

不同栽培介质中茭白对铅胁迫的反应

黄凯丰^{1,3}, 江解增^{2*}, 杨 凯², 卞晓东², 王东林², 曹磊生²

(¹扬州大学, 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009; ²扬州大学水生蔬菜研究室, 江苏扬州 225009;

³贵州师范大学生命科学学院植物遗传育种研究所, 贵阳 550001)

摘 要: 为研究茭白 (*Zizania latifolia* Turcz.) 在不同栽培介质中对重金属 Pb 胁迫的反应, 以茭白的单季茭品种 '蒋墅茭' 和双季茭品种 '葑红早' 为试材, 采用苇末基质和土壤两种栽培介质进行不同浓度 Pb²⁺ 的胁迫处理, 测定了其生长过程中部分形态、生理指标及其产品器官中 Pb²⁺ 残留含量的变化。结果表明: 叶片可溶性蛋白含量、保护酶活性、自顶叶起倒 3 片功能叶的叶面积及其叶绿素含量及净光合速率等均随 Pb²⁺ 浓度上升而先上升后下降, 脯氨酸含量则逐步增加; 苇末基质处理的叶片可溶性蛋白、脯氨酸含量显著低于土壤栽培, 而倒 3 片功能叶的叶面积则显著高于土壤栽培; 肉质茎中的 Pb²⁺ 残留含量较低, 苇末基质处理同比较显著低于土壤栽培, 表明在苇末基质中栽培茭白具有较高的安全性。

关键词: 茭白; 铅; 残留量; 栽培介质

中图分类号: S 645.2 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2008) 10-1479-05

The Response of *Zizania latifolia* to Lead Stress in Different Cultural Media

HUANG Kai-feng^{1,3}, JIANG Jie-zeng^{2*}, YANG Kai², BIAN Xiao-dong², WANG Dong-lin², and CAO Bei-sheng²

(¹ Jiangsu Provincial Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

² Aquatic Vegetable Research Institute, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; ³ Institute of Plant Genetics and Breeding, Life Science College of Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: To study the response of *Zizania latifolia* to Pb²⁺ stress in different cultural media, a single-harvested cultivar Jiangshujiao and a double-harvested cultivar Fenghongzao of *Zizania latifolia* were cultured in reed sediment substrate and soil with different Pb²⁺ concentrations. The changes of some morphological, physiological and biochemical indexes of the *Zizania* plant and the Pb²⁺ residues in *Zizania* galls were investigated. The results showed that contents of soluble protein, protective enzyme activities, area and chlorophyll content of functional leaves and net photosynthetic rate ascended under low concentration of Pb²⁺ treatment and descended along with the increase of Pb²⁺ concentrations, while the content of proline ascended all along. Contents of soluble protein and proline were lower but the functional leaf area was higher observably in leaves of plants grown in reed sediment substrate than those in soil in the same concentration of Pb²⁺ stress. The Pb²⁺ residues in *Zizania* galls were lower than in products of other vegetable. Reed sediment substrate treatments reduced the Pb²⁺ residues in *Zizania* galls significantly, comparing with soil treatments. The result shows that the *Zizania* galls were more secure when cultured in reed sediment substrate.

Key words: *Zizania latifolia*; lead; residue; cultural media

Pb²⁺ 是一种重要的环境污染物。有关 Pb²⁺ 对动物和人的影响已有大量的研究报道 (Shen et al, 1998)。Pb²⁺ 进入土壤后会产生明显的生物效应, 可导致植物特别是根部中毒, 植株枯萎死亡等 (孟

收稿日期: 2008 - 07 - 10; 修回日期: 2008 - 09 - 18

基金项目: 国土资源部与江苏省政府合作项目 [(2003) 019-01]; 江苏省农业三项工程项目 [sx (2005) 089]

