

重庆典型地区大气湿沉降氮的时空变化

袁 玲, 周鑫斌, 辜夕容, 黄建国*

(西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要: 试验连续 3a 采集雨样研究了重庆市郊区和林区大气湿沉降氮的时空变化。结果表明, 重庆市近郊区、远郊区和林区 3 个采样点雨水总氮浓度范围为 $(3.94 \pm 0.50) \sim (4.56 \pm 1.01) \text{ mg L}^{-1}$, 平均 $(4.27 \pm 0.73) \text{ mg L}^{-1}$ 。 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 DON 占 TN 百分比例分别为 44.9%、27.4% 和 27.5%。降雨中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 对氮沉降量的贡献率最大。在时间尺度上, 不同季节降雨中氮浓度呈现明显的季节性差异, 以冬季最高, 依次是夏季、春季和秋季。在空间分布上, 近郊区、远郊区和林区的 TN 平均浓度分别为 4.56 mg L^{-1} 、 4.32 mg L^{-1} 和 3.94 mg L^{-1} , 从近郊区到林区有逐渐降低的趋势。降雨中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、DON 和 TN 浓度与降雨量无显著相关性。但是, 降雨量与氮沉降量呈显著正相关。大气氮湿沉降时空差异与降雨量和氮排放直接相关。重庆市随降雨到达地面的氮沉降量较高, 远远超过了水体负荷的临界值, 可能对三峡库区的水资源产生不利影响。

关键词: 重庆; 降雨; 氮; 大气湿沉降

文章编号: 1000-0933(2009)11-6095-07 中图分类号: Q143 文献标识码: A

variation in wet deposition of nitrogen from atmosphere in typical areas of Chongqing

YUAN Ling, ZHOU Xin-Bin, GU Xi-Rong, HUANG Jian-Guo*

College of Resource and Environment, Southwest China University, Chongqing 400716, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6095 ~ 6101.

Abstract: The present experiment was carried out to investigate spatio-temporal changes in wet deposition of nitrogen from atmosphere in Chongqing area. Rainfall in successive three years was collected from three test sites, including a forestry site and two urban sites near and far from city, and analyzed for variable nitrogen concentrations. Total nitrogen (TN) in rainfall ranged from $(3.94 \pm 0.50) \text{ mg L}^{-1}$ to $(4.56 \pm 1.01) \text{ mg L}^{-1}$, averaged $(4.27 \pm 0.73) \text{ mg L}^{-1}$. $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ accounted for 44.9%, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ for 27.4% and DON (dissolved organic nitrogen) for 27.5% of TN in rainfall, respectively, indicating largest contribution of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ to wet deposition of nitrogen from atmosphere. The concentrations of nitrogen in rainfall varied seasonally, i. e. winter > summer > spring and autumn. Nitrogen deposition in rainfall tended to decrease from the urban area near the city to forestry site far from city. TN concentrations in rainfall were 4.56 mg L^{-1} (urban area near the city), 4.32 mg L^{-1} (urban area far from city) and 3.94 mg L^{-1} (forestry area), respectively. Even though there were no correlations between nitrogen concentrations ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、DON and TN) in rainfall and the amount of precipitation, wet deposition of nitrogen from atmosphere were positively correlated to the amount of rainfall. The amount of nitrogen deposition from rainfall in Chongqing, which was higher than critical index of nitrogen load in water and probably harmful to water resources in Three Gorge's Area, varied spatio-temporally due to ground nitrogen emission and the amount of rainfall.

Key Words: Chongqing; rainfall; nitrogen and atmospheric wet deposition

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题资助项目(2006BAD03A13)

收稿日期: 2008-07-29; 修订日期: 2009-06-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huang99@swu.edu.cn; jianguoh@hotmail.com

大气氮湿沉降对于生态系统十分重要,较高的输入量对农业生态系统是有益的,但不益于水体生态系统^[1~3]。研究表明,雨水中的氮浓度过高可能是地表水富营养化重要原因之一^[2,4,5]。降雨中的氮主要是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和有机氮^[6]。其中,大气中的 NH_3 主要来源于人畜排泄物和氮肥的挥发,微生物对动植物残体和土壤有机物的分解,以及石化燃料的燃烧等^[7,8]; NO_3^- 主要来自于闪电,土壤微生物的反硝化作用,生物及石化燃料,尤其是汽车尾气等^[8,9]; 大气中的有机氮有很大一部分是尿素,直接来自于土壤、水面、肥料和人畜排泄物的挥发作用^[10~12]。由于大气中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和有机氮大多数直接来自于陆地和水体,故降雨中的氮既可以反映当地环境质量的重要信息^[13,14],又可以影响生态系统,尤其是水体生态系统的健康状况^[15]。

