

多尺度纳米 SiO₂ 对水稻的生态毒理效应及临界指标研究

杨莎莎, 林匡飞, 徐圣友, 张 卫, 苏爱华, 张 梅, 章立勇

(国家环境保护化工过程环境风险评价与控制重点实验室, 上海 200237)

摘 要:通过纸床培养,研究了在不同尺度(20.3、49.8 和 80.0 nm)不同浓度 SiO₂ 对水稻种子发芽及幼苗生长的影响。结果表明,水稻的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、芽长抑制率与多尺度纳米 SiO₂ 浓度呈显著正相关($P<0.01$),通过线性回归方程得出 20.3、49.8 和 80.0 nm SiO₂ 的 IC₂₅ 分别为 8.82、5.09、3.62、0.58、1.85、4.96 g·L⁻¹; 10.25、8.45、4.66、2.34、2.69、5.11 g·L⁻¹ 和 13.89、7.72、4.71、2.97、3.01、4.83 g·L⁻¹。对各指标影响的敏感性大小为:活力指数>根长>发芽指数>芽长>发芽势>发芽率。按最敏感指标的 IC₂₅ 可以判断多尺度纳米 SiO₂ 对水稻的毒性大小为:20.3 nm>49.8 nm>80.0 nm。临界指标分析结果表明,20.3、49.8 和 80.0 nm SiO₂ 的临界值分别为:38.9、257.9 和 764.1 mg·L⁻¹,表明纳米 SiO₂ 的直接毒性降低。

关键词:多尺度纳米 SiO₂; 剂量-毒性效应; 尺度效应; 临界指标

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)01- 0030-05

Eco-toxicological Effects of Multiscale Nano-SiO₂ and Its Critical Value on Rice

YANG Sha-sha, LIN Kuang-fei, XU Sheng-you, ZHANG Wei, SU Ai-hua, ZHANG Mei, ZHANG Li-yong

(State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Risk Assessment and Control on Chemical Process, Shanghai 200237, China)

Abstract: The relationship between the concentration of nano-SiO₂ and the resulting toxic and scale effects on terrestrial plants were investigated in this study to explore its critical value. The impact of various concentrations of multi-scale nano-SiO₂ suspension on rice seed germination and growth was tested. The experimental results showed a significant positive correlation ($P<0.01$) between the nano-SiO₂ suspension concentration and the inhibitory rate of seed germination. The regression equations were used to determine the IC₂₅ germinative rate, germinability, germination index, activity index, root length, bud length and for multi-scale nano-SiO₂, and the values of 8.82, 5.09, 3.62, 0.58, 1.85, 4.96 g·L⁻¹ for 20.3 nm SiO₂; 10.25, 8.45, 4.66, 2.34, 2.69, 5.11 g·L⁻¹ for 49.8 nm SiO₂; 13.89, 7.72, 4.71, 2.97, 3.01, 4.83 g·L⁻¹ for 80.0 nm SiO₂ were obtained respectively. It could be concluded that the order of sensitivity among different indices was activity index>root length>germination index>bud length>germinability>germinative rate. According to the most sensitive index IC₂₅ the order of toxicity of multi-scale nano-SiO₂ was 20.3 nm>49.8 nm>80.0 nm. Analysis of critical indicators showed that the critical values of 20.3 nm, 49.8 nm, and 80.0 nm SiO₂ were 38.9, 257.9, and 764.1 mg·L⁻¹ respectively, suggesting that the direct toxicity of nano-SiO₂ decreased with the increase of SiO₂ size.

