

江西鹰潭典型丘陵农业区氮湿沉降的动态变化^{*}

孙本华^{1,2}, 胡正义², 吕家珑¹, 周丽娜², 徐成凯²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2 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)

[摘要] 于2003-02~2004-01, 采用自动降雨收集器结合室内化学分析方法, 研究了江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N沉降的动态变化, 并与同期欧洲EMEP和美国NADP监测降水中的 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N沉降的动态变化进行了比较。结果发现, 本研究区域降水中不同月份的 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N含量及沉降量均变异较大, 各形态氮含量和沉降量的极值出现的月份基本同步, 表现为春、冬季较高, 夏、秋季较低; 研究区域 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N和无机氮的平均含量分别为0.63、0.43和1.06 mg/L, 分别是同期欧洲降水中对对应形态氮平均含量的1.5、1.1和1.3倍, 是同期美国降水中对对应形态氮平均含量的2.7、2.0和2.4倍; 低于同期欧洲降水中对对应形态氮含量的最大值, 与同期美国降水中对对应形态氮含量的最大值相当; 降水中 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N和无机氮的年沉降量分别为7.15、4.85和12.00 kg/hm², 降水中无机氮的年沉降量低于同期欧洲的最大值, 与同期美国的最大值相当, 但远高于两区域的平均值; 降水中 NH_4^+ -N沉降量占无机氮沉降量的比例为60%, 高于同期欧洲和美国的平均水平(52.2%和49.6%)。本研究结果表明, 江西鹰潭红壤丘陵农业区氮湿沉降量较大, 其对土壤、植被以及水体等的影响应引起关注。

[关键词] 江西红壤丘陵农业区; 氮湿沉降; 降水监测

[中图分类号] X592; X822

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)10-0118-05

近几十年来, 石化燃料燃烧、化肥使用及畜牧业发展等使大气的含氮化合物激增, 同时引起大气氮沉降成比例增加。湿沉降(即降水)向土壤输入氮是补偿生态系统氮素损失的重要途径之一, 北美和欧洲很早就已经开始了这方面的监测研究。美国国家大气沉降监测网络(National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network, NADP/NTN)于1978年开始监测每周降水的化学组成, 其监测点已达200多个^[1]。欧洲监测和评价项目(European Monitoring and Evaluation Programme, EMEP)建立于20世纪70年代末, 其也包括湿沉降含量及其沉降量的监测^[2]。

欧洲大气化学监测网络(European Air Chemistry Network, EACN)和EMEP的监测结果^[3]表明, 20世纪80年代欧洲污染最严重地区的降雨中, NH_4^+ -N平均含量大于0.9 mg/L, NO_3^- -N含量大于0.7 mg/L。北美和西欧非城市地区的降水分析结果^[4]显示, 19世纪中叶以来, NO_3^- 年沉降量显著

增加, NH_4^+ 沉降量则相对稳定。从全球范围估计, 湿沉降带入地球表面的氮素为0.5~1.4 Mt/年^[5]。

近几十年来, 我国南方地区进行的观测结果表明, 南方降水中的氮含量为1~2 mg/L, 由湿沉降输入的氮素为9~35 kg/(hm²·年)^[6], 部分地区甚至达57~75 kg/(hm²·年)^[7-8]。我国对湿沉降的监测研究主要集中在城市及郊区^[9-12], 对丘陵农业区氮沉降的研究报道还较少。为研究大气氮沉降对江西红壤丘陵农业区生态系统(尤其是红壤)的影响, 为进一步研究本区域生态系统中氮的生物地球化学循环奠定基础, 本研究监测了江西鹰潭丘陵农业区降水中氮沉降的动态变化, 其对本区域的氮素管理和大气污染状况的评估具有重要的现实意义。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

本研究于2003-02~2004-01在中国科学院红壤生态试验站进行。该试验站位于东经116°55′; 北纬

^{*} [收稿日期] 2006-04-25

[基金项目] 国家973项目(G1999011805); 中科院知识创新工程领域前沿项目(ISSASIP0205); 土壤与农业可持续发展国家重点实验室和教育部留学回国基金联合资助项目

