

不同砧木对西瓜镉积累和品质的影响

王志伟^{1,2,3a}, 李 涵^{3,4a}, 孙 波³, 孙小武³, 梁志怀^{5*}, 谢汉忠^{1*}

(¹河南省果树瓜类生物学重点实验室, 郑州 450009; ²湖南省蔬菜研究所, 长沙 410125; ³湖南农业大学园艺园林学院, 长沙 410128; ⁴湖南省作物研究所, 长沙 410125; ⁵湖南省农业生物技术研究中心, 长沙 410125)

摘要:【目的】探明不同砧木对西瓜根、茎、叶和果实等不同部位镉的积累规律, 不同砧木对西瓜果实品质的影响, 评价嫁接西瓜生产的安全性, 筛选低积累高品质嫁接砧木。【方法】以‘早佳8424’为接穗, 以‘野郎’‘西嫁强生’等8个品种为砧木, 采用顶插接的方法, 爬地栽培, 2蔓整枝, 留1果。果实成熟后测定根、不同部位茎、叶和果实镉含量, 测定单瓜质量、果型指数、中心糖和边糖含量等品质性状。【结果】不同砧木嫁接西瓜植株各部位茎叶镉的积累规律为基部>中部>上部, 西瓜果实镉含量低于食品安全国家标准食品中污染物限量GB 2762—2012规定的0.05 mg·kg⁻¹, 通过对果实镉含量和品质的测定, 初步筛选出T1和T5在降低西瓜果实镉含量的同时, 增产效果显著。【结论】不同砧木对西瓜镉的积累规律与实生苗相比存在差异, 葫芦砧木增加了果实中的镉含量, 因此应根据生产需要选择高积累或低积累砧木用于生产。

关键词: 西瓜; 砧木; 镉; 积累规律; 品质

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2017)10-1309-07

Effects of different stocks on the accumulation of cadmium and fruit quality in watermelon

WANG Zhiwei^{1,2,3a}, LI Han^{3,4a}, SUN Bo³, SUN Xiaowu³, LIANG Zhihuai^{5*}, XIE Hanzhong^{1*}

(¹Henan Provincial Key Laboratory of Fruit and Cucurbit Biology, Zhengzhou 450009, Henan, China; ²Hunan Vegetable Research Institute, Changsha 410125, Hunan, China; ³College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; ⁴Hunan Crop Research Institute, Changsha 410125, Hunan, China; ⁵Hunan Agricultural Biotechnology Research Center, Changsha 410125, Hunan, China)

Abstract:【Objective】Watermelon (*Citrullus lanatus*) is loved by people because of its juicy and sweet interior flesh, especially in summer. Watermelon has long been and widely cultivated in Hunan, with about 140 000 hm² planting area per year, ranking the 4th in China. Because of the considerable economic benefits, watermelon is becoming an important horticultural crop in the province. Along with the adjustment of crop structure in heavy metal contaminated areas in Hunan province, trials of watermelon planting in these areas are underway. For sustainable development of local industry, it is important to use proper rootstocks. Studies of the characters of cadmium (Cd) accumulation in grafted watermelon are necessary for sustainable development of watermelon industry in heavy metal polluted areas. 【Methods】We used top plug for grafting, ‘8424’ as the scion, and eight rootstocks including 3 ‘Yelang’ lines (T1–T3), ‘Qiangzhen 1’ (T4), ‘Xijiaqingsheng’ (T5), ‘Jingxinzhenwang’ (T6), ‘Qingpingtiemuji’ (T7) and ‘Huangjindadang’ (T8). The grafted plants were trained into a 2-truss trellis system with each truss bearing one fruit. When fruit ripened, cadmium contents in root, stems at different positions, leaves and fruit were measured, and data of single fruit weight, fruit shape index, and quality traits were collected. 【Results】The re-

收稿日期: 2017-02-23 接受日期: 2017-06-14

基金项目: 河南省果树瓜类生物学重点实验室开放基金(HNS-201508-08); 西甜瓜产业技术体系(CARS-26-09); 湖南省青年人才联合培养基金(14JJ6070)

