

番茄对镉吸收累积的品种差异

谭小琪¹, 李取生^{1,2}, 何宝燕¹, 梅秀芹¹, 李慧¹

(1. 暨南大学 环境工程系, 广东 广州 510632;
2. 水土环境毒害性污染物防治与生物修复广东省高校重点实验室, 广东 广州 510632)

[摘要] 以番茄为实验材料, 研究了29个番茄品种在盆栽条件下对不同质量分数Cd污染的差异吸收和累积情况。结果表明: (1) 29个番茄品种可食部位Cd质量分数存在显著品种差异($P < 0.01$), 1.2和2.0 mg·kg⁻¹ Cd处理下, 番茄果实的Cd质量分数范围分别为0.037~0.134和0.079~0.170 mg·kg⁻¹, 其中2.0 mg·kg⁻¹ Cd条件下番茄果实Cd质量分数全部超标。(2) 不同质量分数Cd处理对29种番茄品种果实、地上部和地下部分生物量没有显著影响。(3) 根据可食部位Cd质量分数、Cd转运系数、番茄植株生物量指标评价表明台湾黄圣女、黄金一点红、台湾珍珠、新402、元明黄娇子、台湾红圣女等6个品种可作为番茄的Cd-PSCs。

[关键词] 番茄; 镉; 品种差异; 安全品种

[中图分类号] X13 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9965(2014)03-0215-06

Differences in cadmium absorption and accumulation of tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties on Cd-polluted soil

TAN Xiaoqi¹, LI Qusheng^{1,2}, HE Baoyan¹, MEI Xiuqin¹, LI Hui¹

(1. Department of Environment Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Key laboratory of Water/Soil Toxic Pollutants Control and Bioremediation, Department of Education of Guangdong Province, Guangzhou 510632, China)

[Abstract] Pot experiments were conducted to study the differences in cadmium (Cd) absorption and accumulation of 29 tomato varieties in the soils added with different concentration of Cd. Results show that: (1) Cd concentrations are significant different ($P < 0.01$) in fruit among 29 tomato cultivars under two treatments (1.2, 2.0 mg·kg⁻¹), which ranging from 0.037 to 0.134, 0.079 to 0.170 mg·kg⁻¹, respectively. In the 2.0 mg·kg⁻¹ treatment, there is no variety which Cd concentration of fruit below the standard, so Cd-PSC is not exist in this treatment. (2) Root, shoot and fruit biomass of 29 tomato cultivars do not vary significantly under different Cd treatments ($P > 0.05$), which indicate that tomato cultivars show tolerance to Cd toxicity to a certain extent. (3) Considering furthermore the concentration of Cd in the edible parts, transference coefficient of heavy metals, biomass of the tomato plants, cultivars Taiwanhuangshengnv, Huangjinyidianhong, Taiwanzhenzhu, Xin402, Yuanminghuangjiaozi and Taiwan-hongshengnv are considered as the potential tomato Cd-PSCs.

[Key words] tomato; cadmium (Cd); cultivar difference; pollution-safe cultivars (PSCs)

[收稿日期] 2014-01-02

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40871154); 中央高校基本科研基金项目(21612103)

[作者简介] 谭小琪(1986-), 研究方向: 土壤污染与修复。

通信作者: 李取生, 研究员, 博士研究生导师, 研究方向: 环境生态与土壤环境等。E-mail: liusheng@21cn.com

目前,我国重金属污染的耕地面积近 2 500 万 hm^2 ,约占总耕地面积的 1/5,每年被重金属污染的粮食多达 1 200 万吨,造成的直接经济损失超过 200 亿元^[1]. Cd 在土壤中的高度移动性和对作物的高度毒害性,被视为重金属中最具有危害性的一种污染元素^[2]. 农业部环保监测系统曾对全国 24 省、市 320 个严重污染区土壤调查发现,大田类农产品超标面积占污染区农田面积的 20%,其中重金属超标占污染土壤和农作物的 80%^[3]. 有研究^[4]显示矿区附近农田土壤中 Cd 的有效态质量分数占其质量分数的 34.4%,已达到较高的风险水平.

