

镉铅复合胁迫对茭白生理生化指标及产量的影响

黄凯丰^{1,2}, 马红³, 陈庆富¹, 江解增²

(1. 贵州师范大学 生命科学院植物遗传育种研究所, 贵州 贵阳 550001; 2. 扬州大学 水生蔬菜研究室, 江苏 扬州 225009; 3. 扬州大学 外国语学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:以茭白的单季茭品种‘蒋墅茭’和双季茭品种‘葑红早’为试材, 土壤栽培下, 对 Cd²⁺、Pb²⁺ 的单一及复合胁迫进行有机肥和无机肥处理, 测定了茭白生长过程中部分生理生化指标和产量的变化。结果表明: 不同肥料处理间以有机肥处理下茭白植株受 Cd²⁺、Pb²⁺ 胁迫伤害的程度少于无机肥处理; 复合胁迫下茭白受重金属离子的胁迫伤害大于单一胁迫, 表现为可溶性蛋白含量和最终产量低于单一胁迫处理, 脯氨酸含量等其他指标则高于单一胁迫; 茭白的不同部位间相比, 则以叶片中的可溶性蛋白含量低于根, 其余生理生化指标则明显高于根。品种间各指标存在一定差异。

关键词: 茭白; 复合胁迫; 肥料; 生理生化指标; 产量
中图分类号: Q 945.78 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0009(2009)08-0089-03

重金属镉、铅都是危害极大的环境污染物^[1]。镉是对许多生物能造成严重破坏的一种毒素^[2], 其基本毒理是干扰一些关键酶的活性及各种代谢过程, 改变细胞膜的透性, 诱导脯氨酸积累和一些未知蛋白质的形成, 还会干扰植物与微生物的共生关系, 降低植物对病害的抵抗能力等^[3-4]。虽然 Cd²⁺ 对植物有毒害作用, 但植物对 Cd²⁺ 存在耐性, 同时不同品种间这种耐性存在差异^[5-6], 然而差异的具体指标还不是很明确。Pb²⁺ 是土壤污染中一种有害的植物非必需元素, 进入土壤后, 会产生明显的生物效应, 可导致植物特别是其根部中毒、植株枯萎死亡等^[7]。对重金属污染的研究, 目前主要集中在单一胁迫污染, 对复合胁迫污染研究的较少, 且主要集中在水稻^[8]、青菜^[9]等。为此, 该试验利用江苏省特色水生蔬菜茭白(*Zizania latifolia* Turcz.)为试材, 以土壤为栽培介质, 对 Cd²⁺、Pb²⁺ 的单一及复合胁迫, 进行不同的肥料处理, 测定了茭白生长过程中一些生理生化指标以及最终的产量, 以寻求能提高茭白安全性的种植方式, 同时也为 Cd²⁺、Pb²⁺ 胁迫对茭白伤害机理的研究提供一些科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试重金属离子为: Cd²⁺ (CdCl₂ · 2.5H₂O)、Pb²⁺ [Pb(NO₃)₂] 为分析纯。供试茭白品种: 单季茭品种蒋墅茭(Jiangshu)、双季茭品种葑红早(Fenghongzao)。

1.2 种植管理

试验于扬州大学水生蔬菜试验水池中进行。2007年4月24日, 将取自扬州大学水生蔬菜试验田的土壤(Cd²⁺ 含量 0.16 mg/kg; Pb²⁺ 含量 0.17 mg/kg, pH 7.54)按 20 cm 的厚度, 铺设到每个水泥池中, 每个水池长 1.5 m、宽 1 m、深 0.5 m, 在各池中分别施有机肥(菜籽饼; 100 kg/667m²)和无机肥(与菜籽饼 N、P、K 含量相当的三元复合肥; 50 kg/667m²)做基肥, 灌水至 30 cm, 并在试验过程中通过不断的灌自来水来保持该水位。5月13日, 选择大田中上年种植的、具有典型种性的茭墩分墩移栽, 每墩带有 3~5 支新生分蘖并有少量老墩, 均匀栽植于水池中, 间距为 30 cm×35 cm, 每池中均栽 2 个品种茭白各 6 墩, 品种间用滤网分隔。