作者简介: 王志伟, 男, 助理研究员, 主要从事瓜类育种与栽培研究。Tel: 18774910182, E-mail: wangzhiwei119@163.com; a为共同第一作者。李涵, 女, 在读博士研究生, 主要从事蔬菜育种与栽培研究。E-mail: lhlihan001@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13503862026, E-mail: xiehanzhong@caas.cn; Tel: 13507483586, E-mail: liangzhihuainky@163.com

sults showed that root Cd content in different rootstocks had significant difference. T5 and T8 roots had a cadmium content 32.6% and 36.9% lower than the non-grafted plants, respectively. Cd content in T4 root was $0.109 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 77.7% higher than the seedling roots. The basal stem in grafted watermelon plants had a Cd content in the range of $0.0286\text{--}0.0866 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, i.e. 27.9%–84.4% of that of the seedlings ($0.1026 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), and Cd content in T2, T3 and T5 was the lowest, being 0.043 , 0.0386 and $0.0286 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. However, the Cd content in the central stem of T4 rooted plants increased significantly compared to the self-rooted seedlings, while that in those on other stocks was lower than in the seedlings at varying degrees. The Cd content in the central leaves in T1, T2 and T5 rooted plants was 54%, 55.7 and 54% lower than in the seedlings, respectively. The Cd content in the upper stems was different among rootstocks. In T4, it was $0.047 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Other rootstocks reduced the Cd content in the upper stems at various degrees, and reduction in T5 was the largest, followed by those in T1 and T8. There were significant differences between the self-rooted seedlings and plants on different rootstocks in leaf Cd content. In T4, the basal leaf Cd content reached up to $0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and was significantly higher than in the self-rooted seedlings. In T1, T2 and T5, the basal leaf Cd content was 0.06 , 0.068 , and $0.057 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ lower compared to that in the seedlings, respectively. In T4, the Cd content in the central leaves was $0.233 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and significantly higher than that in the seedlings, while in plants on other rootstocks, Cd content in the central leaves was reduced at different degrees compared with that in the self-rooted seedlings. T1, T2 and T3 were 70%, 70% and 68% lower, respectively. The effects on Cd content in the upper leaves differed according to rootstocks. For example, T3 and T4 significantly increased but others reduced it. Among them, the decrease in T5 was the greatest. Different grafting combinations displayed influence on Cd content in the fruit. T1, T2 and T5 reduced it by 60.5%, 61.3% and 60.5% respectively, while T4 increased it by 41.6% compared with the self-rooted control. Among different treatments, the highest Cd content in fruit was $0.0064 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, lower than the limitation of $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ defined by GB 2762—2012. Rootstocks also showed influence on fruit weight. T2 and T6 had a lower fruit weight than the control, but the difference was not significant. Fruit weight in T5 increased significantly and reached 5.79 kg . T2 and T3 greatly influenced fruit shape index, but others showed no influence. Rootstocks affected skin thickness, and the effect was significant in T1 and T4. T5 had the highest sugar content (10.53%) in central fruit tissue. T4 had the highest sugar content (8.03%) in side fruit tissues, and T2 had the lowest value of 6.07%. 【Conclusion】Under Cd stress, grafted watermelon on different rootstocks had different Cd absorption capacity and Ca distribution among organs. The Cd content in different plant positions followed a descending order of base>middle> upper part. In root, Cd content is influenced by rootstock genotypes. Our results showed that T1, T2 and T5 had the lowest fruit Cd content and T1 and T5 significantly reduced the Cd content in all plant parts and improved fruit weight with no significant effect on fruit quality. These rootstocks could be suitable for grafted watermelon planted in heavy metal polluted areas.

Key words: Watermelon; Rootstock; Cadmium; Accumulation trend; Quality

随着经济社会的发展,矿产的开发、冶炼、交通和矿物肥料的使用,镉已经成为环境中的主要污染物之一。在农田土壤系统中,由于农药、化肥和污泥等的大量施用,很多农田已出现重金属含量超标现象。由于镉是植物生长的非必需元素,在较低浓度下便能经由土壤到达植物根部进而迁移至植物地上

部分,因此镉污染土壤对植物生长不利。更重要的是它可以通过食物链进入人体,严重危害人体健康。近年来,湖南省在全国率先进行了大规模的重金属污染治理试点工作,治理镉污染土壤最有效的途径是培育和种植非食用作物或食用器官累积量低的作物品种。这样既可以逐渐吸收消除土壤中的

镉,又可以合理利用土地,保障土地持续产出。其中筛选低积累农作物品种取得了较大的进展,西瓜果实镉积累量较低,已经在部分轻度和中度镉污染地区种植,李涵等^[1]通过不同镉含量的土壤进行盆栽试验,试验结果为镉超标地区西瓜种植提供了理论基础。

