

垃圾填埋场渗滤液污染特性分析

李广科, 牛 静, 云 洋, 王爱英, 席玉英, 桑 楠

(山西大学环境与资源学院, 山西 太原 030006)

摘 要:分析了太原市新沟垃圾填埋场渗滤液的水质特征,并以 COD_Cr 作为主要指标探讨了垃圾中有机成分、含水率,以及 C、H、O、N 等元素含量对渗滤液水质的影响。在此基础上,利用植物检测系统考察了渗滤液对种子萌发和幼苗生长的毒性效应。结果表明,太原市新沟垃圾填埋场渗滤液有机污染物浓度高、水质随季节变化较大,垃圾中有机成分、含水率以及 C、H、O、N 等元素含量影响渗滤液水质,可能改变其污染特性。高浓度渗滤液可抑制植物萌发和幼苗的正常生长,且表现出对染毒浓度和处理时间的双重依赖性;但低浓度渗滤液对植物萌发和幼苗生长过程没有显著影响,甚至在一定浓度条件下可促进植物的生长发育。

关键词:垃圾渗滤液;垃圾成分;植物检测系统

中图分类号:X835 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)01-0333-05

Analysis on the Pollution Characteristics of Landfill Leachate

LI Guang-ke, NIU Jing, YUN Yang, WANG Ai-ying, XI Yu-ying, SANG Nan

(College of Environmental Science and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract:The physical and chemical characteristics of leachate in Xingou landfill of Taiyuan were analyzed, and the effects of physical composition and chemical element in municipal solid waste (MSW) on the characteristics of leachate were also investigated using Chemical Oxygen Demand (COD_Cr) as an important index. In addition, the landfill leachate-induced toxicity to seed germination and plant growth was studied using plant-test system. The results indicated that the landfill leachate contained high concentration of organic matter, and its physical and chemical characteristics changed with season and were affected by the composition and chemical element of MSW. COD_Cr in leachate reached the highest values in summer, a raining season, and the lowest in the winter, a dry season. Hence, raining and penetration of rainwater had great effect on the leachate quality. At the same time, the seasonal change of organic matters and C, H, O, N elements in MSW contributed to COD_Cr in leachate that increased with increasing percentage of organic matters and C, H, O, N elements in MSW. Compared with the negative control, the seed germination and plant growth were restrained with the higher leachate concentration (COD_Cr 320~1 600 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) treated for 24, 48, 72, and 96 h, respectively, and the inhibition depended on the leachate concentration and the treatment time. However, low concentration of leachate did not affect, even improved, the seed germination and plant growth. 160 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ COD_Cr leachate increased the seed germination by $93.7 \pm 3.5\%$, $97.3 \pm 2.5\%$ and $100 \pm 0.0\%$ respectively for 24, 48 and 72 h exposure.

Keywords: landfill leachate; composition of municipal solid waste (MSW); plant-test system

垃圾填埋场渗滤液是垃圾经过堆积或填埋后因压实和生物降解作用使垃圾中原有的水、垃圾降解反应生成的水、场内渗入的雨水、地下水和地表水经过垃圾层过滤后渗出的污水,是一种具有污染物浓度高、持续时间长、流量不均匀、水质变化大等特征的有

机废水^[1,2]。一般情况下,渗滤液色度深且有恶臭,对周围水体及土壤等自然环境的污染程度要远比城市生活污水等高浓度有机污水大的多。这一废水若不经无害化处理,将严重污染周围的土壤和水系,并通过食物链直接或间接地进入人体,危害人类健康。

目前国内外已开发出了多种渗滤液的处理技术,但到目前为止,较为经济的一种方法是在人为控制下,用渗滤液对邻近农林业用地进行灌溉从而达到对环境的自我净化^[1-6]。但是,由于渗滤液是含有多种污染物的高浓度污水,水质因垃圾成分变化较大,其中

收稿日期:2007-01-31

基金项目:国家自然科学基金(20607013);山西省青年科学基金(20051043)

作者简介:李广科(1971—),男,山西文水人,博士,副教授,主要从事水污染控制与资源化方向的研究工作。

E-mail: lgkcarl@yahoo.com.cn

含有植物生长所需的多种营养元素,同时也含有较高的氨氮、有机物、重金属离子和某些有毒物质,其污染特性分析备受关注^[2-6]。

为此,本文分析了太原市新沟垃圾填埋场渗滤液的主要水质特征,并以 COD_{Cr} 作为代表性指标探讨了垃圾成分(有机成分,含水率,以及 C、H、O、N 等元素)对渗滤液水质变化的影响;在此基础上利用植物检测方法(大麦和蚕豆)对渗滤液的毒性进行了评价^[7,8]。通过本研究旨在从生态效应的角度探讨渗滤液作为“液体有机肥”的可行性,为渗滤液的土地处理及其污染控制提供实验依据。

