

硒对汞胁迫小麦幼苗生理特性的影响

李瑞平¹, 李光德^{1*}, 袁宇飞¹, 侯存东², 于冲¹

1. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2. 泰安市环境保护监测站, 山东 泰安 271018

摘要:通过沙基培养研究不同 $\rho(\text{Se})$ 对 Hg 胁迫下小麦 (*Triticum aestivum* L.) 幼苗苗高、叶绿素相对含量 (SPDA)、丙二醛 (MDA) 含量及抗氧化酶活性等的变化, 探讨外加 Se 对 Hg 胁迫下小麦幼苗生理活性的影响。结果表明: 单独 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理下, 小麦幼苗叶绿素含量降低, SOD 与 CAT 活性受到抑制降低, 丙二醛 (MDA) 含量升高。 $\rho(\text{Se})=5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 共同处理下, 叶绿素含量比 Hg 单独处理升高了 7.6%, 比对照升高了 3.5%, MDA 含量降低了 38.8%, 低于对照 20.0%; 外加 $\rho(\text{Se})$ 高于 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理中, 叶绿素含量逐渐降低, MDA 则呈升高趋势。 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下低 $\rho(\text{Se})=5\sim 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 促进了 SOD 与 CAT 活性, 其活性随 Se 质量浓度升高逐渐增强; $\rho(\text{Se})=10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 共同处理下, 两种酶活性比 Hg 单独处理分别升高了 21.8% 与 32.8%, 高 $\rho(\text{Se})=15\sim 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理下, 两种酶活性则呈下降趋势。这些结果表明, 不同 $\rho(\text{Se})$ 对 Hg 胁迫下小麦幼苗各生理指标具有显著影响, Se 一定程度上缓解了 Hg 对小麦幼苗的毒害。

关键词: 硒; 汞胁迫; 超氧化物歧化酶 (SOD); 过氧化氢酶 (CAT); 丙二醛 (MDA)

中图分类号: X53

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 05-0975-05

汞是一种植物非必须元素, 在植物体内积累到一定程度, 就可能对植物造成毒害作用^[1-2]。相关研究证明^[3-4], 汞对植物的毒害是由于诱发高活性的自由基和 MDA 的形成, 导致植物细胞膜透性的增加, 细胞代谢失调, 从而抑制植物生长。硒是高等植物必要的微量元素之一^[5-6], 并且与重金属有很强的亲和力和, 硒类化合物对生物体内汞、砷、镉、铅等元素的毒性有拮抗作用^[7]。目前关于硒与汞的相互作用的研究, 国内的报道主要集中在动物方面^[8-10], 对植物的研究较少。通过砂基培养, 探讨了外加硒对汞胁迫下小麦 (*Triticum aestivum* L.) 幼苗生理活性的影响, 以期能为汞胁迫伤害植物的生态防护技术研究提供参考。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

小麦种子为农大 D440, 将精选的小麦种子用 0.1% 的次氯酸钠溶液消毒 10 min, 去离子水冲洗 3 次, 摆放在垫有海绵的培养皿中, 放入 $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ 培养箱中催芽 4 d, 待用。

1.2 实验设计

以石英砂做培养基质 (砂过 2 mm 筛, 经 2% 的 HNO_3 溶液浸泡过夜, 用去离子水洗净, 晾干) 将其装入直径 25 cm, 深 30 cm 的圆形塑料花盆中 ($500 \text{ g}\cdot\text{盆}^{-1}$), 选取长势一直的小麦苗植入花盆中 ($30 \text{ 株}\cdot\text{盆}^{-1}$), 自然光照培养。Se、Hg 以 Na_2SeO_3 、 HgCl_2 的形式添加入 Hoagland 营养液, $\rho(\text{Se})$ 为 $T_0: 0$

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $T_1: 5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $T_2: 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $T_3: 15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $T_4: 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\rho(\text{Hg})$ 为 $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (汞对小麦苗产生毒害的临界质量浓度是 $2.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[11]), 另外设不加 Se、Hg 的对照 (CK)。培养期间, 每天以该营养液浇灌 3 次, 保持砂基湿润。每个处理设 3 个重复。35 d 后取样进行相关指标测定。

1.3 实验方法

叶绿素相对含量 (SPAD 值): 采用便携式叶绿素测定仪 (SPAD-502, Japanese) 来测定叶绿素的相对含量。在每盆小麦幼苗中随机选取 10 片小麦叶片测定每片叶片的叶绿素相对含量, 再计算出该 10 组数值的平均值, 即为该盆小麦的叶绿素相对含量。