[作者简介] 孙本华(1972-), 男, 江苏金湖人, 在读博士, 主要从事土壤和环境化学研究。

[通讯作者] 胡正义(1963-), 男, 安徽贵池人, 研究员, 博士生导师, 主要从事大气氮硫沉降和土壤质量演变研究。

E-mail: zhyhu@issas.ac.cn

28 15', 属江西省鹰潭市余江县。因地处我国中亚热带地区, 气候温热多雨, 年平均温度 17.6℃, > 10℃ 积温 5 527.6℃, 年降水量 1 794.7 mm, 年蒸发量 1 318 mm, 年干燥度 < 1; 降水季节分布不均, 干湿季节变化较为明显。地质地形为第 4 纪红土低丘, 海拔为 35~ 60 m, 起伏和缓, 相对高差 15~ 20 m, 坡度不大, 多在 3°~ 7°。

1.2 试剂与仪器

百里酚(2-异丙基-5-甲基酚)、苯酚、硝普钠、氢氧化钠、次氯酸钠等均为分析纯。752 紫外光栅分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司生产; A SP-2 型自动降雨收集器, 武汉天虹智能仪表厂生产。

1.3 试验方法

用自动降雨收集器收集降水, 收集的降水样品加防腐剂后置于 4℃ 冰箱中保存。用分析纯百里酚(2-异丙基-5-甲基酚)作为防腐剂, 按 400 mg 百里酚和 1 000 mL 样品的比率投加。将每个月的降水样品混合取 1 个混合样带回实验室, 用 0.45 μm 的有机微孔滤膜过滤, 然后测定降水中的 NH₄⁺ - N 和 NO₃⁻ - N 含量, 并根据降雨量计算降水的 N 沉降量。

1.4 测定项目

NH₄⁺ - N 含量的测定采用靛酚兰比色法; NO₃⁻ - N 含量的测定采用双波长法^[13]; 无机氮含量= NH₄⁺ - N 含量+ NO₃⁻ - N 含量。

2 结果与讨论

2.1 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态 N 含量的动态变化

由表 1 可见, 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 NH₄⁺ - N、NO₃⁻ - N 和无机氮含量月均值的差异较大。12 个月中, NH₄⁺ - N 含量为 0.02~ 1.88 mg/L, 平均值为 0.63 mg/L, NH₄⁺ - N 含量最低的月份为 10 月, 最高的月份为 11 月; NO₃⁻ - N 含量为 0.01~ 1.99 mg/L, 平均值为 0.43 mg/L, NO₃⁻ - N 含量最低的月份为 9 和 10 月, 最高的月份为 11 月; 无机氮含量为 0.03~ 3.87 mg/L, 平均值为 1.06 mg/L, 其含量最高和最低的月份与 NH₄⁺ - N 相同。由此可知, NH₄⁺ - N、NO₃⁻ - N 和无机氮含量极值出现的时间基本同步, 均为冬、春季较高, 夏、秋季较低。

表 1 2003-02~ 2004-01 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态 N 含量的动态变化
Table 1 Variation of N concentration of precipitation from Feb. 2003 to Jan. 2004

时间 Time	降雨量/mm Rainfall	铵态氮/(mg·L ⁻¹) NH ₄ ⁺ - N	硝态氮/(mg·L ⁻¹) NO ₃ ⁻ - N	无机氮/(mg·L ⁻¹) Inorganic N	NH ₄ ⁺ - N/NO ₃ ⁻ - N
2003-02	130.5	0.58	0.09	0.67	6.4
2003-03	138.9	0.82	0.43	1.25	1.9
2003-04	262.4	0.86	0.28	1.14	3.1
2003-05	275.4	0.34	0.02	0.36	17.0
2003-06	84.9	0.22	0.77	0.99	0.3
2003-07	20.8	0.07	0.22	0.29	0.3
2003-08	21.3	0.55	0.04	0.59	13.8
2003-09	24.0	0.45	0.01	0.46	45.0
2003-10	22.3	0.02	0.01	0.03	2.0
2003-11	65.7	1.88	1.99	3.87	0.9
2003-12	17.3	1.43	1.59	3.02	0.9
2004-01	66.6	0.22	1.58	1.80	0.1
平均值 Average	94.2	0.63	0.43	1.06	1.5
标准差 SD	91.9	0.56	0.72	1.17	13.0

注: NH₄⁺ - N、NO₃⁻ - N 和无机氮的平均值为加权平均值。下表同。
Note: The averages of NH₄⁺ - N, NO₃⁻ - N and inorganic N are weighted averages. The following tables are same.

