

土壤Cd污染对甘蓝光学显微成像特征的影响

牟永明^{1,2}, 陈 明^{1,2}, 冯 流¹, 郭 行^{1,2}, 曹晓娟²

MU Yong-ming^{1,2}, CHEN Ming^{1,2}, FENG Liu¹, GUO Hang^{1,2}, CAO Xiao-juan²

1. 北京化工大学环境工程系, 北京 100029;

2. 国家地质实验测试中心, 北京 100037

1. *Department of Environmental Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;*

2. *National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China*

摘要:在不同浓度CdNO₃的土壤栽培甘蓝,应用光学相干层析成像系统(OCT)对甘蓝不同生长时期的叶片进行检测。结果显示:土壤中Cd含量较低时OCT值有降低的趋势,表明Cd对甘蓝植物的种子萌发与生长有一定的促进作用;而Cd浓度高于100mg/kg时,OCT值持续升高,表明Cd对甘蓝植物的种子萌发与生长均起到强烈的抑制作用,并且后期的累积作用对甘蓝叶片组织造成一定的损害。

关键词:光学相干层析系统(OCT);镉(Cd);甘蓝

中图分类号:S151.9*3;X53

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2007)11-1503-06

Mu Y M, Chen M, Feng L, Guo H, Cao X J. Effects of Cd pollution in soils on the characteristics of optical microscopic imaging of cabbage. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(11):1503-1508

Abstract: Cabbage was cultivated in soils with different concentrations of cadmium nitrate. The leaves of the cabbage in different growth periods were tested by optical coherence tomography (OCT). The results show that: when the Cd concentration in soils is low the OCT values tend to decrease, indicating that Cd can promote the sprouting and growth of seeds of cabbage to some extent; by contrast, when the Cd concentration is higher than 100 mg/kg, the OCT values rise steadily, indicating that Cd exerts a strong inhibiting effect on the sprouting and growth of seeds of cabbage, and in the late stage Cd causes certain damage to the tissue of cabbage leaves because of its accumulation.

Key words: optical coherence tomography (OCT); cadmium (Cd); cabbage

在重金属元素污染物中,镉(Cd)因为有着较高的生物毒性和蓄积性而日益受到关注。农业生产中施用含Cd的化肥、灌溉含Cd的污水及大气中漂浮的Cd在农作物中、土壤表面发生沉积,导致农作物Cd毒害的现象时有发生^[1]。受Cd毒害的植物不能正常生长,并且生物量呈下降趋势^[2]。当Cd毒害达到一定程度时,植物就会表现出生长迟缓、植株矮小、褪绿等中毒症状,严重影响农作物的产量^[3]。更为严重的

是,Cd在农作物中的大量积累会通过食物链危害人类的健康。朱凤鸣等^[4]的研究结果表明,Cd在人体内的半衰期长达7~30年,可蓄积50年之久,能对多种器官和组织造成损害,并具有致癌性。日本的骨痛病就是当地居民食用了含Cd的稻米所致^[5]。

在本实验中,为了深入研究重金属元素Cd对蔬菜生长及其生理变化的影响,选取重金属元素污染程度比较低的农田土,投加不同浓度的CdNO₃溶

收稿日期:2007-05-09;修订日期:2007-10-19

科技项目:国家地质实验测试中心、中国地质大学国际合作重点项目《大型城市水土环境污染机理与综合修复技术研究》(编号:2005DFA91140)资助。

作者简介:牟永明(1981-),男,在读硕士,从事重金属元素对土壤与蔬菜的危害性研究。E-mail:muyongming@163.com

液,在大棚中盆栽结球甘蓝,并运用光学相干层析成像系统(Optical Coherence Tomography,OCT)对所种植物各时期的叶片进行扫描,进而分析Cd对甘蓝植物生长及组织结构的影响。

1 材料和方法

1.1 材料和分析仪器

实验选取天津市东丽区受Cd污染程度较低的农田土壤。甘蓝种子为中国农业科学院蔬菜花卉研究所的中甘十一号,于2006年9月开始在北京海淀区永丰实验基地大棚中进行盆栽试验。

