

## 垃圾渗滤液的环境污染特征及其研究进展

付美云

(湖南环境生物职业技术学院,湖南 衡阳 421005)

**摘 要:**垃圾卫生填埋因操作简单、处理量大而成为我国处理城市生活垃圾的主要方法,其所产生的垃圾渗滤液因含有高浓度的有机污染物对地表水、地下水及土壤环境产生严重的污染。概述了垃圾渗滤液的产生及其污染特性;介绍了垃圾渗滤液对水环境的影响;重点阐述了垃圾渗滤液在土壤环境中的吸附行为与生物降解及其在土壤中的迁移行为,以及对土壤重金属环境行为的影响。

**关键词:**垃圾渗滤液;污染特征;土壤环境

**中图分类号:**X708      **文献标识码:**A

## Characteristics of Landfill – Leachate Pollution and its Research Progress

FU Mei-yun

(Hunan Environment – Biological Polytechnic, Hengyang, Hunan 421005, China)

**Abstract:** Landfill gradually become the main treatment of urban domestic waste for its easily manipulation and large abundant. Its landfill – leachate has caused serious pollution to surface water, underground water and soil environment because of the high concentration organic pollutant. This paper discussed on the production, contaminated characters on landfill – leachate, and then, the effect on water environment. It put particular emphasis on the absorption and biology decomposition of landfill – leachate, and its migration in the soil. Lastly, the effect on the environment behavior of heavy metal.

**Key words:** landfill – leachate; contaminated characters; soil environment

垃圾是人类生产、生活过程中产生的固体废弃物,而生活垃圾随城市化进程的加快,其产生量急剧增加。目前,国内外对城市生活垃圾的处理方式主要有填埋、焚烧、堆肥及土地利用等,其中垃圾填埋因操作简便、费用低而被广泛采用。据报

道,全世界几乎 70% 的城市生活垃圾被填埋处置<sup>[1-2]</sup>,但这种处置产生的主要问题是垃圾渗滤液的收集控制问题。因为垃圾渗滤液可以通过各种不同的途径如无控制的溢出、雨水冲刷、地质沉降或渗透而进入环境<sup>[3-4]</sup>,从而导致垃圾填埋场

收稿日期:2008-12-10

作者简介:付美云(1964-),女,湖南祁东人,湖南环境生物职业技术学院教授,博士。主要研究方向:固体废弃物处理与利用。

附近的地表水和地下水的严重污染<sup>[5]</sup>。而被垃圾渗滤液污染的地下水、地表水及土壤,通过食物链直接或间接地危害人类的身体健康和生态环境。因此,垃圾渗滤液在土壤中的环境行为已引起人们的关注。

## 1 垃圾填埋场渗滤液的产生及其性质与毒理

垃圾渗滤液是由大气降雨和径流、垃圾有机物中本身的含水、填埋后由于微生物的厌氧分解作用而产生的液体等<sup>[6]</sup>而形成的。产生的垃圾渗滤液其性质与气候变化、水文条件、季节交替、填埋垃圾的种类与性质、垃圾填埋的时间、填埋方式及垃圾本身的含水量等<sup>[7-8]</sup>因素有关。如垃圾填埋时间短的渗滤液( $< 5$  a)水质特点表现为 pH 值较低,  $BOD_5$ 、 $COD_{Cr}$  浓度高,且  $BOD_5/COD_{Cr}$  的比值高,各类重金属离子的浓度也较高;而填埋时间长的渗滤液( $> 5$  a),尤其是长期处于产甲烷阶段的渗滤液 pH 接近中性,  $BOD_5$ 、 $COD_{Cr}$  浓度降低,  $BOD_5/COD_{Cr}$  的比值也低,重金属浓度虽低,但  $NH_4^+ - N$  浓度较高,并含有大量的异源有机化合物,从而构成渗滤液的长期污染性<sup>[2,9]</sup>。

垃圾渗滤液的毒性是由其所含有的污染物有关。而垃圾渗滤液所含的污染物种类及浓度均与所在填埋场的垃圾类型、组分、填埋方式及填埋时间等密切相关。由于垃圾渗滤液中含有许多诱导基因突变的污染物,首先表现为基因毒性。Schrab 等人<sup>[10]</sup>通过微生物的生物测试包括 *Salmonella* 诱变测试、*Bacillus subtilis* DNA 的修正测试、*Aspergillus nidulans* 双倍染色体的损伤测试等证实了这一结论。Sang 等人用渗滤液对几种植物进行毒性试验,发现垃圾渗滤液中的有机污染物影响植物生长并诱导植物的生理突变如细胞有丝分裂指数下降、细胞核分裂增加及细胞分裂后期失常等<sup>[11-12]</sup>。

