

重庆市主城区街道灰尘中氮、磷污染研究^{*}

随着城市化的快速发展，城市街道灰尘的污染研究成为评价城市环境质量的一个重要方面。本文通过对重庆市主城区街道灰尘的调查与分析，从而了解灰尘中氮、磷的含量、附着形态及其污染现状。同时为科学防治以及治理规划等提供依据。

1 样品的采集和分析

街道灰尘样品采集于 2007 年春季，按旅游、居民、交通和工业 4 个功能区共布设 16 个采样点，每一个功能区设 4 个采样点。样品收集采用人工清扫方法（扫帚和刷子收集），然后在阴凉通风处自然风干，剔除杂物，分别过 60 目（0.250mm）和 100 目（0.149mm）筛，将样品分为粗（≥60 目）、中（60—100 目）、细（≤100 目）三部分。模拟酸雨采用重庆市铜元局观测点多年降雨资料，pH 值调节为 5。TN 和 NH₃-N 的测定采用半微量凯式法；TP 的测定采用钼锑抗分光光度法；磷形态分级采用张守敬法。

2 灰尘中 N 和 P 的分析

从表 1 可见，TN 在 0.33—2.56g•kg⁻¹；NH₃-N 在 0.008—0.3g•kg⁻¹；TP 在 0.46—1.49g•kg⁻¹。各功能区 TN、NH₃-N 和 TP 含量差异排序均为旅游区>居民区>交通区>工业区。对变异系数的比较发现，NH₃-N>TN>TP，且变异系数都超过 50%，说明 NH₃-N、TN 和 TP 在空间分布上均存在较大差异，人为干扰可能是主要原因。旅游区街道灰尘中 TN、NH₃-N 和 TP 的含量均最高，一方面与旅游区内灰尘主要来源于区内居民与游人的生活垃圾有关，另一方面旅游区内植被覆盖率高，经常喷洒或施用 N 和 P 肥料，很容易转移到地表灰尘中。另外，还可能与采样时间有关系，大部分植物春季时会产生大量的花粉，伴有花粉的地表灰尘中 N 和 P 含量势必有所增加。而交通区、工业区街道灰尘主要来源于建筑施工扬尘、车辆尾气及抛洒的渣土和泥沙、企业排放废气中的降尘等，因此，街道灰尘中 N 和 P 的含量较低。

表 1 不同功能区的街道灰尘中 TN、NH₃-N 和 TP 含量（g•kg⁻¹）

功能区	TN	NH ₃ -N	TP
旅游区	2.56	0.300	1.49
居民区	1.52	0.174	0.79
交通区	0.91	0.045	0.66
工业区	0.33	0.008	0.46
变异系数/%	71.66	101.25	52.68

3 各功能区不同粒径的灰尘中 N 和 P 的差异分析

从表 2 可见，不同粒径的街道灰尘对 TN、NH₃-N 和 TP 的贡献率存在差异。除居民区粗颗粒中 TN 的含量最高外，各功能区 TN、NH₃-N 和 TP 的排序存在细粒径>中粒径>粗粒径的趋势，说明小颗粒灰尘中含有的 N 与 P 浓度更高，另外，也说明小颗粒灰尘比大颗粒灰尘具有更大的潜在环境危害。

表 2 不同粒径的街道灰尘中 TN、NH₃-N 和 TP 含量

功能区	TN/g•kg ⁻¹			NH ₃ -N/g•kg ⁻¹			TP/g•kg ⁻¹		
	细	中	粗	细	中	粗	细	中	粗
旅游区	2.70	2.37	2.37	0.070	0.059	0.059	1.68	1.38	0.75
居民区	1.54	1.50	1.70	0.047	0.039	0.034	0.90	0.65	0.42
交通区	0.94	0.91	0.90	0.023	0.016	0.014	0.72	0.63	0.42
工业区	0.37	0.24	0.30	0.008	0.008	0.004	0.54	0.35	0.15

4 街道灰尘提取液中 N 和 P 的溶出分析

对街道灰尘分别设置 pH5 的模拟酸雨与 pH7 的纯水进行浸泡实验。从表 3 可见，TN 和 NH₃-N 在设置的两类浸泡液中的溶出量相差较小，基本上 pH5 条件下的溶出量大于 pH7 条件下的溶出量，此外，TN 和 NH₃-N 的溶出量还与两

