农业环境科学学报 2011,30(1):42-48
Journal of Agro-Environment Science

废弃农药厂污染场地浅层地下水生态毒性诊断研究

宋晓威[1,2,3], 徐 建[2,3], 张孝飞[2,3], 赵 欣[2,3], 林玉锁[2,3*]

(1.南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095;2.环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042;3.国家环境保护土壤环境管理与污染控制重点实验室, 南京 210042)

摘 要:选择大型溞、斜生栅藻、发光菌为试验生物,对某废弃农药厂污染场地4个不同区域土壤剖面浅层地下水编号为CP01、CP02、CP03、CP04的4种水样进行了急性毒性试验,同时对水样进行了化学分析。结果表明,4种水样对大型溞的24 h-EC_{50}分别为0.29%、5.12%、0.83%、1.99%;对斜生栅藻的96 h-EC_{50}分别为11.04%、50.44%、12.21%、41.66%;对费舍尔弧菌的发光抑制率分别为95%、66%、88%、75%。化学检测结果表明,CP01中的主要污染物为苯系物与少量烷烃、烯烃类多种物质,CP02中的污染物质只有少量二氯甲烷与1,2-二氯乙烷两种物质,CP03、CP04中的主要污染物为苯系物与烷烃多种物质。毒性试验结果与化学检测结果具有较好的相关性,3种试验生物的毒性效应结果相一致。该研究方法简单快速,可以用于污染场地水样污染毒性诊断,快速筛选出敏感区域,同时提供污染物质的联合毒性基础数据,为场地进一步危害识别与风险评估提供依据。

关键词:污染场地;大型溞;斜生栅藻;费舍尔弧菌;联合毒性;污染诊断;风险评估
中图分类号:X830.2 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2011)01-0042-07

Ecology Toxicity Diagnostic Research on an Abandoned Pesticide Factory Contaminated Site of Shallow Groundwater

SONG Xiao-wei[1,2,3], XU Jian[2,3], ZHANG Xiao-fei[2,3], ZHAO Xin[2,3], LIN Yu-suo[2,3*]

(1.College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection of China, Nanjing 210042, China; 3.State Environmental Protection Key Laboratory of Soil Environmental Management and Pollution Control, Nanjing 210042, China)

Abstract: *Daphnia magna*, *Scenedesnus obliquus*, *Vibrio fischeri* were chosen as experiment materials for acute biotoxicity tests for the contaminated shallow groundwater of a former pesticide factory site. The samples were analyzed qualitatively and quantitatively. The results showed that the 24 h-EC_{50} for the *Daphnia magna* of groundwater sample CP01, CP02, CP03, CP04 was 0.29%, 5.12%, 0.83%, and 1.99%. The 96 h-EC_{50} for the *Scenedesnus obliquus* was 50.44%, 11.03%, 12.21% and 41.66%. The *Vibrio fischeri* test results showed that the light-emitting loss of CP01, CP02, CP03, CP04 was 95%, 88%, 75%, and 66%. Chemical testing results found benzenes, olefins and alkane in the contaminated groundwater. The bio-toxicity test results exhibited a good correlation with the chemical test results. The toxicity effects of three kinds of experimental materials are consistent. This research method is simple, rapid, and can be used for water toxicity screening and rapid diagnosis of toxic pollutants at contaminated sites. Preliminary data can be obtained for estimating the joint toxicity, which will benefit hazard identification and risk assessment.

Keywords: contaminated sites; *Daphnia magna*; *Scenedesnus obliquus*; *Vibrio fischeri*; joint toxicity; pollution diagnosis; risk assessment

近年来,随着我国经济快速发展与产业结构调整,已搬迁或废弃工业污染场地数量剧增,这些遗留场地多数都要进行二次开发利用,如建设居民小区等,存在严重的污染隐患,亟待有效地管理与修复,进行初步的场地污染状况调查与诊断是场地管理决策的第一步与主要依据。场地污染调查诊断通常采用化学分析方法进行污染物的定性定量,但难以直观与全面地反映各种有毒有害物质对周边环境或生物的综合影响,为污染物对环境风险作出正确评价带来相当

收稿日期:2010-07-21
基金项目:国家863重大项目"农药类污染场地土壤修复技术设备与示范";公益性环保专项"污染场地快速诊断试验方法研究"(200809100)
作者简介:宋晓威(1984—),男,辽宁北宁人,硕士研究生,主要从事污染场地土壤调查与修复技术研究。
E-mail:refugeelosster@gmail.com
*通讯作者:林玉锁 E-mail:lys@nies.org