1 实验方法

1.1 垃圾填埋场基本情况

实验用垃圾渗滤液采自山西省太原市新沟垃圾卫生填埋场。该垃圾填埋场属于北方高原山谷型垃圾填埋场,已使用 14 年,占地 280.29 万 m^2 。垃圾场周围无地表水水源,地下水水位低,渗滤液主要来源于雨水(雪)的渗入及垃圾本身的分解。因此,渗滤液水质受季节、气候和垃圾组成的影响较大。

1.2 渗滤液样品采集与分析

从 2001 年 12 月到 2002 年 9 月,在太原市新沟垃圾卫生填埋场出水池布点,定期采样,将所采集的渗滤液过 80 目筛网,除掉其中的杂质,测定水样的 COD_{Cr} (快速测定法,以标准法校正^[9]),色度(稀释倍数法)、浊度(WGZ-200 型浊度仪测定)和 pH 值(pH 酸度计测试)等理化指标。

6 月份采集的渗滤液样品除进行理化测试外,保存用于植物毒性检测。

1.3 生活垃圾样品采集与分析

从 2001 年 10 月到 2002 年 12 月,选取太原市城区 10 个具代表性的垃圾中转站(垃圾运至新沟卫生填埋场),采集新鲜垃圾,用四分法定期采样。在实验室将样品充分混合均匀,用四分法得到 25 kg 垃圾,进行物理成分分析;取 500 g 垃圾测定垃圾水分后,将其混合制成粒径小于 0.5 mm 的干样测定化学元素^[10]。

1.4 利用植物系统检测渗滤液毒性

1.4.1 渗滤液对大麦种子萌发和幼苗生长发育的影响

(1)大麦种子萌发:选籽粒饱满的大麦种子,25℃浸种 3 h,滤纸法发芽,25℃恒温箱培养,每隔 24 h 检查萌发种子数目。

(2)大麦幼苗生长实验:选籽粒饱满的大麦种子,

于 25℃自来水浸种 3 h,摆放于培养皿中湿滤纸上,25℃恒温箱培养。在种子萌发后,选发育整齐一致的籽粒用于生长毒性试验。

对照组用自来水,处理组用不同浓度渗滤液培养(渗滤液用自来水稀释,其 COD_{Cr} 分别为 80、160、320、800 和 1 600 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$),实验设 3 个重复。每隔 12 h 换一次培养液,每隔一定时间测量不同浓度处理组 30 株幼苗的芽长和最长幼根的长度,计算各处理组的单株平均值,作为该组的长度值。

1.4.2 渗滤液对蚕豆幼苗生长发育的影响

蚕豆种子经 5%的次氯酸钠浸泡 20 min 后,水冲洗,于 23℃自来水中浸泡 36 h,其间每 12 h 换水一次,湿纱布包裹催芽 24 h。选根长 1.0~1.5 cm 的蚕豆随机分组,用于实验。

对照组用自来水,处理组用不同浓度渗滤液培养(渗滤液用自来水稀释,其 COD_{Cr} 分别为 80、160、320、800 和 1 600 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$),实验设 3 个重复。每 12 h 换一次处理液,每隔一定时间测量不同浓度处理组 30 株幼苗的根、芽长度,计算各处理组的单株平均值,作为各组幼苗的根长和芽长。

2 结果与分析

2.1 渗滤液水质特征分析

表 1 监测数据表明,渗滤液有机物浓度 COD_{Cr} 值在 $1.5\times 10^3\sim 11\times 10^3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内,浊度范围为 500~900 NTU,色度 64~1 024 倍,pH 值偏碱性,介于 7.2~8.8 之间。6 月份进入夏季,气温升高,雨水增多,填埋场内垃圾的厌氧分解速度加快,大量的碳氢化合物分解成有机酸后再分解成低脂肪酸,在雨水的冲刷作用下进入渗滤液,使渗滤液各项污染物浓度达到最高, COD_{Cr} 为 $1.08\times 10^4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,浊度 891 NTU,pH 值达到 7.22 最低值,此时渗滤液浓度高,颜色深,有极强的腐臭气味。8 月份,雨水比较集中,渗滤液产量较大,在雨水的稀释作用下,污染物浓度下降, COD_{Cr} 为 $3.96\times$

