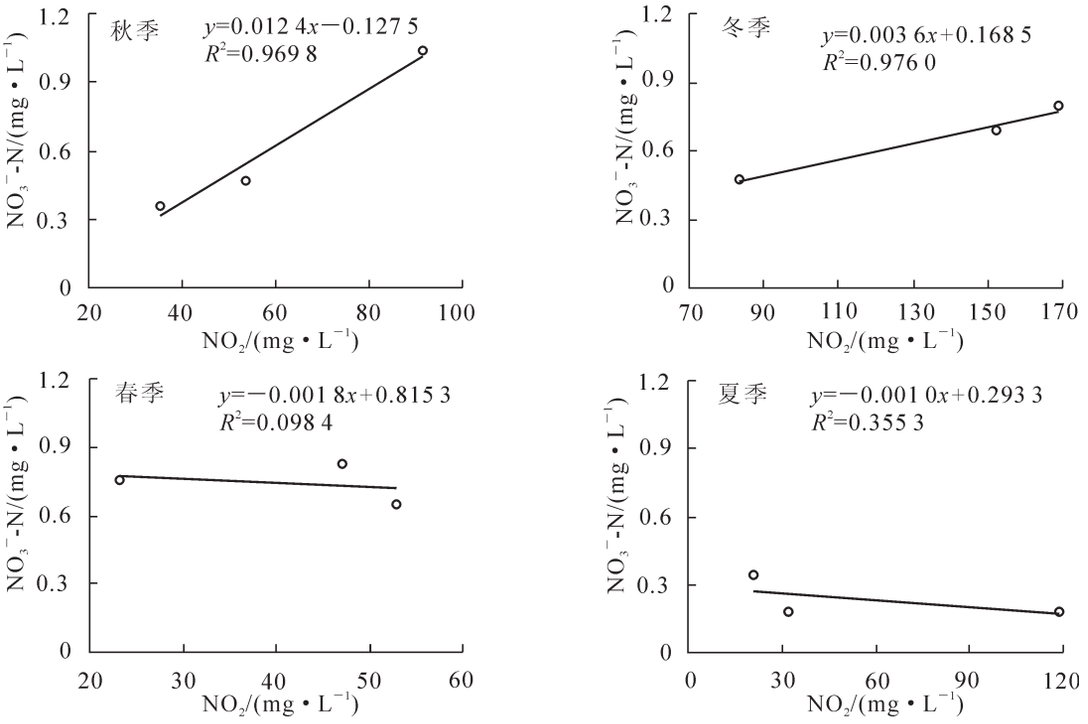

图 4 降水样品的 NO_3^-质量浓度和对流层柱二氧化氮(NO_2)质量浓度的动态相关性

Figure 4 Correlation between NO_3^- concentrations and tropospheric NO_2 column concentrations in wet-only precipitation

后经某些物质的催化作用也可变为 SO_4^{2-}。而二氧化氮可以直接与大气中的水分反应生成 NO_3^-，同时二氧化氮的存在也促进了二氧化硫向 SO_4^{2-}的转化[12]。故而两者具有很高的相关性。另外，研究发现该地区 SO_4^{2-}/ NO_3^-的比值范围为 4.13~8.89，说明天目山地区的酸沉降过程中，SO_4^{2-}对酸雨的酸度贡献较大。张新民等[17]的研究表明：中国酸雨目前还是以硫酸型为主，并且随着氮氧化物排放量的增加，正在向硫酸-硝酸混合型转变。本研究结果与其结论是完全一致的。