高浓度的盐分也会成为渗滤液中对环境的主要限制因子。用高 EC ( $0.2 \sim 0.4 \text{ sm}^{-1}$ ) 去浇灌作物会引起渗透或离子胁迫<sup>[13]</sup>,甚至有人认为,EC 是垃圾渗滤液一种毒性指示剂<sup>[14]</sup>; Duggan 等人<sup>[15]</sup>利用柳树处理渗滤液时发现,如果用 EC 为  $0.889 \text{ sm}^{-1}$  渗滤液灌溉柳树林,发现早期引起柳树叶缺叶绿素,坏死、干燥而发黄;用高浓度的渗滤液喷灌糖槭,尽管蒸腾速率未受影响,但发现光合速率和水分使用的有效率分别下降了 34% 和

70%,如果用低浓度去喷灌,则不会出现这种现象<sup>[16]</sup>。另外,渗滤液中高浓度氨已被证实对许多鱼类、藻类以及一些作物也具有较强的毒性<sup>[17-18]</sup>。由此可见,垃圾渗滤液对生物的生理毒性已被广泛得以证实。

## 2 垃圾渗滤液对水环境的影响

垃圾渗滤液是一种成份复杂、污染性很强的有机废水,对地表水、地下水均会产生严重的污染。研究表明<sup>[19]</sup>,垃圾渗滤液中不但含有病原微生物,也含有大量的酸性和碱性有机污染物,并能将垃圾中的重金属溶解出来,成为有机物质、重金属和病原微生物三位一体的污染源,如果控制不当如雨后垃圾场内渗滤液的间歇入渗和排污干渠内污水的连续入渗就会造成地表水或地下水的严重污染。因此垃圾渗滤液致使环境污染的事件国内外屡有发生。美国 1800 多个垃圾填埋场中有近一半的填埋场对附近水体产生了严重污染<sup>[20]</sup>;英国的垃圾填埋场对地下水也产生了严重的威胁<sup>[15]</sup>;我国贵阳市 1983 年夏季哈马井和望城坡垃圾堆场所在地区同时发生痢疾流行,其原因是地下水被垃圾渗滤液严重污染,导致垃圾填埋场邻近的饮用水源中大肠杆菌超标 770 倍<sup>[21]</sup>;垃圾渗滤液污染后的农渠水灌入稻田后,农民下田耕作时常感奇痒难耐<sup>[22]</sup>;昆明滇池的污染,部分原因则是垃圾填埋场的污染所致;还有因垃圾渗滤液污染地下水源和地表水源迫使周围居民搬迁的报道<sup>[23]</sup>等等。这些都是垃圾渗滤液造成的恶果。

## 3 垃圾渗滤液在土壤中的环境行为及其环境影响

像许多有机污染物一样,垃圾渗滤液污染物进入土壤后或被土壤颗粒所吸附;或被土壤微生物所降解;或随土壤水渗滤到地下水,使地下水受到污染;或吸附于悬浮物随地表径流迁移造成地表水的污染等等。随着垃圾填埋场渗滤液造成环境污染的案例出现,垃圾渗滤液在土壤中的环境行为已引起人们的关注。

### 3.1 垃圾渗滤液在土壤中的吸附行为

垃圾渗滤液在土壤中的吸附行为对环境中污染物质的迁移、转化和归宿有着直接的影响。而影响垃圾渗滤液在土壤中的吸附因素有以下几项。

1) 土壤有机质。有研究表明,土壤有机质对疏水性有机污染物在土壤中的分配和迁移及生物

有效性有着很大的影响<sup>[24]</sup>。由于有机质中含有多种疏水基、亲水基、游离基等功能团通过影响土壤电荷种类和密度等从而影响对有机污染物的吸附,通过疏水吸附、分配、氢键、电荷转移、共价键、范德华力等多种作用与垃圾渗滤液中有机污染物结合<sup>[25-26]</sup>。土壤有机质含量越高,对污染物吸附相对越弱,其中土壤 DOM 对其吸附作用有很大的贡献。