同期欧洲(90 个点)和美国(254 个点)降水中的 NH₄⁺ - N、NO₃⁻ - N 及无机氮含量见表 2。从表 2 中可以看出, 不同区域降水中各形态氮的含量存在较大差异。欧洲 90 个监测点降水中的 NH₄⁺ - N 含量为 0.05~ 0.92 mg/L, 平均值为 0.42 mg/L; NO₃⁻ - N

含量为 0.07~ 1.04 mg/L, 平均值为 0.38 mg/L; 无机氮含量为 0.15~ 1.68 mg/L, 平均值为 0.80 mg/L。美国 254 个监测点降水中的 NH₄⁺ - N 含量为 0.01~ 0.77 mg/L, 平均值为 0.23 mg/L; NO₃⁻ - N 含量为 0.02~ 0.43 mg/L, 平均值为 0.21 mg/L; 无

机氮含量为 0.03~1.12 mg/L, 平均值为 0.44 mg/L。由此可知, 美国降水中的氮含量低于欧洲。

表2 2003 年欧洲和美国降水中不同形态氮的含量

区域/国家 Area/country	项目 Item	N 含量/(mg·L ⁻¹) Concentration			NH ₄ ⁺ -N/ NO ₃ ⁻ -N	数据来源 Resources
		铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	无机氮 Inorganic N		
欧洲 (90 个点) Europe (90 sites)	最大值 Max	0.92	1.04	1.68	3.7	EMEP ^[14]
	最小值 Min	0.05	0.07	0.15	0.3	
	中值 Median	0.45	0.36	0.80	1.2	
	平均值 Average	0.42	0.38	0.80	1.2	
	标准差 SD	0.21	0.18	0.37	0.5	
美国 (254 个点) U.S.A (254 sites)	最大值 Max	0.77	0.43	1.12	3.1	NADP ^[15]
	最小值 Min	0.01	0.02	0.03	0.4	
	中值 Median	0.20	0.21	0.40	1.0	
	平均值 Average	0.23	0.21	0.44	1.1	
	标准差 SD	0.15	0.09	0.22	0.5	

本试验中, 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和无机氮的平均含量分别为 0.63、0.43 和 1.06 mg/L, 分别是欧洲降水中对形态氮平均含量的 1.5、1.1 和 1.3 倍, 是美国降水中对形态氮平均含量的 2.7、2.0 和 2.4 倍。低于欧洲降水中对形态氮含量的最大值, 分别为欧洲最大值的 0.7、0.4 和 0.6 倍; 与美国降水中对形态氮含量的最大值相当, 分别为美国最大值的 0.8、1.0 和 0.9 倍。

由表1 还可知, NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 含量比值 (0.1~45.0) 的月差异也较大, 平均为 1.5。从 1 年总的平均比值来看, 其中 2~5 月和 8~10 月 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 含量的比值较大, 均大于 1.0, 而其余的月份 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 含量的比值较小。这可能与当地的施肥时间有关, 当地主要在春季和秋季施用肥料, 由于施肥时向空气中挥发的铵态氮较高, 从而造成降水中铵态氮含量较多, NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 含量的比值较大。由表2 可知, 欧洲和美国降水中 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 含量的比值较小, 欧洲平均为

1.2, 美国平均为 1.1。由此可知, 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 含量的比值略大于同期的欧洲和美国。

2.2 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态氮沉降量的月动态变化

2003-02~2004-01 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态氮沉降量的月动态变化见表3。由表3 可见, 不同月份 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和无机氮沉降量也存在较大的差异。在 12 个月中, NH₄⁺-N 沉降量为 0.004~2.26 kg/hm², 平均值为 0.60 kg/hm², 沉降量最小的月份为 10 月, 最大的月份为 4 月; NO₃⁻-N 沉降量为 0.002~1.3 kg/hm², 平均值为 0.40 kg/hm², 沉降量最小的月份为 9 和 10 月, 最大的月份为 11 月; 无机氮沉降量为 0.006~2.99 kg/hm², 平均值为 1.00 kg/hm², 无机氮沉降量最小的月份为 10 月, 最大的月份为 4 月。在各月不同形态氮沉降量的变化中, 有两个高峰分别在 4 月和 11 月, 这可能与农作物的施肥时期有关。

表3 2003-02~2004-01 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态氮沉降量的月动态变化

