

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897-20140303001

孙芬芬, 乔敏, 徐玉新. 典型酚类化合物对土壤跳虫的慢性毒性[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(6): 1076-1082

Sun F F, Qiao M, Xu Y X. Chronic toxicity of typical phenolic compounds on soil-dwelling springtail [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2014, 9(6): 1076-1082 (in Chinese)

## 典型酚类化合物对土壤跳虫的慢性毒性

孙芬芬<sup>1,2</sup>, 乔敏<sup>1</sup>, 徐玉新<sup>2,\*</sup>

1. 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018

收稿日期: 2014-03-03 录用日期: 2014-04-30

**摘要:** 以跳虫 *Folsomia candida* 为受试物种, 基于其 28 d 繁殖试验评价了 12 种典型酚类化合物的慢性毒性效应。结果表明, 在所设浓度范围内, 除间苯二酚外的其他酚类对跳虫繁殖均存在不同程度的抑制效应。氯酚类对跳虫慢性毒性最大, 2,4-二氯酚、2-氯酚、2,4,6-三氯酚对跳虫繁殖毒性的  $EC_{50}$  分别为 5.94、10.2、19.7  $mg \cdot kg^{-1}$ ; 其次为烷基酚类, 2,4-二甲基酚、3-甲基酚、壬基酚对跳虫繁殖毒性的  $EC_{50}$  分别为 21.7、35.1、50.5  $mg \cdot kg^{-1}$ 。苯酚的毒性较上述烷基酚低,  $EC_{50}$  值为 71.7  $mg \cdot kg^{-1}$ 。其他取代酚—包括 2-萘酚、4-硝基酚、邻苯二酚对跳虫繁殖的  $EC_{50}$  分别为 95.4、133、306  $mg \cdot kg^{-1}$ 。双酚 A 仅在最高浓度(500  $mg \cdot kg^{-1}$ ) 处理下对跳虫繁殖有显著影响。

**关键词:** 酚类化合物; 跳虫; 慢性毒性

文章编号: 1673-5897(2014)6-1076-05 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

## Chronic Toxicity of Typical Phenolic Compounds on Soil-dwelling Springtail

Sun Fenfen<sup>1,2</sup>, Qiao Min<sup>1</sup>, Xu Yuxin<sup>2,\*</sup>

1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2. College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

Received 3 March 2014 accepted 30 April 2014

**Abstract:** In this study, chronic toxicity of 12 typical phenolic compounds were assessed based on 28 d reproduction test of *Folsomia candida*. Results showed that within the given concentrations all the phenols inhibited the reproduction of springtails in various degree, except m-dihydroxybenzene. Chlorophenols were the most toxic and the  $EC_{50}$  values of 2,4-dichlorophenol, 2-chlorophenol and 2,4,6-trichlorophenol in reproduction test were 5.94, 10.2 and 19.7  $mg \cdot kg^{-1}$ , respectively. The toxicity of were followed by alkylphenols including 2,4-dimethylphenol, 3-cresol and nonyl phenol, with the  $EC_{50}$  values of 21.7, 35.1 and 50.5  $mg \cdot kg^{-1}$ , respectively. The toxicity of phenol was relatively lower than that of alkylphenols with a  $EC_{50}$  value of 71.7  $mg \cdot kg^{-1}$ . The  $EC_{50}$  values of 2-naphthol, p-nitrophenol and catechol were 95.4, 133 and 306  $mg \cdot kg^{-1}$ , respectively. And bisphenol A only exhibited significant toxic effect on reproduction of springtail at the highest concentration of 500  $mg \cdot kg^{-1}$ .

**Keywords:** phenolic compounds; springtail; chronic toxicity

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(No. 2012AA06A302); 国家自然科学基金委项目(21377154)

作者简介: 孙芬芬(1988-), 女, 硕士生, 研究方向: 环境监测与评价, E-mail: sff\_2007@163.com;