2) 粘粒含量。大多数研究认为土壤吸附有机物的能力随粘土含量或铁铝氧化物的增加而增大,其中约有 50%~70% 被铁铝氧化物和氢氧化物所吸附<sup>[27]</sup>,且粘粒含量高,土壤表面积增加,吸附位点增高,土壤对有机污染物的吸附能力也增强<sup>[28]</sup>。由于有机质和土壤粘粒可促进土壤对渗滤液中 N、P 等有机物质的吸附净化,所以有机质含量较高的壤土和粘粒含量较高的粘土对垃圾渗滤液中 COD<sub>Cr</sub>、P、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 净化效果好<sup>[29]</sup>。因此土地处理垃圾渗滤液,尤其是人工湿地处理垃圾渗滤液就是利用土壤对渗滤液的吸附作用从而达到去除效果,如利用砂砾与芦苇床处理渗滤液,吸附作用对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除起着关键作用。

3) pH 值的影响。如含 2:1 型矿物的潮土, pH 值高,土壤表面负电荷密度较高,对垃圾渗滤液有机污染物的吸附较弱,而红壤 pH 值低,土壤表面的正电荷密度较高,有利于对垃圾渗滤液中有机物的吸附<sup>[27-28,30]</sup>。但也有与此相反的研究结果,韩丽荣等<sup>[31]</sup>人研究垃圾渗滤液中典型有机污染物在有机膨润土上的吸附,发现膨润土对垃圾渗滤液中苯酚的吸附能力受 pH 值的影响较大,尤其在 pH > 7.0,随 pH 值的增加,土壤对其吸附量增大<sup>[32]</sup>。

4) 垃圾填埋年限。垃圾渗滤液随着填埋年限的增加,其中大分子组分含量或疏水性组分含量所占比率增加<sup>[30]</sup>,难降解的有机污染物中水溶性腐殖质及芳烃类,酸类、酯类、醇类、酚类等<sup>[33]</sup>所占比率亦随之增加。付美云等人<sup>[30]</sup>通过对不同填埋年限的垃圾渗滤液中有机污染物(DOM)在土壤中吸附行为的研究发现不同填埋年限的垃圾渗滤液-土壤的亲合力与其亲水性组分或低分子组分之间有着负相关性,大分子组分含量高或疏水性组分含量高的垃圾渗滤液易被土壤所吸附,亦即随着垃圾填埋年限的增加,其产生的渗滤液在土壤中的吸附量也增加。

### 3.2 垃圾渗滤液的生物降解行为

垃圾渗滤液是一类成分复杂的高浓度有机废

水,进入土壤及地下含水层后由于受对流、弥散、扩散作用的影响而被迁移,也会被土壤吸附,甚至被土壤微生物所降解<sup>[34-35]</sup>。垃圾渗滤液在土壤中的降解动态不仅极大影响自身对环境的危害程度,也影响到在含有垃圾渗滤液的土壤中有机、无机污染物的环境行为。

垃圾渗滤液在土壤中的降解量和降解速率不仅与垃圾渗滤液的性质、填埋年限相关,也与土壤的矿物组成、土壤粘粒含量、有机质含量、土壤 pH 等关系密切<sup>[5]</sup>。如不同填埋年限垃圾渗滤液在潮土中降解速率比在红壤中快<sup>[36-37]</sup>,在相同土壤中,填埋年限越短的垃圾渗滤液在土壤中表现降解率越大<sup>[37]</sup>,这与分子量或亲水-疏水性组分不同等性质有关。填埋年限越短的垃圾渗滤液中低分子量组分或亲水性组分含量相对较高,而土壤对低分子量组分或亲水性组分的水溶性有机物(DOM)较之高分子量或疏水性组分的 DOM 吸附弱,从而易被土壤微生物降解。在没有土壤介质条件下(消除土壤因素对垃圾渗滤液的降解影响),垃圾渗滤液降解速率远比在土壤中的降解速率低。