通过对天目山降水样品的 NO_3^-质量浓度的测定和 OMI 卫星对流层二氧化氮的垂直柱质量浓度数据的分析发现，两者质量浓度在秋冬季呈现为相关系数值较高的正相关，而在春夏季为相关系数值较低的负相关关系。这可能是因为夏季降水较多，对大气的湿清除作用较为明显，而且夏季温度较高，减少了二氧化氮在大气的存在时间[15]，同时也增加了二氧化氮在水里的溶解度，故而在夏季两者的变化呈现负相关性。冬季的气温较低而且降水稀少，二氧化氮垂直柱质量浓度较高，而冬季采暖使用煤炭燃烧排放出的二氧化氮等废弃物增多，导致降水样品的 NO_3^-质量浓度迅速升高。因此，两者在冬季的变化呈现出较高的一致性。而在秋季也出现了一致性的变化，主要是因为夏季的降水较多，通过湿清除作用把大气中的大部分杂质包括含氮化合物都沉降下来，故降水样品的 NO_3^-质量浓度较低，同时由于秋季的温度也较高，二氧化氮垂直柱质量浓度较低，故两者也表现为正相关关系[18]。

通过对 2012 年 8 月至 2013 年 9 月间天目山地区降雨水样无机氮质量浓度的测定和分析，得出无机氮月平均质量浓度为 1.109 mg·L^{-1}，结合智能降水采集器收集到的降水总体积数和采样桶的口径大小，可以估算出该地区大气湿沉降的无机氮年沉降总量约为 5.25 kg·hm^{-2}。而据报道在未受到人类活动影响前，生态系统中的氮年均沉降量约为 0.50 kg·hm^{-2}[19]，相比之下增加了十几倍。因此，虽然该地区的酸沉降中 SO_4^{2-}的贡献较大，但是该地区的较高氮沉降量也不可忽视。

3.2 结论

2012 年 8 月至 2013 年 9 月期间通过对天目山地区湿沉降水样的采集和对样品的无机氮组分(硝态氮、铵态氮)、硫酸根、电导率 C_E 值、pH 值等参数进行了测定及相关性分析，结论如下：①天目山地区的降水属于典型的酸性降水，pH 值年平均值为 pH 4.81；pH 值的变化具有明显的季节性特征，夏秋季节较高，春冬季节较低；降水中的 SO_4^{2-}/NO_3^-离子的比值范围为 4.13~8.89，说明该地区的酸沉降中，SO_4^{2-}对酸水的酸度贡献较大。②天目山大气湿沉降的电导率 C_E 值以及 NH_4^--N，NO_3^--N 和 SO_4^{2-}质量浓度

随时间而呈规律性变化，大体表现为：秋季或冬季最高，而夏季最低，主要与降水量的稀释效应有关。③研究期间，大气湿沉降的无机氮年沉降总量约为 5.25 kg·hm^{-2}，降水的无机氮月平均质量浓度为 1.109 mg·L^{-1}。因此，虽然该地区的酸沉降中 SO_4^{2-}的贡献较大，但是该地区的较高氮沉降量也不可忽视。④降水样品的 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 质量浓度，NO_3^--N 和 SO_4^{2-}质量浓度变化均呈线性相关关系，分别是 y = 1.392 0x–0.315 5，R^2 = 0.768 0 和 y = 0.180 3x + 0.013 8，R^2 = 0.886 6。⑤地面搜集降水样品的 NO_3^-质量浓度和 OMI 卫星对流层二氧化氮的垂直柱质量浓度也存在密切的相关关系，并且这种相关性有季节性变化，表现为秋冬季正相关性，而在春夏季则为负相关性。

4　参考文献

[1] 张月俄. 酸性沉降与森林土壤 美国东南部的沉降环境及研究实例[M]. 北京: 中国环境出版社, 1993.

[2] GALLAWAY J N. Acid deposition: perspective in time and space [J]. *Water Air Soil Poll*, 1995, **85**(1): 15 – 24.

[3] 于天仁. 中国土壤的酸度特点和酸化问题[J]. 土壤通报, 1988, **19**(2): 49 – 51.
YU Tianren. Features of soil acidity and acidification in China [J]. *Chin J Soil Sci*, 1988, **19**(2): 49 – 51.

