

何任红,马爱军,王良梅. 镉与毒死蜱复合污染对白菜生长及叶绿素、类胡萝卜素含量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):330-332.

镉与毒死蜱复合污染对白菜生长及叶绿素、类胡萝卜素含量的影响

何任红¹, 马爱军¹, 王良梅²

(1. 江苏农林职业技术学院/江苏省循环农业工程技术研究开发中心, 江苏句容 212400;

2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏南京 210037)

摘要:采用温室盆栽试验研究了 Cd 与毒死蜱单一及复合污染条件下对白菜生长及叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素(a+b)含量、叶绿素 a/叶绿素 b、类胡萝卜素含量的影响。结果表明,添加 Cd 或毒死蜱后白菜生物量总体呈下降趋势,且两者共存时白菜生物量下降都比单一存在时大,尤其是 Cd2Y 处理,与对照相比生物量下降 32.05%;添加 Cd 和毒死蜱促进了白菜叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量的增加,尤其是 Cd2Y 处理的作用效果最明显,分别比对照增加 45.78%、48.25%、31.48%。统计分析结果表明,Cd 与毒死蜱对白菜叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)、类胡萝卜素含量的影响存在显著的交互作用。

关键词:盆栽试验;Cd 与毒死蜱复合污染;白菜;叶绿素;类胡萝卜素

中图分类号: X53;S634.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)08-0330-03

由于工农业的迅速发展,土壤受重金属和农药复合污染的程度日益加重,粮食和蔬菜的品质安全受到严重威胁。近年来针对重金属和农药等多种污染物所形成的复合污染效应及其机理研究已成为土壤环境学科的研究热点之一。Cd 是毒性最强的重金属元素之一,在自然界普遍存在。Cd 不是植物必需的元素,过量的 Cd 会影响植物生长,危害植物正常的生长代谢,并可在植物体内积累^[1-2],再通过食物链进入人体,严重危害人体健康。有研究表明,Cd 对叶片光合色素含量和光合作用存在不同程度的影响。一般情况下,光合色素含量和光合强度随 Cd 浓度升高而下降。Cd 污染后的番茄的叶绿素含量均随 Cd 浓度升高而减少,叶绿素 a/叶绿素 b 值随浓度升高而增大,表明 Cd 对番茄叶绿素 b 的影响比叶绿素 a 大^[3]。毒死蜱是甲胺磷和甲基对硫磷等高效农药的新型高效、低毒替代品种,作为一种广谱型有机磷酸酯类杀虫剂,被广泛用于农业和城市卫生害虫的防治^[4]。目前,关于农药对植物叶绿素影响的研究较为广泛^[5-6],涉及的农药有井冈

霉素粉剂、三唑磷乳油、氧乐果、乙酰甲胺磷、吡虫啉等,而关于毒死蜱对植物叶片叶绿素含量的影响研究并不多见。因此,本研究在以往研究的基础上通过温室盆栽试验研究了重金属 Cd 与毒死蜱对白菜生长和叶绿素、类胡萝卜素含量的影响,以期对蔬菜地土壤健康质量的保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为黄棕壤,采自江苏农林职业技术学院试验农场,样品采回后风干,大部分磨细过 3 mm 尼龙筛,供盆栽试验用,小部分过 20 目筛和 100 目筛供各种化学分析用。供试白菜品种为白梗,江苏省溧阳市蔬菜种子子公司生产。供试毒死蜱为 48% 毒死蜱乳油,有效成分含量 480 mg/L,由江苏丘陵地区镇江农业科学研究所农药室提供。原始土壤中镉含量为 0.141 mg/kg,毒死蜱含量为 0。土壤基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤	pH 值	阳离子交换量 (cmol/kg)	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	样品组成(%)		
								沙粒	粉粒	黏粒
黄棕壤	6.3	17.1	9.87	0.68	0.36	120	21	5.64	64.86	29.52

