

硫对镉胁迫下小麦幼苗生长和一些生理特性的影响

王 云, 张海军, 唐为忠, 张冠钦, 董 英

(江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要:本实验以小麦为材料, 采用水培的方法, 研究了 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫对不同水平镉(0 、 50 、 100 、 150 、 $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)胁迫下小麦幼苗的毒性影响。结果表明: 镉处理后, 小麦幼苗的生长受到抑制、叶绿素含量和硝酸还原酶活性下降、 H_2O_2 和丙二醛(MDA)大量积累、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性降低。向培养液中添加 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫, 能明显缓解低水平 ($50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 镉对小麦幼苗的毒害。与无硫对照相比, 施加硫可以促进小麦幼苗根和叶的生长, 增加幼苗中叶绿素含量, 提高硝酸还原酶、CAT 和 POD 的活性, 降低 H_2O_2 和 MDA 在叶片中的积累。 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫对高水平镉毒害的缓解效应不显著。

关键词: 镉; 小麦; 硫; 生长量; 氧化胁迫

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)03-1029-04

Effect of Sulfur on Plant Growth and Some Physiological Characteristics of Wheat Seedlings Under Cadmium Stress

WANG Yun, ZHANG Hai-jun, TANG Wei-zhong, ZHANG Guan-qin, DONG Ying
(College of Food & Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: To better understand the role of endogenous sulfate in plant response to cadmium stress, changes in plant growth, chlorophyll content and enzymatic antioxidant were investigated in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings grown hydroponically with Cd, with or without application of sulfate. Results indicated that higher concentration of Cd caused decreases of plant growth, chlorophyll content and activity of nitrate reductase in wheat seedlings. As compared to the control, cadmium significantly increased the content of H_2O_2 and malondialdehyde (MDA), decreased the activities of catalase (CAT) and peroxidase (POD). In presence of low-level cadmium ($50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), addition of $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ exogenous sulfates to the medium significantly increased the plant growth, the content of chlorophyll, and the activity of nitrate reductase, CAT and POD, but clearly decreased the content of H_2O_2 and MDA in wheat seedlings as compared to that of Cd treatment alone. The alleviation effects of sulfate on high-level cadmium were not significant.

Keywords: cadmium; wheat; sulfur; plant growth; oxidative stress

随着工业化的进展, 土壤重金属污染日趋严重, 如何防治重金属污染已成为目前迫切需要解决的一个重要环境问题。镉不是植物生长必需元素, 对动、植物都表现出很高的毒性。镉对植物的毒害, 在形态上表现为生长缓慢、叶片失绿和产量下降, 在生理上表现为光合作用和蒸腾作用受抑制、引起氧化胁迫^[1]; 更为严重的是, 镉可以通过植物吸收进入食物链直接威胁人的身体健康^[2]。

硫作为植物生长的必需元素, 在植物的生长发育和逆境应答过程中起着重要的作用^[3]。夏来坤等^[4]研究认为, 施加低浓度硫可以增加铜、镉胁迫下成熟小麦穗数、穗粒数和千粒重, 提高了籽粒产量及子粒中蛋白质含量。陈玉胜等^[5]研究发现, 铜胁迫下, 外源硫可显著提高水稻种子的萌发率, 促进幼根和幼芽的伸长生长, 增加幼芽中叶绿素和类胡萝卜素含量, 提高 α -淀粉酶及 CAT、POD 的活性, 显著降低 MDA 含量。由此可见, 硫在植物抵抗重金属毒害的过程起着重要作用。近年来, 采用不同调控措施控制镉污染已有不少报道^[6-9], 但对硫在降低镉毒害方面的研究国内外尚未有报道。本研究以小麦为材料, 探讨了硫对镉污染小

收稿日期: 2007-09-06
基金项目: 江苏大学高层次人才启动基金(06JDG028)
作者简介: 王 云(1974—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为植物生理与分子生物学。E-mail: wangy1974@ujs.edu.cn

