



移动扫码阅读

孙峰,王宇姣. 硫酸铵、稀土钇对蚯蚓急性毒性研究[J]. 能源环境保护, 2021, 35(5): 43-47.

SUN Feng, WANG Yujiao. Acute toxicity of ammonium sulfate and rare earth yttrium to earthworm[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(5): 43-47.

硫酸铵、稀土钇对蚯蚓急性毒性研究

孙峰¹, 王宇姣²

(1. 赣州市生态文明研究中心, 江西 赣州 341000; 2. 赣州市章贡区建设投资集团有限公司, 江西 赣州 341000)

摘要: 针对稀土钇矿原地浸矿工艺对农田土壤环境的影响, 采用自然土壤法研究了稀土钇和硫酸铵(浸矿剂)污染对蚯蚓的急性毒性效应。结果表明: 稀土钇及硫酸铵单一染毒均为低毒性, 14 d对蚯蚓的 LC_{50} 值分别为1 216.57 mg/kg、4 293.53 mg/kg; 在硫酸铵浓度高于4 400 mg/kg的条件下, 稀土钇毒性明显增加并产生协同作用; 于食物链底端的蚯蚓对稀土钇具有富集性, 可能造成食物链的逐级富集。

关键词: 稀土钇; 浸矿剂硫酸铵; 蚯蚓; 自然土壤法; 急性毒性

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2021)05-0043-05

Acute toxicity of ammonium sulfate and rare earth yttrium to earthworm

SUN Feng¹, WANG Yujiao²

(1. Ganzhou Ecological Civilization Research Center, Ganzhou 341000, China; 2. Ganzhou Zhanggong District Construction Investment Group Co., Ltd., Ganzhou 341000, China)

Abstract: In order to reveal the influence of in-situ leaching of rare earth yttrium ore on farmland soil environment, the acute toxic effects of rare earth yttrium and ammonium sulfate (leaching agent) pollution on earthworms were studied by natural soil method. The results showed that the toxicity of only rare earth yttrium or ammonium sulfate was low. The LC_{50} values of rare earth yttrium and ammonium sulfate in 14 days were 1 216.57 mg/kg and 4 293.53 mg/kg, respectively, for earthworms. When the concentration of ammonium sulfate was higher than 4 400 mg/kg, the toxicity of rare earth yttrium increased significantly and had a synergistic effect. Earthworms at the bottom of the food chain accumulated rare earth yttrium and might cause the gradual enrichment along the food chain.

Key Words: Rare earth yttrium; Leaching agent ammonium sulfate; Earthworms; Natural soil method; Acute toxicity

0 引言

稀土有“工业维生素”之称, 具备特殊的物理化学性质, 广泛应用于工农业、国防、医学及新材料等众多领域。随着需求量的急增, 稀土矿开发过程中的浸矿剂硫酸铵以及残留稀土元素大量进入周边农田土壤生态系统, 其生态毒理效应问题令人担忧^[1]。目前, 国内外有关污染物对蚯蚓的急性毒性效应的研究, 主要侧重于重金属复合污

染^[2-3]、农药^[4]等, 本试验通过自然土壤法^[5-6]研究稀土钇及浸矿剂硫酸铵单一与复合污染对蚯蚓的急性效应, 直观确定稀土元素钇与硫酸铵浓度对蚯蚓毒性的响应关系, 以期为稀土矿合理开采及浸矿剂合理使用提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

(1) 试验动物: 赤子爱胜蚓(*Eisenia foetide*), 购自市场。试验前蚯蚓置于实验室未污染土壤中

收稿日期: 2021-08-02; 责任编辑: 金丽丽

第一作者简介: 孙峰(1988-), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 中级环保工程师, 主要研究方向是矿山开发资源节约和土壤生态修复。

E-mail: 178888684@qq.com

驯化 7 d, 选择体重为 300~400 mg 之间、具有环带的健康成体的蚯蚓为供试品, 且蚯蚓个体大小及重量基本相同。

(2) 供试土壤: 选用赣南区域未受稀土矿山开采影响, 且水稻长势良好的农田土壤, 采集后自然风干, 过 20 目筛待用。试验测定土壤理化性质见表 1。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

pH	有机质 /(g · kg ⁻¹)	阳离子交换量 CEC/(cmol · kg ⁻¹)	比例/%		
			砂粒 (0.1~1.0 mm)	粉粒 (0.001~0.01 mm)	粘粒 (<0.001 mm)
6.2	28.7	14.7	14.2	17.3	68.5

