

渗滤液性质对含水层中污染物衰减的影响研究

董军, 赵勇胜, 周睿, 韩融

(吉林大学环境与资源学院, 长春 130026)

摘要:通过土柱模拟实验研究了渗滤液性质对含水层中污染物衰减和微生物活动的影响. 结果表明, 新垃圾渗滤液、老垃圾渗滤液和雨水通过模拟柱后, 其微生物活性分别在第 12、17 和 3d 达到最大值 0.154、0.121 和 0.044; BOD₅/COD 分别在第 12、8 和 6d 达到最大值 0.683、0.396 和 0.319; pH 的平均升高速度分别为 0.074/d、0.15/d 和 0.055/d; 新、老垃圾渗滤液通过模拟柱后 COD 的平均去除率分别约为 50% 和 10%; 含水层介质对 NH₄⁺-N 的吸附容量约为 0.85 g/kg; 另外, 含水层介质有机质含量与微生物活性之间具有一定的相关性. 由此可见, 渗滤液的性质对含水层介质中污染物的衰减有重要影响.

关键词:垃圾渗滤液; 含水层; 生物活性; 污染物

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)10-3110-05

Influences of Leachate Property on Pollutants Attenuation in Aquifer

DONG Jun, ZHAO Yong-sheng, ZHOU Rui, HAN Rong

(College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Simulated columns filled with fine sand were conducted to investigate influences of leachate properties on pollutants attenuation and bacterial activity in aquifer. Experimental results indicated that bacterial activity of young landfill leachate, aged landfill leachate and rain water through columns was up to maximum 0.154, 0.121 and 0.044 in 12 d, 17 d and 3 d, respectively; the maximum BOD₅/COD was up to 0.683, 0.396 and 0.319 in 12 d, 8 d and 6 d, respectively, and the averaged increasing rate of pH was up to 0.074/d, 0.15/d and 0.055/d, respectively. COD removal efficiencies of young and aged landfill leachate which passed columns were 50% and 10%, respectively; NH₄⁺-N adsorption capacity of aquifer media was proximately 0.85 g/kg. In addition, there was correlation between organic substrate content of aquifer media and bacterial activity. Therefore, the leachate properties had profound effects on pollutants attenuation in aquifer.

Key words: landfill leachate; aquifer; microbial activity; pollutants

污染物在地下环境介质中的衰减作用主要与其有机质的含量、组成、结构及其矿化和腐殖化程度等有关, 它们对污染物在其中的分配、迁移转化及生物有效性等都有重要的影响^[1,2]; 但对于包气带和含水层介质来说, 由于其有机质含量较低, 对污染物的整体衰减能力较小, 往往被忽视. 在垃圾污染场地, 由于渗滤液成分的复杂性和特殊性, 其与含水层介质和污染物之间的反应比较复杂, 在某些情况下渗滤液的存在和含水层介质对 DOM 的少量吸附, 使含水层介质有机质的含量增加、矿物组成发生变化, 从而增加了其对污染物的吸附量^[3,4]. 因此, 垃圾渗滤液渗入到地下环境中改变了包气带和含水层介质以及地下水的组成, 特别是改变了地下环境的氧化还原环境^[5~7], 直接影响着地下环境中的生物地球化学作用、污染物的形态分布和环境行为等^[3,8~10]. 国内外对垃圾渗滤液污染物的衰减行为及其影响因素的研究主要集中在土壤^[2,11~14], 而对包气带和含水层介质的研究鲜见报道, 特别是垃圾渗滤液入渗引起的地下氧化还原环境变化对沉积物吸附污染物行为的影响未见报道. 本研究以此为出发点, 通过分析地

下环境微生物的活动和含水层介质的变化等, 研究渗滤液的性质对含水层中污染物迁移转化的影响.

1 材料与方法

1.1 实验装置和材料

实验装置是一个长为 90 cm、内径为 7 cm 的有机玻璃柱, 实验用粉细砂为取自长春市伊通河畔 20 cm 以下(扰动样), 其初始理化性质详见表 1. 实验用新、老垃圾渗滤液分别取自长春市三道垃圾填埋场新填场地和填埋 5 年以上场地, 天然雨水收集于同季节的长春市区, 其初始基本理化性质详见表 2.

