

番茄吸收和积累 Zn 能力的品种间差异^{*}

朱 芳^{1 2}, 杨中艺^{1 3}

(1 中山大学生物防治国家重点实验室, 广东 广州 510275)

2 中山大学化学与化学工程学院, 广东 广州 510275

3 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 以番茄为对象, 探讨 Zn 污染对策品种 (Zn-Pollution Safe Cultivar 简称 Zn-PSC) 存在的可能性和 PSC 育种的可行性, 以防止污染物经食物链危害人类健康。通过盆栽试验研究了 32 个番茄品种不同器官在 Zn 污染的土壤中积累 Zn 能力的差异。研究表明: ①在 Zn 胁迫 (552 mg kg^{-1}) 和对照中, 番茄根、茎、叶和果实 Zn 吸收积累规律均为: 根>茎>叶>果实, 番茄所有器官 Zn 质量分数均存在极显著的品种间差异 ($P < 0.01$), 其中果实 Zn 质量分数的变异范围分别为 $1.58 \sim 5.83 \text{ mg kg}^{-1}$ 和 $0.29 \sim 0.78 \text{ mg kg}^{-1}$; ②在 Zn 胁迫下, 供试品种的果实 Zn 质量分数超标率仅为 9.4%, 说明番茄是不易受 Zn 污染的农作物种类, 存在番茄的 Zn-PSC; ③番茄果实 Zn 质量分数品种效应的极显著性以及果实 Zn 质量分数的形态特征关联性初步表明番茄果实的 Zn 积累特性具有一定的遗传基础, 因而证明 PSC 育种是可行的。

关键词: 番茄; 受污染土壤; 锌吸收; 品种间差异; 污染对策品种

中图分类号: X17 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 05-0097-05

锌 (Zn) 是植物生长、动物及人生命活动必需的微量元素; 但当土壤中 Zn 质量分数超过一定限度时, 作物根部会受到严重损害, 根部的破坏使植物对水分和养分的吸收受到影响, 造成生长不良, 甚至死亡^[1]。人体通过食物链长期积累过量锌盐可抑制铜吸收而造成贫血、生长延迟、肝细胞中细胞色素氧化酶活力降低等中毒表现^[2]。就 Zn 而言, 工业废水农灌和污泥的农田施用是造成农田土壤 Zn 污染的主要途径, 长期施用会导致污染土壤含 Zn 量高出土壤背景值数十倍^[3]。为了解决土壤重金属污染问题, 国内外均开展了重金属污染土壤的生物修复技术研究, 但是大多数超富集植物的生物量很小, 生长也比较缓慢, 应用这些植物进行重金属污染土壤的修复一般需要十数年乃至数十年时间^[4]。因此, 有必要另寻途径有效降低因土壤重金属含量过高而引起的农产品污染风险。

研究表明, 农作物吸收积累重金属的能力在种间和种内均有较大差异^[5-12], 如果在已知或潜在受重金属污染土壤中进行农作物生产时, 利用农作物可食用部分吸收积累重金属能力的种或品种间的差异, 筛选可食用部分低量积累重金属 (重金属含量不超过国家食品卫生标准) 的种或品种用于农业生产, 可以为降低农产品受重金属污染风险提供有效

的手段。我们将具备这种特性的品种定义为“污染对策品种 (pollution-safe Cultivar 简称 PSC)”。

本研究以番茄为研究对象, 探讨了不同番茄品种对土壤 Zn 的吸收能力以及不同器官积累 Zn 水平的差异, 试图发现在一定 Zn 污染水平下果实 Zn 质量分数符合国家食品卫生标准的番茄 Zn-PSC, 为应用 PSC 策略降低番茄生产受土壤 Zn 污染风险的可行性提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤来自广东省清远市兆田农场, 按有机肥 菜土 河沙 = 3 : 6 : 1 混合而成。土壤经风干、压碎过 5 mm 筛, 用于盆栽试验。调配后的供试土壤 pH 值为 6.3 有机质质量分数为 6.55%, 全氮、全磷、全钾质量分数分别为 0.34%、0.55% 和 1.08%。Zn 质量分数为 72.8 mg kg^{-1} 。