分析仪器采用光学相干层析成像系统(OCT显微成像分析仪)。光学相干层析技术(OCT)是一种可对生物组织进行非侵入检测的新型光学诊断成像技术。OCT系统的基本结构如图1所示。系统采用SLD宽带光源,其中心波长为1310 nm,结合了空间门、相干门及其他形式的门技术。通过扫描迈克尔逊光纤干涉仪参考臂的光程延迟作为信号提取的相干门,测量光子的返回时间和后向散射强度,利用宽带光源的短程相干特性对生物组织内部的结构断层成像^[6-7]。

OCT仪可以定量地对生物组织的厚度和组织内部对光的散射、吸收性能进行测量,OCT值越高,说明生物组织对光的吸收和散射能力越弱,值越低说明生物组织对光的吸收和散射能力越强。鉴于现在OCT仪器大多用于人眼视网膜细微结构和冠状动脉壁结构的成像等医学领域和生物组织光学特性参数的测量^[8-9],而很少用于植物重金属元素污染检测的相关领域,所以本文采用受Cd离子污染的甘蓝作为实验样本,在此领域进行初步地探索研究。

1.2 试验方法

将土壤试样风干,轻轻砸散,过20目筛子。分别取1 kg土壤与不同浓度的CdNO₃溶液进行混样,制成CdNO₃浓度为0 mg/kg、1 mg/kg、5 mg/kg、25 mg/kg、100 mg/kg、150 mg/kg、200 mg/kg和250 mg/kg的样品各3份,按照Cd浓度从低到高对样品进行0~7的样品编号。样品混匀后装入盆中熟化2周,使Cd与土壤进行充分的物理化学反应。

在处理好的土壤中,每盆种入20颗甘蓝种子。待发芽出苗后,测定种子的出芽率,在叶片长到1 cm大小后每隔3日取各盆叶片,运用OCT显微成像分析

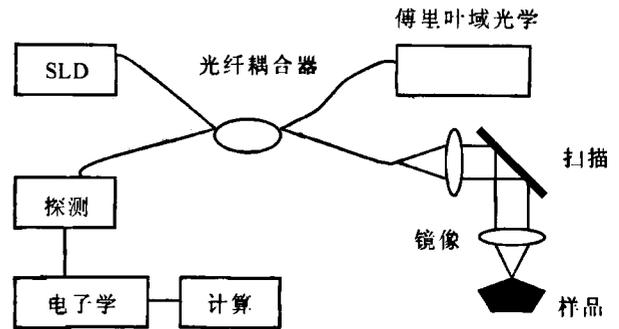


图1 OCT系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the OCT system

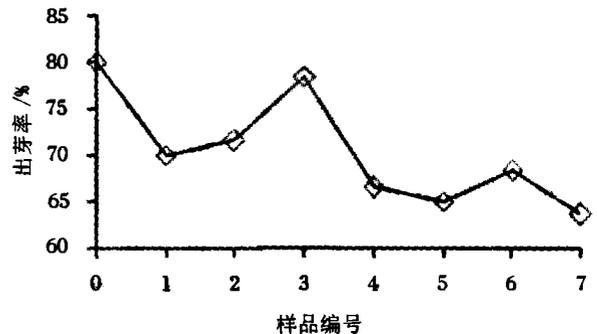


图2 不同Cd浓度样品的出芽率

Fig. 2 Budding rates of samples with different Cd concentrations

仪进行检测。检测时将甘蓝叶片摘下,压平置于OCT检测平板上,使检测光线沿着叶片茎的平行线方向扫描叶片(但不能将光线扫描到茎上)。OCT仪在同一位置(扫描线段长度为4 mm)上连续扫描5次,最终显示出5次的平均值图像。