表 1 粉砂的基本性质
Table 1 Properties of fine sand

pH	湿度 /%	腐殖质 /g•kg ⁻¹	有机质 /g•kg ⁻¹	生物活性
7.15	7.72	0.4	1.4	0.15

收稿日期: 2008-11-16; 修订日期: 2009-01-04
基金项目: 国家自然科学基金项目(40802055)
作者简介: 董军(1976~), 男, 副教授, 主要研究方向为水环境污染控制与治理, E-mail: dongjun@jlu.edu.cn

表 2 垃圾渗滤液及雨水的基本性质
Table 2 Properties of landfill leachate and rain water

项目	pH	Eh/mV	COD/mg•L ⁻¹	BOD/mg•L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N/mg•L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/mg•L ⁻¹	NO ₂ ⁻ -N/mg•L ⁻¹
新渗滤液	6.68	-358.2	11 432	4 812.87	1 667.94	3.14	0.2
老渗滤液	7.92	-195.7	1 880	627.92	2 411.5	5.13	0.39
雨水	7.24	306.8	0	0	4.49	0.3	0.01

1.2 实验方法

将砂土用 2 mm 的筛子过筛,然后分若干次均匀填入柱内,压实,测得孔隙度约为 0.43;总填充高度为 80 cm. 渗滤液自上而下入渗,流量约为 250 mL/d,在模拟柱底部进行周期性取样分析,时间间隔 1~2 d,实验共运行 25 d.

1.3 样品分析方法

微生物活性的测定采用 FDA 荧光素染色法,利用荧光素乙酰乙酸盐对活性细胞染色,用吸光度值表征样品中的微生物活性^[15],其它指标均采用常规方法测得^[16].

2 结果与分析

2.1 生物活性变化

微生物活性是表征微生物量的参数,本试验中用吸光度值来表示微生物活性的相对大小.由图 1 可以明显看出不同渗滤液出水中微生物的生长特征,不同性质的渗滤液对微生物的生长有重要影响.对于新垃圾渗滤液,微生物的生长经历了适应期(0~6 d)、增长期(6~12 d)和稳定期(12 d 后);而老垃圾渗滤液出水中微生物的生长也同样经历了适应期(0~8 d)、增长期(8~17 d)和稳定期(17 d 后),但 3 个阶段与新垃圾渗滤液相比明显滞后,而且微生物的增长速度也较慢;雨水通过模拟柱出水中微生物的生长则随时间的延长略有下降.以上变化说明渗滤液的性质直接影响着微生物的生长周期,具体来说,渗滤液中的微生物在进入土柱后需要一定的时间来适应新的环境,而土层中原有微生物的生长受垃圾渗滤液中有毒有害污染物的抑制,而且老渗滤液的抑制作用更强,因此,总体来看,微生物的适应期均比较长.从图 2 可以看出,微生物的生长变化还与渗滤液中有机的可生化性有关,BOD₅/COD 均呈先升高再降低的变化趋势.新垃圾渗滤液、老垃圾渗滤液和雨水出水的 BOD₅/COD 分别在第 12、8 和 6 d 升高至最大为 0.683、0.396 和 0.319,而微生物活性分别在第 12、17 和 3 d 达到最大为 0.154、0.121 和 0.044.由于新渗滤液中易降解的有机物质含量相对较高,渗入含水层后,周围环境很快变为厌

氧还原环境,一些高分子有机物发酵水解为小分子有机酸、醇等,提高了出水的可生化性.而老垃圾渗滤液中易降解的挥发性有机酸已被分解,剩余的主要是难降解或不可降解的有机物,如腐殖质,其可生化性较小,加上高浓度氨氮的抑制作用,直接影响了微生物的生长.