\* 通讯作者(Corresponding author) E-mail: xyx99999999@163.com

酚类化合物是一类芳香族碳氢化合物含氧衍生物的总称,一般来讲包括苯酚、甲酚、硝基酚、氨基酚、萘酚和氯酚等<sup>[1]</sup>。环境中的酚主要来自炼油、炼焦、制药、造纸和化工等行业的废水、废气排放,这些酚类化合物通过水体迁移及大气沉降等,可长期残留于土壤中<sup>[2]</sup>,从而使农作物减产或枯死,并可通过食物链富集进入人体诱发多种疾病<sup>[3]</sup>。目前,苯酚、2,4-二甲基酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚等已被列为美国优先监测污染物<sup>[4-5]</sup>,我国也确定了6种酚类化合物为优先控制的有机污染物<sup>[6]</sup>。此外,根据国家环境保护部2010年2月发布的《第一次全国污染源普查公报》,我国重点流域(海河、辽河、淮河、滇池、太湖、巢湖)工业污染源挥发酚排放量高达1 938.63万t,居各类污染物排放之首<sup>[2]</sup>。在我国重点河流600个采样点中,2,4-二氯酚和2,4,6-三氯酚的平均检出率均超过50%,五氯酚的平均检出率高达85.4%<sup>[7]</sup>。我国某炼油厂退役场地及附近土壤中2,4-二甲基酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚等多种酚类化合物的含量范围为0.01~232.96 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[8]</sup>。在世界其他多个国家的水、土壤、沉积物及动物检测中均发现有氯酚、壬基酚等的残留<sup>[9]</sup>,双酚A也被发现存在于污水处理厂活性污泥及农田土壤等多种环境介质中<sup>[10]</sup>。酚类化合物的污染已相当普遍。

酚类化合物的生态毒性及对健康的潜在危害已经引起了人们的广泛关注。目前针对酚类化合物的毒性效应研究主要集中在藻类、甲壳类、鱼类等水生生物的急性毒性及生殖毒性等方面<sup>[11]</sup>,研究表明,酚类化合物对水生生物个体的存活、生长及繁殖均具有重要影响,壬基酚、双酚A等还具有不同程度的内分泌干扰效应<sup>[12-13]</sup>。但是关于酚类化合物对土壤生物的毒性效应研究还相对较少。

土壤作为生态环境的重要组成要素,与水、大气、生物等其他环境要素之间有着明显的交互作用,开展化学品土壤污染研究意义重大。跳虫(spring-tails)是一类分布极其广泛的土壤无脊椎动物,对土壤污染具有较高敏感性而被大量用于土壤生态毒理试验,白符跳 *Folsomia candida* 是其中应用最为广泛、技术最为成熟的一个种<sup>[14]</sup>。国际上已经建立基于跳虫回避试验和繁殖试验的急慢性毒性评价方法<sup>[15-16]</sup>,已有的研究表明繁殖试验对污染物更为敏感,且试验周期长,能反映对跳虫后代的影响,因此能更好地表征一些具有遗传毒性或内分泌干扰效应的化学品毒性<sup>[17]</sup>。

本研究以跳虫 *Folsomia candida* 为试验动物,探讨并比较了不同浓度下12种典型酚类化合物污染土壤对跳虫繁殖的影响,为开展酚类污染物的土壤生态风险评价提供科学依据。

## 1 材料与方法(Materials and methods)

### 1.1 试验动物与培养条件

供试跳虫 *Folsomia candida* 来自挪威国家农业与环境研究所(Bioforsk),在本实验室内培养超过三年,可以满足试验要求。跳虫饲养于培养皿(90 mm × 13 mm)中,底部铺有约0.5 cm厚石膏/活性炭基质(熟石膏:活性炭:蒸馏水=9:1:7),培养皿放于生物培养箱中,控制温度为(20 ± 1) °C,湿度为(70 ± 2)%,黑暗培养。培养皿中加入少量干酵母作为跳虫食物,每周用镊子清理培养基表面,更换食物并补充蒸馏水,以保证培养基湿润。

### 1.2 试验材料

主要仪器:生物培养箱(宁波江南RXZ-380D),体视显微镜(奥林巴斯SZ61),pH计(梅特勒-托利多上海有限公司FE20),电子天平(奥豪斯仪器上海有限公司AR224CN),计数器(北京中西远大科技有限公司YD126-KD-8089)等。

试剂:2,4,6-三氯酚,2,4-二氯酚,2-氯酚,双酚A(纯度均为98%,北京伊诺凯科技有限公司),3-甲基酚,2,4-二甲基酚,苯酚,4-硝基酚,间苯二酚(纯度均为99%,百灵威化学技术有限公司),邻苯二酚(纯度为99%,梯希爱(上海)化成工业发展有限公司),壬基酚(纯度为98%,阿达玛斯试剂有限公司),2-萘酚(纯度为99%,德国Dr. Ehrenstorfer GmbH公司),丙酮为国产色谱纯。上述试剂均避光保存。

