

46-50

第14卷 第1期
1994年3月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICA

4674(7)

Vol. 14, No. 1
Mar., 1994

镉、铅及其相互作用对小白菜生理生化特性的影响

秦天才

(华中农业大学, 武汉, 430070)

吴玉树, 王焕校

(云南大学, 昆明, 650091)

A

摘要 本文研究了溶液培养条件下小白菜对镉、铅的吸收积累规律和镉、铅及其相互作用对小白菜生理生化特性的影响。结果表明:植物体内镉、铅含量与培养液中镉、铅浓度呈正相关性,镉可降低植物对铅的吸收,镉超过一定浓度后,对叶绿素起破坏作用,并促进抗坏血酸分解,使游离脯氨酸积累,抑制硝酸还原酶活性。含镉的培养液中,由于铅的加入,加强了镉对植物的毒害作用。

关键词: 镉, 铅, 小白菜, 生理生化指标。

生理学, 生化特性

镉、铅是环境中的有毒物质。自发现镉、铅对人体能产生危害以来,人们一直对镉、铅污染较为关注。由于工业的活动如铅锌矿的开采和冶炼,使镉、铅等重金属排入环境,污染环境。蔬菜区也常常受到镉、铅等重金属污染的影响,蔬菜受到污染后,严重影响蔬菜的产量和质量,更为严重的是镉、铅等重金属经食物链进入人体,在人体内富集,危害人体健康。

有关镉或铅单元素污染对蔬菜的影响,国内外在这方面做了许多工作^[1-5]。但在环境中,单纯的镉或铅污染是少见的,镉和铅在自然界中往往伴随存在。镉、铅复合污染对蔬菜影响的研究报道尚不多,因而开展镉、铅复合污染对蔬菜影响的研究很有必要。本文以小白菜为试验材料,采用模拟实验方法,对小白菜进行毒理试验,目的在于了解镉、铅在植物体内的积累和分布以及镉、铅对植物生理生化指标的影响,探讨镉、铅对植物毒害机理,为消除镉、铅毒害提供一些依据。

1 实验和方法

1.1 材料及实验设计 材料为江苏小白菜(*Brassica chinensis* L.),由云南省蔬菜种子公司提供,进行盆栽模拟实验。方法是:种子消毒后,播于苗床上,待长出3片真叶后,移栽至塑料盆中,用Hoagland完全培养液进行培养。几天后,更换溶液,然后一次性施入氯化镉或醋酸铅。培养液中镉(以纯镉计)的浓度为0、0.1、5、10、50mg/L。铅(以纯铅计)的浓度为0、100、200mg/L。镉、铅单独及复合一共15个组合。实验设3个重复,施入镉、铅7d后取样分析。

1.2 测试指标 植物鲜重采用直接称量法,单位为g。重金属含量用E,P-700型原子吸收分光光度计测定,单位为 $\mu\text{g/g}$ 干重。叶绿素含量采用分光光度法测定^[6],单位为mg/g鲜叶。抗坏血酸含量采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[7],单位为mg/100g鲜重。游离脯氨酸含量采用HI-TACHI MODEL 835-50氨基酸自动分析仪测定,单位为mg/100g鲜重。硝酸还原酶活性采用

本文于1992年4月19日收到,修改稿于1992年10月27日收到。

体外法测定⁽⁶⁾,单位为 $\mu\text{M}/\text{g}\cdot\text{h}$ 。

2 结果与讨论

2.1 Cd、Pb 及其相互作用对小白菜外部形态的影响

在培养液中施入 Cd、Pb 7d 后,观察植物的生长状况,发现对照(未施 Cd、Pb)与单元素 0.1mg/L 的 Cd 这 2 个组合,小白菜生长正常,其它组合都可见到小白菜外表伤害症状。Pb 为 100、200mg/L, Cd+Pb 为 0.1+100、0.1+200mg/L,这 4 个组合小白菜叶片上可见到黄色斑纹;Cd \geq 5mg/L 的组合,植株具有明显的失绿现象,侧根发育受阻;Cd \geq 10mg/L 的组合,植株明显矮化,并伴有叶片变薄变窄;Cd+Pb 为 50+100、50+200mg/L 这 2 个组合,植株出现萎蔫。Cd、Pb 明显影响植物的鲜重(表 1),从表 1 中看到,培养液中 Cd、Pb 浓度增加,小白菜鲜重逐渐下降,说明 Cd、Pb 抑制植物的生长。

表 1 Cd、Pb 及其相互作用对小白菜鲜重(g)的影响

Table 1 Effect of Cd and Pb and their interactions on the fresh weight of *Brassica chinensis*