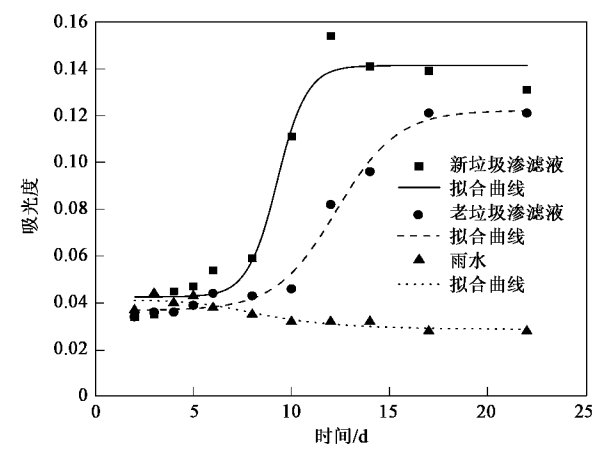


图 1 出水生物活性随时间的变化
Fig.1 Variations of bacterial activity with time in aqueous

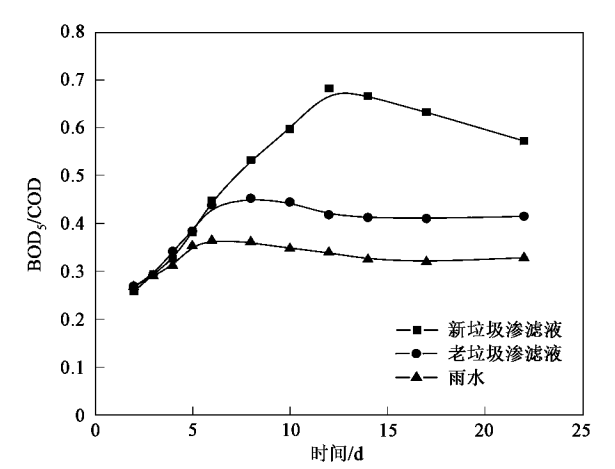


图 2 出水 BOD/COD 随时间的变化
Fig.2 Variations of BOD/COD with time in aqueous

2.2 生物活性与 COD 之间的关系

图 3 表明了 COD 随时间的变化.可以看出,新、老垃圾渗滤液的 COD 随时间先急剧升高,这一阶段污染物的衰减主要是介质的吸附作用,此时微生物

还处于适应阶段.随着垃圾渗滤液入渗量的增加,介质对污染物的吸附量逐渐减小,出水 COD 浓度逐渐上升并保持相对稳定,在这一阶段,随着微生物的生长,COD 的衰减主要是微生物降解作用.此时,新垃圾渗滤液中 COD 的平均去除率约为 50%,老渗滤液约为 10%.结合图 1 可知,新垃圾渗滤液微生物活性的变化和 COD 的变化同步,而老垃圾渗滤液微生物活性的变化则具有明显的滞后性,这说明老垃圾渗滤液中的部分有机物难以被微生物降解.图 3 表明天然雨水中的 COD 随时间先下降而后保持相对稳定,这说明出水的 COD 主要来源于介质中有机物的溶解,另由图 2 可知,其可生化性比老垃圾渗滤液还小,也说明其主要由难降解或不可降解的有机物组成.