### 1.3 试验土壤配制

土壤pH、有机质含量、含水率等会对跳虫的生长繁殖产生一定的影响,为消除土壤性质等因素对试验的干扰,更准确表征添加化学品的生态毒性,以便于化学品之间毒性的比较,所有化学品均采用ISO 11267推荐的人工土壤进行试验。将10%的泥炭(德国Klasmann泥炭土876型,风干并过2 mm筛,无动植物残体),20%的高岭土(化学纯,高岭石含量≥30%),70%的石英砂(粒径50~70目)搅拌均匀,密封室温保存。人工土壤pH=6.0 ± 0.5,有机质含量7.0%,最大持水量40%。

### 1.4 跳虫同龄化方法

为减少跳虫虫龄及个体大小差异对试验带来的影响,需在试验前对跳虫进行同龄化。根据ISO

11267 附录 A 中跳虫同龄化的方法,挑选 50~60 只活跃成虫至新培养皿中,加入少量干酵母,放入生物培养箱中培养。当观察到有幼虫孵出后将成虫移走,三天后再将幼虫移入新的培养皿中,至此便完成了幼虫的同龄化。跳虫培养到 9~12 d 即可用于繁殖试验<sup>[18]</sup>。

### 1.5 繁殖试验方法

土壤酚类污染已十分普遍,一些严重污染地区土壤中酚类污染物浓度可高达几百 ppm。为更好的表征酚类污染土壤对跳虫繁殖的影响,本研究在 0~500 mg·kg<sup>-1</sup> 之间进行了试验浓度梯度设置。为方便比较 12 种典型酚类化合物对跳虫毒性的大小,尽量采用相同的试验浓度,同时参照预试验结果对部分毒性较高物质的试验浓度进行调整。按照设置的浓度,配制含污染物的溶液,浓度设置见表 1。将不同浓度的溶液加入到人工土壤中,搅拌均匀,于通风橱中放置 24 h 以使溶剂丙酮完全挥发,之后加入适量蒸馏水调节土壤含水量至最大持水量的 50%,然后将土壤分装到 100 mL 小烧杯中(各 30 g)。每个烧杯中加入 10 只同龄化成虫,5 mg 干酵母,之后用封口膜封口,放入到生物培养箱中,培养条件同跳虫饲养条件。每周打开封口膜通气,并更换食物,必要时补充水分。对照组设 6 个重复,处理组设 4 个重复,试验周期为 28 d。试验结束后,采用水浮法计量成虫存活数量及繁殖的幼虫数量<sup>[18]</sup>。

表 1 酚类化合物试验浓度设置

Table 1 The concentration of phenols

物质名称 Names of the substances	染毒浓度梯度设置/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Concentration gradients of substances/(mg·kg <sup>-1</sup> )
2,4-β-三氯酚 2,4-β-Trichlorophenol	0.2, 0.4, 0.8, 0.10, 20, 50
2,4-二氯酚 2,4-Dichlorophenol	0.2, 0.4, 0.8, 0.10, 20, 50
2-氯酚 2-Chlorophenol	0.2, 0.4, 0.8, 0.10, 20
2,4-二甲基酚 2,4-Dimethylphenol	0.5, 0.10, 20, 30, 40
3-甲基酚 3-Cresol	0.1, 0.10, 50, 100, 200
苯酚 Phenol	0.1, 0.10, 25, 50, 75, 100
壬基酚 Nonyl phenol	0.1, 0.10, 50, 100, 200, 500
2-萘酚 2-Naphthol	0.1, 0.10, 50, 100, 200, 500
4-硝基酚 p-Nitrophenol	0.1, 0.10, 50, 100, 200, 500
邻苯二酚 Catechol	0.1, 0.10, 50, 100, 200, 500
间苯二酚 m-Dihydroxybenzene	0.1, 0.10, 50, 100, 200, 500
双酚 A Bisphenol A	0.1, 0.10, 50, 100, 200, 500

### 1.6 试验质量控制标准

ISO 11267 对试验有效性提出了三项规定。第一,试验结束时对照组的成虫死亡率不能高于 20%;第二,每个对照处理中繁殖的幼虫数目不少于 100 只;第三,对照组的变异系数不能高于 30%。

