

陈雪,沈方科,张增裕,等. 镉砷低积累萝卜品种的筛选[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):152-155.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.040

# 镉砷低积累萝卜品种的筛选

陈雪,沈方科,张增裕,潘柳疏,程浩,顾明华,韦燕燕  
(广西大学农学院农业环境与农产品质量安全重点实验室,广西南宁 530004)

**摘要:**以 18 个萝卜品种为试验材料,进行土培试验,探讨在镉(Cd)和砷(As)复合污染的土壤上种植对其产量、不同部位的 Cd 和 As 积累量的影响。结果表明,在试验土壤上不同的萝卜品种之间可食用部分的产量差异均达到显著水平( $P < 0.05$ ),最高和最低间相差 27.26 倍;在供试的 18 个萝卜品种中,可食用部分 Cd 含量的范围在 0.057 ~ 0.128 mg/kg (鲜质量含量),平均含量为 0.083 mg/kg,地上部 Cd 的含量高于地下部,说明 Cd 更易于在萝卜地上部积累,且品种之间 Cd 含量差异达到显著水平( $P < 0.05$ );As 的含量范围在 0.087 ~ 0.223 mg/kg,最高和最低间相差 2.56 倍。综合不同萝卜品种地下部产量及对 Cd 和 As 的吸收积累的差异,建议在该复合污染土壤上种植以下 3 个萝卜品种:夏秋白玉、申萌青翠水果和九斤王南畔洲甜晚。

**关键词:**镉;砷;萝卜;土壤;品种筛选

**中图分类号:** S631.103.7;X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0152-04

随着社会经济的快速发展和工业化进程的不断加快,环境问题越来越突出,土壤的重金属污染也越来越严重。2014 年公布的《全国污染土壤调查公报》中指出,全国土壤污染总的超标率达到 16.1%,其中,镉(Cd)、砷(As)的点位超标率分别为 7.0%、2.7%,在 8 种无机污染物中分别排名第 1 和第 3[污染物超标率排名为镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铜(Cu)、铅(Pb)、铬(Cr)、锌(Zn)、镍(Ni)]<sup>[1]</sup>。而近年来发表的有关研究报告显示,我国农田 Cd 污染大多数是由工业污水灌溉造成的<sup>[2]</sup>,我国有 140 万  $\text{hm}^2$  农田地处污灌区,其中有 64.8% 的面积遭受重金属污染,目前全国耕地受到 Cd 污染的大约有 1.3 万  $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>。As 污染主要是由于矿山开采、矿石冶炼和工农业中应用的含 As 化合物,如在湖南石门的雄黄矿区周边的农田中 As 严重超标,含量高达 300  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[4]</sup>。

目前,我国土壤重金属污染形势严峻,而种植在这些污染土壤上的蔬菜重金属超标问题屡有报道。曾希柏等调查了 1989 年以来中国蔬菜土壤中重金属的情况,发现 Cd 超标问题最突出,全国约 24% 的样本超标,而毒性最大的元素是 As<sup>[5]</sup>。沈彤等检测长沙市农产品发现,蔬菜 Cd 超标率为 56%,其中叶菜类高达 100%<sup>[6]</sup>。蔡立梅等调查东莞市蔬菜 As 含量发现,白菜和菜心 As 超标率分别为 38%、75%<sup>[7]</sup>。Cd 和 As 的污染已经严重威胁到人体健康状况,因此,如何防止强毒性重金属 Cd 和 As 通过植物经食物链传递进入人体,对保证食物质量和食品安全及人体健康意义重大。