1.2 盆栽试验设计

盆栽试验设 6 个处理,分别为对照(CK,不添加任何物质)、添加 Cd²⁺ 浓度 2 mg/kg(Cd2)、添加 Cd²⁺ 浓度 10 mg/kg(Cd10)、添加毒死蜱浓度 5 mg/kg(CY)、添加 2 mg/kg Cd²⁺ 和 5 mg/kg 毒死蜱(Cd2Y)、添加 10 mg/kg Cd²⁺ 和 5 mg/kg 毒死蜱(Cd10Y),每处理设置 3 个重复,共 18 个盆钵。采用内径 25 cm、高 25 cm 的塑料盆,装土 4 kg。所有处理均按 N:P₂O₅:K₂O=0.2:0.2:0.2 的质量比施入相同的底肥后,按试验设计要求加入相应的 Cd²⁺(以 CdCl₂ 溶液形式加

收稿日期:2013-01-28

基金项目:江苏省“333 工程”(编号:BRA2010161);江苏省“六大人才高峰”项目(编号:2010-NY-014);江苏省农业三新工程[编号: SXGC(2012)385]。

作者简介:何任红(1966—),男,江西南昌人,硕士,研究员,主要从事土壤环境健康与农产品安全研究。E-mail:hrh2619@163.com。

通信作者:王良梅,博士,副教授,主要从事环境污染化学研究。

E-mail: wangyinmei519@163.com。

入),混匀。土壤水分调节至田间持水量的 60% 后,每钵播已催芽的白菜种子 20 颗,苗出齐后在土壤中施入 5 mg/kg 毒死蜱。白菜生长至 2 叶 1 心期,开始采集叶片测定叶绿素、类胡萝卜素含量,同时采集整株样品分析苗期植株 Cd 含量,蔬菜收获期测定生物量和毒死蜱含量。

1.3 分析方法

1.3.1 叶绿素含量的测定 参照沈伟其的方法^[7]。叶片剪碎,取 0.1 g 放入 10 mL 混合提取液(乙醇:丙酮:水 = 4.5:4.5:1,体积比)中,在黑暗条件下浸泡提取至叶碎片完全变白为止。以提取液为对照,取浸提液在 752 型分光光度计上分别测定 $D_{440\text{ nm}}$ 、 $D_{645\text{ nm}}$ 、 $D_{663\text{ nm}}$,并用以下公式计算叶绿素含量和类胡萝卜素含量。

叶绿素 a 含量 (mg/g FW) = $(12.7 \times D_{663\text{ nm}} - 2.69 \times D_{645\text{ nm}}) \times V / (1\,000 \times W)$

叶绿素 b 含量 (mg/g FW) = $(22.9 \times D_{645\text{ nm}} - 4.68 \times D_{663\text{ nm}}) \times V / (1\,000 \times W)$

叶绿素 (a + b) 含量 (mg/g FW) = $(20.21 \times D_{645\text{ nm}} + 8.02 \times D_{663\text{ nm}}) \times V / (1\,000 \times W)$

类胡萝卜素含量 (mg/g FW) = $[4.7 \times D_{440\text{ nm}} - 0.27 \times \text{叶绿素 (a + b) 含量}] \times V / (1\,000 \times W)$

式中:V 为提取液的体积 (mL);W 为叶片的鲜重 (mg)。

1.3.2 植株 Cd 含量测定 称取一定量新鲜植株于消煮管中,加入 5 mL HNO₃ 和 2 mL HClO₄,反应 12 h 后进行消煮(逐步升温至 200 ℃)至澄清,用去离子水将消煮液完全转入 25 mL 容量瓶定容,定量滤纸过滤后用原子吸收分光光度计 (TAS-990,GFH-990)测定 Cd 含量^[8]。