Pb (mg/L)	Cd (mg/L)				
	0	0.1	5	10	50
0	18.46	19.13	17.68	16.56	12.02
100	18.33	17.79	16.01	14.24	10.58
200	17.48	16.85	14.84	13.46	8.45

2.2 Cd、Pb 及其相互作用与植物体内吸收富集 Cd、Pb 之间的关系

培养液中单施 0—200mg/L 的 Pb,小白菜根和茎叶中 Pb 的含量均随 Pb 浓度增加而增加;培养液中单施 0—50mg/L 的 Cd,小白菜茎叶和根吸收富集的 Cd,随着施入 Cd 浓度增大而增多。在 Cd、Pb 复合处理中,含 Cd 的培养液中施入 Pb 以后,植物体 Pb 含量下降(表 2),

表 2 培养液中 Cd、Pb 浓度与植物体 Pb 含量之间的关系

Table 2 Relation between Cd and Pb concentration in solution and Pb content of *Brassica chinensis*

Cd+Pb (mg/L)	Pb 含量($\mu\text{g}/\text{g}$)	
	茎叶中 Pb 含量($\mu\text{g}/\text{g}$) Pb content in shoots	根中 Pb 含量($\mu\text{g}/\text{g}$) Pb content in roots
0 0 (Control)	18.26	127.3
0 100	28.48	4649
0.1 100	27.14	4571
5 100	26.80	4479
10 100	25.00	4029
50 100	20.73	3476
0 200	36.64	5842
0.1 200	36.01	5697
5 200	32.92	5546
10 200	29.68	5486
50 200	24.98	4921

说明 Cd 抑制小白菜对 Pb 的吸收,Cd 在低浓度时,表现不十分明显,随着 Cd 浓度增加,这种抑制更为突出;在含 Cd 的培养液中施入 Pb 以后,植物体内 Cd 含量增加(表 3)。Cd、Pb 在小白菜体内的积累和分布均是:根>茎叶,但 Cd 比 Pb 更容易转移到地上部分,Pb 主要沉积在根部。

表 3 培养液中 Cd、Pb 浓度与植物体 Cd 含量之间的关系

Table 3 Relation between Cd and Pb concentration in solution and Cd content of *Brassica chinensis*

Cd+Pb (mg/L)	Cd 含量($\mu\text{g}/\text{g}$)	
	茎叶中 Cd 含量($\mu\text{g}/\text{g}$) Cd content in shoots	根中 Cd 含量($\mu\text{g}/\text{g}$) Cd content in roots
0 0 (Control)	5.541	24.25
0.1 0	9.899	46.12
5 0	41.64	1508.40
10 0	55.40	2249.79
50 0	220.1	6605.42
0.1 100	12.84	69.11
5 100	49.19	1900.33
10 100	63.87	2835.46
50 100	242.4	7095.55
0.1 200	13.50	121.9
5 200	60.85	2127.63
10 200	71.53	3170.98
50 200	255.9	7444.78

2.3 Cd、Pb 及其相互作用对小白菜生理生化指标的影响

2.3.1 对叶绿素含量的影响,在培养液中施入 0—50mg/L 的 Cd,叶绿素含量均随 Cd 的浓度变化而变化(表 4)。Cd 为 0.1mg/L

时,叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素量比对照高,说明 0.1mg/L 的 Cd 在短期内对叶绿素合成有刺激作用;随着 Cd 浓度增大,叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素量均比对照低,说明 Cd 超过一定浓度后对叶绿素起破坏作用。在含镉的培养液中施入 Pb,随着与 Cd 复合的 Pb 浓度增加,小白菜叶片叶绿素含量逐渐降低(表 4),说明 Pb 加强了 Cd 对叶绿素的破坏作用。Cd 处理引起叶绿素含量变化可能与 Cd 影响叶绿素合成与分解代谢有关,孙赛初等人^[9]提出 Cd 使叶绿素含量降低,很可能是 Cd 进入叶内,在局部积累过多,与叶绿体中蛋白质上的-SH 结合或取代其中的 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 等,破坏了叶绿体结构和功能活性。Nag 等人^[9]认为 Cd 使叶绿素酶活性增加而导致叶绿素分解加快,致使叶绿素含量减少。植物叶片叶绿素含量降低,故使植物呈现失绿,出现生理伤害。

表 4 Cd、Pb 及其相互作用对叶绿素含量的影响

Table 4 Effect of Cd and Pb and their interactions on the chlorophyll (mg/g F. W.)

