

铅对茄果类蔬菜生长特性及其细胞组织超微结构的影响

张永志¹, 郑纪慈¹, 徐明飞¹, 阮美颖², 俞林火³, 王钢军¹

(1. 浙江省农业科学院农产品质量标准研究所, 浙江 杭州 310021; 2. 浙江省农业科学院蔬菜研究所, 浙江 杭州 310021; 3. 浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 浙江 杭州 310021)

摘要:在温室内利用盆栽试验方法,通过栽种番茄、茄子、辣椒等3种茄果类蔬菜于添加了不同Pb浓度处理的供试土壤中,对3种蔬菜的生长特性、Pb富集规律和组织细胞超微结构进行了研究。结果表明,供试的茄果类蔬菜果实中的Pb含量与土壤中的Pb含量呈显著相关性,番茄、茄子、辣椒的相关系数分别为:0.974、0.960、0.991,土壤Pb浓度还明显影响茄果类蔬菜的产量。运用扫描电子显微镜对番茄和茄子的畸形叶片和萼片组织细胞超微结构进行了观察,结果表明,虽然果实中的Pb含量没有超标,但是叶片和萼片的组织细胞已经发生了质壁分离,叶绿体膜断裂或消失,线粒体肿胀、内嵴减少或消失,细胞壁变薄等现象。

关键词: 铅; 茄果类蔬菜; 超微结构

中图分类号: X503.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)02-0482-06

Effect of Pb on Growth Characteristics and Cell Ultrastructure of Solanaceous Vegetables

ZHANG Yong-zhi¹, ZHENG Ji-ci¹, XU Ming-fei¹, RUAN Mei-ying², YU Lin-huo³, WANG Gang-jun¹

(1. Institute of Quality Standards for Agro-products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. Vegetable Research Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 3. Institute of Environment Resources and Soil Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: Using the method of pot culture experiment in greenhouse, the effect of Pb on growth characteristics and cell ultrastructure of tomato, eggplant and pepper as well were studied. The results indicated that the leaves and sepals of solanaceous vegetables were affected by the content of lead in soil remarkably, observed with scanning electron microscope, the ultrastructure of their cells were changed by the soil pollution of lead. These changes included plasmolysis, fracture or disappear of chloroplast membrane, swelling of mitochondria, reduction or vanish of cristae in mitochondria and attenuation of cell wall as well. The growth characteristics of vegetables were also affected by lead. The yields of vegetables were decreased significantly with the increasing content of lead in soil. Besides, there was distinctive correlation of the lead content between soil and fruit, and the correlation coefficients of tomato, eggplant and pepper were 0.974, 0.960 and 0.991, respectively.

Keywords: Pb; solanaceous vegetables; ultrastructure

蔬菜是人们膳食营养结构中的重要组成部分,蔬菜的质量安全一直是人们关注的焦点之一,由于工业的迅猛发展和各种化学产品、农药及化肥的广泛使用,致使重金属对土壤和水体的污染越来越严重。蔬菜基地的土壤、水体一旦被重金属污染,不仅对蔬菜

生长和发育产生直接影响,重金属还会在蔬菜根、茎、叶及果实中积累,并通过食物链被人体吸收,危及人类健康^[1-5]。近年来,有关蔬菜中重金属的含量调查以及土壤中重金属含量对蔬菜富集重金属元素的影响研究已有许多报道,一些研究还报道了重金属在蔬菜中的形态分布^[6,7]。另外,通过盆栽试验研究重金属对蔬菜的生长特性影响以及蔬菜对重金属的吸收富集规律的研究也有不少^[8-14],而对蔬菜中毒性状利用扫描电镜观察其细胞超微结构变化的研究还鲜见报道。

本文通过在温室内添加不同浓度的Pb于土壤

收稿日期:2007-05-08

基金项目:浙江省重点科研项目(2005C22006)

作者简介:张永志(1976—),男,硕士,主要从事农产品质量安全与污染环境化学研究。E-mail:zyz317@sina.com

通讯作者:郑纪慈 E-mail:zhengjici@163.com

中,研究了 Pb 在茄果类蔬菜中的吸收富集规律以及 Pb 对茄果类蔬菜的生长特性及细胞超微结构的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料