土壤重金属污染直接影响到农产品的安全^[4],许多学者通过培育超富集植物对受污土壤进行植物修复^[5-7],除此以外,种植低累积重金属的作物品种,降低农作物可食用部位的重金属含量,合理利用受污染土壤,也是保证农产品安全行之有效的方法.在目前土壤污染问题不能较快解决的情况下,筛选 Cd 低累积品种无论对人类健康还是食品安全的角度都显得极其迫切. 品种育种已成为一种减少植物 Cd 积累的方法^[8]. 大量研究发现,作物种间对重金属的吸收和累积存在明显差异^[9-10]. 作物在吸收和累积重金属能力上,不仅表现出显著的种间差异,也表现出了显著的种内差异^[11]. 已有研究结果表明水稻、玉米、小白菜和花生等^[12-15]作物不同基因型积累与分布重金属存在显著差异.

番茄,是我国栽培最为普遍的果菜之一,品种众多,在蔬菜周年供应中占有重要地位. 已有学者研究证明在轻度 Cd 胁迫下,存在着番茄的 Cd 安全品种(Cd-PSCs)^[16]. 因此,本研究收集市面上常见的 29 种番茄品种,研究不同品种番茄对 Cd 的吸收积累差异,筛选 Cd 低累积型品种,旨在为实现轻、中度 Cd 污染土壤的安全利用提供一条行之有效的途径.

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试番茄:所用番茄品种购于各地多个蔬菜种子公司,其遗传背景差异较大,品种编号和名称如表 1 所示,下文中品种名称将由编号代替.

供试土壤:来自广州市天河区岑村农用地. 供试土壤的 pH 值为 5.6, 阳离子交换量 7.33 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 总可溶性盐 27.2 $\text{vs} \cdot \text{cm}^{-1}$, 乙二胺四乙酸 - 可交换性 Cd (EDTA-可交换性 Cd) 为 0.24 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 总 Cd 质量分数为 2.28 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 土壤 pH 使用土:水 = 1:5, 分别连续震荡和平衡 1 h^[17]; 总可溶

性盐和 CEC 依据常规土壤农业化学方法进行分析^[18]; 土壤的 EDTA-可交换性 Cd 使用 0.05 mol EDTA 提取, 使用原子吸收分光光度计测定(岛津 AA7700)^[19].

表 1 供试番茄品种名称与编号

Table 1 Names and IDs of the test tomatoes

编号	名称	编号	名称
S1	以色列 R204	S16	花绣球
S2	金钻王 1 号	S17	甜橙番茄 B021
S3	粉红硬果 301	S18	夏抗王
S4	新金丰 1 号	S19	金凤 1 号
S5	新夏红	S20	耐暑红玉 F1
S6	以色列 928	S21	夏艳 TC-368
S7	草莓番茄	S22	赛田 203
S8	红牛奶番茄	S23	中蔬四号
S9	台湾珍珠	S24	青苹果番茄
S10	台湾黄圣女	S25	红柿王 F1
S11	大红五彩	S26	紫天使
S12	黄金一点红	S27	红宝石
S13	新 402	S28	以色列 3098
S14	台湾红圣女	S29	美味
S15	元明黄娇子		