2 结果与分析

2.1 Cd对甘蓝生长的表现影响

甘蓝种子发芽后,测得不同Cd浓度样品的出芽数并求出平均值,计算出芽率如图2所示。从出芽率可以看出,低浓度的Cd对甘蓝种子萌发的影响比较小。Cd浓度为25 mg/kg的样品出芽率比其余Cd浓度样品的出芽率稍高,表明一定浓度的Cd对植物萌发有促进作用;高浓度Cd的土壤相对于低浓度Cd的土壤对种子萌发的抑制作用逐渐增强,这与张琼等^[10]的研究结果相一致。其中发芽率并未按Cd浓度增加而依次降低,原因可能为甘蓝种子的质量差异所致,

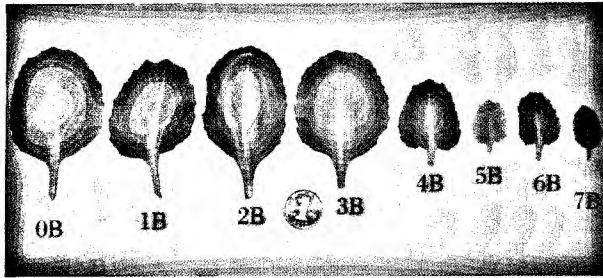


图3 不同Cd浓度的样品某一时期的生长情况
Fig. 3 Growth of samples with different concentrations of Cd in a particular period of time

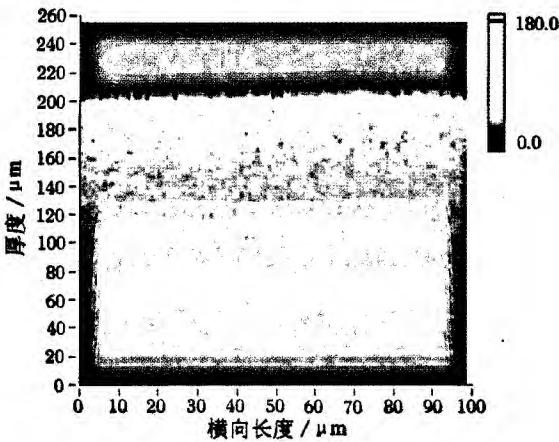


图4 OCT仪扫描的甘蓝叶片图像
Fig. 4 OCT image of cabbage leaves

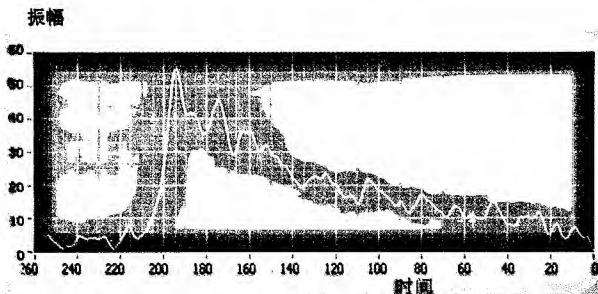


图5 OCT仪扫描的甘蓝叶片图像反射率波形图
Fig. 5 OCT chart of reflectivity of cabbage leaves

具体原因有待于进一步研究。

在甘蓝生长1个月后明显发现,在相同的条件下(同样湿度、温度、本底土壤),Cd浓度在100 mg/kg以上时,甘蓝生长初期明显受到抑制,样品4~7的叶片比样品0~3的叶片小许多,而且生长缓慢,如图3所

示。从出芽后到栽培结束期间,样品5~7的叶片一直没有长得很大,从第40多天开始,样品4~7的叶片就开始发黄,最后大面积死亡。从这些现象可以看出,Cd浓度过高时,甘蓝的生长受到较强的阻碍,重金属元素Cd可能抑制植物叶绿素的产生,从而影响甘蓝的光合作用,促使高浓度Cd的土壤中植物过早地死亡。

在45~90天的生长期,样品1~3(Cd浓度分别为:1 mg/kg、5 mg/kg、25 mg/kg)的叶片是最大的,生长状况较好,并且大于样品0(未添加Cd)的叶片。因此,土壤中Cd的浓度在25 mg/kg以下时对植物生长会产生促进作用,这与前人的研究结果一致。

