

不同蒸腾作用对番茄幼苗吸收 Pb、Cd 的影响

张永志, 赵首萍, 徐明飞, 郑纪慈

浙江省农业科学院/农产品质量标准研究所, 浙江 杭州 310021

摘要: 蔬菜中重金属污染是人们关注的热点问题之一, 其中 Pb、Cd 的污染在我国种植蔬菜的土壤中较为突出, 蔬菜对 Pb、Cd 的吸收除了受到土壤中 Pb、Cd 含量的影响之外, 蔬菜本身的蒸腾作用是否会对吸收过程产生作用。通过在人工气候箱中, 调节环境的温度和湿度, 形成不同的环境蒸汽压, 使植物产生不同的蒸腾作用, 利用水培实验研究了在不同蒸腾作用下两个番茄品种 (*Lycopersicon esculentu*, 品种名分别为 FA-189 和合作 903) 的幼苗对重金属 Pb、Cd 的吸收富集规律。结果表明, 高蒸腾作用下植株 Cd 和 Pb 含量比低蒸腾作用下分别增加了 1.47 ~ 1.73 倍和 1.25 ~ 1.75 倍, 单株的积累量则分别增加了 1.71 ~ 3.18 倍和 1.67 ~ 2.21 倍。通过分析蒸腾水量对吸收 Pb、Cd 的影响, 表明番茄幼苗通过蒸腾作用拉力吸收进入体内的重金属的量占总吸收量的比例极小, 一般在 0.000 8% ~ 0.2% 之间, 说明番茄幼苗对 Pb 和 Cd 的吸收主要为代谢吸收。同时在比较了番茄对 Pb 和 Cd 的被动吸收比例时, 发现 Pb 较 Cd 的比例要高几倍到几十倍, 说明番茄对 Pb 和 Cd 的吸收富集规律可能存在不同的机理。

关键词: 蒸腾作用; 铅; 镉; 番茄幼苗

中图分类号: Q945.79; S631.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0515-04

土壤重金属污染对蔬菜质量安全的影响受到人们的极大关注, 我国蔬菜种植土壤的重金属污染以 Pb、Cd 污染最为突出, 尤其是在市郊的蔬菜基地^[1-3]。蔬菜对重金属的吸收富集规律是多年来的研究热点之一。在大多数研究中, 主要通过调查或者试验模拟等研究方法, 对不同蔬菜种类的不同部位 (如根、茎、叶等) 的重金属含量进行测定, 研究的是重金属污染本身对富集规律的影响^[4-6], 而研究蔬菜蒸腾作用等生理活动对重金属吸收富集影响的则鲜见报导。有研究表明植物的蒸腾作用在对重金属的吸收过程中具有重要作用, 吴启堂认为植物吸收重金属的影响参数中, 植物吸水量是除了根系表面积之外的重要参数之一^[7], 黄益宗等人研究认为玉米总吸收镉的量与水分蒸腾量之间呈极显著的线性正相关关系^[8]。F H Tani 等人对小麦和荞麦在不同蒸腾速率下对 Cu、Zn 的吸收规律进行了研究, 结果表明在高蒸腾速率的处理中, 植株不同部位 Cu、Zn 含量都比低蒸腾速率处理高^[9-10]。本文在人工气候箱中, 研究了不同蒸腾系数下番茄幼苗对 Pb、Cd 的吸收富集状况, 为阐明蒸腾作用在重金属的吸收中的作用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在实验室内利用人工气候箱采用水培的方法, 通过在 Hogland's 营养液中添加 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液或者 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 溶液, 设置对照 (CK)、低质量浓度

(T1)、高质量浓度 (T2) 3 个处理, 每个处理重复 3 次。使不同处理培养液中 Pb 质量浓度分别为: 0、40、400 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, Cd 质量浓度分别为: 0、0.03、0.30 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。其中用于添加 Pb 的 Hogland's 营养液为无磷酸二氢钾的不完全营养液, 以避免产生沉淀。