### 1.7 数据处理

采用 SPSS 17.0 对试验结果进行显著性差异分析;半数效应浓度的计算采用 Sigmaplot 10.0,对添加化学品的浓度与跳虫繁殖的抑制率进行 logistic 方程的拟合,利用拟合曲线计算各化学品对跳虫繁殖的半数抑制效应浓度 EC<sub>50</sub> 值。

## 2 结果(Results)

12 种典型酚类化合物的跳虫繁殖试验结果见表 2。不同浓度的酚类化合物处理后,跳虫 *Folsomia candida* 的繁殖受到不同程度上的抑制。各物质处理下对照组的变异系数均小于 30%,繁殖的幼虫数目均大于 100 只,除间苯二酚外,所有物质的对照组成虫死亡率均不高于 20%。

除双酚 A 和间苯二酚外的其他酚类化合物处理下,繁殖的幼虫数量随处理浓度的升高均呈现下降趋势。双酚 A 处理下,繁殖的幼虫数量在低浓度时变化不大,仅在最高浓度 500 mg·kg<sup>-1</sup> 处理条件下,幼虫数量出现减少现象,与对照组具有显著性差异( $p < 0.05$ )。间苯二酚各浓度处理下,繁殖的幼虫数量均高于对照组,在最高浓度 500 mg·kg<sup>-1</sup> 处理条件下仍未出现明显的繁殖抑制现象。

不同酚类化合物对跳虫繁殖抑制的半数效应浓度差异较大。大部分酚类物质对跳虫繁殖抑制的 EC<sub>50</sub> 值较小,具有显著的慢性毒性作用,其中 2,4-二氯酚的 EC<sub>50</sub> 值最小,仅为 5.94 mg·kg<sup>-1</sup>。邻苯二酚对跳虫繁殖抑制的 EC<sub>50</sub> 值为 306 mg·kg<sup>-1</sup>,对跳虫具有一定的慢性毒性作用。而双酚 A 和间苯二酚的 EC<sub>50</sub> 值大于 500 mg·kg<sup>-1</sup>,对跳虫的慢性毒性作用不显著。根据各物质的 EC<sub>50</sub> 值,氯酚类化合物对跳虫的慢性毒性最高,在最高浓度处理下存活的成虫数及繁殖的幼虫数均为零。在 2,4-二氯酚处理下,成虫存活数随处理浓度升高而逐渐下降,在 2-氯酚和 2,4-β-三氯酚处理下,成虫存活数在低浓度处理下无明显变化,只在最高浓度处理下全部降为零只。烷基酚对跳虫的慢性毒性次之,2,4-二甲基酚、3-甲基酚处理下,成虫存活数量均随浓度升高而逐渐下降,壬基酚处理下,成虫存活数在低浓度处理下无明显

表 2 酚类化合物的跳虫繁殖试验结果  
Table 2 The results of phenols on the reproduction of springtails

物质名称 Names of substances	对照组成虫死亡率/% Mortality rate of adult in control groups/%	对照组变异系数/% Variable coefficients of control groups/%	EC <sub>50</sub> 值/(mg·kg <sup>-1</sup> ) EC <sub>50</sub> value/(mg·kg <sup>-1</sup> )
2,4-二氯酚 2,4-Dichlorophenol	0	4.62	5.94
2-氯酚 2-Chlorophenol	5	5.73	10.2
2,4,6-三氯酚 2,4,6-Trichlorophenol	0	0.671	19.7
2,4-二甲基酚 2,4-Dimethylphenol	0	4.45	21.7
3-甲基酚 3-Cresol	20	14.4	35.1
壬基酚 Nonyl phenol	3.3	8.82	50.5
苯酚 Phenol	7.5	2.14	71.6
2-萘酚 2-Naphthol	10	6.75	95.4
4-硝基酚 p-Nitrophenol	5	7.16	133
邻苯二酚 Catechol	0	0.636	306
双酚 A Bisphenol A	20	4.89	> 500
间苯二酚 m-Dihydroxybenzene	27.5	14.5	> 500

注: EC<sub>50</sub>半数效应浓度。

Note: EC<sub>50</sub> value half maximal effective concentration.