### 3.3 垃圾渗滤液在环境中的迁移行为

垃圾渗滤液污染物在土壤中的迁移,既受各种物理、化学和生物反应作用的影响,也受土壤结构及含水层水动力条件的影响。李建萍等<sup>[35]</sup>人采用土柱模拟试验研究了垃圾渗滤液有机污染组分在不同厚度包气带介质中的运移规律,结果表明有机污染物在土壤中迁移是对流、机械弥散、分子扩散、吸附等共同所致,其迁移大小与土层结构与成分如矿物组成、水和水动力条件等有关。当填埋场渗滤液存在水头过高或污染物浓度较高时,垃圾渗滤液可能会通过衬垫系统向地下水体迁移<sup>[37]</sup>。

所以如果拟建一座占地面积约 23.4 公顷,设计库容为  $4 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,日处理量为 800 t/d,使用年限 10 a 的垃圾填埋场,根据郭永龙等<sup>[38]</sup>人建立的预测模型预测,在垃圾填埋场封场后约 15 a,渗滤液中主要污染物的浓度才有可能降到排放标准,也就是说垃圾渗滤液的产生周期自填埋开始至少在 25 a 以上。因此,要加强垃圾填埋场衬垫系统的防渗措施,防止含有高浓度污染物的垃圾渗滤液渗漏出来,以免造成填埋场周围土体和地下水的污染。

### 3.4 垃圾渗滤液对土壤中重金属污染物环境行为的影响

垃圾渗滤液中有些污染成分虽因发生物理化学、生物化学等反应而逐渐衰减,但其中的重金

属、有机物及重金属-有机物络合物仍会对地下水 and 地表水的水质构成潜在风险<sup>[39]</sup>。关于垃圾填埋场重金属释放及其环境污染已有学者做了大量的研究<sup>[4,40-42]</sup>。有研究报道<sup>[41]</sup>，在垃圾填埋场内，尽管重金属的迁移率很低，但在填埋层中的重金属总量是土壤背景值的数十倍，远远超出土壤环境质量标准，并且在填埋场内垃圾由产酸阶段向产甲烷阶段还原，部分地也会增加对 DOC 的吸附并伴有金属硫酸盐、碳酸盐沉淀的产生<sup>[40]</sup>，导致一些重金属如 Cd、Ni、Zn、Pb、Hg 等会在填埋场滞留许多年，一旦环境条件改变可能会导致填埋场一些非线性行为，并造成重金属的大量溶出<sup>[4,43]</sup>。夏立江等<sup>[42]</sup>人通过对北京西郊某垃圾堆放场周边土壤的污染状况研究，发现由于受垃圾渗滤液的侵蚀影响，垃圾区周围土壤酸性增大，其养分含量也增高，垃圾区土壤的重金属含量也明显高于对照区土壤，这说明垃圾堆放场周围土壤受到渗滤液中重金属的污染且土壤性状发生明显的变化。

垃圾渗滤液中溶解性有机物对土壤环境中重金属污染物的吸附与溶出、迁移等也有一定的促进作用。有研究表明<sup>[44]</sup>，与无渗滤液 DOM 的对照相比，垃圾渗滤液能明显提高污染土壤 Pb 的平均溶出率，并且随体系 pH 的升高，其促进作用表现得更为明显。

Calace 等人<sup>[45]</sup>将不同填埋年限的垃圾渗滤液分成不同分子量组分处理土壤，发现土壤对重金属的吸附不仅受分子量大小的影响，而且与渗滤液的填埋年限、重金属种类等也有关系。重金属 Cd 在用填埋年限长的垃圾渗滤液处理、高 pH 值和高分子量有机物存在的土壤中，其吸附有所增加；而重金属 Cu 则在填埋年限短的渗滤液处理及低分子量有机物存在的土壤中，其吸附才会增加。付美云等人<sup>[46]</sup>利用垃圾渗滤液 DOM 不同分子量组分解吸土壤中的重金属 Cd，其结果类似，分子量大于 2 500 Da 组分解吸土壤重金属的能力明显低于分子量小于 1 000 Da。

垃圾渗滤液的络合能力对重金属的迁移具有重要意义。有研究发现被垃圾渗滤液污染的地下水中存在 DOC 与 Cd、Ni、Zn、Pb 的络合物<sup>[39]</sup>。由此说明垃圾渗滤液与土壤重金属以络合物形式向地下水迁移。用离子交换法和电极法研究填埋场在不同阶段的渗滤液中有机组分与金属的络合能力，发现有机组分与金属的络合能力在不同垃圾渗滤液中变化相当大，其主要取决于两个方面：一