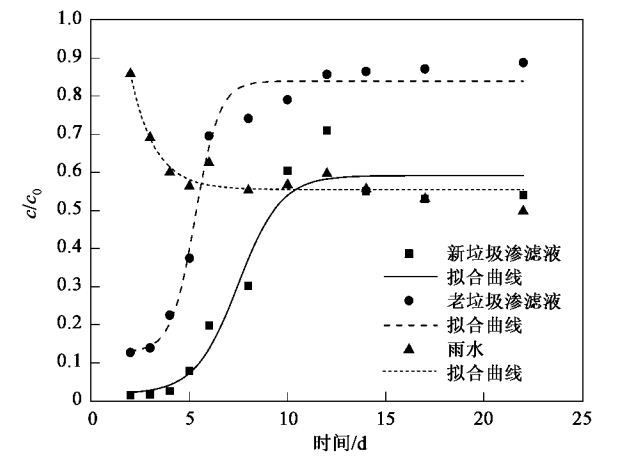


图 3 出水 COD 随时间的变化
Fig.3 Variations of COD with time in aqueous

2.3 生物活性与氮之间的关系

图 4 表明新垃圾渗滤液 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的衰减与生物活性的变化无明显的相关性,其衰减率均在 75% 以上.新老垃圾渗滤液中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 分别在前 15 d、10 d 以平均 $15 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 的速度增加,在这一阶段 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的衰减主要以吸附和离子交换作用为主;从图 1 可知,新老垃圾渗滤液出水的微生物活性先后都有急剧升高的变化,新垃圾渗滤液出水的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 没有明显的突变,而老垃圾渗滤液出水的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 在第 10 d 开始急剧升高,一方面,说明介质的吸附作用已达到饱和状态,其对 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的吸附容量约为 0.85 g/kg ;另一方面,说明垃圾渗滤液的性质对 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的衰减有重要影响,老垃圾渗滤液污染体系更有利于含氮有机物的生物转化, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的生成量大于衰减量.在第 10 d 后,老垃圾渗滤液出水中

$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的浓度以 $64 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$ 的速度急剧增加.雨水中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 随时间没有明显变化.

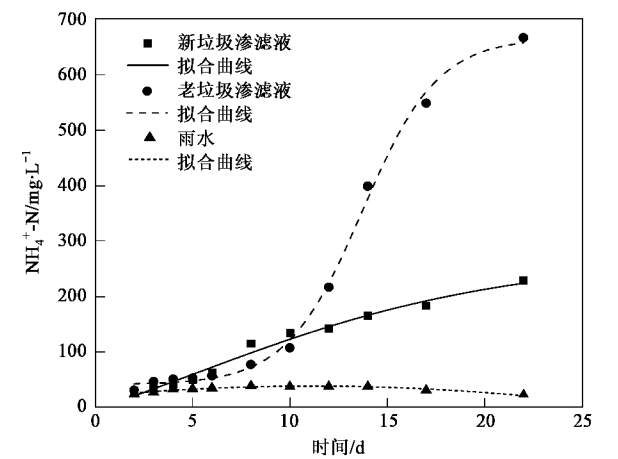


图 4 出水 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 随时间的变化
Fig.4 Variations of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ with time in aqueous

从图 5 可以看出,3 种渗滤液出水中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度的变化规律基本相同,均呈先急剧下降然后保持相对稳定的变化趋势.

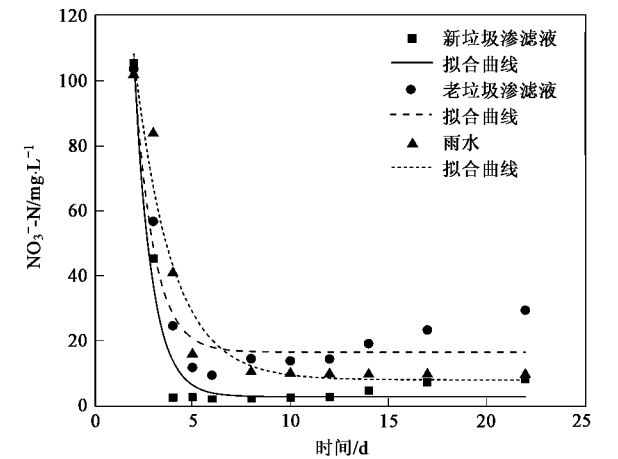


图 5 出水 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 随时间的变化
Fig.5 Variations of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ with time in aqueous

2.4 生物活性与 pH 之间的关系

图 6 表明 3 种渗滤液出水的 pH 随时间均呈不断升高的趋势. pH 的平均升高速度新渗滤液为 $0.074/\text{d}$ 、老垃圾渗滤液为 $0.15/\text{d}$ 、雨水为 $0.055/\text{d}$.有机物降解过程 CO_2 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的生成是渗滤液 pH 升高的主要原因,由于老垃圾渗滤液中的有机物多为难降解有机物,因此老垃圾渗滤液 pH 的升高速度大于新渗滤液说明 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的生成是导致 pH 升高的主要原因,这也再一次说明老垃圾渗滤液污染体系更有利于含氮有机物的生物转化.雨水的 pH 在初