2.2 Cd对甘蓝OCT值的影响及分析

运用OCT显微成像分析仪对不同日期摘取的植物叶片进行扫描分析。由于甘蓝叶片比较厚,将使用OCT仪测得的数据与底板数据对比后发现,光线不能完全穿透甘蓝叶片,直观目测图像并结合反射率波形图可将甘蓝叶片图像分为4层,如图4、图5所示。第一层为表层光亮薄层,对应第一波峰,第二层为表层下较亮带,对应第二、三波峰,第三层则为第二层下的略暗层,对应第四、五波峰,第四层为最下部的最暗层,对应第六波峰以下的波段。

2.2.1 不同生长期植物组织结构的光谱响应规律

图6至图8为样品1(1 mg/kg)、4(100 mg/kg)、7(250 mg/kg)OCT仪第一层数据图,横坐标为摘取样品的日期顺序,纵坐标为OCT显微成像分析仪响应值(由于后期高浓度Cd样品5(150 mg/kg)~7(250 mg/kg)植物已枯萎,无法测得数据,故样品5~7最后2次的数据未测)。

由图6、图7、图8可知样品的OCT仪响应值无较大差异,并且随着天数的增加数值逐渐升高。低浓度Cd样品的数据在后期有下降的趋势,而高浓度Cd样品的数据的增长趋势基本为升高。

样品1(1 mg/kg)、3(25 mg/kg)、4(100 mg/kg)、7(250 mg/kg)的OCT仪第二层数据如图9至图12所示。

在图9、图10中样品的数值随着日期的增多呈一定下降的趋势,图11中数值基本持平,变化幅度较小,图12中数据呈现出上升的趋势。

第三、四层OCT仪数据图与第一层OCT数据图较为相近,均表现为OCT值随着植物生长时间的增加而逐渐升高,而在实验后期由于叶片变黄,呈现出与第一层数据在后期降低相同的变化趋势。