不同的植物对 Cd 和 As 的耐性、吸收和积累效应不同,不仅在种间有很大差异,而且在品种之间也呈现一定差异。

收稿日期:2017-05-30

基金项目:国家自然科学基金(编号:41401574);中国博士后科学基金(编号:2015M572418)。

作者简介:陈雪(1992—),女,广西合浦人,硕士研究生,主要从事植物营养环境生态等研究。E-mail:chenxuegu@163.com。

通信作者:韦燕燕,博士,讲师,硕士生导师,主要从事植物营养环境生态等研究。E-mail:yanyanwei@gxu.edu.cn。

孙建云等研究发现,在 100  $\text{mg}/\text{L}$  Cd 污染土壤下,31 个不同基因型甘蓝的耐性及吸收、积累 Cd 能力具有显著差异<sup>[8]</sup>。王林友等研究不同基因型水稻对 Cd、As、Pb 积累时发现存在着明显的品种差异,其中 Cd、As、Pb 含量分别为 0.072 ~ 0.476、0.101 ~ 0.228、0.010 ~ 0.240  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[9]</sup>。Arthur 等报道胡萝卜基因型间 Cd 积累浓度范围为 0.06 ~ 0.87  $\text{mg}/\text{kg}$ ,高低值间相差约为 15 倍<sup>[10]</sup>。所以选育低 Cd 和 As 积累作物品种来降低作物对 Cd 和 As 的吸收和积累,从而减少农产品中的 Cd 和 As 含量,在国内外被普遍认为是现实可行的途径。从国内外的研究现状来看,针对植物对某一种重金属积累筛选研究较多,但是针对复合污染土壤上同时进行低积累 Cd 和 As 的植物研究较少,本研究通过选取全国常见的萝卜品种,在 Cd 和 As 复合污染的土壤上种植,并对其 Cd 和 As 含量进行检测分析,筛选出 Cd 和 As 在国家标准以内的萝卜品种。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试萝卜品种为 18 个常见品种(表 1)。

表 1 供试萝卜品种

| 品种编号 | 萝卜名称       | 品种编号 | 萝卜名称       |
|------|------------|------|------------|
| 1    | 秋白 65      | 11   | 意大利精选梅花春   |
| 2    | 夏秋白玉       |      | 不老南畔洲甜晚    |
| 3    | 一代中美白金     | 12   | 申萌青翠水果     |
| 4    | 特级马尔       | 13   | 玉笋         |
| 5    | 火车头短叶 13 号 | 14   | 九斤王南畔洲甜晚   |
| 6    | 科兴-改良春不老   | 15   | 宁夏 22 号早   |
| 7    | 超级短叶 13 号  | 16   | 金沙尖下叶 13-6 |
| 8    | 欧兰德-中大 791 | 17   | 白玉春        |
| 9    | 露头青        | 18   | 坂田八寸       |
| 10   | 胶蔬改良潍县青    |      |            |

土壤均采集自广西某镉砷复合污染地区 0 ~ 20 cm 的表层土壤,经过风干、磨碎、混匀、过 2 mm 筛备用。土壤基本理化性质:pH 值为 5.32,土壤有机质含量为 26.92  $\text{g}/\text{kg}$ ,碱解氮

含量为 77.00 mg/kg,速效磷含量为 101.20 mg/kg,速效钾含量为 58.85 mg/kg,总 Cd 含量为 0.82 mg/kg,总 As 含量为 63.14 mg/kg。

### 1.2 试验方案

采用土培试验,试验盆栽采用的塑料桶高 30 cm、直径为 25 cm,装土 8 kg,每个品种设 3 次重复。所有盆栽都施用的底肥尿素含量为 0.66 g/kg,磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )含量为 0.29 g/kg,氯化钾(KCl)含量为 0.32 g/kg,均与土壤混匀施入。将混匀的土壤装入盆中,用水平衡静置 2 周。

萝卜种子用 2% NaClO 消毒 20 min,洗净后用水浸泡过夜,然后放在湿润纱布上避光催芽 3 d,挑选发芽的种子撒到土壤中,等到种子长到 3 叶 1 心期时对其进行间苗,每盆留 3 株,每天水分含量保持在 70%~80%,待生长 4 个月后收获。

### 1.3 样品的分析测定

成熟后将萝卜植株连根拔起,先用自来水冲洗净,然后用 0.1% 盐酸溶液浸洗 10 min,再用去离子水洗净,用吸水纸吸干,分为地上和地下 2 个部分,称鲜质量。

土壤的理化性质测定参照常规分析法<sup>[11]</sup>,土壤全 Cd 和 As 的含量采用王水( $\text{HNO}_3$ 、HCl 体积比为 1:3)消解,消解液中 Cd 和 As 含量采用 ICP-MS(电感耦合等离子体质谱仪,Agilent 7500a,USA)测定。

