

茭白对苇末基质中镉的生理反应及其镉的残留

江解增^{1,2}, 黄凯丰², 杨 凯², 卞晓东², 黄东林², 曹磊生², 郭世荣^{1*}

(¹南京农业大学园艺学院, 南京 210095; ²扬州大学水生蔬菜研究室, 江苏扬州 225009)

摘 要: 以茭白 (*Zizania latifolia* Turcz.) 单季茭品种 ‘蒋墅茭’ 和双季茭品种 ‘葑红早’ 为试材, 采用苇末基质栽培方式进行不同浓度 Cd^{2+} 胁迫处理, 测定其生长过程中部分生理指标及肉质茎中 Cd^{2+} 残留含量的变化。结果表明: 处理近两个月后, 茭白叶片和根系中可溶性蛋白含量及净光合速率等在 Cd^{2+} 浓度为 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时高于对照, 然后随浓度升高逐渐降低; POD 和 PPO 活性随 Cd^{2+} 浓度升高而增加, 直至 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 才出现降低; 各处理肉质茎中 Cd^{2+} 的残留量均未超过无公害蔬菜国家标准的限量值, 葑红早各处理同比均高于蒋墅茭, 而且其第 2 年夏茭肉质茎中的 Cd^{2+} 含量显著高于第 1 年的秋茭。表明茭白对 Cd^{2+} 的忍耐性较强, 虽然产品器官中的残留含量随处理时间延长而呈增加趋势, 但生物富集程度较低。

关键词: 茭白; 镉; 残留含量

中图分类号: S 645.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2007) 02-0407-04

Influence of Cadmium on Metabolism and Its Residual Quantity in Gall of *Zizania latifolia* Cultured in Reed Sediment Substrate

JIANG Jie-zeng^{1,2}, HUANG Kai-feng², YANG Kai², BIAN Xiao-dong², HUANG Dong-lin², CAO Bei-sheng², and GUO Shi-rong^{1*}

(¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Aquatic Vegetable Research Institute, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Changes of some physiological and biochemical indexes in leaves and roots of the *Zizania latifolia* were studied with single-harvested cultivar Jiangshujiao and double-harvested cultivar Fenghongzao which cultured in reed sediment substrate with different Cd^{2+} concentrations. The Cd^{2+} residues in *Zizania* galls were also determined. The results showed that, after about 2 months of treatment, the soluble protein content and net photosynthetic rate of functional leaves arrived the maximum when the Cd^{2+} concentration was $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and then decreased with increasing Cd^{2+} concentration. The activities of POD, PPO increased with the increasing Cd^{2+} concentration until $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The Cd^{2+} residues in *Zizania* galls in all treatments were lower than the national maximum residue standards of non-polluted vegetables. The Cd^{2+} residues in Fenghongzao galls were higher than those in Jiangshujiao in all treatments. The Cd^{2+} accumulation in next summer-harvested galls was higher observably than those in first-autumn-harvested galls of Fenghongzao. It is considered that the *Zizania latifolia* has a high tolerance to Cd^{2+} stress while has a low Cd^{2+} bio-enrichment in the edible organ. A significant positive correlation was observed between the Cd^{2+} residual quantity in the galls and the time of Cd^{2+} treatment.

Key words: *Zizania latifolia*; Cadmium; Residue

水生植物对重金属有很强的吸收积累能力 (黄亮 等, 2002)。各种工业废液和固体废弃物浸出液若直接排入水体使有毒重金属元素的含量越来越多, 严重危害人们的健康。研究重金属污染对水生

收稿日期: 2006 - 11 - 27; 修回日期: 2007 - 01 - 18

基金项目: 国土资源部与江苏省政府合作项目 ([2003]019-01)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: srguo@njau.edu.cn)

蔬菜生长发育的影响及其产品器官对重金属的积累能力,对于蔬菜食品的卫生安全具有重要的指导意义。本试验利用江苏特色水生蔬菜茭白 (*Zizania latifolia* Turcz.) 为试材,对此进行研究。