供试番茄品种共 32 个, 本研究在结果的表述时不使用品种名, 只使用编号, 方法是以中度污染条件下根系 Zn 质量分数为序, 按降序进行编号。

1.2 研究方法

试验于 2003 年 9 月下旬在广东省清远市源潭镇兆田生态园的塑料大棚内进行。

* 收稿日期: 2005-09-12

基金项目: 高等学院博士学科点专项科研基金资助项目 (20020558004), 广东省自然科学基金重点资助项目 (021686)

作者简介: 朱芳 (1971 年生), 女, 讲师, 通讯联系人: 杨中艺, E-mail: adszyz@mail.sysu.edu.cn

将上述土壤装入直径 23.0 cm、深 20.0 cm 的塑料花盆中，每盆装土 5 kg。设置了中度 Zn 污染土壤和对照土壤两个处理，对照组直接使用调配好的土壤，中度污染土壤组是在每公斤土壤中加入相当于 500 mg Zn 的 ZnSO₄ 溶液充分混匀。定期测定了试验土壤中 Zn 的质量分数，全期平均质量分数分别为 72.8 mg kg⁻¹ 和 552 mg kg⁻¹，前者低于国家土壤环境质量标准（GB15618-1995）一级土壤的最大限值（Zn≤100 mg kg⁻¹），后者则超过了三级土壤的最大限值（Zn≤500 mg kg⁻¹），不适合用于种植食用的农产品。对照和处理组均设置 3 次重复。

从各番茄品种中精选种子，先用 w=2% 的 NaClO 消毒 20 min，于培养皿中铺纱布浸种发芽，待 50% 以上的种子露白，即播入育苗盘，全部出苗后（具 3~4 片真叶），选长势相近的番茄苗植入盆中，每盆 2~3 株。当苗高 20 cm、具 8~10 片真叶时（播种后 25 d 左右）定植，每盆保留壮苗 1 株。试验期间根据天气和植物生长情况适当浇水，全期氮、磷、钾施肥量分别为每盆 10、3 和 5 g，分 4 次施入。次年 2 月中旬采集供试各品种根、茎、叶和果实样品。

将所采集的番茄植株和果实样品洗净，根、茎、叶分开于 105℃ 烘干后称量，测其生物量，置干燥器中保存备用。果实样品洗净，风干外表水分

后直接称鲜质量，再采用搅拌机打成匀浆立即处理。样品前处理使用美国 O. I. CORPORATION 公司生产的 O. I. Analytical 7295 型微波消解系统，消解试剂为 HNO₃+H₂O₂（4:1），用原子吸收光谱仪（PERKIN ELMER Analyst 100）测定 Zn 的质量分数。根据根、茎、叶干物质质量和果实鲜质量计算出植株 Zn 积累总量及在不同器官中的分配。所用器皿均经过洗涤剂→自来水→1% 硝酸浸泡→自来水→蒸馏水洗涤晾干后使用。所用试剂均为优级纯，蒸馏水为去离子水二次重蒸。

2 结果与分析

2.1 Zn 胁迫下番茄植株根、茎、叶和果实的生长和生物量

受 Zn 胁迫的番茄植株相比对照较为矮小，分叉少，枝叶不茂盛，叶片呈黄绿色。所有品种根、茎、叶的平均生物量，均极显著（*P* < 0.01）低于对照，果实产量比对照下降了 8.8%，但差异不显著（*P* > 0.05）（表 1）。分别考察普通番茄和樱桃番茄，发现樱桃番茄无论在对照还是中度 Zn 胁迫条件下均表现为根系较发达，茎粗壮，侧枝多，叶茂盛，比普通番茄更早开花、结果；不过，在 Zn 胁迫下樱桃番茄果实平均生物量急剧下降，仅为普通番茄的 53%，说明樱桃番茄果实的发育比普通番茄更容易受到 Zn 胁迫的影响。

