

# 无公害猕猴桃生产基地土壤中重金属累积状况研究

张翼飞,王 洋,任 丹,赵中飞,吕家珑\*

(西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**对陕西省周至县猕猴桃生产基地土壤中砷、铅、汞、镉和铜的累积状况进行了研究,结果表明:(1)土壤中砷、铅、汞、镉和铜的平均含量分别为  $14.22 \pm 12.38$ 、 $21.27 \pm 4.26$ 、 $0.65 \pm 0.50$ 、 $0.32 \pm 0.09$  和  $20.22 \pm 16.69$  mg/kg,土壤重金属累积不明显,均没有超过 GB15618-1995 土壤环境质量标准。但是,有4个样点的砷和1个样点的汞含量超标;(2)应用土壤质量环境单因子污染指数进行评价,所有土样的平均土壤重金属单因子污染指数都小于1,故所检测果园在重金属元素方面适合发展无公害猕猴桃生产,也符合其土壤环境要求,土壤各元素污染指数的高低排列顺序为:汞>砷>镉>铜>铅,其中镉、砷、汞平均指数达到0.54~0.655,尤其以汞单项污染指数很高。

**关键词:**猕猴桃;土壤;重金属;污染

**中图分类号:** S663.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0219-05

随着我国经济的快速发展和人民生活水平的提高,农产品质量安全问题已经成为我国农业和农村经济进行战略性结构调整之后面临的新情况与新任务。猕猴桃素来以味美、营养价值高而倍受人们喜爱,逐渐进入了国际市场,但由于我国猕猴桃大多数在品质上未能满足出口标准,而导致出口率和出口价格均低。要获得高品质的农产品,需要保障产地环境无污染。果园土壤重金属元素含量的多少是猕猴桃产地环境要求检测的一项重要指标,它累积到一定程度就会对土壤造成污染,影响果树的生长发育,通过食物链进而对人体健康造成危害。国内外对果园土壤的可持续发展研究很多,美国已将重金属元素监测纳入果园的营养管理,国内目前对猕猴桃生产的研究主要集中在栽培措施和生产技术等方面,而对于产区土壤的环境质量状况研究甚少。陕西省周至县是我国最大的猕猴桃生产基地,目前,猕猴桃已成为该县的主导产业之一。其产区土壤的清洁程度直接影响猕猴桃的市场供应及人民的收入和生活水平。该基地经过多年的施肥、管理和收获,土壤中重金属元素是否超标?能否达到无公害型猕猴桃生产基地的标准是产区人民及消费者所关心的问题。因此,有必要对周至县猕猴桃生产基地土壤中主要重金属元素(砷、铅、汞、镉和铜)的累积状况进行研究,为周至县无公害猕猴桃产地环境质量现状评价和优质出口猕猴桃的生产提供依据,也为国家环保总局第三次全国范围内的土壤污染状况调查提供参考资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 土壤样品采集

2006年9月,我们根据周至县有机猕猴桃生产基地分布现状,选择20个生产基地或生产户,采用随机或蛇形布点法,GPS定位,采集土壤样品;采样深度均为0~40 cm,根据地块大小,每户或生产基地取5~10个点,充分混匀后,按照四分法,每份样品留取1 kg,装入标记序号的塑料袋中,带回实验室及时风干、研磨、过0.25 mm尼龙筛,装袋备用。表1列出土壤样品采集的基本情况。

### 1.2 测定和分析方法

按照 GB/T17138-1997、GB/T17141-1997 中的规定,进行样品预处理和含量测定。采用原子吸收分光光度计分析铜(Cu),用 AFS-930 双道原子荧光光度计分析镉(Cd)、铅(Pb)汞(Hg)和砷(As),土壤 pH 采用 Orion 酸度计测定;每个样品做3次重复,一个空白。最后采用 SAS 和 EXCEL 软件进行数据分析处理。

