

豆瓣菜对 Cd 的生理反应及其 Cd 积累的研究

韩承华 周增辉 张 娜 江解增*

(扬州大学水生蔬菜研究室, 江苏扬州 225009)

摘 要: 为了解 Cd 对豆瓣菜生长的影响, 以英国大叶豆瓣菜为试验材料, 在营养液栽培条件下, 研究了不同浓度 Cd 处理下, 豆瓣菜农艺性状、产量、根系活力、净光合速率 (Pn)、抗氧化酶活性、丙二醛 (MDA) 含量、植物络合素 (PCs) 含量, 以及豆瓣菜不同部位 Cd 含量的变化。结果表明: 较低浓度的 Cd 处理就会影响豆瓣菜的生长, 表现为 MDA 含量升高, 高浓度 Cd 处理还会导致根系活力和 Pn 的降低。SOD、POD、CAT 和 PCs 在缓解 Cd 毒害中具有协同作用, 但低浓度 Cd 胁迫下以 PCs 的螯合作用为主, 随 Cd 浓度的增加变为以 SOD、POD、CAT 的抗氧化作用为主。豆瓣菜易积累 Cd, 当营养液中 Cd 达到 $0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 豆瓣菜 Cd 含量即已超标。认为豆瓣菜是一种 Cd 敏感型蔬菜, 生产中应特别注意 Cd 的污染。

关键词: 豆瓣菜; 生长; Cd 积累; 生理反应

中图分类号: S63 文献标识码: A 文章编号: 1000-6346 (2013) 24-0016-06

Studies on Physiological Response of Watercress to Cd Stress and Its Cd Accumulation

HAN Cheng-hua, ZHOU Zeng-hui, ZHANG Na, JIANG Jie-zeng*

(Institute of Aquatic Vegetable Research, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China)

Abstract: A hydroponic experiment was carried out to study the effects of Cd on the growth of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). The indexes under treatments of different Cd concentration, such as agronomic characters, yield, root activity, net photosynthetic rate (Pn), antioxidant enzyme activity and the concentration of malondialdehyde (MDA), phytochelatin (PCs) and Cd contents changes at different parts of watercress were studied. The results showed that low Cd concentration would influence watercress growth, i.e. the accumulation of MDA would rise, while high Cd concentration would lead to the decline of root activity and Pn. Antioxidases and PCs played a cooperative role in alleviating Cd toxicity. But the alleviation was dominated by PCs chelation under the condition of low Cd concentration, while it would be dominated by the antioxidation of SOD, POD, CAT along with the increase of Cd concentration. Cd is easily accumulated in watercress. The Cd concentration in edible parts of watercress had exceeded the limit value of national standards, when the concentration of Cd in the nutrient solution reached $0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. In conclusion, watercress is a vegetable of Cd-sensitive type, more attentions should be paid on Cd pollution during its production.

收稿日期: 2013-09-22; 接受日期: 2013-10-25

基金项目: 江苏省农业三项工程项目 [sx (2011) 290]

作者简介: 韩承华, 男, 博士研究生, 专业方向: 农产品安全与环境, E-mail: 360885829@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 江解增, 教授, 博士生导师, 专业方向: 水生蔬菜栽培, E-mail: jzjiang@yzu.edu.cn