1 材料与方法

试验在扬州大学进行。2004年4月中旬,以镇江造纸厂生产的蔬菜专用“茭末基质”为栽培基质,其 Cd^{2+} 含量为 $0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (程斐等, 2001),按 20 cm 厚度铺设到每个试验水池,每个水池长 1.5 m、宽 1 m、深 0.5 m,灌水至 30 cm 并在试验过程中保持该水位。5月8日,将两个代表性品种单季茭‘蒋墅茭’和双季茭‘葑红早’的小墩定植于水泥池中,每小墩有 5 枝小苗,间距为 30 cm \times 35 cm,每池中均栽两品种各 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,按栽培基质和水的总体积为准设置 Cd^{2+} 浓度为 25、50、100、200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,向池中均匀投放化学纯的 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$,设空白对照,3次重复。当年秋茭及葑红早翌年夏茭生长过程中,分别在返青、分蘖期按 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 用量施入尿素,在孕茭期的 3 周前按 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 施入 45% 三元复合肥。管理过程中所有枯叶均捺入水池中沤烂,以尽量避免重金属的损失。

2004年7月10日分别采集各处理植株的倒 3 片 (从顶叶起) 功能叶片及其白色根系,叶片测定可溶性蛋白质含量,细胞膜透性,过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO)、苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 的活性,测定根系的可溶性蛋白质含量,细胞膜透性和根系活力 (杨居荣等, 1996; 李兆君等, 2004)。

7月14日测定各处理典型茎蘖的倒 3 片功能叶中部的叶绿素含量及净光合速率。叶绿素含量用日本“SPAD-502”叶绿素仪测定,净光合速率用美国 LI-COR 公司的 LI-6400 型便携式光合仪测定,测定时间在 10~14 时,阳光正常照射,光量子通量密度的变幅为 $1780 \sim 2100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。各处理均 6 次重复。

在 2004 年秋茭采收盛期 (蒋墅茭为 9 月 15 日,葑红早为 10 月 5 日) 和 2005 年葑红早夏茭采收盛期 (5 月 25 日),在各处理及重复群体采收的产品器官肉质茎中各随机选取 3 个,剥除叶鞘,分别称取鲜质量,切片置烘箱中 105 杀青 30 min,75 烘干,称取干质量,粉碎机粉碎后 100 目过筛;按 GB18406.1-2001 的规定,用美国 Thermo Elemental 公司的“SOLAAR S4”型原子吸收光谱仪测定 Cd^{2+} 含量。

2 结果与分析

2.1 Cd^{2+} 对茭白生理指标的影响

由表 1 可知:在茭末基质栽培下,茭白叶片和根的可溶性蛋白含量品种间稍有差异,整体上有随 Cd^{2+} 处理浓度上升而下降的趋势,说明高浓度 Cd^{2+} 处理对茭白生长产生抑制作用。

根系活力随 Cd^{2+} 处理浓度上升而呈明显的下降趋势,也说明随 Cd^{2+} 处理浓度的提高,对茭白的抑制作用增强,品种间以蒋墅茭在较高浓度处理下降幅度较大,可能与蒋墅茭长势较弱相关。

叶片和根系的细胞膜透性均随 Cd^{2+} 处理浓度的上升而增加,较低浓度处理与对照间差异不显著,根系细胞膜透性的上升幅度显著大于叶片。品种间葑红早各处理同比均高于蒋墅茭,这可能与葑红早的长势较强、总体吸收能力较高相关。

两品种叶片叶绿素含量及其净光合速率的变化表明,低浓度 Cd^{2+} 处理叶绿素含量基本没有变化,净光合速率还有所提高;而高浓度处理的叶绿素含量及净光合速率均随处理浓度的进一步增加而明显下降,但叶片叶绿素含量的降幅相对较小,说明较高的 Cd^{2+} 浓度处理下,茭白叶片叶绿素的总体含量虽然降幅不大,但其光合性能已明显下降。品种间则以葑红早同比高于蒋墅茭。

由上述生理指标可以看出, 较低浓度的 Cd^{2+} 处理对茭白的生长影响不大, 高浓度则起抑制作用, 说明苇末基质栽培条件下茭白对重金属 Cd^{2+} 在 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的较低浓度下具有较强的耐性, Cd^{2+} 超过 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 则生长受到明显抑制。

表 1 Cd^{2+} 对茭白叶片及根系生理指标的影响Table 1 Effect of Cd^{2+} stress on physiological indexes in leaves and roots of *Zizania latifolia*