(1) 供试土壤:在浙江省农业科学院海宁试验基地内采集,经晒干、敲碎、过筛、去杂质、充分拌匀后备用。土壤 Pb 含量为 $21.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 为 6.1。

(2) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 分析纯。

(3) 盆栽用具、扫描电子显微镜、原子吸收仪等。

(4) 蔬菜种子:番茄(浙杂 203)、辣椒、茄子(杭茄一号)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验场地

试验在塑料大棚条件下,用盆栽方式在浙江省农科院内进行。

1.2.2 试验处理

处理 1:对照(土壤本底值,不另外再添加 Pb);处理 2:添加 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土壤 Pb;处理 3:添加 $450 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土壤 Pb;处理 4:添加 $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土壤 Pb。3 次重复,顺序排列。

1.2.3 栽培管理

育苗:供试品种都用营养钵育苗方式培育秧苗。播种时每钵播种种子数粒,种子间保持一定的间距。出苗后,通过 3 次间苗,最后每钵保留健壮秧苗一株。移栽时将营养钵中培养基连同秧苗一起移入盆栽盆中。

施肥:基肥和追肥都用尿素或三元复合肥料。基肥每盆施用 3 g (每盆含有风干土重为 10.5 kg),将所需肥料和土壤分别称出,再混在一起,充分混匀后装盆。追肥根据蔬菜的生长情况适时进行。施用时将所需肥料的总量称出后,溶于水中,加足所需水分,充

分拌匀后,定量施入各盆。

浇水:试验期间,根据蔬菜生长情况、天气变化、温度高低确定每天的浇水量,保持盆土湿润,防止植株凋萎。同时要注意温室内温湿度的变化,及时控制调节,高温晴天尤要注意。

病虫害防治:一般温室内虫害相对较少,危害较轻。但仍要重视。对虫害较多的叶菜类蔬菜平时要加强检查,发现害虫要及时用手工捕杀。温室蔬菜一般病害较易发生。要根据不同蔬菜的生理特性、发病规律及主要病害种类重视预防,调节好生长环境,注意生长情况,发现病害立即采取措施,及时防治。

观察记载:每隔 5~7 d 记载一次蔬菜生长情况,包括株高、叶片数、生长是否正常、叶片有无病斑、有无卷曲,叶片色泽是否正常、叶脉有否失绿等。

1.2.4 产量测定与样品采集

果实按成熟程度,分批采收,称重后留作样品,测定果实中 Pb 的含量。另外,还要分别测定各处理根、茎、叶的鲜重和干重,并根据试验要求留足测定用的分析样品。根系的采集方法是通过分离土壤和蔬菜根系,再经过自来水清洗、蒸馏水清洗后用纱布吸干根系表面的水份。

2 结果与讨论

2.1 Pb 在蔬菜中的吸收富集状况

分别测定番茄、茄子、辣椒的叶、茎、根及果实的 Pb 含量,结果见图 1、图 2。

从图 1 可以看出,Pb 在番茄中的积累规律为根 > 叶 > 茎,在茄子中除了处理 4 叶的 Pb 含量小于茎外,其他处理的积累规律也是根 > 叶 > 茎,Pb 在辣椒中的积累规律与番茄和茄子有所差别,在对照土壤和低浓度处理(处理 2)时是根 > 叶 > 茎,而在高浓度处理(处理 3 和处理 4)中是根 > 茎 > 叶。说明茄果