者的全量有关，全量值愈大，溶出量也愈多；但 TP 的溶出量则刚好相反，在 pH 7 条件下的溶出量要大于 pH 5 时的溶出量，可能的原因是：①模拟酸雨中含较多带正电的金属离子，如 Ca^{2+} ， Mg^{2+} 等，能使 P 矿化，降低了其溶解量；②P 的溶出受酸度的影响，pH 值在 5.5—7.5 之间时，土壤磷主要以 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 形态存在，此时 P 具有最大的有效性。在 $\text{pH} < 5.5$ 时，金属离子及其水合氧化物会对 P 产生强烈的吸附作用，反而影响了 P 的溶出量。

表 3 模拟酸雨和纯水提取液中溶解的 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP

功能区	TN / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$		$\text{NH}_3\text{-N} / \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$		TP / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	pH 5	pH 7	pH 5	pH 7	pH 5	pH 7
旅游区	0.42	0.40	0.119	0.065	2.49	14.58
居民区	0.30	0.23	0.063	0.044	2.29	4.83
交通区	0.15	0.15	0.020	0.011	1.79	1.91
工业区	0.09	0.07	0.003	0.007	0.53	1.40

5 街道灰尘中 P 污染的化学形态分析

街道灰尘中可溶性 N 和 P 是城市地表径流中营养物质的来源之一。地表径流中 P 的形态有溶解态、有效态和颗粒态。溶解态和有效态主要以正磷酸盐形式存在，并可被藻类等直接吸收利用，因此，对地表水环境质量有着最直接的影响。通过分析显示，重庆市主城各功能区街道灰尘中的 P 主要以残留态存在，其中旅游区溶解态、有效态和颗粒态 P 含量分别为： $14.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ， $98.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1378.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；居民区分别为： $4.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ， $54.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $726.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；交通区分别为： $1.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ， $70.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $583.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；工业区分别为： $1.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ， $28.61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $427.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。虽然重庆市主城区地表灰尘中溶解态和有效态 P 之和仅占 TP 的 8.19%，但该水平下的 P 对水体富营养化现象已起到明显的促进作用。

另外，从表 4 可见，各功能区街道灰尘中无机态 P 主要以 Ca-P 形态存在，除此之外，Al-P 和 Fe-P 含量也较高，而碳酸盐吸持 P 与铁氧化物和水氧化物包裹 P 含量则较少。而且街道灰尘中无机磷的存在形态与土壤中无机磷的存在形态相似，说明街道灰尘与土壤之间存在着联系。所分析的四类无机磷总和占了 TP 比例的 36%，说明重庆市主城区街道灰尘中无机态 P 是 TP 的一个重要构成部分。

表 4 重庆市主城区街道灰尘中不同形态无机磷的含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

功能区	A	B	C	D
旅游区	71.26	12.53	10.37	388.87
居民区	45.45	8.90	5.52	258.97
交通区	19.59	5.50	3.25	212.84
工业区	2.02	2.53	0.64	168.28

注：A 是非包裹的 Al-P 和 Fe-P；B 是碳酸盐吸持 P；C 是 Fe 氧化物和水氧化物包裹 P；D 是 Ca-P。

综上所述，重庆市主城区街道灰尘中 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的贡献率依次为旅游区 > 居民区 > 交通区 > 工业区，且受人为影响较大；不同粒径的街道灰尘对 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的贡献率存在差异，但基本符合细粒径 > 中粒径 > 粗粒径的趋势；街道灰尘中 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的溶出效率受 pH 值的影响，且 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在 pH 5 的模拟酸雨下溶出量多，而 TP 则在 pH 7 的纯水下溶出量多；街道灰尘中 P 主要以残留态存在，但溶解态和有效态 P 已对水体的富营养化构成潜在的威胁，另外，街道灰尘中的无机态 P 主要以 Ca-P 形态存在。

朱旻航¹ 王学良¹ 陈玉成^{1, 2*} 供稿

(1 西南大学资源环境学院，重庆，400716 2 重庆市农业资源与环境重点实验室，重庆，400716)