品种 Cultivar	Cd^{2+} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	可溶性蛋白 Soluble protein ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FM}$)		根系活力 Activity of root ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \text{FM}$)	细胞膜透性 Membrane permeability (%)		叶绿素含量 Content of chlorophyll (SPAD)	Pn ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
		叶 Leaf	根 Root		叶 Leaf	根 Root		
蒋墅茭 Jiangshujiao	对照 Control	29.9a	5.04b	0.46a	28.0b	36.0b	43.67a	12.48a
	25	29.6a	6.92a	0.38b	28.7ab	37.2b	43.65a	13.84a
	50	29.0a	5.11b	0.30c	29.5ab	44.3a	41.50ab	11.16ab
	100	22.3b	5.02b	0.26c	30.0ab	45.5a	41.18ab	10.80b
	200	20.3b	4.85b	0.13d	31.2a	45.1a	40.92b	8.58c
葑红早 Fenghongzao	对照 Control	27.7a	5.71ab	0.42a	30.6b	49.3c	46.02a	16.45b
	25	27.9a	5.90a	0.40a	30.8b	51.1c	45.10a	19.52a
	50	24.4ab	4.73b	0.39a	36.8a	62.7b	43.03ab	12.27c
	100	24.4ab	4.71b	0.38a	38.0a	69.0ab	42.72b	11.38cd
	200	22.6b	4.72b	0.20b	39.3a	72.0a	42.56b	9.56d

$P = 0.05$ 。

2.2 Cd^{2+} 处理对茭白保护酶活性的影响

由表 2 可见, 两品种叶片的 POD、PPO 和 PAL 活性, 均在 Cd^{2+} $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 及其以下浓度时随其浓度上升而增加, 在 Cd^{2+} $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时则呈现明显下降趋势, 而根系活力、叶片净光合速率等生理指标在 Cd^{2+} $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理时即呈下降趋势。

表 2 Cd^{2+} 对茭白叶片保护酶活性的影响Table 2 Effect of Cd^{2+} stress on the activities of some protective enzymes in leaves of *Zizania latifolia*

品种 Cultivar	Cd^{2+} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	POD ($\text{OD}_{470} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FM}$)	PPO ($\text{OD}_{495} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FM}$)	PAL ($\text{OD}_{290} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FM}$)	CAT ($\text{OD}_{240} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FM}$)	SOD ($\text{OD}_{560} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FM}$)
蒋墅茭 Jiangshujiao	对照 Control	6.05c	5.20c	8.19c	9.28a	3.94ab
	25	7.50c	6.63bc	10.60bc	8.82ab	4.99a
	50	9.00b	7.10b	12.80b	7.28ab	3.82ab
	100	12.10a	8.93a	15.30a	6.96bc	3.40b
	200	7.50c	7.78ab	11.30bc	5.56c	3.10b
葑红早 Fenghongzao	对照 Control	6.85c	5.60b	12.30b	8.20a	4.00a
	25	15.40a	8.30a	13.10ab	7.08ab	4.01a
	50	12.92b	10.60a	13.50ab	6.24ab	4.30a
	100	12.80b	10.00a	14.50a	5.98bc	3.93ab
	200	8.00c	10.50a	7.10c	5.40c	3.47b

$P = 0.05$ 。

CAT 活性则表现为各处理均低于对照, 且随处理浓度升高而下降。

各处理 SOD 活性的变化与根系活力、叶片净光合速率等的变化趋势相似, 但蒋墅茭仅在 Cd^{2+} $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的较低浓度下活性有所增加, 以后下降, 而葑红早则在 Cd^{2+} $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的较高浓度处理下才开始下降。

品种间表现为葑红早的保护酶活性总体高于蒋墅茭, 这可能与葑红早长势较强的品种特性相关, 也说明葑红早对 Cd^{2+} 的忍耐性要比蒋墅茭强。结合生理指标及保护酶活性的试验结果, 表明茭白对

重金属 Cd^{2+} 具有较强的忍耐能力 (杨居荣 等, 1996)。

2.3 肉质茎中 Cd^{2+} 残留含量比较

茭白产品器官肉质茎中的 Cd^{2+} 残留随 Cd^{2+} 处理浓度的升高而增加 (表 3), 但即使在 Cd^{2+} $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的高浓度下, 肉质茎中的 Cd^{2+} 含量仍未超过无公害蔬菜产品国家标准 (GB 18406.1-2001) 的限量值 ($50 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$); 其生物富集程度总体较低, 最高的生物富集系数 (生物体内污染物的浓度与其生存环境中该污染物浓度的比值) 也仅为 0.87% (葑红早对照的夏茭), 属于低富集, 说明在葑末基质栽培条件下, 茭白产品器官对重金属 Cd^{2+} 的积累较少; 品种间则以葑红早明显高于蒋墅茭。