[4] 丁国安, 徐晓斌, 房秀梅, 等. 中国酸雨现状及发展趋势[J]. 科学通报, 1997, **42**(2): 169 – 73.
DING Guoan, XU Xiaobin, FANG Xiumei, *et al*. The status and development trend of acid rain in China [J]. *Chin Sci Bull*, 1997, **42**(2): 169 – 73.

[5] 解淑艳, 王瑞斌, 郑皓皓. 2005–2011 年全国酸雨状况分析[J]. 环境监控与预警, 2012, **4**(5): 33 – 37.
XIE Shuyan, WANG Ruibin, ZHENG Haohao. Analysis on the acid rain from 2005 to 2011 in China [J]. *Environ Monit Forewarn*, 2012, **4**(5): 33 – 37.

[6] 王国强, 傅承新, 常杰, 等. 天目山生物学野外实习基地建设的创新与实践[J]. 高等理科教育, 2009(5): 148 – 51.
WANG Guoqiang, FU Chengxin, CHANG Jie, *et al*. Innovation and practice of biology field practice base construction in Tianmu Mount [J]. *High Edu Sci*, 2009(5): 148 – 151.

[7] 李玲, 张光富, 王锐, 等. 天目山自然保护区银杏天然种群生命表[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(1): 53 – 58.
LI Ling, ZHANG Guangfu, WANG Rui, *et al*. Life table of natural *Ginkgo biloba* population in Tianmu Mountain Nature Reserve [J]. *Chin J Ecol*, 2011, **30**(1): 53 – 58.

[8] 刘素美, 黄薇文, 张经, 等. 青岛地区大气沉降物中化学成分研究[J]. 海洋环境科学, 1993, **12**(3): 89 – 98.
LIU Sumei, HUANG Weiwen, ZHANG Jing, *et al*. Research on chemical composition of atmospheric deposition in Qingdao [J]. *Mar Environ Sci*, 1993, **12**(3): 89 – 98.

[9] 于丽敏. 青岛及中国近海大气沉降中无机氮组分的研究[D]. 青岛：中国海洋大学, 2007.
YU Limin. *Study on Atmospheric Deposition of Inorganic Nitrogen in Qingdao and over China Sea* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007.

[10] 向仁军, 柴立元, 张龚, 等. 湖南蔡家塘森林小流域氮和硫的输入输出特征[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(8): 1372 – 1377.
XIANG Renjun, CHAI Liyuan, ZHANG Gong, *et al*. Input-output dynamics of nitrogen and sulfur in Caijiatang forested catchment in Hunan Province [J]. *J Environ Sci*, 2006, **26**(8): 1372 – 1377.

[11] 胡敏, 张静, 吴志军. 北京降水化学组成特征及其对大气颗粒物的去除作用[J]. 中国科学：B 辑, 2005, **35**(2): 169 – 176.
HU Min, ZHANG Jing, WU Zhijun. The characteristics of chemical composition of precipitation in Beijing and the removal effect of atmospheric particulates [J]. *Sci China Ser B Chem*, 2005, **35**(2): 169 – 176.

[12] 滕吉艳, 史贵涛, 薛文杰, 等. 崇明东滩大气湿沉降酸性特征[J]. 环境化学, 2010, **29**(4): 649 – 653.
TENG Jiyan, SHI Guitao, XUE Wenjie, *et al*. Acidity characteristics of wet deposition in Chongming Dongtan [J]. *Environ Chem*, 2010, **29**(4): 649 – 653.

[13] 王跃启, 江洪, 张秀英, 等. 基于 OMI 卫星遥感数据的中国对流层 NO_2 时空分布[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(8): 932 – 937.
WANG Yueqi, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, *et al*. Temporal-spatial distribution of tropospheric NO_2 in China using OMI satellite remote sensing data [J]. *Res Environ Sci*, 2009, **22**(8): 932 – 937.