西瓜 [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.] 以其汁多味甜、甘甜爽口而深受人们的喜爱,是人们夏季主要消费的水果。在湖南产区栽培历史悠久、地域广,每年的播种面积 14 万 hm² 左右,播种面积位于全国西瓜第四,经济效益相当可观,是湖南产区的重要园艺作物^[2]。我国嫁接技术已有 2 000 多 a(年)的历史,瓜类嫁接技术始于 20 世纪 20 年代的日本,当时已经有利用嫁接技术防治病害的研究,但未能推广应用。于贤昌等^[3]于 20 世纪 70 年代首次将嫁接技术引入西瓜温室生产中,有效地解决了西瓜连作重茬问题,20 世纪 90 年代末已大面积应用。此后,相关的科研人员对西瓜嫁接技术^[4]、砧木筛选^[5-7]、嫁接防病^[8]、嫁接对产量和品质^[9-12]、提高瓜类耐盐能力^[13-14]等方面做了大量工作,在解决西瓜重茬栽培、抗病等方面发挥了重要作用。Youssef 等^[15]研究发现嫁接可以减轻重金属 Cu²⁺ 对黄瓜的毒害作用,Arao 等^[16]研究表明,嫁接可以降低镉在茄子果实内的积累。但嫁接在降低西瓜重金属方面的研究较少。因此,笔者以不同的砧木嫁接‘早佳 8424’,在镉污染的大田种植,研究不同组合西瓜植株中镉的分布与积累规律,筛选镉低积累砧木品种,以期为重金属镉污染区西瓜产业持续发展提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤与西瓜材料

试验于 2016 年 4—7 月,在湖南农业大学蔬菜瓜类研究所湘潭试验基地进行,湘潭基地土壤理化性质和镉含量分别为:pH 7.14、有机质 36.9 g·kg⁻¹、碱解氮 126.8 mg·kg⁻¹、速效磷 29.2 mg·kg⁻¹、速效钾 71.2 mg·kg⁻¹、阳离子交换量 14.8 cmol(+)·kg⁻¹、镉 0.83 mg·kg⁻¹。

供试西瓜品种为‘早佳 8424’,由湖南雪峰种业有限责任公司提供。砧木品种 8 个,来源和种类详见表 1。

1.2 试验方法

以‘早佳 8424’(简称 Z)为接穗,采用顶插接的

表 1 砧木种类与来源

Table 1 Rootstock types and sources

编号 No.	砧木名称 Name	种类 Species	来源 Source
T1	野郎 Yelang	南瓜 Pumpkin	雪峰种业有限公司 Hunan Xuefeng Seeds Co. Ltd.
T2	野郎 2 号 Yelang 2	南瓜 Pumpkin	雪峰种业有限公司 Hunan Xuefeng Seeds Co. Ltd.
T3	野郎 3 号 Yelang 3	南瓜 Pumpkin	雪峰种业有限公司 Hunan Xuefeng Seeds Co. Ltd.
T4	强砧 1 号 Qiangzhen 1	葫芦 Gourd	雪峰种业有限公司 Hunan Xuefeng Seeds Co. Ltd.
T5	西嫁强生 Xijiaqiangsheng	南瓜 Pumpkin	中国农业科学院郑州果树研究所 Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS
T6	京欣砧王 Jingxinzhewang	葫芦 Gourd	京研益农种业科技有限公司 Jingyan Yinong Seed Sci-Tech Co. Ltd.
T7	青平铁木甲 Qingpingtiemuja	南瓜 Pumpkin	青岛宝友种业有限公司 Qingdao Baoyou Seed Industry Co. Ltd.
T8	黄金搭档 Huanguindadang	南瓜 Pumpkin	北京中农绿亨种子科技有限公司 Luheng Technology Co. Ltd.

方法嫁接到 8 个砧木上。嫁接成活后,西瓜 2 叶 1 心时定植于湘潭基地,以西瓜实生苗为对照。采用爬地栽培模式,株距 60 cm,行距 300 cm,随机区组排列,每处理 15 株,3 次重复,2 蔓整枝,留 1 果。于西瓜果实成熟时,每小区随机选择 5 个果实,分别测定果实鲜质量、果实纵横径、果皮厚度、果实中心和边部可溶性固形物含量(折光率),取根、下部茎(坐果节位 4 节以下到根部)、下部叶、中部茎(坐果节位前后 4 节)、中部叶、上部茎(坐果节位 4 节以上到茎尖)、上部叶和果实,检测镉含量。

1.3 测定方法

土壤 pH 值、有机碳、土壤阳离子交换量和土壤速效磷的测定参照《土壤农业化学分析方法》^[17]。镉含量委托湖南省农业科学院农化检测中心测定,土壤镉依据 GB/T 17141—1997 标准检验并提供检验数据。植物样品镉含量依据 GB/T 5009.15—2014 标准检验并提供检验数据。