表 1 供试番茄品种在对照和 Zn 胁迫下根、茎、叶和果实的生物量¹⁾
Tab. 1 Biomasses of root, shoot, leaf and fruit of the tested varieties under Zn exposure and control

部位	处理	所有品种	普通番茄品种	樱桃番茄品种	比较 ²⁾
根	Zn 胁迫	0.88±0.14 ^b	0.88±0.15 ^b	0.88±0.07 ^b	ns
	对照	1.07±0.26 ^a	1.03±0.25 ^a	1.30±0.14 ^a	*
茎	Zn 胁迫	3.41±0.93 ^b	3.25±0.84 ^b	4.58±0.74 ^b	**
	对照	4.75±1.24 ^a	4.50±1.24 ^a	5.83±0.45 ^a	*
叶	Zn 胁迫	4.31±0.77 ^b	4.22±0.76 ^b	4.97±0.49 ^b	ns
	对照	6.42±2.06 ^a	6.28±2.16 ^a	6.81±1.17 ^a	ns
果实	Zn 胁迫	125.38±54.32	133.12±52.85	71.20±29.64 ^b	**
	对照	132.51±73.16	136.68±77.97	142.66±23.70 ^a	ns

1) 同列数据后不同英文字母表示根据 LSD 差异显著性检验在 *P* < 0.01 水平上有显著差异；2) 普通番茄和樱桃番茄平均值比较：ns 差异不显著；* 在 *P* < 0.05 水平差异显著；** 在 *P* < 0.01 水平差异显著

2.2 Zn 胁迫下番茄各器官 Zn 质量分数及其品种间变异

供试番茄品种的根、茎、叶和果实在对照和 Zn 胁迫下的 Zn 质量分数及其品种间变异如表 2 所示。结果表明，两种条件下番茄各器官的 Zn 质量分数大小顺序均为根 > 茎 > 叶 > 果实，同时在 Zn 胁迫下各器官的 Zn 质量分数均极显著地高于对

照，各品种根、茎、叶和果实 Zn 质量分数平均值的提高幅度分别达到对照的 7.4、4.7、3.3 和 4.5 倍。无论在对照还是 Zn 胁迫下根、茎、叶和果实 Zn 质量分数的品种间变异系数均大于 10%，其中果实 Zn 质量分数的品种间变异系数均大于 25%；从方差分析所得 *F* 值来判断，各器官 Zn 质量分数的品种间变异均在 *P* < 0.01 水平上具有显著性，

其中果实 Zn质量分数的品种间变异最大。

表 2 供试番茄品种在对照和 Zn胁迫下根、茎、叶和果实 Zn质量分数及其品种间变异¹⁾

Tab. 2 Variations of Zn concentrations in all of organs among the tested varieties

部位	处理	范围 (mg kg^{-1})	平均值 (mg kg^{-1})	方差分析的 F值	变异系数 %
根	Zn胁迫	634~1296	928 a	4 66 ($P<0.01$)	22.3
	对照	87.4~176.8	110.5 b	3 78 ($P<0.01$)	16.3
茎	Zn胁迫 P	244~399	318 a	2 79 ($P<0.01$)	11.5
	对照 P	32.5~89.3	55.6 b	7 02 ($P<0.01$)	20.6
叶	Zn胁迫 P	185~316	236 a	3 29 ($P<0.01$)	14.4
	对照 P	21.0~55.3	55.3 b	6 33 ($P<0.01$)	19.1
果实	Zn胁迫 P	1.58~5.83	3.68 a	12 91 ($P<0.01$)	27.1
	对照 P	0.29~0.78	0.67 b	12 08 ($P<0.01$)	25.8