超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定^[12]: 采用氮蓝四唑 (NBT) 光化还原法, 723 分光光度计 560 nm 处测定吸光度值, 以抑制 NBT 光化还原 50% 所需的酶量为 1 个酶活单位 (以 FW 计, $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)。

过氧化氢酶 (CAT) 活性测定^[12]: 采用紫外吸收法测定, 结果以 1 min 内减少 0.1 的酶量为一个酶活性单位, 即 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

丙二醛 (MDA) 含量的测定^[13]: 采用硫代巴比妥酸 (TBA) 法提取, 分光光度法测定, 结果以 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小麦幼苗苗高的影响

由图 1 可知, T_0 [单独添加 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$] 处理下, 小麦幼苗苗高比对照 (CK) 显著降低 12.3%。

基金项目: 国家环保公益行业科研专项 (200809047)

作者简介: 李瑞平 (1985 年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为污染修复工程。E-mail: lirui ping858@163.com

*通信作者: 李光德 (1962 年生), 男, 教授, 从事环境生态学研究。E-mail: lguangde@sdau.edu.cn

收稿日期: 2011-04-25

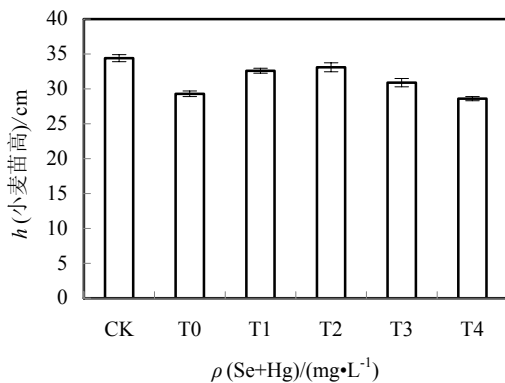


图1 不同 $\rho(\text{Se})$ 对 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下小麦幼苗苗高的影响
Fig1 Influence of different Se treatments on height of Wheat Seedlings under $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ stress

差异显著($P<0.05$),说明 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 阻碍了小麦幼苗的生长;外加 $\rho(\text{Se})$ 为 $5\sim 15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,小麦幼苗比 T_0 均显著升高, $T_1\sim T_3$ 分别升高了18.1%,13.0%,5.5%,差异显著($P<0.05$),说明Se缓解了Hg对小麦幼苗的抑制作用,这种缓解作用在 $T_1[\rho(\text{Se})=5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}]$ 处理下最明显。随着外加Se浓度升高,小麦幼苗高度呈降低趋势, $T_4[\rho(\text{Se})=20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}]$ 处理下比 T_0 降低了2.4%,差异显著($P<0.05$),说明高质量浓度的Se与Hg共同作用,对小麦幼苗进一步造成毒害。

2.2 不同处理对小麦幼苗中叶绿素相对含量的影响

叶绿素为植物进行光合作用的主要色素,含量的降低是植物遭受重金属毒害的重要特征之一^[14]。图2结果表明, T_0 [单独添加 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$]处理下,小麦叶绿素相对含量比对照(CK)处理降低了3.8%,差异显著($P<0.05$),说明 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

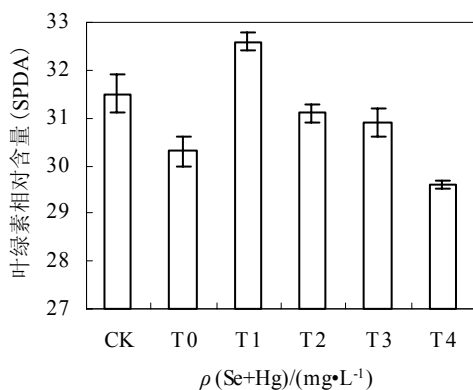


图2 不同质量浓度硒对 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下小麦幼苗叶绿素相对含量的影响
Fig2 Influence of different Se treatments on SPAD value of Wheat Seedlings under $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ stress