(3) 主要试剂: (NH₄)₂SO₄ (硫酸铵)、无水 Y(NO₃)₃ (硝酸钇) 均为分析纯。

鲜膜封口, 解剖针扎孔。将烧杯置于温度为 (20±1) °C, 湿度约 75% 的人工气候箱中清肠 1 d。

(4) 仪器设备: 人工气候箱, 电子天平, 纯水蒸馏器, 电热恒温鼓风干燥箱, 烧杯, 培养皿, 滤纸。

(2) 试验设置: 参照冯秀娟^[8] 等采用滤纸接触法确定的稀土钇、硫酸铵对蚯蚓的半致死率浓度, 并结合预试验数据, 初步得到土壤中稀土钇、硫酸铵对蚯蚓的最大致死浓度 LC₁₀₀ 和最小致死浓度 MLC, 随后确定两种物质在土壤中梯度浓度设置, 具体正交试验设计见表 2。

1.2 实验方法^[7]

(1) 蚯蚓清肠: 将直径 11 cm 的滤纸铺于 1 L 烧杯杯底, 加少量蒸馏水, 以刚浸没滤纸为宜。挑选具有环带的健康蚯蚓, 清洗, 放于烧杯中, 用保

表 2 稀土钇、硫酸铵复合处理的试验设计

Table 2 Experimental design of compound treatment of rare earth yttrium and ammonium sulfate

稀土钇/(mg · kg ⁻¹)	硫酸铵/(mg · kg ⁻¹)						
	0	3 800	4 100	4 400	4 700	5 000	5 300
0	+	+	+	+	+	+	+
1 100	+	+	+	+	+	+	+
1 200	+	+	-	+	-	-	+
1 300	+	+	+	+	+	+	+
1 400	+	+	-	+	-	-	+
1 500	+	+	+	+	+	+	+

注: “+”代表该处理得到设置, “-”代表未设置该处理; 稀土钇与硫酸铵的用量以在 500 g 干土中的含量计算(下同)

(3) 土壤染毒: 根据上述试验设计的浓度梯度, 将稀土钇及硫酸铵配制成相对应浓度的溶液, 取适量的稀土钇及硫酸铵溶液与 500 g 供试土壤混合, 调节其土壤含水率为最大持水量的 60%, 放入温度为 (20±1) °C, 湿度为 (75±7) %, 光照为 1 333 Lx (间歇光照, 即 12 h 光照, 12 h 黑暗) 的人工气候箱中平衡 48 h 后转移到 1 L 烧杯中。每一浓度设置 3 个重复, 1 个对照。

(4) 培养: 每一处理放入 10 条蚯蚓, 并置于人工气候箱中培养。

(5) 观察与统计: 观察时间为 3、7、14 d。记录死亡数及中毒症状, 蚓体对针刺无反应判为死亡。14 d 后结束试验。

2 试验数据分析

2.1 稀土钇单一胁迫对蚯蚓的急性毒性

表 3 自然土壤法稀土钇对蚯蚓的急性毒性试验结果

Table 3 Results of acute toxicity test of rare earth yttrium for earthworms by the natural soil method

观察时间	项目	稀土钇的浓度/(mg · kg ⁻¹)					
		对照	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500
3 d	平均死亡条数/条	0	0	1.33	5.33	7.67	9.33
	平均死亡率/%	0	0	13.33	53.33	76.67	93.33
7 d	平均死亡条数/条	0.33	0.33	2.33	6.67	9.67	10
	平均死亡率/%	3.33	3.33	23.33	66.67	96.67	100
14 d	平均死亡条数/条	0.67	1.67	4.33	8.33	10	10
	平均死亡率/%	6.67	16.67	43.33	83.33	100	100