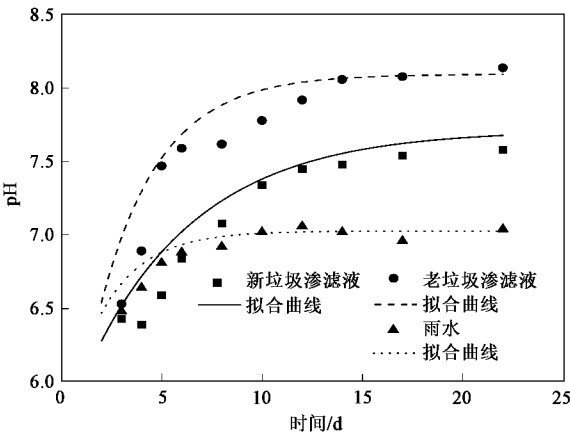


图 6 出水 pH 随时间的变化
Fig.6 Variations of pH with time in aqueous

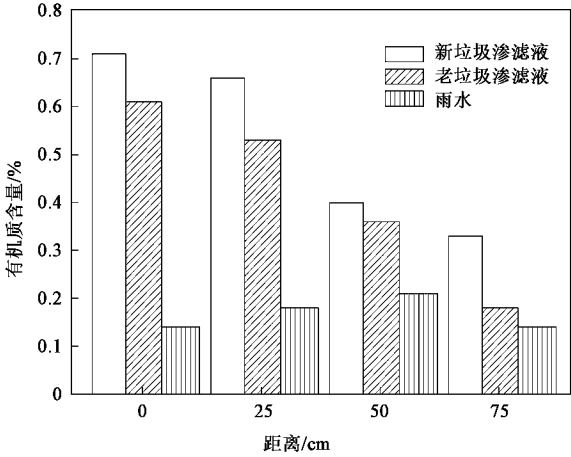


图 8 沉积物中有机质含量随距离的变化
Fig.8 Variations of organic substrate with distance in sediments

始阶段略有升高,第 5 d 后保持相对稳定.

2.5 含水层介质性质的变化

图 7 和图 8 表明了沉积物中的生物活性和有机质含量随距离的变化规律.可以看出,新老垃圾渗滤液污染的沉积物中生物活性和有机质含量均随距离的增加而下降,这说明沉积物中有机质的含量对微生物的活动有重要影响.在 90 cm 处,新渗滤液污染沉积物中有机质的含量较污染源附近降低约 54.3%,而老渗滤液污染沉积物中有机质含量则降低 72.13%,主要原因是老渗滤液中的有机物质多为难微生物利用的大分子有机物,在迁移过程中容易被地层介质吸附、拦截;另外,老渗滤液污染造成的偏碱性环境在一定程度上也可能影响有机物质的迁移.雨水经过的沉积物中有机质的含量随距离的增加呈先升高后降低的变化趋势,这说明雨水能够使介质中的部分有机质发生迁移.

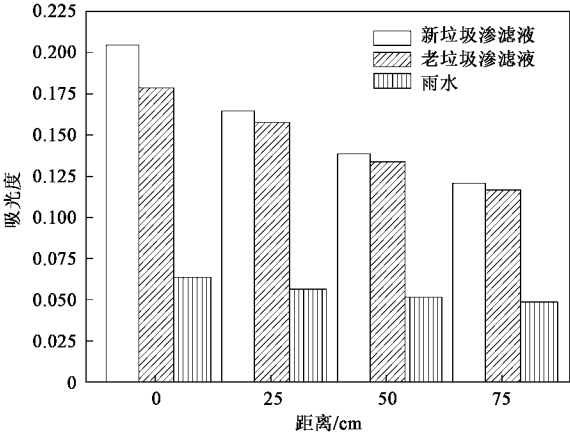


图 7 沉积物中生物活性随距离的变化
Fig.7 Variations of bacterial activity with distance in sediments

3 结论

(1) 渗滤液的性质、有机物的可生化性等对微生物的生长有重要影响.新垃圾渗滤液、老垃圾渗滤液和雨水出水的微生物活性分别可达到最大,为 0.154、0.121 和 0.044.