由表 3 还可以明显看出, 双季茭品种葑红早在第 2 年采收的夏茭肉质茎中 Cd^{2+} 含量显著高于当年的秋茭, 说明随处理时间的增加, 植株各器官 Cd^{2+} 积累量也相应增加。茭白对 Cd^{2+} 的忍耐能力较强, 在试验过程中看到即使在较高的 Cd^{2+} 浓度处理下, 所有参试植株均能较正常生长。茭白在污染区域内多年种植情况下, 产品器官污染物积累的变化, 需进一步追踪试验。

葑末基质的主要成分为生物有机质, 含有大量活性基团, 对重金属离子具有较高的吸附性能 (李波 等, 2000)。本试验即使设置高浓度 Cd^{2+} 处理, 产品肉质茎中 Cd^{2+} 含量仍然很低, 很可能是由于栽培基质大量固定束缚 Cd^{2+} 离子而使植株吸收积累量下降所致, 尚需采用常规土壤栽培进一步验证。按照无公害蔬菜生产的国家标准, 无论是栽培环境还是栽培产品, 对重金属含量的测定均以总量为准。本试验结果得出启示: 通过大量施用有机肥料或采用各种途径提高栽培介质中有机质含量, 可保证一定 Cd^{2+} 污染环境下茭白产品的安全质量。

References

- Cheng Fei, Sun Zhao-hui, Zhao Yu-guo, Li Shi-jun. 2001. Analysis of physical and chemical properties of reed residue substrate. Journal of Nanjing Agricultural University, 24 (3): 19 - 22. (in Chinese)
- 程 斐, 孙朝晖, 赵玉国, 李式军. 2001. 芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析. 南京农业大学学报, 24 (3): 19 - 22
- Huang Liang, Li Wei, Wu Ying, Zhang Jing, Zhou Ju-zhen. 2002. Distribution of heavy metals in aquatic plants of some lakes in the middle reach of the Yangtze River. Research of Environmental Science, 15 (6): 1 - 4. (in Chinese)
- 黄 亮, 李 伟, 吴 莹, 张 经, 周菊珍. 2002. 长江中下游若干湖泊水生植物体内重金属分布. 环境科学研究, 15 (6): 1 - 4.
- Li Bo, Qing Chang-le, Zhou Zheng-bin, Yang Qing-min. 2000. Effects of nitrogen, phosphorus and organic matter on heavy metal behavior in soils and its application of controlling pollution. Agro-Environmental Protection, 19 (6): 375 - 377. (in Chinese)
- 李 波, 青长乐, 周正宾, 杨青敏. 2000. 肥料中氮磷和有机质对土壤重金属行为的影响及在土壤治污中的应用. 农业环境保护, 19 (6): 375 - 377.
- Li Zhao-jun, Ma Guo-nui, Xu Jian-min, He Yan. 2004. Physiological and biological mechanism of plant for adapting the stress by cadmium. Chinese Journal of Soil Science, 35 (2): 234 - 238. (in Chinese)
- 李兆君, 马国瑞, 徐建民, 何 艳. 2004. 植物适应重金属 Cd 胁迫的生理及分子生物学机理. 土壤通报, 35 (2): 234 - 238
- Yang Ju-rong, He Jian-qun, Zhang Guo-xiang, Mao Xian-qiang. 1996. Reaction of some enzyme activities in crops of different tolerance to the stress of Cd. China Environmental Science, 16 (2): 113 - 117. (in Chinese)
- 杨居荣, 贺建群, 张国祥, 毛显强. 1996. 不同耐性作物中几种酶活性对 Cd 胁迫的反应. 中国环境科学, 16 (2): 113 - 117.

表 3 不同浓度 Cd^{2+} 处理下茭白肉质茎中 Cd^{2+} 残留量

Table 3 Cd^{2+} residues in <i>Zizania</i> gall under different concentrations of Cd^{2+} treatment ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$)				
Cd^{2+} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	当年秋茭 Gall in same autumn		翌年夏茭 Gall in next summer	
	蒋墅茭 Jiangshujiao	葑红早 Fenghongzao	蒋墅茭 Jiangshujiao	葑红早 Fenghongzao
对照 Control	0.76d	1.24d	/	1.56d
25	4.51c	7.24c	/	25.70c
50	6.44b	7.55c	/	32.50b
100	6.70b	12.90b	/	37.40b
200	9.84a	14.00a	/	48.80a

$P = 0.05$.