1) 同列数据后不同英文字母表示根据 LSD 差异显著性检验在 $P<0.01$ 水平上有显著差异

于国家食品卫生标准规定的最高限额。

3 讨 论

3.1 番茄的 Zn-PSC

我国受重金属中、低度污染的农田面积较大。由于人口压力，目前这些农田有许多正在用于农作物生产。例如，在陕西西安污灌区对大田中的小麦籽粒的重金属质量分数的分析调查发现，在因长期污灌使土壤 Zn质量分数达到 $240\sim460\text{ mg kg}^{-1}$ 的农田中，所有小麦籽粒的 Zn质量分数均超标，全麦粉 Zn质量分数平均值为 57.35 mg kg^{-1} ，而麦皮的 Zn质量分数更是高达 108.2 mg kg^{-1} ，分别超出国家食品安全卫生标准规定的最高允许限值（ 20 mg kg^{-1} ）的 3 倍和 5 倍^[13]。因此，作为有效降低农作物受农田土水污染物污染风险的手段，PSC 的应用是一种规避农作物生产领域重金属污染风险的策略，也是一项十分适合我国国情的食品安全保障措施。

本研究结果表明，在中度 Zn胁迫下，番茄的营养器官生长虽然受到一定程度的抑制，但果实产量下降不明显，且果实不容易受到 Zn污染，在土壤中 Zn质量分数达到 552 mg kg^{-1} 的污染水平时，32 个供试品种中果实 Zn质量分数平均值超标率为 9.4%，另有两个品种的部分重复试验株出现超标，其余品种的果实 Zn质量分数在 $1.53\sim4.51\text{ mg kg}^{-1}$ 的范围内。这一结果与在西安污灌区的调查结果相近，该地区土壤 Zn质量分数水平为 $240\sim460\text{ mg kg}^{-1}$ ，所产出的番茄果实平均 Zn质量分数为 1.82 mg kg^{-1} ^[14]。可见，在污染水平下番茄果实积累的 Zn达到污染水平的可能性相对较小，属于不容易受 Zn污染的农作物种类，大部分品种可推荐为 Zn-PSC。

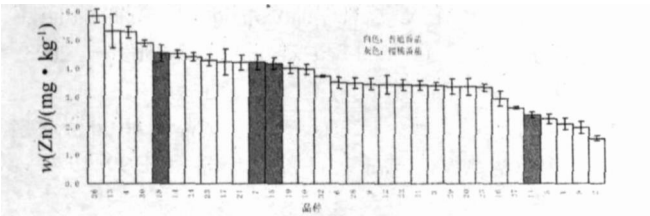


图 1 Zn胁迫下供试番茄品种的果实中 Zn质量分数

Fig. 1 Zn concentrations in fruits of the tested varieties under Zn

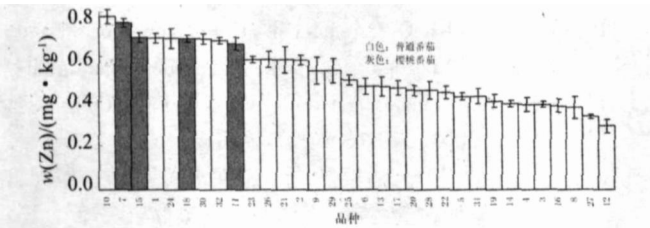


图 2 对照供试番茄品种的果实中 Zn质量分数

Fig. 2 Zn concentrations in fruits of the tested varieties under control

32 个番茄品种的果实 Zn质量分数如图 1 和图 2 所示，在 Zn胁迫条件下所有供试品种中有 3 个品种的果实 Zn质量分数超过了国家食品卫生标准（GB13106-91）规定的最高允许限值（ 5.0 mg kg^{-1} ），另有 2 个品种的重复试验株中存在超标植株，为安全起见，亦归为超标品种，因此，所有供试品种的果实 Zn超标率为 15.6%，说明在 Zn质量分数为 552 mg kg^{-1} 左右的土壤中种植番茄，其果实产品受 Zn污染的风险相对较低。而根系 Zn质量分数最高的 7 个品种 No.1-7 中除 No.4 果实 Zn质量分数超标外，其余均符合国家标准，且大多低于所有供试品种的平均果实 Zn质量分数。其中，品种 No.1、No.5 和 No.6 在 Zn胁迫下的果实产量均比对照有所增加。对照组果实 Zn质量分数则如图 3 所示，供试品种的果实 Zn质量分数均远远低