麦幼苗生长和生理特性的影响及其可能的作用机制,为利用硫肥作为改良剂控制土壤重金属污染,保障农产品安全生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

小麦品种“扬麦 15”,由江苏省里下河地区农科所提供。镉胁迫采用 CdCl₂,外源硫用 MgSO₄。

1.2 方法

小麦种子用 75%乙醇表面消毒、蒸馏水冲洗后,摆放于培养皿中(每皿 20 粒),分别用含 0、50、100、150、200 μmol·L⁻¹ 镉的 0.5 mmol·L⁻¹ MgSO₄ 的 1/2Hoagland 培养液于恒温培养箱中(25 ℃)进行水培处理,培养 1 周后测定相关的生长和生理指标,每个处理重复 3 次。以含相应镉浓度、MgCl₂ 替换 MgSO₄ 的培养液中培养的幼苗为对照。外源硫素处理参照文献^[10]进行。

总叶绿素含量测定参照 Arnon^[11]的方法进行;硝酸还原酶(NR)活性测定参照张志良^[12]的方法进行,以每小时产生 1 μg NO₂⁻的酶量为一个酶活性单位;过氧化氢含量测定参照 Patterson 等^[13]的方法进行测定;过氧化氢酶(CAT)活性按 Aebi^[14]的方法测定,以 240 nm 下每分钟 A240 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活单位;过氧化物酶(POD)活性测定参照 Hammerschmidt 等^[15]的方法,用愈创木酚为底物测定酶活性,以每分钟在 470 nm 处吸光度变化 0.001 定义为 1 个活力单位;膜脂过氧化程度用丙二醛(MDA)含量作指标,参照文献^[16]的方法进行测定。所有实验均重复 3 次,实验数据用 Microsoft Excel 和 SPSS 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 硫对镉胁迫下小麦幼苗生长的影响

由表 1 可见,在镉胁迫条件下小麦幼苗生长受到

明显的抑制,随着镉浓度的上升,其抑制程度也随之增加。低水平(50 μmol·L⁻¹)镉对小麦幼苗叶和根生长的抑制程度为 11.5%和 50.2%,添加硫的情况下,小麦幼苗叶和根生长量的降幅仅为 2.5%和 29.9%,硫对镉胁迫的缓解效应显著($P=0.05$);在高水平镉胁迫条件下,硫对镉胁迫的缓解效应不明显。

2.2 硫对镉胁迫下小麦幼苗中叶绿素含量和硝酸还原酶活性的影响

叶绿素含量和硝酸还原酶活性是反映 C、N 素同化代谢的两个重要关键指标,对植株的生长发育起着重要作用。由图 1、2 可知,在 50 μmol·L⁻¹ 镉水平时,小麦幼苗中叶绿素含量和硝酸还原酶活性的下降幅度分别为 8.3%和 15.6%,有硫条件下,其下降幅度则分别为 2.4%和 3.9%,硫对镉胁迫的缓解效应显著($P=0.05$);而高水平镉(200 μmol·L⁻¹)处理时,有硫条件下小麦幼苗中叶绿素含量和硝酸还原酶活性的下降幅度分别为 35.8%和 50.5%,与无硫条件下的 38%和 54.6%相比,效应不明显。

2.3 硫对镉胁迫下小麦幼苗中氧化胁迫生理特性的影响

H₂O₂ 和 MDA 含量上升是植株遭受氧化胁迫的一个重要特征^[17、18]。由图 3、4 可见,小麦幼苗中 H₂O₂ 和 MDA 含量随着镉水平的增加表现出上升的趋势;硫处理可以降低镉胁迫下小麦幼苗中 H₂O₂ 和 MDA 含量的增幅。在低水平镉(50 μmol·L⁻¹)处理时,有硫条件下小麦幼苗中 H₂O₂ 和 MDA 含量上升幅度为 1.8%和 3.2%,与无硫条件下 19.2%和 9%的上升幅度相比,差异明显($P=0.05$)。