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的难度，而生物毒性试验可以弥补这方面的不足，并能够快速地提供污染介质的综合毒性状况。因此，有必要对污染场地污染介质进行生物毒性试验，得出并确定以生物毒性试验结果表现出的污染场地不同区域各污染介质的综合毒性效应，初步诊断污染场地的生物毒性，为进一步开展污染场地的危害识别与风险评价提供必要的数据支持与科学支撑。

发达国家早在 20 世纪 80 年代初期就制定了针对化学品生物毒性效应的一系列标准与工作指南[1]，如美国环保署、世界经济与合作发展组织及德国标准研究所等，大多数化学品的单一毒性都有一定的数据基础，但是污染场地的污染状况较为复杂，常以复合污染存在，而化学分析虽然具有灵敏度高、准确等优点，但是由于时间、费用以及对样品的不可知性使其在毒性的实际筛选中受到很大限制，此外，不同化合物彼此之间往往存在着协同或拮抗作用，最终的毒性作用并非各种单一物质作用的简单加减，因此应用生物方法对环境样品进行综合毒性效应测定能较好地解决以上的各种问题。

大型溞、斜生栅藻、发光菌是目前常用的试验生物，由于其快速、简便、有效、费用低等特点，已被广泛应用于标准化学品、农药的风险识别、工业废水监测等领域[6-8]，但多数以人工污染、单一毒性为主，应用到污染场地的生态毒性诊断研究少有报道[16]。鉴于此次调查的污染场地位于苏南太湖流域，场地周围水网发达，受到污染的浅层地下水很容易直接渗入周围的河道当中，在今后的场地修复和处置阶段，若处置不当也可能直接流入周边河道，故而选择水生生态系统中的水生动物、植物和微生物作为受试生物，初步诊断其对水生生态系统不同等级生物的危害，并为进一步开展危害识别、风险评估提供试验数据。

1　材料与方法

1.1　样品

该污染场地为主要生产苯系物与烃类物质的某农药厂拆迁后废弃空地，水样采自废水池、生活办公、生产车间等 4 个不同区域的土壤剖面浅层地下水，参考美国环境保护署制定的《场地风险评价导则与程序》所规定的采样方法完成水样的采集、贮存。原水样 CP01 的 pH 值为 7.49，溶解氧约为 4.8 mg·L^{-1}，有强烈刺激性气味，颜色呈微灰褐色；CP02 的 pH 值为 7.69，溶解氧约为 6.5 mg·L^{-1}，有轻微气味，颜色呈淡黄色；CP03 的 pH 值为 7.35，溶解氧约为 7.2 mg·L^{-1}，颜色呈淡褐色，轻微气味；CP04 的 pH 值为 7.53，溶解氧约为 6.9 mg·L^{-1}，颜色呈淡黄色，轻微气味。

1.2　试验生物

大型溞（*Daphnia magna*）实验室条件下，以斜生栅藻扩大培养液培养[温度保持（20±1）℃]，试验用溞均来自同一母体及在实验室条件下培养 3 代以上、出生 6~24 h 以内的幼溞。

斜生栅藻（*Scenedesnus obliquus*）购自中国科学院水生生物研究所淡水藻种库，采用 SE 培养基接种培养。配制好的培养基在 120 ℃下高压灭菌 30 min，无菌操作台中接种，在恒温摇床中以 24 ℃，光强（4 000±200）lx，120 r·min^{-1} 恒温同步连续培养至对数生长期备用。

发光菌（*Vibrio fischeri*）费舍尔弧菌，一种深海发光菌，购自格维恩科技有限公司，冰箱中冷冻保存。

1.3　试验器材

同一规格 100 mL 小烧杯、250 mL 三角瓶，试验前超声清洗烘干备用，移液枪，手提式 pH/溶氧仪（pH/Oxi 340i），无菌操作台（苏净 SW-CJ-1F），高压灭菌锅（MLS-3750），恒温摇床（Innova 43R），紫外分光光度计（日本岛津 UV-2450），GC-MS（Aglilent7890A/5975C），Deltatox 便携式毒性测定仪。

1.4　试验方法[10-14]

试验稀释用水均为经 24 h 以上人工曝气除氯的自来水，水温（21±2）℃，溶解氧约为 8.1 mg·L^{-1}，pH 值为 7.0 左右。

大型溞：首先进行 24 h 预试验，得到完全抑制大型溞运动的原水样最低体积分数与无抑制大型溞运动的原水样最高体积分数，然后在此范围内按照几何级数设置 5 个稀释浓度梯度，每个稀释浓度梯度重复 4 次，同时设置空白对照组。根据预试验结果，各水样正式试验稀释浓度梯度分别设置为：CP01 为 0.10%、0.20%、0.30%、0.40%、0.50%；CP02 为 4.4%、4.8%、5.2%、5.6%、6.0%；CP03 为 0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%；CP04 为 1.2%、1.6%、2.0%、2.4%、2.8%。试液总体积为 50 mL，每个烧杯放入 5 只大型溞。试验采用静水式，在 21 ℃水浴中进行，试验周期为 24 h，每隔 4 h 记录大型溞运动抑制情况并记录。试验期间至少测定 2 次 pH 与溶解氧。

