

汞胁迫对水稻生长及幼苗生理生化的影响

高大翔, 郝建朝, 李子芳, 马 勇, 刘惠芬

(天津农学院农学系, 天津 300384)

摘 要:通过水培试验,研究汞胁迫下水稻的生长指标包括株高、分蘖和根冠比的变化以及生理生化指标包括叶绿素含量、游离脯氨酸含量及 SOD、POD、CAT 保护酶活性的变化。结果表明,低浓度汞处理对水稻株高、穗重有促进作用,高浓度处理则显著降低株高和穗重;低浓度汞处理对水稻分蘖影响不明显,而 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Hg}^{2+}$ 显著降低分蘖数,且无效蘖、小、弱分蘖增多。汞胁迫下根冠比增加,汞对茎叶的抑制作用大于对根的影响。汞胁迫下 CAT、POD 活性总体上变化不明显,但均在 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Hg}^{2+}$ 时达到较高值。汞胁迫对叶片相对含水量及脯氨酸含量的影响不显著。不同浓度处理的叶绿素 b、类胡萝卜素的含量与对照相比均不显著。而叶绿素 a 和叶绿素 a+b 在低浓度处理时其含量均高于对照,高浓度对叶绿素 a 起到抑制作用。

关键词:汞胁迫;水稻;水培

中图分类号:Q945.78 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)01-0058-04

Effects of Hg Stress on Growth and Physiological and Biochemical Characteristics of Rice Seedlings

GAO Da-xiang, HAO Jian-chao, LI Zi-fang, MA Yong, LIU Hui-fen

(Department of Agronomy, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract: The hydroponics was adopted in our experiments to research the effects of heavy metal Hg on the growth characteristics, including plant height, tiller, the ratio of root/shoot and the physiological and biochemical characteristics including the content of chlorophyll and free proline and the activity of protective enzyme SOD, POD and CAT. The results showed that at low concentrations of Hg, the height and the ear weight of paddy were promoted but restrained significantly at $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Hg}^{2+}$. The tiller number of rice showed no obvious reduction at lower concentration of Hg^{2+} , but reduced significantly at $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Hg}^{2+}$ as well as small and weak tillers increased. Under cadmium stress, the ratio of root/shoot increased, indicating the restrain effect of cadmium on shoot was greater than that of root in rice. There was no significant difference in content of chlorophyll b and pigment of carotenoid between Hg^{2+} stress and the control, but, with Hg^{2+} concentration increasing, the content of chlorophyll and biomass dropped obviously. In addition, Hg^{2+} could induce the protective enzyme activity. Hg^{2+} showed no significant effect on relative water content of leaves and the content of free proline.

Keywords: stress of hydrargyrum; paddy; hydroponics

由于水资源的再利用,因污灌引起的土壤重金属污染成为我国北方干旱地区影响土壤环境的重要因素。天津市土壤中污染元素多达 18 种,超过国家标准的元素主要有镉和汞。土壤中的汞超过一定水平就会在植物体内积累。汞是人类食物链中毒性最强且易于富集放大的有毒物质,特别是有机形态的汞,由于水生生态系统(湿地、沼泽、稻田)是产生甲基汞的重要

场所,通过植物的富集和食物链的放大,对高级生物的生存状况和人类的健康构成严重威胁^[1]。已有研究表明,存在于土壤中的低剂量汞会促进植物的生长和发育,并不产生危害作用。土壤中汞对植物的危害,主要是使植物根功能受到伤害,进而抑制根的生长以及阻碍根对营养成分的吸收作用。从一些污染地区调查来看,土壤中汞对水稻糙米的残留量比较大,而对小麦等旱作作物的影响较小^[2]。本试验以水稻为研究对象,通过水培的方式对水稻进行不同浓度的汞胁迫处理,从生理和生化等方面研究重金属汞对水稻的影响机理,为重金属汞的污染监测与防治提供理论基础。

收稿日期:2007-07-02

基金项目:天津农学院青年科学技术项目资助

作者简介:高大翔(1962—),男,讲师,主要从事农业气象、农业环境灾害预测等方面的教学研究工作。

通讯作者:刘惠芬 E-mail: liuhuifen@eyou.com

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试水稻品种为中作 93。取均匀一致的水稻幼苗移栽到白瓷缸中,每缸 7 株。用 1/2 Hoagland 培养液培养 1 周,取长势一致的幼苗组成 18 缸,对应加入 0,0.5,1,5,10,50 mg·L⁻¹ 汞离子浓度的 1/2 Hoagland 营养液进行培养。