1.2 试验设计

盆栽试验于 2012 年 5 月上旬至 11 月下旬在广州暨南大学环境系玻璃温室($113^{\circ}35' \text{E}, 23^{\circ}12' \text{N}$)内进行. 供试土壤经自然风干后,参照国家土壤环境质量标准(GB15618-1995)中Ⅲ级标准值^[20],设置 2 个质量分数处理,分别为 T1(Cd 1.2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 T2(Cd 2.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). 投加形态为 Cd(NO_3)₂(优级纯),以溶液的形式加入到土壤中,充分混匀,后称取风干土壤 2.2 kg,装入直径为 22 cm,高 15 cm 的塑料花盆中,平衡 1 个月待用. 两组处理均设置 3 个重复,将利用多灵菌进行过灭菌处理的番茄种子播种于盆中. 当幼苗长到 2~3 片真叶时进行间苗,每盆保留 2 株幼苗. 种植期间进行田间常规管理,保证自然光照和充足水分,11 月 27—28 日收集供试番茄各品种的根,地上部和果实样品,测定生物量(鲜质量、干质量)和重金属质量分数.

1.3 样品分析

样品采集后,分别用自来水充分洗净后再用去离子水冲洗,沥去水分,称量其鲜质量(FW),在 80 °C 烘箱中烘至恒重,测其干质量(DW). 用植物微样粉碎机粉碎,每个样品称取 0.4 g 于消化管中,加入 10 mL 浓硝酸放置 2 h,放于微波消解仪(MARS5)

中,功率1600 W、温度170 °C消解0.5 h,冷却后过滤,用蒸馏水定容至25 mL。微波消解后制备成植物样品,采用原子吸收分光光度计(岛津AA7700)测定供试样品的Cd全量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。采集盆栽土样中的土壤50 g,混合均匀,将其烘干,磨细过100目筛,制备土壤样品,以测定土壤中重金属全量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

1.4 安全标准与数据处理

根据国家农产品安全质量无公害蔬菜安全要求(GB18406.1-2001)^[21], Cd的最大限度为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (FW)。此标准用于评估供试番茄品种的安全性。

采用胁迫产量响应(YRS)^[22]来比较供试品种在不同质量分数下Cd暴露下的响应情况,其计算公式为: $YRS\% = (Y_H - Y_L) / Y_L \times 100$,其中 Y_H 和 Y_L 分别代表供试番茄在高低Cd质量分数下的番茄果实鲜质量。

采用转运系数(TF)^[23]来评价Cd从土壤转移到植物的潜力,其计算公式为: $TF_1 = C_1 / C_2$, $TF_2 = C_2 / C_3$,其中 C_1 , C_2 , C_3 分别为各个品种果实、地上部和根部的平均Cd干重质量分数。

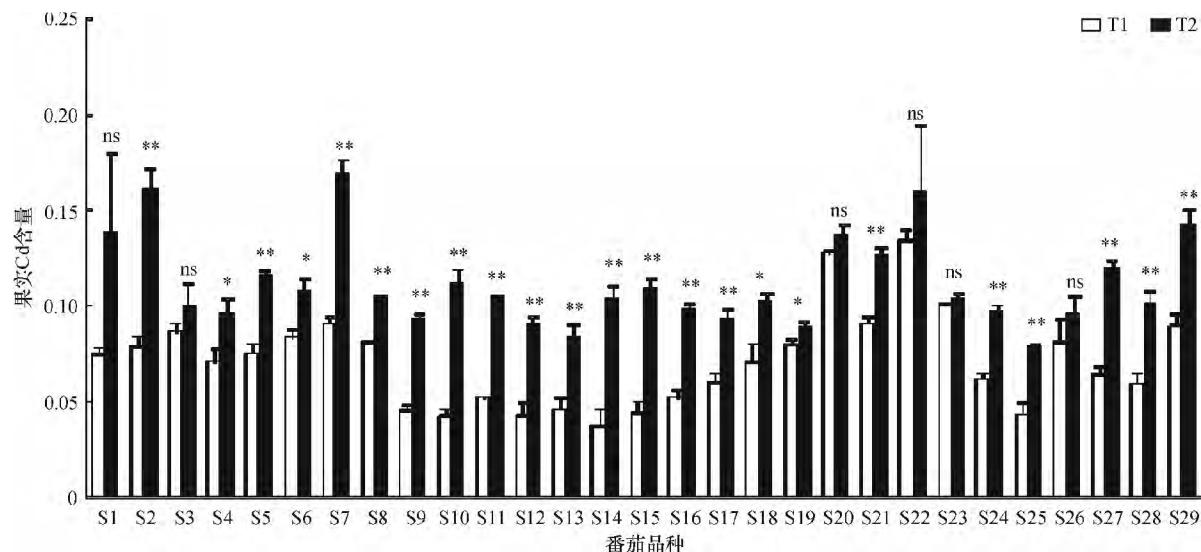
数据处理使用Excel 2007和IBM SPSS Statistics 21软件。两种处理间(1.2和 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd)的差