个是羧酸，另一个是大分子化合物（10 000 Da）<sup>[47]</sup>，如 Fe 和 Pb 主要被大分子有机物质所络合（> 12 000 Da），而 Zn 则被小分子所络合（< 1 000 Da）<sup>[48]</sup>。通过土柱淋滤试验，发现填埋时间短的垃圾渗滤液 DOM 在土壤中垂直迁移较强，而对土壤重金属 Pb 的溶出影响显著的则是填埋年限中长的渗滤液<sup>[44]</sup>。

由于垃圾渗滤液在土壤中的迁移能力较强，进入土壤后对污染土壤重金属生物有效性有一定的促进作用。姜必亮和付美云等人<sup>[29,49]</sup>的研究结果均表明，垃圾渗滤液进入土壤后有利于污染土壤重金属生物有效性的提高和植株体内重金属的累积，尤以填埋年限长的垃圾渗滤液影响最大。

## 4 结束语

我国城市生活垃圾卫生填埋技术自上世纪 80 年代开始应用，由于技术上的不完善使得垃圾填埋场成为较严重的二次污染源。垃圾渗滤液造成的环境污染问题已引起人们的关注。在对垃圾渗滤液污染的研究中，上世纪 90 年代初期以前，主要研究垃圾渗滤液的污染物的种类和浓度<sup>[1,17]</sup>，近十多年来，主要集中在垃圾渗滤液的处理技术上的研究<sup>[50-51]</sup>，而对渗滤液对环境污染机制的研究不多。纵观国内各大小城市的垃圾填埋场的设计技术及渗滤液的监控手段与处理设施相对过去而言有所改善，但垃圾渗滤液的污染现状并没有得到缓解。因此，垃圾渗滤液的污染控制，及其对环境的污染机制研究仍需进一步深入开展。

## 参考文献：

- [1] Slack R J, Gronow J R, Voulvoulis N. Household hazardous waste in municipal landfills; contaminants in leachate[J]. *Sci. Total Environ.*, 2005, 337: 119 - 137.
- [2] Ward M L, Bitton G, Townsend T. Heavy metal binding capacity (HMBC) of municipal solid waste landfill leachates[J]. *Chemosphere*, 2005, 24: 1 - 10.
- [3] Ding A, Zhang Z, Fu J, et al. Biological control of leachate from municipal landfills [J]. *Chemosphere*, 2001, 44 (1): 1 - 8.
- [4] Flyhammar P. Estimation of heavy metal information in Municipal Solid Waste[J]. *Sci. Total Environ.*, 1997, 198 (2): 123 - 133.
- [5] Li L, Yolcubal I, Sandrin S, et al. Biodegradation during contaminant transport in porous media; 3. Apparent condition - dependency of growth - related coefficients