试验设置 3 个重复,施入重金属溶液 10 d 及 17 d 后分别调查株高(取对角线 3 株)和分蘖数(个·盆⁻¹)。两周后,取倒 2、倒 3 叶测定叶绿素含量、脯氨酸含量、POD 活性、SOD 活性、CAT 活性、叶片相对含水量。之后每缸取 4 株测生物量(g·盆⁻¹),另 3 株继续培养,待收获后测生物量及穗重(g·盆⁻¹)。

1.2 测定方法

叶绿素含量测定采用丙酮浸提比色法^[3],脯氨酸含量测定采用茚三酮比色法^[4],过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法^[5],过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用高锰酸钾法^[6],超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定参见刘祖祺的植物抗性生理学^[7]。

叶片含水量的测定:剪取植株由顶部起的第二

叶,称其鲜重(Fresh weight,FW),65℃烘干 24 h,称其干重(Dry weight,DW)。含水量 LWC=(FW-DW)/FW×100%。

生物量测定:分别收获地上和根两部分,根要用清水冲洗干净,用吸水纸吸干水分。然后分别称其鲜重;置于 105℃烘箱中烘 30 min,再于 70℃烘干 24 h,降至室温分别称其干重。

1.3 数据分析

用 SPSS 软件对测定的各个指标进行单因素完全随机设计的方差分析,采用 DUNCAN 进行平均数的比较。

2 结果与分析

2.1 汞对水稻株高、分蘖及穗重的影响

方差分析表明,低浓度处理对株高增长有促进作用,高浓度处理则显著降低株高(表 1)。低浓度处理对水稻分蘖影响不明显。10 mg·L⁻¹ Hg²⁺显著降低分蘖,50 mg·L⁻¹ Hg²⁺使无效蘖、小蘖、弱分蘖增多。0.5 mg·L⁻¹ Hg²⁺处理的穗重高于对照,可能是低浓度处理刺激植物的结果。之后,随着浓度的增加,穗重逐渐下降。

2.2 汞对生物量及根冠比的影响

表 1 汞对水稻株高、分蘖及穗重的影响

Table 1 Effects of Hg on plant height, tiller number and ear weight of rice

Hg ²⁺ 浓度/mg·L ⁻¹	株高/cm		分蘖/个·盆 ⁻¹		穗重/g·盆 ⁻¹
	处理 10 d	处理 17 d	处理 10 d	处理 17 d	
0	50.44±1.39 ab	55.67±3.60 a	22.33±2.51 a	22.67±2.52 a	10.77±4.1 ab
0.5	50.56±2.27 ab	59.89±3.34 a	23.33±1.53 a	23.67±1.15 a	11.28±0.74 a
1	55.11±6.19 a	59.22±4.07 a	22.00±3.46 a	23.00±3.60 a	6.76±0.42 ab
5	44.67±7.42 bc	59.33±6.55 a	18.33±1.53 a	19.00±1.53 a	6.17±3.53 ab
10	41.67±3.78 c	44.89±1.95 b	13.00±2.00 b	13.00±2.08 b	8.90±0.23 ab
50	37.67±2.52 c	37.44±3.29 c	20.06±3.79 a	22.00±3.21 a	5.14±4.40 b

注:表中数据为平均数±标准差,同一列中的不同字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著,下同。

Note: Values in the table are means ± SD, different small letters in the same column indicate significant differences among different treatments based on Duncan test at 5% level, the same as below.

表 2 汞对生物量及根冠比的影响

Table 2 Effects of Hg on biomass and the ratio of root/shoot of rice

Hg ²⁺ 浓度/mg·L ⁻¹	第一次收获		第二次收获	
	生物量/g	根冠比	生物量/g	根冠比
0	7.29±1.74 a	0.45±0.07 abc	25.23±6.19 a	0.49±0.07 a
0.5	7.73±1.60 a	0.38±0.01 c	30.73±5.48 a	0.48±0.14 a
1	7.12±0.94 a	0.42±0.05 abc	27.16±1.34 a	0.39±0.07 a
5	8.10±1.80 a	0.41±0.12 bc	29.76±1.61 a	0.48±0.14 a
10	3.53±2.29 b	0.54±0.09 ab	29.96±1.61 a	0.54±0.20 a
50	4.93±1.31 b	0.56±0.03 a	25.86±1.45 a	0.74±0.08 a

不同浓度汞对水稻生物量及根冠比的影响见表2。低浓度 Hg^{2+} 对第一次收获的生物量影响不显著,当 Hg^{2+} 浓度达到 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,显著降低生物量,而低浓度汞对第一次收获的根冠比影响显著,随 Hg^{2+} 浓度增加,根冠比增大。这说明随着浓度增大,汞对茎叶的抑制作用要大于对根的抑制作用。低浓度汞对第二次收获的生物量和根冠比影响不显著。