用于试验的番茄 (*Lycopersicon esculentu*) 品种为合作 903 和 FA-198, 种子由浙江省农业科学院蔬菜研究所提供。

1.2 试验方法

在人工气候箱内通过设置高相对湿度 (HR) 和低相对湿度 (LR) 两种条件, 对应于低蒸腾作用和高蒸腾作用两种效应。其中高相对湿度时的参数设置为: 白天时长为 14 h, 相对湿度为 85%, 温度为 26 $^{\circ}\text{C}$, 夜间时长为 10 h, 相对湿度为 70%, 温度为 20 $^{\circ}\text{C}$ 。低相对湿度时的参数设置为: 白天时长为 14 h, 相对湿度为 65%, 温度为 26 $^{\circ}\text{C}$, 夜间时长为 10 h, 相对湿度为 55%, 温度为 20 $^{\circ}\text{C}$ 。

将配制好的处理溶液装入 50 mL 的塑料离心管中, 在离心管的盖子上打孔。将番茄种子进行催芽育苗, 并长到两叶一心后, 通过离心管盖子上的孔将幼苗移入离心管中进行水培, 一个离心管为一个重复, 每个重复种植一株幼苗。在生长过程中每两天更换一次水培溶液, 共培养 16 d, 其中 Pb 处理试验中, 每隔两天更换成 Hogland's 完全营养液进行交替培养。每次更换水培溶液后以及在下一次更换水培溶液前进行称质量, 重量差 (C_1) 为植株在

基金项目: 浙江省重点科研项目 (2005C22006); 浙江省农业科学院 2007 年创新提升工程项目

作者简介: 张永志 (1976 年生), 男 (瑶族), 助理研究员, 硕士, 主要从事农产品质量安全研究。E-mail: zyz317@sina.com.cn

收稿日期: 2009-03-09

期间的水分蒸腾量以及水分蒸发量。并设置无番茄植株的对照离心管, 同样进行称质量, 重量差 (C_0) 为水分蒸发量, 将 C_1 减 C_0 即为番茄植株的水分蒸腾量。

水培 16 d 后, 收获番茄植株, 称取鲜物质量后, 烘干, 用于测定重金属含量。

1.3 重金属含量的测定

Pb、Cd 的测定采用石墨炉原子吸收法进行测定, 测定方法分别参照《GB/T 5009.12-2003 食品中铅的测定》、《GB/T 5009.15-1996 食品中镉的测定方法》^[11]。

2 结果和讨论

2.1 不同蒸腾系数对番茄吸收 Pb、Cd 的影响

空气湿度对植物的蒸腾作用产生影响, 试验结果表明, 合作 903 和 FA-189 在无重金属胁迫的情况下, 蒸腾量 (TR) 分别为 0.14 ~ 5.17 g·株⁻¹·d⁻¹ 和 0.32 ~ 10.61 g·株⁻¹·d⁻¹, 并且随着栽培时间的延长, 番茄植株的蒸腾量会不断增加。从图 1、图 2 可以看出, 在高相对湿度 (HR) 下植株的蒸腾量小于低相对湿度 (LR)。由此可以看出, 通过调节环境的空气湿度可以调控植物蒸腾作用。

水分蒸腾在植物吸收营养成分中起着重要作用, 由于蒸腾作用导致的水势梯度在植物体内产生蒸腾拉力, 促进木质部导管中矿质和有机质的运输^[12]。通过分析番茄幼苗在不同蒸腾作用下对不同浓度 Pb、Cd 的吸收, 结果见表 1、表 2。

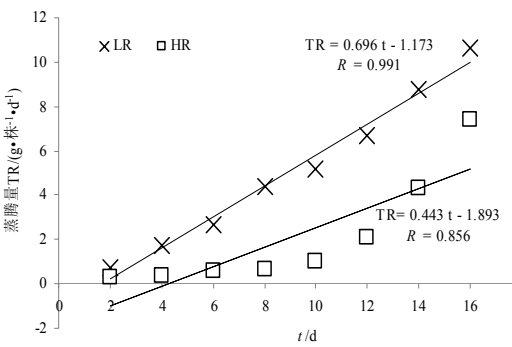


图 1 FA-189 在不同相对湿度下蒸腾量随时间变化
Fig. 1 The change of transpiration amounts of FA-189 with time under different relative humidity

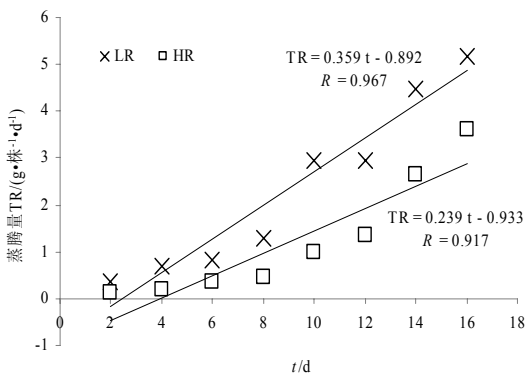


图 2 合作 903 在不同相对湿度下蒸腾量随时间变化
Fig. 2 The change of transpiration amounts of Hezuo903 with time under different relative humidity