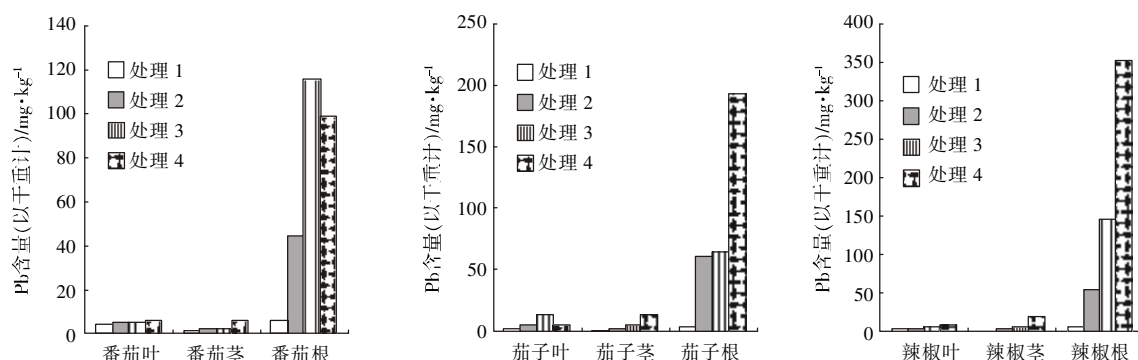


图 1 3 种茄果类蔬菜根、茎、叶中 Pb 的含量

Figure 1 Contents of Pb in roots, stems and leaves of solanaceous vegetables

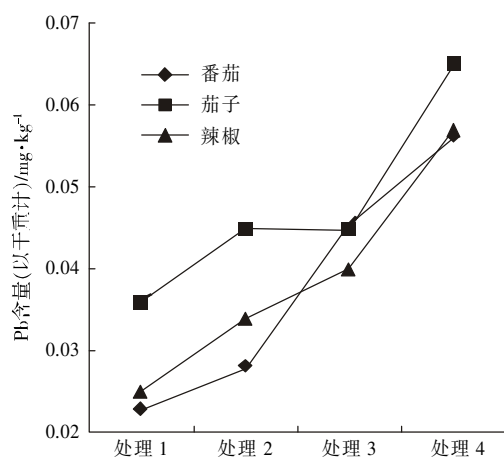


图 2 果实中 Pb 的含量

Figure 2 Contents of Pb in fructification

类中的不同蔬菜类型对重金属 Pb 的吸收富集规律是不一样的。但是从 3 种蔬菜对 Pb 的富集规律看,根是主要的富集部位,其中 Pb 的含量远远大于叶和茎中的含量,相差倍数在 1.6~49.7 之间。

从图 2 可以看出,番茄、茄子、辣椒 3 种茄果类蔬菜的果实中 Pb 的含量远远小于茎和叶中的含量。随着土壤 Pb 处理浓度的增加,果实中的 Pb 含量也相应增加。但所有处理所产出的果实中 Pb 的含量都没有超过《GB 2762—2005 食品中污染物限量》所规定的蔬菜中 Pb 含量限值,甚至在土壤 Pb 含量超过《NY 5010—2002 无公害食品 蔬菜产地环境条件》规定的土壤 Pb 限量 3.0 倍的处理 4 中,其生产出来的果实都是符合《NY 5005—2001 无公害食品茄果类蔬菜》规定的 Pb 的限量标准要求。相关分析得出番茄、茄子、辣椒果实中 Pb 含量与土壤 Pb 含量的相关系数 r 分别为:0.974、0.960、0.991,达到了显著水平,其中辣椒的相关性达到极显著水平。这与柳琪等的报道结果正好相反^[5],他们通过对蔬菜基地土壤以及蔬菜中重金属含量的分析研究认为,重金属元素在土壤中的含量与蔬菜产品中的含量之间无相关性。

2.2 Pb 对茄果类生长特性的影响

通过对生长期间的观察,Pb 对茄果类蔬菜的营

养生长阶段的影响视土壤 Pb 浓度变化而异,Pb 浓度较低时(处理 2),植株能正常生长,当浓度较高时(处理 3、4)植株生长严重受抑,某些生长器官畸变,如:叶梗变短,叶片变小、趋圆形,叶片不平,似球形凸起,或下凹呈碗状。植株瘦长直立,基部老叶正常,这与秧苗移栽有关,秧苗用营养钵育苗,苗期未接触重金属 Pb,故老叶未显 Pb 中毒症状,当长出新根接触重金属 Pb 后,将 Pb 吸收并将其输送到新长出的嫩芽、新叶部分,影响新叶生长发育,使其显示不正常的中毒症状。老叶未显示中毒症状有两种可能:一是老叶叶形已定,即使吸收累积重金属 Pb,也不易显示出明显的中毒症状;二是吸收的重金属 Pb 大部分输送到植物幼嫩部分并较少回流到老叶中去。

Pb 对辣椒的影响表现为:中毒重者叶片细窄、变短,叶尖下卷钩起,叶色淡绿带浅紫褐色;叶脉变粗呈波形,叶脉两边叶肉毛状凸起,脉色淡绿,部分叶片主脉分叉,形成几个叶尖;果柄变粗,果实变短,有的缩在花托中呈棒槌形。中毒症状较轻的,叶片变小、变短,叶脉波形弓起,叶色浅紫绿色。