### 1.3 土壤质量环境评价方法

土壤质量环境采用单因子污染指数进行评价,其评价模式为:  $P_i = C_i/S_i$   
式中:  $P_i$  为污染物  $i$  的单项污染指数,  $C_i$  为污染物  $i$  的实测浓度,  $S_i$  为国家规定绿色食品土壤重金属含量标准。评价标准按公布的土壤环境质量标准计算<sup>[1]</sup>。如果  $P_i < 1$ ,则说明未受该元素的污染,判定为合格;如果规定的5种有害物质有1项  $P_i > 1$ ,表明受到污染物的污染,判定为不合格。

收稿日期:2009-10-12

作者简介:张翼飞(1985—),女,辽宁鞍山人,现从事国土资源相关工作。

\*通讯作者:吕家珑,教授,主要从事土壤化学及环境化学。E-mail:ljll@nwsuaf.edu.cn。

表 1 土壤样品的采集基本情况  
Table 1 Information of soil sample collection

| 采集序号<br>Number | 土样采集地点<br>Location of collection | 海拔<br>Altitude(m) | 经度<br>Longitude | 纬度<br>Latitude |
|----------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| 1              | 渭旗村 Weiqi                        | 422.7             | E108°12.223'    | N34°10.795'    |
| 2              | 渭旗村 Weiqi                        | 411.3             | E108°12.254'    | N34°10.773'    |
| 3              | 渭旗村 Weiqi                        | 423.9             | E108°12.253'    | N34°10.755'    |
| 4              | 渭旗村 Weiqi                        | 459.4             | E108°11.906'    | N34°9.166'     |
| 5              | 渭旗村 Weiqi                        | 422.0             | E108°11.927'    | N34°9.160'     |
| 6              | 镇风村 Zhenfeng                     | 448.1             | E108°11.925'    | N34°9.185'     |
| 7              | 镇风村 Zhenfeng                     | 443.4             | E108°11.924'    | N34°9.149'     |
| 8              | 镇风村 Zhenfeng                     | 435.9             | E108°11.933'    | N34°9.137'     |
| 9              | 镇风村 Zhenfeng                     | 435.8             | E108°11.813'    | N34°9.114'     |
| 10             | 镇风村 Zhenfeng                     | 437.2             | E108°11.797'    | N34°9.125'     |
| 11             | 镇风村 Zhenfeng                     | 440.9             | E108°11.814'    | N34°9.133'     |
| 12             | 镇风村 Zhenfeng                     | 433.3             | E108°11.833'    | N34°9.116'     |
| 13             | 镇风村 Zhenfeng                     | 431.8             | E108°11.841'    | N34°9.069'     |
| 14             | 镇风村 Zhenfeng                     | 440.9             | E108°11.777'    | N34°9.014'     |
| 15             | 镇风村 Zhenfeng                     | 448.3             | E108°11.785'    | N34°9.025'     |
| 16             | 镇风村 Zhenfeng                     | 442.8             | E108°11.813'    | N34°8.998'     |
| 17             | 镇风村 Zhenfeng                     | 435.8             | E108°11.837'    | N34°9.010'     |
| 18             | 小寨村 Xiaozhai                     | 447.0             | E108°11.740'    | N34°8.980'     |
| 19             | 小寨村 Xiaozhai                     | 438.8             | E108°11.758'    | N34°8.981'     |
| 20             | 小寨村 Xiaozhai                     | 435.3             | E108°11.570'    | N34°8.829'     |