变化,仅当浓度达到 200 mg·kg<sup>-1</sup>时急剧下降,且最高浓度 500 mg·kg<sup>-1</sup>处理条件下成虫存活数及繁殖的幼虫数均为零。苯酚、2-萘酚和邻苯二酚处理下,成虫存活数均随浓度升高而逐渐下降。4-硝基酚处理下,成虫存活数量随浓度升高无明显变化,繁殖的幼虫数量在浓度达到 200 mg·kg<sup>-1</sup>时开始急剧下降。除双酚 A 以外的其他物质,在高浓度处理或全部浓度处理条件下,繁殖的幼虫数量与对照组均具有显著性差异( $p < 0.05$ )。

### 3 讨论 (Discussion)

本研究从慢性毒性方面评价了 12 种典型酚类化合物对跳虫 *Folsomia candida* 的生态毒性。不同浓度的酚类化合物处理后,*Folsomia candida* 的繁殖受到不同程度上的抑制,且不同物质的毒性强度有

较大差异,总体表现为浓度越高,抑制效应越强。其中 2,4-二氯酚的毒性最强,而间苯二酚在所设浓度范围内均未对跳虫繁殖产生抑制。跳虫成虫存活数量随浓度升高也呈现逐渐减少的趋势,高浓度甚至全部死亡。酚类化合物毒性从高到低整体趋势为氯酚 > 烷基酚 > 苯酚 > 硝基酚 > 二酚等其他酚类。

氯酚类化合物的分子结构,如氯化程度及氯原子与羟基基团的位置关系对毒性都有较大影响<sup>[19]</sup>。已有研究表明氯酚的生物毒性、生物富集能力均随着氯化程度的增加而递增,毒性也因氯原子所在位置的不同而有所差异,通常以对位的氯酚类化合物毒性最高,其次为邻位和间位<sup>[20]</sup>。Takuo Kishino 等<sup>[21-22]</sup>利用氯酚类化合物的辛醇-水分配系数( $P_{ow}$ )及解离常数( $pK_a$ )研究了其毒性差异的机理,结果表明氯原子数的增加使得化合物的亲脂性增强,从

而增强从介质到作用位点的转移性,同时还会降低OH<sup>-</sup>基团的密度,使得pK<sub>a</sub>值增加,毒性增强。本研究中的三种氯酚类化合物均在较低浓度处理下就对跳虫繁殖产生了明显的抑制效应,但根据EC<sub>50</sub>值得到的毒性大小顺序为:2,4-二氯酚>2-氯酚>2,4,6-三氯酚,与上述结论并不完全一致。Devillers等<sup>[23]</sup>研究氯酚类化合物对大型蚤的毒性时发现,当氯原子取代位置在邻位上时,会降低氯酚化合物的毒性。也有研究指出氯酚对小球藻、鲤鱼等水生生物的毒性与苯环上氯原子的取代数目无直接关系<sup>[24]</sup>。此外,土壤性质会显著影响氯酚类毒性,Esther Martí等<sup>[25]</sup>测试了2-氯酚、2,4,6-三氯酚、五氯酚在两种土壤中的生物毒性大小,发现在红砂壤中挥发是影响2-氯酚毒性的首要因素,而pH值则是决定2,4,6-三氯酚毒性的决定性因素,不同氯酚化合物之间的特性差异,使得它们在土壤中的行为也受到不同土壤理化性质的影响。

比较2,4-二甲基酚和3-甲基酚的试验结果可以看出,前者对跳虫的慢性毒性高于后者,Villem Aruoja等<sup>[26]</sup>对发光细菌等的研究结果中二者也得到了相同的毒性排序。壬基酚和双酚A均具有环境雌激素效应,对隆线蚤等水生生物的繁殖具有显著影响,且壬基酚的毒性作用更强<sup>[12]</sup>,本研究的结果与之相符。壬基酚在50.5 mg·kg<sup>-1</sup>浓度处理下便达到了对跳虫繁殖的半数抑制效应,而双酚A在200 mg·kg<sup>-1</sup>浓度处理时才对跳虫繁殖产生明显抑制作用,最高浓度500 mg·kg<sup>-1</sup>处理下抑制率也仅有19.3%,Charles Staples等<sup>[27]</sup>研究也发现双酚A在200 mg·kg<sup>-1</sup>浓度下对跳虫*Folsomia candida*的繁殖抑制率为8.8%,1 000 mg·kg<sup>-1</sup>浓度下的抑制率为42.5%。

