

海带硫酸多糖对镉毒害甜瓜幼苗的保护作用

彭向永, 于 荟, 石 磊, 孔凡华

(曲阜师范大学生命科学学院, 山东 曲阜 273165)

摘 要:以“二叶一心”期甜瓜(*Cucumis melo* L.)为材料,研究了沙培条件下不同浓度(0、0.1、0.25、0.35、0.7、1.1、2.2 g·L⁻¹)的海带硫酸多糖对 150 mg·kg⁻¹ 氯化镉(CdCl₂·2.5H₂O)毒害下甜瓜幼苗的保护作用。结果表明,甜瓜幼苗的镉积累量、叶绿素含量、生物量、蛋白质含量、丙二醛(MDA)含量、膜透性以及抗氧化酶活性均与海带硫酸多糖浓度的变化具有相关性。随灌施海带硫酸多糖浓度的升高,甜瓜叶片和根系中镉积累量和渗透势持续下降,0.25 g·L⁻¹ 和 0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下无显著差异,与其他浓度水平差异显著($P<0.05$);叶绿素含量、生物量、蛋白质含量、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性呈先上升后下降趋势,0.35 g·L⁻¹ 海带硫酸多糖水平下含量最高;MDA 和膜透性则表现为先下降后上升趋势,且 0.35 g·L⁻¹ 海带硫酸多糖水平下含量最低。综合来看,当海带硫酸多糖的浓度低于 0.35 g·L⁻¹ 时,对镉毒害下的甜瓜幼苗有一定保护作用,高于 0.35 g·L⁻¹ 时,不仅没有缓解镉毒害的作用,反而加重对甜瓜幼苗的伤害。

关键词:海带硫酸多糖;甜瓜幼苗;镉毒害;保护作用

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)09-1640-06

Protective Effects of Laminaria Polysaccharide Sulfate on the Cadmium Poisoned Melon Seedlings

PENG Xiang-yong, YU Hui, SHI Lei, KONG Fan-hua

(School of Life Science, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: Laminaria polysaccharide sulfate (LPS) prepared in our laboratory was used to spray “2-leaves-1-heart” stage cadmium (Cd) poisoned melon (*Cucumis melo* L.) seedlings. Protective effects of LPS levels (0, 0.1, 0.25, 0.35, 0.7, 1.1, 2.2 g·L⁻¹) on the cadmium poisoned melon seedlings were studied. The results showed that LPS concentration had certain relations with Cd accumulation, the contents of chlorophyll, biomass, contents of soluble proteins, content of malonaldehyde (MDA), membrane permeability, activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) in melon seedling leaves and roots. With the LPS concentration increasing, cadmium content and osmotic potential in melon seedling leaves and roots declined continuously. It was no significant difference between 0.25 g·L⁻¹ and 0.35 g·L⁻¹ LPS level ($P<0.05$). Chlorophyll content, biomass accumulation, protein content and the activities of SOD, POD and CAT increased firstly and then decreased. The values were highest at 0.35 g·L⁻¹ LPS level. MDA content and membrane permeability firstly decreased and then went upward, and they reached the lowest values at 0.35 g·L⁻¹ LPS level. In general, less than 0.35 g·L⁻¹ of LPS had some protective effects on the cadmium poisoned melon seedlings, but did some damage to the melon seedlings above 0.35 g·L⁻¹ LPS level instead.

Keywords: laminaria polysaccharide sulfate; melon seedlings; cadmium poison; protective effects

镉(Cd)是主要的重金属污染元素,植物吸收过量的镉将破坏植物叶绿体结构,抑制根活力,引起膜质过氧化,改变活性氧代谢有关酶的活性,从而影响

植物正常的生长发育^[1-2]。农产品中累积的镉还可以通过食物链进入人体,危及人类健康^[3]。海带是一种既有食用价值,又有药用、保健、工农业应用价值的大型藻类,其生物活性大多与所含的多糖相关^[4]。海带中硫酸多糖的含量约为 25%~30%^[5-6],海带硫酸多糖(LPS)在控制细胞分裂、分化、调节细胞生长和衰老以及维持生命有机体的正常代谢等方面有重要作用^[7-8]。目前对海带硫酸多糖功能的研究主要集中在增强动物机