时对小麦幼苗表现出毒害作用;外加 $\rho(\text{Se})$ 为 $5\sim 15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,叶绿素相对含量比 T_0 均显著升高, $T_1\sim T_3$ 分别升高了7.6%,2.6%,2.0%,差异显著($P<0.05$),说明Se缓解了Hg对叶绿素相对含量的抑制作用,这种缓解作用在 $T_1[\rho(\text{Se})=5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}]$ 处理下最明显。随着外加 $\rho(\text{Se})$ 升高,叶绿素相对含量呈降低趋势, $T_4[\rho(\text{Se})=20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}]$ 处理下比 T_0 降低了2.3%,差异显著($P<0.05$),说明高质量浓度的Se与Hg共同作用,对小麦幼苗进一步造成毒害。

叶绿素在光能的吸收、传递及光化学反应中具有重要作用,决定着植物的光合效率,叶绿素含量的高低与叶片衰老氧化密切相关^[15-16]。 Hg^{2+} 会与叶绿素蛋白中的氨基酸结合,降低细胞外膜缩多氨酸的含量,引起叶绿素的破坏与降解,直接导致叶绿素含量的降低^[17]。本研究中 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 使得小麦幼苗叶绿素相对含量降低,说明该质量浓度的Hg对小麦幼苗造成毒害作用,该研究结果与刘玲等^[18]对玉米的研究结果一致。加入 $\rho(\text{Se})$ 为 $5\sim 15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,叶绿素相对含量比Hg单独胁迫下升高,说明Se减轻Hg对小麦幼苗叶绿素相对含量的抑制作用,使叶绿素含量增加。叶绿素虽然不含Se,但是可能以Se-氨基酸的形式参与叶绿素前体物的合成^[19],Se在总体上也可促进对P、K、Ca、Mg、Zn等的吸收^[20],而这些元素吸收有助于原叶绿素酸醋还原酶的合成及叶绿体双层膜结构修复等功能,缓解了Hg对小麦幼苗的毒害作用。随着外加 $\rho(\text{Se})$ 的升高,叶绿素相对含量呈下降的趋势,说明高 $\rho(\text{Se})$ 与Hg的联合作用加剧了Hg造成的毒害。

2.3 不同处理对小麦幼苗中MDA含量的影响

丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化反应的产物,其含量的变化可作为检测逆境条件下膜系统受损程度的指标^[21]。图3结果表明, T_0 (单独添加 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)处理下,小麦叶片MDA含量比CK处理升高了96.0%,差异显著($P<0.05$),说明 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 导致小麦叶片膜脂过氧化水平提高,膜系统稳定性下降;添加 $\rho(\text{Se})$ 为 $5\sim 15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,MDA含量比 T_0 均显著下降($P<0.05$), $T_1\sim T_4$ 分别比 T_0 下降了38.8%,30.6%,8.2%,18.4%,说明外加Se降低了小麦幼苗叶片的膜脂过氧化水平,缓解了Hg造成的毒害。随着 $\rho(\text{Se})$ 的升高,MDA含量总体上呈现升高趋势,说明Se对Hg毒害作用的缓解程度随着 $\rho(\text{Se})$ 升高而降低。

MDA含量的高低可以反映细胞膜脂过氧化的程度以及对逆境反应的强弱,其多少与植物的抗逆性呈负相关^[22]。本实验中,加入 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,小麦幼苗MDA含量显著增加,结果与徐小蓉

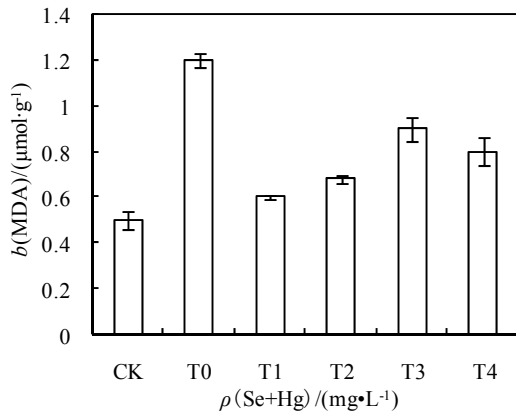


图3 不同质量浓度硒对 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下小麦幼苗叶MDA含量的影响

Fig3 Influence of different Se treatments on MDA content of Wheat Seedlings under $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ stress

等^[23]对辣椒的研究结果一致,可能的原因是Hg作用于细胞膜上的磷脂,改变细胞膜透性,导致细胞膜脂质过氧化水平升高,引起细胞膜结构损伤,使细胞膜透性增大^[23]。加入Se后,MDA含量比Hg单独胁迫下均显著降低,可能原因是低质量浓度的Se与Hg形成Hg-Se复合物,从而减轻植物整体Hg负担^[24]。