三峡水库是我国水资源保护的重点之一,它的水质直接影响到下游亿万人民的生产和生活。重庆市位于三峡库区,是我国西南地区最大的工业城市,人口密集,郊区农地化肥施用量大,畜禽养殖业发展迅猛。目前尚无重庆地区大气氮湿沉降的相关资料,开展有关研究有助于了解该地区大气氮湿沉降状况,相关资料不仅可以反映出当地的环境质量,而且还可以了解降雨的水质对农业和水体生态系统的影响,为三峡库区的环境治理、作物施肥和水资源保护提供有益的参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

选择距重庆市中心 10 ~ 230 km 的具有代表性的近郊区、远郊区和林区为大气氮湿沉降采样点。其中,近郊区选择距离重庆市中心约 10 km 的沙坪坝区,该区工农业发达,种植大面积蔬菜,过量施用氮肥,环境污染比较严重;远郊区选择距离重庆市中心约 50 km 的北碚区歇马场附近,该区以农业生产为主、工矿企业相对稀少;林区选择距离重庆市中心 230 km 左右的仙女山国家森林公园内,该林区人类活动少,空气清新,无明显污染。

雨水采样参照大气降水采样和分析方法总则^①中规定的方法进行。用雨量计采集天然降雨,记录当次降雨量,贮存于聚乙烯瓶中备测有关项目。若降雨量过小,则合并多次雨样至测定需要的体积,并将它们视为一次降雨。每次采集雨样之后,加少量稀硫酸酸化水样,终止微生物活动,防止氮素转化、挥发与损失等。

1.2 测定项目与方法

用硝酸根电极法、靛酚蓝比色法和凯氏定氮法分别测定雨水中的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和总氮 TN (Total Nitrogen, 下同)^[15]。有机氮 DON (Dissolved Organic Nitrogen, 下同) 等于总氮减 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ^[6,16]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 软件进行基本数据处理,使用 SPSS 13.0 软件进行 Duncan 新复极差 (LSR) 显著性检验。

2 结果与讨论

2.1 降雨中的氮浓度

2.1.1 分布频率

在重庆地区降雨中,不同浓度的总氮、铵态氮和硝态氮的降雨频率如图 1 所示,从图中可以看出,降雨中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 DON 浓度小于或等于 1.5 mg L^{-1} 的降雨频率分别为 74.93% ~ 77.40% ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), 89.73% ~ 92.48% ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) 和 90.32% ~ 97.74% (DON), 三者浓度均大于 1.5 mg L^{-1} 的降雨仅占少数。降雨中出现 TN 浓度小于或等于 4.5 mg L^{-1} (单项氮浓度的 3 倍,下同) 的降雨频率超过 80%, 三者浓度之和大于 4.5 mg L^{-1} 的降雨频率仅占少数。

值得注意的是,无论是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, 还是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 DON, 浓度小于等于 0.5 mg L^{-1} 降雨频率为林区 > 近郊区 ≈ 远郊区 (仅 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 例外, 林区 ≥ 远郊区 ≥ 近郊区)。无论是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, 还是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 DON, 各浓度大于等于 3.5 mg L^{-1} 降雨频率为近郊区 ≈ 远郊区 > 林区。对于 TN 而言, 降雨中浓度小于等于 4.5 mg L^{-1} 降雨频率为近郊区 > 远郊区 > 林区。所以, 林区雨水含氮量的明显特征是低氮浓度的降雨频率多; 相反, 城市郊区雨水中

① GB13580.1-92

总氮则是低氮浓度的降雨频率少,高 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的降雨频率多。上述差异必然导致郊区和林区氮湿沉降量的不同。