Keywords: multiscale nano-SiO₂; dose-toxic effects; scale effects; critical value

纳米 SiO₂ 是一种新型的纳米材料, 由于它的量子尺寸、量子隧道效应和特殊光、电特性等奇异特性, 而广泛应用于电子封装材料、高分子复合材料、涂料、纺织行业、陶瓷制品、生物医学工程、催化剂和催化剂

载体、化妆品及抗菌材料和树脂基复合材料改性等领域^[1-3]。这些纳米材料的生产、使用以及最终的处置都不可避免地排放到大气、土壤和水体环境中。由于它特殊的物理化学性质, 在进入生命体后, 它们与生命体相互作用所产生的化学特性和生物活性, 与化学成分相同的常规物质有很大不同^[4]。另外, 纳米材料的尺度效应直接决定了它的生物效应, 尤其是多尺度纳米材料生物效应的差异则更能有效说明纳米材料毒害的生物效应, 一些原本无毒或者低毒的材料当粒径达

收稿日期: 2008-09-22

基金项目: 上海市科委纳米专项(0752nm025); 上海市重点学科项目(B506)

作者简介: 杨莎莎(1983—), 女, 湖北襄樊人, 在读硕士, 主要从事新型化学物质风险评价及其他生态效应的研究。

E-mail: happyyangshasha@126.com

通讯作者: 林匡飞 E-mail: kflin@ecust.edu.cn

到纳米级时毒性明显增强^[5]。因此,评估纳米材料毒害与纳米的尺度效应关系,开展纳米生态毒理效应研究是目前迫切需要解决的环境问题。

目前国内外对纳米 SiO₂ 的生物毒性研究大多是对动物的呼吸毒理学和肺毒理学为主^[6],对高等植物的生态毒理学研究甚少,特别是纳米 SiO₂ 的尺度效应及临界指标的研究尚未见报道。高等植物由于生长在土壤水体等环境中而可以直接检测出环境污染物的早期毒害,根伸长试验、种子发芽试验和早期植物幼苗生长试验是常见的检测方法^[7]。一些国际机构组织已先后将高等植物生长状况检测方法作为评价化学品生态风险的一项指标以检测目标化学品的生态毒性^[8],国内已有不少研究者采用这种方法来判断化学物的生态毒性^[9-12],所以可以通过研究纳米材料对植物生长的影响来确定纳米材料的一些毒性指标。因此,本项目通过研究多尺度纳米 SiO₂ 对水稻种子早期萌发和幼苗生长影响,揭示纳米 SiO₂ 对陆地植物的剂量-毒性效应和尺度效应,并求出临界指标值,为纳米材料的环境风险评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料和主要仪器设备

试验种子为上海市农科院作物所提供的水稻(申优 1 号),供试材料为:20.3 nm SiO₂,49.8 nm SiO₂ 和 80.0 nm SiO₂(经动态光散射粒度散射仪测定),由华东理工大学材料学院提供。主要仪器设备有智能型人工气候箱(上海一恒科技有限公司)、立式自动电热压力蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂)以及电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)和 120 mm 直径玻璃培养皿、无灰定性滤纸等。

1.2 水稻发芽和根伸长预试验

将纳米 SiO₂ 按几何级数配成溶液,采用 120 mm 培养皿,内铺两层滤纸,预先加入 10 mL 相应浓度的供试物质溶液,选择大小均匀籽粒饱满的水稻种子用 0.5% 的 NaClO 消毒 20 min,自来水、蒸馏水分别冲洗 3 次,每皿 25 粒均匀摆放在滤纸上,培养皿加盖后置于 30 ℃,湿度 65% 智能人工气候箱中培养,当对照种子发芽率大于 65%、根长度 20 mm 时结束试验,确定纳米 SiO₂ 对水稻种子根长抑制率达到 10%~50% 的浓度区间,开始正式试验。

1.3 水稻发芽和根长的正式试验

根据预试验结果设置 6 个不同处理浓度梯度(0、5、50、500、2 500、5 000 mg·L⁻¹),每个处理设 4 个重

复。在与预试验相同的条件下进行水稻发芽和根伸长培养试验。每日观察并记录种子的发芽数(以胚芽长度达到种子长度一半为种子萌发的判断标准)。布种操作在洁净台内进行,以排出外界干扰因素。试验结束时用镊子轻轻将萌发种子取出,滤纸吸干后,再用刻度尺测其根长和芽长生理指标(农作物种子检验规程-发芽试验,GB/T 3543.4—1995)。