异使用双因素方差分析,种间差异性分析使用单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 番茄可食部位Cd质量分数品种差异

各品种番茄在T1和T2处理下可食部位Cd质量分数如图1所示。供试番茄品种在T1处理下,可食部位的Cd质量分数为 $0.037 \sim 0.134 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (FW),平均值为 $0.071 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (FW),变异系数为34.7%。T2处理下,可食部位的Cd质量分数范围为 $0.079 \sim 0.170 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (FW),平均值为 $0.112 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (FW),变异系数为23.2%。两种处理间,29个供试品种中65.52%显示出极显著的差异($P < 0.01$),13.79%和20.69%供试品种分别显示显著差异($P < 0.05$)和没有显著差异($P > 0.05$)。总体上各品种番茄的Cd质量分数有随着污染水平上升而上升的趋势。每个处理中,不同品种番茄可食部分的Cd质量分数均表现出极显著差异($P < 0.01$)。在T1处理中,除了S9,S10,S12,S13,S14,S15和S25,此6种品种可食部位Cd质量分数低于国家标准外,其余品种均高于国家标准,超标率为75.86%;在T2处理下,所有品种番茄可食部位Cd质量分数均高于 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超标率为100%。



值为平均值±标准差($n=3$) * :在 $P < 0.05$ 水平下具有显著差异, ** :在 $P < 0.01$ 水平下具有极显著差异, ns: 在 $P < 0.05$ 水平下无显著差异

图1 29种番茄在不同处理下可食部位的Cd质量分数(FW, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig. 1 Cd concentration in the edible parts of the 29 tomato varieties between two treatments (FW, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

2.2 番茄可食部位Cd质量分数的聚类分析

由于T2处理下各番茄品种Cd质量分数均超标,所以使用T1处理将29个番茄品种Cd质量分数

的平均值进行系统聚类分析,结果见图2。所有番茄的生长环境均一致,环境对番茄吸收Cd的影响也一致,故不同番茄品种表现出来的Cd质量分数差

异即可认为其积累 Cd 的品种差异。

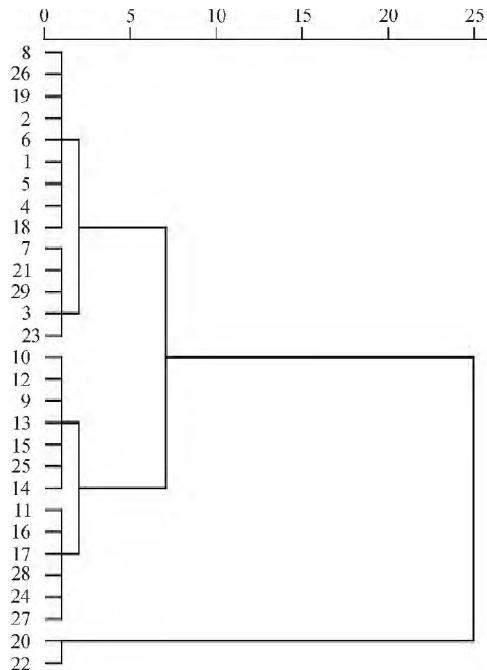


图 2 29 个番茄品种可食部位 Cd 质量分数聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis on Fruit Cd concentrations in 29 tomato varieties