Pb 对番茄的影响表现为:叶片细小、萎缩,扭曲畸形,呈凋萎状;叶色灰绿,老叶早枯;叶片主脉变粗分叉,形成多个叶尖,叶脉表面丛生白色短绒毛;萼片增厚粘连不分裂,只有 1~3 片(正常为 6 片)紧包果实顶端,果子偏小,部分果子呈长卵形,并在果脐处长出瘤状物。

不过这些症状在环境气温降低时会有所缓解,具体原因还有待进一步研究。

根据记载数据经统计分析结果见表 1。

从表 1 可以看出,3 种茄果类蔬菜的对照处理在叶片、株高、果实、果柄等器官的生长特性方面都与 Pb 处理之间存在显著性的差异,在不同的处理之间,茄子的叶宽、叶长指标以及番茄的株高指标差异显著。

通过对不同处理浓度的蔬菜生物量以及产量的测定,结果见图 3、图 4。

表 1 不同处理之间茄果类蔬菜的生长特性指标差异(cm)

Table 1 Diversity of growth characteristics of solanaceous vegetables in different treatments (cm)

处理	茄子			辣椒				番茄	
	叶柄长	叶宽	叶长	株高	果柄周径	果实长度	叶宽	叶长	株高
处理 1	11.47a*	18.23a	23.19a	67.5a	1.3a	9.48a	4.85a	10.6a	77.0ab
处理 2	—	—	—	—	—	—	—	—	71.7bc
处理 3	4.34b	5.61c	7.04b	44.5b	1.7b	3.05b	0.73b	5.73b	82.3a
处理 4	5.52b	7.0b	8.48b	—	—	—	—	—	65.0c

注:表中的小写英文字母是通过 LSD_{0.05} 检验法得出的不同处理间生长特性的多重比较结果,表中的"—"表示数据不全,无法进行比较。

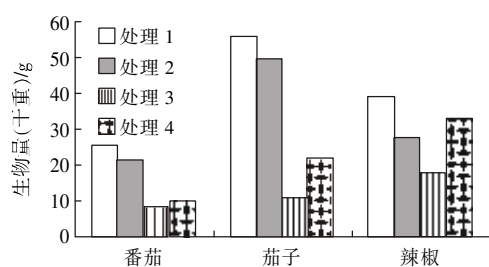


图 3 不同处理的蔬菜生物量

Figure 3 Vegetable biomass under of different treatments

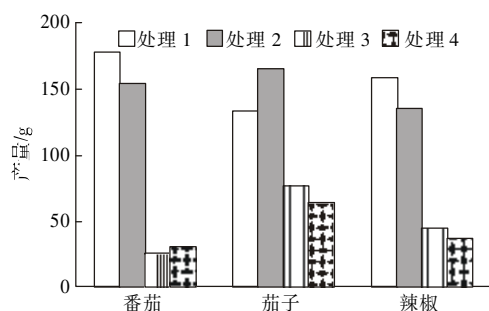


图 4 不同处理的蔬菜产量

Figure 4 Yield of vegetables in different treatments

从图 3 可以看出,3 种茄果类蔬菜的生物量都比对照处理有所降低,说明 Pb 的污染会影响茄果类蔬菜的生物量,但是随着 Pb 处理浓度的增加,生物量降低的趋势并不明显。甚至在高浓度处理时,生物量反而比低浓度处理会有所增加。

从图 4 可以看出,3 种蔬菜的产量受 Pb 污染的影响明显,产量明显下降,其中以番茄和辣椒产量下降最明显。从图中还可以看出,低浓度的 Pb 处理会刺激茄子的生殖生长,产量比对照有所增加。

2.3 Pb 对茄果类蔬菜细胞组织超微结构的影响

通过扫描电子显微镜对正常和畸形的叶片、萼片细胞组织的超微结构中叶绿体、线粒体、细胞膜的观察,结果见图 5、图 6、图 7。

从图 5 可以看出,正常番茄叶片细胞组织的细胞质丰富,质膜与细胞壁紧贴,叶绿体膜完整,片层丰富而清晰,平行排列,线粒体形态正常,细胞壁颜色正常均一。而在畸形叶片细胞组织的细胞质出现浓缩现象,叶绿体变化显著,片层结构松散,叶绿体膜断裂或消失;多个线粒体肿胀,内嵴减少或消失。细胞壁着色明显加深。