萝卜样品 Cd 和 As 含量的测定,采用  $\text{HNO}_3$ - $\text{HClO}_4$ (体积比为 85:15),置于微波消解仪(CEM Mars 6)中消解,消解液中 Cd 和 As 含量采用 ICP-MS(Agilent 7500a,USA)测定,以鲜质量计。

### 1.4 数据分析方法

采用 Excel 2013 进行数据的统计分析和绘图,用 SPSS 17.0 进行方差分析,采用 Duncan's 检验法进行多重比较检验处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 18 个萝卜品种的生物量

表 2 和表 3 结果表明,盆栽中萝卜品种地上部分和地下部分产量差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),其地上部分产量范围是 90.19~280.52 g/盆,平均为 177.73 g/盆,变异系数为 31.23%;地下部分产量范围是 4.97~135.50 g/盆,平均为 40.03 g/盆,最高和最低间相差 27.26 倍,变异系数为 72.33%。通过萝卜地下部分产量的聚类分析(图 1),可以把萝卜分为高产、中产、低产 3 种类型,其中玉笋为高产萝卜品种,产量为 135.50 g/盆;秋白 65、夏秋白玉、一代中美白金、火车头短叶 13 号、超级短叶 13 号、欧兰德-中大 791、露头青、胶蔬改良潍县青、申萌青翠水果、九斤王南畔洲甜晚、白玉春和坂田八寸等 12 个萝卜品种为中产品种,产量范围 31.93~60.38 g/盆;特级马尔、科兴-改良春不老、意大利精选梅花春不老南畔州甜晚、宁夏 22 号早和金沙尖下叶 13-6 等 5 个萝卜品种为低产品种,产量范围 4.97~21.63 g/盆。不同萝卜品种地上部产量的变异系数小于地下部产量的变异系数,说明萝卜品种地下部产量差异更明显。

### 2.2 18 个萝卜品种对 Cd 的积累能力

如图 2 和表 3 所示,18 个萝卜品种地上部分 Cd 含量范围为 0.096~0.198 mg/kg,平均含量为 0.144 mg/kg,变异系

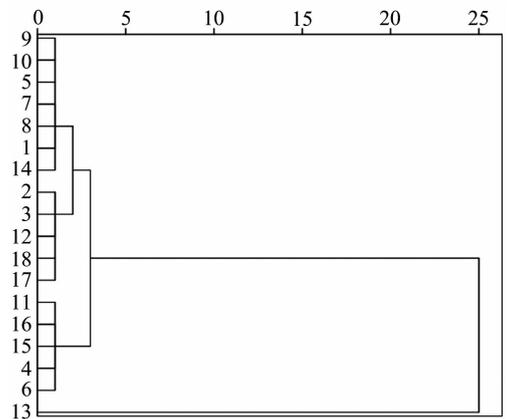
表 2 18 个萝卜品种的鲜质量

| 品种编号 | 地上部质量<br>(g/盆)    | 地下部质量<br>(g/盆) |
|------|-------------------|----------------|
| 1    | 99.86 ± 9.51h     | 36.71 ± 10.13d |
| 2    | 212.59 ± 25.40bcd | 56.58 ± 3.02b  |
| 3    | 97.82 ± 7.04hi    | 60.38 ± 5.99b  |
| 4    | 121.74 ± 7.41gh   | 13.95 ± 1.85f  |
| 5    | 147.83 ± 25.31fg  | 35.19 ± 2.95d  |
| 6    | 280.52 ± 21.31a   | 21.63 ± 5.85e  |
| 7    | 192.05 ± 13.67cde | 34.79 ± 4.37d  |
| 8    | 222.69 ± 3.73bcd  | 31.93 ± 6.89d  |
| 9    | 167.89 ± 25.93ef  | 35.43 ± 1.68d  |
| 10   | 118.78 ± 1.71gh   | 36.71 ± 0.865d |
| 11   | 229.96 ± 18.89bc  | 11.56 ± 2.42fg |
| 12   | 90.19 ± 5.44h     | 47.12 ± 1.99c  |
| 13   | 182.84 ± 9.42def  | 135.50 ± 7.69a |
| 14   | 244.65 ± 16.91b   | 38.53 ± 2.95d  |
| 15   | 191.56 ± 14.66cde | 4.97 ± 0.74g   |
| 16   | 221.42 ± 16.91bcd | 12.43 ± 0.91fg |
| 17   | 211.59 ± 12.00bcd | 58.54 ± 3.61b  |
| 18   | 165.21 ± 7.16ef   | 48.63 ± 3.38c  |