由图 2 可知, 29 个番茄品种可食部位对 Cd 的累积能力差异可划分为 3 类: 第 1 类包括品种 S10, S12, S9, S13, S15, S25, S14, S11, S16, S17, S28, S24 和 S27, 为 Cd 低累积类群, 其可食部位平均 Cd 质量分数为 $0.050 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化范围为 $0.037 \sim 0.064 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 第 2 类包括品种 S8, S26, S19, S2, S6, S1, S5, S4, S18, S7, S21, S29, S3 和 S23, 为 Cd 中等累积类群, 其可食部位平均 Cd 质量分数为 $0.082 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化范围为 $0.070 \sim 0.101 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 第 3 类包括品种 S20 和 S22, 为 Cd 高累积类群, 其可食部位平均 Cd 质量分数达 $0.131 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 为无公害蔬菜安全标准的 2.62 倍。综合图 1 和图 2 可知, 品种 S10, S12, S9, S13, S15, S25 和 S14 对 Cd 具有低累积的潜力。而品种 S20 和 S22 对 Cd 具有很强的富集能力, 不宜在重金属污染土壤上推广种植。

2.3 不同品种番茄 Cd 转运系数的差异

根据国家农产品质量安全质量无公害蔬菜安全要求和类聚分析初步筛选出了 S10, S12, S9, S13, S15, S25 和 S14 这 7 个品种, 计算其转运系数结果, 如图 3 所示, 由图可知, 该 7 个品种无论是地上部/果实, 还是根/地上部, 其对 Cd 转运系数均小于 1, 说明番茄从土壤吸收的重金属主要存在于根部, 向地上部

和果实运输的量很少, 其中地上部/果实的转运系数均低于 0.1, 最小值为 0.055, 最大值为 0.197, 两者相差 3.56 倍, 品种之间差异极显著 ($P < 0.01$)。

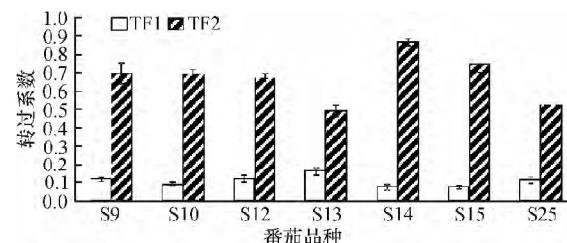


图 3 7 个品种番茄对 Cd 的转运系数

Fig. 3 Translocation factor in 7 tomato varieties

2.4 不同品种番茄对 Cd 的耐受性

两个处理下各品种番茄根、地上部和果实的生物量范围如表 2 所示。方差分析结果显示, 同一处理下品种间地上部和果实的生物量差异极为显著 ($P < 0.01$), 根部生物量差异显著 ($P < 0.05$)。但 $T1$ 、 $T2$ 处理间番茄各个营养器官的生物量无显著性差异。由于地上部和根系生物量变化可作为植物对重金属耐性指标^[24], 表明本实验设置的两个质量分数梯度均未达到番茄 Cd 耐受性的阀值, 番茄在低中程度污染土壤种植是可行的, 并不会造成农产量减少。

表 2 各品种番茄各营养器官生物量范围(平均值) ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 Biomass yields range of root, shoot and fruit in different varieties of tomato

部位	$T1$ 处理(平均值)	$T2$ 处理(平均值)
根	$1.35 \sim 10.26 (4.08)$	$1.09 \sim 8.44 (3.96)$
地上部	$43.51 \sim 205.07 (102.49)$	$40.35 \sim 197.98 (99.42)$
果实	$8.05 \sim 127.34 (48.17)$	$6.09 \sim 161.17 (43.26)$