Key words: Watercress; Growth; Cd accumulation; Physiological responses

造成蔬菜污染的因素主要有农药污染、硝酸盐污染、增塑剂污染、生物性污染及重金属污染等(李淑梅, 2000)。其中, 重金属污染具有隐蔽性、不易降解、难以恢复的特点(范拴喜等, 2010), 其潜在危害更大。镉(Cd)是毒性最强的重金属之一。过量的Cd会影响作物生长, 最终通过食物链进入人体, 危害人类健康(邹日等, 2011)。我国是世界第一大化肥消费国, 化肥投入占全部农业生产性支出的50%左右(张北赢等, 2010)。磷肥和有机肥的长期施用都会导致土壤Cd含量增加(陈芳等, 2005; 徐明岗等, 2010), 原本清洁的土壤可能会因肥料的长期施用而导致Cd污染。叶菜较其他种类蔬菜对重金属反应更加敏感, 更易受重金属的污染和毒害。土壤Cd未超标时, 叶菜产品中也可能会有Cd超标现象(江解增等, 2006)。近年来我国水资源重金属污染事件频发, 工业“三废”的不合理排放加剧了水体重金属污染程度(孙维锋和肖迪, 2012), 水生蔬菜常规生产中需要大量灌溉用水, 因此受重金属污染的可能性比一般旱生蔬菜大。豆瓣菜(*Nasturtium officinale* R. Br.), 以较嫩的茎叶供食用, 是一种效益高的水生叶菜(赵有为, 1999)。目前关于Cd对豆瓣菜安全生产影响的研究尚无相关报道。本试验从豆瓣菜生长特性、生理特性以及食品安全等方面, 较为系统地研究了Cd对豆瓣菜生长的影响, 以期对豆瓣菜的安全生产提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试豆瓣菜品种为英国大叶豆瓣菜, 种子来源于扬州大学水生蔬菜研究室。

1.2 试验方法

试验于2012年在扬州大学水生蔬菜试验田大棚内进行。营养液为华南农业大学叶菜A配方和通用微量元素配方(刘士哲, 2001)。Cd²⁺来源为CdCl₂·2.5H₂O(分析纯)。设6个Cd²⁺浓度: 0(CK)、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mg·L⁻¹, 每处理设3次重复。将Cd²⁺配成100 mg·L⁻¹的母液, 试验时按试验设计浓度加入到各周转箱(长×宽×高=40 cm×30 cm×15 cm)中。3月18日播种育苗。4月7日, 选长势相近、株高为10 cm左右的豆瓣菜幼苗, 用自来水洗净后, 按株距5 cm, 行距6 cm定植到含有8 L营养液的周转箱中, 每箱30株。缓苗2 d后添加Cd²⁺。每7 d添加1次营养液, 试验中保持水位一致。

1.3 样品采收和指标测定

4月26日, 用LI-6400便携式光合仪(美国LI-COR公司)测定净光合速率(Pn)。4月27日, 测定农艺性状相关指标, 茎长为营养液液面以上植株高度, 茎粗为营养液液面以上3 cm左右的茎粗, 叶片长度、宽度为从上往下数第4片完全展开的羽状复叶顶小叶的长度、宽度。4月28日采收后立刻带回实验室测定其质量记为产量。根鲜样一部分用于测定根系活力, 另一部分烘干用于测定Cd含量。取新鲜叶片, 用纱布包好, 液氮处理20 min后, 于-40℃保存备用。剩余样品分别测定茎、叶片和地上部质量, 105℃杀青30 min后, 75℃烘至恒重, 测其干质量, 用粉碎机粉碎成粉末, 保存备用。根系活力、MDA含量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、SOD活性、CAT活性测定参考邹琦(2000)的方法。POD活性测定参考张志良等(2009)的方法。谷胱甘肽(GSH)含量测定参考赵旭东等(2000)的方法。非蛋白巯基(NPT)含量测定参考Rama和Prassd(1998)的方法。植物络合素(PCs)含量计算参考Keltjens和van Beusichem(1998)的方法。Cd含量用全谱直读等离子体发射光谱仪(ICP, 美国Thermo Scientific公司)测定。

1.4 统计分析

用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行数据整理与分析。

2 结果与分析

2.1 Cd 对豆瓣菜农艺性状和产量的影响

由表 1 可知,0.15 mg·L⁻¹ 的 Cd 能显著增加豆瓣菜茎长。随 Cd 浓度的继续升高,茎长、茎粗、叶长、产量均出现不同程度的下降。当 Cd 添加量为 0.30 mg·L⁻¹ 时,豆瓣菜茎长、茎粗、叶长、叶宽和产量均较对照显著下降,分别较对照降低 14.73%、23.76%、8.62%、13.51% 和 17.63%。说明 Cd 导致的豆瓣菜产量显著降低是茎长、茎粗、叶长、叶宽等指标共同下降的结果,其中茎粗和茎长的下降是导致豆瓣菜减产的主要原因。