各处理组中蚯蚓的死亡率随着染毒时间的延长而增加,稀土钇浓度为 1 100 mg/kg 时,3 d、7 d 及 14 d 时所得蚯蚓的死亡率分别为 0、3.33%、16.67%,说明该浓度下稀土钇对蚯蚓的毒性较低,并且受染毒时间影响较小;当浓度升为 1 300 mg/kg 时,3 d、7 d 及 14 d 时所得蚯蚓的死亡率分别为 5.33%、66.67%、96.67%,说明该浓度稀土钇对蚯蚓的毒性明显增强,并受染毒时间影响较大,而且 3 d 到 7 d 蚯蚓死亡率从 5.33% 陡升至 66.67%,说明稀土钇在一定量时对蚯蚓的毒性存在蓄积性;而当浓度为 1 500 mg/kg 时,3 d、7 d 及 14 d 时所得蚯蚓的死亡率分别为 93.33%、100%、100%,说明该浓度下蚯蚓基本丧失生命力,毒性最大,且受染毒时间影响较小,试验前期蚯蚓就开始大面积死亡。为进一步说明稀土钇的毒性大小,且对试验 14 d 后蚯蚓死亡率与稀土钇浓度关系进行线性回归分析,如图 1 所示。

得到蚯蚓死亡率(y)与稀土钇浓度(x) 14 d 的线性拟合方程: $y = 0.223 3x - 221.66$,线性相关系数 $R^2 = 0.902 9$,其相关性都达到较显著水平。

表 4 自然土壤法硫酸铵对蚯蚓的急性毒性试验结果

Table 4 Results of acute toxicity test of ammonium sulfate for earthworms by natural soil method

观察时间	项目	硫酸铵的浓度/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)						
		对照	3 800	4 100	4 400	4 700	5 000	5 300
3 d	平均死亡条数/条	0	0	0	3.33	3.33	5.33	8
	平均死亡率/%	0	0	0	33.33	33.33	53.33	80
7 d	平均死亡条数/条	0.33	0.33	0.67	4.33	7.67	9.67	10
	平均死亡率/%	3.33	3.33	6.67	43.33	76.67	96.67	100
14 d	平均死亡条数/条	0.67	2	3.33	5.33	8.67	10	10
	平均死亡率/%	6.67	20	33.33	53.33	86.67	100	100

各处理组中蚯蚓的死亡率随着染毒时间的延长及硫酸铵处理浓度的增加而升高,当硫酸铵浓度为 3 800~4 100 mg/kg 时,3 d 内蚯蚓未出现死亡现象,7 d 时蚯蚓的平均死亡不到 1 条,14 d 时蚯蚓平均死亡了不到 3 条,与对照组对比发现,说明该浓度组的硫酸铵对蚯蚓的毒性不明显,甚至蚯蚓在土壤中表现活跃;当浓度为 4 400 mg/kg、4 700 mg/kg 时,3 d 时两处理中蚯蚓死亡率相同都为 33.33%,7 d 时死亡率分别为 43.33%、76.67%,14 d 时死亡率分别 53.33%、86.67%,说明两处理浓度对蚯蚓的毒性作用开始显示并受染毒时间影响,且 4 700 mg/kg 浓度处理组相比 4 400 mg/kg 浓度处理组中的蚯蚓应激反应显著变得强烈,出现逃逸行为,部分蚯蚓从土壤中爬出

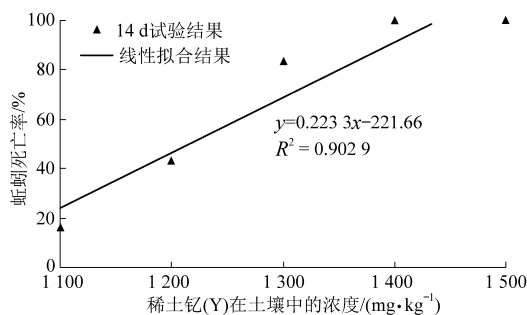


图 1 自然土壤法稀土钇浓度(14 d)对蚯蚓死亡率影响的线性回归分析

Fig.1 Linear regression analysis of the rare earth yttrium concentration(14 d) on earthworm mortality by natural soil method

并由该方程求得自然土壤法稀土钇单一污染对蚯蚓的半致死率浓度 LC_{50} 为 1 216.57 mg/kg,这与试验中当稀土钇浓度达到 1 300 mg/kg 后,蚯蚓表现出强烈的毒性应激反应且死亡率陡升的现象相一致。

2.2 硫酸铵单一胁迫对蚯蚓的急性毒性

硫酸铵单一胁迫对蚯蚓的急性毒性试验结果见表 4。

到表面甚至烧杯壁上,且 7 d 时蚯蚓死亡率突升,发生毒性蓄积反应;当浓度达到 5 000 mg/kg 以上时,蚯蚓一放入土壤中不久即出现死亡现象,7 d 即基本全部死亡。