斜生栅藻：首先进行 48 h 预试验，得到各水样对斜生栅藻产生 5%~80%左右的生长抑制效应范围，然后在此范围内按照几何级数设置 5 个稀释浓度梯度，每个稀释浓度梯度重复 3 次，同时设置空白对照组，

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

空白对照组重复 4 次。根据预试验结果,各水样正式试验稀释浓度梯度分别设置为:CP01 为 5%、10%、15%、20%、25%;CP02 为 35%、45%、55%、65%、75%;CP03 为 5%、15%、25%、35%、45%;CP04 为 20%、30%、40%、50%、60%。将培养好的斜生栅藻藻液(吸光度≈0.300)与各稀释浓度梯度水样以 1:1 比例(总体积 100 mL)混合置于 250 mL 三角瓶中,摇匀。空白对照组只加入 50 mL 斜生栅藻藻液与 50 mL 培养基。在恒温摇床中以 24 ℃,光强 (4 000±200) lx,120 r·min^{-1} 恒温、连续光照一次性培养,试验周期持续 96 h,每隔 24 h 取 1 次样,用分光光度计在 650 nm 波长下测定其吸光度。

发光菌:选用费舍尔弧菌(*Vibrio fischeri*),采用 Deltatox 便携式毒性测定仪测定。具体测定方法为:仪器开机自检,调至 B-Tox 模式,测试过程如下:①菌种培养:在每只装有菌种的试管中,准确加入 310 μL 稀释液,混匀后计时培养 15 min。②控制样配置:移取 1 000 μL 稀释液到新的玻璃瓶中,将其放置在试管架第一排。③水样的配置:首先在每只试管中加入 100 μL 渗透压调节液,再加入 1 000 μL 待测样品,混匀待测,放至控制样之后。④检测菌种原始发光值:15 min 培养时间结束后,将培养好的菌种再次混匀,再用移液枪按每管 100 μL,分装至第二排试管中。打开仪器分别测定第二排各试管中原始发光值。⑤样品与菌种混合反应 5 min:测定菌种原始发光值后,迅速将第一排各水样移取 900 μL 加入到对应的第二排试管中,加完后,按 Stop 键,仪器自动 5 min 倒计时。轻轻平摇,使样品与菌种充分混匀放回对应位置。⑥检测 5 min 反应后菌种发光值。

1.5 数据处理

采用 SPSS13.0 单位概率回归分析(probit analysis)方法估算水样对大型溞的 24 h-EC_{50} 及其 95%置信区间和水样对斜生栅藻 96 h-EC_{50} 及其 95%置信区间,同时做出水样对大型溞与斜生栅藻的剂量-效应关系曲线图。

2 结果与分析

2.1 大型溞急性毒性试验

4 种水样原水对大型溞均具有很高的急性毒性,放入大型溞后,随即反应异常,运动加快且呈现无序、不正常游动状态,几分钟过后均失去运动能力,全身发白死亡。空白对照组大型溞未出现死亡、运动受抑制等异常症状。CP01、CP02、CP03、CP04 对大型溞无运动抑制与 100%运动抑制百分数分别为 0.10%、4.0%、0.2%、0.8%和 0.6%、6.4%、1.4%、3.2%,预试验即可初步断定各水样对大型溞的毒性作用大小差异。根据正式试验结果,得出各水样对大型溞运动受抑制结果分别为:CP01 对大型溞 24 h-EC_{50} 为 0.29%,CP02 对大型溞 24 h-EC_{50} 为 5.12%,CP03 对大型溞 24 h-EC_{50} 为 0.83%,CP04 对大型溞的 24 h-EC_{50} 为 1.99%。以水样占试液总体积百分数为横坐标,大型溞运动抑制率为纵坐标分别绘出 CP01、CP02、CP03、CP04 对大型溞运动抑制剂量-效应曲线,见图 1。

由图 1 可以看出,4 种水样均对大型溞运动抑制作用存在明显的剂量-效应关系。在同一稀释浓度水平下,大型溞运动抑制均随着暴露时间的增加而增加,且在同一暴露时间内,大型溞运动抑制也随着水样稀释浓度梯度的增加而增加。4 种水样对大型溞的运动受抑制作用为 CP01>CP03>CP04>CP02。