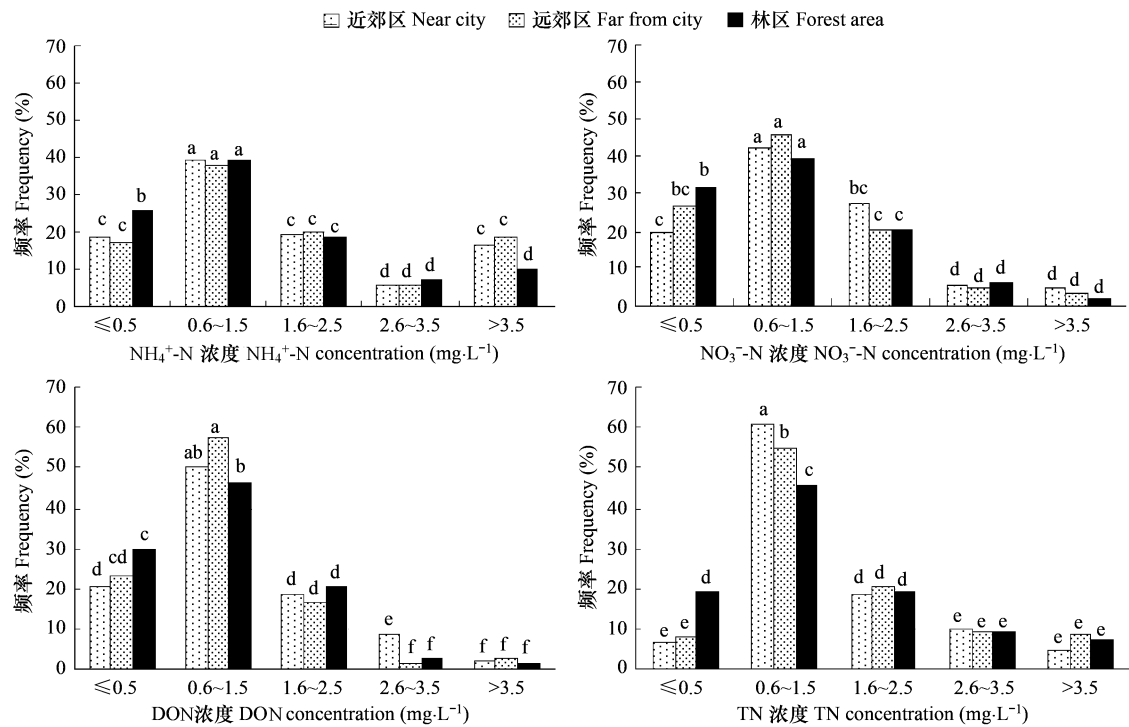


图1 降雨中氮浓度的分布频率
Fig.1 Frequency graph of nitrogen concentration in precipitation

2.1.2 不同形态的氮浓度

降雨中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度显著高于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,前者为后者的 1.5 ~ 1.9 倍, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度与 DON 相似,变化于 $(1.10 \pm 1.29) \text{ mg L}^{-1}$ 之间(表 1),说明降雨中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是决定氮沉降量的主要因素。

表 1 不同地点降雨中氮的浓度(mg L^{-1})
Table 1 Nitrogen concentration of precipitation in different areas

地点 Site	降雨量(mm) Rainfall	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	DON	TN
近郊区 Near city	1142.3 ± 51.6	$2.05 \pm 0.50\text{a}$	$1.21 \pm 0.40\text{a}$	$1.29 \pm 0.15\text{a}$	$4.56 \pm 1.01\text{a}$
远郊区 Far from city	1148.9 ± 56.9	$2.10 \pm 0.28\text{a}$	$1.12 \pm 0.71\text{a}$	$1.10 \pm 0.39\text{a}$	$4.32 \pm 0.68\text{ab}$
林区 Forest area	1208.3 ± 45.9	$1.61 \pm 0.34\text{b}$	$1.18 \pm 0.13\text{a}$	$1.14 \pm 0.31\text{a}$	$3.94 \pm 0.50\text{b}$

同一列不同字母代表差异达 0.05 显著水平 Different letters in a column mean significant at 0.05 level (Duncan's LSR Test)

前人的研究表明,大气中的 NH_3 主要来源于陆地生态系统中的 NH_3 ,如人畜排泄物和氮肥的挥发,微生物对动植物残体和土壤有机物的分解,以及石化燃料的燃烧等,陆地生态系统中的氮素水平和人类活动等直接关系到降雨中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度^[7,17]。重庆市工业发达,燃烧大量的石化燃料, NH_3 排放量大。此外,重庆市郊区土地利用率高,连年种植蔬菜,长期大量施用氮肥,菜地氮肥用量达到 $450 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (折纯氮,下同),农地一般为 $345 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[18],氮肥的 NH_3 挥发量高^[19]。土壤微生物作用形成的 NH_3 挥发也不容忽视。近年来,在城市郊区大量发展集约化养殖,大多数养殖场缺乏有效的粪污处理设施,直接排放粪污的 NH_3 挥发也可能对大气中的 NH_3 产生较大贡献。因此,重庆市郊区陆地生态系统中的含氮量较高,氮造成的环境污染可能比较严重,使降雨中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量升高^[13,14,20]。相反,林区位置偏远,人类活动少,林地生态系统的含氮量低,再加之森林对 NH_3 的吸收作用^[21],进入大气中的 NH_3 较少。因此,降雨中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 浓度为郊区 >