表 1 Cd 对豆瓣菜农艺性状和产量的影响

Cd ²⁺ /mg·L ⁻¹	茎长/cm	茎粗/mm	叶长/cm	叶宽/cm	产量/g
0 (CK)	34.14 ± 1.59 b	5.85 ± 0.51 a	4.29 ± 0.22 a	3.70 ± 0.22 a	378.8 ± 14.0 ab
0.10	36.69 ± 2.73 ab	5.51 ± 0.37 ab	4.33 ± 0.27 a	3.70 ± 0.21 a	389.3 ± 8.2 a
0.15	38.83 ± 2.81 a	5.01 ± 0.52 bc	4.27 ± 0.24 a	3.57 ± 0.34 a	377.5 ± 17.2 ab
0.20	35.78 ± 4.06 ab	4.78 ± 0.70 cd	4.18 ± 0.30 a	3.68 ± 0.17 a	346.5 ± 17.3 abc
0.25	34.56 ± 3.75 b	4.55 ± 0.39 cd	4.09 ± 0.40 a	3.45 ± 0.30 ab	337.5 ± 15.5 bc
0.30	29.11 ± 5.11 c	4.46 ± 0.63 d	3.92 ± 0.39 b	3.20 ± 0.22 b	312.0 ± 12.4 c

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异显著(α=0.05),下表同。

2.2 Cd 对豆瓣菜生理指标的影响

由表 2 可知,随着 Cd 浓度的升高,MDA 和脯氨酸含量不断增加。当 Cd 浓度达到 0.10 mg·L⁻¹ 时,脯氨酸含量比对照显著升高,而其他指标与对照相比无显著差异,说明脯氨酸代谢生理对 Cd 的敏感度相对较高;Cd 浓度为 0.25 mg·L⁻¹ 时,MDA 含量比对照显著升高。

随着 Cd 浓度的升高,根系活力、可溶性蛋白含量和 Pn 均呈先升高后降低的趋势。Cd 浓度为 0.20 mg·L⁻¹ 时,可溶性蛋白含量和 Pn 比对照显著升高并达最大值。当 Cd 浓度为 0.30 mg·L⁻¹ 时,根系活力和 Pn 较对照有所降低,但差异未达到显著水平;可溶性蛋白含量仍高于对照,但差异不显著。

各生理指标变化幅度大小顺序为:MDA (101.10%) > 脯氨酸 (91.39%) > Pn (31.68%) > 可溶性蛋白 (28.26%) > 根系活力 (26.11%) > 可溶性糖 (22.85%)。说明豆瓣菜不同生理指标对 Cd 的敏感度不同,其中 MDA 含量变化幅度最大,对 Cd 最为敏感。

表 2 Cd 对豆瓣菜生理指标的影响

Cd ²⁺ mg·L ⁻¹	根系活力 μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹	MDA μmol·kg ⁻¹	可溶性糖 mg·g ⁻¹ (FW)	可溶性蛋白 mg·g ⁻¹ (FW)	脯氨酸 μg·g ⁻¹ (FW)	Pn μmol·m ⁻² ·s ⁻¹
0 (CK)	18.50 ± 1.81 ab	4.53 ± 0.32 c	19.87 ± 1.53 a	4.53 ± 0.39 b	90.60 ± 8.57 d	10.10 ± 0.59 b
0.10	21.29 ± 1.73 a	5.04 ± 0.35 c	21.99 ± 2.62 a	4.67 ± 0.57 ab	126.58 ± 12.61 c	10.41 ± 1.61 ab
0.15	20.44 ± 0.70 a	5.22 ± 0.59 c	23.25 ± 1.37 a	5.06 ± 0.43 ab	130.37 ± 11.30 c	11.37 ± 0.98 ab
0.20	19.55 ± 1.55 ab	6.53 ± 0.51 bc	21.99 ± 2.01 a	5.81 ± 0.55 a	136.98 ± 7.81 bc	12.62 ± 0.71 a
0.25	18.71 ± 1.15 ab	7.84 ± 0.77 ab	23.01 ± 1.81 a	5.77 ± 0.51 a	156.31 ± 16.70 ab	10.23 ± 1.02 b
0.30	16.46 ± 1.14 b	9.11 ± 0.71 a	24.41 ± 0.85 a	5.36 ± 0.77 ab	173.40 ± 16.56 a	9.42 ± 0.042 b