为进一步说明硫酸铵的毒性大小,且对试验 14 d 后蚯蚓死亡率与硫酸铵浓度关系进行线性回归分析,如图 2 所示。

得到蚯蚓死亡率(y)与硫酸铵浓度(x) 14 d 的线性拟合方程: $y = 0.060 3x - 208.9$,线性相关系数 $R^2 = 0.942 2$,其相关性都达到较显著水平。并由该方程求得自然土壤法硫酸铵单一污染对蚯蚓的半致死率浓度 LC_{50} 为 4 293.53 mg/kg,这与试验中当硫酸铵浓度达到 4 400 mg/kg 后,蚯蚓表现出强烈的毒性应激反应且死亡率陡升,而小于 4 100

mg/kg 处理浓度组, 蚯蚓表现正常甚至趋于活跃等现象相一致。

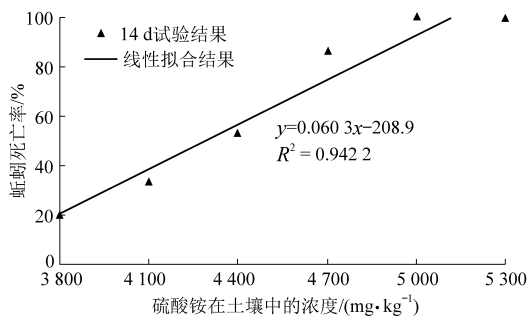


图2 自然土壤法硫酸铵浓度(14 d)对蚯蚓死亡率影响的线性回归分析

Fig.2 Linear regression analysis of the ammonium sulfate concentration (14 d) and earthworm mortality by natural soil method

2.3 稀土钇、硫酸铵复合胁迫对蚯蚓的急性毒性
稀土钇、硫酸铵复合胁迫对蚯蚓的急性毒性试验结果见表5。

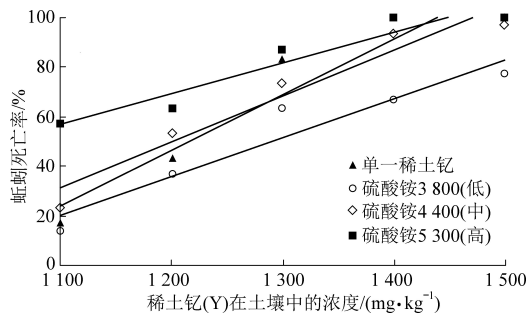


图3 自然土壤法硫酸铵影响下稀土钇14 d对蚯蚓急性毒性效果线性回归分析

Fig.3 Linear regression analysis of the acute toxicity (14 d) of rare earth yttrium for earthworms under the influence of ammonium sulfate by the natural soil method

表5 高中低硫酸铵影响下稀土钇对蚯蚓急性毒性试验结果

Table 5 Acute toxicity test results of rare earth yttrium for earthworms with high, middle and low concentrations of sulfur ammonium

土样中两者污染含量/(mg·kg ⁻¹)		各采样时间蚯蚓平均死亡率/%		
硫酸铵	稀土钇	3 d	7 d	14 d
3 800(低)	1 100	0	6.67	13.33
	1 200	13.33	33.33	36.67
	1 300	53.33	56.67	63.33
	1 400	56.67	63.33	66.67
	1 500	46.67	53.33	76.67
4 400(中)	1 100	10.00	20.00	23.33
	1 200	26.67	46.67	53.33
	1 300	53.33	63.33	73.33
	1 400	56.67	86.67	93.33
	1 500	80.00	93.33	96.67
5 300(高)	1 100	43.33	53.33	56.67
	1 200	46.67	53.33	63.33
	1 300	73.33	76.67	86.67
	1 400	83.33	100.00	100.00
	1 500	93.33	96.67	100.00
对照		0	0	3.33

低浓度 3 800 mg/kg 的硫酸铵与稀土钇复合染毒接触蚯蚓时: 14 d 蚯蚓死亡率(y)与稀土钇浓度(x)的线性拟合方程为: $y = 0.156 7x - 152.35$, 线性相关系数 $R^2 = 0.915 9$, 其相关性达到较显著水平; 并由该方程求得低浓度 3 800 mg/kg 的硫酸铵与稀土钇复合胁迫蚯蚓情况下蚯蚓的 14 d 理论 LC_{50} 为 1 291.32 mg/kg, 略大于稀土钇单一染毒