1.4 数据处理与分析

发芽率(%)=7 d 发芽的种子数/供试种子数×100%

发芽势(%)=3 d 发芽种子数/供试种子数×100%

发芽指数 $GI = \sum(G_t/D_t)$

G_t 为 t 日的发芽数, D_t 为相应的发芽天数,d。

活力指数 GVI =发芽指数×鲜重

所有数据采用 4 个重复,用 SPSS 15.0 进行 LDS 方差分析,多重比较。

2 结果与讨论

2.1 多尺度纳米 SiO₂ 对水稻种子萌发的影响

多尺度纳米 SiO₂ 对水稻种子早期萌发的各个生理指标(发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等)的影响与常规 SiO₂ 对水稻的生长影响截然不同^[13],而且不同指标间的影响差异明显,这为筛选敏感指标提供了有利条件。20.3、49.8 和 80.0 nm SiO₂ 胁迫对水稻种子的发芽率和发芽势有一定抑制作用,影响显著,具体表现为水稻种子的发芽率和发芽势都随着处理浓度的增加而降低。

表 1 表明,当 20.3 nm SiO₂ 浓度大于 5 mg·L⁻¹,49.8 nm 和 80.0 nm SiO₂ 浓度大于 500 mg·L⁻¹ 时,其发芽率受到抑制,差异显著($P<0.05$),且随浓度的增加抑制作用愈明显,当浓度达到 5 000 mg·L⁻¹ 时,发芽率分别为对照的 84.8%、87.1%和 90.3%。当 20.3 nm SiO₂

表 1 多尺度纳米 SiO₂ 对水稻种子萌发的影响

Table 1 Effect of multi-scale nano-SiO₂ on germination of rice seeds

浓度 /mg·L ⁻¹	20.3 nm		49.8 nm		80.0 nm	
	发芽率/%	发芽势/%	发芽率/%	发芽势/%	发芽率/%	发芽势/%
0	0.99a	0.97a	0.999a	0.96a	0.997a	0.95a
5	0.98a	0.95a	0.99a	0.94a	0.99a	0.94a
50	0.97bc	0.94a	0.98ab	0.93ab	0.98a	0.938a
500	0.94c	0.92b	0.97ab	0.92ab	0.97a	0.93a
2 500	0.91c	0.87c	0.93c	0.90b	0.94b	0.90a
5 000	0.84d	0.72c	0.87d	0.80c	0.90c	0.78b

注:同一列不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平上有显著差异,不同大写字母表示在 $P<0.01$ 水平上有极显著差异,下同。

浓度大于 50 mg·L⁻¹, 49.8 nm 和 80.0 nm SiO₂ 浓度大于 2 500 mg·L⁻¹ 时, 其发芽势开始受到抑制, 当浓度达到 5 000 mg·L⁻¹ 时, 发芽势分别为对照的 74.2%、83.3% 和 82.1%。这说明发芽势比发芽率对纳米 SiO₂ 的胁迫更敏感, 可能与种子本身生理特性优良有关。

表 2 表明了多尺度纳米 SiO₂ 对水稻种子发芽指数和活力指数的影响。发芽指数反映了种子萌发的速度和整齐程度^[14]。多尺度纳米 SiO₂ 胁迫下, 发芽指数均随着处理浓度的增加而降低, 当处理浓度为 5 000 mg·L⁻¹ 时, 各尺度 SiO₂ 影响下的发芽指数分别为对照的 66.1%、72.9% 和 72.1%。6 个处理浓度对活力指数的影响存在较大的差异, 其中 CK 的活力指数最高, 除了 5 mg·L⁻¹ 处理, 其他各处理与对照之间均差异显著。

表 2 多尺度纳米 SiO₂ 对水稻种子发芽指数和活力指数的影响

Table 2 Effect of multi-scale nano-SiO₂ on germination and activity index of rice seeds