chl a					
Pb (mg/L)	Cd (mg/L)				
	0	0.1	5	10	50
0	0.311	0.326	0.268	0.248	0.124
100	0.305	0.283	0.260	0.232	0.110
200	0.278	0.250	0.234	0.212	0.084
chl b					
Pb (mg/L)	Cd (mg/L)				
	0	0.1	5	10	50
0	0.143	0.152	0.129	0.112	0.099
100	0.146	0.135	0.121	0.109	0.076
200	0.138	0.122	0.113	0.106	0.069
chl a+b					
Pb (mg/L)	Cd (mg/L)				
	0	0.1	5	10	50
0	0.454	0.478	0.397	0.360	0.213
100	0.451	0.418	0.381	0.341	0.186
200	0.416	0.372	0.347	0.318	0.153

离脯氨酸含量都比对照的含量高得多,0.1mg/L 的 Cd 就能使游离脯氨酸在根中显著积累,随着 Cd 的浓度增大,游离脯氨酸积累的量也增多;Cd 与 Pb 复合后,根中游离脯氨酸的量也比培养液中仅含 Cd 时高,说明 Pb 与 Cd 共同作用,使植物体内游离脯氨酸积累。植物受到环境胁迫时,游离脯氨酸积累,并认为是植物对不良环境的一种生理适应^[11],由此,小白菜受 Cd 污染的影响,游离脯氨酸积累,也可认为是小白菜对 Cd 毒害的另一种生理适应。

表 5 Cd、Pb 及其相互作用对抗坏血酸含量的影响

Table 5 Effect of Cd and Pb and their interactions on the ascorbic acid contents (mg/100g F. W.)

Pb (mg/L)	Cd (mg/L)				
	0	0.1	5	10	50
0	55.20	57.73	47.96	44.05	30.58
100	51.78	48.27	43.29	36.41	26.46
200	48.50	45.35	38.35	34.82	22.71

2.3.2 对抗坏血酸含量的影响 培养液中施入 0—50mg/L 的 Cd,小白菜体内抗坏血酸含量随 Cd 的浓度增大而降低(0.1mg/L 的 Cd 除外),说明 Cd 能促使植物体内抗坏血酸分解,这可能与 Cd 增强抗坏血酸氧化酶活性有关。在含 Cd 的培养液中施入 Pb 以后,植物体内抗坏血酸含量进一步降低(表 5),说明 Pb 协同 Cd 发生作用,降低植物体内抗坏血酸含量。已报道,环境胁迫时植物体内抗坏血酸含量降低,并认为是对不良环境的适应^[10]。由此,小白菜受 Cd 污染的影响,植物体内抗坏血酸含量降低,也可认为是对 Cd 毒害的一种生理适应。

2.3.3 对游离脯氨酸含量的影响 表 6 反映了 Cd、Pb 及其复合处理,小白菜根内游离脯氨酸含量变化情况。实验结果表明:培养液中施入 0.1—50mg/L 的 Cd,小白菜根中游

表 6 Cd、Pb 及其相互作用对游离脯氨酸含量的影响

Table 6 Effect of Cd and Pb and their interactions on the free proline contents (mg/100g F. W.)

Pb (mg/L)	Cd (mg/L)				
	0	0.1	5	10	50
0	0.02	0.81	0.84	1.41	4.99
100	0.76	0.84	1.35	1.86	6.00
200	0.91	1.39	1.71	4.06	10.84

表 7 Cd、Pb 及其相互作用对硝酸还原酶活性的影响*

Table 7 Effect of Cd and Pb and their interactions on NR activities ($\mu\text{M/g} \cdot \text{h}$)

Pb (mg/L)	Cd (mg/L)				
	0	0.1	5	10	50
0	1.91	2.29	1.69	1.25	0.58
100	1.74	1.51	1.16	0.84	0.40
200	1.42	0.98	0.60	0.15	—

*NR 活性以 NO_2^- 的形成量表示

NR activity was expressed by the quantity of nitrite formed.

加入,降低了 Cd 对硝酸还原酶毒害的阈值。硝酸还原酶是一类含-SH 的酶,Cd 能与-SH 结合^[12],占据酶的活性中心,使酶失活。硝酸还原酶是一个与氮代谢十分密切的酶,它在植物同化硝酸盐的过程中起着关键性作用^[13],Cd 抑制硝酸还原酶活性,硝酸还原酶活性下降,势必影响硝酸盐的同化吸收,进而影响氮代谢,使氮代谢紊乱,造成对植物的毒害。

3 结 论

3.1 植物体 Cd 含量与培养液中的 Cd 浓度成正相关性;培养液中 Cd 超过 0.1mg/L 后,对植物有明显的毒害作用,主要影响为:植物生长发育受阻,其受害症状表现为植株矮化,叶片变薄变窄,失绿现象明显,根系不发达。

3.2 生长在镉环境中的植物具有一定适应性,植物通过不同的适应途径减轻 Cd 毒害。从本实验结果来看,植物通过积累游离脯氨酸和降低抗坏血酸含量等途径来减轻 Cd 的毒害。