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量

将所采 20 个混合土壤样品 5 种重金属含量的测定结果(3 次重复的平均值)列于表 2。

由表 2 可知,砷的重金属元素最高值、最低值和平均值分别为 43.46、3.78 和  $14.22 \pm 12.38$  mg/kg,变异系数为 0.87 mg/kg;铅的最高值、最低值和平均值分别为 31.18、16.90 和  $21.27 \pm 4.26$  mg/kg,变异系数为 0.20 mg/kg;汞的最高值、最低值和平均值分别为 2.71、0.34 和  $0.65 \pm 0.50$  mg/kg,变异系数为 0.77 mg/kg;镉的最高值、最低值和平均值分别为 0.49、0.20 和  $0.32 \pm 0.09$  mg/kg,变异系数为 0.27 mg/kg;铜的最高值、最低值和平均值分别为 51.44、3.43 和  $20.22 \pm 16.69$  mg/kg,变异系数为 0.83 mg/kg。从平均含量看,5 种重金属都不超标,符合有机猕猴桃生产基地的标准。但是,铅、镉含量变异不大,变异系数均小于 30%。砷、汞、铜的变异系数较大,其中汞、铜含量都远低于国家规定的土壤环境质量标准(表 3),有的还接近其地质背景含量。但

是,在测量的 20 个土样中,有 4 个土样砷含量,1 个土样汞超标。

2.2 土壤重金属元素的单项污染指数

根据评价土壤质量环境的单因子污染指数计算方法所计算的 5 种重金属单因子污染指数如表 4 所示。

由表 4 可知,20 个土样区的环境控制指数的单项污染指数  $P_i$  绝大部分都小于 1,只有个别土样大于 1,主要出现在砷的评价中;但总体来看,所有土样的平均土壤重金属单因子污染指数都小于 1,固所检测果园在重金属元素方面适合发展无公害猕猴桃生产,也符合其土壤环境要求。土壤各元素污染指数的高低排列顺序为:汞>砷>镉>铜>铅,其中镉、砷、汞平均指数达到 0.54~0.655,尤其以汞单项污染指数较高。综合考虑,汞、砷和镉的含量要严格控制。

由单项污染指数法和综合污染指数法对污染状况进行评价。因为本文所调查土壤为农用土壤,所以在进行评价时采用国标二级标准<sup>[2]</sup>。土壤 pH 值都在 7.5 以上,单项污染指数法可以对每项污染物

的污染状况进行评价,具体公式如下:  
$$P_i = C_i / S_i$$
  
式中,  $P_i$  为污染指数;  $C_i$  为污染物实测值;  $S_i$  为污染  
物评价标准(二级标准);  $i$  为代表某种污染物。  
评价结果可分为4个等级:  $P_i \leq 1$ , 非污染;  $1 < P_i \leq 2$ , 轻污染;  $2 < P_i < 3$ , 中污染;  $P_i > 3$ , 重污染<sup>[3]</sup>。

表2 20个猕猴桃生产区土壤重金属元素含量(mg/kg)  
Table 2 Content of heavy metals in soil in twenty kiwi fruit production areas