由表 2 可知, $T1$ 处理下根、地上部和果实的平均生物量均略高于 $T2$ 处理下的对应的平均生物量。但其中有 11 个品种果实产量在 $T2$ 处理条件下反而比 $T1$ 要高(图 4), 占所有供试品种总数的 37.93%。值得注意的是, 属于 Cd 低累积类群的 S10、S13 和 S15 这 3 个品种, 在 $T2$ 处理中果实生物量也有所提高, 但 S25 果实产量降低了 2.63 倍, 对 Cd 污染响应敏感。地上部和根的生物量变化趋势与果实一样, 分别有 12 和 14 个品种在 $T2$ 处理水平下生物量比 $T1$ 处理水平下高。由此可见, 在未超过番茄对 Cd 耐受性的水平下, 随着 Cd 胁迫质量分数的升高, 并不一定对所有的番茄品种产生不良的影响。其中属于 Cd 低累积类群的 S10 和 S12 品种在 $T2$ 处

理水平地上部生物量比 $T1$ 处理水平下高; S9, S10, S12, S13 和 S25 品种根部生物量在 $T2$ 处理水平下比 $T1$ 处理水平下高.

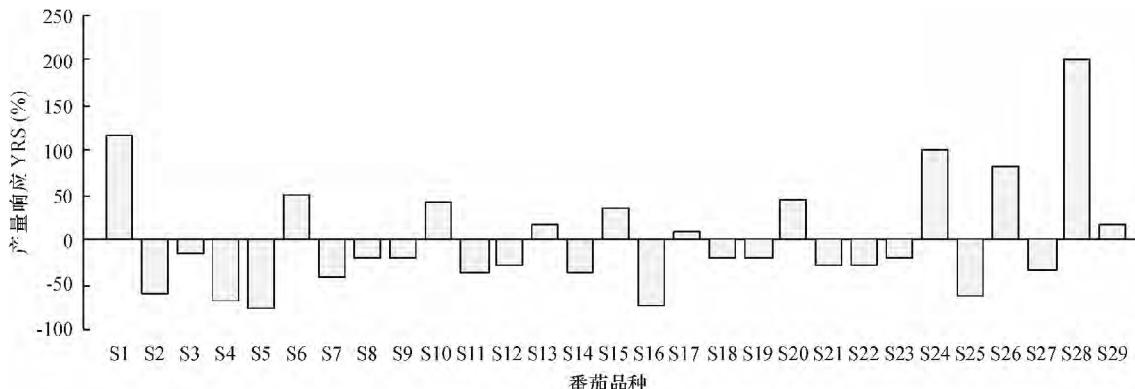


图 4 29 个供试番茄品种的胁迫产量响应

Fig. 4 The fruit yield response to stress (YRS) of 29 tomato cultivars

3 讨论

据统计,当前我国大多数城市近郊土壤都受到了不同程度的污染,其中 Cd 污染较普遍,污染面积近 1 000 万 hm^2 ^[25]. 以珠江口为例,农民利用受重金属污染的江水灌溉,使粮食、蔬菜、水果等食物中 Cd 质量分数超标或接近临界值^[4,26]. 从目前我国的国情看,停止农业生产,治理受污土壤是不符合实际的. 因此,在一定的受污限度下,筛选重金属低累积品种作物,既能利用受污土壤,也能保证农业生产,符合当前发展的需求.

本研究结果显示,不同品种间番茄可食部位的 Cd 质量分数存在极显著的差异,这在为中、低污染土壤种植符合人类健康需要的农产品提供了重要的依据,也证明了筛选番茄 Cd-PSCs 的可行性. 在实验过程中,所有品种均没有表现出任何中毒现象. 在两种处理之间果实、地上部和地下部的生物量没有显著差异,这说明番茄对 Cd 毒害有一定的耐受性,土壤中 Cd 的增加不一定对番茄的生长产生不良的影响. 很多其他植物已经被证明有与此相同的现象,比如大米、豇豆和芝麻^[27-29]. 除此以外,本研究还表明在一定的范围内对番茄进行 Cd 胁迫,会对番茄的生长起促进作用,这可能与植物应对 Cd 胁迫的保护机制,根系酶的活性的增加使植株在一定程度上生长加快有关^[30],而且不同品种番茄对 Cd 的耐受程度有差异. 本实验并未找出番茄对 Cd 的耐受阈值,因此需要做进一步的实验加以研究.