表 1 不同蒸腾作用对番茄幼苗吸收 Cd 的影响

Table 1 Effect of transpiration rates on the absorption Cd in seedling of tomato

处理	蒸腾作用	鲜样中镉含量/(mg·kg ⁻¹)		积累量/(mg·株 ⁻¹)		蒸腾系数/(g·g ⁻¹)	
		FA-189	合作 903	FA-189	合作 903	FA-189	合作 903
CK	低蒸腾作用	0.08a	0.09a	0.16a	0.10a	187.3a	215.2a
	高蒸腾作用	0.12b	0.14b	0.33b	0.31b	411.6b	302.0b
T1	低蒸腾作用	87.94a	80.1a	84.72a	42.7a	261.4a	303.5a
	高蒸腾作用	128.84b	138.3b	144.88b	131.9a	537.2b	423.9b
T2	低蒸腾作用	269.19a	217.7a	112.28a	47.3a	351.6a	336.7a
	高蒸腾作用	457.26b	442.6b	298.13b	150.3b	697.2b	593.8b

注: 数字后的英文字母为不同蒸腾作用下的显著性 ($\alpha = 0.05$) 检验结果。

表 2 不同蒸腾作用对番茄幼苗吸收 Pb 的影响

Table 2 Effect of transpiration rates on the absorption Pb in seedling of tomato

处理	蒸腾作用	鲜样中铅含量/(mg·kg ⁻¹)		积累量/(mg·株 ⁻¹)		蒸腾系数/(g·g ⁻¹)	
		FA-189	合作 903	FA-189	合作 903	FA-189	合作 903
CK	低蒸腾作用	0.58a	0.47a	1.2a	0.56a	187.3a	215.2a
	高蒸腾作用	0.46a	0.82b	1.4a	1.80b	411.6b	302.0b
T1	低蒸腾作用	3254.1a	3869.8a	735.1a	494.1a	188.8a	243.6a
	高蒸腾作用	5685.1b	5591.9b	1563.3b	875.0b	389.1b	498.6b
T2	低蒸腾作用	8069.9a	13374.4a	726.3a	582.2a	225.1a	292.1a
	高蒸腾作用	10520.4b	16631.3b	1608.3b	975.0b	385.8b	516.8b

注: 数字后的英文字母为不同蒸腾作用下的显著性 ($\alpha = 0.05$) 检验结果。

从表 1 和表 2 可以看出，2 个番茄品种对 Pb、Cd 的吸收受蒸腾作用的影响为正相关关系，随着蒸腾作用的增强，番茄幼苗 Pb、Cd 的积累量及其含量都相应增加，2 个品种在各个质量浓度处理中，不同蒸腾作用之间的差异都达到了显著性水平，高蒸腾作用下植株 Cd 和 Pb 含量比低蒸腾作用下分别增加了 1.47 ~ 1.73 倍和 1.25 ~ 1.75 倍，单株的积累量则分别增加了 1.71 ~ 3.18 倍和 1.67 ~ 2.21 倍。从蒸腾系数可以看出，随着重金属浓度的升高，蒸腾系数不断增大，高蒸腾作用时的蒸腾系数比低蒸腾作用时高，差异也达到了显著性水平。

2.2 蒸腾作用对番茄吸收 Pb、Cd 的贡献率

由于蒸腾作用引起水分的向上运输，而溶解于其中的重金属也会随着水分的运输进入植物体内，植物细胞膜具有代谢吸收和被动吸收等方式吸收环境介质中的物质，通过分析蒸腾水量所含的重金属与积累量之间的关系，可以看出蒸腾作用在番茄幼苗吸收 Pb、Cd 时的贡献率。结果见表 3、表 4。