2.2 斜生栅藻急性毒性试验

首先进行了 4 种水样原水对斜生栅藻 24 h 培养试验,24 h 时取样测定吸光度,测定结果表明,4 种水样原水 24 h 测定吸光度均小于各自初始吸光度,即各组斜生栅藻均完全停止生长。根据正式试验结果,得出各水样对斜生栅藻的 96 h-EC_{50} 分别为:CP01 为 11.04%,CP02 为 50.44%,CP03 为 12.21%,CP04 为 41.66%。以水样占试液总体积百分数为横坐标,以生长抑制率为纵坐标分别作出 CP01、CP02、CP03、CP04 对斜生栅藻的生长抑制剂量-效应曲线,见图 2。

由图 2 可以看出,4 种水样对斜生栅藻生长抑制作用存在着较明显的剂量-效应关系。在同一稀释浓度水平下,斜生栅藻的生长抑制作用随着暴露时间的增加而增加,且在同一暴露时间内,呈现出随着稀释浓度梯度增加而增加的趋势。从试验结果 96 h-EC_{50} 来看,4 种水样对斜生栅藻生长抑制作用大小为 CP01>CP03>CP04>CP02。

2.3 发光菌急性毒性试验结果

测定结果表明,CP01、CP02、CP03、CP04 的原水对费舍尔弧菌 5 min 反应发光抑制率分别为 95%、66%、88%、75%,10 min 反应发光抑制率分别为 100%、71%、93%、82%,即随着试验测定反应时间的延长,各水样对费舍尔弧菌的发光损失均有所增加。4 种水样对费舍尔弧菌的发光损失作用大小为 CP01>CP03>CP04>CP02。

2.4 试验过程中样品化学物质挥发损失量

本试验研究有别于传统的以标准化学品为试验

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

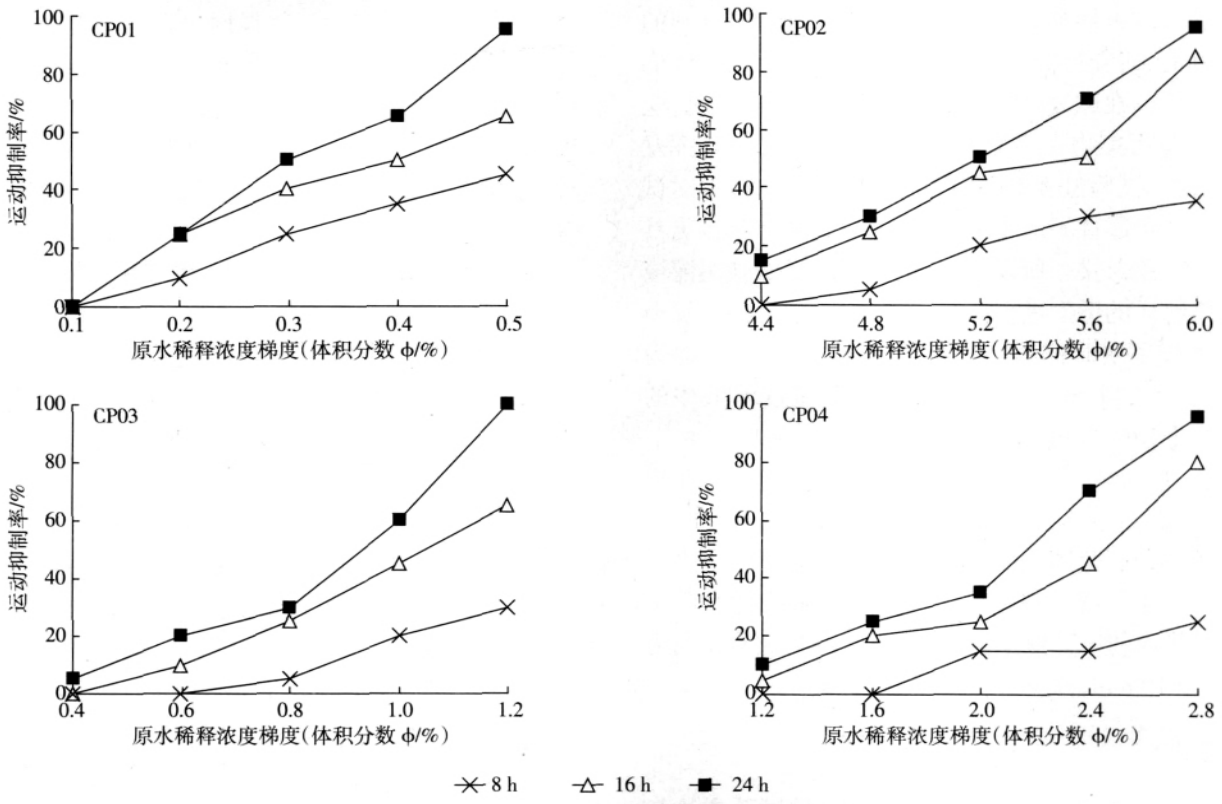

图 1 各水样对大型溞运动抑制剂量-效应关系

Figure 1 Dosage-response relationship of samples on *Daphnia magna*'s immobilization