2.3 Cd 对豆瓣菜抗氧化酶活性的影响

由表 3 可知,当 Cd 浓度为 0.15 mg·L⁻¹ 时,SOD 和 CAT 活性均比对照显著升高,POD 活性则无显著变化。说明 SOD 和 CAT 对 Cd 的敏感度要高于 POD。随 Cd 浓度的继续增加,SOD、POD 和 CAT 活性也逐渐升高。说明较低浓度 Cd 即可对豆瓣菜产生胁迫,导致 SOD、POD 和 CAT 活性升高。

表3 Cd对豆瓣菜抗氧化酶活性的影响

Cd ²⁺ /mg·L ⁻¹	SOD活性/U·g ⁻¹ ·min ⁻¹	POD活性/U·g ⁻¹ ·min ⁻¹	CAT活性/U·g ⁻¹ ·min ⁻¹
0(CK)	76.67 ± 5.34 d	72.60 ± 6.33 c	92.25 ± 9.69 d
0.10	82.23 ± 6.62 d	75.82 ± 6.83 c	98.59 ± 11.04 d
0.15	96.68 ± 8.11 c	82.37 ± 7.21 bc	113.95 ± 11.15 c
0.20	105.57 ± 8.87 bc	90.40 ± 7.86 b	136.17 ± 12.19 b
0.25	116.36 ± 9.49 ab	104.16 ± 9.17 a	148.16 ± 13.41 ab
0.30	125.95 ± 11.73 a	111.70 ± 10.25 a	156.24 ± 15.52 a

2.4 Cd对豆瓣菜NPT、GSH和PCs含量的影响

由表4可知,NPT、GSH和PCs含量均随Cd浓度的增加而增加。0.10 mg·L⁻¹的Cd会导致NPT含量比对照显著升高,而对GSH和PCs含量无显著影响,说明NPT对Cd的敏感度要高于GSH和PCs。当Cd浓度为0.15 mg·L⁻¹时,三者含量都比对照显著升高。当Cd浓度在0.15~0.30 mg·L⁻¹之间时,NPT和GSH含量仍有显著升高,而PCs含量无显著变化,这可能是因为PCs合成酶(PCS)活性受Cd的抑制,导致PCs合成受阻。

表4 Cd对豆瓣菜NPT、GSH和PCs含量的影响

Cd ²⁺ /mg·L ⁻¹	NPT/μg·g ⁻¹	GSH/μg·g ⁻¹	PCs/μg·g ⁻¹
0(CK)	81.50 ± 8.01 e	20.94 ± 2.05 e	60.56 ± 4.05 c
0.10	94.74 ± 9.08 d	24.65 ± 2.68 e	70.09 ± 3.95 bc
0.15	115.60 ± 11.75 c	37.93 ± 3.73 d	77.67 ± 6.80 ab
0.20	122.55 ± 12.16 bc	43.41 ± 2.49 c	79.14 ± 5.66 ab
0.25	136.17 ± 12.88 ab	49.25 ± 4.60 b	86.92 ± 4.55 a
0.30	145.22 ± 13.66 a	53.90 ± 3.86 a	91.32 ± 4.77 a

2.5 Cd在豆瓣菜不同部位的积累

由表5可知,豆瓣菜不同部位Cd含量均随Cd浓度的升高而升高。豆瓣菜不同部位Cd积累量表现为根>茎>叶。当Cd浓度为0.15 mg·L⁻¹时,豆瓣菜地上部Cd含量为0.19 mg·kg⁻¹,接近GB 2762—2012规定的0.2 mg·kg⁻¹的上限。GB 18407.1—2001、NY/T 391—2000和HJ 332—2006中规定的Cd安全限值为0.30 mg·kg⁻¹。本试验发现,当Cd浓度为0.20 mg·L⁻¹时,地上部Cd含量为国标限值的1.30倍。说明环境中Cd含量未超标时,豆瓣菜地上可食部位也会出现Cd超标的现象。