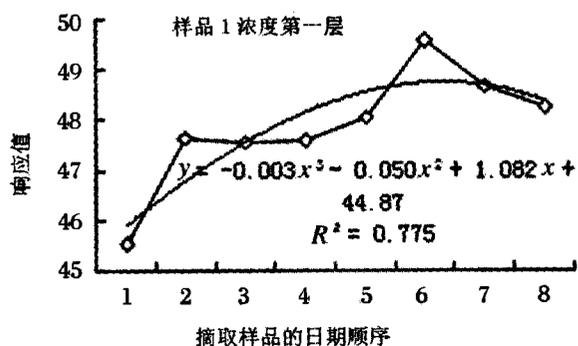


图6 样品1的OCT仪第一层数据图
Fig. 6 OCT chart of the 1st stratum in sample 1

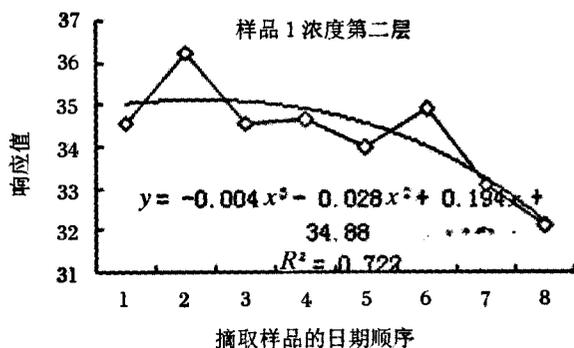


图9 样品1的OCT仪第二层数据图
Fig. 9 OCT chart of the 2nd stratum in sample 1

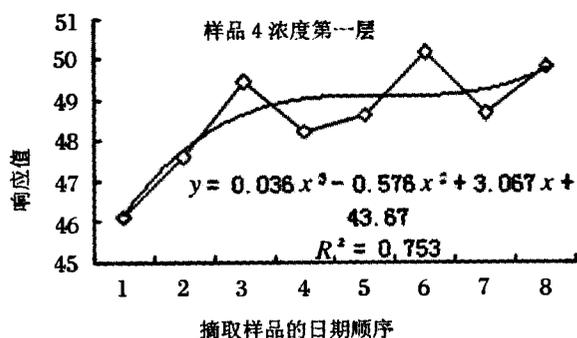


图7 样品4的OCT仪第一层数据图
Fig. 7 OCT chart of the 1st stratum in sample 4

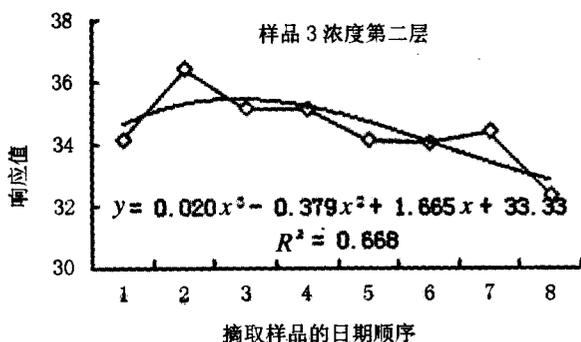


图10 样品3的OCT仪第二层数据图
Fig. 10 OCT chart of the 2nd stratum in sample 3

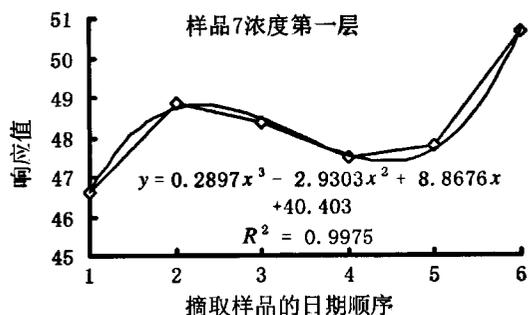


图8 样品7的OCT仪第一层数据图
Fig. 8 OCT chart of the 1st stratum in sample 7

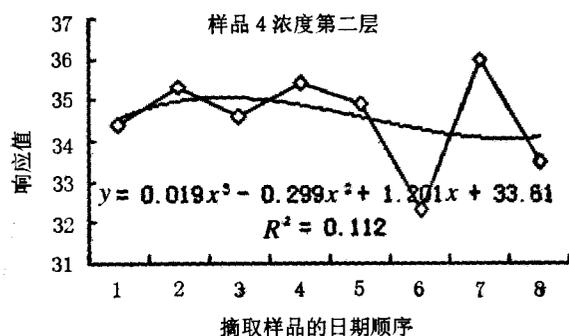


图11 样品4的OCT仪第二层数据图
Fig. 11 OCT chart of the 2nd stratum in sample 4

2.2.2 同一生长期不同Cd浓度条件下植物组织结构的光谱响应规律

图13至图16为同一取样日内不同Cd浓度样品的OCT仪所得的数据，所列各图为不同层的数据图，横纵坐标分别表示Cd浓度与OCT仪的响应值。由图可以看出，在低Cd浓度条件下，数据反映为先