注:表中的值为平均值 ± 标准差,  $n=3$ ; 数据后不同小写字母表示处理间有显著差异,  $P < 0.05$ 。

表 3 18 个萝卜品种生物量和重金属含量统计描述分析

| 类别      | 生物量(g/盆) |        | Cd 含量(mg/kg) |       | As 含量(mg/kg) |       |
|---------|----------|--------|--------------|-------|--------------|-------|
|         | 地上部      | 地下部    | 地上部          | 地下部   | 地上部          | 地下部   |
| 最小值     | 90.19    | 4.97   | 0.096        | 0.057 | 0.098        | 0.087 |
| 最大值     | 280.52   | 135.50 | 0.198        | 0.128 | 0.255        | 0.223 |
| 均值      | 177.73   | 40.03  | 0.144        | 0.083 | 0.162        | 0.167 |
| 方差      | 55.50    | 28.95  | 0.047        | 0.036 | 0.027        | 0.018 |
| 变异系数(%) | 31.22    | 72.33  | 18.94        | 21.65 | 28.67        | 21.67 |



纵坐标为品种编号,横坐标为聚类重新标定距离

图 1 18 个萝卜品种地下部产量聚类

数为 18.94%。地下部分 Cd 含量范围为 0.057~0.128 mg/kg,平均含量为 0.083 mg/kg,变异系数为 21.65%,且地下部分 Cd 的含量均低于地上部分。通过萝卜地下部分聚类分析(图 3),可以把 18 个萝卜品种分为高、中、低 Cd 积累类型,其中坂田八寸为高积累类型,含量为 0.128 mg/kg;秋白 65、一代中美白金、特级马尔、火车头短叶 13 号、欧兰德-中大 791、露头青、胶蔬改良潍县青、意大利精选梅花春不老南畔州甜晚、申萌青翠水果、玉笋、宁夏 22 号

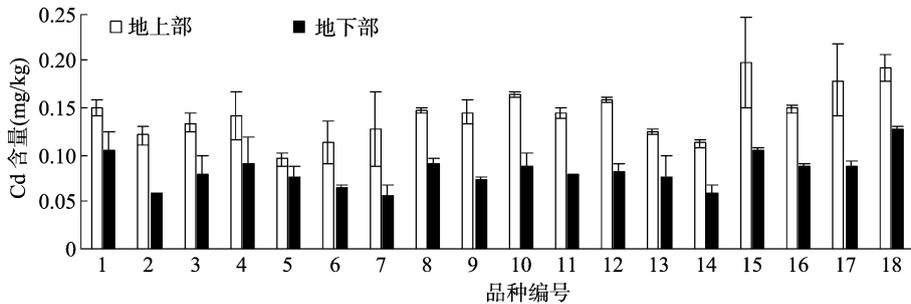
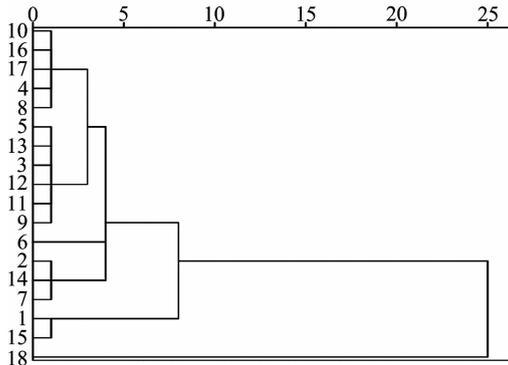