林区。

2.1.3 不同季节降雨中氮浓度

对重庆地区不同季节降雨中氮浓度进行分析,分析结果如表 2 所示。降雨中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DON 和 TN 浓度冬季最高,高于或等于夏季,分别达到 2.17 、 1.34 mg L^{-1} 和 4.62 mg L^{-1} 。冬季降雨中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 浓度显著高于春秋两季,DON 浓度显著高于秋季,但春季、夏季、秋季降雨的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DON 和 TN 浓度无统计学差异。此外,降雨中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度四季相似,变化于 $(1.08 \pm 1.16)\text{ mg L}^{-1}$ 之间。

表 2 不同季节降雨中的氮浓度 (mg L^{-1})

Table 2 Nitrogen concentration of precipitation in different seasons

季节 Seasons	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	DON	TN
春季 Spring	$1.74 \pm 0.62\text{b}$	$1.16 \pm 0.48\text{a}$	$1.23 \pm 0.51\text{ab}$	$4.14 \pm 1.23\text{b}$
夏季 Summer	$1.95 \pm 0.63\text{ab}$	$1.08 \pm 0.25\text{a}$	$1.18 \pm 0.24\text{ab}$	$4.21 \pm 0.83\text{ab}$
秋季 Autumn	$1.78 \pm 0.31\text{b}$	$1.11 \pm 0.41\text{a}$	$1.03 \pm 0.27\text{b}$	$3.92 \pm 0.72\text{b}$
冬季 Winter	$2.17 \pm 0.86\text{a}$	$1.11 \pm 0.23\text{a}$	$1.34 \pm 0.32\text{a}$	$4.62 \pm 0.77\text{a}$

同一列不同字母代表差异达 0.05 显著水平 Different letters in a column mean significant at 0.05 level (Duncan's LSR Test)

在重庆市冬夏季的降雨中, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DON 和 TN 浓度较高可能与当地特殊的气候和地形因素有关。重庆市群山连绵,冬季高湿、多雾、少风,空气流动性差,地面排放的 NH_3 容易聚集在距离地面较低的空气中。空气质量监测也表明,冬季也是重庆市空气质量最差的季节^[8]。加之降雨少,雨量低,可能使降雨中的氮浓度升高。相反,夏季气温高,地面、水体、有机废气物中的 NH_3 和 DON 挥发强烈,微生物分解动植物残体和土壤有机物形成 NH_3 的速率随温度的上升而加快,这些可能是夏季降雨中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、DON 和 TN 浓度也较高的主要原因。

2.2 降雨的氮湿沉降量

2.2.1 不同地点降雨的氮湿沉降量

尽管远郊区→近郊区→林区的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 DON 沉降量都有一定的降低趋势,但均无统计差异; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 沉降量为远郊区 $\geq$ 近郊区 $\geq$ 林区(图 3)。需要指出的是,由于积微成显,TN 沉降量近郊区 $\approx$ 远郊区 $>$ 林区,依次为 51.93 、 $49.71\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 和 $40.14\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 。说明人类活动和环境污染显著影响降雨中的氮沉降,雨水硝态氮主要来源于汽车尾气排放、石化燃料燃烧和化肥施用^[23]。林区远离城市,人类活动少,上述 3 种形态的氮排放量低,加之森林对 NH_3 的吸收作用^[21],可能导致林区氮沉降量低于城市郊区。

比较有关研究资料发现,重庆市郊区随降雨输入到陆地和水体的氮与上海市($57.13\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$)和华北平原($55.7\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$)相似^[1,5],林区则低于上述两地,但均高于我国东北的下辽河平原($16.97\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$)^[6],欧洲中部的国家($18\sim22\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$),美国 California 南部($30\sim35\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$)及英格兰($35\sim40\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$)^[3,20,24]。降雨到达地面的氮是补偿农业生态系统氮素损失的重要途径之一^[1,3]。一般认为,氮沉降的临界负荷为 $5\sim10\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 时,对于水体生态系统是有利的;临界负荷为 $10\sim20\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 时,对于森林生态系统是有利的;临界负荷为 $35\sim55\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 时,有利于农业生态系统^[3,6]。我国主要湖泊氮沉降的临界负荷比较低^[5],降雨输入的氮过多是区域水体富营养化的重要原因之一^[24,25]。重庆市每年随降雨到