图 6 茄子叶片观察结果与番茄叶片的类似,尤其是畸形叶片中的叶绿体变化明显,表现为叶绿体中淀粉粒变小、变少,片层结构模糊,某些线粒体内嵴扭

曲。

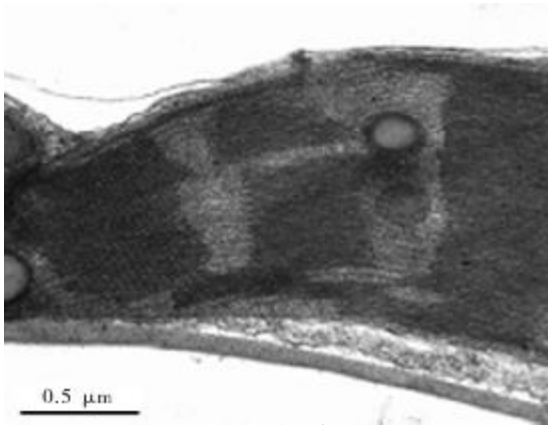
图 7 表明,正常的番茄萼片组织细胞中细胞内质膜与细胞壁基本紧贴,叶绿体膜完整,片层排列平行、紧密,线粒体内嵴丰富,有较厚的细胞壁。畸形的番茄萼片组织细胞出现严重的细胞质浓缩现象,叶绿体膜不完整、肿胀,内部片层减少或发生扭曲,还有部分线粒体肿胀,内嵴减少,细胞壁变薄,细胞内部结构破坏较严重。

细胞膜是细胞与环境之间物质交换的界面,各种逆境对细胞的影响首先作用于细胞膜,细胞膜又是选择透性膜,它能调节和控制细胞内外物质的运输和交换。植物细胞透性对逆境反应比较敏感,各种逆境都会导致细胞膜透性的破坏,使大量电解质和非电解质外渗^[16]。有研究表明,Pb 胁迫下青菜叶片细胞膜透性显著增大,叶绿素 a/b 值逐渐降低,游离脯氨酸含量明显增加^[17]。也有研究报道重金属 Cd 对烟草、茶叶和黑藻的细胞膜结构的破坏,使得细胞核变形,核仁解体,线粒体嵴消失而使线粒体空泡化。随着细胞受害程度的加深,核糖体消失,叶绿体和线粒体解体^[18-20]。从对图 5~7 的分析可以看出,Pb 污染对茄果类蔬菜的细胞超微结构的影响与这些研究结果有相似之处。表明 Pb 对蔬菜细胞膜的破坏使其透性增加可能是引起超微结构变化的重要原因之一。

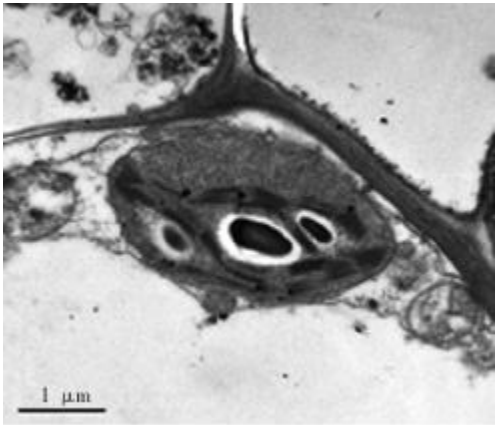
将重金属沉淀到细胞壁是植物耐重金属毒性的一种机制^[21],李勤奋等对重金属污染矿区生长的芒草进行扫描电镜观察后,推测高重金属污染下的细胞壁内沉淀的大量黑色物质,是重度胁迫下诱导产生的次生代谢物堆积的结果^[22]。本研究中也发现番茄叶片的细胞壁中也存在着着色加深的状况,具体的原因还有待进一步研究。