待茭白植株返青成活、长出新叶后, 于 5 月 25 日, 按土壤和水的总体积为准设置重金属浓度, Cd²⁺: 100 mg/L (以 Cd 100 表示); Pb²⁺: 1 000 mg/L (以 Pb 1 000 表示)、Cd²⁺-Pb²⁺ 复合污染(Cd²⁺ 100 mg/L、Pb²⁺ 1 000 mg/L, 以 CdPb 表示), 向池中均匀投放高浓度 CdCl₂ · 2.5H₂O、Pb(NO₃)₂ 母液, 并搅拌均匀, 设空白对照, 3 次重复。茭白生长过程中, 分别在返青、分蘖期、孕茭期按 15 kg/667m² 用量施三元复合肥于无机肥处理的水池中; 按 30 kg/667m² 的用量施菜籽饼于有机肥处理的水池中。管理过程中所有枯叶均捺入水池中沤烂, 以尽量

第一作者简介: 黄凯丰(1979-), 男, 江苏启东人, 博士, 研究方向为污染生态。E-mail: hkf1979@163.com。
通讯作者: 江解增(1964-), 男, 江苏无锡人, 博士, 教授, 研究方向为水生蔬菜生理生态研究。
基金项目: 国土资源部与江苏省政府合作资助项目[(2003)019-01]; 江苏省农业三项工程资助项目[sx(2005)089]。
收稿日期: 2009-03-20

避免重金属的损失。保持水池中的水位,水池上方2.5~3.5 m 覆盖塑料薄膜,以防止降雨。

1.3 样品处理及测定

分别于2005年6月5日、2007年6月2日,在各处理小区中随机选择2个茭白品种的倒3片功能叶和白色根系,洗净并吸干表面的水珠,分成2份。其中1份剪碎混匀,以0.5 g 每包,在液氮中处理5~10 min,取出后在-40℃冰箱中保存;另1份直接用来测定叶片和根系的细胞膜透性及根系活力。

采用考马斯亮蓝(G-250)染色法^[10]测定可溶性蛋白含量;参照邹琦(2000)^[10]的方法测定脯氨酸含量;采用刘宁(2000)^[11]的方法测定细胞膜透性;采用王爱国等(1990)^[12]的方法测定超氧阴离子自由基。

于采收期(蒋墅茭于2007年10月2日、葑红早于2007年10月7日,开始分批采收)。每次选择各小区中所有露白的茭白肉质茎,带回实验室称重,最后统计各小区中每次称重的结果,折合成667m²产量。

表 1 有机肥处理时镉铅复合胁迫对茭白生理生化指标的影响

品种	浓度 / mg · L ⁻¹	可溶性蛋白/ mg · g ⁻¹ FW		脯氨酸/ μg · g ⁻¹ FW		细胞膜透性/ %		超氧阴离子自由基/ nmol · min ⁻¹ · mg ⁻¹	
		叶	根	叶	根	叶	根	叶	根
蒋墅茭	对照	12.4	1.0	12.5	40.8	14.3	33.3	3.6	31.8
	Cd 100	20.1	2.5	40.8	63.3	14.5	55.2	5.7	40.2
	Pb 1 000	26.9	6.3	44.2	55.3	17.1	28.3	3.7	32.8
	Cd-Pb	15.2	2.1	48.3	113.3	25.6	59.4	7.7	52.7
葑红早	对照	17.8	1.7	24.2	85.0	17.8	48.9	3.3	32.3
	Cd 100	30.8	6.0	50.8	107.5	18.7	64.9	4.2	39.6
	Pb 1 000	32.4	9.1	55.8	114.2	18.6	46.2	3.7	33.9
	Cd-Pb	25.9	3.8	52.5	130.7	29.5	66.9	5.1	44.0

表 2 无机肥处理时镉铅复合胁迫对茭白生理生化指标的影响

品种	浓度 / mg · L ⁻¹	可溶性蛋白/ mg · g ⁻¹ FW		脯氨酸/ μg · g ⁻¹ FW		细胞膜透性/ %		超氧阴离子自由基/ nmol · min ⁻¹ · mg ⁻¹	
		叶	根	叶	根	叶	根	叶	根
蒋墅茭	对照	19.4	2.0	40.0	48.7	10.4	37.4	3.8	32.1
	Cd 100	19.7	1.4	83.3	79.0	16.7	51.7	7.0	41.9
	Pb 1 000	25.5	2.1	52.5	51.7	17.1	49.2	4.0	35.8
	Cd-Pb	16.7	1.3	50.8	133.3	30.2	52.2	8.8	60.9
葑红早	对照	26.1	2.5	25.0	60.0	13.2	38.8	3.9	33.8
	Cd 100	18.6	2.1	44.2	140.8	18.3	70.3	5.0	41.8
	Pb 1 000	24.9	3.3	30.8	107.5	18.9	53.8	4.5	38.8
	Cd-Pb	16.0	1.8	78.3	180.0	22.4	66.7	5.6	46.9