2 结果与分析

2.1 外源添加 Cd 或毒死蜱对白菜生物量和 Cd 含量的影响

外源添加 Cd²⁺或毒死蜱后白菜的生物量及 Cd²⁺含量的测定结果见表 2。从表 2 中可以看出,总体上添加 Cd²⁺或毒死蜱后白菜的生物量都有一定的下降,其中 5 mg/kg 毒死蜱对白菜生长的抑制效果明显大于重金属 Cd²⁺的处理,其中下降幅度最大的是添加 2 mg/kg Cd²⁺和毒死蜱的复合污染处理 Cd2Y,与对照相比,生物量下降了 32.05%,明显比单一 Cd2 处理(下降了 6.24%)和 CY 处理(下降了 21.20%)的下降幅度大。当 Cd²⁺和毒死蜱共存于土壤体系中时,与对照相比,白菜生物量的下降量明显比单一污染时大,说明 Cd²⁺与毒死蜱对白菜生长的抑制存在交互作用,尤其是 Cd2Y 处理生物量下降了 16.75 g,明显大于 Cd2 处理与 CY 处理生物量下降之和(14.34 g),也就是说 Cd2 与 CY 共存体系对白菜生物量存在协同抑制作用。方差分析结果表明, $F = 3.99 > F_{0.05(5,12)} = 3.11$,即 $P < 0.05$,不同处理生物量差异显著;而 $F = 29.303 > F_{0.01(5,12)} = 5.06$,即 $P < 0.01$,不同处理 Cd 浓度差异极显著。多重比较的方差分析结果显示,体系中加入毒死蜱处理的生物量与其他处理之间存在显著差异。

从表 2 还可以看出,收获后白菜中 Cd²⁺浓度随着外源 Cd²⁺量的增加呈线性增加趋势,其中 Cd 单一污染处理和 Cd 与毒死蜱复合污染处理的相关系数分别为 0.995 4、0.985 9。白菜体内 Cd²⁺含量差异显著性分析结果表明,加入 Cd²⁺含量相同的处理之间白菜体内 Cd²⁺含量无明显差异,而加入 Cd²⁺

表 2 不同处理对白菜生物量和体内 Cd²⁺含量的影响

处理	生物量 (g)	Cd 浓度 (mg/kg)
CK	52.27 ± 8.30a	0.60 ± 0.11c
Cd2	49.01 ± 6.86a	2.14 ± 0.33b
Cd10	57.29 ± 3.40a	6.51 ± 1.29a
CY	41.19 ± 7.22ab	0.91 ± 0.16bc
Cd2Y	35.52 ± 14.57b	2.39 ± 0.42b
Cd10Y	36.01 ± 8.23b	6.41 ± 1.52a
F 值	3.99 *	29.303 **

注: $F_{0.05(5,12)} = 3.11$, $F_{0.01(5,12)} = 5.06$,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

含量不同的处理之间白菜体内 Cd²⁺含量差异显著。

2.2 外源添加 Cd²⁺或毒死蜱对白菜叶绿素含量的影响

叶绿素是光合作用的主要色素,影响着光合速率的强弱,是衡量叶片衰老的重要标志,其含量的多少对植物的光合作用有重要影响^[9]。叶绿素 a 与叶绿素 b 之间的比值也是衡量光合作用的一个重要指标^[10-11],不同处理对叶绿素含量的影响结果见表 3。与对照相比,添加 Cd²⁺和毒死蜱后叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 (a + b) 含量总体都呈上升趋势,这可能是因为在重金属和农药的胁迫下,白菜叶绿素增加是作为抵御环境胁迫的一种有效保护机制^[12],植物靠自身叶绿素的增加来保持机体的正常代谢。不同处理对叶绿素的影响次序为 Cd2Y > Cd10 > Cd10Y ≈ CY > CK ≈ Cd2。叶绿素 a/叶绿素 b 表现为添加毒死蜱后呈下降趋势,添加 Cd²⁺后呈上升趋势,说明添加毒死蜱和 Cd²⁺对叶绿素 a、叶绿素 b 增加的速率影响不同,添加毒死蜱叶绿素 a 含量增加比叶绿素 b 含量增加得快,而添加 Cd²⁺处理叶绿素 a 增加比叶绿素 b 含量增加得快。本研究与前人的研究结果^[13-14]相似。