收稿日期:2010-03-22

基金项目:国家自然科学基金项目(30970640)

作者简介:彭向永(1977—),男,山东滕州人,硕士,讲师,主要从事植物生理生化教学与科研工作。

E-mail:pxy7303@yahoo.com.cn

体免疫能力、抗病毒、抗肿瘤、抗突变及体外活性氧清除等方面,而海带硫酸多糖能否缓解逆境胁迫对植物的伤害至今未见报道。因此,我们开展了海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗生长的影响,以探讨重金属毒害下海带硫酸多糖对植物的作用。

1 材料与方法

1.1 材料

“赛雪”一号甜瓜种子(河南省长葛市益民种业有限公司生产,商标注册证号:1209746);市售干海带;氯化镉($\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$,分析纯,塘沽化学试剂厂)。

1.2 方法

1.2.1 海带硫酸多糖的提取

在参考高梦祥等对海带多糖提取方法^[8]的基础上,本文提取方法如下:取适量海带干粉,按1:60的料液比加入蒸馏水,调至 $\text{pH}=2.0$,超声波提取1 h, $4\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心20 min,上清液用10%的三氯乙酸抽提并浓缩至原体积的1/4,缓慢加入3倍体积的无水乙醇,离心弃去上清液,将沉淀用95%乙醇洗涤2次,得海带硫酸多糖粗品。

1.2.2 甜瓜幼苗的培养及测定方法

培养基质为添加 $150\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 的洗净河沙。甜瓜种子于蒸馏水中浸泡12 h,播于 8 cm (直径) $\times 10\text{ cm}$ (高)营养钵内,培养温度 $25\text{ }^\circ\text{C}$,每3 d浇灌Hoagland全营养培养液20 mL,蒸馏水30 mL,待长出第3片真叶后用海带硫酸多糖对甜瓜进行处理。分别以0(CK)、0.1、0.25、0.35、0.7、1.1、2.2 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的海带硫酸多糖溶液灌根,每日1次,每次15 mL,连续浇灌7 d,每个处理设3个重复。

分别称取甜瓜叶片和根系0.2 g,按照相关文献测定下列指标。

镉含量测定^[9]:植株先用自来水洗净,再用去离子水冲洗,擦干,分别对地上部分和根称重,在 $95\text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青15 min,在 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干、称重,磨细至全部通过0.85 mm筛子。采用 $\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$ 消煮,原子吸收分光光度计法测定植株中镉的质量分数。

渗透势测定^[10]:采用质壁分离法测定细胞渗透势。

叶绿素含量的测定^[10]:采用分光光度法测定叶片色素含量。取各处理同一功能区有代表性叶片0.2 g,研磨匀浆,用723分光光度计测定663、645、440 nm吸光值并计算叶绿素含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)。

生物量的测定^[10]:将沙培甜瓜连根小心取出,蒸

馏水冲洗,滤纸吸干,于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 杀青10 min, $70\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重,称干重。

细胞膜透性、MDA含量的测定^[10]:鲜样加入装有40 mL双蒸水的三角瓶中,于电动振荡机上以 $160\text{ 次} \cdot \text{min}^{-1}$ 的振荡速度振荡1 h,过滤后用DDS-307型电导仪测定叶细胞膜透性;硫代巴比妥酸(TBA)法测定MDA($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$)。

蛋白质含量测定^[11]:采用考马斯亮蓝法,测定595 nm吸光值,根据标准曲线计算蛋白质含量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)。

SOD、POD、CAT活性的测定^[10-11]:SOD活性采用NBT光化还原法,以抑制NBT光化还原50%所需的酶量为1个酶活单位,计算酶活性($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}\text{pr}$);POD活性以愈创木酚为过氧化物酶底物,采用分光光度法于470 nm处测定吸光值,以每分钟OD增加0.01定义为一个活力单位,计算酶活性($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}\text{pr}$);CAT活性采用高锰酸钾滴定法测定($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}\text{pr} \cdot \text{min}^{-1}$)。

1.3 数据处理

用Excel 2003及SPSS 10.0软件进行方差分析和LSR检验。

2 结果与分析

2.1 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗叶绿素和生物量的影响

叶绿素是植物光合作用的物质基础。从表1可以看出, $150\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 氯化镉处理下,甜瓜幼苗叶绿素a、b含量均随加入海带硫酸多糖浓度的升高呈先上升后下降趋势,其中以 $0.35\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的海带硫酸多糖水平下最高,与其他浓度水平比较差异显著($P<0.05$)。