苯酚、2-萘酚这两种物质对跳虫的慢性毒性作用相当,4-硝基酚的毒性稍低于这两者。但李玉梅等<sup>[28]</sup>在测试多种酚类化合物对藻类的慢性毒性时,发现4-硝基酚的毒性要高于苯酚。这可能与4-硝基酚在土壤中的半衰期更短,毒性降低更多有关<sup>[29]</sup>。邻苯二酚对跳虫的慢性毒性较弱,在306 mg·kg<sup>-1</sup>浓度处理下才达到对跳虫繁殖的半数抑制效应。间苯二酚在所设浓度范围内对跳虫繁殖不仅没有抑制作用,反而促进了跳虫繁殖。在50 mg·kg<sup>-1</sup>浓度处理时,促进作用达到最大,之后则又开始下降。王洪斌等<sup>[30]</sup>测定间苯二酚对塔玛亚历山大藻(*A. tamarense*)生长影响时也得到了相同结论。但

却有研究表明邻苯二酚对泥鳅的急性毒性要高于间苯二酚<sup>[11]</sup>,这与本研究得出的结论刚好相反,这可能是由于研究的物种、介质不同所引起的毒性差异。

酚类化合物取代基团的种类、位置对其毒性都具有较大影响。本研究使用ISO标准规定的人工土壤开展12种典型酚类化合物对跳虫的毒理试验,得到的相关数据及参数可以为酚类化合物结构与毒性关系研究提供依据,为实际土壤中酚类污染物的监测、评价提供指导。目前已知酚类化合物对水生生物的毒性作用机理主要有极性麻醉作用、弱酸性呼吸解偶联作用、亲电子性,以及一些化合物可以被代谢为醌类从而发生作用<sup>[31]</sup>,而酚类化合物对土壤生物的毒作用机理研究还相对缺乏,亟需开展相关工作,此外,考虑到人工土壤与自然土壤在理化性质等方面存在一定的差异,还有必要针对不同性质的自然土壤进行深入研究,才能够更加细致、全面地构建基于跳虫的土壤酚类污染生态风险评价体系。

通讯作者简介:徐玉新(1967—),男,山东泰安人,硕士,副教授,主要从事环境影响评价、废物资源化研究。

#### 参考文献:

- [1] 李玉标. 含酚废水的处理方法[J]. 净水技术, 2005, 24(2): 51-54  
Li Y B. Treatment of wastewater containing phenols [J]. Water Purification Technology, 2005, 24(2): 51-54 (in Chinese)
- [2] 周艳玲. 酚类化合物检测方法研究进展[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23: 70-77  
Zhou Y L. Progress in research on detection of phenolic compounds [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2011, 23: 70-77 (in Chinese)
- [3] 顾云兰. 酚类化合物对蝌蚪急性毒性的定量构效关系研究[J]. 科技通报, 28(1): 25-29  
Gu Y L. A QSAR study on the acute toxicity of phenols to tadpoles [J]. Bulletin of Science and Technology, 28(1): 25-29 (in Chinese)
- [4] 朱海豹,姚超英,汪玲,等. 离子液体水溶液萃取-离子色谱测定土壤中酚类化合物[J]. 浙江大学学报(理学版), 2010, 37(2): 196-200  
Zhu H B, Yao C Y, Wang L, et al. Analysis of phenolic compounds in soil using ionic liquid aqueous solution as extractant coupled with ion chromatography [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2010, 37(2): 196-200 (in Chinese)