方差分析结果显示,不同处理叶绿素 a、叶绿素 (a + b) 含量差异显著 ($P < 0.05$)。其中 Cd2Y、Cd10 处理与其他处理间差异显著 ($P < 0.05$),尤其是 Cd2Y 处理叶绿素含量显著高于其他处理,叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 (a + b) 含量分别比对照高 45.88%、48.14%、46.42%。为了进一步分析重金属 Cd²⁺和毒死蜱对白菜叶绿素含量是否存在交互作用,对 Cd 与毒死蜱对叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 (a + b) 含量及叶绿素 a/叶绿素 b 交互影响的差异性进行分析,结果见表 4。从表 4 中可以看出,Cd 与毒死蜱对叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 (a + b) 含量的交互效应显著,即两者之间存在交互作用。结合表

表 3 不同处理白菜叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 (a + b) 含量及叶绿素 a/叶绿素 b 值

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素 (a + b) 含量 (mg/g)	叶绿素 a/叶绿素 b
CK	0.85 ± 0.10b	0.27 ± 0.05b	1.12 ± 0.15b	3.22 ± 0.25a
Cd2	0.85 ± 0.14b	0.25 ± 0.05b	1.10 ± 0.19b	3.39 ± 0.18a
Cd10	1.08 ± 0.06a	0.32 ± 0.02a	1.39 ± 0.07a	3.40 ± 0.16a
CY	0.92 ± 0.03b	0.29 ± 0.02b	1.21 ± 0.05b	3.17 ± 0.12a
Cd2Y	1.24 ± 0.27a	0.40 ± 0.10a	1.64 ± 0.37a	3.16 ± 0.17a
Cd10Y	0.91 ± 0.05b	0.29 ± 0.02b	1.20 ± 0.07b	3.10 ± 0.16a
F 值	4.039 *	2.735	3.660 *	1.562

注: $F_{0.05(5,12)} = 3.11$,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

表 4 Cd 与毒死蜱对叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)、类胡萝卜素含量及叶绿素 a/叶绿素 b 交互影响的差异性分析

处理	指标									
	叶绿素 a 含量		叶绿素 b 含量		叶绿素(a+b)含量		叶绿素 a/叶绿素 b		类胡萝卜素含量	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Cd 水平	2.24	0.149	1.123	0.357	1.857	0.198	0.370	0.698	2.273	0.146
毒死蜱水平	2.432	0.145	3.674	0.079	2.841	0.118	5.501	0.037	1.418	0.257
Cd + 毒死蜱	6.641	0.011	3.879	0.050	5.873	0.017	0.784	0.479	5.278	0.023

3 结果表明,Cd2Y 均值最大,作用效果最好,叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)含量分别为 1.24、0.40、1.64 mg/g。

2.3 外源添加 Cd²⁺ 或毒死蜱对白菜类胡萝卜素含量的影响

叶绿体内除含有叶绿素外也含有类胡萝卜素,类胡萝卜素能将吸收的光能传递给叶绿素 a,是光合作用不可少的光合色素。图 1 列出了外源添加 Cd²⁺ 和毒死蜱后白菜叶片中类胡萝卜素含量的变化情况。由图 1 可以看出,类胡萝卜素含量变化规律总体与叶绿素 a 的变化规律(表 3)相似,两者的相关系数 *r* 为 0.988 0(*n* = 18, *r*_{0.01} = 0.575),说明类胡萝卜素与叶绿素 a 之间呈极显著正相关关系。不同处理的白菜类胡萝卜素含量次序为 Cd2Y > Cd10 > Cd10Y ≈ CY > CK ≈ Cd2,其中 Cd2Y 处理的含量最高,达 0.68 mg/g FW,比对照高 31.48%。图 1 还显示,不同处理对白菜类胡萝卜素含量影响差异明显。Cd2Y 处理与 CK、Cd2、CY、Cd10Y 之间存在显著差异(*P* < 0.05),Cd10 与 Cd10Y 无显著差异,但与 CK、Cd2、CY 差异显著(*P* < 0.05),且 Cd 与毒死蜱对白菜叶片内类胡萝卜素交互作用显著(表 4)。类胡萝卜素除了是光合作用的重要物质之外,也是植物的一种重要保护剂。类胡萝卜素随重金属镉浓度的变化说明,在本研究的浓度条件下,白菜通过提高叶片内的类胡萝卜素含量可以降低镉对叶片的伤害。田晓锋等的研究认为,土壤 Cd 浓度在 20 mg/kg 以下,金丝柳叶片内类胡萝卜素含量增加明显^[15],本研究结果与之类似。