相同海带硫酸多糖水平下,叶片生物量均高于根系。 $150\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 氯化镉处理下,甜瓜幼苗生物量随加入海带硫酸多糖浓度的升高呈先上升后下降趋势。以 $0.35\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的海带硫酸多糖处理下叶片中生物量最高,与其他浓度处理比较差异显著($P<0.05$);以 $0.25\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的海带硫酸多糖处理下根中生物量最高,但与 $0.35\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的海带硫酸多糖处理无显著差异,与其他浓度处理达到显著差异水平($P<0.05$)。

2.2 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗镉含量和渗透势的影响

由表2可知, $150\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 氯化镉处理下,甜瓜幼苗叶片和根系中 Cd^{2+} 累积量和渗透势随加入海带硫酸多糖浓度的升高均呈下降趋势,小于 $0.35\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 水平时下降较慢;大于 $0.35\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 水平时,不管是叶片还

表 1 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗叶绿素和生物量的影响

Table 1 Effects of LPS on chlorophyll and biomass accumulation of Cd poisoned melon seedlings

海带硫酸多糖浓度 LPS/g·L ⁻¹	叶绿素 a 含量 Chla content/ mg·g ⁻¹ (FW)	叶绿素 b 含量 Chlb content/ mg·g ⁻¹ (FW)	叶生物量 Biomass content of leaf/mg·g ⁻¹ (FW)	根生物量 Biomass content of root/mg·g ⁻¹ (FW)
0	0.855±0.005e	0.354±0.001e	7.94±0.04e	5.73±0.13d
0.1	1.052±0.007d	0.394±0.004d	8.11±0.06d	5.76±0.09d
0.25	1.165±0.008c	0.415±0.002c	8.30±0.03c	6.69±0.09a
0.35	1.375±0.007a	0.460±0.003a	8.75±0.03a	6.51±0.10ab
0.7	1.325±0.011b	0.441±0.003b	8.59±0.04b	6.27±0.10b
1.1	1.211±0.012c	0.412±0.002c	8.24±0.07c	6.12±0.06c
2.2	1.178±0.006c	0.388±0.001d	7.83±0.03e	5.32±0.18e

注:不同字母表示差异达到显著水平(α=0.05),下同。

Note: Those different letters indicate significant difference at 5% probability level. The same as below.

表 2 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗镉含量和渗透势的影响

Table 2 Effects of LPS on Cd content and osmotic potential of Cd poisoned melon seedlings

海带硫酸多糖浓度 LPS/g·L ⁻¹	叶片镉含量 Cd content in leaf/ μg·kg ⁻¹ (DW)	根镉含量 Cd content in root/ μg·kg ⁻¹ (DW)	叶片渗透势 Osmotic potential in leaf/MPa	根渗透势 Osmotic potential in root/MPa
0	277.7±4.3a	6 189.3±17.9a	-1.196±0.009f	-0.511±0.009f
0.1	265.0±3.5b	5 893.3±18.8b	-1.239±0.004e	-0.542±0.004e
0.25	254.0±2.1c	5 745.0±20.2c	-1.255±0.007de	-0.553±0.007de
0.35	245.7±3.5c	5 732.6±12.3c	-1.277±0.007d	-0.576±0.006d
0.7	232.7±2.9d	5 608.3±4.4d	-1.399±0.009c	-0.612±0.013c
1.1	212.0±3.5e	5 584.3±23.4d	-1.486±0.017b	-0.672±0.009b
2.2	197.7±1.5f	5 414.3±18.3e	-1.579±0.007a	-0.708±0.005a

表 3 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗 MDA 含量和膜透性的影响

Table 3 Effects of LPS on MDA content and membrane permeability of Cd poisoned melon seedlings