表 1 渗滤液水质特征全年监测结果
Table 1 Physical and chemical characteristics of landfill leachate for one year

采样时间	12/01	3/02	6/02	8/02	9/02
$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2.28×10^3	1.86×10^3	1.08×10^4	3.96×10^3	1.54×10^3
浊度/NTU	700	509	891.25	720.5	646
色度	128	64	1 024	512	256
pH 值	8.41	8.13	7.22	8.07	8.75
温度/℃	12	19.5	25	29	21

$10^3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 浊度 720.5 NTU, pH 值为 8.07。9 月份, 气温开始下降, 垃圾厌氧分解作用降低, 在雨水的进一步稀释下, COD_{Cr} 降到最低 $1.54 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 此时渗滤液的 pH 值为全年最高 8.75。12 月份, 进入冬季, 雨水开始减少, 垃圾分解产生的有机污染物得不到稀释, COD_{Cr} 浓度开始上升, 渗滤液的色度降低, 腐臭味减少, 3 月份渗滤液的色度最低为 64 倍, 浊度为 509 NTU。

2.2 垃圾成分对渗滤液 COD_{Cr} 的影响

2.2.1 垃圾中易腐有机成分对 COD_{Cr} 的影响

垃圾中易腐有机物主要为动、植物残体等。由图 1 可看出, 易腐有机物在夏季和冬季含量较高(数据见表 2)。这是由于夏季温度较高, 肉类、蔬菜易腐烂; 而冬季恰是我国春节, 肉类、蔬菜消耗量也较大。与表 1 中渗滤液 COD_{Cr} 的季节变化相比, 垃圾中有机成分的变化趋势与渗滤液 COD_{Cr} 的变化趋势基本一致。8 月份有机物含量最高, 渗滤液的 COD_{Cr} 值在 6—8 月份达到全年最高。在此过程中, 8 月份渗滤液的 COD_{Cr} 值比 6 月份有大幅降低, 这主要是因为 6 月份后进入雨季, 雨水作用下稀释渗滤液所致。

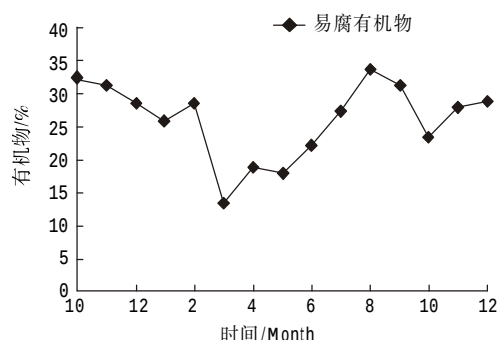


图 1 垃圾有机成分对 COD_{Cr} 的影响

Figure 1 The seasonal change of organic matters in MSW

2.2.2 垃圾含水率对 COD_{Cr} 的影响

垃圾含水率是影响填埋垃圾降解速率的直接因素。太原新沟垃圾填埋场垃圾中有机物百分含量小于 50%, 含水率大部分约在 40%~50%之间, 较适于微生物的降解作用^[4]。由图 2 可看出, 7—9 月份垃圾中含水率较高, 主要是由于这段时间温度较高, 填埋场内

垃圾厌氧分解加速所致。这一过程造成渗滤液产生量加大, 其 COD_{Cr} 升高。

2.2.3 垃圾中 C, H, O, N 元素对 COD_{Cr} 的影响

C、H、O、N 元素是有机物的主要组成元素。由图 3 可以看出, 它们与有机物的季节变化趋势基本一致, 3 月份含量最低, 8 月份含量较高。由于北方冬季有燃煤取暖的习惯, 导致 C、O 元素在冬季的含量也较高; 受秋季蔬菜丰富和枯枝落叶的影响, 垃圾中的 N 元素秋季含量较高(数据见表 2)。这些元素含量的升高对渗滤液 COD_{Cr} 值的增加有较大贡献。

2.3 渗滤液对大麦和蚕豆幼苗生长的影响

2.3.1 垃圾渗滤液对大麦种子萌发和幼苗生长的影响

由表 3 可以看出, 当垃圾渗滤液 COD_{Cr} 值达到 $320 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 开始对大麦种子的萌发产生抑制作