CAT 和 POD 是植物应答氧化胁迫两个重要的酶。如图 5、6 所示,单独镉以及镉和硫共同处理情况下,小麦幼苗中 CAT 和 POD 活性均表现出下降的趋势,但有硫条件下,酶活性下降缓慢。在 50 μmol·L⁻¹ 镉水平时,硫处理小麦幼苗中 CAT 和 POD 活性下降了 6.3%和 10.4%,无硫处理小麦幼苗中 CAT 和 POD

表 1 硫对镉胁迫下小麦幼苗生长的影响

Table 1 The effect of sulfur on plant growth under cadmium stress

镉浓度/μmol·L ⁻¹	根长度/cm		叶长度/cm	
	S-	S+	S-	S+
0	22.3±1.3	22.6±1.1	15.7±1.0	15.9±0.9
50	11.1±0.9	15.7±0.7*	13.1±0.9	15.4±1.1*
100	8.4±0.7	10.3±0.6	11.5±0.9	13.6±0.7*
150	8.1±0.7	8.7±0.8	11.1±0.9	12.3±1.0
200	7.8±0.6	8.2±0.7	10.7±0.8	11.2±0.7

注:表中数据为平均值±标准差;S-”为未添加硫处理,S+”为添加硫处理;*表示相同镉浓度下与无硫处理相比差异显著。

活性下降幅度为 14.6%和 17.7%,硫处理效应显著($P=0.05$)。

3 讨论

研究结果表明,50~200 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ Cd^{2+} 处理小麦幼苗,表现出明显的毒害效应,如生长受到抑制;与 C、N 素同化代谢紧密相关的两个生理指标,叶片中叶绿素含量和硝酸还原酶活性下降。在培养液中添加外源

硫,可以显著减轻低水平镉的毒害效应,但对高浓度镉毒害的缓解效应不明显。

镉处理后,小麦幼苗中 H_2O_2 、MDA 含量显著上升,表现出明显的氧化胁迫特征。外源 SO_4^{2-} 能显著减轻低水平镉毒害引起的氧化胁迫,这很可能与活性氧的清除有关。植物吸收矿质硫营养后,首先被同化为 Cys,进一步合成 GSH,并通过抗坏血酸-GSH 循环清除过量镉引发的活性氧,进而提高植物对镉的耐

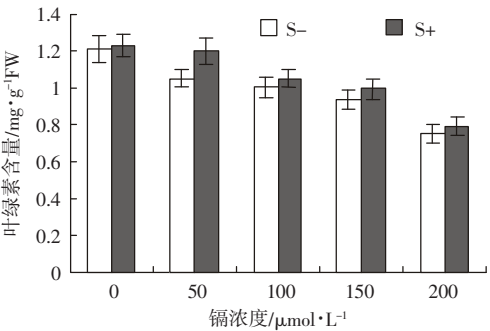


图 1 硫对镉胁迫下小麦幼苗中叶绿素含量的影响
Figure 1 The effect of sulfur on chlorophyll content of wheat seedlings under cadmium stress

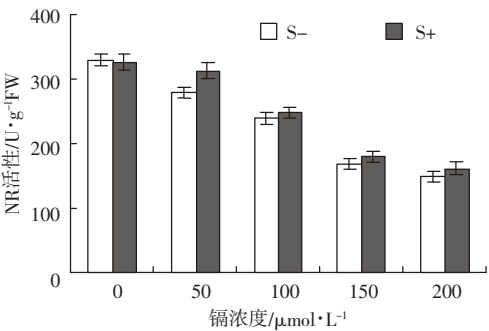


图 2 硫对镉胁迫下小麦幼苗中硝酸还原酶活性的影响
Figure 2 The effect of sulfur on nitrate reductase activity of wheat seedlings under cadmium stress