3 结论

通过盆栽试验研究了重金属 Pb 对番茄、茄子、辣椒等 3 种不同的茄果类蔬菜的生长特性、富集规律、组织细胞超微结构变化的影响。结果表明 Pb 主要积累在蔬菜的根部,果实中 Pb 含量受土壤 Pb 含量的影响达到显著性水平。Pb 对茄果类蔬菜生长特性的影响因不同的类型蔬菜有所差异,受影响的指标主要为蔬菜果实的产量,生物量的变化没有显著的规律性。茄子在低浓度土壤 Pb 时产量会增加,具体原因有待研究。同时在研究的过程中,随着气温的降低,蔬菜植株的中毒症状会有所缓解,气温与蔬菜吸收重金属之间的相互关系还需要进一步研究。



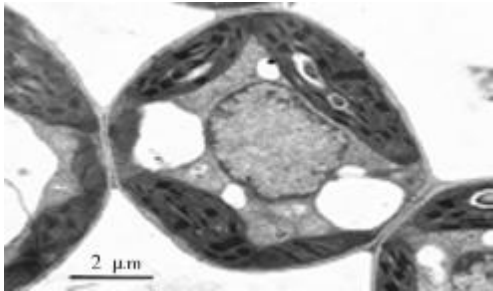
处理 1 的番茄正常叶片
(放大倍数:6 万)



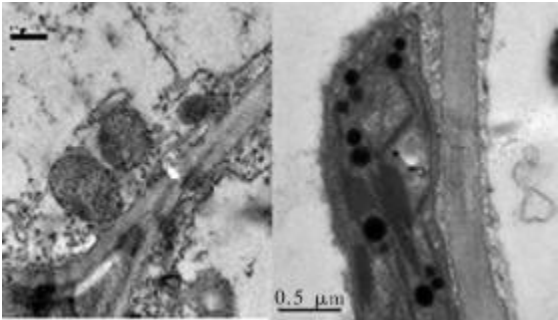
处理 4 的番茄畸形叶片
(放大倍数:2.5 万)

图 5 番茄的正常叶片与畸形叶片的电镜观察结果

Figure 5 Results byof scanning electron microscope of tomato leaf and sepal



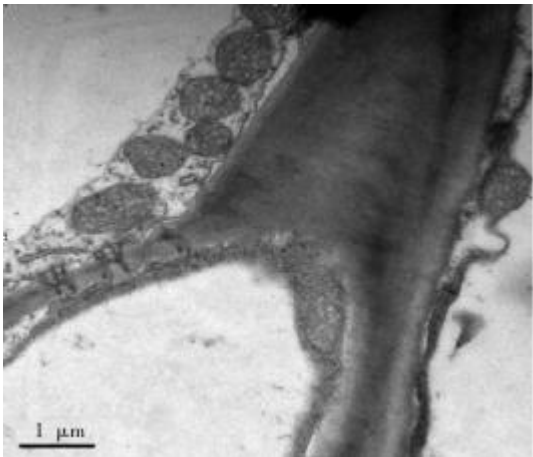
处理 1 的茄子正常叶片
(放大倍数:1.2 万)



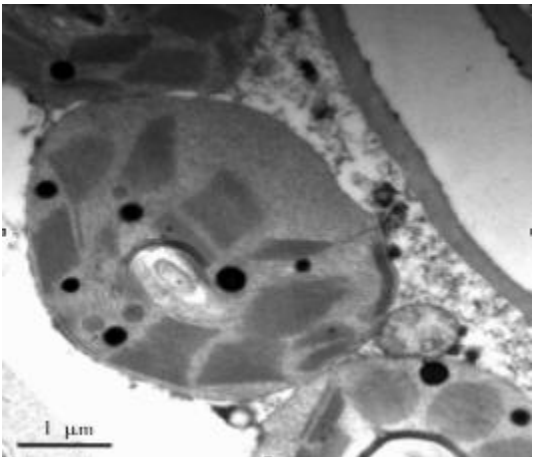
处理 4 的茄子畸形叶片
(放大倍数:(左:4 万;右:6 万))

图 6 茄子的正常叶片与畸形叶片的电镜观察结果

Figure 6 Results byof scanning electron microscope of eggplant leaf and sepal



处理 1 的番茄正常萼片
(放大倍数:2 万)



处理 4 的番茄的畸形萼片
(放大倍数:2.5 万)