表5 Cd在豆瓣菜不同部位的积累

Cd ²⁺ /mg·L ⁻¹	根/mg·kg ⁻¹ (FW)	茎/mg·kg ⁻¹ (FW)	叶/mg·kg ⁻¹ (FW)	地上部/mg·kg ⁻¹ (FW)
0(CK)	0.01 ± 0.00 e	0.01 ± 0.00 f	0.04 ± 0.00 e	0.02 ± 0.00 f
0.10	0.78 ± 0.05 d	0.13 ± 0.01 e	0.11 ± 0.01 d	0.12 ± 0.01 e
0.15	1.18 ± 0.08 d	0.19 ± 0.01 d	0.18 ± 0.01 c	0.19 ± 0.01 d
0.20	2.40 ± 0.22 c	0.28 ± 0.04 c	0.21 ± 0.01 c	0.26 ± 0.03 c
0.25	3.53 ± 0.31 b	0.40 ± 0.04 b	0.29 ± 0.02 b	0.37 ± 0.03 b
0.30	4.11 ± 0.37 a	0.51 ± 0.04 a	0.38 ± 0.03 a	0.47 ± 0.03 a

3 结论与讨论

3.1 Cd对豆瓣菜生长的影响

Cd会导致豆瓣菜MDA含量上升,高浓度Cd处理还会导致根系活力和Pn下降,与前人研究结果(Choudhary et al., 2007; 黄凯丰等, 2008)一致。重金属还会影响可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化(张永霞等, 2011),本试验也得到相似的结论。0.1 mg·L⁻¹ Cd可显著抑制菜薹、芥菜、叶用莴苣、蕹菜、苋菜的生长(杜应琼等, 2003),1 mg·L⁻¹ Cd对普通白菜(小白菜)的生长无显著影响(孙光闻等, 2004),本试验发现0.30 mg·L⁻¹ Cd可显著影响豆瓣菜的生长。相比可知,豆瓣菜对Cd的敏感度要高于普通白菜,但低于菜薹、芥菜、叶用莴苣、蕹菜、苋菜。

随着 Cd 浓度的升高, SOD、POD 和 CAT 活性表现为先升后降的趋势(孙光闻等, 2004), 脯氨酸和 PCs 含量不断增加(Ashraf & Foolad, 2007)。本试验发现, 随着 Cd 浓度的升高, 豆瓣菜 3 种抗氧化酶活性以及脯氨酸和 PCs 含量表现为上升的趋势。说明豆瓣菜可通过提高抗氧化酶活性以及脯氨酸和 PCs 含量, 来缓解 Cd 毒害。0.10 mg · L⁻¹ Cd 处理下, SOD、POD 和 CAT 活性分别比对照增加 7.25%、4.44% 和 6.87%, 而 PCs 含量较对照增加 15.74%, 变幅较大, 可能此时 PCs 对 Cd 的螯合在缓解 Cd 毒害方面起主要作用。当 Cd 浓度在 0.15 ~ 0.30 mg · L⁻¹ 之间时, 3 种酶活性仍有显著升高, PCs 含量无显著变化, 可能是 Cd 抑制了 PCs 合成, 降低了其对 Cd²⁺ 的螯合能力, 游离 Cd²⁺ 不断积累诱导了 3 种酶活性大幅提高, 但目前尚无类似报道, 需要进一步试验验证。脯氨酸含量不断升高, 可能是为了维持细胞渗透压以增强细胞结构的稳定性(邹日等, 2011)。