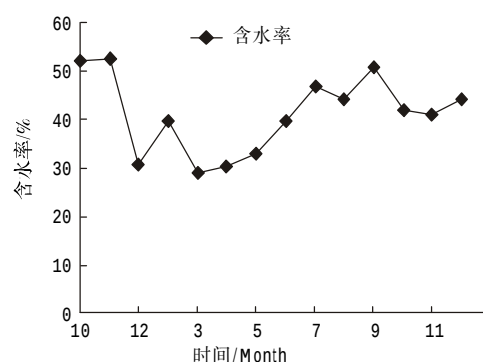


图 2 垃圾含水率的月份变化趋势

Figure 2 Monthly change of the moisture in MSW

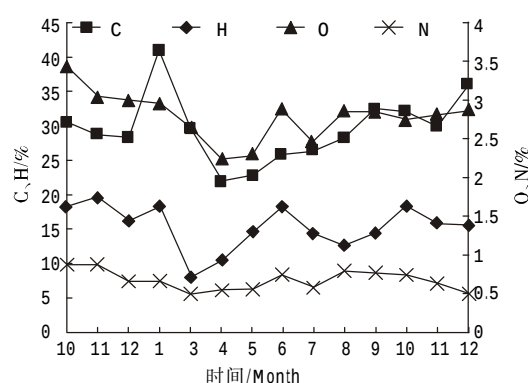


图 3 垃圾中 C, H, O, N 元素的月份变化趋势

Figure 3 Monthly change of C, H, O, N element in MSW

表 2 生活垃圾的物理化学成分季节变化表 (%)

Table 2 The seasonal change of physical composition and chemical elements in MSW (%)

	易腐有机物	含水率	C	H	O	N
春季平均	16.71	30.68	24.79	11.09	2.39	0.55
夏季平均	27.78	43.57	26.79	15.06	0.74	0.72
秋季平均	27.47	44.50	31.59	16.31	2.81	0.71
冬季平均	27.74	41.91	38.45	17.04	2.92	0.59

表 3 渗滤液对大麦种子萌发率的影响

Table 3 The impact of landfill leachate on seed germination of *Hordeum vulgare*

COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	处理时间		
	24 h	48 h	72 h
0	97.0±3.0	99.0±1.0	99.7±0.6
80	82.3±9.3	94.0±6.1	97.3±2.5
160	93.7±3.5	97.3±2.5	100.0±0.0
320	63.7±11.0*	90.3±6.5	96.0±4.6
800	70.7±4.5**	89.0±6.0*	94.3±5.0
1 600	18.7±6.5**	32.0±7.0**	32.3±7.0**
萌发率(y)与 COD _{Cr} (x)关系式	y=-0.043 6x+92.541	y=-0.03 9x+102.83	y=-0.039 9x+106.27
相关系数 R	0.93	0.93	0.91

注:与阴性对照组相比,* P<0.05,差异显著;** P<0.01,差异极显著。

用,浓度越高发生抑制作用越强。处理 24 h 时,COD_{Cr} 1 600 mg·L⁻¹ 处理组萌发率最低。在处理 24~72 h 间,COD_{Cr} 80~800 mg·L⁻¹ 处理组的萌发率均有所提高,缩小了与对照组之间的差异,72 h 后不同处理组之间大麦种子的发芽势无明显差异;而 COD_{Cr} 1 600 mg·L⁻¹ 处理组 24~48 h 间,萌发率有所增加,48 h 后萌发率基本未发生变化,显著低于其他处理组。结果表明,高浓度垃圾渗滤液处理能够阻滞大麦种子萌发,推迟种子发芽,部分种子不能萌发;且抑制作用对时间有依赖性,即处理时间越长,抑制作用越明显。

图 4 为经不同浓度垃圾渗滤液培养后大麦幼根的生长曲线,由图中可以看出,COD_{Cr} 为 80 mg·L⁻¹ 的处理组对大麦幼根生长无明显抑制效应;COD_{Cr} 为 160 mg·L⁻¹ 的处理组,在处理 72 h 后与对照组产生差异(P<0.05),随着时间的延长,差异显著性增大;COD_{Cr} 为 320 mg·L⁻¹ 处理组在 24 h 时即与对照组呈现出非常显著的差异(P<0.01),随处理时间的延长,差异增大;COD_{Cr} 为 800 mg·L⁻¹ 处理组大麦幼根长度在 48 h 内有所增加,之后的生长极为缓慢,增幅较小(P<0.01);COD_{Cr} 为 1 600 mg·L⁻¹ 处理组的幼根在试验测试期间始终处于生长停滞状态(P<0.01)。由此可见,一定浓度的垃圾渗滤液能够抑制大麦幼根的生长,随着处理液浓度的增大,幼根长度线性递减;随着处理时间的延长,处理组与对照组之间的差异增大,表现为对处理液浓度和作用时间的双重依赖性。