2.4 不同处理对小麦幼苗中CAT、SOD活性的影响

CAT几乎存在于所有生物机体中,功能是催化细胞内 H_2O_2 分解为分子氧和水,从而使细胞免受其毒害,并且CAT的活性大小与 H_2O_2 的积累有着直接的关联,它是生物防御系统的关键酶之一^[25]。图4结果显示, T_0 (单独添加 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)处理下,小麦叶片CAT活性比CK处理降低了27.5%,差异显著($P<0.05$),说明 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时对小麦叶片CAT活性表现为抑制作用;随着外加 $\rho(\text{Se})$ 的升高,CAT活性总体上呈现先升高后降低的趋势,

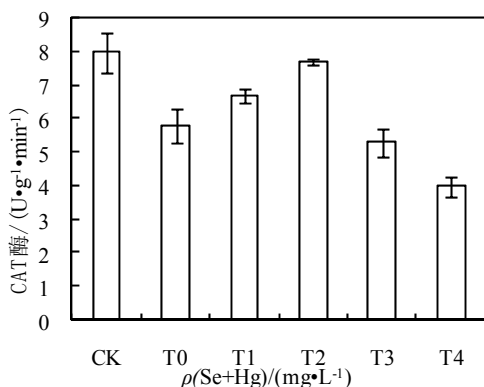


图4 不同质量浓度硒对 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下小麦幼苗CAT酶活性的影响

Fig4 Influence of different Se treatments on CAT activity of Wheat Seedlings under $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ stress

最大值出现在 $T_2[\rho(\text{Se})=10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$]处理下,比 T_0 升高了32.8%。 T_3 与 T_4 处理下CAT活性比 T_0 处理分别降低了8.6%和31.0%,差异显著($P<0.05$),说明高 $\rho(\text{Se})$ 和Hg共同作用进一步抑制了CAT的活性。

SOD是目前为止发现的唯一以自由基为底物的酶,这对维护植物体内的动态平衡起着极为重要的作用^[26]。图5结果显示, T_0 [单独添加 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$]处理下,小麦叶片SOD活性比CK处理降低了26.2%,差异显著($P<0.05$),说明 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 对小麦叶片SOD活性表现为抑制作用;随着外加 $\rho(\text{Se})$ 的升高,SOD活性呈现先升高后降低的趋势,最大值出现在 $T_2[\rho(\text{Se})=10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$]处理下,比 T_0 升高了21.8%,差异显著($P<0.05$);在 T_3 、 T_4 处理下小麦幼苗的SOD酶活性比 T_0 分别下降了12.2%和6.9%,差异显著($P<0.05$),说明高质量浓度的Se和Hg共同作用进一步抑制了SOD酶活性。

SOD和CAT是植物适应多种逆境胁迫的重要酶类,二者协调使细胞内自由基的生成和清除处于动态平衡。SOD能有效地消除活性氧,形成 H_2O_2 ,防止细胞膜系统过氧化作用的发生。CAT是一种含Fe的血蛋白酶类,能催化 H_2O_2 分解成水和氧,因此与植物代谢强度及抗逆能力密切相关。SOD和CAT活性的变化能迅速反映植物机体的毒害情况。本研究中, $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理下,小麦幼苗的SOD、CAT活性显著降低,说明该质量浓度的Hg对小麦幼苗产生毒害,原因可能是Hg对-SH自由基有很强的亲和力,会扰乱任何未受保护的蛋白质的正常功能。Hg会结合到蛋白质分子的同一条链

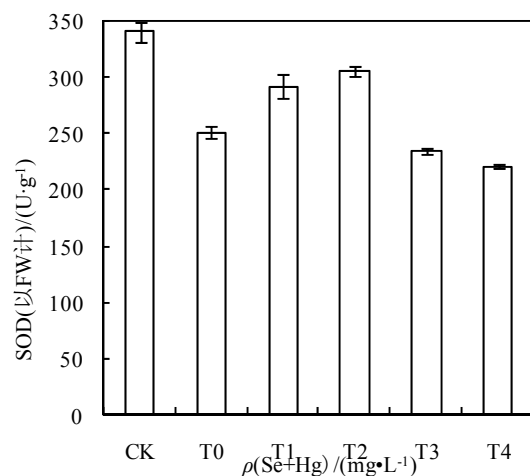


图5 不同质量浓度硒对 $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下小麦幼苗SOD酶活性的影响

Fig5 Influence of different Se treatments on SOD activity of Wheat Seedlings under $\rho(\text{Hg})=2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ stress