3.2 Cd 在豆瓣菜体内积累规律与食品安全

豆瓣菜地上部 Cd 含量随 Cd 处理浓度的增加而增加, 不同部位 Cd 含量为根 > 茎 > 叶, 与潘静娴等(2006)的研究结果相同。当 Cd 浓度为 0.10 mg · L⁻¹ 时, 菜薹、芥菜、叶用莴苣、蕹菜和苋菜地上可食部位 Cd 含量分别为 0.74、0.29、0.59、0.39 mg · kg⁻¹ 和 1.11 mg · kg⁻¹(杜应琼等, 2003)。本试验中, Cd 浓度为 0.10 mg · L⁻¹ 时, 豆瓣菜地上部 Cd 含量为 0.12 mg · kg⁻¹。对比可知, 豆瓣菜对 Cd 的积累要低于菜薹、芥菜、叶用莴苣、蕹菜、苋菜。当 Cd 浓度为 0.20 mg · L⁻¹ 时, 豆瓣菜地上部 Cd 含量超过国标限值。

综上所述, 豆瓣菜是一种 Cd 敏感型蔬菜。较低浓度 Cd 就会抑制豆瓣菜的生长, 环境中 Cd 未超标的情况下, 豆瓣菜地上部仍可出现 Cd 超标现象, 以上结论仅为营养液栽培条件下试验所得。土壤栽培条件下 Cd 对豆瓣菜生长的影响还应开展进一步的研究。为了给 Cd 敏感型蔬菜的安全生产提供更加详细的科学依据, 现提出以下研究建议: 第一, 叶菜对 Cd 的积累存在种类(杜应琼等, 2003)和品种(陈瑛等, 2009)差异, 因此可加强 Cd 对不同种类、品种叶菜生长影响的相关研究, 可选择 Cd 低积累和耐 Cd 的叶菜进行种植以提高叶菜的安全生产系数, 也可为叶菜产地环境 Cd 含量限值的修改提供一定的参考依据。第二, 肥料的长期施用会导致土壤中 Cd 含量上升, 相对于旱生蔬菜, 水生蔬菜常规生产需大量灌溉用水, 加大了其受重金属污染的可能性。因此, 在 Cd 敏感蔬菜种植前应加强对土壤和灌溉用水质量的检测, 尽可能避免 Cd 污染。第三, 温度和光照的变化会影响植物对重金属的吸收(Fritioff et al., 2005; 李秋华等, 2007)。叶菜对 Cd 的吸收积累也可能存在季节性差异, 因此应开展不同栽培时期 Cd 对叶菜生长影响的研究, 为不同栽培时期叶菜的安全生产提供参考依据。第四, 加强缓解叶菜 Cd 污染栽培新技术的研发, 降低 Cd 向叶菜可食部位的迁移率, 确保叶菜的安全生产。

参考文献

- 陈芳, 董元华, 安琼, 钦绳武. 2005. 长期肥料定位试验条件下土壤中重金属的含量变化. 土壤, 37(3): 308-311.
- 陈瑛, 李廷强, 杨肖娥, 金叶飞. 2009. 不同品种小白菜对镉的吸收积累差异. 应用生态学报, 20(3): 736-740.
- 杜应琼, 何江华, 陈俊坚, 魏秀国, 杨秀琴, 王少毅, 何文彪. 2003. 铅、镉和铬在叶类蔬菜中的累积及对其生长的影响. 园艺学报, 30(1): 51-55.
- 范拴喜, 甘卓亭, 李美娟, 张掌权, 周旗. 2010. 土壤重金属污染评价方法进展. 中国农学通报, 26(17): 310-315.
- 黄凯丰, 杨凯, 江解增, 卞晓东, 王东林, 曹碯生. 2008. 镉胁迫对茼蒿生长及产品残留量的影响. 中国蔬菜, (2): 12-14.
- 江解增, 许学宏, 余云飞, 陈庆生, 廖启林. 2006. 蔬菜对重金属生物富集程度的初步研究. 中国蔬菜, (7): 8-11.
- 李秋华, 白慧卿, 彭滨. 2007. 螺旋藻生物富集镍的影响因素研究. 广州化学, 32(3): 26-30.
- 李淑梅. 2000. 蔬菜污染及其防范对策. 农业与技术, (3): 27-28, 31.
- 刘士哲. 2001. 现代实用无土栽培技术. 北京: 中国农业出版社: 144-146.
- 潘静娴, 戴锡玲, 陆劭俊. 2006. 茼蒿重金属富集特征与食用安全性研究. 中国蔬菜, (1): 6-8.
- 孙光闻, 朱祝军, 方学智. 2004. 不同镉水平对白菜生长及抗氧化酶活性的影响. 园艺学报, 31(3): 378-380.