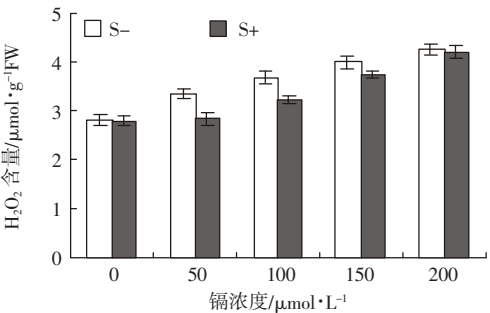


图 3 硫对镉胁迫下小麦幼苗中 H_2O_2 量的影响
Figure 3 The effect of sulfur on H_2O_2 content of wheat seedlings under cadmium stress

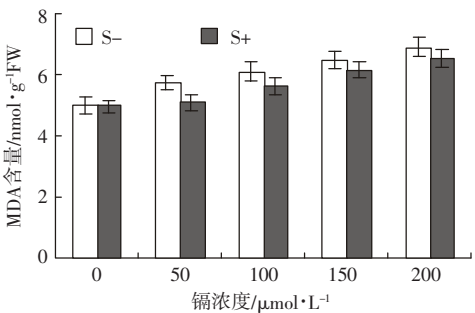


图 4 硫对镉胁迫下小麦幼苗中 MDA 活性的影响
Figure 4 The effect of sulfur on MDA content of wheat seedlings under cadmium stress

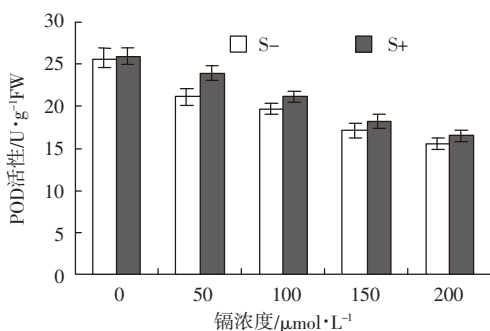


图 5 硫对镉胁迫下小麦幼苗中 POD 活性的影响
Figure 5 The effect of sulfur on peroxidase activity of wheat seedlings under cadmium stress

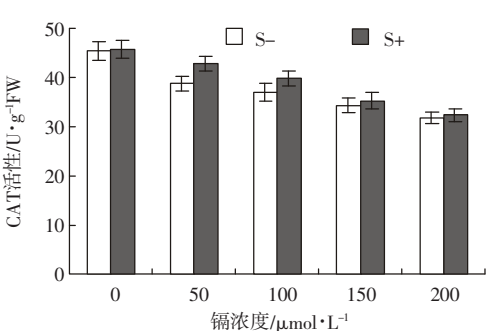


图 6 硫对镉胁迫下小麦幼苗中 CAT 活性的影响
Figure 6 The effect of sulfur on catalase activity of wheat seedlings under cadmium stress

性^[9]。添加外源硫增加了植物体内 Cys、GSH 等含硫氨基酸、多肽的生物合成量。

CAT 和 POD 是自由基清除过程中两个重要的酶,在低镉水平、短时间处理条件下,活性表现为上升的趋势;在高镉水平、长短时间处理条件下,其活性则表现出下降的趋势^[20,21]。在本实验中,镉处理植株中 CAT 和 POD 活性明显降低,外源硫可以显著提高低水平镉处理植株中 CAT 和 POD 的活性。由此可见,硫素营养也可能通过提高 CAT 和 POD 的活性来消除镉毒害引起的氧化胁迫。

本研究中,0.5 mmol·L⁻¹ 的 SO₄²⁻仅对低浓度镉毒害的缓解效应明显,对高浓度镉毒害缓解效应并不明显。这表明硫对镉毒害的缓解存在着一定的剂量效应。

参考文献:

[1] Di Toppi L S, Gabbriellini R. Response to cadmium in higher plants[J]. *Environmental & Experimental Botany*, 1999, 41:105.

[2] Degraeve N. Carcinogenic, teratogenic and mutagenic effects of cadmium[J]. *Mutation Research*, 1981, 86:115.

[3] Rausch T, Wachter A. Sulfur metabolism: a versatile platform for launching defense operations[J]. *Trends in Plant Science*, 2005, 10: 503.