目前对于筛选 Cd-PSCs 尚没有统一的标准,综合前人的研究^[14,31],重金属低累积作物应具备以下

特征:该作物的可食部位重金属质量分数低于有关标准;该作物从其他部位向可食部位转运重金属能力较差,即转运系数 < 1 ;该作物对重金属毒害具有较高的耐受性,在较高浓度重金属污染下能够正常生长,且生物量无明显下降.

本研究结果表明,品种 S10, S12, S13, S9, S15 和 S14 具有低累积 Cd 的潜力,此外, S20 和 S22 品种对 Cd 高积累,可能会通过食物链影响到人类的健康. 在本研究中番茄在添加外源 Cd 质量分数为 2.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,均超出国家农产品质量安全质量无公害蔬菜安全要求,说明番茄对 Cd 污染敏感, PSCs 的选择取决于土壤的污染水平. 因此番茄只适合在中低污染土壤种植,在高污染土壤种植有超标的风脸,且不易被生产者察觉.

4 结论

在相同的种植条件下,29 个番茄品种其可食部位的 Cd 质量分数差异极显著 ($P < 0.01$). 对可食部位 Cd 质量分数进行聚类分析结果显示,台湾黄圣女、黄金一点红、台湾珍珠、新 402、元明黄娇子、红柿王 F1、台湾红圣女、大红五彩、花绣球、甜橙番茄 B021、以色列 3098、青苹果番茄、红宝石樱桃番茄,为 Cd 低累积类群,其中台湾黄圣女、黄金一点红、台湾珍珠、新 402、元明黄娇子、红柿王 F1、台湾红圣女,此 7 个品种符合国家农产品质量安全质量无公害蔬菜安全要求 (GB18406.1-2001). 根据可食部位 Cd 的质量分数、Cd 转运系数、番茄植株生物量等指标进行评价,认为台湾黄圣女、黄金一点红、台湾珍珠、新 402、元明黄娇子、台湾红圣女可作为番茄的 Cd-PSCs.

[参考文献]