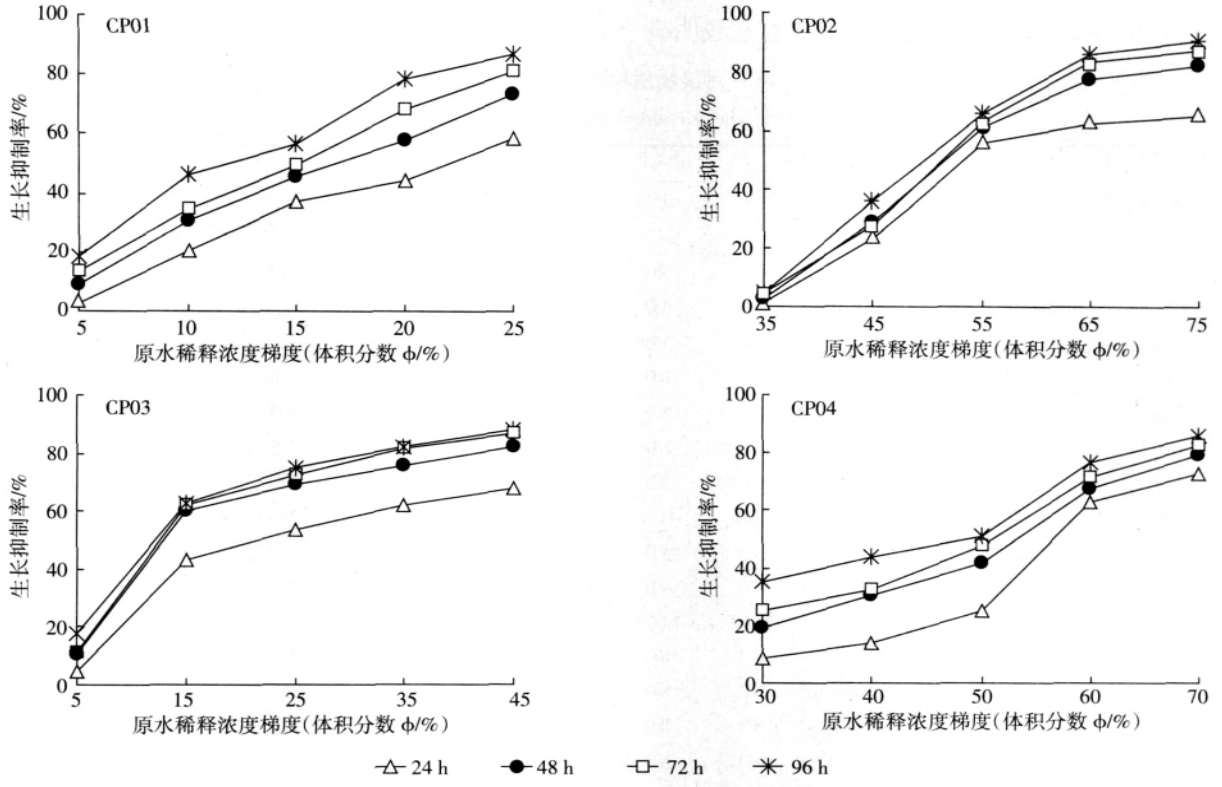

图 2 各水样对斜生栅藻生长抑制剂量-效应关系

Figure 2 Dosage-response relationship of samples on *Scenedesmus obliquus*

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

对象获取其毒性参数的试验,研究对象为污染场地的环境样品,研究目标更加侧重于表征场地污染水体的环境行为,在通过试验诊断场地水样生物毒性时,应尽力模拟污染物在环境中的行为,不应忽略其挥发性,因此在试验过程中环境样品中的污染物挥发对试验结果的可靠性不产生影响,得出的试验结果也更具有现实应用意义。所以,试验过程中未对试验组溶液中污染物质的挥发进行控制,但对试验溶液的挥发损失量进行了实时检测,检测数据见表 1(所列数据为试验初始、24 h 和 96 h 每组最高试验浓度溶液中的主要污染物的检测结果)。