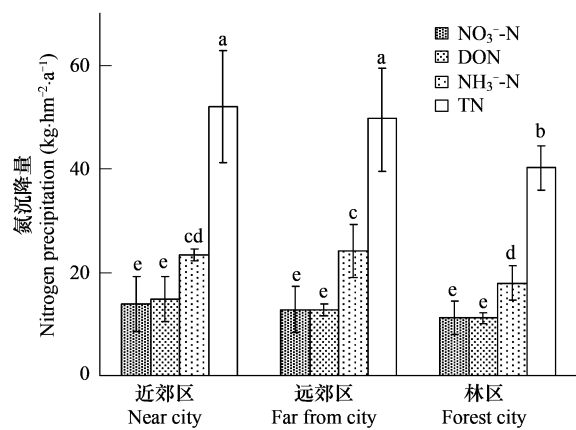


图 2 不同地点降雨的氮湿沉降量

Fig. 2 Amount of nitrogen wet precipitation in different areas

方柱上不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level

达地面的氮大致在有益于农业生产的范围内,对于补给农田生态系统中的氮有一定意义,但远远高于水体生态系统的临界值,如此大量的氮沉降可能对三峡库区的水体生态系统产生不利影响。

2.2.2 降雨中不同形态氮对氮湿沉降量的贡献率

从降雨中氮形态的角度看,降雨中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 对总沉降量的贡献率最高,达到 45.03%; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 DON 的贡献率基本相似,分别为 26.89% 和 28.07% (表 3)。因此,如果能有效降低雨水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,就能显著地减少随降雨到达地面氮素。考虑到 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 主要源于当地生态环境中的人类活动,尤其是工农业生产^[7,20],推测长期坚持净化工业废气,科学施用氮肥,加强畜禽粪便管理可能是降低雨水中氮沉降的有效措施之一。

表 3 不同形态氮对氮湿沉降量的贡献率
Table 3 The contribution of different forms nitrogen in wet precipitation

浓度 (mg L ⁻¹) Concentration	NH ₄ ⁺ -N			NO ₃ ⁻ -N			DON		
	频率 (%) Frequency	氮沉降贡献率 (%) Contribution to N precipitation		频率 (%) Frequency	氮沉降贡献率 (%) Contribution to N precipitation		频率 (%) Frequency	氮沉降贡献率 (%) Contribution to N precipitation	
		NH ₃ -N	TN		NH ₃ -N	TN		DON	TN
<0.5	20.43b	4.14e	1.87e	26.19b	8.18c	2.20e	24.42b	7.22c	2.03e
0.6 ~ 1.5	38.84a	20.12c	9.06bc	42.65a	44.74a	12.03a	51.66a	50.78a	14.25a
1.6 ~ 2.5	19.21b	30.63b	13.80ab	22.61c	31.35b	8.43c	18.41b	32.94b	9.25bc
2.6 ~ 3.5	6.46d	9.71d	4.37d	5.46d	9.29c	2.66e	4.04c	5.53cd	1.55e
>3.5	15.06c	35.40a	15.93a	3.13d	6.44c	1.57e	1.97c	3.53d	0.99e
Σ	100	100	45.03	100	100	26.89	100	100	28.07

同一列不同字母代表差异达 0.05 显著水平 Different letters in a column mean significant at 0.05 level (Duncan's LSR Test)

从降雨中氮浓度的角度看,浓度在 1.6~2.5 mg L⁻¹和大于 3.5 mg L⁻¹的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,以及浓度在 0.6~1.5 mg L⁻¹的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 DON 的降雨对氮沉降量的贡献率最高,原因分别是它们的降雨频率高(1.6~2.5 mg L⁻¹的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,0.6~1.5 mg L⁻¹的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 DON)或浓度大(大于 3.5 mg L⁻¹的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$)。小于 0.5 mg L⁻¹、大于 2.6 mg L⁻¹的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 DON 的降雨对氮沉降量的贡献率最低,其原因是它们在降雨中的浓度或出现频率低。值得注意的是,大于 3.5 mg L⁻¹的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 降雨频率仅 15% 左右,对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 沉降量的贡献率高达 35%,对总氮沉降量的贡献率也居于首位。实际观察表明,近郊区、远郊区和林区的年均降雨次数为 48 次, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 大于 3.5 mg L⁻¹的降雨仅 7 次,并且均出现在城市郊区,故有理由推测这种降雨与人类活动产生的突发性 NH_3 排放可能有关,由此大幅度地提高了氮的年均沉降量。因此,若能有效控制这类人为的突发性事件,就可能有效降低随降雨进入水体中的氮,进而一定程度地减轻对水体的不良影响。