图2 18个萝卜品种对Cd的积累能力



横坐标、纵坐标编号同图1

图3 18个萝卜品种地下部Cd含量聚类

早、金沙尖下叶13-6和白玉春等13个萝卜品种为中积累类型,含量范围为0.074~0.110 mg/kg;夏秋白玉、科兴-改良春不老、超级短叶13号和九斤王南畔洲甜晚等4个萝卜品种为低积累类型,含量范围为0.057~0.066 mg/kg。不同萝卜品种地上部Cd含量的变异系数小于地下部Cd含量的变异系数,说明萝卜品种地下部Cd含量差异更明显。

根据GB 2762—2012《食物中污染物限量》,块根类蔬菜Cd含量 $\leq 0.1$  mg/kg,18个萝卜品种可食用部分Cd含量超标率为16.67%,超标的萝卜品种分别为秋白65、宁夏22号早

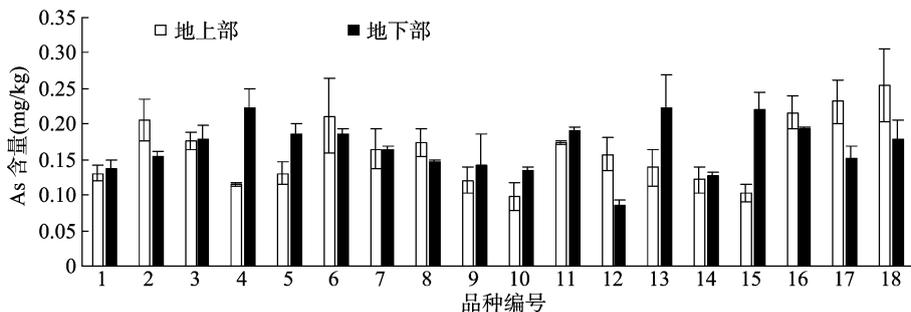


图4 18个萝卜品种对As的积累能力

#### 2.4 18个萝卜品种地下部分对Cd和As的富集系数

重金属生物富集系数是植物将重金属吸收转移到体内并在体内累积的能力,常用它来反映重金属元素在土壤植物体系中迁移的难易程度。重金属富集系数越大,说明该植物对该重金属积累能力越大,反之则越小。对图6、图7分析可知,在重金属Cd的富集系数中,富集系数最小的3个萝卜品种分别是夏秋白玉、超级短叶13号、九斤王南畔洲甜晚,分别为7.11%、7.00%、7.13%;富集系数最大的3个萝卜品种分别为秋白65、宁夏22号早、坂田八寸,分别为12.76%、12.62%、15.06%。在重金属As的富集系数中,富集系数最