Table 3 Monthly variation of rainwater N deposition from Feb. 2003 to Jan. 2004							kg/hm ²
时间 Time	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	无机氮 Inorganic N	时间 Time	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	无机氮 Inorganic N
2003-02	0.76	0.12	0.88	2003-10	0.004	0.002	0.006
2003-03	1.14	0.60	1.74	2003-11	1.24	1.31	2.55
2003-04	2.26	0.73	2.99	2003-12	0.25	0.28	0.53
2003-05	0.94	0.06	1.00	2004-01	0.15	1.05	1.20
2003-06	0.19	0.65	0.84	合计 Total	7.15	4.85	12.038
2003-07	0.01	0.05	0.06	平均值 Average	0.60	0.40	1.00
2003-08	0.12	0.01	0.13	标准差 SD	0.69	0.45	0.98
2003-09	0.112	0.002	0.112				

由表3 还可以看出, 7~ 10 月江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态氮的沉降量均比较低, 这可能是因为前面2~ 6 月的降水量较大, 降水的冲刷作用较强, 空气中的活性氮残留较少所致。

由表 4 可见, 不同区域各形态氮的沉降量存在较大差异。欧洲90 个监测点的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 年沉降量为 $0.37 \sim 9.49 \text{ kg/hm}^2$, 平均为 2.80 kg/hm^2 ; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 年沉降量为 $0.56 \sim 11.15 \text{ kg/hm}^2$, 平均为 2.42

kg/hm^2 ; 无机氮年沉降量为 $0.96 \sim 20.64 \text{ kg/hm}^2$, 平均为 5.22 kg/hm^2 [14]。美国254 个监测点的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 年沉降量为 $0.04 \sim 5.18 \text{ kg/hm}^2$, 平均为 1.86 kg/hm^2 ; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 年沉降量为 $0.09 \sim 6.58 \text{ kg/hm}^2$, 平均为 1.92 kg/hm^2 ; 无机氮年沉降量为 $0.10 \sim 11.4 \text{ kg/hm}^2$, 平均为 3.8 kg/hm^2 [15]。由此可见, 美国降水中不同形态氮的年沉降量低于欧洲。

表4 2003 年欧洲和美国降水中不同形态氮的沉降量
Table 4 N deposition of precipitation in Europe and U SA in 2003

区域/国家 A rea/country	项目 Item	N 沉降量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{年}^{-1}$) N deposition			铵态氮/无机氮 $\text{NH}_4^+ - \text{N} / \text{Inorganic N}$	数据来源 Resources
		铵态氮 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$	硝态氮 $\text{NO}_3^- - \text{N}$	无机氮 Inorganic N		
欧洲 (90 个点) Europe (90 sites)	最大值 M ax	9.49	11.15	20.64	78.9	EM EP [14]
	最小值 M in	0.37	0.56	0.96	25.2	
	中值 M edian	2.85	2.25	5.22	54.1	
	平均值 A verage	2.80	2.42	5.22	52.2	
	标准差 S D	1.66	1.43	2.94	9.8	
美国 (254 个点) U SA (254 sites)	最大值 M ax	5.18	6.58	11.4	75.5	NADP [15]
	最小值 M in	0.04	0.09	0.1	28.6	
	中值 M edian	1.81	1.87	3.6	49.3	
	平均值 A verage	1.86	1.92	3.8	49.6	
	标准差 S D	1.14	1.22	2.2	9.6	

由表3 和4 可见, 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮的年沉降量分别为 $7.15, 4.85$ 和 12.00 kg/hm^2 , 与欧洲 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮的年沉降量相比, 低于其最大值, 但远高于其平均值, 分别是其平均值的2.5, 2.0 和2.3 倍。与美国 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮的年沉降量相比, 与其最大值相当, 同样远高于其平均值, 分别是其平均值的3.8, 2.5 和3.2 倍。江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的年沉降量分别占无机氮年沉降量的60%和40%。这与朱兆良等 [6] 的研究结果基本一致。在欧洲的90 个监测点中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 年沉降量占无机氮年沉降量的比例为25.5%~ 78.9%, 平均52.2% [14]; 美国 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 年沉降量占无机氮年沉降量的比例为28.6%~ 75.5%, 平均49.6% [15]。由此可知, 江西鹰潭丘陵农业区降水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 年沉降量占无机氮年沉降量比例高于同期欧洲和美国的平均水平。

2.3 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态氮沉降量的季节性变化

图1 显示了1 年春(2~ 4 月)、夏(5~ 7 月)、秋(8~ 10)、冬(11 月~ 次年1 月)4 季降水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮沉降量的季节性变化。