2.2 镉铅复合胁迫对茭白产量的影响

由表3可以看出,Cd²⁺、Pb²⁺胁迫能显著降低2个茭白品种的产量。Cd²⁺胁迫下茭白产量下降的幅度大于Pb²⁺胁迫处理。Cd²⁺、Pb²⁺的单一、复合胁迫处理间相比,表现为复合胁迫下2个茭白品种的产量显著低于

表 3 重金属胁迫对茭白产量的影响

浓度设置 / mg · L ⁻¹	667 m ² 产量/ kg			
	蒋墅茭		葑红早	
	有机肥	无机肥	有机肥	无机肥
对照	2 002.3	1 908.9	2 830.7	2 222.4
Cd 100	1 733.7	1 553.2	2 311.4	1 936.1
Pb 1 000	2 179.8	1 820.0	2 562.2	1 638.2
Cd-Pb	1 450.2	1 324.7	1 933.4	1 802.2

2 结果与分析

2.1 镉、铅复合胁迫对茭白生理生化指标的影响

由表1、2可以看出,Cd²⁺、Pb²⁺的单一、复合胁迫基本均能增加2个茭白品种叶片和根系的可溶性蛋白含量、脯氨酸含量、细胞膜透性及超氧阴离子自由基含量。Cd²⁺、Pb²⁺的单一、复合胁迫间相比,复合胁迫时2个茭白品种的可溶性蛋白含量低于单一胁迫,而细胞膜透性、脯氨酸及超氧阴离子自由基含量则高于单一胁迫,说明复合胁迫处理时,茭白植株受重金属离子胁迫伤害的程度大于单一胁迫,同时也可以看出Cd²⁺、Pb²⁺的胁迫间存在一定的协同作用。不同肥料处理间则表现为,有机肥处理时茭白叶片和根系中可溶性蛋白含量同比总体高于无机肥处理,而脯氨酸含量等指标则总体低于无机肥处理。茭白的不同部位间相比,则以叶片中的可溶性蛋白含量低于根,其余生理生化指标则明显高于根。品种间存在一定差异,总体以葑红早叶片和根系中各指标高于蒋墅茭。

单一胁迫,这与上述生理指标的变化规律基本相符,说明复合胁迫下,茭白受Cd²⁺、Pb²⁺的胁迫伤害程度大于单一胁迫。不同肥料处理间以有机肥处理下2个茭白品种的产量高于无机肥处理。品种间以葑红早的产量同比高于蒋墅茭。

3 小结与讨论

宣瑛等^[13]的文章中指出,所有环境污染事件中,多种污染物复合污染现象非常普遍。研究表明,复合污染对生物体的复合效应通常比其相应单因子污染的毒性要复杂得多,可表现为协同、加和、拮抗等多种作用。王启明^[14]通过水培试验,研究了重金属铅、镉单一及其复合胁迫对大豆幼苗生理生化特性的影响,发现随着铅、

镉单一及复合胁迫浓度的升高,大豆幼苗叶绿素含量以及叶绿素 a/b 比值明显下降,细胞膜透性明显增大,根系活力受到抑制,但低浓度铅对根系活力具有轻微的促进作用。铅、镉复合胁迫对大豆幼苗的毒害作用高于单一胁迫,镉胁迫的毒害作用强于铅的胁迫,这与该试验得出的单一胁迫下茭白植株受到的伤害小于复合污染的结论是一致的,说明 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 间的复合胁迫在一定处理浓度下表现为协同作用^[15]。