- [1] 钟秀明,武雪萍.我国农田污染与农产品质量安全现状、问题及对策[J].中国农业资源与区划,2007,28(5):27-32.
- [2] 徐龙君,袁智.土壤重金属污染及修复技术[J].环境科学与管理,2006,31(8):67-69.
- [3] 崔斌,王凌,张国印,等.土壤重金属污染现状与危害及修复技术研究进展[J].安徽农业科学,2012,40(1):373-375,447.
- [4] LI Q S, CHEN Y, FU H B, et al. Health risk of heavy metals in food crops grown on reclaimed tidal flat soil in the Pearl River Estuary, China [J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, (227): 148 - 154.
- [5] WEI S H, ZHOU Q X, WANG X, et al. A newly-discovered Cd-hyperaccumulator Solanum nigrum L [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(1): 33 - 38.
- [6] 黄红英,徐剑,白音,等.不同土壤生境下斑茅对重金属的富集特征[J].生物学杂志,2012,31(4):961-966.
- [7] RUNGRUANG N, BABEL S, PARKPIAN P. Screening of potential hyperaccumulator for cadmium from contaminated soil [J]. Desalination and Water Treatment, 2011, 32(1-3):19 - 26.
- [8] GRANT C A, CLARKE J M, DUGUID S, et al. Chaney. Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation [J]. Science of the Total Environment, 2008, 390:301 - 310.
- [9] 丁枫华,刘术新,罗丹,等.23种常见作物对镉毒害的敏感性差异[J].环境科学,2011,32(1):277-283.
- [10] WANG G, SU M Y, CHEN Y H, et al. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China [J]. Environmental Pollution, 2006, 144: 127 - 135.
- [11] ZHU Y, YU H, WANG J L, et al. Heavy metal accumulations of 24 asparagus bean cultivars grown in soil contaminated with Cd alone and with multiple metals (Cd, Pb, and Zn) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55: 1045 - 1052.
- [12] 刘俊侯,梁吉哲,韩晓日,等.东北地区不同水稻品种对Cd的累积特性研究[J].农业环境科学学报,2011,30(2):220-227.
- [13] 郭晓方,卫泽斌,丘锦荣,等.玉米对重金属累积与转运的品种间差异[J].生态与农村环境学报2010,26(4):367-371.
- [14] 陈瑛,李延强,杨肖娥,等.不同品种小白菜对镉的吸收积累差异[J].应用生态学报. 2009, 20(3): 736 - 740.
- [15] 王凯荣,曲伟,刘文龙,等.镉对花生苗期的毒害效应及其品种间差异[J].生态环境学报. 2010, 19(7): 1653 - 1658.
- [16] 朱芳,方炜,杨中艺.番茄吸收和积累Cd能力的品种间差异[J].生态学报,2006, 26 (12): 4071 - 4081.
- [17] LI Q, ZHAO X L, HU C R. ISO 10390:2005 Soil Quality-Determination of pH [J]. Pollution Control Technology, 2006, 19:53 - 55.
- [18] 胡学玉.环境土壤学实验与研究方法[M].武汉:中国地质大学出版社有限责任公司, 2011.
- [19] 甘国娟,刘妍,朱晓龙,等.3种提取剂对不同类型土壤重金属的提取效果[J].中国农学通报,2013,29(2):148 - 153.
- [20] GB15618 - 1995,国家土壤环境质量标准[S].
- [21] GB 18406.1 - 2001,农产品安全质量无公害蔬菜安全要求[S].
- [22] YU H, WANG J L, FANG W, et al. Cadmium accumulation in different rice cultivars and screening for pollution-safe cultivars of rice [J]. Science of the Total Environment, 2006, 370: 302 - 309.
- [23] ALAN J M B, STEVEN N W. In search of the Holy Grail-a further step in understanding metal hyperaccumulation? [J]. New Phytologist, 2002, 155:1 - 7.
- [24] 张微,吕金印,柳玲.不同基因型番茄幼苗对镉胁迫的生理响应及镉吸收差异[J].农业环境科学学报,2010, 29(6):1065 - 1071.
- [25] 杨苏才,南忠仁,曾静静.土壤重金属污染现状与治理途径研究进展[J].安徽农业科学,2006, 34 (3):549 - 552.
- [26] 吴兴让,尹平河,赵玲,等.珠江广州段微表层和次表层水中重金属分布与风险的初步评价[J].暨南大学学报:自然科学版与医学版,2010,31(1):84 - 88.
- [27] 孟桂元,蒋端生,柏连阳,等.Cd胁迫下苎麻的生长响应与富集、转运特征研究[J].生态科学,2012,31(2):192 - 196.
- [28] ZHU Y, YU H, WANG J L, et al. Heavy Metal Accumulations of 24 Asparagus Bean Cultivars Grown in Soil Contaminated with Cd Alone and with Multiple Metals (Cd, Pb, and Zn) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55:1045 - 1052.
- [29] LIU W T, ZHOU Q X, A J, et al. Variations in cadmium accumulation among Chinese cabbage cultivars and screening for Cd-safe cultivars [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 173: 737 - 743.
- [30] 朱志勇,郝玉芬,吴金芝,等.镉胁迫对不同小麦品种幼苗生长以及Cd²⁺、Zn²⁺、Mn²⁺吸收和积累的影响[J].水土保持学报,2011,25(2):209 - 213.
- [31] 刘维涛,周启星,孙约兵,等.大白菜对铅积累与转运的品种差异研究[J].中国环境科学,2009,29(1):63 - 67.

[责任编辑:刘蔚绥]