海带硫酸多糖浓度 LPS/g·L ⁻¹	叶 MDA 含量 MDA content in leaf/μmol·g ⁻¹ (DW)	根 MDA 含量 MDA content in root/μmol·g ⁻¹ (DW)	叶膜透性 Membrane permeability in leaf/%	根膜透性 Membrane permeability in root/%
0	28.30±1.04ab	37.87±0.78b	85.63±0.81a	84.10±1.32ab
0.1	26.63±1.39bc	37.93±0.47b	82.03±1.40b	82.37±0.85bc
0.25	24.17±1.59d	35.37±0.35d	75.93±2.18c	76.80±1.30d
0.35	21.63±1.70e	34.60±0.46d	72.53±2.16c	68.27±0.91f
0.7	25.20±0.56cd	36.20±0.35c	72.70±1.81c	74.20±1.54e
1.1	27.60±0.90bc	37.40±0.40b	81.77±1.88b	81.93±1.64c
2.2	29.80±0.40a	38.87±0.31a	87.77±1.21a	85.93±0.45a

是根部 Cd²⁺ 累积量和渗透势均快速下降。当海带硫酸多糖浓度为 0.25 g·L⁻¹ 和 0.35 g·L⁻¹ 水平时,无显著差异,其他各浓度水平间达到显著差异水平($P<0.05$)。

2.3 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗 MDA 含量和膜透性的影响

表 3 显示,相同海带硫酸多糖水平下,叶片中 MDA 含量显著低于根部,两者膜透性则差异不大。150 mg·kg⁻¹ 氯化镉处理下,甜瓜幼苗 MDA 含量和细

胞膜透性随施用海带硫酸多糖浓度的升高均呈先下降后上升趋势。叶片中 MDA 含量以 0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下含量最低,与其他浓度水平的差异均达到了极显著水平($P<0.01$);根中 MDA 含量下降幅度小于叶片,0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下含量最低,但与 0.25 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平比较差异不显著,与其他水平比较差异显著($P<0.05$)。说明一定浓度的海带硫酸多糖可降低叶片和根系中的 MDA 含

量,减弱由于 MDA 含量升高造成的膜蛋白交联、膜质过氧化作用,提高甜瓜抗镉离子毒害能力。

150 mg·kg⁻¹ 氯化镉处理下,甜瓜叶片的相对膜透性以 0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下含量最低,且在 0.25~0.7 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平范围内差异不显著;根中相对膜透性以 0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下含量最低,与其他水平下比较差异显著($P<0.05$)。结果表明,海带硫酸多糖可缓解镉离子对甜瓜幼苗造成的膜质过氧化作用。

2.4 海带硫酸多糖对镉胁迫下甜瓜幼苗蛋白质含量和抗氧化酶活性的影响

表 4 表明,相同海带硫酸多糖水平下,叶片中蛋白含量显著高于根部,150 mg·kg⁻¹ 氯化镉处理下,甜瓜幼苗蛋白质含量呈先上升后下降趋势,不管是叶片还是根中蛋白质含量均以 0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下最高;但是,叶片中海带硫酸多糖水平在 0.25~2.2 g·L⁻¹ 范围内,根中海带硫酸多糖水平在 0.25~1.1 g·L⁻¹ 范围内,各处理的蛋白质含量差异不显著。

由表 4、表 5 可知,150 mg·kg⁻¹ 氯化镉处理下,甜瓜幼苗中的几种抗氧化酶 SOD、POD 和 CAT 活性变化均随海带硫酸多糖浓度的升高呈先上升后下降趋

势,并且以 0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下最高。相同海带硫酸多糖水平下,叶片中 SOD 和 POD 活性显著低于根部,而 CAT 活性则相反。甜瓜叶片中 SOD 活性以 0.25~1.1 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平范围内差异不显著,根中 0.35 g·L⁻¹ 与 0.7 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下差异不显著,与其他水平比较则差异显著($P<0.05$);不管是叶片还是根中,甜瓜幼苗 POD 活性在 0.35 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下最高,且与其他浓度水平达到显著差异水平($P<0.05$);在 0.35 g·L⁻¹ 和 0.7 g·L⁻¹ 的海带硫酸多糖水平下,甜瓜叶片中 CAT 活性无差异,但与其他水平比较则差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