3.3 Pb 加强了 Cd 对植物的毒害。本实验结果表明:培养液中的 Cd 超过 0.1mg/L 以后,叶绿素含量降低,抗坏血酸分解,游离脯氨酸积累,硝酸还原酶活性受到抑制;含 Cd 的培养液中施入 Pb 后,Pb 加强了 Cd 对植物的生理生化指标的作用,使 Cd 对植物毒害的阈值降低。

参 考 文 献

- (1)周鸿等.铅对几种农作物的影响及迁移积累规律初探.环境科学学报,1983,3(3):222—234
- (2)John M K *et al.* Differential effects of cadmium on lettuce varieties. *Environ. Pollut.* 1976,10:163—173
- (3)Lagerwerff J V. Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air. *Soil Sci.* 1971,111:129—133
- (4)Pezzarossa B *et al.* The effect on cadmium contents and ethylene biosynthesis in tomato plant of adding cadmium sulphate to soil. *Water, Air and Soil Pollut.* 1991,57—58:589—596
- (5)Wong M K *et al.* The uptake of cadmium by *Brassica chinensis* and effect on plant zinc and iron distribution. *Environ. Exp. Bot.* 1984,24:189—195
- (6)华东师范大学生物系植物生理教研组.植物生理学实验指导.北京:人民教育出版社.1980,73—76,88—90
- (7)蔡武城,袁厚积.生物物质的常用化学分析法.北京:科学出版社.1982,162—163
- (8)孙赛初等.水生维管植物受镉污染后的生理变化及受害机制初探.植物生理学报,1985,11(2):113—121
- (9)Nag P *et al.* Heavy metal effects in plant tissue involving chlorophyll, chlorophyllase, Hill reaction activity and gel electrophoretic patterns of soluble proteins *Indian J. Exp. Biol.* 1981,19:702—706
- (10)曾韶西等.低温胁迫对水稻幼苗抗坏血酸含量的影响.植物生理学报,1987,13(3):365—370
- (11)汤章城.逆境条件下脯氨酸的累积及意义.植物生理学通讯,1984,(1):15—21
- (12)Vallee B I *et al.* Biochemical effects of mercury, cadmium, and lead. *Annu. Rev. Biochem.* 1972,41:91—128
- (13)Schrader I E *et al.* Some characteristics of nitrate reductase from higher plants. *Plant physiol.* 1968,43:930—940

EFFECT OF CADMIUM, LEAD AND THEIR INTERACTIONS ON THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF *BRASSICA CHINENSIS*

Qin Tiancai

(Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070)

Wu Yushu Wang Huanxiao

(Yunnan University, Kunming, 650091)

In the present paper indicated was the up take and accumulation of Cd and Pb by *Brassica chinensis* grown in hydroponic culture, and the effect of Cd and Pb and their interactions on the physiological and biochemical characteristics of *Brassica chinensis*. The experimental results showed that Cd and Pb contents in plant was in positive correlation with the concentrations of Cd and Pb. The uptake of Pb by *Brassica chinensis* was inhibited by Cd. Cd, beyond a certain concentration, led to a reduction in chlorophyll contents, enhanced the decomposition of ascorbic acid, caused the free proline accumulation, and inhibited the NR activities. Pb adding to solution enhanced the toxicity of Cd on plant.

Key words: cadmium, lead, *Brassica chinensis*, physiological and biochemical indicators.

(上接 111 页)

项 目 Project	姓 名 Name	单 位 Organization
割草对典型草原羊草和落草营养元素贮量及分配影响的研究 Effect of Mowing on Storage and Distribution of Nutritive Elements of <i>Leymus Chinense</i> and <i>Koeleria Cristata</i> in Typical Steppe	钟延凯 Zhong Yankai	内蒙古大学 Inner Mongolia University
火生态因子对草原的效应及有计划用火研究 The Research on the Effects of Fire Ecological Factor on Steppe and Prescript Fire Using	李政海 Li Zhenghai	内蒙古大学 Inner Mongolia University
重点基金项目(2项)		
亚热带退化生态系统恢复研究 Study on the Restoration of Degenerative Ecosystem in Sub-tropics	张经纬 Zhang Jingwei	中国科学院华南植物研究所 South China Institute of Botany, Academia Sinica
植物种群生态适应机理研究 Study on Ecological Adaptation Mechanism of Plant Population	钟章成 Zhong Zhangcheng	西南师范大学 Southwest China Teachers University
重大基金项目(1项)		
中国陆地生态系统对全球变化的反应模式研究 Modelling and Policy on the Response of Terrestrial Ecosystem to Global Change	张新时 Zhang Xinshi	中国科学院植物研究所 Institute of Botany, Academia Sinica

(国家自然科学基金委员会生命科学部陆仲康、陈 颖供稿)