

# 城市垃圾渗沥液引起地下水氮污染的研究

夏立江<sup>1</sup>, 许立孝<sup>2</sup>, 温小乐<sup>1</sup>, 林征峰<sup>1</sup>, 李轶伦<sup>1</sup>, 贺志坚<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学生态与环境科学系, 北京 100094; 2. 北京市海淀区环卫局, 北京 100081)

**摘要:** 通过对垃圾堆放场地下水氮污染状况的监测, 分析了垃圾渗沥液的水质特征及其对地下水的氮污染影响。结果表明, 垃圾渗沥液含有高浓度的氨态氮, 对垃圾场还原性地下水的氮污染主要以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 污染为主。垃圾场地下水氮污染浓度变化与渗沥液数量、浓度变化趋势相一致。

**关键词:** 垃圾渗沥液; 地下水; 氮污染

**中图分类号:** X132    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000 – 0267(2001)02 – 0108 – 03

## Nitrogen Contamination of Groundwater Originated from Urban Landfill Leachate

XIA Li-jiang<sup>1</sup>, XU Li-xiao<sup>2</sup>, WEN Xiao-le<sup>1</sup>, LIN Zheng-feng<sup>1</sup>, LI Yi-lun<sup>1</sup>, HE Zhi-jian<sup>1</sup>

(1. Department of Agroecology and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094 China;

2. Research Institute of Environmental Sanitation, Haidian District, Beijing 100081 China)

**Abstract:** Nitrogen contamination of landfill on groundwater has been monitored and evaluated by an analysis of characteristics of landfill leachate and an assessment of the potential effects of nitrogen contamination on groundwater. The results showed that there were large amounts of ammonia – nitrogen in landfill leachate and the contamination of ammonia – nitrogen was the major form of pollution in groundwater of landfill. It has been also found that nitrogen contamination of groundwater was correlated well with the amounts and concentrations of ammonia in landfill leachate.

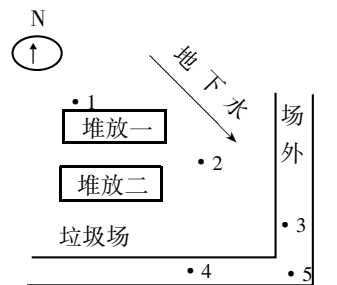
**Keywords:** landfill leachate; groundwater; nitrogen contamination

目前我国大多数城市对生活垃圾处理仍然处于初期阶段, 真正实现无害化处理的垃圾只占年产量的6%, 其余大部分则为长期露天堆放<sup>[1]</sup>。在自然条件下, 长期堆放的垃圾由于降雨和有机物的分解发酵会产生大量的高浓度有机废水——渗沥液, 通过土壤层下渗透到地下水中, 导致地下水的污染。

高浓度的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量是垃圾渗沥液的重要水质特征, 直接影响着垃圾场周围地下水的氮污染程度<sup>[2]</sup>。因此在目前地下水氮污染日益严重的情况下, 研究垃圾渗沥液对地下水的氮污染并提出有效的防治措施, 是当前重要的环境新课题之一。

## 1 内容与方法

1.1 实验监测点选在北京郊区某垃圾堆放场, 现有垃圾堆放量大约为 20 多万 t。沿地下水流方向布设 5 口监测井, 各井位置及深度如图 1 所示, 每月采集各井浅层地下水进行监测分析。



• 表示地下水采样点  
(1、3、4 号井深 12 m; 2、5 号井深 30 m)

图 1 垃圾场监测井设置示意图

Figure 1 Location of wells for monitoring works in the landfill

## 1.2 监测项目及分析方法

(1) 监测项目: pH,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{BOD}_5$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。

(2) 分析方法: 按《水和废水监测分析方法》中所示的国家标准方法进行:

$\text{COD}_{\text{Cr}}$ ——重铬酸钾法;  $\text{BOD}_5$ ——稀释接种法;

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ ——酚二磺酸比色法;

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ——纳氏试剂法;

$\text{NO}_2^- - \text{N} \longrightarrow \text{N} - (1 - \text{萘基}) - \text{乙二胺}$  比色法。

2 结果与讨论

2.1 垃圾渗沥液水质特征分析及氮的转化途径

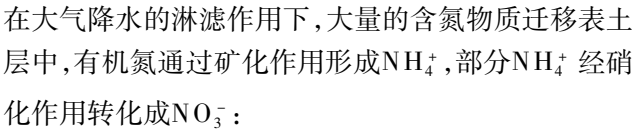
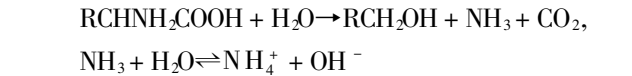
据对国内部分城市垃圾成分及其相应的有机物浓度的分析表明,垃圾中的有机物组分越高,则其渗沥液中的有机污染浓度越高<sup>[3]</sup>。在该垃圾场堆放的混合垃圾中,有机物含量约占 59.5%,无机物占 20.8%,其它废物约占 19.7%,可见垃圾堆放对地下水的主要污染是因有机物的腐化分解产生的大量渗沥液。分析结果见表 1。