或两条相邻的链上^[27],当蛋白中 Hg 的含量达到一定程度时就导致蛋白质的沉淀^[28],因此 Hg 可以破坏细胞的酶系统,从而抑制植物体内 SOD、CAT 酶的活性。不少研究表明 Se 有清除自由基,降低脂质过氧化物的作用,增强有机体的抗氧化功能^[29]。本研究中,添加 $\rho(\text{Se})$ 为 $5\sim 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,小麦幼苗 SOD 与 CAT 的活性显著增加,提高了植物细胞对膜系统过氧化作用的抗性,说明 Se 减弱了小麦对 Hg 的敏感性,增加了小麦的耐受范围,缓解了小麦幼苗体内过氧化作用的剧烈进行,使活性氧的清除和生成处于相对的低水平动态平衡状态,从而表现出缓解作用。随着外加 $\rho(\text{Se})$ 的升高,SOD 与 CAT 活性均表现出先升高后降低的变化趋势,两种酶活性峰值均出现在 $T_2[\rho(\text{Se})=10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}]$ 处理下,说明在 $\rho(\text{Hg})=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下,Se 对小麦幼苗叶片 SOD 与 CAT 活性促进的最适质量浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,这与杜式华等^[30]的研究结果类似。

3 结论

由实验结果分析可知, $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的Hg添加量对小麦幼苗的生长产生了毒害作用。与对照处理相比,小麦幼苗苗高降低,叶绿素含量降低,SOD与CAT活性受到抑制,MDA含量升高。不同浓度外加Se对Hg胁迫下小麦幼苗的叶绿素相对含量、MDA含量及抗氧化酶活性的影响不一。从实验分析结果看出, $\rho(\text{Se})=5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 共同处理下,叶绿素含量比Hg单独处理升高了7.6%,MDA含量降低了38.8%,表明该质量浓度Se一定程度上缓解了Hg对小麦幼苗的毒害;外加 $\rho(\text{Se})$ 高于 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理中,叶绿素含量逐渐降低,MDA则呈升高趋势,表明随Se质量浓度升高,Se对Hg毒害的缓解作用逐渐降低。低 $\rho(\text{Se})$ ($5\sim 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)促进了SOD与CAT活性,其活性随 $\rho(\text{Se})$ 升高逐渐增强;在 $\rho(\text{Se})=10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\rho(\text{Hg})=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的共同处理下,两种酶活性比Hg单独处理分别升高了21.8%与32.8%;在高 $\rho(\text{Se})$ ($15\sim 20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)处理下,两种酶活性则呈下降趋势,表明Se对两种酶活性的促进作用逐渐减弱。

参考文献:

- PERALTA J R, GARDEDA T, TIEMANN K J. Study of the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant(*Medicago sativa*)grown in solid media[J]. Proceedings of the 2000 Conference on Hazardous Waste Research, 2000, 135-140.
- 张志杰, 吴秋芳, 方芳. 汞对小麦幼苗生长发育和生理功能的影响[J]. 环境科学, 1989, 10(4): 10-13.
ZHANG Zhijie, WU Qingfang, FANG Fang. Effect of mercury on the growth and physiological function of wheat seedlings[J]. Environmental Science, 1989, 10(4): 10-13.
- 马成仓, 洪法水, 李清芳. Hg 浸种对玉米种子萌发过程中几种酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 110-113.
MA Chengcang, HONG Fashui, LI Qingfang. Effect of seed soaking with Hg on enzyme activities of maize seed during its germination[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(1): 110-113.
- 赵海权, 洪法水. 汞毒害下小麦幼苗生长过程中保护酶活性变化规律的研究[J]. 农业环境保护, 1998, 17(1): 20-21.
ZHAO Haiquan, HONG Fashui. Study of the variation of wheat seedlings protective enzymes with Hg stress[J]. Agro-environmental, 1998, 17(1): 20-21.
- 秦粉菊, 袁红霞. 微量元素硒的生物学功能[J]. 微量元素与健康研究, 2007, 24(2): 62-64.
QIN Fenju, YUAN Hongxia. The Biological function of Selenium[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2007, 24(2): 62-64.
- 梅光泉, 应惠芳. 微量元素硒与植物有机硒化合物[J]. 微量元素与健康研究, 2003, 20(6): 59-61.
MEI Guangquan, YING Hui芳. Trace Element Selenium and Organic Selenium Compounds from Plants[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2003, 20(6): 59-61.
- 李敏, 高俊全, 李筱薇. 硒对铅毒性的拮抗作用[J]. 卫生研究, 2005, 34(3): 375-377.
LI Min, GAO Junquan, LI Youwei. Antagonistic action of selenium against the toxicity of lead[J]. Journal of Hygiene Research, 2005, 34(3): 375-377.
- 王娟, 尹洁, 孟焕平, 等. 硒对铅暴露孕鼠胎盘损伤拮抗作用[J]. 中国公共卫生, 2007, 23(10): 1229-1231.
WANG Juan, YIN Jie, MENG Huanping, et al. Effect of various doses of selenium on lead-intoxicated placenta of pregnant rat[J]. Chin J Public Health, 2007, 23(10): 1229-1231.
- 程金平, 王文华, 贾金平, 等. 硒拮抗汞污染的粮食诱导大鼠中枢神经系统 c-fos 基因表达[J]. 环境科学, 2005, 26(2): 163-166.
CHENG Jinping, WANG Wenhua, JIA Jinping, et al. Antagonistic Effects of Selenium on the Expression of c-fos in Central Nervous System of Rat Included by Mercury Contaminated Rice[J]. Environmental Science, 2005, 26(2): 163-166.
- 王爱国, 夏涛, 余日安, 等. 硒拮抗甲基汞神经毒性作用的实验研究[J]. 环境与健康杂志, 2001, 18(5): 268-269.
WANG Aiguo, XIA Tao, YU Ri'an, et al. Experimental Study on Antagonistic Effects of Selenium on Methylmercury Neurotoxicity[J]. Journal of Environment and Health, 2001, 18(5): 268-269.
- 马成仓, 洪法水. 汞对小麦种子萌发和幼苗生长作用机制初探[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 373-378.
MA Chengcang, HONG Fashui. Preliminary explanation of the mechanism about effects of mercury on wheat seed germination and seedling growth[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1998, 22(4): 373-378.
- 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 工业大学出版社, 2004.
HAO Zaibin, CANG Jing, XU Zhong. Experiments of Plant Physiology[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004.
- 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164-169.
LI Hesheng. The Principle and Experimental Technology of Plant Physiology and Biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164-169.
- STOEVA, BEROVAM, ZLATEV Z. Physiological response of maize to arsenic contamination[J]. Biologia Plantarum, 2004, 47: 449-452.
- 吴永尧, 卢向阳, 彭振坤, 等. 硒在水稻中的生理生化作用探讨[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 100-103.
WU Yongyao, LU Xiangyang, PENG Zhenkun, et al. Effects of Se on Physiological and Biochemical Characters of Paddy Rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(1): 100-103.
- 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 366-389.
YU Shuwen, TANG Zhangcheng. Plant Physiology and Molecular Biology Second Edition[M]. Beijing: Science Press, 1998: 366-389.