植物受重金属离子伤害的程度,与植物所处环境中重金属离子的浓度、植物的种类、所处生长环境的性质有关^[1]。张亚丽等^[16]通过培养与盆栽试验,研究了有机肥料对污染土壤中 Cd^{2+} 的有效性、各形态及其生物活性的影响。结果有机肥料的施用明显降低了土壤中有效性 Cd^{2+} 的含量,其中猪粪效果优于秸秆类;有机肥料的施用促使交换态 Cd^{2+} 向松结合有机态、锰氧化物结合态 Cd^{2+} 转化。相关分析表明,土壤交换态 Cd^{2+} 和松结合有机态 Cd^{2+} 与土壤中有效态 Cd^{2+} 、水稻地下部分含 Cd^{2+} 呈显著或极显著正相关。该试验的研究发现,有机肥处理下茭白植株受到的胁迫伤害要小于无机肥处理,最终的产量要高于无机肥处理,与上述的研究结果是一致的。有机肥处理可以减轻重金属离子对茭白的伤害,这可能与该试验所使用的有机肥——菜籽饼,其含有大量的有机质(一般有机质含量为 75%~85%)、剩余油脂等物质^[17],对重金属离子存在较大的吸收作用有关,尚需进一步的研究来证实。

参考文献

[1] Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants[J]. Biochimie 2006, 11(88): 1707-1719.
[2] 金锋,汪再娟,吴南翔,等. 尿中镉与-MG 相关性的流行病学调查

[J]. 职业与健康, 2000, 16(9): 57-58.
[3] Ouariti O, Boussama N, Zarrouk M, et al. Cadmium and copper-induced changes in tomato membrane lipids[J]. Phytochemistry, 1997, 45: 1343-1350.
[4] Shah K, Dubey R S. Cadmium elevates level of protein, amino acids and alters activity of proteolytic enzymes in germinating rice seeds[J]. Acta Physiol Plant, 1998, 20: 189-196.
[5] Florijn P J, Van Beusichem M L. Uptake and Distribution of Cadmium in Maze Inbred Lines[J]. Plant and Soil 1993, 150: 25-32.
[6] Yang X, Baligar V G, Maertens D C, et al. Influx, transport and accumulation of cadmium in plant species[J]. J. Environ. Sci. Health 1995, 30(4): 569-583.
[7] 杨元根, Paterson E, Campbell C. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物效应[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 44-48.
[8] 王新, 吴燕玉. 重金属在土壤-水稻系统中的行为特性[J]. 生态学杂志, 1997, 16(4): 10-14.
[9] 任安芝, 高玉葆. 铅、镉、铬单一和复合污染对青菜种子萌发的生物学效应[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 19-22.
[10] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
[11] 刘宁, 高玉葆, 贾彩霞, 等. 渗透胁迫下多花黑麦草叶内过氧化物酶活性和脯氨酸含量以及质膜相对透性的变化[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(1): 11-14.
[12] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 55-57.
[13] 宣瑛, 闵航, 吕镇梅, 等. Azotobacter beijerinckii C4 对镉和乙草胺复合污染的氧化应激反应研究[J]. 浙江大学学报, 2006, 32(5): 489-494.
[14] 王启明. 铅、镉及其复合胁迫对大豆幼苗生理生化特性的影响[J]. 河南农业科学, 2006(7): 34-37.
[15] 于拴仓, 刘立功. Cd、Pb 及其相互作用对 3 种主要蔬菜根伸长的影响[J]. 种子, 2005, 24(1): 61-63.
[16] 张亚丽, 沈其荣, 姜洋. 有机肥料对镉污染土壤的改良效应[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 212-218.
[17] 武雪萍, 刘国顺, 郭平毅, 等. 饼肥中的有机营养物质及其在发酵过程中的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 303-307.

Effects of Cd and Pb Combined Stress on Physiological Indexes and Yield of *Zizania latifolia*

HUANG Kai-feng^{1,2}, MA Hong³, CHEN Qing-fu¹, JIANG Jie-zeng²

(1. Institute of Plant Genetics and Breeding, School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. Institute of Aquatic Vegetable Research, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 3. School of Foreign Languages of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Change of the physiological and biochemical indexes in leaves and roots and yield of *Zizania latifolia* were studied on single-harvested cultivar Jiangshu and double-harvested cultivar Fenghongzao which cultured in soil with Cd^{2+} 100 mg/L, Pb^{2+} 1 000 mg/L and their combined stress. The results showed that, it was less harm when treated with organic fertilizer than with inorganic fertilizer. Content of soluble protein and yield were lower when treated with combined stress, but the content of proline and the other indexes were higher. Compared with the different parts of *Zizania latifolia*, it was showed that, content of soluble protein in leaves lower than roots, but the other indexes were higher. There was some difference among cultivars.

Key words: *Zizania gall*; Combined stress; Fertilizer; Physiological and biochemical; Yield