和坂田八寸。因此建议在该复合污染土壤上不要种植这3个品种,这样生产的萝卜就会避免出现Cd超标的问题,使当地受到Cd污染的农田达到高效利用的目的。

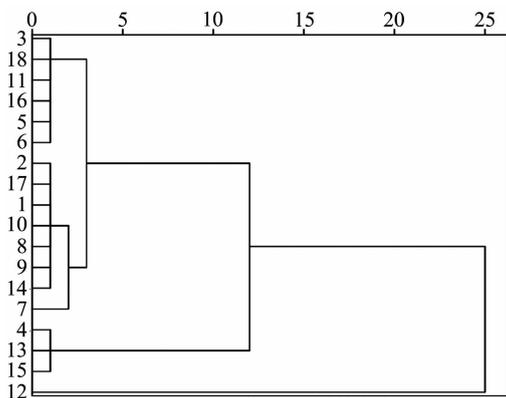
#### 2.3 18个萝卜品种对As的积累能力

如图4和表3所示,18个萝卜品种地上部分As含量范围为0.098~0.255 mg/kg,平均含量为0.162 mg/kg,变异系数为28.67%。地下部分As含量范围为0.087~0.223 mg/kg,平均含量为0.167 mg/kg,最高和最低间相差2.56倍,变异系数为21.62%。通过萝卜地下部分聚类分析(图5),可以把18个萝卜品种分为高、中、低As积累类型,其中特级马尔、玉笋和宁夏22号早这3个萝卜品种为高积累类型,含量范围为0.220~0.223 mg/kg;秋白65、夏秋白玉、一代中美白金、火车头短叶13号、科兴-改良春不老、超级短叶13号、欧兰德-中大791、露头青、胶蔬改良潍县青、意大利精选梅花春不老南畔州甜晚、九斤王南畔洲甜晚、金沙尖下叶13-6、白玉春和坂田八寸等14个品种为中积累类型,含量范围为0.128~0.165 mg/kg;申萌青翠水果为低积累类型,含量为0.087 mg/kg。根据GB 2762—2012《食物中污染物限量》,块根类蔬菜As含量 $\leq 0.5$  mg/kg FW,18个萝卜品种可食用部分As含量超标率为0,因此在该复合污染土壤上种植这18种萝卜不必担心As超标问题。

小的3个萝卜品种分别是申萌青翠水果、九斤王南畔洲甜晚、胶蔬改良潍县青,分别为0.14%、0.20%、0.21%;富集系数最大的3个萝卜品种分别为特级马尔、玉笋、宁夏22号早,分别为0.35%、0.35%、0.35%。从图6、图7可以看出,18个萝卜品种对重金属Cd的富集能力大于对重金属As的富集能力。

### 3 讨论与结论

近年来重金属污染问题日益严重,影响了农业的可持续发展<sup>[12]</sup>。萝卜是人类日常生活中必不可少的蔬菜之一,需求



横坐标、纵坐标编号同图1

图5 18个萝卜品种地下部分As含量聚类

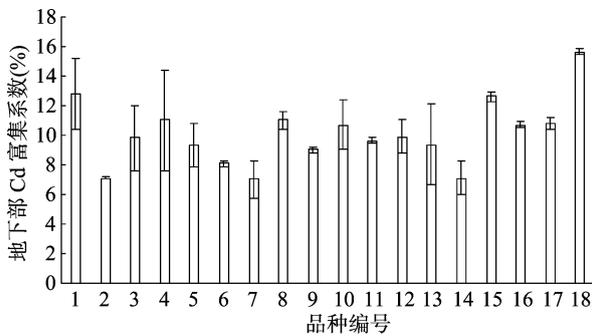


图6 18个萝卜品种地下部分Cd富集系数

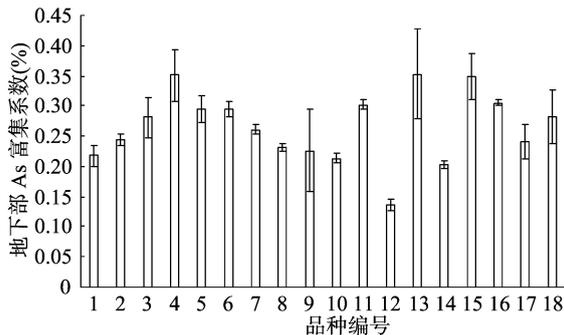


图7 18个萝卜品种地下部分As富集系数

量大,因此较低水平的污染都会造成极大的危害。而筛选和培育出低积累重金属的基因型被认为是一种降低重金属吸收的有效和合理的途径<sup>[13]</sup>。对于同种作物不同基因型吸收积累重金属的差异,国内外已经做了很多研究,Hinesly等研究认为植物对Cd的吸收差异是由基因控制的<sup>[14]</sup>;黄志亮研究了大白菜、甘蓝和菠菜这3种蔬菜不同基因型对Cd吸收积累的影响发现,每种基因型其地上部和地下部Cd含量均有显著的差异<sup>[13]</sup>;娄伟研究了33个萝卜品种对Cd、Pb的积累,发现地下部Cd和Pb含量范围分别为0.069~0.316、0.074~0.554 mg/kg(鲜质量含量),不同基因型萝卜Cd和Pb含量差异均达到显著水平,且Cd和Pb积累的规律都呈现地下部<地上部<sup>[15]</sup>;井彩巧在春夏2季研究个大白菜地上可食部分Cd含量差异,结果表明,不同大白菜品种间Cd含量差异显著,且2季结果基本一致<sup>[16]</sup>。