镉、铅、汞等重金属可被植物吸收并产生活性氧而对植物造成伤害^[12],低浓度时诱导植物体内 SOD、POD 和 CAT 等抗氧化酶的活性升高,以清除活性氧自由基,保证植株的正常生长;增加到一定浓度时,植物就会表现出叶片黄化、褪绿、植株矮小等中毒症状,抗氧化酶系统受损,活性下降,清除自由基的能力降低,MDA 含量升高,膜质过氧化作用加剧,植物生长受到抑制或死亡^[13-15]。在预备试验中,我们首先研究了

表 4 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗蛋白质含量和 SOD 活性的影响

Table 4 Effects of LPS on protein content and SOD activity of Cd poisoned melon seedlings

海带硫酸多糖浓度 LPS/g·L ⁻¹	叶蛋白质含量 Protein content in leaf/mg·g ⁻¹ (FW)	根蛋白质含量 Protein content in root/mg·g ⁻¹ (FW)	叶 SOD 活性 SOD activity in leaf/U·mg ⁻¹ (Pr)	根 SOD 活性 SOD activity in root/U·mg ⁻¹ (Pr)
0	16.87±0.20b	5.83±0.15bc	1.74±0.02b	27.95±0.42d
0.1	17.13±0.44b	5.93±0.12b	1.75±0.02b	28.13±0.40d
0.25	18.13±0.46ab	6.20±0.25ab	1.92±0.04a	31.11±0.38c
0.35	19.40±0.72a	6.70±0.29a	1.96±0.04a	36.37±0.49a
0.7	19.30±0.32ab	6.57±0.12ab	1.93±0.04a	34.14±0.42ab
1.1	18.33±0.35ab	6.33±0.19ab	1.91±0.04a	32.14±0.24c
2.2	17.87±0.18ab	5.97±0.012b	1.81±0.04b	33.67±0.52b

表 5 海带硫酸多糖对镉毒害下甜瓜幼苗 POD 和 CAT 活性的影响

Table 5 Effects of LPS on POD and CAT activity of Cd poisoned melon seedlings

海带硫酸多糖浓度 LPS/g·L ⁻¹	叶 POD 活性 POD activity in leaf/U·mg ⁻¹ (Pr)	根 POD 活性 POD activity in root/U·mg ⁻¹ (Pr)	叶 CAT 活性 CAT activity in leaf/U·mg ⁻¹ (Pr)	根 CAT 活性 CAT activity in root/U·mg ⁻¹ (Pr)
0	1.29±0.02e	2.78±0.11e	11.17±0.25d	8.83±0.11e
0.1	1.48±0.04cd	3.43±0.13d	12.42±0.18c	9.94±0.25d
0.25	1.68±0.04b	5.00±0.07b	14.11±0.28b	10.28±0.12c
0.35	1.82±0.05a	5.60±0.10a	16.39±0.26a	11.84±0.12a
0.7	1.54±0.03e	4.92±0.03b	15.74±0.26a	11.40±0.22ab
1.1	1.67±0.03c	4.37±0.16c	13.78±0.23b	11.18±0.15b
2.2	1.60±0.01bc	3.76±0.07d	12.49±0.18c	10.89±0.25d

单独添加 0、25、50、75、100、150、200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 时甜瓜幼苗生长变化,发现当 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 水平低于 50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,植株可正常生长;低于 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,植株表现出轻微毒害症状;高于 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,甜瓜幼苗生长表现出明显的毒害症状。为了研究海带硫酸多糖对镉毒害状态下甜瓜生长的影响,选择了 150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ CdCl_2 作为最佳模拟毒害浓度。

一些化合物如谷胱甘肽、草酸和柠檬酸等物质可与镉形成沉淀降低自由态镉^[6],海带硫酸多糖中的羧基集团和氨基集团都含有孤对电子,按照络合物的配位键理论,这些糖类物质能与金属离子配位,形成络合物或螯合物^[7]。试验结果表明,当海带硫酸多糖浓度小于 0.35 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,随海带硫酸多糖水平的升高,甜瓜幼苗根系和叶片中的镉含量降低,说明灌施海带硫酸多糖,可螯合植株根系周围的部分镉,减少了镉向地上部的运输,缓解了镉毒害造成的膜质过氧化作用,使甜瓜抗氧化酶系统得以修复,叶绿素、干物质积累、蛋白质含量及几种抗氧化酶活性上升,而 MDA 含量、膜透性下降。