从表 3、表 4 可以看出，由于蒸腾作用所吸收的水分，在番茄对 Pb、Cd 的吸收上的贡献率是极低的，一般在 0.000 8% ~ 0.2% 之间，虽然高蒸腾作用时，该贡献率会有所增加，但是总的比例都在 0.2% 以下。由此可以看出，番茄在对 Pb、Cd 的吸收中主要以代谢吸收为主，这与陈英旭等人认为植物对 Pb 的吸收为被动吸收不同^[13]，说明不同种类的植物对 Pb 的吸收途径存在较大差别。但同时比较

表 3 和表 4 中的贡献率还可以看出，番茄对 Pb 的被动吸收比例较对 Cd 的比例要高几倍到几十倍，说明番茄对 Pb 和 Cd 的吸收富集规律存在不同的机理，具体的差异还有待进一步研究。

3 结论

实验结果表明，通过设置不同的空气相对湿度可以调控番茄幼苗的蒸腾作用强度。在不同蒸腾作用下，随着蒸腾作用的增强，番茄幼苗中的重金属 Pb、Cd 的含量增加，差异达到显著水平，同时番茄的蒸腾系数也相应增大。通过分析蒸腾水量与重金属积累量之间的关系，结果表明，番茄幼苗对 Pb、Cd 的吸收主要以代谢吸收为主。

参考文献：

[1] 曾希柏, 李莲芳, 梅旭荣. 中国蔬菜土壤重金属含量记来源分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2507-2517.
ZENG Xibai, LI Lianfang, MEI Xurong. Heavy metal content in soils of vegetable-growing lands in China and source analysis[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11):2507-2517.
[2] 孙静克, 宗良纲, 张晓萍, 等. 镉、铅污染土壤上雪里蕻对不同施肥调控的生理生化响应[J]. 江苏农业科学, 2007, (2): 217-221.
SUN Jingke, ZONG lianggang, ZHANG Xiaoping, et al. Response of physiology and biochemistry of potherb mustard from different fertilization application in Cd and Pb polluted soil[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2007, (2): 217-221.
[3] 周建利, 陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(5): 476-480.
ZHOU Jianli ,CHEN Tongbin. Situation and prospect of research on

表 3 蒸腾水量对番茄幼苗吸收 Cd 的贡献率

Table 3 The contribution rates of transpiration amounts on absorption of Cd in seedling of tomato

处理	蒸腾作用	蒸腾水量/(g·株 ⁻¹)		积累量/(mg·株 ⁻¹)		贡献率/%	
		FA-189	合作 903	FA-189	合作 903	FA-189	合作 903
CK	低蒸腾作用	33.58a	19.5a	0.16a	0.10a	—	—
	高蒸腾作用	81.53b	51.6b	0.33b	0.31b	—	—
T1	低蒸腾作用	21.26a	11.3a	84.72a	42.7a	0.0008	0.0008
	高蒸腾作用	63.61b	25.2b	144.88b	131.9a	0.013	0.006
T2	低蒸腾作用	11.84a	5.1a	112.28a	47.3a	0.0003	0.0003
	高蒸腾作用	33.02b	15.9b	298.13b	150.3b	0.003	0.003

注：数字后的英文字母为不同蒸腾作用下的显著性（α = 0.05）检验结果。

表 4 蒸腾水量对番茄幼苗吸收 Pb 的贡献率

Table 4 The contribution rates of transpiration amounts on absorption of Pb in seedling of tomato

处理	蒸腾作用	蒸腾水量/(g·株 ⁻¹)		积累量/(mg·株 ⁻¹)		贡献率/%	
		FA-189	合作 903	FA-189	合作 903	FA-189	合作 903
CK	低蒸腾作用	33.58	19.5	1.2a	0.56a	—	—
	高蒸腾作用	81.53	51.6	1.4a	1.80b	—	—
T1	低蒸腾作用	3.42	2.9	735.1a	494.1a	0.02	0.02
	高蒸腾作用	11.45	7.6	1563.3b	875.0b	0.03	0.03
T2	低蒸腾作用	2.67	1.8	726.3a	582.2a	0.1	0.1
	高蒸腾作用	8.59	4.6	1608.3b	975.0b	0.2	0.2