升高后降低，呈现出一波峰与波谷，之后在高Cd浓度的条件下表现为逐渐升高，但在低Cd浓度条件下的OCT值低于Cd浓度为0的对照样本。

2.2.3 讨论

Cd离子可作用于甘蓝细胞及亚细胞上，使得细胞发生生长减慢和叶绿体、线粒体等细胞器受

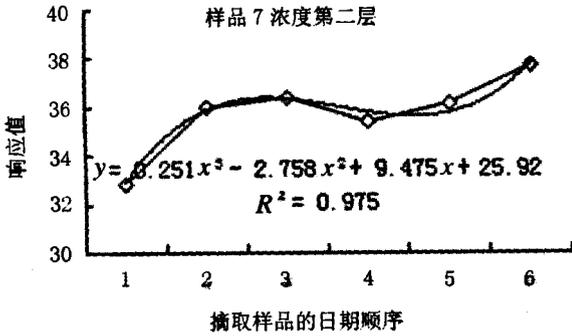


图12 样品7的OCT仪第二层数据图

Fig. 12 OCT chart of the 2nd stratum in sample 7

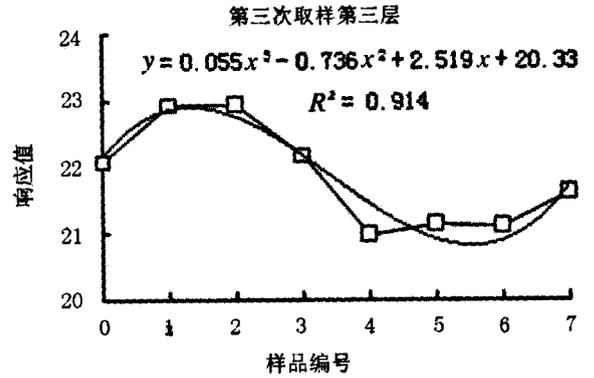


图15 不同Cd浓度样品的OCT仪第三层数据图

Fig. 15 OCT chart of the 3rd stratum in samples with different Cd concentrations

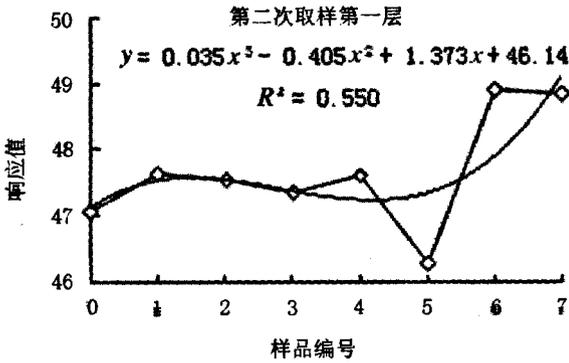


图13 不同Cd浓度样品的OCT仪第一层数据图

Fig. 13 OCT chart of the 1st stratum in samples with different Cd concentrations

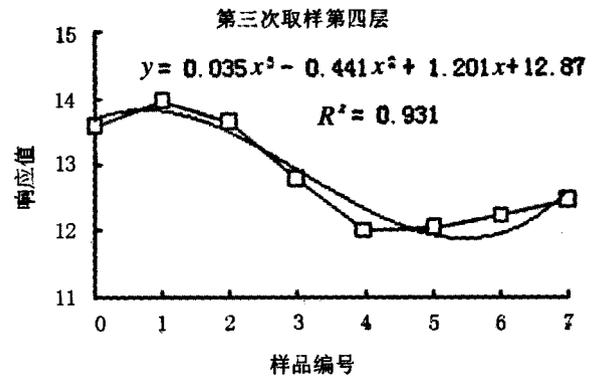


图16 不同Cd浓度样品的OCT仪第四层数据图

Fig. 16 OCT chart of the 4th stratum in samples with different Cd concentrations

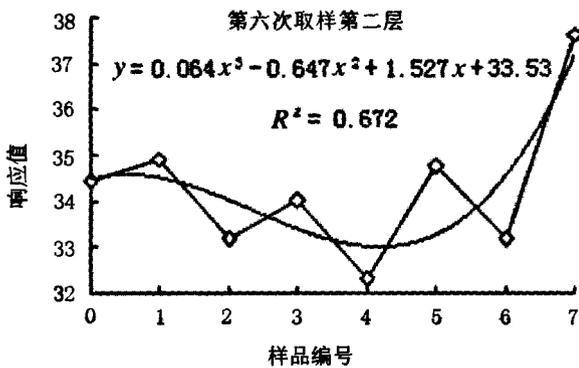


图14 不同Cd浓度样品的OCT仪第二层数据图

Fig. 14 OCT chart of the 2nd in samples with different Cd concentrations

损等变化,损害细胞膜系统,生物组织的光学透性增大。而当植物细胞受损时,植物会产生生长缓慢、植株萎黄等现象,植物内部水分亏缺,对光的

吸收性能降低^[11]。

由图6至图8可知,OCT响应值随着日期的增加而升高,表明甘蓝组织对光的吸收减弱,光透性增强,随着时间的增加Cd离子对植物表层产生累积影响,使得植物内部水分亏缺,损害细胞系统导致光透性增强。低Cd浓度样品在最后2次所测的结果有下降的趋势,可能是最后2次摘取的叶片已枯黄,对结果也有一定的影响。