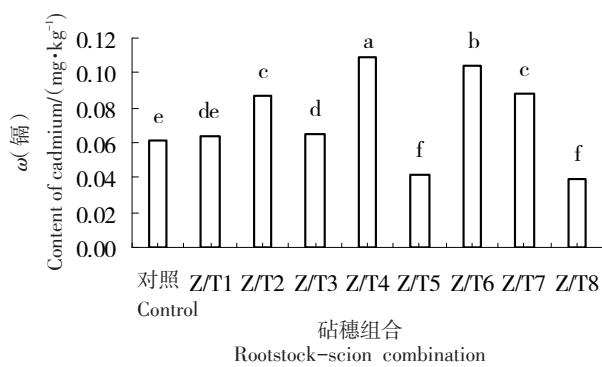
1.4 数据处理

用 SPSS 10.0 对数据进行统计分析,采用 Microsoft Excel 2013 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同砧木嫁接西瓜植株根系中的镉含量

从图 1 可以看出,不同砧穗组合西瓜植株根系 Cd 含量存在显著差异,各砧木表现不一致,T5 和 T8 砧木根系镉含量分别比自根苗减少 32.6% 和 36.9%,



不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 差异显著。下同。

Different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$. The same below.

图1 不同砧木嫁接西瓜根部镉含量
Fig. 1 The cadmium content in different grafted watermelons roots

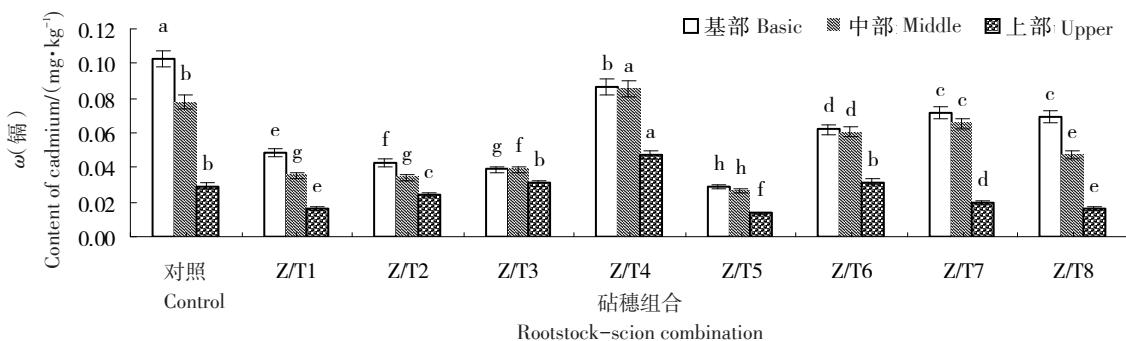


图2 不同砧木嫁接西瓜茎部镉含量
Fig. 2 The cadmium content in different grafted watermelons stems

不同砧穗组合上部茎的镉含量存在差异,其中T4砧木镉含量最高,为 $0.047 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,差异显著。其他组合不同程度地降低了上部茎中的镉含量,以T5砧木降低最多,T1和T8砧木次之。

2.3 不同砧木嫁接西瓜叶片镉含量

从图3可以看出,不同砧穗组合基部叶的镉含量与实生苗之间存在显著差异,其中T4砧木基部叶

T4砧木根系镉含量比实生苗增加了77.7%,为 $0.109 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.2 不同砧木嫁接西瓜植株不同部位镉含量

不同砧木嫁接西瓜基部茎的镉含量与实生苗之间存在显著差异,嫁接植株基部茎镉质量分数($0.028\sim0.0866 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)为实生苗($0.1026 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的27.9%~84.4%,以T2、T3和T5含量较低,分别为0.0430、0.0386和 $0.0286 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图2)。

T4砧木中部茎的镉含量增加显著,与实生苗差异达到显著水平,其他组合中部茎的镉含量比实生苗有不同程度的降低,其中T1、T2和T5砧木中部茎镉含量较低,分别比实生苗减少了54%、55.7%和66%。上部茎是西瓜新生的部位,由图2可以看出,

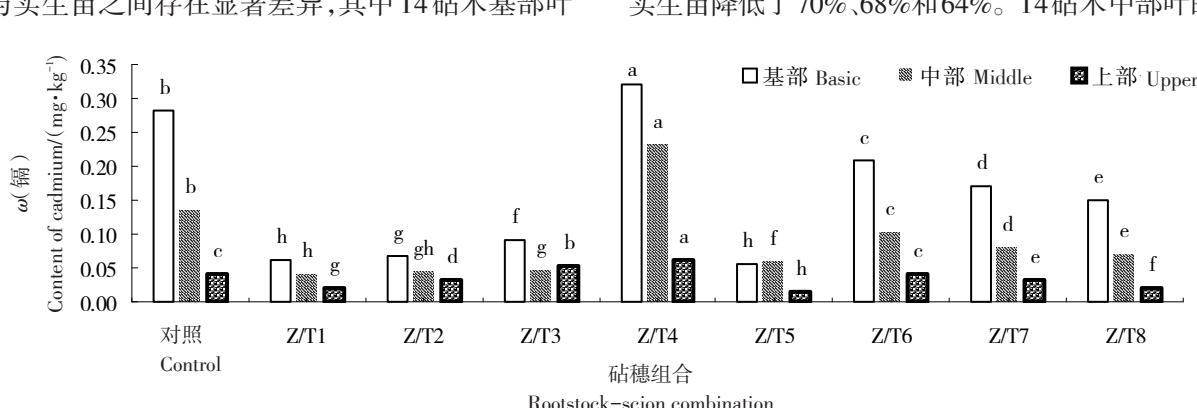


图3 不同砧木嫁接西瓜叶片镉含量
Fig. 3 The cadmium content in different grafted watermelons leaves