- [J]. *J. Contam. Hydrol*, 2001, 50: 209 - 223.
- [6] 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.
- [7] 邹莲花. 城市生活垃圾填埋场渗滤液水质影响因素分析及水质预测[J]. *给水排水*, 1997, 23(7): 57 - 61.
- [8] 张 懿. 城市垃圾填埋场渗滤液的处理技术综述[J]. *重庆环境科学*, 2000, 22(5): 63 - 78.
- [9] Kjeldsen P, Barlaz M A, Rooker A P, et al. Present and long - term composition of MSW landfill leachate: a review[J]. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 2002, 32: 297 - 336.
- [10] Schrab G E, Brown K W, Donnelly K C. Acute and genetic toxicity of municipal landfill leachate[J]. *Water Air Soil Pollut.*, 1993, 69: 99 - 112.
- [11] Sang N, Li G K. Genotoxicity of municipal landfill leachate on root tips of *Vicia faba*[J]. *Muta. Res.*, 2004, 560: 159 - 165.
- [12] Cabrera G L, Rodriguez D M G. Genotoxicity of leachates from a landfill using three bioassays[J]. *Muta. Res.*, 1999, 426: 207 - 210.
- [13] Bowman M S, Clune T S, Sutton B G. Sustainable management of landfill leachate by irrigation[J]. *Wat. Air Soil Pollut.*, 2002, 134: 81 - 96.
- [14] Stephens W, Tyrrel S F, Tiberghien J E. Irrigating short rotation coppice with landfill leachate: constraints to productivity due to chloride[J]. *Bioresour Technol.*, 2000, 75: 227 - 239.
- [15] Duggan J. The potential for landfill leachate treatment using willows in the UK - A critical review[J]. *Res., Conser. and Recyc.*, 2005, 45: 97 - 113.
- [16] Shrive S C, McBride R A, Gillespie T J. Physiological and spectral responses of sugar maple (*Acer saccharum* marsh) to MSW leachate spray irrigation[J]. *Waste Manage. Res.*, 1990, 8: 3 - 19.
- [17] 沈耀良, 王宝贞. 垃圾填埋场渗滤液处理特性的分析[J]. *江苏环境科技*, 1999(2): 5 - 7.
- [18] 肖雪峰, 李娟英, 张雁秋. 垃圾填埋场渗滤液的产生、控制处置[J]. *江苏环境科技*, 2001, 14(1): 38 - 39.
- [19] 李景忠, 赵绿珠. 城市地下水水源地水质预测研究[J]. *水土保持科技情报*, 2002(6): 20 - 21.
- [20] Christensen J B, Jensen D L, Grqn C, et al. Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate - polluted groundwater[J]. *Wat. Res.*, 1998, 32(1): 125 - 135.
- [21] 戴文超. 我国城市生活垃圾垃圾现状与管理问题[J]. *环境保护*, 1998(8): 41 - 43.
- [22] 朱建林, 罗志伟. 常德市肖伍铺垃圾场对水环境影响分析[J]. *株洲师范高等专科学校学报*, 2001, 6(5): 26 - 29.
- [23] 徐 壮. 我国城市垃圾性质及污染状况的综合分析[J]. *环境科学*, 1987, 8(5): 80 - 84.
- [24] 党 志, 于 虹, 黄伟林, 等. 土壤/沉积物吸附有机污染物机理研究的进展[J]. *化学通报*, 2001(2): 81 - 85.
- [25] 凌婉婷, 徐建民, 高彦征, 等. 溶解性有机质对土壤中有机污染物环境行为的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(2): 326 - 330.
- [26] 王子健, 黄圣彪, 马 梅, 等. 水体中溶解有机物对多氯联苯在淮河水体沉积物上的吸附和生物富集作用的影响[J]. *环境科学学报*, 2005, 25(1): 39 - 44.
- [27] Jardine P M, Weber N L, McCarthy J F. Mechanism of dissolved organic carbon adsorption on soil[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53: 1378 - 1385.
- [28] Liang B C, Gregorich E G, Schnitzer M, et al. Characterization of water extracts of two manures and their adsorption on soils[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 1758 - 1763.
- [29] 姜必亮, 王伯荪, 蓝崇钰. 不同质地土壤对填埋场渗滤液的吸收净化效能[J]. *环境科学*, 2000(5): 32 - 37.
- [30] 付美云, 周立祥. 垃圾渗滤液水溶性有机物在土壤中的吸附行为[J]. *农业环境科学学报 (Journal of Agro - Environment Science)*, 2006, 25(4): 964 - 968.
- [31] 韩丽荣, 鲁安怀, 郑 红, 等. 有机膨润土吸附垃圾渗滤液中苯酚醛树脂研究[J]. *环境化学*, 2001, 20(5): 460 - 465.
- [32] 张甲坤, 曹 军, 陶 澍. 土壤水溶性有机物吸着系数及其影响因素研究[J]. *地理科学*, 2001, 21(5): 423 - 427.
- [33] 陈少华, 刘俊新. 垃圾渗滤液中有有机物分子量的分布及在 MBR 系统中变化[J]. *环境化学*, 2005, 24(2): 153 - 157.
- [34] Schirmer M, Butler B J. Transport behaviour and natural attenuation of organic contaminants at spill sites[J]. *Toxicology*, 2004, 205: 173 - 179.
- [35] 李建萍, 李绪谦, 王存政, 等. 垃圾渗滤液有机污染组分在包气带中衰减规律的模拟研究[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2004, 34(4): 607 - 611.
- [36] 付美云, 周立祥. 垃圾渗滤液在土壤中的生物降解动态[J]. *应用生态学报 (Chinese Journal of Applied Ecology)*, 2007, 18(1): 118 - 122.
- [37] 叶小伟. 电场、渗流场和浓度场耦合作用下污染物在粘土中迁移机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.