通过数据分析 24 h 损失量在 30%左右,96 h 损失量在 65%左右,大型溞 24 h 试验基本保持在标准方法挥发控制范围之内,斜生栅藻 96 h 挥发损失量较大,得出的统计数据 EC_{50} 应较传统标准化学品毒性试验得出的统计数据偏大,费舍尔弧菌试验周期为 5 min 和 10 min,挥发量可忽略不计。

3 讨论

3.1 大型溞、斜生栅藻与发光菌急性毒性试验方法与试验结果比较

大型溞、斜生栅藻与发光菌急性毒性试验结果表征见表 2。可以看出,3 种受试生物敏感性存在较明显差异,在不同暴露时间下,毒性表现均随着时间的增加有所增大。3 种受试生物试验周期与需水量也不同,发光菌试验周期最短、需水量最少,测定仪器便携,可现场操作测定;斜生栅藻试验操作相对另外两种较为复杂,试验周期也最长。发光菌测定成本在三者之中最高。

3.2 生物毒性试验结果与化学检测结果的相关性

根据试验结果可以看出,对于 4 种水样,大型溞的敏感性大于斜生栅藻的敏感性,但是两者不能互相替代,这两种试验生物属于同一群落中不同营养级,

表 2 大型溞、斜生栅藻与发光菌试验结果

Table 2 Results in experiment of *Daphnia magna*, *Scenedesnus obliquus*, *Vibrio fischeri*

受试生物(结果表征)	试验时间	CP01	CP02	CP03	CP04
大型溞(EC_{50})	8 h	0.52%	6.23%	1.39%	3.58%
	16 h	0.37%	5.35%	1.04%	2.32%
	24 h	0.29%	5.12%	0.83%	1.99%
斜生栅藻(EC_{50})	24 h	20.95%	59.18%	23.64%	59.60%
	48 h	14.90%	53.63%	14.99%	49.68%
	72 h	13.55%	52.26%	13.82%	46.52%
	96 h	11.04%	50.44%	12.21%	41.66%
发光菌(发光抑制率)	5 min	95%	66%	88%	75%
	10 min	100%	71%	93%	82%

表 1 污染物质检测结果($\mu g \cdot L^{-1}$)

Table 1 The content of the pollutions($\mu g \cdot L^{-1}$)

污染物质	水样编号											
	CP01			CP02			CP03			CP04		
	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h
苯	106.5	78.5	48.1	ND	ND	ND	198.8	143.3	90.4	145.7	102.9	65.9
甲苯	486.7	356.7	218.9	ND	ND	ND	118.3	83.9	52.1	100.9	72.6	46.1
乙苯	5.2	ND	ND	ND	ND	ND	17.5	13.1	6.7	44.3	31.5	18.4
氯苯	141.2	103.2	64.4	ND	ND	ND	457.6	313.7	213.8	776.5	568.1	350.8
对二甲苯和间二甲苯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9.2	6.3	ND	50.6	37.2	21.1
邻二甲苯	7.4	5.3	ND	ND	ND	ND	18.2	12.8	7.5	53.9	38.7	22.6
1,2,4-三甲苯	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15.2	11.3	6.7
二氯甲烷	8.8	ND	ND	26.1	19.4	10.4	14.6	10.2	ND	41	29.4	17.7
三氯甲烷(氯仿)	50.5	37.9	21.7	ND	ND	ND	43.2	30.4	19.1	458.1	328.6	201.5
1,1-二氯乙烷	22.5	15.4	9.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2-二氯乙烷	2 659.7	1 908.5	1 203.5	203.7	148.5	89.8	127.5	91.6	57.3	301	219.3	137.6
1,2-二氯丙烷	23.1	16.7	7.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-三氯乙烷	24.4	17.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
顺式-1,2-二氯乙烯	20.3	13.9	7.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
三氯乙烯	40.8	27.6	18.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
四氯乙烯	9.5	7.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

注:ND 代表样品中目标化合物检出量低于方法检出限,下同。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

群落级毒性试验作为毒性试验更为全面合理。

为了进一步了解不同水样对受试生物的毒性差异，对水样中污染物的主要成分进行了定性定量分析，依据该场地的污染源特征，采用 GC-MS 方法检测挥发性有机物（VOC）和半挥发性有机物（SVOC），检测分析方法参照美国 EPA542.2 和 8260B 标准[17-18]，方法检出限定义为 3.143 倍基质加标样品的标准偏差（n=7），检测结果及其相应检出限见表 3。