3.2 PSC 育种的可行性及今后的研究方向

按照本研究提出的概念, 以培育 PSC 为目标的育种工作可以称为污染对策育种 (Breeding of PSC)。由于世界上目前产生的污染物质数量越来越大、种类越来越多, 其对人类健康的影响已经到了防不胜防的境地。例如, 重庆市菜地受重金属轻度污染的土壤单元占 $1/3$ 属于安全的只有 17%, 其余均为警戒级^[14]; 2004–2005 年对陕西省潼关县及周边约 550 km² 的调查结果表明, 受该区域采矿活动影响, 农业耕作层土壤已受到重金属的严重污染^[15]; 广东东莞市全市土壤 Cd、Cu、Ni 和 Pb 的超标率分别为 4.9%、6.6%、3.3% 和 95.1%^[16]。因此, PSC 育种具有十分重要的现实意义。根据本研究以及我们正在进行的其他相关研究的结果, 再结合已经发表的关于水稻的研究结果^[8–11], 可以确定农作物不同品种对重金属的吸收积累能力有明显的品种间变异。从本试验的试验误差分析结果判断, 番茄果实 Zn 质量分数来自品种间的变异 (处理效应) 远大于来自品种内不同重复株变异 (试验误差), 因此, 番茄果实中 Zn 质量分数的品种间差异具有明显的遗传学基础。但是, 要确认番茄对重金属的吸收积累量是一种可遗传的性状, 还需要开展大量的研究工作, 尤其需要在进一步筛选 PSC 的同时, 加强对 PSC 的基础生物学研究, 如 PSC 对污染物的吸收、转运和代谢机理、遗传稳定性、复合污染条件下 PSC 的适用性等。一旦对这些问题的探索取得突破, PSC 育种这样一个崭新的育种方向就可能脱颖而出, 为降低人类暴露于各种食物源污染物的风险提供简便易行的有效手段。

参考文献:

- [1] 廖自基. 微量元素的环境化学及生物效应 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 28
- [2] 重庆医科大学. 临床生物化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [3] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 253–291.
- [4] VANGRONSVELD J, COLPAERT J, VAN TICHELEN K. Reclamation of a bare industrial area contaminated by non-ferrous metals: Physico-chemical and biological evaluation of the durability of soil treatment and revegetation [J]. *Environ Pollut* 1996; 94(2): 131–140
- [5] PAUL R, LUCAS P, JAN J. Catharina draaisma potentials and drawbacks of chelate enhanced phytoremediation of soils [J]. *Environmental Pollution* 2002; 116: 109–121.
- [6] DAVIS R D. Absorption of Cu²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ by plants grown in contaminated soil [J]. *J Sci Food and Agric* 1979; 30: 937–947
- [7] BOAW N LC. Soil science [J]. *Plant Anal* 1971; 2(1): 31–36
- [8] ARAO T, AEN. Genotypic variations in cadmium levels of rice grain [J]. *Soil Science and Plant Nutrition* 2003; 49(4): 473–479
- [9] 吴启堂, 陈卢铨, 王广涛. 水稻不同品种对 Cd 吸收累积的差异和机理研究 [J]. *生态学报*, 1999; 19(1): 104–107.
- [10] LIU JG, LIANG JS, LIK Q, et al. Correlations between cadmium and mineral nutrients in absorption and accumulation in various genotypes of rice under cadmium stresses [J]. *Chemosphere* 2003a; 52: 1467–1473
- [11] LIU JG, LIK Q, XU JK, et al. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes [J]. *Field Crops Research* 2003b; 83(3): 271–281.
- [12] 李正文, 张艳玲, 潘根兴, 等. 不同水稻品种籽粒 Cd、Cu 和 Se 的含量差异及其人类膳食摄取风险 [J]. *环境科学*, 2003; 24(3): 112–115.
- [13] 肖蕴英, 杨军霞, 李侠. 污灌与农作物重金属的含量 [J]. *陕西农业科学*, 1996; 2: 33–35.
- [14] 李其林. 重庆市菜地土壤重金属污染现状与防治对策 [J]. *农业环境与发展*, 2004; 1: 30–32
- [15] 陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查项目组. 陕西潼关金矿区环境地质问题专题调查成果简介 [J]. *西北地调*, 2004; 10: 1–7.
- [16] 夏运生. 东莞市不同区域菜地土壤重金属污染状况研究 [J]. *生态环境*, 2004; 13(2): 170–172