在低Cd浓度(图9、图10)的情况下,OCT响应值随着日期的增加呈下降的趋势,说明在Cd浓度低于25 mg/kg时,Cd对甘蓝植物的生长起促进作用,植物生长速度加快,内部水分增多,细胞结构良好。图11显示100 mg/kg浓度的Cd离子的OCT响应值在不同时间基本持平,说明这一Cd浓度值接近于重金

属元素Cd对植物起促进和抑制作用的临界浓度,对植物内部的各种影响基本持平。在高Cd浓度(图12)的条件下,随着日期的增加响应值逐渐升高,表明此浓度的Cd离子对植物有一定的抑制和毒害作用,而数据在生长过程中有一些波动,是植物生长期不同对重金属元素的吸收程度也不同导致的。

从图13至图16的数据中可以看出,Cd浓度小于100 mg/kg时,OCT响应值略低于Cd浓度为0时的响应值,而随着Cd浓度的增加OCT响应值有所下降,Cd浓度大于100 mg/kg时OCT响应值逐渐增加,这又充分说明了一定低浓度的Cd对甘蓝植物的生长有促进作用,高浓度的Cd对甘蓝植物的生长起到抑制和毒害作用,这与前面按同一Cd浓度不同日期的数据图讨论的结果相一致。

3 结 论

植物在Cd含量较低的土壤中生长时,其OCT对应值有先升高后降低的趋势,而达到某一高Cd浓度后OCT值会持续升高直到叶片枯黄。综合分析观察结果可知,低浓度的Cd对植物的种子萌发与生长会起到一定的促进作用,而高浓度的Cd对植物的种子萌发与生长均起到强烈的抑制和毒害作用。故在受Cd污染的土壤中不应种植此类蔬菜植物,应对土壤

加以修复治理后再进行种植。

参考文献:

- [1]蔡得松,曹林奎.镉对小麦生长发育的影响及其基因型间差异[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(1):22-27.
- [2]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(106):37-39.
- [3]Obata H,Umebayashi M.Effect of cadmium on mineral nutrient concentration in plant differing in tolerance for cadmium[J]. Journal Plant Nutri,1997,20:97-105.
- [4]朱凤鸣,邹学贤,刘芳.昆明西郊镉污染对人体健康的影响[J].中国卫生检验杂志,2002,(5):91-92.
- [5]毛根年,许牡丹,黄建文.环境中有毒物质与分析检测[M].北京:化学工业出版社,2004:150-160.
- [6]邵永红,何永红,马辉,等.鼠眼睛前段光学相干层析成像[J].激光与红外,2006,8(36):694-695.
- [7]赵志华,赵宏,朱永凯.光学相干层析成像(OCT)系统调制技术的研究[J].工具技术,2005,(39):55-58.
- [8]Huang D, Swanson E A, Linet C P, et al. Optical coherence tomograph[J]. Science, 1991,254:1178-1181.
- [9]Schmitt J M, Knuttel A, Bonner R F. Measurement of optical properties of biological tissues by low-coherence reflectometry [J]. Appl. Opt., 1993,32(30):6032-6041.
- [10]张琼.镉对几种常见蔬菜种子萌发影响的研究[J].农业环境科学学报,2006,25(增刊):480-486.
- [11]丁宝莲,谈宏鹤,朱素琴.胁迫与植物细胞壁关系研究进展[J].广西科学院学报,2001,17(2):87-90.