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

昭福等, 2001)。人们越来越关注 Pb^{2+} 对植物生长的影响和在植物体内的积累转移 (江行玉和赵可夫, 2002), 黄亮等 (2002) 认为水生植物对重金属具有较强的吸收积累能力。但在前期的研究中发现, 在苇末基质栽培下, 茭白 (*Zizania latifolia* Turcz.) 的产品器官肉质茎对重金属 Cd^{2+} 的积累率较低, 且品种间存在差异 (江解增等, 2007)。本试验中采用苇末和土壤两种栽培介质种植, 进行不同浓度 Pb^{2+} 胁迫处理, 对茭白生长过程中部分形态和生理指标及其产品器官中 Pb^{2+} 的残留量进行了比较研究, 期望为我国特色水生蔬菜茭白的安全生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 种植管理

试验在扬州大学进行。

2005年4月12日, 以镇江造纸厂生产的蔬菜专用型“苇末基质” (Pb^{2+} 含量 $39.00 \mu g \cdot kg^{-1}$, pH 7.87) 和取自扬州大学水生蔬菜试验田的土壤 (Pb^{2+} 含量 $0.17 mg \cdot kg^{-1}$, pH 7.54) 为栽培介质, 均按 20 cm 厚度铺设到实验水池。每个水池长 1.5 m, 宽 1 m, 深 0.5 m, 灌自来水至 30 cm 处并划线, 在试验过程中通过不断灌水保持水位。

5月10日, 分别将单季茭品种‘蒋墅茭’和双季茭品种‘葑红早’的小墩定植于水泥池中, 每小墩 5 株小苗, 间距为 30 cm \times 35 cm, 每池中栽两品种各 6 墩, 品种间用滤网分隔。

茭白植株返青成活长出新叶后, 于 5 月 28 日, 按栽培基质、土壤和水的总体积为基准, 设置 Pb^{2+} 浓度分别为 250、500、1 000、2 000 $mg \cdot L^{-1}$, 向池中缓慢投放高浓度的 $Pb(NO_3)_2$ 母液, 并搅拌均匀; 以不投 Pb^{2+} 为空白对照。3 次重复。

分别于茭白的返青和分蘖期按 $225 kg \cdot hm^{-2}$ 用量施入尿素, 在孕茭期 3 周以前按 $375 kg \cdot hm^{-2}$ 用量施入 45% 三元复合肥。

在水池上方 2.5 ~ 3.5 m 处覆盖塑料薄膜防雨。

1.2 样品处理以及测定

一次分蘖期 (6 月 5 日) 分别取各处理植株的倒 3 片 (从顶叶起) 功能叶片, 测定可溶性蛋白和脯氨酸含量, 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 (杨居荣等, 1996; 李兆君等, 2004)。田间封行期 (7 月 13 日) 测定各处理植株典型茎蘖的倒 3 片功能叶中部的叶绿素含量和净光合速率 (江解增等, 2007)。二次分蘖期 (8 月 6 日) 测定各处理植株的株高、分蘖数和倒 3 片功能叶叶面积 (按前期预备试验得到经验公式为“长 \times 宽 $\times 0.78$ ”)。各处理均 6 次重复。

秋茭采收盛期 (蒋墅茭为 9 月 15 日, 葑红早为 10 月 5 日), 在各处理中随机选取 3 支肉质茎, 剥除叶鞘, 分别称取鲜样, 切片置烘箱中 105 $^{\circ}C$ 杀青 30 min, 75 $^{\circ}C$ 烘至恒重, 称取干样, 粉碎机粉碎 100 目过筛后, 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 Pb^{2+} 含量。

2 结果与分析

2.1 Pb^{2+} 对茭白株高、分蘖数、叶面积的影响

由表 1 可以看出, 两茭白品种的株高、分蘖数及倒 3 片功能叶的叶面积等形态学指标均随 Pb^{2+} 胁迫处理浓度的升高而呈下降趋势, 其中株高在不同浓度及不同介质间均无显著差异, 分蘖数在不同浓度间差异达显著水平, 但在不同栽培介质间差异不显著, 倒 3 片功能叶的叶面积则表现为不同浓度及不同介质间均达显著差异, 说明高浓度 Pb^{2+} 胁迫处理能抑制茭白的生长, 不同栽培介质间以苇末基质处理受到的影响较小, 以倒 3 片功能叶叶面积的反应最明显。