14 d 对蚯蚓的半致死率浓度 LC_{50} 1 216.57 mg/kg; 说明低浓度的硫酸铵稍微降低稀土钇对蚯蚓的毒性, 产生轻微的拮抗作用。

中浓度 4 400 mg/kg 的硫酸铵与稀土钇复合染毒接触蚯蚓时: 14 d 蚯蚓死亡率(y)与稀土钇浓度(x)的线性拟合方程为: $y = 0.186 7x - 174.69$, 线性相关系数 $R^2 = 0.941 2$, 其相关性达到较显著水

平;并由该方程求得中浓度 4 400 mg/kg 的硫酸铵与稀土钇复合胁迫蚯蚓情况下蚯蚓的 14 d 理论 LC_{50} 为 1 203.48 mg/kg,亦略小于稀土钇单一染毒 14 d 的 LC_{50} 。表明中浓度的硫酸铵稍微增加了稀土钇对蚯蚓的毒性,产生轻微的协同作用。

高浓度 5 300 mg/kg 的硫酸铵与稀土钇复合染毒接触蚯蚓时:14 d 蚯蚓死亡率(y)与稀土钇浓度(x)的线性拟合方程为: $y=0.123 3x-78.995$,性相关系数 $R^2=0.917 5$,其相关性达到较显著水平;并由该方程求得高浓度 5 300 mg/kg 的硫酸铵与稀土钇复合胁迫蚯蚓情况下蚯蚓的 14 d 理论 LC_{50} 为 1 046.19 mg/kg,显著小于稀土钇单一染毒 14 d 的 LC_{50} ;表明高浓度的硫酸铵明显增加了稀土钇对蚯蚓的毒性,产生显著的协同作用。

3 结 论

综上所述,稀土钇与硫酸铵对蚯蚓都存在一定毒性作用,蚯蚓的死亡率与染毒时间、2 种污染物的浓度呈正比关系,且 LC_{50} 随染毒时间的延长而降低。同时,依据《化学农药环境安全评价试验准则》(GB/T 31270.7—2014),通过 LC_{50} 值来区分污染物毒性的大小; $LC_{50}>10$ mg/kg,试验测得稀土钇及硫酸铵单一染毒 14 d 对蚯蚓的 LC_{50} 值分别为 1 216.57 mg/kg、4 293.53 mg/kg,远大于 10 mg/kg,因此稀土钇及硫酸铵对蚯蚓都属于低毒性。但稀土钇属于金属元素,位于食物链底端的蚯蚓

对其具有富集性,可能造成食物链的逐级富集,从而威胁高级生物甚至人类的健康。此外,稀土钇、硫酸铵的不同浓度组合,对蚯蚓的复合毒性或产生拮抗作用或协同作用,其具体作用机制还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王洋, 聂刘旺, 陈启龙, 等. 稀土元素的生物安全性探讨 [J]. 生物学杂志, 2004, 21 (2): 4-6.
- [2] 郭永灿, 王振中, 张友梅, 等. 重金属对蚯蚓的毒性毒理研究 [J]. 应用与环境生物学报, 1996 (2): 132-140+204-205.
- [3] Nahmani J, Lavelle P. Effects of heavy metal pollution on soil macro fauna in grassland of Northern France [J]. European Journal of Soil Biology, 2002, 38 (3-4): 297-300.
- [4] 孔志明, 臧宇, 崔玉霞, 等. 两种新型杀虫剂在不同暴露系统对蚯蚓的急性毒性 [J]. 生态学杂志, 1999 (6): 20-23.
- [5] 谢克和, 谭天爵. 稀土硝酸盐对蚯蚓生长繁殖的影响 [J]. 农业环境保护, 1992, 11 (5): 223-235.
- [6] 胡玉敏, 申秀英, 赵青. 农用稀土对土壤生物的生态毒性效应研究进展 [J]. 金华职业技术学院学报, 2006, 6 (6): 53-55.
- [7] Neuhauser EF, Loehr RC, Milligan DL, et al. Toxicity of metals to the earthworms *Eisenia fetida* [J]. Biology and Fertility of Soils, 1985, 1: 52-149.
- [8] Xiujuan FENG, Caiyun MA. Study on the acute toxicity of rare earth yttrium to earthworms under the stress of leaching agent ammonium sulfate [J]. Agricultural Science & Technology, 2014, 15 (2): 177-181+190.