化学检测结果显示，水样中绝大多数污染物属于我国水中优先控制污染物，其中苯是公认的致癌物，其他 3 种苯系物也都具有不同程度的“三致”作用，对人体健康和水生生物有一定的危害[15]。甲苯对大型溞的毒性水平属于低毒，乙苯和二甲苯对大型溞的毒性水平属于中毒，我国《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）中对集中式生活饮用水地表水源中甲苯、乙苯和二甲苯均规定了限值，分别为 0.7、0.3 mg·L^{-1} 和 0.5 mg·L^{-1}[2]。

由表 3 可以看出，CP01 中的主要污染物质为苯、甲苯、氯苯、1,2-二氯乙烷，CP02 中的污染物质只有少量 1,2-二氯乙烷和二氯甲烷，CP03 中的主要污染物质为苯、甲苯、氯苯、1,2-二氯乙烷，CP04 中的主要污染物质为苯、甲苯、氯苯、三氯甲烷、1,2-二氯乙烷。

综合大型溞、斜生栅藻、发光菌的毒性试验结果与化学分析结果相比较，CP01 中污染物种类最多，含量最大，其毒性效应也最大，CP03、CP04 次之，CP02 污染物种类最少，含量也不高，表现出的毒性作用也最低。

4　结论

CP01 对大型溞的 24 h-EC_{50} 为 0.29%，对斜生栅藻的 96 h-EC_{50} 为 11.04%，对费舍尔弧菌的发光抑制率为 95%；CP02 对大型溞的 24 h-EC_{50} 为 5.12%，对斜生栅藻的 96 h-EC_{50} 为 50.44%，对费舍尔弧菌的发光抑制率为 66%；CP03 对大型溞的 24 h-EC_{50} 为 0.83%，对斜生栅藻的 96 h-EC_{50} 为 12.21%，对费舍尔弧菌的发光抑制率为 88%；CP04 对大型溞的 24 h-EC_{50} 为 1.99%，对斜生栅藻的 96 h-EC_{50} 为 41.66%，对费舍尔弧菌的发光抑制率为 75%。从中可以得出 4 种水样对水生生物急性毒性作用顺序从大到小为 CP01、CP03、CP04、CP02，生物毒性试验结果与化学分析具有较好的相关性。

大型溞、斜生栅藻、发光菌可作为污染场地环境水样的急性毒性诊断试验生物，应用这 3 种试验生物判断甄别场地的生物生态毒性，具有需水量较小、操作简单快速、经济成本低等优点，并结合化学分析检测结果进一步了解这 3 种不同受试生物敏感性差异，更加直接、客观、全面地反映场地污染状况对环境的综合影响，快速筛选出敏感区域，提高场地管理的效

表 3　水样检出的主要污染物结果（mg·L^{-1}）

Table 3　Major pollutants detected in water samples（mg·L^{-1}）

检出项目		水样采集点位编号				检出限/mg·L^{-1}
		CP01	CP02	CP03	CP04	
苯系物	苯	0.418	ND*	0.448	0.245	4.47×10^{-3}
	甲苯	1.950	ND	0.258	0.170	6.17×10^{-3}
	乙苯	0.023	ND	0.037	0.074	5.15×10^{-3}
	氯苯	0.566	ND	1.017	1.299	7.26×10^{-3}
	对二甲苯和间二甲苯	0.010	ND	0.018	0.084	5.09×10^{-3}
	邻二甲苯	0.031	ND	0.041	0.088	4.36×10^{-3}
	1,2,4-三甲苯	ND	ND	ND	0.025	3.84×10^{-3}
烃类	二氯甲烷	0.036	0.033	0.034	0.068	8.19×10^{-3}
	三氯甲烷（氯仿）	0.204	ND	0.098	0.767	3.57×10^{-3}
	1,1-二氯乙烷	0.087	ND	ND	ND	4.52×10^{-3}
	1,2-二氯乙烷	10.688	0.274	0.274	0.510	7.43×10^{-3}
	1,2-二氯丙烷	0.090	ND	ND	ND	6.35×10^{-3}
	1,1,2-三氯乙烷	0.096	ND	ND	ND	11.88×10^{-3}
	顺式-1,2-二氯乙烯	0.078	ND	ND	ND	4.02×10^{-3}
	三氯乙烯	0.170	ND	ND	ND	5.39×10^{-3}
	四氯乙烯	0.038	ND	ND	ND	5.60×10^{-3}

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

率,同时提供场地污染介质对不同生物的综合毒性基础数据。

参考文献:

[1] 孔繁翔. 环境生物学[M]. 北京:高等教育出版社, 2000:96-110.
KONG Fan-xiang. Environmental biology[M]. Beijing:Higher Education Press, 2000:96-110.