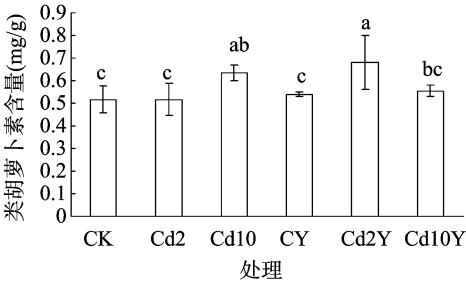


图 1 不同处理对白菜类胡萝卜素含量的影响

3 结论

外源添加 Cd²⁺ 和毒死蜱后,白菜生物量总体呈下降趋势,Cd²⁺ 与毒死蜱复合污染的生物量下降幅度明显比单一污染时大,白菜体内 Cd 含量随着外源 Cd²⁺ 加入量的增加而增加。

Cd²⁺ 和毒死蜱的添加促进了白菜体内叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)含量的增加,且 Cd²⁺ 与毒死蜱对叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)含量的交互作用显著,尤其是 Cd2Y 作用效果最显著;叶绿素 a/叶绿素 b 随 Cd 的加入明显增大,

随毒死蜱的加入而变小。

Cd²⁺ 和毒死蜱的添加促进了白菜体内类胡萝卜素含量的增加,且与叶绿素 a 含量之间存在极显著正相关关系。

参考文献:

[1] Ciecko Z, Wyszowski M, Krajewski W, et al. Effect of organic and liming on the reduction cadmium uptake from soil by triticale and spring oilseed rape[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 281(1/2/3): 37-45.

[2] Zwarich M A, Mills J G. Heavy metal accumulation by some vegetable crops grown on sewage-sludge-amended soils[J]. Can J Soil Sci, 1982, 62(2): 243-247.

[3] Gil J, Moral R, Gómez, et al. Effect of cadmium on physiological and nutritional aspects of tomato plant: I. Chlorophyll (a and b) and carotenoids[J]. Fresenius Environmental Bulletin, 1995, 4: 430-435.

[4] Simon D, Helliwell S, Robards K. Analytical chemistry of chlorpyrifos and diuron in aquatic ecosystems[J]. Analytical Chimica Acta, 1998, 360(1): 1-16.

[5] 刘鹏飞, 段宾宾, 赵铭钦, 等. 3 种农药对烤烟旺长期叶绿素含量及相关酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(3): 173-176.

[6] 冯绪猛, 罗时石, 胡建伟, 等. 农药对水稻叶片丙二醛及叶绿素含量的影响[J]. 核农学报, 2003, 17(6): 481-484.

[7] 沈伟其. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法[J]. 植物生理学通讯, 1988(3): 62-64.

[8] 李德明. 白菜(Brassica chinensis L.) 镉积累及生理的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.

[9] 商侃侃, 王 斌, 勒思佳, 等. 土壤养分变化对红花槭叶绿素含量的影响[J]. 浙江林业科技, 2007, 27(5): 12-15.

[10] 朱喜锋, 邹定辉, 简建波, 等. 龙须菜对重金属铜胁迫的生理响应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1438-1444.

[11] 王泽洋, 骆剑峰, 刘 冲, 等. 单一重金属污染对水稻叶片光合特性的影响[J]. 上海环境科学, 2004, 23(6): 240-243.

[12] 张露洁, 兰丽琼, 卿人伟, 等. 几种重金属离子对组培盾叶薯蓣叶绿素含量的影响[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2006, 43(1): 200-205.

[13] 徐爱春, 陈益泰, 王树凤, 等. 镉胁迫下柳树 5 个无性系生理特性的变化[J]. 生态环境, 2007, 16(2): 410-415.

[14] 孙建云, 沈振国. 镉胁迫对不同甘蓝基因型光合特性和养分吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2605-2610.

[15] 田晓锋. 重金属镉对金丝柳和香根草的生长及光合生理的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2008.