浓度/ mg·L ⁻¹	20.3 nm		49.8 nm		80.0 nm	
	发芽指数	活力指数	发芽指数	活力指数	发芽指数	活力指数
0	30.27a	1 796aA	30.32a	2 137a	29.71a	1 653aA
5	29.40a	1 642aB	29.50a	2 050a	29.09a	1 582bA
50	29.08b	1 603bB	28.95ab	1 939b	28.50a	1 552bcA
500	28.66b	1 550cB	27.78ab	1 765c	28.13a	1 479cB
2 500	25.04b	1 146dB	26.16b	1 658d	26.32a	1 376bcB
5 000	20.01c	910dC	22.10c	1 172e	21.40b	971dC

2.2 多尺度纳米 SiO₂ 对水稻种子根芽伸长的影响

表 3 表明了多尺度纳米 SiO₂ 对水稻幼根和芽长伸长的影响。随着处理浓度的增加, 根芽长受抑制程度逐渐增大, 表现出明显的剂量-效应关系, 这与常规 SiO₂ 对水稻的根芽伸长影响恰恰相反^[15]。

当 20.3 nm SiO₂ 浓度达到 5 mg·L⁻¹ 时, 即对水稻的根长有抑制作用, 差异显著 ($P<0.05$); 当浓度达到 500 mg·L⁻¹ 时, 水稻的根长明显减小, 差异极显著

表 3 多尺度纳米 SiO₂ 对水稻根芽伸长的影响

Table 3 Effects of multiscale nano-SiO₂ on root and seedling elongation of rice

浓度/ mg·L ⁻¹	20.3 nm		49.8 nm		80.0 nm	
	根长/cm	芽长/cm	根长/cm	芽长/cm	根长/cm	芽长/cm
0	7.68aA	3.49 aA	7.67aA	3.44aA	7.73aA	3.48aA
5	7.32abA	3.34abAB	7.33abAB	3.27bcAB	7.64abcA	3.30aABC
50	7.19 abA	3.32 abAB	7.29 bcAB	3.13 abcAB	7.43 abcAB	3.19 abcABC
500	6.06bA	3.12bcB	6.37bcB	2.83cB	7.15bcAB	2.99abcABC
2 500	5.01cB	3.00cB	6.11cB	2.88cB	6.57bcdB	2.76bcdB
5 000	3.97dC	2.48dC	4.47dC	2.51cB	5.12cC	2.33dC

($P<0.01$), 而当浓度达到 2 500 mg·L⁻¹, 对水稻芽长的抑制作用才达到极显著水平。49.8 nm 和 80.0 nm SiO₂ 对根长和芽长的影响趋势与 20.3 nm 基本一致。这说明水稻根长比芽长更为敏感, 这与多数重金属及有机物对种子根芽伸长的影响一致^[16-18]。可能因为根系对污染物较为敏感并且直接与目标物接触。

2.3 多尺度纳米 SiO₂ 与水稻生理指标相关分析和临界值研究

多尺度纳米 SiO₂ 的浓度 (X) 与各项指标的回归分析结果见表 4。各项指标均为极显著相关 ($P<0.01$), 表明同一尺度随着处理浓度的增加, 各项指标均受到抑制, 呈正相关。按照回归方程计算得抑制率达到 25% 时相对应的浓度 IC₂₅ 值。若以 IC₂₅ 进行比较, 各指标的敏感性顺序为: 活力指数抑制率>根长抑制率>发芽指数抑制率>芽长抑制率>发芽势抑制率>发芽率抑制率。多尺度纳米 SiO₂ 对水稻的各项指标的影响中活力指数最为敏感, 发芽率最不敏感。活力指数抑制最敏感 IC₂₅ 分别为: 582.6, 2 341.2, 2 970.8 mg·L⁻¹, 由此也可以判断多尺度纳米 SiO₂ 对水稻的毒性大小为: 20.3 nm>49.8 nm>80.0 nm。推测原因可能由于小尺度 SiO₂ 比大尺度更容易进入种胚内, 干扰种胚营养物质供应, 从而抑制了种子发芽的各个生理指标。