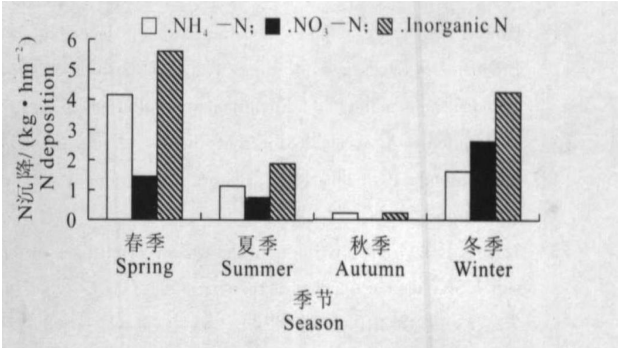


图1 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮湿沉降量的季节性变化
Fig. 1 Seasonal dynamic changes of wet $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and inorganic N deposition

由图 1 可见, 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中不同形态氮的沉降量存在较大的季节差别。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和无机氮的沉降量均表现为春季> 冬季> 夏季> 秋季, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的沉降量则表现为冬季> 春季> 夏季> 秋季。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮的沉降量均表现为春、冬季较高, 夏、秋季较低。从表1 可以看出, 降水量表现为春季> 夏季> 冬季> 秋季。由此可知, 不同形态氮的沉降量与降水量的季节分布并不完全一致。对于 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 而言, 可能是冬季用于取暖的化石燃料使用量增加, 释放的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$

量升高, 从而造成冬季的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 沉降量最大。冬季 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 沉降量大于夏季, 可能是因为春季降水最多, 其冲刷作用较强, 到夏季时尽管降水量仍然较大, 但空气中的活性氮残留量较小, 造成 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量下降, 所以夏季 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 沉降量较小; 秋季降水量较低, 其冲刷作用较弱, 空气中的活性氮可能又有较多的累积, 到冬季时降水量增加, 则有较多的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 随降水沉降下来。

3 小 结

本研究发现, 与 1992~1993 年江西省降水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮的平均含量和沉降量^[9]相比, 2003-02~2004-01 江西鹰潭红壤丘陵农业区降水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均含量略有下降, 而 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和无机氮平均含量则有明显增加趋势。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 沉降量下降较多, 而 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 沉降量略有增加, 无机氮沉降量略有下降; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 年沉降量占无机氮年沉降量的比例(60%)与 1992~1993 年江西的平均值(72.3%)^[9]相比亦有所下降。表明近

10 年来, 氮氧化物的沉降量在逐渐增加, 这与工业和经济发展过程中石油产品等化石燃料消耗的增加有关, 而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 沉降量下降较多则可能是农业生产中挥发态氮肥使用比例下降所致。

据茅昂江等^[16]对本试验区域所在地——江西余江县低丘红壤上施肥投入氮素总量的调查可知, 水田平均为 241.77 kg/(hm²·年), 旱地平均为 122.96 kg/(hm²·年)。本试验降水中的无机氮沉降量为 12.00 kg/(hm²·年), 相当于水田肥料氮投入的 5.0%, 相当于旱地肥料氮投入的 9.8%。可见, 湿沉降输入的无机氮素占施肥投入的比重相当大, 由于降水中的无机氮的沉降均为速效态氮, 很容易为作物所利用, 故在施肥尤其是对作物进行推荐施肥时, 应当考虑由于降水而带来的氮素输入。