- [ 5 ] 金小伟, 查金苗, 许宜平, 等. 氯酚类化合物对青鱼和细鳞斜颌鲷幼鱼的毒性 [J]. 环境科学学报, 2010, 30( 6 ): 1235 - 1242  
Jin X W, Zha J M, Xu Y P, et al. Acute and chronic toxicities of chlorophenols to *Mylopharyngodon piceus* and *Plagiognathops microlepis* at early life stage [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30( 6 ): 1235 - 1242 ( in Chinese)
- [ 6 ] 周文敏, 傅德黔, 孙宗光. 中国水中优先控制污染物黑名单的确定 [J]. 环境科学研究, 1991, 4( 6 ): 9 - 12  
Zhou W M, Fu D C, Sun Z G. Determination of black list of China's priority pollutants in water [J]. *Research of Environmental Sciences*, 1991, 4( 6 ): 9 - 12 ( in Chinese)
- [ 7 ] Gao J J, Liu L H, Liu X R, et al. Levels and geographic distribution of 2, 4-dichloropheno, 2, 4, 6-trichlorophenol, pentachlorophenol in surface waters of China [J]. *Chemosphere*, 2008, 71: 1181 - 1187
- [ 8 ] 裴芳, 罗泽娇, 彭进进, 等. 某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究 [J]. 环境科学, 2012, 33( 12 ): 4251 - 4255  
Pei F, Luo Z J, Peng J J, et al. Phenols pollutants in soil and shallow ground water of a retired refinery site [J]. *Environmental Science*, 2012, 33( 12 ): 4251 - 4255 ( in Chinese)
- [ 9 ] 傅明珠, 李正炎, 石金辉, 等. 壬基酚的内分泌干扰作用和环境分布特征 [J]. 海洋湖沼通报, 2005, 8( 4 ): 45 - 52  
Fu M Z, Li Z Y, Shi J H, et al. Endocrine-disrupting properties and environmental distribution characteristics of nonylphenols [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2005, 8( 4 ): 45 - 52 ( in Chinese)
- [ 10 ] Kinney C A, Furlong E T, Zaugg S D, et al. Survey of organic wastewater contaminants in biosolids destined for land application [J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40: 7207 - 7215
- [ 11 ] 雷忻, 陈超, 王文强, 等. 间苯二酚与邻苯二酚对泥鳅的急性毒性效应 [J]. 西北农林科技大学学报( 自然科学版 ), 2012, 40( 4 ): 175 - 179  
Lei X, Chen C, Wang W Q, et al. Acute toxicity effects of *m*-dihydroxybenzene and *o*-dihydroxybenzene on *Misgurnus anguillicadatus* [J]. *Journal of Northwest A & F University ( Natural Science Edition )*, 2012, 40( 4 ): 175 - 179 ( in Chinese)
- [ 12 ] 郭匿春, 谢平. 双酚 A 和壬基酚对隆线蚤和微型裸腹蚤的毒性 [J]. 水生生物学报, 2009, 33( 3 ): 492 - 497  
Guo N C, Xie P. The toxic effects of BPA and NP on *D. carinata* and *M. micrura* [J]. *Acta Hydrobiological Sinica*, 2009, 33( 3 ): 492 - 497 ( in Chinese)
- [ 13 ] Nice H E, Morrirt D, Crane M, et al. Long-term and transgenerational effects of nonylphenol exposure at a key stage in the development of *Crassostrea gigas*. Possible endocrine disruption [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 256: 293 - 300
- [ 14 ] Fountain M T, Hopkin S P. *Folsomia Candida* ( Collembola ): A " Standard " soil arthropod [J]. *Annual Review of Entomology*, 2005, 50: 201 - 222
- [ 15 ] ISO 17512-2. Soil quality avoidance test for testing the quality of soils and the toxicity of chemicals on behavior- Part 2: Test with collembolans ( *Folsomia candida*) [ S ]. International Standardization Organization, ( Draft ), 2010
- [ 16 ] ISO 11267. Soil Quality - Inhibition of Reproduction of Collembola ( *Folsomia candida*) by Soil Pollutants [ S ]. Geneva: ISO 11267, International Standardization Organization, 1999
- [ 17 ] Crouau Y, Chenon P, Gisclard C. The use of *Folsomia candida* ( Collembola, Isotomidae) for the bioassay of xenobiotic substances and soil pollutants [J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, 12: 103 - 111
- [ 18 ] 张偲, 张轩, 徐玉新, 等. 典型全氟辛烷磺酸盐 ( PFOS ) 替代品对土壤跳虫的生态毒性 [J]. 生态毒理学报, 2012, 7( 5 ): 501 - 507  
Zhang C, Zhang X, Xu Y X, et al. Ecotoxicity of alternatives of typical perfluorooctane sulfonate ( PFOS ) to springtails [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2012, 7( 5 ): 501 - 507 ( in Chinese)
- [ 19 ] 金小伟, 查金苗, 许宜平, 等. 3 种氯酚类化合物对河蚬的毒性和氧化应激 [J]. 生态毒理学报, 2009, 4( 6 ): 816 - 822  
Jin X W, Zha J M, Xu Y P, et al. Toxicity and oxidative of three chlorophenols to freshwater clam *Corbicula fluminea* [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2009, 4( 6 ): 816 - 822 ( in Chinese)
- [ 20 ] Czaplicka M. Sources and transformations of chlorophenols in the natural environment [J]. *Science of the Total Environment*, 2004, 322: 21 - 39
- [ 21 ] Takuo K, Kunio K. Acute toxicity and structure-activity relationships of chlorophenols in fish [J]. *Water Research*, 1996, 30( 2 ): 387 - 392
- [ 22 ] Takuo K, Kunio K. Relation between the chemical structures of chlorophenols and their dissociation constants and partition coefficients in several solvent-water systems [J]. *Water Research*, 1994, 28( 7 ): 1547 - 1552
- [ 23 ] Devillers J, Chambon P. Acute toxicity and QSAR of chlorophenols on *Daphnia magna* [J]. *Bulletin of Envi-*