- 孙维锋, 肖迪. 2012. 水体重金属污染现状及治理技术. 能源与节能, (2): 49-50.
- 徐明岗, 武海雯, 刘景. 2010. 长期不同施肥下我国3种典型土壤重金属的累积特征. 农业环境科学学报, 29(12): 2319-2324.
- 张北赢, 陈天林, 王兵. 2010. 长期施用化肥对土壤质量的影响. 中国农学通报, 26(11): 182-187.
- 张永霞, 石贵玉, 李霞, 张厚瑞. 2011. 铬胁迫对罗汉果幼苗生理生化指标的影响. 中国农学通报, 27(2): 12-16.
- 张志良, 翟伟菁, 李小方. 2009. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社: 100-101.
- 赵旭东, 魏东芝, 万群, 俞俊棠. 2000. 谷胱甘肽的简便测定法. 药物分析杂志, 20(1): 34-37.
- 赵有为. 1999. 中国水生蔬菜. 北京: 中国农业出版社: 162-167.
- 邹琦. 2000. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社.
- 邹日, 沈镛, 柏新富, 李锡香. 2011. 重金属对蔬菜的生理影响及其富集规律研究进展. 中国蔬菜, (4): 1-7.
- Ashraf M, Foolad M R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59: 206-216.
- Choudhary M, Jetley U K, Abash Khan M, Zutshi S, Fatma T. 2007. Effect of heavy metal stress on proline, malondialdehyde, and superoxide dismutase activity in the cyanobacterium *Spirulina platensis*-S5. Ecotoxicology and Environmental Safety, 66: 204-209.
- Fritioff A, Kautsky L, Greger M. 2005. Influence of temperature and salinity on heavy metal uptake by submersed plants. Environmental Pollution, 133: 265-274.
- Keltjens W G, Van Beusichem M L. 1998. Phytochelatins as biomarkers for heavy metal toxicity in maize: single metal effects of copper and cadmium. Journal of Plant Nutrition, 21: 635-648.
- Rama Devi S, Prasad M N V. 1998. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. Plant Science, 138: 157-165.

· 信息 ·

“蔬菜根结线虫病”技术光盘简介

蔬菜根结线虫病为设施蔬菜毁灭性病害, 极难防治, 很多农民称它为蔬菜的“癌症”, 严重影响蔬菜的正常生产和产品的质量。北京市农委、北京市科委设立专题项目支持技术攻关, 北京市植物保护站、北京市大兴现代农业技术创新服务中心和北京瑞蕊农视文化传媒有限公司联合将相关技术成果拍摄成科普光盘, 由学苑音像出版社正式出版, 隆重推荐给广大读者。

《蔬菜的“癌症”——根结线虫病发生、危害与传播》通过大量现场镜头、实物照片和动画演示等, 系统展现线虫的为害特点、微观特征、发生规律、传播途径等。富有趣味的现场介绍, 生动形象的专家讲解, 可以帮助大家很好地认识蔬菜根结线虫病发生为害规律和控制原理, 以及“预防为主, 综合防治”的防治策略。邮购价:35元。

《蔬菜的“癌症”——根结线虫病防治实用技术》系统地介绍了培育无病幼苗、棚室土壤消毒、抗线虫蔬菜品种的应用、嫁接防病、药剂防治、种植诱集或者驱避植物等综合防治技术。通过大量田间操作镜头, 结合技术人员和植保专家的现场讲解, 帮助大家直观地认识和掌握预防与控制蔬菜根结线虫病的多项技术措施。邮购价:35元。

邮购地址: 北京市海淀区中关村南大街12号 《中国蔬菜》编辑部 邮编: 100081 电话: 010-82109550