| 序号<br>Number   | 重金属含量 Content of heavy metals in soil(mg/kg) |       |       |      |       |
|----------------|----------------------------------------------|-------|-------|------|-------|
|                | As                                           | Pb    | Hg    | Cd   | Cu    |
| 1              | 15.20                                        | 21.98 | 0.57  | 0.32 | —     |
| 2              | 19.96                                        | 22.75 | 0.58  | 0.31 | 47.45 |
| 3              | 43.46                                        | 29.15 | 0.73  | 0.35 | 8.77  |
| 4              | 43.15                                        | 25.18 | 2.71  | 0.48 | 9.55  |
| 5              | 28.26                                        | 31.18 | 0.78  | 0.47 | 6.07  |
| 6              | 28.55                                        | 27.65 | 0.75  | 0.42 | 3.43  |
| 7              | 16.19                                        | 23.23 | 0.71  | 0.42 | 51.44 |
| 8              | 11.02                                        | 22.43 | 0.84  | 0.49 | 39.57 |
| 9              | 11.51                                        | 23.02 | 0.51  | 0.34 | 44.96 |
| 10             | 10.18                                        | 18.88 | 0.50  | 0.31 | 14.68 |
| 11             | 8.04                                         | 18.60 | 0.49  | 0.31 | 30.03 |
| 12             | 7.63                                         | 18.53 | 0.49  | 0.30 | —     |
| 13             | 7.28                                         | 17.73 | 0.50  | 0.29 | 11.10 |
| 14             | 5.72                                         | 17.75 | 0.48  | 0.29 | 41.59 |
| 15             | 4.92                                         | 17.83 | 0.45  | 0.26 | 14.06 |
| 16             | 4.90                                         | 17.25 | 0.46  | 0.27 | 15.66 |
| 17             | 4.55                                         | 18.93 | 0.426 | 0.25 | 16.29 |
| 18             | 5.28                                         | 18.93 | 0.38  | 0.21 | 11.57 |
| 19             | 4.91                                         | 16.90 | 0.34  | 0.21 | 15.40 |
| 20             | 3.78                                         | 17.46 | 0.38  | 0.22 | 26.55 |
| 平均值 Mean value | 14.22                                        | 21.27 | 0.65  | 0.32 | 20.22 |
| 标准差 SD         | 12.38                                        | 4.26  | 0.50  | 0.09 | 16.69 |
| 变异系数 CV        | 0.87                                         | 0.20  | 0.77  | 0.27 | 0.83  |

表3 中华人民共和国土壤环境质量标准(GB15618-1995)(mg/kg)  
Table 3 Environmental quality standard for soils(GB15618-1995)

| 元素 Element      | As | Pb  | Hg  | Cd  | Cu  |
|-----------------|----|-----|-----|-----|-----|
| 标准 Standard ≤ a | 25 | 350 | 1.0 | 0.6 | 200 |

注:此表为中华人民共和国土壤环境质量标准部分数据。  
Note: The data in the table are part of Environmental Quality Standard for Soils of P. R. China.

根据重金属含量、评价标准和上述计算公式。得到各个土壤样品中重金属元素的污染指数平均值,见表5。单项污染指数法的评价结果表明,研究区域中 Hg 的污染相对最为突出,但仍未达到污染范围,其他4种重金属也都在非污染的范围。土壤中5种重金属元素的污染程度依次为 Hg > As > Cd > Cu > Pb。

重金属综合污染评价采用兼顾单元素污染指数平均值和最大值的内梅罗综合污染指数法<sup>[4,5]</sup>,得到调查区域土壤综合污染指数  $P_{综合} = 0.5355$ ,参照表6,属清洁等级,表明调查区域土壤总体上清洁,但也要引起有关部门的重视,在发展的同时,要注意维护猕猴桃产区土壤的清洁。

表 4 土壤重金属单因子污染指数  
Table 4 Single factor pollution index of heavy metals in soil

| 序号 Number      | As   | Pb   | Hg   | Cd   | Cu   |
|----------------|------|------|------|------|------|
| 1              | 0.61 | 0.06 | 0.59 | 0.54 | —    |
| 2              | 0.80 | 0.07 | 0.58 | 0.52 | 0.24 |
| 3              | 1.74 | 0.08 | 0.73 | 0.59 | 0.04 |
| 4              | 1.73 | 0.07 | 2.71 | 0.79 | 0.05 |
| 5              | 1.13 | 0.09 | 0.78 | 0.78 | 0.03 |
| 6              | 1.14 | 0.08 | 0.75 | 0.71 | 0.02 |
| 7              | 0.65 | 0.07 | 0.71 | 0.69 | 0.26 |
| 8              | 0.44 | 0.06 | 0.84 | 0.81 | 0.20 |
| 9              | 0.46 | 0.07 | 0.51 | 0.57 | 0.22 |
| 10             | 0.41 | 0.05 | 0.49 | 0.52 | 0.07 |
| 11             | 0.32 | 0.05 | 0.49 | 0.51 | 0.15 |
| 12             | 0.31 | 0.05 | 0.49 | 0.49 | —    |
| 13             | 0.29 | 0.05 | 0.50 | 0.47 | 0.06 |
| 14             | 0.23 | 0.05 | 0.48 | 0.48 | 0.21 |
| 15             | 0.20 | 0.05 | 0.45 | 0.43 | 0.07 |
| 16             | 0.20 | 0.05 | 0.46 | 0.45 | 0.08 |
| 17             | 0.18 | 0.05 | 0.42 | 0.41 | 0.08 |
| 18             | 0.21 | 0.05 | 0.38 | 0.35 | 0.06 |
| 19             | 0.20 | 0.05 | 0.34 | 0.34 | 0.08 |
| 20             | 0.15 | 0.05 | 0.38 | 0.35 | 0.13 |
| 平均值 Mean value | 0.57 | 0.06 | 0.65 | 0.54 | 0.10 |
| 标准差 SD         | 0.50 | 0.01 | 0.50 | 0.15 | 0.08 |