表 1 Pb²⁺对茭白株高、叶面积、分蘖数的影响

Table 1 Effect of Pb²⁺ on the plant height, leaf area and tiller number of different Zizania cultivars

品种 Cultivar	Pb ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	株高 /cm Plant height		分蘖数 Tiller number		叶面积 /cm ² Leaf area	
		茭末基质 Reed substrate	土壤 Soil	茭末基质 Reed substrate	土壤 Soil	茭末基质 Reed substrate	土壤 Soil
蒋墅茭 Jiangshujiao	0	185.7a/a	179.4a/a	16.3a/a	14.9a/a	407.7a/a	333.2a/b
	250	190.7a/a	186.3a/a	16.7a/a	15.8a/a	370.3a/a	320.2a/b
	500	186.6a/a	182.7a/a	14.5a/a	14.5a/a	364.5ab/a	315.3a/b
	1 000	183.2a/a	178.7a/a	13.4ab/a	13.5ab/a	325.4b/a	289.8ab/b
	2 000	176.1a/a	171.2a/a	12.7b/a	12.4b/a	287.5c/a	244.5b/b
葑红早 Fenghongzao	0	191.4a/a	184.4a/a	15.2a/a	14.6a/a	414.4a/a	342.2a/b
	250	188.3a/a	186.2a/a	15.6a/a	14.8a/a	402.7a/a	334.7a/b
	500	192.4a/a	189.3a/a	14.8a/a	14.1a/a	371.5a/a	321.8a/b
	1 000	190.7a/a	178.7a/a	12.3b/a	13.2ab/a	331.4b/a	298.9a/b
	2 000	184.5a/a	173.6a/a	11.8b/a	12.6b/a	327.3b/a	255.4b/b

注：P 0.05, (相同栽培介质的不同浓度间) / (相同浓度的不同栽培介质间)。下同。
Note: (Significance is analyzed in the same cultural media with different concentration) / (Significance is analyzed in the same concentration with different cultural media) at 0.05 levels The same below.

2.2 Pb²⁺处理对茭白保护酶活性的影响

由表 2可以看出，两茭白品种叶片中 POD、PPO、PAL、SOD等保护酶的活性在 Pb²⁺胁迫处理下总体呈先上升后下降的趋势，说明几种保护酶在受到 Pb²⁺胁迫后出现某种程度的抗逆反应，但随着 Pb²⁺胁迫浓度的进一步增加，毒害作用加强，保护酶的结构受到破坏，活性下降；不同保护酶活性上升幅度及最大值与 Pb²⁺胁迫浓度的对应值有所不同，表明不同保护酶的抗逆反应存在不同的生理机制。

在不同浓度的 Pb²⁺胁迫下，不同栽培介质处理间以茭末基质栽培处理的测定值高于土壤栽培处理，部分达到差异显著水平，说明在茭末基质栽培条件下，茭白植株体内保护酶的抗逆反应较强，茭白生长受到的毒害作用较小，与上述形态学指标的变化趋势相似。

表 2 Pb²⁺对茭白叶片保护酶活性的影响

Table 2 Effect of Pb²⁺ stress on the activities of some protective enzymes in leaves of Zizania latifolia