含量比实生苗高,达到了 $0.233 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,差异显著。

上部叶片是西瓜生长旺盛的部位,与上部茎相比镉含量有所增加,从图3可以看出,不同砧木对上部叶片镉含量的影响不一致,其中T3和T4砧木显著增加了上部叶片镉含量,其他组合上部叶片镉含量与对照相比有不同程度降低,以T5砧木降幅最大。

2.4 不同砧木嫁接西瓜果实镉含量

由图4可知,不同砧穗组合对果实镉含量的影

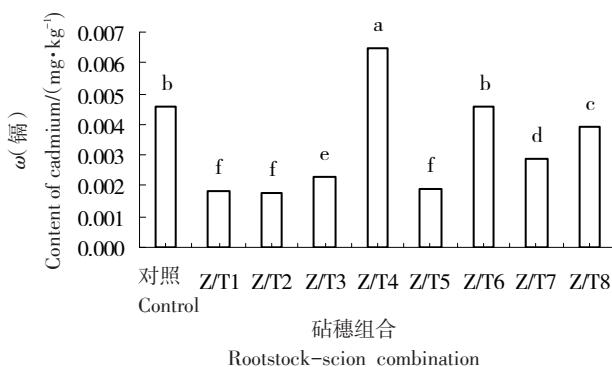


图4 不同砧木嫁接西瓜果实镉含量

Fig. 4 The fruit cadmium content in different grafted combination watermelons

响存在差异,T1、T2和T5砧木果实镉含量分别比实生苗减少了60.5%、61.3%和59.1%,T4砧木果实镉含量比实生苗增加了41.6%。各组合西瓜果实镉含量最高为 $0.0064 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,低于食品安全国家标准食品中污染物限量GB 2762—2012规定的 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.5 不同砧穗组合对西瓜产量和品质的影响

单瓜质量是产量构成的重要因素,皮厚度和果形指数是西瓜外观品质,中心糖和边糖含量是评判西瓜果实感官品质的重要因素。从表2可以看出,不同砧穗组合单瓜质量表现差异较大,其中T2和T6砧木单瓜质量较对照有所降低,但差异不显著,而T5砧木单瓜质量增加显著,达到了 5.79 kg 。T2和T3砧木对果形指数的影响较大,与对照差异显著,其他组合对果形指数的影响不大。嫁接对皮厚度的影响各砧穗组合表现不一致,其中T1和T4增加了果皮厚度,与对照差异显著,其他各砧穗组合与对照间差异不显著。T5砧木中西瓜果实中心糖含量(10.53%)最高,与对照和其他砧穗组合差异不显著,对边糖含量的影响较大,T4砧木边糖含量(8.03%)最高,T2砧木边糖含量(6.07%)最低。

表2 不同砧穗组合对西瓜产量和品质的影响

Table 2 Effects of different rootstock-scion combinations on the yield and quality of watermelon