通过测量不同浓度垃圾渗滤液培养后大麦幼芽的长度,可以看出(见图 5):由于幼芽出现在实验开始后的 48 h 左右,因此在处理 72 h 时高浓度组与对照组的芽长出现一定的差异,而低浓度组在处理早期幼苗的芽长无明显差异,但随着作用时间的延长各不同浓度处理组间的芽长差异增大,处理液浓度越高,与对照组的差异越大,表现为对处理浓度和时间的双重

依赖。由图 5 可知,COD_{Cr} 为 80 mg·L⁻¹ 的处理组对大麦幼芽生长无明显抑制作用;COD_{Cr} 为 160 mg·L⁻¹ 的处理组,在处理 72 h 后与对照组产生差异(P<0.05),随着时间的延长,差异显著性增大;COD_{Cr} 为 320 mg·L⁻¹ 和 800 mg·L⁻¹ 处理组在 72 h 时即与对照组呈现出非常显著的差异(P<0.01),随处理时间的延长,二者的幼芽长度均有所增加,但与对照组之间的差异增大;而 COD_{Cr} 为 1 600 mg·L⁻¹ 处理组的大麦没有萌生

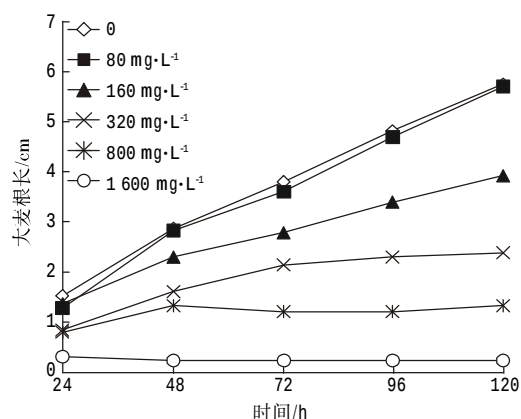


图 4 渗滤液对大麦幼根生长的影响

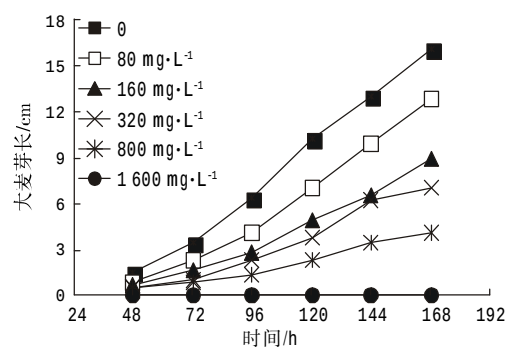
Figure 4 The impacts of landfill leachate on root-growth of *Hordeum vulgare*

图 5 渗滤液对大麦幼芽生长的影响

Figure 5 The impacts of landfill leachate on bud-growth of *Hordeum vulgare*

新芽。

2.3.2 垃圾渗滤液对蚕豆幼苗生长的影响

图6为经不同浓度垃圾渗滤液培养后蚕豆幼根的生长曲线,由图中可以看出, COD_{Cr} 为 $80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $160\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组对蚕豆幼根生长无明显抑制效应; COD_{Cr} 为 $320\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组,在处理48 h后与对照组产生差异($P<0.05$),随着时间的延长,差异显著性增大; COD_{Cr} 为 $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组在24 h时即与对照组呈现出非常显著的差异($P<0.01$),随处理时间的延长,差异增大; COD_{Cr} 为 $1\ 600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组的幼根在实验测试期间始终处于生长停滞状态($P<0.01$)。由此可见,一定浓度的渗滤液能够抑制蚕豆幼根的生长,随着处理液浓度的增大,幼根长度线性递减;随着处理时间的延长,处理组与对照组之间的差异增大,表现为对处理液浓度和作用时间的双重依赖性。

由于蚕豆幼芽出现在实验开始后的48 h左右,因此在处理72 h时高浓度组与对照组的芽长出现一定的差异,而低浓度组在处理早期幼苗的芽长无明显差异,但随着作用时间的延长各不同浓度处理组间的芽长差异增大,处理液浓度越高,与对照组的差异越大,表现为对处理浓度和时间的双重依赖。由图7可