表 4 多尺度纳米 SiO₂ 与种子发芽生理指标相关分析和临界值

Table 4 Critical value and the interrelation among the physiological indexes of seedling and multiscale nano-SiO₂ concentration

尺度	抑制率	相关性分析				相应的临界值 IC ₂₅
		n	r^2	$a(10^{-3})$	b	
20.3 nm	发芽率	4	0.967 1	2.60	2.08	8 817.0
	发芽势	4	0.969 0	4.50	2.09	5 090.7
	发芽指数	4	0.997 3	6.11	2.94	3 615.8
	活力指数	4	0.793 0	14.0	16.8	582.6
	根长	20	0.914 8	8.30	9.68	1 846.2
49.8 nm	芽长	20	0.950 5	4.01	5.16	4 960.7
	发芽率	4	0.993 9	2.30	1.43	10 247.8
	发芽势	4	0.934 4	2.72	2.18	8 451.4
	发芽指数	4	0.976 4	4.51	4.04	4 657.1
	活力指数	4	0.936 6	7.20	8.14	2 341.2
80.0 nm	根长	20	0.924 3	6.82	6.74	2 685.3
	芽长	20	0.769 6	3.22	8.65	5 109.3
	发芽率	4	0.985 3	1.70	1.39	13 885.7
	发芽势	4	0.938 0	3.20	0.29	7 723.0
	发芽指数	4	0.968 9	4.80	2.41	4 707.4
	活力指数	4	0.958 0	6.80	4.80	2 970.8
	根长	20	0.905 4	4.90	8.34	3 401.1
	芽长	20	0.982 2	4.60	2.80	4 826.1

以抑制效应 10% 时的临界指标分析结果表明, 20.3、49.8 和 80.0 nm SiO_2 的临界值分别为: 38.9、257.9 和 764.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 表明纳米 SiO_2 的直接毒性降低。

2.4 纳米 SiO_2 对水稻敏感生理指标的尺度效应

图 1 和图 2 是多尺度纳米 SiO_2 对水稻萌发及生长过程中敏感指标(活力指数和根长)的抑制效应。由图中可以看出敏感指标抑制率随着纳米 SiO_2 浓度的增加而增加, 且与浓度对数呈正相关, 且 20.3 nm SiO_2 对水稻活力指数和根长抑制率大于 49.8 nm SiO_2 , 80.0 nm SiO_2 的影响最小。可能原因是小尺度纳米 SiO_2 更容易进入细胞, 影响水稻种子内淀粉酶及其他酶系统的活力, 使其不能为种子发芽提供能量, 从而使得活力指数降低; 另外纳米 SiO_2 还可以干扰根的细胞分裂, 抑制根系发育。

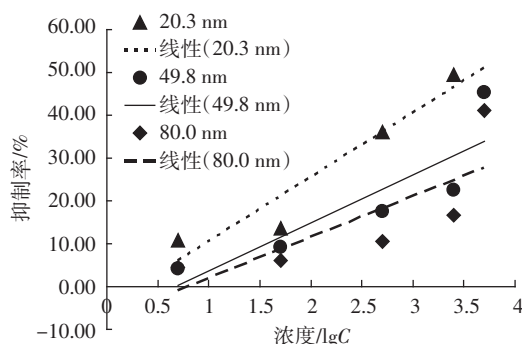


图 1 多尺度纳米 SiO_2 对水稻种子活力指数的影响

Figure 1 Effect of multi-scale nano- SiO_2 on activity index of rice seeds

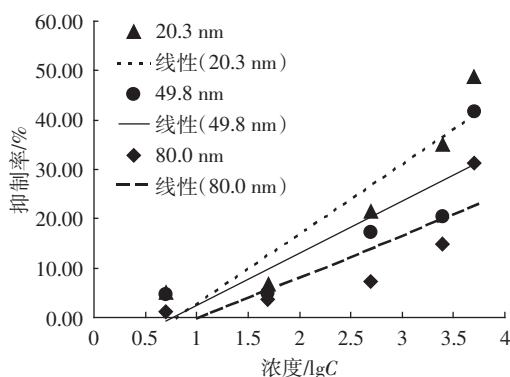


图 2 多尺度纳米 SiO_2 对水稻种子根长抑制率的影响

Figure 2 Effects of multiscale nano- SiO_2 on root elongation of rice

图 3 可以看出不同粒径纳米 SiO_2 对水稻两个较敏感指标活力指数和根长抑制率的尺度效应, 通过其 IC_{25} 值显示出纳米 SiO_2 对水稻生态毒性的尺度效应: 20.3 nm > 49.8 nm > 80.0 nm。