(2) 渗滤液的性质对含水层中不同污染物的衰减有重要影响.与 COD 的变化相比,新垃圾渗滤液中生物活性的变化与 COD 变化同步,而老垃圾渗滤液生物活性的变化则具有明显的滞后性;新垃圾渗滤液 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的衰减与生物活性的变化无明显相关性,老垃圾渗滤液污染体系更有利于含氮有机物的生物转化.

(3) 新老垃圾渗滤液以及雨水经过含水层时 pH 均有不同程度的升高,平均升高速度分别为 0.074/d、0.15/d 和 0.055/d.

(4) 新老垃圾渗滤液污染的沉积物中生物活性和有机质含量均随距离的增加而下降,新渗滤液污染沉积物中有机质的含量较污染源降低约 54.3%,老渗滤液污染沉积物中有机质含量降低约 72.13%.

参考文献:

[1] Northcott G L, Jones K C. Experimental approaches and analytical techniques for determining organic compound bound residues in soil and sediment [J]. Environ Pollution, 2000, 108: 19-43.
[2] 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.
[3] Rügge K, Bjerg P L, Mosbæk H, et al. Fate of MCPP and atrazine in an anaerobic landfill leachate plume (Grindsted, Denmark) [J]. Wat Res, 1999, 33(10): 2455-2458.
[4] Larsen T, Kjeldsen P, Christensen T H. Correlation of benzene, 1,

- 1,1-trichloroethane, and naphthalene distribution coefficients to the characteristics of aquifer materials with low organic carbon content [J]. *Chemosphere*, 1992, **24**: 979-991.
- [5] Baun A, Reitzel L A, Ledin A, *et al.* Natural attenuation of xenobiotic organic compounds in a landfill leachate plume (Vejen, Denmark) [J]. *J Contam Hydrol*, 2003, **65**(3-4): 269-291.
- [6] Lønborg M J, Engesgaard P, Bjerg P L, *et al.* A steady state redox zone approach for modeling the transport and degradation of xenobiotic organic compounds from a landfill site [J]. *J Contam Hydrol*, 2006, **87**: 191-210.
- [7] 董军, 赵勇胜, 韩融, 等. 垃圾渗滤液污染羽在地下环境中的分带现象研究 [J]. *环境科学*, 2006, **27**(9): 1901-1905.
- [8] 董军, 赵勇胜, 张伟红, 等. 渗滤液中有机污染物在不同氧化还原带中的降解机理与效率研究 [J]. *环境科学*, 2007, **28**(9): 2041-2045.
- [9] Oman C, Rosqvist H. Transport fate of organic compounds with water through landfills [J]. *Water Res*, 1999, **33**(10): 2247-2254.
- [10] 董军, 赵勇胜, 张伟红, 等. 垃圾渗滤液中重金属在不同氧化还原带中的衰减 [J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(6): 743-747.
- [11] 姜必亮, 王伯荪, 蓝崇钰, 等. 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, **21**(5): 32-37.
- [12] Chang B V, Shiung L C, Yuan S Y. Anaerobic biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbon in soil [J]. *Chemosphere*, 2002, **48**: 717-724.
- [13] Bogan B W, Sullivan W R. Physicochemical soil parameters affecting sequestration and mycobacterial biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil [J]. *Chemosphere*, 2003, **52**(7): 1717-1726.
- [14] Calace N, Liberatori A, Petronio B M, *et al.* Characteristics of different molecular weight fractions of organic matter in landfill leachate and their role in soil sorption of heavy metals [J]. *Environ Pollut*, 2001, **113**: 331-339.
- [15] Swisher R, Carroll G C. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surfaces [J]. *Microbial Ecology*, 1980, **6**: 217-226.
- [16] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.