本研究结果表明,在试验土壤上不同萝卜品种之间可食用部分的产量差异均达到显著水平( $P < 0.05$ ),最高和最低

间相差27.26倍。在供试的18个萝卜品种中,可食用部分Cd含量的范围在0.057~0.128 mg/kg,平均含量为0.083 mg/kg,地上部Cd的含量高于地下部,说明Cd更易于在萝卜地上部积累,且品种之间Cd含量差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),18个萝卜品种可食用部分Cd含量超标率为16.67%,超标的品种分别为秋白65、宁夏22号早和坂田八寸。As的含量范围在0.087~0.223 mg/kg,最高和最低间相差2.56倍,18个萝卜品种可食用部分As含量超标率为0。从18个萝卜品种对Cd和As的富集系数分析,不同的品种对Cd和As的富集系数不同,同一品种对不同的重金属富集能力存在显著差异,18个萝卜品种对重金属Cd的富集能力大于对重金属As的富集能力。综合不同萝卜可食用部分对Cd和As的吸收积累及产量的差异,建议在该复合污染土壤上种植夏秋白玉、申萌青翠水果和九斤王南畔洲甜晚这3个萝卜品种。

#### 参考文献:

- [1] 环境保护部,国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[R/OL]. [2017-05-01]. <https://baike.so.com/doc/9795224-10141981.html>.
- [2] 吴燕玉,周启星,田均良. 制定我国土壤环境标准(汞、镉、铅和砷)的探讨[J]. 应用生态学报,1991,2(4):334-349.
- [3] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京:科学出版社,2005,27-206.
- [4] 曾希柏,苏世鸣,吴翠霞,等. 农田土壤中砷的来源及调控研究与展望[J]. 中国农业科技导报,2014,16(2):85-91.
- [5] 曾希柏,李莲芳,梅旭荣. 中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J]. 中国农业科学,2007,40(11):2507-2517.
- [6] 沈彤,盛穗,马赛平. 长沙市蔬菜中铅、砷含量状况及控制对策[J]. 湖南农业科学,2005(4):62-63.
- [7] 蔡立梅,黄兰椿,周永章,等. 东莞市农业土壤和蔬菜砷含量及其健康风险分析[J]. 环境科学与技术,2010,33(1):197-200.
- [8] 孙建云,王桂萍,沈振国. 不同基因型甘蓝对锡胁迫的响应[J]. 南京农业大学学报,2005,28(5):40-44.
- [9] 王林友,竺朝娜,王建军,等. 水稻镉、铅、砷低含量基因型的筛选[J]. 浙江农业学报,2012,24(1):133-138.
- [10] Arthur E, Crews H, Morgan C. Optimizing plant genetic strategies for minimizing environmental contamination in the food chain. Report on the MAFF funded joint JIC/CSL workshop held at the John Innes Centre, October 21-23, 1998. [J]. International Journal of Phytoremediation, 2000, 2(1): 1-21.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005, 100-115.
- [12] 张金彪,黄维南. 镉对植物生理生态效应的研究进展[J]. 生态学报,2000,20(3):514-523.
- [13] 黄志亮. 镉低积累蔬菜品种筛选及其偏积累与生理生化特性研究[D]. 武汉:华中农业大学,2012:16-45.
- [14] Hinesly T D, Alexander D E, Redborg K E, et al. Differential accumulations of cadmium and zinc by corn hybrids grown on soil amended with sewage sludge[J]. Plant & Soil, 1982, 74(3): 469-474.
- [15] 娄伟. 镉铅低积累萝卜、胡萝卜、茄子品种筛选及萝卜镉积累规律研究[D]. 武汉:华中农业大学,2010:18-58.
- [16] 井彩巧. 不同基因型大白菜福和铅含量差异研究[J]. 园艺学报,2006,33(2):402-404.