李兆杰等^[8]报道,海带岩藻聚糖硫酸酯组分具有体外清除活性氧的功能,且随浓度的增加,清除活性氧自由基的能力增强。从试验结果来看,低浓度的海带硫酸多糖的确具有直接清除活性氧、缓解镉毒害的功能。但是,当海带硫酸多糖浓度大于 0.35 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,甜瓜幼苗叶片和根系中抗氧化酶活性维持在较高水平的同时,MDA 含量及膜透性升高,叶绿素、干物质积累、蛋白质含量下降。这可能是因为海带硫酸多糖浓度过高,再加上多次施用,使得植株吸收的多糖总量过多,高浓度的海带硫酸多糖表现出与 Cd 的协同作用,反而加重了对甜瓜幼苗的毒害作用。另外,在本试验中发现,随海带硫酸多糖水平的升高,甜瓜根系和叶片渗透势降低,植株从土壤中吸收水分及营养困难,逐步形成生理干旱,也是抗氧化酶活性维持在高水平,而 MDA 含量及膜透性升高的原因。

4 结论

综合来看,灌施一定浓度的海带硫酸多糖可改善镉毒害下甜瓜幼苗的生长状况,提高叶绿素、蛋白质、干物质含量以及抗氧化酶活性,降低 MDA 含量和膜透性,增强甜瓜生态修复效应;同时,海带硫酸多糖还可以降低甜瓜植株渗透势,并通过螯合镉离子而降低植株镉含量,提高农产品的安全性。在多次施用的情况下,适宜施用的浓度为 0.35 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] Shah K, Kumar R G, Verma S. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings[J]. *Plant Sci*, 2001, 161(6):1135-1144.
- [2] Ranieri A, Castagna A, Scebba F. Oxidative stress and phytochelatin characterisation in bread wheat exposed to cadmium excess[J]. *Plant Physiol Biochem*, 2005, 43 :45-54.
- [3] 陈志良,莫大伦,仇荣亮. 镉污染对生物有机体的危害及防治对策[J]. *环境保护科学*, 2001, 27(4):37-39.
CHEN Zhi-liang, MO Da-lun, QIU Rong-liang. Biological damage of soil cadmium(Cd) pollution and its control[J]. *Environmental Protection Science*, 2001, 27(4):37-39.
- [4] 钱风云,傅德贤,欧阳藩. 海带多糖生物功能研究进展 [J]. *中国海洋药物*, 2003, 1:55-59.
QIAN Feng-yun, FU De-xian, OUYANG Fan. Research advances in biological activities of polysaccharides from laminaria japonica[J]. *Chinese Journal of Marine Drugs*, 2003, 1 :55-59.
- [5] 浦炳寅,竺亚斌,陈东浩. 海带中多糖类化合物的提取和应用[J]. *天然产物开发与研究*, 1998, 11(1):61-64.
PU Bing-yin, ZHU Ya-bin, CHEN Dong-hao. Studies on the extraction and application on kelp polysaccharide compounds[J]. *Natural Production Research and Development*, 1998, 11(1):61-64.
- [6] 高梦祥,叶森. 海带多糖的提取工艺研究[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2005, 2(5):73-75.
GAO Meng-xiang, YE Sen. Research on the extraction of polysaccharide in the kelp[J]. *Journal of Yangtze University(Natural Science Edition) Agricultural Science Volume*, 2005, 2(5):73-75.
- [7] 赖晓芳,沈善瑞. 海带多糖生物活性的研究进展[J]. *生物技术通讯*, 2003, 9 :436-438.
LAI Xiao-fang, SHEN Shan-rui. The research status of laminaria-polysaccharide biological activity[J]. *Letters in Biotechnology*, 2003, 9 :436-438.
- [8] 王安利,胡俊荣. 海藻多糖生物活性研究新进展[J]. *海洋科学*, 2002, 26(9):36-39.
WAN An-li, HU Jun-rong. Advances in studies on biological activities of alga polysaccharide[J]. *Marine Sciences*, 2002, 26(9):36-39.
- [9] 郑逢中,林鹏,郑文教,等. 秋茄对镉的吸收、积累及净化作用的研究[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16(3):220-226.
ZHENG Feng-zhong, LIN Peng, ZHENG Wen-jiao, et al. Study on the absorption and removal of *Kandelia candel* for pollutant cadmium[J]. *Acta Phytocologica Et Geobotanica Sinica*, 1992, 16(3):220-226.
- [10] 张宪政. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 1989.
ZHANG Xian-zheng. Technology of plant physiology[M]. Shenyang: Liaoning Science Technology Press, 1989.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版社, 2000.
GAO Jun-feng. Technology of plant physiology[M]. Xi'an: World Publishing Company, 2000.
- [12] Hendry G A F, Baker A J M, Swart C F. Cadmium tolerance and toxicity, oxygen radical processes and molecular damage in cadmium toler-