2.2.3 不同季节降雨中氮沉降量

在一年里,不同季节降雨的氮沉降量也不同(表 4)。无论是 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、DON,还是 TN,冬季的沉降量都最低,依次为 1.65、0.84、0.63 kg hm⁻² a⁻¹ 和 3.39 kg hm⁻² a⁻¹;夏季最高(仅 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 例外,夏季≥春季,但显著高于秋冬季节),依次为 9.21、4.98、5.13、19.05 kg hm⁻² a⁻¹;春秋两季随降雨到达地面的氮相似。随降雨到达地面的氮等于氮浓度与雨量的乘积。虽然冬季降雨中的氮浓度最高,但降雨量仅为其它季节的 23.7%~38.9%,故随氮沉降量低;夏季氮沉降高的

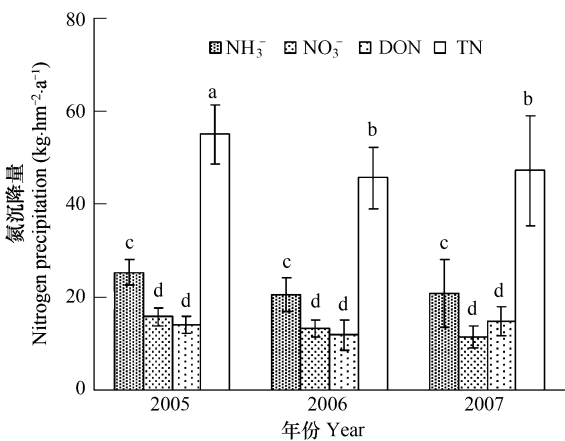


图 3 不同年际降雨的氮湿沉降量

Fig. 3 Amount of nitrogen wet precipitation in different year
注:方柱上不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。Different letters above the bars mean significant at the 5% level

主要原因是降雨量大和氮浓度较高。

2.2.4 不同年际降雨的氮沉降量

图 4 是 2005 ~ 2007 年降雨到达地面的氮沉降量。在不同年份之间, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 DON 的沉降量均无显著差异。TN 沉降量 2005 年 > 2006 年 $\approx$ 2007 年, 分别为 54.94 、 $45.64 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 和 $47.16 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。但是, 氮沉降量的年际变异系数分别为 11.68% ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)、 15.90% ($\text{NO}_3^- \text{-N}$)、 11.29% (DON) 和 10.12% (TN)。看来在短期内, 不同年份之间随降雨到达地面的氮湿沉降量是相对稳定的。

表 4 不同季节降雨的氮沉降量 ($\text{kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)

Table 4 Amount of nitrogen wet precipitation in different seasons

季节 Seasons	月均雨量 (mm) Monthly rainfall	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	DON	TN
春季 Spring	$95.63 \pm 51.4\text{b}$	$5.43 \pm 2.13\text{b}$	$3.91 \pm 2.58\text{ab}$	$3.72 \pm 1.98\text{b}$	$13.23 \pm 2.25\text{b}$
夏季 Summer	$156.10 \pm 42.0\text{a}$	$9.21 \pm 2.40\text{a}$	$4.98 \pm 1.29\text{a}$	$5.13 \pm 1.47\text{a}$	$19.05 \pm 3.27\text{a}$
秋季 Autumn	$98.96 \pm 29.3\text{b}$	$5.28 \pm 1.83\text{b}$	$3.15 \pm 0.74\text{b}$	$3.06 \pm 0.63\text{b}$	$11.46 \pm 2.40\text{b}$
冬季 Winter	$37.05 \pm 3.4\text{c}$	$1.65 \pm 0.66\text{c}$	$0.84 \pm 0.25\text{c}$	$0.63 \pm 0.27\text{c}$	$3.39 \pm 0.69\text{c}$

同一列不同字母代表差异达 0.05 显著水平 Different letters in a column mean significant at 0.05 level (Duncan's LSR Test)

2.3 降雨与氮湿沉降的关系

相关分析表明, 降雨中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、DON 和 TN 浓度与降雨量无显著相关性。但是, 降雨量与氮沉降量呈显著正相关, 说明降雨量越大, 沉降到地面的氮也越多。对不同形态的氮而言, 均可用回归方程 $y = ax + b$ 表示, 只是回归系数不同而已 (图 4)。本项研究结果类似宇万太等人的结论^[6]。