嫁接组合 Grafted combination	单瓜质量 Single fruit weight/kg	果形指数 Fruit shape index	果皮厚度 Peel thickness/cm	ω (中心糖) Central sugar content/%	ω (边糖) Marginal sugar content/%
对照 Control	$3.73 \pm 0.18 \text{ de}$	$1.05 \pm 0.030 \text{ abc}$	$0.97 \pm 0.06 \text{ ab}$	$9.27 \pm 0.78 \text{ a}$	$6.93 \pm 0.67 \text{ ab}$
Z/T1	$5.17 \pm 0.22 \text{ ab}$	$1.08 \pm 0.020 \text{ ab}$	$1.03 \pm 0.06 \text{ a}$	$10.17 \pm 0.35 \text{ a}$	$6.63 \pm 0.21 \text{ ab}$
Z/T2	$3.43 \pm 0.32 \text{ e}$	$1.10 \pm 0.050 \text{ a}$	$0.97 \pm 0.06 \text{ ab}$	$9.70 \pm 1.23 \text{ a}$	$6.07 \pm 0.25 \text{ b}$
Z/T3	$3.80 \pm 0.72 \text{ de}$	$0.99 \pm 0.060 \text{ c}$	$0.77 \pm 0.29 \text{ b}$	$8.83 \pm 2.48 \text{ a}$	$7.20 \pm 1.84 \text{ ab}$
Z/T4	$4.52 \pm 0.57 \text{ bcd}$	$1.02 \pm 0.050 \text{ bc}$	$1.07 \pm 0.12 \text{ a}$	$10.13 \pm 0.97 \text{ a}$	$8.03 \pm 0.61 \text{ a}$
Z/T5	$5.79 \pm 0.40 \text{ a}$	$1.05 \pm 0.010 \text{ abc}$	$0.97 \pm 0.06 \text{ ab}$	$10.53 \pm 0.83 \text{ a}$	$7.20 \pm 0.30 \text{ ab}$
Z/T6	$3.72 \pm 0.43 \text{ de}$	$1.02 \pm 0.010 \text{ bc}$	$0.93 \pm 0.06 \text{ ab}$	$8.87 \pm 0.67 \text{ a}$	$6.80 \pm 0.10 \text{ ab}$
Z/T7	$4.73 \pm 0.51 \text{ bc}$	$1.05 \pm 0.005 \text{ abc}$	$0.87 \pm 0.06 \text{ ab}$	$9.30 \pm 0.40 \text{ a}$	$6.83 \pm 0.45 \text{ ab}$
Z/T8	$4.34 \pm 0.35 \text{ cd}$	$1.04 \pm 0.006 \text{ abc}$	$0.90 \pm 0.10 \text{ ab}$	$10.03 \pm 0.78 \text{ a}$	$7.20 \pm 0.82 \text{ ab}$

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: The different small letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$.

3 讨论

本试验结果表明,镉在嫁接西瓜植株内的吸收分配规律为叶>茎>根>果实,这与重金属在其他植物器官内的一般分配规律(根>茎>叶>果实)有差异,但与重金属在西瓜实生苗分配规律相符。土壤中的重金属被植物根部吸收后,首先积累在根部,然后运输到植物体的其他部位,因此植物体的不同

部位对重金属的积累状况也不一样,通常是地下部位高于地上部分,这在阳桃、黄皮、龙眼、葡萄和草莓等^[18-19]植物上得到了证实,而西瓜的蔓生性和旺盛的蒸腾作用,使其积累规律为叶>茎>根>果实。Manthey等^[20]研究发现,植物无论是对养分元素还是有毒污染物的吸收都存在植物种类和品种之间的差异。根据GB 15618—1995 土壤环境质量标准的规定,本试验地属于镉中度污染,根据国家食品安全全

家标准食品中污染物限量标准 GB2762—2012 的规定,西瓜果实中镉含量应低于 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从本试验的结果来看,不同砧木嫁接对镉的吸收和分配存在差异,西瓜果实镉含量均低于国家限量标准。其中葫芦砧木(T4 和 T7)镉含量均比对照和南瓜嫁接苗的高,这与朱士农等^[21]在葫芦砧木嫁接提高植株体内 Na^+ 和 K^+ 方面的研究结果一致。嫁接改变了接穗品种的根系系统,不同砧穗组合根系在解剖学和形态学、生长发育和分布方面均存在差异,这决定了不同组合西瓜植株 Cd 吸收和分布的差异。

嫁接体是个复合体,由于砧木根系的差异及砧木与接穗间的互作,改变了植株原有的吸收能力、“源”与“库”关系及一系列生理生化反应,从而影响植株的生长发育。因此,不同嫁接砧木对西瓜产量和品质的影响也存在差异,高军红等^[22]比较了不同砧木对嫁接西瓜的影响发现,果形及果皮厚度等无显著差异,但不同砧木可引起西瓜果实大小发生变化,‘京欣砧 1 号’‘超丰 F1’砧木嫁接的西瓜单果质量显著高于自根西瓜,黑籽南瓜和‘京欣砧 2 号’嫁接的西瓜单果质量与自根西瓜无显著差异。这与本试验的研究结果有差异,本试验结果发现不同砧木除了对单瓜质量影响较大外,T2 和 T3 还对果形指数影响较大,这可能是不同砧木对温度的敏感度存在差异。孟文慧等^[23]的研究表明,不同砧木嫁接与自根苗相比果皮厚度极显著增加,且葫芦砧木对其影响最小,野生西瓜砧木对果皮厚度影响最大。本试验中也发现不同砧木嫁接对果皮影响较大,但是与前人不同的是葫芦砧木(T4)增加了果皮厚度。Ozlem 等^[24]比较不同砧木对西瓜生长、产量和品质方面的差异,发现在果实外观品质特征方面,嫁接对果形指数和果皮厚度没有明显的影响。李静等^[25]认为,嫁接后果皮是否增厚与西瓜品种密切相关。因此可以认为,不同砧木对西瓜在外观品质方面产生的影响能够使果实大小、果皮厚度等性状发生变化。因此筛选适合当地栽培环境的砧木品种显得十分重要,特别是重金属超标地区,选择嫁接砧木更应慎重。