- ant and cadmium-sensitive clones of *Holcus lanatus* L.[J]. *Acta Bot Neel*, 1992, 41 :271-281.
- [13] 庞 欣, 王东红, 彭 安. 铅胁迫对小麦幼苗抗氧化酶活性的影响 [J]. 环境科学, 2001, 22 (5):108-111.
PANG Xin, WANG Dong-hong, PENG An. Effect of lead stress on the activity of antioxidant enzymes in wheat seedling[J]. *Chinese Journal of Enviromental Science*, 2001, 22(5):108-111.
- [14] 马文丽, 韩 棋. 镉胁迫对黑小麦 POD 及 SOD 同工酶的影响[J]. 山西大学学报 (自然科学版), 2004, 27 (4):414-417.
MA Wen-li, HAN Qi. Effect of cadmium stress on POD and SOD isozyme of black wheat[J]. *Journal of Shanxi University(Natural Science Edition)*, 2004, 27 (4):414-417.
- [15] 王永吉, 郑文教, 方 煜, 等. 重金属铬(Ⅲ)胁迫对红树植物秋茄幼苗 SOD、POD 活性及其同工酶的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2008, 47(4):571-574.
WAN Yong-ji, ZHENG Wen-jiao, FANG Yu, et al. Effects of Cr (Ⅲ) stress on activities and isozymes of SOD and POD of *Kandelia candel* mangrove seedlings[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science Edition)*, 2008, 47(4):571-574.
- [16] 江行玉, 王长海, 赵可夫. 芦苇抗镉污染机理研究 [J]. 生态学报, 2003, 23(5):856-862.
JIANG Xing-yu, WANG Chang-hai, ZHAO Ke-fu. Study on the mechanism of cadmium resistance in *Phragmites australis*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5):856-862.
- [17] Fridovich I. Free radical in biology Vol. 1[M]. New York: Academic Press, 1976.
- [18] 李兆杰, 薛长湖, 陈 磊, 等. 低分子量海带岩藻聚糖硫酸酯的清除活性氧自由基和体内抗氧化作用 [J]. 水产学报, 2001, 25 (1):64-68.
LI Zhao-jie, XUE Chang-hu, CHEN Lei, et al. Scavenging effects of fucoidan fractions of low molecular weight extracted from *Laminaria japonica* on radicals of active oxygen and antioxidation in vivo[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2001, 25(1):64-68.

欢迎订阅

2011 年《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》是由农业部主管、农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会主办的全国性学术期刊。是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊, 列于被引频次最高的中国科技期刊 100 名之内并编入《中国学术期刊(光盘版)》。本刊还被国外多家著名检索机构收录, 如美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ), 美国《剑桥科学文摘社网站: 水系统、水科学与渔业文摘、环境工程、水资源文摘及环境科学与污染管理》等 7 种国际检索系统列为来源期刊。本刊主要刊登农业生态环境科学领域具有创新性的研究成果, 包括新理论、新技术和新方法。读者对象为从事农业科学、环境科学、林业科学、生态学、医学和资源保护等领域的科技人员和院校师生。

《农业环境科学学报》为月刊, 大 16 开, 208 页, 每本定价 40.00 元, 全年定价 480.00 元。国内外公开发行, 全国各地邮局征订, 邮发代号 6-64。如读者在当地邮局漏订, 可通过邮局汇款至本刊编辑部补订。此外, 编辑部存有 2000 年以前的各卷合订本, 欢迎选购。

编辑部地址: 300191 天津市南开区复康路 31 号

电话: (022)23674336, 23006209

电子信箱: caep@vip.163.com

传真: (022)23006209

网址: www.aes.org.cn