品种 Cultivar	Pb ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	POD / (OD ₄₇₀ · g ⁻¹ · min ⁻¹)		PPO / (OD ₄₉₅ · g ⁻¹ · min ⁻¹)		PAL / (OD ₂₉₀ · g ⁻¹ · min ⁻¹)		SOD / (OD ₅₆₀ · g ⁻¹ · min ⁻¹)	
		茭末基质 Reed substrate	土壤 Soil	茭末基质 Reed substrate	土壤 Soil	茭末基质 Reed substrate	土壤 Soil	茭末基质 Reed substrate	土壤 Soil
蒋墅茭 Jiangshujiao	0	6.1c/a	5.7b/a	5.2c/a	5.1a/a	8.2d/a	8.2b/a	3.9ab/a	3.3ab/a
	250	9.3b/a	7.6a/b	6.5bc/a	6.0a/a	12.9b/a	9.9ab/b	4.1ab/a	3.9a/a
	500	12.0a/a	7.8a/b	6.6bc/a	6.3a/a	15.1a/a	10.7a/b	4.8a/a	3.7a/b
	1 000	10.1b/a	8.0a/b	10.3a/a	6.9a/b	10.6c/a	8.7b/b	3.6b/a	2.7b/b
	2 000	8.5bc/a	7.2a/b	7.5b/a	7.0a/a	10.7c/a	8.6b/b	3.5b/a	2.6b/b
葑红早 Fenghongzao	0	6.3c/a	5.4b/a	5.6b/a	5.9b/a	12.3b/a	11.9ab/a	4.0a/a	3.5a/a
	250	12.0a/a	7.6a/b	7.7a/a	6.3a/b	13.5ab/a	12.7a/a	4.2a/a	3.7a/a
	500	10.4b/a	8.4a/b	7.9a/a	6.9a/b	14.8a/a	13.0a/b	3.9a/a	4.0a/a
	1 000	9.4bc/a	5.3b/b	7.9a/a	7.0a/a	11.7b/a	10.4b/b	3.9a/a	3.4a/a
	2 000	9.1bc/a	5.2b/b	7.1ab/a	6.3a/a	9.1c/b	10.4b/a	3.9a/a	3.4a/a

2.3 Pb²⁺对茭白叶片生理指标的影响

由表 3可以看出，两茭白品种叶片中可溶性蛋白和叶绿素的含量及叶片净光合速率同样随 Pb²⁺胁迫浓度的上升而呈先稍有上升后明显下降的变化趋势，脯氨酸含量则随 Pb²⁺处理浓度的增加而持

续上升, 部分达差异显著水平。不同栽培介质间各指标有所不同, 以苇末基质处理的叶片可溶性蛋白含量多数低于土壤处理, 这可能与叶面积较大有关; 脯氨酸含量则以苇末基质处理均显著低于土壤处理, 说明茭白在苇末基质栽培条件下受毒害的程度较轻; 但叶片叶绿素含量及净光合速率在不同栽培介质间基本上没有差异, 则表明茭白叶片中叶绿体对高浓度 Pb^{2+} 胁迫的耐受力较强。

表 3 Pb^{2+} 对茭白叶片生理指标的影响Table 3 Effect of Pb^{2+} stress on parts of physiological indexes in leaves of *Zizania latifolia*

品种 Cultivar	Pb^{2+} / ($mg \cdot L^{-1}$)	可溶性蛋白 / ($mg \cdot g^{-1}$ FW) Soluble protein		脯氨酸 / ($\mu g \cdot g^{-1}$ FW) Proline		叶绿素 / (SPAD) Chlorophyll		净光合速率 / ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) Pn	
		苇末基质	土壤	苇末基质	土壤	苇末基质	土壤	苇末基质	土壤
		Reed substrate	Soil	Reed substrate	Soil	Reed substrate	Soil	Reed substrate	Soil
蒋墅茭 Jiangshujiao	0	23.2c/b	29.9ab/a	393.2e/b	550.3c/a	43.2a/a	41.9a/b	12.5b/a	12.5b/a
	250	35.3a/b	46.8a/a	557.5d/b	619.4c/a	45.5a/a	42.8a/a	14.6a/a	15.9a/a
	500	36.4a/b	48.7a/a	635.3c/b	757.1b/a	41.4b/a	41.6a/a	12.4b/a	11.6b/a
	1 000	26.9b/b	32.7b/a	650.2b/b	883.2a/a	41.6b/a	40.9a/a	9.1c/a	9.0c/a
	2 000	25.9b/a	25.9c/a	682.3a/b	884.6a/a	41.5b/a	39.9a/a	8.8c/a	7.3d/a
葑红早 Fenghongzao	0	25.4b/b	27.7b/a	622.1d/a	609.5d/a	44.5a/a	43.8a/a	16.2a/a	15.9a/a
	250	30.0a/a	29.7a/a	630.3d/b	669.1c/a	44.9a/a	42.7ab/b	16.4a/a	16.7a/a
	500	20.6c/b	27.3ab/a	685.2c/b	919.2b/a	43.3ab/a	41.7ab/b	11.2b/b	11.3b/a
	1 000	20.5c/b	25.5b/a	775.9b/b	972.6a/a	42.6ab/a	40.8b/b	10.3b/a	9.5c/a
	2 000	19.7c/b	24.4b/a	811.2a/b	986.1a/a	41.4b/a	40.1b/a	9.2c/a	8.5c/a