表 1 垃圾渗沥液中主要污染物含量 (mg · L<sup>-1</sup>)

Table 1 Contents of major pollutants in the landfill leachate

| 项目 | pH   | COD <sub>Cr</sub> | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N |
|----|------|-------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 春  | 7.90 | 16 170            | 8 451            | 236                              | 1.22                             | 47.85                            |
| 夏  | 8.23 | 20 480            | 12 745           | 430                              | 1.08                             | 23.77                            |
| 秋  | 8.01 | 12 323            | 7 657            | 128                              | 0.91                             | 19.46                            |
| 冬  | 7.03 | 8 435             | 3 026            | 174                              | 0.63                             | 24.22                            |

由表 1 可知,在不同季节各污染物浓度不同,渗沥液的产生随季节变化较大,对此 Mattias Akeson 等人有报道<sup>[4]</sup>。夏季渗沥液 COD 值可高达 20 000 mg · L<sup>-1</sup> 以上, BOD 可达 10 000 mg · L<sup>-1</sup> 以上,为工业废水最高允许排放浓度的 200—300 倍;氨氮浓度可高达 400 mg · L<sup>-1</sup> 以上,是粪便的 1—2 倍,这表明垃圾堆放场渗沥液污染性极强,尤其是氮污染很严重。渗沥液中高浓度的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 主要来自于垃圾中含氮有机物的厌氧水解和发酵作用<sup>[2]</sup>:



在下渗水流和弥散作用下 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 穿越土层进入地下水中,造成地下水严重的氮污染<sup>[5]</sup>,如图 2 所示。

2.2 垃圾渗沥液对地下水的氮污染形态分析

据上分析所述, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 经硝化作用转化成 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,且在下渗过程中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 易被土壤吸附,而 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 有很强的移动能力,易随水分迁移<sup>[6,7]</sup>,地下水中会出现大量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。但是,据对该垃圾场地下水的长期监测结果表

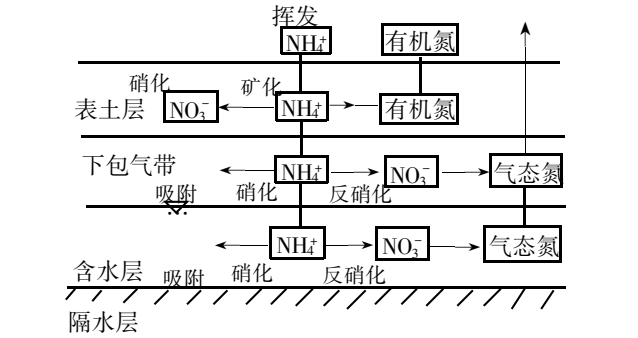


图 2 氮在地下水污染系统内的迁移转化  
Figure 2 Transformation and transference of nitrogen contamination in underground water

明,该区地下水中并未出现 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的大量累积,且水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 含量一直高于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 含量。图 3 为 5 口监测井 1 年间的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 平均浓度变化情况。

图 3 表明该垃圾堆放场的地下水氮污染是以

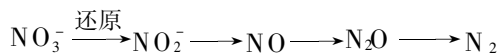
图 3 地下水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 平均浓度变化情况  
Figure 3 Dynamics of averaged concentrations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N in the underground water

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 污染为主的。分析原因如下:

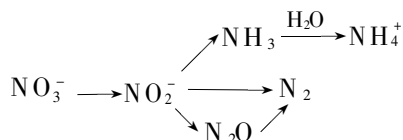
(1) 垃圾中含氮有机物不断进行厌氧分解,因而持续产生高浓度含 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 渗沥液。有研究表明<sup>[9]</sup>,对于较高浓度的含 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 溶液,在排水作用下,尽管土壤能够吸附一部分 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N,但当土壤对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的吸附达到饱和后,较高浓度的含 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 溶液对其硝化作用具有一定的抑制影响,从而使大量 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 进入地下水中。因此,当来自地上部的高浓度 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 渗沥液持续下渗到土壤后,在排水作用下,大部分的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 能够随水流渗至底层土壤和浅层地下水中,导致地下水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 含量增高。

(2) 地下水中氮的主要存在形态取决于地下水的环境条件<sup>[10]</sup>。地下水中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,只有在适宜的氧化还原条件和酸碱条件下才能逐渐得到积累。若处于还

原条件,  $\text{NO}_3^-$  将成为电子授体而被还原<sup>[11]</sup>:



在这种情况下是不会引起  $\text{NO}_3^-$  大量累积的。经测定该垃圾场地下水中的有机物浓度( $\text{COD}_{\text{Cr}}$ )可达  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以上, 在  $\text{O}_2$  的补充受到限制的地下环境中, 少量有机质的存在就能耗尽地下水中的溶解氧<sup>[4]</sup>, 因而该区地下水的溶解氧含量是很低的。水中还存在着一系列因垃圾厌氧分解产生的还原性物质如  $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  等, 使体系的氧化还原电位很低, 属还原条件。由此可见, 还原性的地下水对土层渗入的  $\text{NO}_3^-$  不断进行着还原作用, 使地下水中的  $\text{NO}_3^-$  还原为气态  $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  及  $\text{N}_2$ , 气态  $\text{NH}_3$  又水解成  $\text{NH}_4^+$ , 即:



因而使得地下水中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量更高, 却并没有引起  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的大量积累。

### 2.3 垃圾渗沥液对地下水氮污染浓度变化的影响

从 1998 年—1999 年监测结果来看, 该垃圾场地下水的氮污染主要以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  污染为主。现以 1998 年—1999 年 2 号监测井地下水中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均浓度变化情况说明垃圾渗沥液对地下水的氮污染影响。图 4 结果表明, 该区地下水中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度随季节不同变幅较大, 且整体变化趋势是趋于上升的, 这与垃圾渗沥液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度随场龄的增加而增加的趋势是一致的<sup>[1]</sup>。由图 4 所示, 1998 年和 1999 年的 7、8、9 月份地下水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量较其它月份有明显增高, 这和该季节垃圾产生的渗沥液数量多、浓度大有直接

关系。7、8 月份是本市瓜果蔬菜大量上市季节, 垃圾中有机物和含水量增高, 大量含氮有机物的厌氧水解和发酵导致渗沥液中含有高浓度的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 。此外, 7、8、9 月份又是北京炎热且多雨的季节, 垃圾层内较高的温度加速了微生物对有机成分的降解, 再经大量雨水淋滤, 不仅使垃圾渗沥液的污染浓度加重而且增加了渗沥液的产生量, 从而使渗沥液的下渗更多更快, 造成地下水氮污染浓度出现高峰现象。

上述结果表明垃圾场地下水中的氮污染浓度是随着渗沥液产生量及浓度的变化而相应变化的。进一步说明垃圾渗沥液对地下水的污染问题值得关注。

## 3 小结

3.1 垃圾渗沥液是垃圾堆放过程中产生的复杂有机废水, 高浓度的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量是其重要的水质特征。大量的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  及经硝化作用产生的  $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  入渗到地下水中, 造成地下水严重的氮污染。

3.2 垃圾场地下水处于还原条件, 由于存在着反硝化作用, 故没有引起  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  积累, 地下水的氮污染以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  污染为主。

3.3 垃圾场地下水中氮污染浓度变化与渗沥液的数量浓度变化趋势是一致的。

### 参考文献:

- [1] 陈玉成, 李章平. 城市生活垃圾渗沥水的污染及其全过程控制[J]. 环境科学动态, 1995, 4: 15—18.
- [2] 沈耀良, 王宝贞. 垃圾填埋场渗滤液的水质特征及其变化规律分析[J]. 污染防治技术, 1999, 12(1): 10—13.
- [3] 刘东. 垃圾填埋场渗沥水污染及控制研究[J]. 环境科学, 1991, 12(2): 18—23.
- [4] Mattias Akesson and Peter Nilsson. Seasonal changes of leachate production and quality from test cells[J]. *Journal of Environmental Engineering*, September 1997, 892—900.
- [5] 刘兆昌, 等. 地下水系统的污染与控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991.
- [6] 刘翔, 等. 氮对地下水的污染预测模型[J]. 环境科学, 1991, 12(6): 8—11.
- [7] 高拯民, 张福珠. 环境中氮循环与氮污染研究现状与展望[A]. 环境中氮污染与氮循环论文集[C]. 北京, 1983.
- [8] HUSAIN T, HODA A and KHAN R. Impact of sanitary landfill on groundwater quality[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 1989, 45(3—4): 191—206.
- [9] 冯绍元, 郑耀泉. 农田氮素的转化与损失及其对水环境的影响[J]. 农业环境保护, 1996, 15(6): 277—279.
- [10] 李昌静, 卫钟鼎. 地下水水质及其污染[M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 1983.
- [11] 何炳乔, 等. 吉林市及外围地下水氮污染状况与机理探讨[A]. 环境中氮污染与氮循环论文集[C], 北京, 1983.
- [12] Massing H. Impacts of leakage water from urban solid waste deposits on groundwater quality[J]. *Wat Sci Tech*, 1994, 29(1—2): 239—244.

图 4 2 号井  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均浓度变化曲线

Figure 4 Curve of averaged concentrations  
of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  in well 2