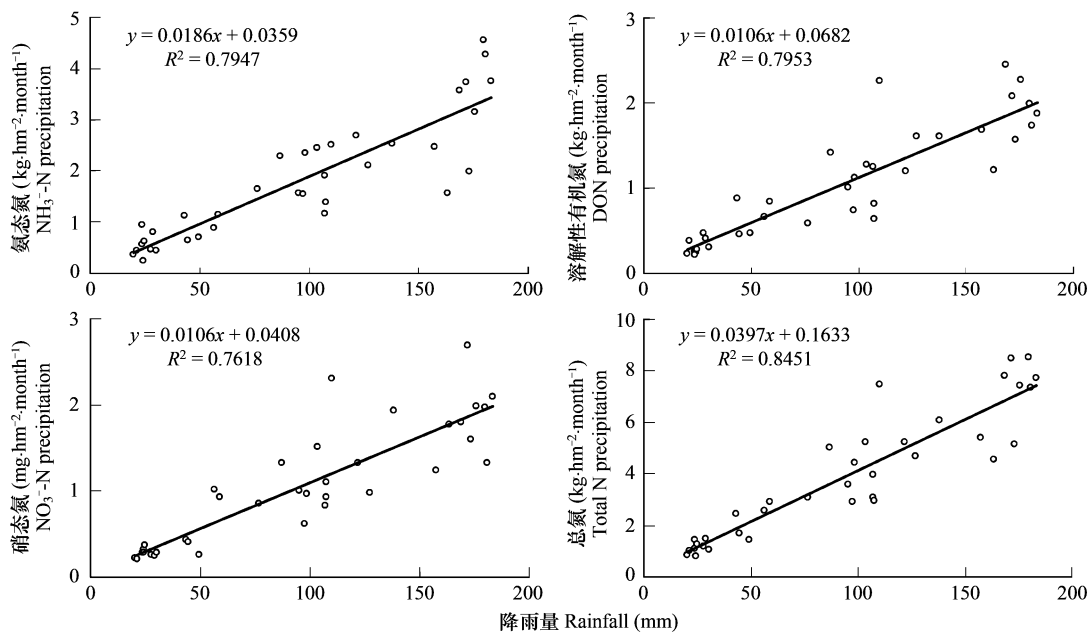


图 4 降雨量与雨水中不同形态氮含量的关系

Fig. 4 The relationship of the amount of rain fall and different forms nitrogen

3 结论

(1) 重庆市近郊区、远郊区和林区 3 个采样点雨水总氮浓度范围为 $(3.94 \pm 0.50) \sim (4.56 \pm 1.01) \text{ mg L}^{-1}$, 平均 $(4.27 \pm 0.73) \text{ mg L}^{-1}$ 。 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 DON 占 TN 比例分别为 44.9% 、 27.4% 和 27.5% 。

(2) 在时间尺度上, 不同季节降雨中氮浓度呈现明显的季节性差异, 其中 $\text{NH}_4^+ \text{-N} > \text{NO}_3^- \text{-N} \approx \text{DON}$, 雨水中各形态氮浓度的变化, 以冬季最高, 依次是夏季、春季和秋季。在空间分布上, 近郊区、远郊区和林区的 TN

平均浓度分别为 4.56 、 4.32 mg L^{-1} 和 3.94 mg L^{-1} , 从近郊区到林区有逐渐降低的趋势。

(3) 降雨中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 DON 和 TN 浓度与降雨量无显著相关性。但是, 降雨量与氮沉降量呈显著正相关。

References:

- [1] Mei X Y, Zhang X F. Influence of wet nitrogen precipitation on agro-ecosystems in Shanghai. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(1): 16—18.
- [2] Hinga K R, Keller A A, Oviatt C A. Atmospheric deposition and Nitrogen inputs to coastal waters. *Atmospheric Chemistry*, 1991, 20: 256—260.
- [3] Krupa V S. Effects of atmospheric ammonia on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution*, 2006, 23(4): 341—350.
- [4] Ye X Y, Hao J M, Duan L, *et al.* Research on the critical load of wet nitrogen precipitation for main lakes of China. *Environmental Pollution & Control*, 2002, 24(1): 54—58.
- [5] Zhang X F, He W S, Lu J J. Effects of acid rain on nitrogen content in the water body of Wenzhou Sanyang wetland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 2: 78—82.
- [6] Yu W T, Ma Q, Zhang L, *et al.* Changes of nitrogen in rainfall in lower reach of Liaohe River Plain. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 33—37.
- [7] Jenkinson D S. An introduction to the global nitrogen cycles. *Soil Use and Management*, 1990, 54(1): 56—65.
- [8] Leavy H, Maxim W. Fate of US and Canadian combustion nitrogen emission. *Nature*, 1987, 328: 414—416.
- [9] Duce R, Liss P, Merrill J. The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 1991, 5: 193—208.
- [10] Atkinson R. Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, 2000, 34: 2063—2101.
- [11] Cornella S E, Mace K, Coepicus S. Organic nitrogen in Hawaiian rain and aerosol. *J. of Geophysical Research Atmospheres*, 2001, 106: 7973—7983.
- [12] Cornella S E, Jickellsa T D, Capeb J N. Organic nitrogen deposition on land and coastal environments: a review of methods and data. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 2173—2191.
- [13] Seinfeld J H, Pandis S N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Changes*. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [14] Zhang J, Chen S Z, Yu Z G, *et al.* Factors influencing changes in rain water composition from urban versus remote regions of Yellow Sea. *J. of Geophysical Research*, 1999, 104: 1631—1644.
- [15] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemical Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 1999. 50—56.
- [16] Scudlark J R, Russell K M, Galloway J N, *et al.* Organic nitrogen in precipitation at the mid-Atlantic U. S. Coast-methods evaluation and preliminary measurements. *Atmosphere Environment*, 1998, 32(10): 1719—1728.
- [17] Dentener F J, Crutzen P J. A three dimensional model of the global ammonia cycle. *J. of Atmospheric Chemistry*, 1994, 37: 2173—2191.
- [18] Wang R P, Huang J G, Yuan L, *et al.* Nitrate leaching and related factors in main soils in Chongqing. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5): 35—38.
- [19] Wang R P, Yu W M, Huang J G, *et al.* Nitrogen mineralization and nitrate leaching in field. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 80—82.
- [20] Goulding K W T. Nitrogen deposition to land from the atmosphere. *Soil Use and Management*, 1990, 6(2): 61—63.
- [21] Kunbin E. Nitrogen from upland forest sites into wetland areas. *Environmental Role of Wetland in Headwaters*, 2006, 63: 1568—1238.
- [22] Hong Q. The trend of visibility and its affecting factors in Chongqing. *Journal of Chongqing University (Natural Science Edition)*, 2003, 5: 73—77.
- [23] Chen N W, Hong H S and Zhang L P. Wet deposition of atmospheric nitrogen in Jiulong River Watershed. *Environmental Science*, 2008, 29(1): 38—44.
- [24] Neal C, Reynolds B, Neal M, *et al.* Nitrogen in rainfall, cloud water, throughfall, stemflow, stream water and groundwater for the Plynlmon catchments of mid-Wales. *The Science of Total Environment*, 2003, 314-316: 121—151.
- [25] Jordan C K, Talbot W, Keim B D. Water-soluble nitrogen at the New Hampshire sea coast: HNO_3 , aerosols, precipitation, and fog. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(21): 26403—26431.

参考文献:

- [1] 梅雪英, 张修峰. 上海地区氮素湿沉降及其对农业生态系统的影响. *中国生态农业学报*, 2007, 15(1): 16~18.
- [4] 叶雪梅, 郝吉明, 段雷, 等. 中国主要湖泊营养氮沉降临界负荷的研究. *环境污染与防治*, 2002, 24(1): 54~58.
- [5] 张修峰, 何文珊, 陆健健. 酸雨对温州三垟湿地水体氮营养盐数量的影响. *应用生态学报*, 2005, 2: 78~82.
- [6] 宇万太, 马强, 张璐, 等. 下辽河平原降雨中氮素的动态变化. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 33~37.
- [15] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 1999. 50~56.
- [18] 王荣萍, 黄建国, 袁玲, 等. 重庆市主要土壤类型硝态氮淋失及其影响因素. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 35~38.
- [19] 王荣萍, 余炳敏, 黄建国, 等. 田间条件下氮的矿化及硝态氮的淋溶研究. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 80~82.
- [22] 洪全. 重庆市大气能见度变化趋势及影响因子. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2003, 5: 73~77.
- [23] 陈能汪, 洪华生, 张路平. 九龙江流域大气氮湿沉降研究. *环境科学*, 2008, 29(1): 38~44.