[14] 张敏, 朱彬, 王东东, 等. 南京北郊冬季大气 SO_2, NO_2 和 O_3 的变化特征[J]. 大气科学学报, 2010, **32**(5): 695 –

702.
ZHANG Min, ZHU Bin, WANG Dongdong, *et al*. Characteristics of SO_2, NO_2 and O_3 over north suburb of Nanjing in winter [J]. *Transac Atmos Sci*, 2010, **32**(5): 695 – 702.

[15] DAVIDSON E A, ISHIDA F Y, NEPSTAD D C. Effects of an experimental drought on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest [J]. *Global Change Biol*, 2004, **10**(5): 718 – 730.

[16] 陈能汪, 洪华生, 张珞平. 九龙江流域大气氮湿沉降研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(1): 38 – 45.
CHEN Nengwang, HONG Huasheng, ZHANG Luoping. Wet deposition of atmospheric nitrogen in Jiulong River Watershed [J]. *Environ Sci*, 2008, **29**(1): 38 – 45.

[17] 张新民, 柴发合, 王淑兰, 等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(5): 527 – 532.
ZHANG Xinmin, CHAI Fahe, WANG Shulan, *et al*. Research progress of acid precipitation in China [J]. *Res Environ Sci*, 2010, **23**(5): 527 – 532.

[18] 李令军, 王英. 基于卫星遥感与地面监测分析北京大气 NO_2 污染特征[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(12): 2762 – 2768.
LI Lingjun, WANG Ying. The characterization of NO_2 pollution in Beijing based on satellite and conventional observation data [J]. *Acta Sci Circumst*, 2011, **31**(12): 2762 – 2768.

[19] GALLOWAY J N, TOWNSEND A R, ERISMAN J W, *et al*. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions [J]. *Science*, 2008, **320**(5878): 889 – 892.

周国模教授出席利马联合国气候变化大会并作学术报告

2014 年 12 月 5 日，浙江农林大学校长周国模教授应邀出席在秘鲁首都利马举行的联合国气候变化大会，并作“农户森林经营碳汇项目方法学和碳汇计量情况”的报告，向全球学者发出中国林业碳汇交易促进农民增收的好声音，吸引了来自英国、法国、中国等 20 多个国家及联合国粮农组织、绿色气候基金等国际组织代表的共同关注。

周国模指出，林业碳汇不同于普通的林业项目，它具有特殊的规则和技术要求，既要符合国际框架规则，又要体现区域林分特点。与此同时，森林经营周期长，短期内没有收益，如何帮助农民通过可持续经营森林获得收益，巩固林改成果，也一直是森林碳汇研究者们共同关注的课题。为了解决这一问题，在中国绿色碳汇基金会等单位的组织和支持下，浙江农林大学与相关单位共同开展了“帮助林农可持续经营森林增汇、出售碳汇减排量增收”的研究，完成了“农户森林经营碳汇交易体系”。该体系参照国内外自愿碳交易规则，同时考虑农民单家独户特点，研制了《农户森林经营碳汇项目方法学》，编制了《林业碳汇项目审定核查指南》，建立了碳汇减排量注册平台和碳汇自愿交易托管平台并在浙江省临安市开展试点，成功交易了首批 42 户农民经营森林的碳汇减排量。

农户经营碳汇项目具有良好的示范效应和创新意义，又有特殊的技术管理要求。为了推进相关领域的科技进步与产业发展，浙江农林大学做出了不懈的努力，为推动地区林业碳汇项目的发展奠定了坚实基础。

周国模教授连续 5 次受邀出席联合国气候变化大会，并先后在大会上发表 5 份专题学术报告。他率领的科研团队在竹林碳汇研究方面处于国际领先水平，先后多次获得国家“973”计划、国家自然科学基金重大项目等各类基金资助，研究成果在 2012 年已获得浙江省科学技术奖一等奖。

天 衣