3 结论

(1) 纳米尺度 SiO_2 对水稻种子萌发和幼苗生长

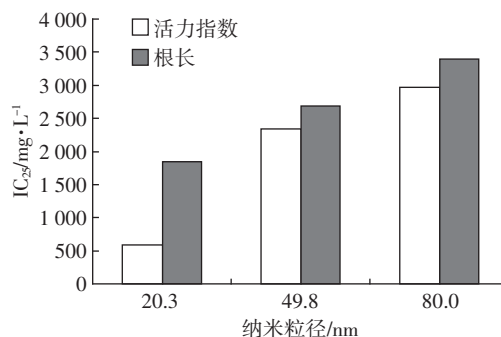


图 3 纳米 SiO_2 对水稻种子活力指数和根长的尺度效应

Figure 3 Scale effects of nano- SiO_2 on activity index and root elongation of rice seed

的影响与常规 SiO_2 有很大差异, 研究表明 20.3 nm SiO_2 的毒性最大, 49.8 nm 次之, 80.0 nm SiO_2 毒性最小, 充分说明了纳米颗粒的尺度效应。

(2) 多尺度纳米 SiO_2 对水稻萌发和根芽伸长的影响表现为抑制作用, 即随着处理浓度的增加, 各抑制率相应增加, 浓度之间差异显著, 通过线性回归方程得出 20.3、49.8 和 80.0 nm SiO_2 的 IC_{25} 分别为 8.82、5.09、3.62、0.58、1.85、4.96 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 10.25、8.45、4.66、2.34、2.69、5.11 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 13.89、7.72、4.71、2.97、3.01、4.83 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) 各指标对纳米 SiO_2 敏感性顺序为: 活力指数 > 根长 > 发芽指数 > 芽长 > 发芽势 > 发芽率。活力指数抑制率及根长抑制率可用作判断纳米 SiO_2 对植物生态毒性的敏感性指标。

(4) 临界指标分析结果表明, 20.3、49.8 和 80.0 nm SiO_2 的临界值分别为: 38.9、257.9 和 764.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 表明纳米 SiO_2 的直接毒性降低。

参考文献:

- [1] Jong Soo Park, Young Jun Park, Jong Heo. Solidification and recycling of incinerator bottom ash through the addition of colloidal silica (SiO_2) solution[J]. *Waste Management*, 2007, 27(9): 1207–1212.
- [2] 蔡亮珍, 杨挺. 纳米 SiO_2 在高科技领域中的应用[J]. *现代塑料加工应用*, 2002, 14(6): 20–23.
CAI Liang-zhen, YANG Ting. The application of nano- SiO_2 in macro-molecular area[J]. *Modern Plastics Processing and Applications*, 2002, 14(6): 20–23.
- [3] 武利民. 纳米材料在涂料中的应用[J]. *材料导报*, 2001, 15(4): 51–52
WU Li-min. Application of nanostructure materials in coatings[J]. *Materials Review*, 2001, 15(4): 51–52.
- [4] Service R F. Nanomaterials show signs of toxicity[J]. *Science*, 2003, 300(5617): 243.
- [5] Zhang Q, Kusaka Y, Zhu X, et al. Comparative toxicity of standard nickel and ultrafine nickel in lung after intratracheal instillation[J]. *J Occup Health*, 2003, 45(1): 23–30.