表 5 周至猕猴桃农田土壤中重金属含量及单项污染特征值(mg/kg)  
Table 5 Content of heavy metals in soil and eigenvalue of monomial pollution

| 重金属<br>Heavy metals | 范围<br>Range   | 平均值 ± 标准差<br>Mean value ± SD | 污染指数<br>平均值 ± 标准差<br>Pollution index<br>Mean value ± SD | 污染等级<br>Pollution degree | 污染水平<br>Pollution level |
|---------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| As                  | 3.78 ~ 43.46  | 14.22 ± 12.38                | 0.57 ± 0.50                                             | 安全 Safe                  | 清洁 Clean                |
| Pb                  | 16.9 ~ 31.175 | 21.27 ± 4.26                 | 0.06 ± 0.01                                             | 安全 Safe                  | 清洁 Clean                |
| Hg                  | 0.34 ~ 2.71   | 0.65 ± 0.50                  | 0.65 ± 0.50                                             | 安全 Safe                  | 清洁 Clean                |
| Cd                  | 0.202 ~ 0.485 | 0.32 ± 0.09                  | 0.54 ± 0.15                                             | 安全 Safe                  | 清洁 Clean                |
| Cu                  | 3.43 ~ 51.44  | 20.22 ± 16.69                | 0.10 ± 0.08                                             | 安全 Safe                  | 清洁 Clean                |

表 6 综合污染指数分级标准<sup>[6]</sup>  
Table 6 Aggregate pollution index for evaluation of environmental quality for soil

| 污染指数<br>Pollution index     | 分级<br>Classification | 污染等级<br>Pollution degree | 污染水平<br>Pollution level      |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| $P_{\text{综}} \leq 0.7$     | 1                    | 安全 Safe                  | 清洁 Clean                     |
| $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1$ | 2                    | 警戒线 Warning level        | 尚清洁 Nearly clean             |
| $1 < P_{\text{综}} \leq 2$   | 3                    | 轻污染 Lightly polluted     | 土壤作物已受污染 Polluted            |
| $2 < P_{\text{综}} \leq 3$   | 4                    | 中污染 Medially polluted    | 土壤作物已受中度污染 Medially polluted |
| $P_{\text{综}} > 3$          | 5                    | 重污染 Severely polluted    | 土壤作物已受严重污染 Severely polluted |

### 3 讨 论

检测区域内的重金属含量水平符合无公害猕猴桃的生产要求,这与近几年国家对我国猕猴桃产地的高度重视有很大关系。上述结果中极少部分猕猴桃产区的砷超标,分析其原因可能是所施用的家畜粪便中砷含量较高,由于磷肥(过磷酸钙)中含有一定量的重金属元素(Cd, Hg, As等),猕猴桃园的磷肥施用量较大,且超标地块均处于公路旁边,机动车辆的燃料和轮胎中所含的重金属成分在车辆运行过程中向环境释放,并在周围土壤中沉积,日积月累,最终导致土壤中的含量偏高<sup>[3]</sup>。