2.4 肉质茎中 Pb^{2+} 残留量比较

由表 4可以看出, 茭白产品器官肉质茎中 Pb^{2+} 的残留量随 Pb^{2+} 处理浓度的升高而显著增加, 不同栽培介质处理间以土壤栽培下的残留量显著高于苇末基质栽培。品种间以蒋墅茭显著高于葑红早。同时可以看出, 茭白产品器官对 Pb^{2+} 的吸收能力较弱, 即使在 Pb^{2+} 500 $mg \cdot L^{-1}$ 的较高浓度胁迫下, 各处理 Pb^{2+} 残留量均未超过无公害蔬菜产品国家标准 (GB 18406.1-2001) 的限量值 (200 $\mu g \cdot kg^{-1}$); 只有在 Pb^{2+} 处理浓度达到 1 000 $mg \cdot L^{-1}$ 以上时, 才有土壤栽培的蒋墅茭 Pb^{2+} 残留量超标, 而葑红早即使在 Pb^{2+} 2 000 $mg \cdot L^{-1}$ 的高浓度胁迫下仍未出现 Pb^{2+} 残留量超标, 既说明品种间存在差异, 也说明在苇末基质种植茭白相对比较安全。

表 4 不同浓度 Pb^{2+} 处理下茭白肉质茎中 Pb^{2+} 残留量Table 4 Pb^{2+} residues in *Zizania gall* under different concentration of Pb^{2+} / ($\mu g \cdot kg^{-1}$ FW)

Pb^{2+} / ($mg \cdot L^{-1}$)	蒋墅茭 Jiangshujiao		葑红早 Fenghongzao	
	苇末基质	土壤	苇末基质	土壤
	Reed substrate	Soil	Reed substrate	Soil
0	0.7d/a	0.4e/a	1.3d/a	0.5d/a
250	48.8 c/b	103.1d/a	34.5c/b	65.7c/a
500	55.1bc/b	126.2c/a	49.3bc/b	88.6b/a
1 000	68.4b/b	288.9b/a	58.8b/b	95.4b/a
2 000	165.1a/b	484.6a/a	98.5a/b	130.5a/a

3 讨论

茭白植株在有机质含量较高的苇末基质和有机质含量较低的土壤中生长, 在较高浓度的 Pb^{2+} 胁迫下, 其形态学及生理生化指标总体表现为苇末基质栽培下受毒害程度较轻, 尤其是产品器官中

Pb^{2+} 的残留量显著降低，证实了前期 Cd^{2+} 胁迫试验（江解增等，2007）的结果，当然，土壤栽培通过大量施用有机肥料是否也能起到类似的结果，以及合理且可行的土壤有机质含量是否能有效地减轻重金属污染，使沿湖河区域种植的茭白产品器官 Pb^{2+} 残留量仍能达到无公害农产品标准，尚需作进一步研究探索。