4 结 论

不同砧木嫁接西瓜植株器官 Cd 的吸收和分配存在差异,Cd 在嫁接西瓜植株茎叶的含量符合 Cd 在实生苗的分配规律,由高到低依次为基部 > 中部 >

上部,而根中的镉含量与砧木种类和品种有关,不同砧木嫁接西瓜果实 Cd 含量存在差异,其中 T1、T2 和 T5 果实镉含量较低。T1 和 T5 在显著降低植株各部位镉含量的同时提高了单瓜质量,且对品质的影响不大,适于重金属污染区嫁接栽培。

参考文献 References:

- [1] 李涵,王志伟,孙波,邹甜,孙小武. 土壤镉含量对西瓜茎叶和果实镉含量的影响[J]. 果树学报,2017,34(3): 337–343.
LI Han, WANG Zhiwei, SUN Bo, ZOU Tian, SUN Xiaowu. Effects of soil cadmium content on bind and fruit cadmium contents in watermelon[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(3): 337–343.
- [2] 谭秋英,张礼红,石跃才,孙小武. 湖南西瓜甜瓜产业发展现状、问题及对策[J]. 中国瓜菜,2015,28(3): 68–71.
TAN Qiuying, ZHANG Lihong, SHI Yuecai, SUN Xiaowu. Watermelon and melon industry development present situation, problems and countermeasures in Hunan province[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2015, 28(3): 68–71.
- [3] 于贤昌,邢禹贤,马红,魏琨. 不同砧木与接穗对黄瓜嫁接苗抗冷性的影响[J]. 中国农业科学,1998,31(2): 11–17.
YU Xianchang, XING Yuxian, MA Hong, WEI Kun. Effect of different rootstocks and scions on chilling tolerance in grafted cucumber seedlings[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1998, 31 (2): 11–17.
- [4] 李涵,王志伟,崔丽红,孙小武. 西瓜嫁接技术与产业发展的研究进展[J]. 长江蔬菜,2014(10): 1–4.
LI Han, WANG Zhiwei, CUI Lihong, SUN Xiaowu. Progress on grafting technology and industry development of grafted watermelon[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2014(10): 1–4.
- [5] 江姣,张保东,宫国义. 北京地区中果型西瓜嫁接砧木筛选试验[J]. 中国瓜菜,2015,28(1): 46–48.
JIANG Jiao, ZHANG Baodong, GONG Guoyi. Experimental research on high quality root stock of edium-sized watermelon in Beijing[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2015, 28(1): 46–48.
- [6] 马双武,尚建立,王吉明. 西瓜嫁接砧木资源的初步筛选研究[J]. 中国瓜菜,2012,25(4): 39–42.
MA Shuangwu, SHANG Jianli, WANG Jiming. Evaluation of watermelon rootstock germplasm resources[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2012, 25(4): 39–42.
- [7] 梁莉,李荣富,徐利敏,李杰,陈强,云小鹏. 日光温室西瓜嫁接砧木筛选试验[J]. 中国瓜菜,2014,27(3): 39–42.
LIANG Li, LI Rongfu, XU Limin, LI Jie, CHEN Qiang, YUN Xiaopeng. Evaluation of squash rootstocks for watermelon production in sunny greenhouse[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2014, 27(3): 39–42.
- [8] 张曼,羊杏平,徐锦华,刘广,姚协丰,李萍芳. 嫁接砧木对西瓜枯萎病的抗病机理研究[J]. 中国瓜菜,2014,27(增刊): 87.
ZHANG Man, YANG Xingping, XU Jinhua, LIU Guang, YAO Xiefeng, LI Pingfang. Grafting stock the disease-resistant mecha-