本试验仅仅测定和计算了降水中的无机氮的含量和沉降量, 并未考虑其中有机态氮的量, 如果考虑有机态氮的量, 湿沉降氮输入土壤的比例可能更大, 这部分工作有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] Lamb D, Bowersox V. The national atmospheric deposition program: an overview [J]. Atmospheric Environment, 2000, 34: 1661-1663
- [2] Erisman J W, Hensen A, Mosquera J, et al. Deposition monitoring networks: what monitoring is required to give reasonable estimates of ammonia/ammonium? [J]. Environmental Pollution, 2005, 135: 419-431
- [3] Skeffington R A. Accelerated nitrogen inputs- A new problem or a new perspective? [J]. Plant and Soil, 1990, 128: 1-11
- [4] Brimblecombe P, Stedman D H. Historical evidence for a dramatic increase in the nitrate component of acid rain [J]. Nature, 1982, 298: 460-462
- [5] Haynes R J. Origin, distribution, and cycling of nitrogen in terrestrial ecosystems [M] // Haynes R J. Mineral nitrogen in plant soil system. USA: Academic Press Inc, 1986: 1-51
- [6] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 296-298
- [7] 马雪华. 在杉木林和马尾松林中雨水的养分淋溶作用 [J]. 生态学报, 1989, 9(1): 15-20
- [8] 王瑞斌, 程春明, 程子峰, 等. 我国南北方降水化学组成某些特征的研究 [M] // 中国环境科学学会. 酸雨文集. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 227-239
- [9] 王文兴, 丁国安. 中国降水酸度和离子浓度的时空分布 [J]. 环境科学研究, 1997, 10(2): 1-7
- [10] 齐立文, 王文兴. 我国低纬度、亚热带地区的降水化学及其雨水酸化趋势分析 [J]. 环境科学研究, 1995, 8(1): 12-20
- [11] 齐立文, 王文兴. 我国南方酸雨的主要特征 [M] // 陈志远. 中国酸雨研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1997: 11-23
- [12] 张 欣. 东亚酸沉降中国网湿沉降分析研究 [J]. 中国环境监测, 2001, 17(3): 15-18
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [14] EM EP acidifying/eutrophying compounds [EB/OL]. [2006-03-22]. <http://www.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html>
- [15] Annual data for custom site list [EB/OL]. [2006-03-26]. <http://nadp.sws.uiuc.edu/nadpdata/annualReq.asp?site=Custom156>
- [16] 茅昂江, 王明珠. 余江县低丘红壤耕地的养分平衡状况与对策 [J]. 土壤, 1996(6): 298-303

(下转第 127 页)

- [8] 柳碧晗, 郭继勋 吉林省西部草地生态系统服务价值评估[J]. 中国草地, 2005(1): 12-16
- [9] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004(4): 480-491
- [10] 中国生物多样性研究报告编写组 中国生物多样性国情研究报告[R]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [11] 罗江滨 森林资源资产化管理改革理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 248-250
- [12] 李忠魁, 杨进怀, 宋如华, 等 北京山区水利富民工程的环境价值评估[J]. 水土保持学报, 2004(5): 163-167
- [13] 天津市统计局 天津统计年鉴2005[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005

Ecological value evaluation of forest resources of Tianjin

CHEN Jiàng-sheng¹, WANG Bìn², WANG Cǎi-róng¹, CAI Dǎ-hào¹

(1 College of Resources Environment, Northw est A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Tianjin Environmental Monitoring Center, Tianjin 300191, China)

Abstract: Based on the comprehension of value evaluation of forest resources, this paper presents a primary study of the ecological value of forest resources in Tianjin city. Results show the total ecological value of forest services is about 3.34×10^8 RMB/a, 2.01 times bigger than direct economic value the forest resources in 2004, but disequilibrium exists among sections

Key words: forest resource; value of ecological service; Tianjin city

(上接第122页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)10-0118-CA

Dynamic changes of wet nitrogen deposition in a typical hilly agricultural area in Yingtan, Jiangxi

SUN Ben-hua^{1,2}, HU Zheng-yi², LÜ Jiǎ-long¹, ZHOU Lǐ-na², XU Cheng-kǎi²

(1 College of Resources and Environment, Northw est A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 The State Key Laboratory of Soil and Agriculture Sustainable Development, Nanjing Institute of Soil Science,

Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: The dynamic changes of nitrogen deposition of precipitation was monitored at the typical hilly area of red soil in Yingtan, Jiangxi by automatic precipitation collector combined with lab analysis from Feb. 2003 to Jan. 2004, and the results were compared with data from EMEP and NADP at the same period. The results showed that the variation of the monthly average concentration and monthly deposition amounts of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and inorganic N were much greater. The extremes of them appeared almost synchronally, and behaved much higher in spring and winter than in summer and autumn. The annual average concentrations of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and inorganic N were 0.63, 0.43 and 1.06 mg/L respectively, which were 1.5, 1.1 and 1.3 times the averages of Europe, but lower than the maxima of Europe correspondingly, and were 2.7, 2.0 and 2.4 times the averages of USA, but almost equal to the maxima of USA correspondingly. The deposition amounts of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and total mineral nitrogen were 7.15, 4.85 and 12.00 kg/hm² respectively. The total annual N deposition in precipitation was lower than the maximum in Europe, and almost equal to the maximum in USA, but much higher than the averages of these two areas. The contribution of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ was 60% in total inorganic N deposition, which was a little higher than the averages of Europe and USA (52% and 49.6%). The N deposition was comparatively high in this area, and its effects on soil, vegetation and water should be concerned.

Key words: agricultural area at the typical hilly of red soil in Jiangxi; wet nitrogen deposition; precipitation monitoring