- ronmental Contamination and Toxicology, 1986, 37: 599 - 605
- [24] Yen J H, Lin K H, Wang Y S. Acute lethal toxicity of environmental pollutants to aquatic organisms [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2002, 52: 113 - 116
- [25] MartíE, Sierra J, Cáliz J, et al. Ecotoxicity of chlorophenolic compounds depending on soil characteristics [J]. *Science of the Total Environment*, 2011, 409: 2707 - 2716
- [26] Aruoja V, Sihtmöe M, Dubourguier H C, et al. Toxicity of 58 substituted anilines and phenols to algae *Pseudokirchneriella subcapitata* and bacteria *Vibrio fischeri*: Comparison with published data and QSARs [J]. *Chemosphere*, 2011, 84: 1310 - 1320
- [27] Staples C, Friederich U, Hall T, et al. Estimating potential risks to terrestrial invertebrates and plants exposed to bisphenol A in soil amended with activated sludge biosolids [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2010, 29(2): 467 - 475
- [28] 李玉梅,孙凯,于玲红. 胺、酚类化合物对水库藻类的慢性毒性研究[J]. *人民黄河*, 2010, 32(10): 82 - 86
- Li Y M, Sun K, Yu L H, et al. Research on chronic toxicity of amines and phenols to algae [J]. *Yellow River*, 2010, 32(10): 82 - 86 (in Chinese)
- [29] Arrate J A, Rodriguez P, Martínez-Madrid M. Effects of three chemicals on the survival and reproduction of the oligochaete worm *Enchytraeus coronatus* in chronic toxicity tests [J]. *Pedobiologia*, 2002, 46: 136 - 149
- [30] 王洪斌,花文凤,李信书,等. 硝基苯和间苯二酚对3种海洋微藻的毒理效应[J]. *海洋科学*, 2013, 37(5): 39 - 44
- Wang H B, Hua W F, Li X S, et al. The toxicological effects of nitrobenzene and dihydroxy-benzene on three kinds of marine microalgae [J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(5): 39 - 44 (in Chinese)
- [31] Cronin M T D, Aptula A O, Duffy J C, et al. Comparative assessment of methods to develop QSARs for the prediction of the toxicity of phenols to *Tetrahymena pyriformis* [J]. *Chemosphere*, 2002, 49: 1201 - 1221 ◆

## 加拿大在筛选评估后排除 52 种偶氮染料

2014 年 10 月 27 日 来源: Chemical watch 网站

加拿大政府在一项筛选评估后认定 52 种偶氮酸性染料不符合《加拿大环境保护法》第 64 条中列出的任何标准。

因此 加拿大政府不提议对这些物质采取任何进一步措施 在《加拿大官方公报》上刊登的一份公告表示。

根据《加拿大环境保护法》第 64 条 如果一种物质会或可能会以一定量或浓度或者在特定条件下进入环境中并产生下列影响 则认为其为有害物质:

- 会或可能会对环境或其生物多样性产生立即或长期有害影响;
- 会或可能会对生命赖以生存的环境构成一项危险;
- 会或可能会对加拿大境内的人类生命或健康构成一项危险。

引自《化学品安全信息周报》2014 年第 45 期总第 309 期 (中国检验检疫科学研究院化学品安全研究所编译)

[http://www.chinachemicals.org.cn/reported\\_detail.aspx?contentid=321&ClassID=230](http://www.chinachemicals.org.cn/reported_detail.aspx?contentid=321&ClassID=230)