Variations of Zn Absorption and Accumulation of 32 Tomato Varieties

ZHU Fang^{1,2}, YANG Zhong-yi^{1,3}

(State Key Laboratory of Biology Prevention and Cure, School of Chemistry and Chemical Engineering
School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract As a strategy for controlling pollution of agricultural products, a method to use pollution safe cultivar (PSC) were conceptualized throughout this study. Thirty-two varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*), incl-

ding 28 common type and 4 cherry type varieties were cropped under Zn contaminated soil and control soil which containing 552 mg kg^{-1} and 72.8 mg kg^{-1} Zn respectively. Zn concentrations in root shoot leaf and fruit and their biomass of the tested varieties were determined. Main results were shown as follows: ① The Zn concentrations in root shoot leaf and fruit among the tested varieties ordered as root > shoot > leaf > fruit and variations of Zn concentrations in different organs had extreme significance ($P < 0.01$) under both Zn contaminated soil and control soil. Among that the concentration in fruit varied from 1.58 to 5.83 mg kg^{-1} and from 0.29 to 0.78 mg kg^{-1} , respectively; ② Under the Zn exposure there were 3 varieties (9.4%) of all the tested varieties whose Zn concentration in fruit overrun the limitation of the National Food Sanitation Standard of China. Therefore Zn contamination risk for the product of tomato is low even though the crop is planted in Zn contaminated soil and Zn-PSCs are existing under the Zn exposure conditions in this study; ③ Owing to the significant variation of Zn concentration in fruit among the tested varieties and the morphology dependent fruit Zn concentration it is suggested that the accumulation of Zn in fruit is genotype dependent. The results indicated that PSC breeding should be feasible.

Key words *Lycopersicon esculentum*; contaminated soil; Zn accumulation; genotype dependent difference; pollution safe cultivar (PSC)

(上接第 96 页)

[15] KONG A, PEARSON H W, SILVA S A. Ammonia toxicity to algal growth in waste stabilization ponds[J]. Wat Sci Tech 1987 19(1): 115 - 122

[16] DARLEY W M. Algal Biomass[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1980

[17] REYNOLDS C S. The ecology of freshwater phytoplankton[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984

[18] ROBINSON H D, MARIS P J. The treatment of leachate from domestic waste in landfill sites[J]. J of Wat Pollut Cont Fed 1985 57: 30 - 45

[19] 姜必亮, 林里, 蓝崇钰, 等. N/P 比调节对小球藻净化渗滤液效能的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(2): 101 - 103

The Structure of the Algae Community in Leachate of Landfill Likeng, Guangzhou, China

LN Li¹, JIANG Bi-liang¹, CHAN Y-S.G.², LAN Chong-yu¹

(1. School of Life Sciences//State Key Laboratory for Bio-Control, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Department of Applied Biology & Chemical Technology, Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, China)

Abstract The structures of the algal community as well as the environmental factors in leachate pond of Landfill Likeng were investigated throughout one year. There were 20 species to be identified belonging to 16 genera, 3 phyla including Cyanophyta, Chlorophyta and Bacillariophyta. *Phormidium* spp. was the dominant species. The annual mean density and biomass of algae were 13.47×10^8 ind L^{-1} and 144.70 mg L^{-1} respectively. The algal biomass was characterized by the pattern of high in winter and spring and low in summer and autumn. The maximum density 352.81 mg L^{-1} was found in February, the minimum density 20.50 mg L^{-1} was found in August. The annual changes of Shannon - wiever biodiversity index of algae were similar to that of the biomass. Correlation analysis showed that the biomass and biodiversity of community were negative related to the concentrations of $\text{NH}_4 - \text{N}$, monthly average temperature, precipitation, but positive related to COD, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and Ortho-P.

Key words landfill; leachate; algae; environmental factors