- [17] BAMMER M, CARPENTIER R. The action of mercury on the binding of extrinsic polypeptides associated with water oxidizing complex of photosystem II [J]. FEBS Lett, 1995: 560, 251-254.
- [18] 刘玲, 杨双春, 张洪林. Hg~(2+)胁迫下玉米生理生态变化的研究[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 161-163.
LIU Ling, YANG Shuangchun, ZHANG Honglin. Physiological and ecological response of maize to mercury stress[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(2): 161-163.
- [19] CAKMAK I, MARSEHNER H. Magnesium deficiency and highlight intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves[J]. plant physiol, 1991, 98: 1222-1227.
- [20] 陈铭, 刘更另. 高等植物的硒营养及在食物链中的作用(二)[J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 185-188.
CHEN Ming, LIU Gengling. Selenium and its role for higher plants[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(4): 185-188.
- [21] 刘建新, 赵国林, 王毅民. Cd、Zn 复合胁迫对玉米幼苗膜脂过氧化和抗氧化酶系统的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 54-58.
LIU Jianxin, ZHAO Guolin, WANG Yimin. Effects of Cd and Zn Combined Stress on Membrane Lipid Peroxidation and Antioxidant Enzyme System of Maize Seedlings[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(1): 54-58.
- [22] KANAZZWA S, SANO S, KOSHIBA T, et al. Changes in antioxidative enzymes in cucumber cotyledons during natural senescence: comparison with those during dark-induced senescence[J]. Physiologia Plantarum, 2000, 109: 211-216.
- [23] 徐小蓉, 周敏, 时艳龙, 等. 汞胁迫对辣椒种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 420-422.
XU Xiaorong, ZHOU Min, SHI Yanlong, et al. Effects of Hg stress on seed germination and seedling growth of Capsicum annuum L[J]. Journal of Anhui Agri. Sci, 2008, 36(2): 420-422.
- [24] WAGEMANN R, TREBACZ E, BOILA G, LOCKHART W L. Mercury species in the liver of ringed seals[J]. Science of the Total Environment, 2000, 261(1/3): 21.
- [25] 张坤生, 田荟琳. Research and function of catalase in organism[J]. 食品科技, 2007, 1: 8-11.
ZHANG Kunsheng, TIAN Huilin. Research and function of catalase in organism[J]. Food Science and Technology, 2007, 1: 8-11.
- [26] 刘素纯, 萧浪涛, 廖柏寒, 等. 铅胁迫对黄瓜幼苗抗氧化酶活性及同工酶的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 300-304.
LIU Suchun, XIAO Langtao, LIAO Bohan, et al. Effects of lead stress on anti-oxidative enzyme activities and isoenzymes in cucumber seedlings[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(2): 300-304.
- [27] CLARKSON T W. The pharmacology of mercury compounds Annu[J]. Rev. Pharmacol, 1972, 12: 375-406.
- [28] MANOMLITA P, NILADRI B, BANDOPADYAYB, et al. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant system and the development of genetic tolerance[J]. Environ Experl. Botany, 2004.
- [29] 邢丹英, 金明珠, 阎忠武, 等. 富硒矿粉对不同小麦品种(系)富硒效应的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(4): 726-727.
XING Danying, JIN Minzhu, YAN Zhongwu, et al. Effect of Selenium Enrichment on the Different Wheat Cultivars[J]. Journal of Anhui Agri.Sci, 2006, 34(4): 726-727.
- [30] 杜式华, 于志洁. Mercury and selenium interaction in plants[J]. 环境科学, 1987, 8(6): 43-46.
DU Shihua, YU Zhijie. Mercury and selenium interaction in plants[J]. Environmental Science, 1987, 8(6): 43-46.

Effects of Se on some physiological characteristics of wheat seedling under Hg stress

LI Ruiping¹, LI Guangde^{1*}, YUAN Yufei¹, HOU Cundong², YU Chong¹

1. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China

2. Environment Protection Monitoring Station of Tai'an City, Tai'an, Shandong 271018, China

Abstract: Our objective was to study the effects of additional Se on the physiological activity of wheat seedlings under the stress of Hg. Wheat seedlings were treated with different concentration of $\rho(\text{Se})=5\sim 20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, then the height of seedling, the relative content of chlorophyll, the accumulation of MDA and antioxidant enzyme activities of *Triticum aestivum* L. wheat seedlings under Hg stress ($2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) were tested by field commander culture method. We found that treatment with $\rho(\text{Hg})=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ alone led to decreasing of concentration of chlorophyll, inhibition of the activity of SOD and CAT, and increased content of MDA in wheat seedlings. In further research, we co-treated the wheat seedlings with Se and Hg at the concentration of $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $\text{Hg}\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively. With cotreatment, chlorophyll content increased by 7.6% than the Hg treatment alone, and 3.5% higher than the control; MDA levels decreased by 38.8%, 20.0% lower than the control. When treated with additional Se at high concentration more than $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, the chlorophyll content of wheat seedlings decreased gradually, while MDA content showed an rising trend. Treatment with additional Se at a concentration of $5\sim 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ led to promotion of the activity of SOD and CAT, and their activities increased with the rise of Se concentration. Co-treated with Hg and Se at the concentration of $\rho(\text{Se})=10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $\rho(\text{Hg})=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively increased the activity of the two kinds of enzymes above by 21.8% and 32.8%, comparing with the single treatment with Hg. However when $\rho(\text{Se})$ increased at $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ to $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, the downtrend of their activities appear. These results elucidated that treatment with different concentration of Se and Hg appreciable impact on the physiology index, and Se can alleviate the toxicity of Hg to wheat seedlings.

Key words: Se; Hg; superoxide dismutase(SOD); catalase(CAT); malondialdehyde(MDA)