在较高浓度的 Pb^{2+} 胁迫下，茭白产品器官肉质茎中 Pb^{2+} 的积累能力总体较低，结合前期的 Cd^{2+} 胁迫试验结果（江解增等，2007），认为茭白肉质茎对 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 等重金属的积累能力较低，这可能是由茭白肉质茎膨大过程始终被叶鞘包裹、几乎没有蒸腾流带动重金属离子转运，且其膨大速率较高（江解增等，2005）等特殊性质所致。杜应琼等（2003）通过对几种叶菜类蔬菜的水培研究发现，当 Pb^{2+} 处理浓度达到 $1.0\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，几乎所有供试材料中的残留量都已经超过国家标准（GB 14935-94， $200\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}\text{ FW}$ ）。因此，在可能受 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 等重金属污染的沿湖河区域制定作物种植计划时，选择种植茭白将具有较高的安全性；而不同茭白品种的产品器官肉质茎对不同重金属积累能力存在差异，还要考虑品种的选择。

References

- Du Ying-qiong, He Jiang-hua, Chen Jun-jian, Wei Xiu-gua. 2003. Effects of heavy metals of Pb, Cd and Cr on the growth of vegetables and their uptake. *Acta Horticulturae Sinica*, 30 (1): 51 - 55. (in Chinese)
- 杜应琼, 何江华, 陈俊坚, 魏秀国. 2003. 铅、镉和铬在叶类蔬菜中的累积及对其生长的影响. *园艺学报*, 30 (1): 51 - 55.
- 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 Sciences*, 15 (6): 1 - 4. (in Chinese)
- 黄亮, 李伟, 吴莹, 张经, 周菊珍. 2002. 长江中游若干湖泊中水生植物体内重金属分布. *环境科学研究*, 15 (6): 1 - 4.
- Jiang Jie-zeng, Cao Bei-sheng, Huang Kai-feng, Zhang Qiang, Han Xiu-qin, Zhu Qing-sen. 2005. Changes of NSC, enzymes and endogenous hormones during *Zizania* gall's swelling. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (1): 134 - 137. (in Chinese)
- 江解增, 曹磊生, 黄凯丰, 张强, 韩秀芹, 朱庆森. 2005. 茭白肉质茎膨大过程中的糖代谢与激素含量变化. *园艺学报*, 32 (1): 134 - 137.
- Jiang Jie-zeng, Huang Kai-feng, Yang Kai, Bian Xiao-dong, Huang Dong-lin, Cao Bei-sheng, Guo Shi-rong. 2007. Influence of cadmium on metabolism and its residual quantity in gall of *Zizania latifolia* cultured in reed sediment substrate. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (2): 407 - 410. (in Chinese)
- 江解增, 黄凯丰, 杨凯, 卞晓东, 黄东林, 曹磊生, 郭世荣. 2007. 茭白对苇末基质中镉的生理反应及其镉的残留. *园艺学报*, 34 (2): 407 - 410.
- Jiang Xing-yu, Zhao Ke-fu. 2002. The distribution of Pb and Pb-stressed relative proteins in Pb-polluted *Phragmites australis* seedlings. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 28 (3): 169 - 174. (in Chinese)
- 江行玉, 赵可夫. 2002. 铅污染下芦苇体内铅的分布和铅胁迫相关蛋白. *植物生理与分子生物学学报*, 28 (3): 169 - 174.
- Li Zhao-jun, Ma Guo-rui, Xu Jian-min, He Yan. 2004. Physiological and biological mechanism of plant for adapt 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.
- Meng Zhao-fu, Zhang Zeng-qiang, Xue Cheng-ze, Tang Xing-bao. 2001. The indication of heavy metals phyto-availability in sewage sludges and soils using plant seedling method. *Environmental Chemistry*, 20 (2): 129 - 137. (in Chinese)
- 孟昭福, 张增强, 薛澄泽, 唐新保. 2001. 用幼苗法指示污泥和土壤中重金属的植物有效性. *环境化学*, 20 (2): 129 - 137.
- Shen Xiao-ming, Yan Chong-huai, Guo Di. 1998. Low-level prenatal lead exposure and neurobehavioral development of children in the first year of life: A prospective study in Shanghai. *Environment Research*, 79 (1): 1 - 8.
- Yang Ju-rong, He Jian-qun, Zhang Guo-xiang, Mao Xian-qiang. 1996. Reaction of same enzyme actives 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.