注：数字后的英文字母为不同蒸腾作用下的显著性（α = 0.05）检验结果。

- heavy metal pollution in vegetables and soils for vegetable cultivation in urban areas of China[J]. Journal of Hubei Agricultural College, 2002, 22(5): 476-480.
- [4] 彭玉魁, 赵锁芳, 王波. 陕西省大中城市郊区蔬菜矿物质元素及重金属元素含量研究[J]. 西北农业学报, 2002, 11(1): 97-100.
- PENG Yukui, ZHAO Suolao, WANG Bo. A research on mineral nutrients and heavy metal elements in vegetables from suburb of big or medium cities of Shaanxi province[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2002, 11(1): 97-100.
- [5] 岳振华, 张富强, 胡瑞芝, 等. 菜园土中重金属和氟的迁移积累及蔬菜对重金属的富集作用[J]. 湖南农学院学报, 1992, 18(4): 929-936.
- YUE Zhenhua, ZHANG Fuqiang, HU Ruizhi, et al. Migration and accumulation of heavy metals and fin garden soils and vegetables[J]. Journal of Hunan Agricultural University, 1992, 18(4): 929-936.
- [6] 郭朝晖, 肖细元, 陈同斌, 等. 湘江中下游农田土壤和蔬菜的重金属污染[J]. 地理学报, 2008, (01): 5-13.
- GUO Zhaohui, XIAO Xiyuan, CHEN Tongbin, et al. Heavy metal pollution of soils and vegetables from midstream and downstream of Xiangjiang river[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, (01): 5-13.
- [7] 吴启堂, OREI J L M, GUCKERt A. 一个定量植物吸收土壤重金属的原理模型[J]. 土壤学报, 1994, 31(1): 68-75.
- WU Qitang, OREI J L M, GUCKERt A. A mechanistic mathematical model for predicting the uptake of heavy metals by plants[J]. Acta Pedologica Sinica, 1994, 31(1): 68-75.
- [8] 黄益宗, 朱永官, 童依平, 等. 土壤水分变化对玉米苗期吸收积累镉的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2832-2836.
- HUANG Yizong, ZHU Yongguan, TONG Yiping, et al. Absorption and accumulation of Cd in corn: effects by soil water content[J]. Acta ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2832-2836.
- [9] TANI F H, BARRINGTON S. Zinc and copper uptake by plants under two transpiration rates. Part I. Wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Environmental Pollution, 2005, (138): 538-547.
- [10] TANI F H, BARRINGTON S. Zinc and copper uptake by plants under two transpiration rates. Part II. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.)[J]. Environmental pollution, 2005, (138): 548-558.
- [11] 中华人民共和国国家标准. 食品卫生检验方法—理化部分(一)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 85-98, 111-120.
- China National Standards. Food Sanitary Inspection Methods-part 1: Physical And Chemical[S]. Beijing: Press of Chinese Standards, 2004: 85-98, 111-120.
- [12] 郝建军, 康宗利. 植物生理学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 125.
- HAO Jianjun, KANG Zongli. Plant Physiology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 125.
- [13] 陈英旭, 林琦, 陆芳, 等. 萝卜根系对环境重金属铅、镉富集的修复作用[J]. 浙江大学学报, 2000, 26(1): 61-66.
- CHEN Yingxu, LIN Qi, LU Fang, et al. Accumulation mechanism of Cd and Pb in raddish roots[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science), 2000, 26(1): 61-66.

Effect of transpiration rates on the absorption of Pb and Cd in seedling of tomato

Zhang Yongzhi, Zhao Shouping, Xu Mingfei, Zheng Jici

Institute of Quality Standard for Agro-products, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou, 310021, China

Abstract: The contamination of heavy metals in vegetable is one of the hotspot people focus on, as the Pb and Cd pollution in the soil of plant vegetables in China are serious. Besides the contents of Pb and Cd in soil affect that in the vegetables, whether the transpiration rate also influence the absorption of heavy metals by vegetables? In order to indicate the influence, the method of solution culture was carried out, the accumulation regularity of Pb and Cd by the seedlings of two kinds of tomatoes (*Lycopersicon esculentu*, FA-189, Hezuo903) were studied. The results indicated that with the increase of transpiration rate the absorption of Pb and Cd increased, and the accumulation of the heavy metals in individual plant under high rate were increased than low rate by 1.67~2.21 times and 1.71~3.18 times respectively. Study on the effect of transpiration water consumption on the absorb of Pb and Cd by seedling of tomato, a result can be drown that transpiration pull had tiny effect on the absorption of heavy metals, the proportion were between 0.000 8% and 0.2%, indicated that the absorption of Pb and Cd by seedling of tomato was mainly through the metabolic absorption.

Key words: transpiration; Pb; Cd; seedling of tomato