[2] 范亚维, 周启星, 王媛媛, 等. 水体 BTEX 污染对大型溞和霍普水丝蚓的毒性效应及水环境安全评价[J]. 环境科学学报, 2009, 29(7):1485-1490.
FAN Ya-wei, ZHOU Qi-xing, WANG Yuan-yuan, et al. Toxic effects of BTEX in water on *Daphnia magna* and *Limnodrilus hoffmeisteri* and safety assessment of the aquatic environment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(7):1485-1490.

[3] 金 鑫, 林玉锁, 徐 建, 等. 某有机废弃场地土壤化学分析与生态毒性诊断研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(6):2216-2221.
JIN Xin, LIN Yu-suo, XU Jian, et al. Chemical analysis and eco-toxicity diagnosis on organics contaminated soil from an abandoned site[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(6):2216-2221.

[4] 徐 建, 林玉锁, 金 鑫, 等. 应用斑马鱼和凡纳对虾诊断污染场地污水的生物毒性[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(5):52-55.
XU Jian, LIN Yu-suo, JIN Xin, et al. Diagnosis of bio-toxicity of sewage from contaminated sites with *Zebrafish* and *Penaeus Vannamei*[J]. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2008, 20(5):52-55.

[5] 高 为, 包东平, 程 鑫. 有机酸抑制斜生栅藻生长的毒性效应[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1):41-42.
GAO Wei, BAO Dong-ping, CHENG Xin. Toxic effect of restrain growth of *Scenedesnus obliquus* by organic acid[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16(1):41-42.

[6] Alan W Maki, William E Bishop. Acute toxicity studies of surfactants to *Daphnia magna* and *Daphnia pulex*[J]. *Arch Environm Contam Toxicol*, 1979, 8:599-612.

[7] Gerald A LeBlanc. Acute toxicity of priority pollutants to water flea (*Daphnia magna*) [J]. *Bull Environm Contam Toxicol*, 1980, 24:684-691.

[8] Ma J, Liang W. Acute toxicity of 12 herbicides to the green algae chlorella pyrenoidosa and *Scenedesmus obliquus*[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2001, 67, 347-351.

[9] GB/T 13266—1991, 水质物质对蚤类(大型蚤)急性毒性测定方法[S].
GB/T 13266—1991, Water quality-Determination of the acute toxicity of substance to Daphnia (*Daphnia magna* straus) [S].

[10] GB/T 21805—2008, 化学品:藻类生长抑制试验[S].
GB/T 21805—2008, Chemicals:Alga growth inhibition test[S]

[11] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 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, 2002:715-724.
State Environmental Protection Administration, "Water and Wastewater Monitoring Analysis Method"the editorial board. Water and wastewater monitoring analysis method[M]. Fourth Edition. Beijing:China Environmental Science Press, 2002:715-724.

[12] 国家环境保护总局《化学品测试方法》编委会. 化学品测试方法[M]. 北京:环境科学出版社, 2004:188-193.
State Environmental Protection Administration, "Chemical Test Method" the editorial board. Chemical test methods[M]. Beijing:China Environmental Science Press, 2004:188-193.

[13] 孔志明, 杨柳燕, 尹大强, 等. 现代环境生物学实验技术与方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2005:115-121.
KONG Zhi-ming, YANG Liu-yan, YIN Da-qiang, et al. Modern techniques & methods in environmental biological experiments[M]. Beijing:China Environmental Science Press, 2005:115-121.

[14] 刘国光, 王莉霞, 徐海娟, 等. 水生生物毒性试验研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2004, 21(6):419-421.
LIU Guo-guang, WANG Li-xia, XU Hai-juan, et al. The progress of aquatic toxicity test[J]. *J Environ Health*, 2004, 21(6):419-421.

[15] 夏 青, 陈艳卿, 刘宪兵. 水质基准与水质标准[M]. 北京:中国标准出版社, 2004.
XIA Qing, CHEN Yan-qing, LIU Xian-bing. Water quality criteria and water quality standards[M]. Beijing: Standards Press of China, 2004.

[16] 宋玉芳, 周启星, 王 新, 等. 污灌土壤的生态毒性研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(4):638-641.
SONG Yu-fang, ZHOU Qi-xing, WANG Xin, et al. Eco-toxicity of soils irrigated with wastewater[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(4):638-641.

[17] U S EPA Method 542. 2, Measurement of qurgeable organic compounds in water by capillary column gas chromatography/mass spectrometry. Revision 4. 1995.

[18] U S EPA Method 8260B. Volatile organic compounds by chromatography/mass spectrometry (GC-MS). Revision 2 December 1996.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net