与发达国家相比,随着工业水平的提高,许多国家在短时间里果园土壤就出现了重金属元素超标的现象,以致许多国家制定了各种土壤肥料中重金属元素含量使用的限定值<sup>[6]</sup>。我们要以此为戒,建立无公害食品的全程监控体系,加强对各种农药、肥料的管理,保证我国有机猕猴桃生产基地的可持续发展。

### 4 建 议

土壤重金属元素含量是无公害猕猴桃生产环境检测的一项重要指标,它积累到一定程度就会对土壤造成污染,从而影响果实的品质,对人体健康造成危害<sup>[7]</sup>。因此,果园土壤重金属污染的防治应采取

“预防为主”的方针,重在控制和消除污染源<sup>[8]</sup>。在此良好的无公害猕猴桃生产势头下,要继续加大保护措施和宣传力度,贯彻国家农产品质量安全措施的顺利开展和实施;在今后的生产过程中要尽量减少重金属农药制剂的用药量和施用次数。在努力提高产量的同时加强环境保护,实施科学施肥,鼓励和倡导施用无公害的农家肥,加强猕猴桃生产过程中的管理力度。

#### 参 考 文 献:

- [1] 夏家洪. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京: 中国环境科学技术出版社, 1996: 84—87.
- [2] GB15168—1995. 土壤环境质量标准[S].
- [3] 马成玲, 王火焰, 周健民, 等. 长江三角洲典型县级市农田土壤重金属污染状况调查与评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 751—755.
- [4] 孙 华, 孙 渡, 张桃林. 江西省贵溪冶炼厂周围蔬菜地重金属污染状况评价研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 70—72.
- [5] 巫建华, 许学宏, 陈 斌, 等. 江苏中部典型农区耕地环境质量评价及应用研究—以海安县为例[J]. 土壤, 2003, 35(5): 387—391.
- [6] 张乃明. 太原污灌区土壤重金属污染研究[J]. 农业环境保护, 1996, 15(1): 21—23.
- [7] 张林森, 梁 俊, 武春林, 等. 陕西苹果园土壤重金属含量水平及其评价[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 103—105.
- [8] 田士林, 李 莉. 豫北苹果园土壤重金属含量水平测定及其评价安徽农业科学[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 546, 572.

## Research on heavy metal accumulation in soil in an organic kiwi fruit production base

ZHANG Yi-fei, WANG Yang, REN Dan, ZHAO Zhong-fei, LU Jia-long\*

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The contents of heavy metals like Se, Pb, Hg, Cd and Cu in the soil of the organic kiwi fruit production base in Zhouzhi Country of Shaanxi Province were investigated and analyzed. The results showed that: (1) The average contents of Se, Pb, Hg, Cd and Cu in the soil were respectively  $(14.22 \pm 12.38)$  mg/kg,  $(21.27 \pm 4.26)$  mg/kg,  $(0.65 \pm 0.50)$  mg/kg,  $(0.32 \pm 0.09)$  mg/kg and  $(20.22 \pm 16.69)$  mg/kg, and the accumulation of heavy metals in soil was not obvious, not surpassing the environment quality standard for soils GB15, 618—1, 995. But there were 4 samples of Se and 1 sample of Hg content which exceeded the permitted level; (2) Using a single factor of soil quality environment pollution index to evaluate the average single factor pollution index of soil heavy metals of all the soil samples, the result was smaller than 1, so the tested orchards were fit for developing green kiwi fruit production and also met the environment requirement for soil. The order of pollution indexes of various soil elements was:  $Hg > Se > Cd > Cu > Pb$ , among which the average index of Cd, Se and Hg reached 0.54 ~ 0.655, and the single item pollution index of Hg was the highest.

**Keywords:** kiwi fruit; soil; heavy metal; pollution