图 7 番茄的正常萼片与畸形萼片的电镜观察结果

Figure 7 Results byof scanning electron microscope of pepper leaf and sepal

对畸形叶片和萼片的电镜观察结果表明,虽然 3 种茄果类蔬菜果实中的 Pb 含量没有超过国家允许的食品卫生限量标准,但是叶片和萼片组织细胞中的超微结构已经发生了显著的改变,这可能与 Pb 污染引起植物细胞膜的透性改变有关。

参考文献:

- [1] 张 民,龚子同.我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J]. 土壤学报,1996,33(1):85-93.
- [2] 安 琼,靳 伟,李 勇,等. 酞酸酯类增塑剂对土壤-作物系统的影响[J]. 土壤学报,1999,36(1):118-126.
- [3] 董元华,张桃林. 基于农产品质量安全的土壤资源管理与可持续利用[J]. 土壤,2003,35(3):192-196.
- [4] Zhang Mingkui, Wang Meiqing, Liu Xingmei, et al. Characterization of soil quality under vegetable production along an urban-rural gradient [J]. *Pedosphere*, 2003,13(2):173-180.
- [5] Zhou Dongmei, Chen Huaiman, Hao Xiuzhen, et al. Fractionation of Heavy metals in soils as affected by soil types and metal load quantity [J]. *Pedosphere*, 2002, 12(4): 309-32.
- [6] 王学锋,杨艳琴. 重金属镉锌铜在蔬菜体内的形态分布研究[J]. 环境科学与技术,2005,28(1):34-35,60.
- [7] 陈 宏,陈玉成,杨学春. 化学添加剂对重金属在植物体内分配的影响研究[J]. 农业环境科学学报,2004,23(2):288-291.
- [8] 赵 勇,李红娟,孙治强. 土壤、蔬菜 Cd 污染相关性分析与土壤污染阈值研究[J]. 农业工程学报,2006,22(7):149-153.
- [9] 徐应明,林大松,吕建波,等. 化学调控作用对 Cd Pb Cu 复合污染菜地土壤中重金属形态和植物有效性的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(2):326-330.
- [10] 陈 宏,陈玉成,杨学春. 土壤中铅的植物可利用性化学调控研究[J]. 生态环境,2004,13(1):9-10.
- [11] 宋玉芳,龚 平. 土壤重金属污染对蔬菜生长的抑制作用及其生态毒性[J]. 农业环境科学学报,2003,22(1):13-15.
- [12] 陈玉成,赵中金. 重庆市土壤-蔬菜系统中重金属的分布特征及其化学调控研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(1):44-47.
- [13] 金 燕,李艳霞. 污泥及其复合肥对蔬菜产量及重金属积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(3):288-291.
- [14] 陈 宏,杨学春. 污染区土壤汞对蔬菜生产影响的调控研究[J]. 西南农业大学学报,2002,24(4):372-374.
- [15] 柳 琪,滕 葳,孙运达,等. 山东部分蔬菜产区土壤与蔬菜重金属含量的分析[J]. 农业质量标准,2006,4:20~21.
- [16] 利容千,王建波. 植物逆境细胞及生理学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002.
- [17] 任安芝,高玉葆,刘 爽. 铬、镉、铅胁迫对青菜叶片几种生理生化指标的影响[J]. 应用与环境生物学报,2000,6(2):112-116.
- [18] 苏金为,王湘平. 镉诱导的茶苗茎尖核酸代谢与细胞超微结构变化研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(2):87-90.
- [19] 李荣春. Cd、Pb 及其复合污染对烤烟叶片生理生化及细胞亚显微结构的影响[J]. 植物生态学报,2000,24:238-242.
- [20] 施国新,杜开和,解凯彬,等. 汞、镉污染对黑藻叶细胞伤害的超微结构研究[J]. 植物学报,2000,42:373-378.
- [21] 段昌群,王焕校. 金属对蚕豆的细胞遗传学毒理作用和对蚕豆根尖微核技术的探讨[J]. 植物学报,1995,37(1):14-24.
- [22] 李勤奋,彭少麟,徐信兰,等. 矿区不同重金属污染梯度下芒草叶绿体及其它超微结构的变化 [J]. 中山大学学报(自然科学版),2006,45(6):79-80.