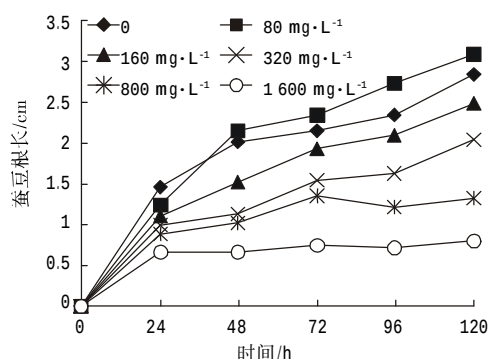


图6 渗滤液对蚕豆幼根生长的影响

Figure 6 The effects of landfill leachate on root-growth of *Vicia faba*

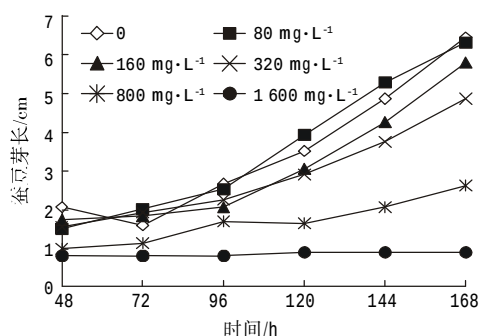


图7 渗滤液对蚕豆幼苗生长的影响

Figure 7 The effects of landfill leachate on bud-growth of *Vicia faba*

知, COD_{Cr} 为 $80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $160\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组对大麦幼芽生长无明显抑制作用; COD_{Cr} 为 $320\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组,在处理120 h后与对照组产生差异($P<0.05$),随着时间的延长,差异显著性增大; COD_{Cr} 为 $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组在72 h时即与对照组呈现出非常显著的差异($P<0.01$),随处理时间的延长,二者的幼芽长度均有所增加,但与对照组之间的差异增大;而 COD_{Cr} 为 $1\ 600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组的蚕豆没有萌生新芽。

3 小结

(1)本研究以 COD_{Cr} 作为代表性指标,分析了太原市新沟垃圾填埋场渗滤液的特性。结果表明,垃圾中有机成分,含水率,以及C、H、O、N等元素含量影响渗滤液水质,可能改变其污染特性。

(2)植物检测实验结果表明,高浓度渗滤液可抑制植物萌发和幼苗的正常生长,且表现出对染毒浓度和处理时间的双重依赖性;但低浓度渗滤液对植物萌发和幼苗生长过程没有显著影响,甚至在一定浓度条件下可促进植物的生长发育,这可能是渗滤液中含有大量的N、P等植物生长必须营养元素所致。这一结果提示,垃圾渗滤液对生态环境具有双重效应,在人为控制条件下可实现渗滤液的农林业用地灌溉,并探讨渗滤液作为“液体有机肥”的可行性。

参考文献

- [1] Shrive S C, McBride R A, Gordon A M. Photosynthetic and growth responses of two broad-leaf tree species to irrigation with municipal landfill leachate [J]. *Environmental Quality*, 1994, 23: 534-542.
- [2] 王如意, 何晶晶, 邵立明. 渗滤液灌溉对香根草胁迫及抗氧化系统的影响[J]. *中国环境科学*, 2005, 25(2): 155-159.
- [3] Sang N, Li G K, Xin X Y. Municipal landfill leachate induces cytogenetic damage in root tips of *Hordeum vulgare* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2006, 63: 469-473.
- [4] Sang N, Li G K. Genotoxicity of municipal landfill leachate on root tips of *Vicia faba* [J]. *Mutation Research*, 2004, 560: 159-165.
- [5] 姜必亮, 王伯荪, 蓝崇钰. 垃圾填埋场渗滤液灌溉后重金属的生态效应[J]. *中国环境科学*, 2001, 21(1): 18-23.
- [6] Schrab G E, Brown K W, Donnelly K C. Acute and genetic toxicity of municipal landfill leachate [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1993, 69 (1-2): 99-112.
- [7] Yi H L, Meng Z Q. Genotoxicity of hydrated sulfur dioxide on root tips of *Allium sativum* and *Vicia faba* [J]. *Mutation Research*, 2003, 537: 109-114.
- [8] Jones D L, Williamson K L, Owen A G. Phytoremediation of landfill leachate [J]. *Waste Management*, 2006, 26(8): 25-37.
- [9] 陈若嫩, 陈青萍. 环境监测实验[M]. 上海: 同济大学出版社, 1993.
- [10] 席玉英. 城市生活垃圾理化性质的动态特性分析[J]. *上海环境科学*, 2002, 21(12): 721-724.