2.3 汞对水稻叶片相对含水量和脯氨酸含量的影响

汞对叶片相对含水量和脯氨酸含量的影响见表3。不同浓度汞处理对叶片相对含水量、叶片脯氨酸含量没有影响。

表3 汞对叶片相对含水量和脯氨酸含量的影响
Table 3 Effects of Hg on relative water content and proline content in leaves of rice

Hg^{2+} 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	叶片相对含水量/%	脯氨酸含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{DW}^{-1}$
0	66±0.2 a	231.91±51.68 a
0.5	66±1.4 a	282.49±32.07 a
1	66±1.3 a	271.73±136.19 a
5	67±2.2 a	206.81±128.22 a
10	65±4.4 a	298.29±55.19 a
50	66±1.5 a	238.08±42.96 a

2.4 汞对水稻叶片叶绿素含量的影响

光合作用是植物物质积累的基础,植物体内发出的叶绿素荧光与光合作用各种反应过程密切相关。叶绿素和类胡萝卜素是影响植物光合速率的重要因素。植物体内的叶绿素水平可以作为衡量光合能力强弱

的一个指标。汞会影响植物的光合作用^[8]。不同浓度处理下的水稻幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 和类胡萝卜素的含量见表4。不同浓度处理的叶绿素 b、类胡萝卜素的含量与对照相比均不显著。而叶绿素 a 和叶绿素 a+b 在低浓度处理时其含量均高于对照,说明低浓度汞对其有促进作用,高浓度对叶绿素 a 起到抑制作用^[9]。

2.5 汞对水稻叶片 CAT、POD、SOD 活性的影响

CAT、POD、SOD 均为植物体内的保护酶,在防止自由基伤害中起着重要作用。CAT 能消除细胞内过多的过氧化氢,能维持其在一个低水平,从而保护膜的结构^[3]。POD 是植物体内抗性生理中研究较多的酶,它能分解植物体内过多的过氧化物。SOD 能有效清除植物体内氧自由基对细胞膜的毒害。不同浓度汞处理对 CAT、POD、SOD 的影响见表5。由表5可以看到,CAT、POD 活性总体上变化不明显,但均在 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Hg^{2+} 时达到较高值,说明高浓度处理会激发其活性。

3 讨论

本试验结果表明:汞胁迫水稻后,低浓度处理对株高增长有促进作用,高浓度处理则显著降低株高,汞浓度的增加对株高抑制作用越来越明显。低浓度处理对水稻分蘖影响不明显。 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Hg^{2+} 显著降低分蘖,且无效蘖、小、弱分蘖增多。对穗重的影响也是低浓度处理对穗重增长有促进作用,高浓度处理则显著降低穗重,这与一般认为汞能抑制农作物生长发育,

表4 汞对叶绿素含量的影响($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$)
Table 4 Effects of Hg on chlorophyll content in leaves of rice($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$)

Hg^{2+} 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a+b	类胡萝卜素
0	1.67±0.14 b	0.76±0.08 a	2.43±0.21 ab	0.18±0.02 a
0.5	1.76±0.16 ab	0.77±0.05 a	2.53±0.21 ab	0.13±0.02 a
1	1.79±0.17 ab	0.79±0.09 a	2.57±0.26 ab	0.16±0.03 a
5	2.22±0.49 a	0.71±0.02 a	2.92±0.26 a	0.09±0.01 a
10	1.62±0.38 b	0.68±0.02 a	2.30±0.58 b	0.30±0.02 a
50	1.40±0.12 b	0.57±0.08 a	1.97±0.20 b	0.26±0.02 a

表5 汞对叶片中 CAT、POD、SOD 活性的影响
Table 5 Effects of Hg on the activities of CAT, POD and SOD in leaves of rice

Hg^{2+} 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	CAT 活性/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	POD 活性/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	SOD 活性/ $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$
0	130.73±4.80ab	0.73±0.25b	9.01±1.50b
0.5	126.00±0.90b	0.61±0.13b	10.86±3.14b
1	131.52±2.02ab	0.64±0.17b	26.56±1.05a
5	128.43±5.53ab	0.64±0.09b	9.11±3.96b
10	133.21±7.03ab	1.11±0.19a	13.00±3.49b
50	135.40±3.92a	0.79±0.19b	9.35±5.10b