- nism of watermelon wilt disease research[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2014, 27 (Suppl.): 87.
- [9] 肖守华,焦自高,王崇启,刘蕾庆,陈伟,董玉梅,陈子雷,赵善仓,乔卫华.不同南瓜砧木对西瓜挥发性风味物质的影响[J].果树学报,2012,29(1): 111-119.
- XIAO Shouhua, JIAO Zigao, WANG Chongqi, LIU Leiqing, CHEN Wei, DONG Yumei, CHEN Zilei, ZHAO Shancang, QIAO Weihua. Effects of rootstocks on volatile flavor compounds of watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(1): 111-119.
- [10] 杨冬艳,于蓉,冯海萍,曲继松,张丽娟,郭文忠.不同砧木对设施嫁接西瓜生长及品质影响的综合评价[J].甘肃农业大学学报,2015,50(6): 62-66.
- YANG Dongyan, YU Rong, FENG Haiping, QU Jisong, ZHANG Lijuan, GUO Wenzhong. Comprehensive evaluation of effects on growth and quality of facilitier grafted watermelon of different rootstocks[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2015, 50(6): 62-66.
- [11] 杨小振,张显,张宁,刘晓辉.嫁接砧木对西瓜品质影响的研究进展[J].中国瓜菜,2013,26(2): 1-5.
- YANG Xiaozhen, ZHANG Xian, ZHANG Ning, LIU Xiaohui. Progress of research on effect of rootstocks on quality of grafted watermelon[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2013, 26(2): 1-5.
- [12] 张华峰,王迎儿,马海荣,应泉盛,孙莉,王毓洪.嫁接砧木对小果型西瓜生长、产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2013,26(6): 38-40.
- ZHANG Huafeng, WANG Ying'er, MA Hairong, YING Quansheng, SUN Li, WANG Yuhong. Effects of rootstocks on growth, yield and quality of mini watermelon[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2013, 26(6): 38-40.
- [13] 刘香娥,郭世荣,田婧,段九菊,杜长霞.嫁接对NaCl胁迫下西瓜叶片抗氧化物酶活性及其同工酶的影响[J].长江蔬菜,2009(2): 22-26.
- LIU Xiang'e, GUO Shirong, TIAN Jing, DUAN Jiuju, DU Changxia. Effects of grafting on the isozymes and activities of antioxidant enzymes of watermelon leaves under NaCl stress[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2009(2): 22-26.
- [14] 张自坤,刘世琦,刘素慧,张宇,陈昆,黄治军.嫁接对铜胁迫下黄瓜幼苗根系多胺代谢的影响[J].应用生态学报,2010,21(8): 2051-2056.
- ZHANG Zikun, LIU Shiqi, LIU Suhui, ZHANG Yu, CHEN Kun, HUANG Zhijun. Effects of grafting on root polyamine metabolism of cucumber seedlings under copper stress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8): 2051-2056.
- [15] YOUSSEF R, MARIATERESA C, ELVIRA R, GIUSEPPE C. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1/3): 49-58.
- [16] ARAO T, HIROYUKI T, EIJI N. Reduction of cadmium translocation from roots to shoots in eggplant (*Solanum melongena*) by grafting onto *Solanum torvum* rootstock[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2008, 54(4): 555-559.
- [17] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- LU Rukun. Soil agricultural chemical analysis method[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [18] LI J T, QIU J W, WANG X W, ZHONG Y, LAN C Y, SHU S. Cadmium contamination in orchard soils and fruit trees and its potential health risk in Guangzhou, China[J]. Environmental Pollution, 2006, 143(1): 159-165.
- [19] 张金彪,黄维南,柯玉琴.草莓对镉的吸收积累特性及调控研究[J].园艺学报,2003,30(5): 514-518.
- ZHANG Jinbiao, HUANG Weinan, KE Yuqin. Cadmium absorption characteristics of strawberry and regulative measures[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(5): 514-518.
- [20] MANTHEY J, CROWLEY D, LUSTER D. Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere[M]. Florida: CRC Press, 1994.
- [21] 朱士农,郭世荣.嫁接对盐胁迫下西瓜植株体内Na⁺和K⁺含量及其分布的影响[J].园艺学报,2009,36(6): 814-820.
- ZHU Shinong, GUO Shirong. Effects of grafting on K⁺, Na⁺ contents and distribution of watermelon (*Citrullus vulgaris* Schrad) seedlings under NaCl stress[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(6): 814-820.
- [22] 高军红,廖华俊.嫁接对西瓜果品品质的影响[J].中国瓜菜,2006,19(5): 12-14.
- GAO Junhong, LIAO Huajun. Effect of graft in watermelon quality [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2006, 19(5): 12-14.
- [23] 孟文慧,张显.不同砧木对西瓜植株生长及商品性状的影响[J].西北农业学报,2008,17(6): 153-157.
- MENG Wenhai, ZHANG Xian. Effects of different rootstocks on the plant growth and commercial characters in watermelon (*Citrullus lanatus*) by grafting[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(6): 153-157.
- [24] OZLEM A, NILAY O. Effect of grafting on watermelon plant-growth, yield and quality[J]. Journal of Agronomy, 2007, 6 (2): 362.
- [25] 李静,别之龙,曾维寅,蔡炎.不同砧木嫁接对西瓜植株生长和果实品质的影响初报[J].长江蔬菜,2009(2): 32-34.
- LI Jing, BIE Zhilong, ZENG Weiyin, CAI Yan. Effects of different rootstocks on plant growth and fruit quality of watermelon[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2009(2): 32-34.