- [6] 应杏秋, 郑一凡, 祝慧娟, 等. 纳米 SiO₂ 与标准 SiO₂ 对大鼠肺毒作用的比较研究[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2007, 25(1):26-29.
YING Xing-qiu, ZHENG Yi-fan, ZHU Hui-juan, et al. Study of toxicity to rats induced by nanosized SiO₂ and standard SiO₂[J]. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Disease*, 2007, 25(1):26-29.
- [7] Gong P, Wilke B M, Strozzi E, et al. Evaluation and refinement of a continuous seed germination and early seedling growth test for the use in the eco-toxicological assessment of soil[J]. *Chemosphere*, 2001, 44(3):491-500.
- [8] International Organization for Standardization(ISO). Soil quality-determination of the effects of pollutants on soil flora [J]. *Part I: Method for the Measurement of Inhibition of Root Growth*, ISO, 1993, 11269-1.
- [9] 林匡飞, 徐小清, 郑利, 等. Se 对小麦种子发芽与根伸长抑制的生态毒理效应[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(5):885-889.
LIN Kuang-fei, XU Xiao-qing, ZHENG Li, et al. Eco-toxicological effects of selenium on inhibition of seed germination and root elongation of wheat[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(5):885-889.
- [10] 李威, 周启星, 华涛. 铁盐絮凝剂与金属镉对小麦种子发芽与根伸长的毒性效应[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2):420-424.
LI Wei, ZHOU Qi-xing, HUA Tao. Toxic effects of iron-based flocculants and cadmium on seed germination and root elongation of wheat[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2):420-424.
- [11] 宋玉芳, 许华夏. 土壤重金属对白菜种子发芽与根伸长抑制的生态毒性效应[J]. 环境科学, 2002, 23(1):103-107.
SONG Yu-fang, XU Hua-xia. Eco-toxicological effects of heavy metals on the inhibition of seed germination and root elongation of Chinese cabbages in soils[J]. *Environmental Science*, 2002, 23(1):103-107.
- [12] 宋玉芳, 周启星, 许华夏, 等. 重金属对土壤中小麦种子发芽与根伸长抑制的生态毒性[J]. 应用生态学报, 2002, 13(4):459-462.
SONG Yu-fang, ZHOU Qi-xing, XU Hua-xia, et al. Eco-toxicity of heavy metals on the inhibition of seed germination and root elongation of wheat in soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4):459-462.
- [13] 黄秋婵, 韦友欢, 韦良兴. 硅对水稻生长的影响及其增产机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(3):919-920.
HUANG Qiu-chan, WEI You-huan, WEI Liang-xing. Review of the effect of the silicon on growth and mechanism of rice yield-increasing[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(3):919-920.
- [14] 郑伟, 王彬, 蔡永强, 等. NaCl 胁迫对火龙果种子萌发的影响[J]. 种子, 2008, 27(1):82-85.
ZHENG Wei, WANG Bin, CAI Yong-qiang, et al. Effect of NaCl stress on seed germination of pitaya[J]. *Seed*, 2008, 27(1):82-85.
- [15] 黄秋婵, 韦友欢, 黎晓峰. 硅对镉胁迫下水稻幼苗生长及其生理特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(3):354-357.
HUANG Qiu-chan, WEI You-huan, LI Xiao-feng. Effect of silicon under cadmium stress on growth and physiological characteristics of seedlings in oryza sativa[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2007, 46(3):354-357.
- [16] Lin D Xing B. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth[J]. *Environ Pollut*, 2007, 15(2):243-250.
- [17] 曾翔, 张玉烛, 王凯荣, 等. 镉对水稻种子萌发的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7):1665-1668.
ZENG Xiang, ZHANG Yu-zhu, WANG Kai-rong, et al. Effects of cadmium on rice seed germination[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(7):1665-1668.
- [18] 王泽港, 葛才林, 万定珍. 1, 2, 4-三氯苯和萘对水稻幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(6):1402-1407.
WANG Ze-gang, GE Cai-lin, WAN Ding-zhen. Effects of 1, 2, 4-trichlorobenzene and naphthalene on growth of rice seedling[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(6):1402-1407.