导致产量下降的结论一致^[10,11]。从汞对根冠比的影响可以看出,汞对茎叶的抑制作用可能要高于对根的影响。

脯氨酸是植物重要的渗透调节物质,它的积累有着对逆境适应的意义^[5]。因此其含量的变化,可以作为植物对逆境胁迫的一种生理生化指标。当植物受到胁迫时,其体内代谢路径发生改变,脯氨酸的氧化受阻,蛋白质的合成速度减慢,导致植物体内脯氨酸含量升高,此含量的升高,可以降低水势,维持植物体内的水分平衡,保持植物的正常生长。所以说脯氨酸含量升高,正是植物抵抗汞胁迫的机制^[6]。本试验条件下,脯氨酸含量、叶片相对含水量变化不显著。不同浓度处理的叶绿素 b、类胡萝卜素的含量与对照相比均不显著。而叶绿素 a 和叶绿素 a+b 在低浓度处理时其含量均高于对照,说明低浓度汞对其有促进作用。高浓度对叶绿素 a 起到抑制作用。CAT、POD 活性总体上变化不明显,但均在 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Hg}^{2+}$ 时达到较高值,说明高浓度处理会激发其活性。一般认为作物叶片中二者活性随着浓度增加而增加。SOD 活性先是随着浓度增加而后又下降,这与汞对小麦、玉米影响所得结果基本一致^[12,13]。

本试验中得出的低浓度刺激水稻生长的结果,与前人研究低浓度汞可一定程度上刺激植物的生长的结论相一致,在高浓度下,水稻受到不同程度的抑制作用^[14]。

参考文献:

- [1] Horvat M, Nolde N, Fajon V, et al. Total mercury and methylmercury and selenium in mercury polluted areas in Guizhou Province, China [J]. Science of Total Environment, 2003, 304: 231-254.
- [2] 维新. 农业环境保护 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993. 139-140.
WEI Xin. Protection of agricultural environment [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1993. 139-140.
- [3] 张福锁. 环境胁迫与植物营养 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993. 79.
ZHANG Fu-suo. Environment stress and plant nutrition [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. 79.
- [4] 朱广廉. 植物体内脯氨酸的测定 [J]. 植物生理学通讯, 1983, (1): 35-37.
ZHU Guang-lian. Determination of proline content in plant [J]. Plant Physiology Communications, 1983, (1): 35-37.
- [5] 彭志红, 彭克勤, 胡家金, 等. 渗透胁迫下植物脯氨酸积累的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2002, 18(4): 80-83.
PENG Zhi-hong, PENG Ke-qin, HU Jia-jin, et al. Research progress on accumulation of proline under osmotic stress in plants [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 18(4): 80-83.
- [6] 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 Shuang-chun, ZHANG Hong-lin. Physiological and ecological response of maize to mercury stress [J]. Ecology and Environment, 2004, 13(2): 161-163.
- [7] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 371.
LIU Zu-qi, ZHANG Shi-cheng. Resistance physiology of plant [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1994. 371.
- [8] Bonifacio R S, Moutane M N. Inhibitory effects of mercury and cadmium on seed germination of *Enallus asoroides* (L.f.) [J]. Environ Contamination Toxicol, 1998, 60: 45-51.
- [9] 沈鑫绿, 姚维志, 罗红波. Hg^{2+} 对细叶蜈蚣草 (*Egeria anajas*) 的毒害效应 [J]. 西南农业大学学报, 2004, (2): 223-226.
SHEN Ang-lu, YAO Wei-zhi, LUO Hong-bo. Toxicological effects of Hg^{2+} pollution on *Egeria anajas* [J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2004, (2): 223-226.
- [10] 洪仁远, 蒲长辉. 镉对小麦幼苗的生长和生理生化反应的影响 [J]. 华北农学报, 1991, 6(3): 70-75.
HONG Ren-yuan, PU Chang-hui. Effects of cadmium on seedling growth and physiological and biological characters of wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1991, 6(3): 70-75.
- [11] 瞿爱权. 汞对水稻、油菜影响的研究初报 [J]. 环境科学, 1980, 1(6): 50-52.
QU Ai-quan. Primary study on effect of mercury and cadmium on rape-seed [J]. Environmental Science, 1980, 1(6): 50-52.
- [12] 庞欣, 王东红, 彭安. 汞胁迫对小麦幼苗抗氧化酶活性的影响 [J]. 环境化学, 2001, 20(4): 351-355.
PANG Xin, WANG Dong-hong, PENG An. Effects of mercury stress on the activity of antioxidant enzymes [J]. Environmental Chemistry, 2001, 20(4): 351-355.
- [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 Cheng-cang, HONG Fa-shui, LI Qing-fang. 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.
- [14] 付学吾, 冯新斌, 王少锋, 等. 植物中汞的研究进展 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(3): 232-236.
FU Xue-wu, FENG Xin-bin, WANG Shao-feng, et al. Advances of Research on Mercury in Plants [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2005, 24(3): 232-236.