- [38] 郭永龙,王焰新,蔡鹤生,等. 垃圾填埋场渗滤液对地下水环境影响评价[J]. 地质科技情报,2002,21(1):87-90.
- [39] Christensen J B, Jensen D L, Christensen T H. Effect of dissolved organic carbon on the mobility of Cadmium, Nickel and Zinc in leachate polluted groundwater[J]. Wat. Res., 1996,30(12):3037-3049.
- [40] Christensen T H, Kjeldsen P, Bjerg P L, et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes[J]. Appl. Geochem., 2001,16:659-718.
- [41] 肖正,何晶晶,邵立明,等. 填埋场内重金属总量及其形态分布对迁移性的影响[J]. 环境化学,2005,24(3):265-269.
- [42] 夏立江,温小乐. 生活垃圾堆填区周边土壤的性状变化及其污染状况[J]. 土壤与环境,2001,10(1):17-19.
- [43] Bozkurt S, Moreno L, Neretsson I. Long-term fate of organics in waste deposits and its effect on metal release[J]. Sci. Total Environ., 1999,228:135-152.
- [44] 付美云,周立祥. 垃圾渗滤液有机物以土壤 Pb 溶出的影响[J]. 环境科学 (Environmental Science), 2007,28(2):243-248.
- [45] Calace N, Massimiani A, Petronio, et al. Municipal landfill leachate - soil interactions: a kinetic approach [J]. Chemosphere, 2001,44:1025-1031.
- [46] 付美云,周立祥. 垃圾渗滤液水溶性有机物对土壤吸附重金属  $Ca^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$  的影响[J]. 环境科学学报 (Acta, Scientiae Circumstantiae), 2006,26(5):828-834.
- [47] Christensen T H. Cadmium soil sorption at low concentrations VII: effect of stable soil waste leachate complexes[J]. Wat., Air Soil Pollut., 1989,44:43-56.
- [48] Harmsen J. Indentification of organic compounds in leachate from a waste tip[J]. Wat. Res., 1992,17(6):699-705.
- [49] 付美云,周立祥. 渗滤液溶解性有机物对土壤 Ca、Pb 有效性的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(7):1295-1300.
- [50] 罗宇,杨宏毅. MBR 工艺应用于垃圾渗滤液处理的研究[J]. 环境工程,2004,22(2):69-71.
- [51] 杨志,汪贇,张月琴,等. GC-MS 法对垃圾渗滤液生物处理前后微量有机物的研究[J]. 环境污染与防治,2005,27(3):218-221.

(上接第89页)

### 3 结论

文章以胶硅为牺牲材料,分别合成以 AM、4-VP 为功能单体的 Asp-MIPs. 采用 IR、SEM 等技术从反应基团的角度对 MIP 的特异性吸附性能进行佐证. 分别对合成的 MIP、NIP 进行 Scatchard 分析,发现两种不同功能单体合成的 MIP 在对底物进行吸附时,均会产生两种不同类型的亲和位点,而同时合成的 NIP 则不符合 Scatchard 吸附模型,说明 MIP 对模板分子具有专一性吸附作用,而 NIP 则是以非特异性物理吸附作用为主.

#### 参考文献:

- [1] Haginaka J. Selectivity of affinity media in solid-phase extraction of analytes [J]. Trends Anal Chem., 2005,24:407-415.
- [2] Cameron A, Louise D, Wayne H. Imprinted polymers: artificial molecular recognition materials with application in synthesis and catalysis [J]. Tetrahedron, 2003,59:2025-2057.
- [3] 赖家平,何锡文,郭洪声. 分子印迹的回顾、现状与展望[J]. Chinese J. Anal. Chem (分析化学), 2001,29(7):836-844.
- [4] 刘运美,吕昌银,范翔,等. 乙酰水杨酸分子印迹聚合物的合成及性能研究[J]. J. Journal of Instrumental Analysis. (分析测试学报), 2007,26(2):165-169.
- [5] 小宫山真(日). 分子印迹学-从基础到应用[M]. 吴世康,汪鹏飞,译. 北京:科学出版社,2006.
- [6] 张立永,成国祥,陆书来,等. 悬浮聚合法制备西咪替丁印迹聚合物微球的分子选择性能[J]. 分析化学 2003,31(6):655-658.
- [7] Matsui J, Miyoshi Y, Doblhoff-Dier O, et al. A molecularly imprinted synthetic polymers receptor selective for atrazine [J]. Anal. Chem., 1995,67(23):4404-4408.