[4] 夏来坤, 郭天财, 朱云集, 等. 土壤重金属铜、镉胁迫对冬小麦碳氮运转的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26 (6): 1217.

XIA Lai-kun, GUO Tian-cai, ZHU Yun-ji, et al. Effects of sulfur and organic fertilizer fertilizations on carbon and nitrogen transport in winter wheat under copper and cadmium stresses [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26 (6): 1217.

[5] 陈玉胜, 陈亚华, 王桂萍, 等. 硫对水稻种子萌发过程中铜毒害的缓解效应[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30: 44.

CHEN Yu-sheng, CHEN Ya-hua, WANG Gui-ping, et al. The alleviation effect of exogenous sulfate on copper toxicity in seed germination of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Journal Nanjing Agricultural University*, 2007, 30: 44.

[6] 王云, 蔡汉, 陆任云, 等. 壳聚糖对镉胁迫条件下小麦幼苗生长和生理的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26: 1671.

WANG Yun, CAI Han, LU Ren-yun, et al. Effects of chitosan on *Triticum aestivum* growth and physiology under cadmium stress[J]. *Chinese Journal Ecology*, 2007, 26: 1671.

[7] 张丽娜, 宗良纲, 任 恩, 等. 硅对低镉污染水平下水稻幼苗生长及吸收镉的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26: 494.

ZHANG Li-na, ZONG Liang-gang, REN Cai, et al. Effects of silicon rice seedling growth and uptake of Cd in the low level of Cd pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26: 494.

[8] 贺 迪, 刘云国, 黄玉娥, 等. 钙对不同浓度镉胁迫下芦苇幼苗叶绿素及抗氧化酶系统的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26: 197.

HE Di, LIU Yun-guo, HUANG Yu-e, et al. Effects of calcium on chlorophyll and antioxidant enzymes in *Phragmites australis* under cadmium stress[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26: 197.

[9] Zawoznik M S, Groppa M D, Tomaro M L, et al. Endogenous salicylic acid potentiates cadmium-induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Plant Science*, 2007, 17: 190.

[10] 李登超, 朱祝军, 徐志豪. 不同硫水平下硒对小白菜生长及养分含量的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版) 2003, 29: 402.

LI Deng-chao, ZHU Zhu-jun, XU Zhi-hao. Effects of selenium on the growth and nutrient content at different sulphur level in pakchoi [J]. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2003, 29: 402.

[11] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*[J]. *Plant Physiology*, 1949, 24: 1.

[12] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 65.

ZHANG Zhi-liang. Experimental Guide for Plant Physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1990, 65.

[13] Patterson B D, MacRae E A, Ferguson I B. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium[J]. *Analytical Biochemistry*, 1984, 139: 487.

[14] Aebi. Catalase in vitro[J]. *Methods in Enzymology*, 1984, 105: 121.

[15] Hammerschmidt R, Nuckles E M, Kuc J. Association of enhanced peroxidase activity, with induced systematic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*[J]. *Physiological Plant Pathology*, 1982, 20: 73.

[16] Heath R L, Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I: kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1968, 125: 189.

[17] Sandalio L M, Dalurzo H C, Gomez M, et al. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2001, 52: 2115.

[18] Dixit V, Pandey V, Shyam R. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L.cv.Azad)[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2001, 52: 1101.

[19] 孙雪梅, 杨志敏. 植物的硫同化及其相关酶活性在镉胁迫下的调节[J]. 植物生理与分子生物学报, 2006, 32: 9.

SUN Xue-mei, YANG Zhi-min. Plant sulfate assimilation and regulation of the activity of related enzymes under cadmium stress [J]. *Acta Photophysiological Sinica*, 2006, 32: 9.

[20] Shah K, Kumar R G, Verma S, et al. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings[J]. *Plant Science*, 2001, 161: 1135.

[21] Iannelli M A, Pietrini F, Fiore L, et al. Antioxidant response to cadmium in *Phragmites australis* plants [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2002, 40: 977.