农业资源与环境学报 Journal of Agricultural Resources and Environment
2017年5月·第34卷·第3期:280-285 May 2017·Vol.34·No.3:280-285

王仁才,石 浩,庞 立,等.湘西猕猴桃种植基地土壤和猕猴桃中重金属积累状况研究[J].农业资源与环境学报,2017,34(3):280-285.
WANG Ren-cai, SHI Hao, PANG Li, et al. Accumulation of Heavy Metals in Soil and Kiwifruit of Planting Base in Western Hunan Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(3): 280-285.

湘西猕猴桃种植基地土壤和猕猴桃中重金属积累状况研究

王仁才[1],石 浩[1],庞 立[1],卜范文[2],吴小燕[1],刘 琼[1],肖志伟[3]

(1.湖南农业大学园艺园林学院,湖南 长沙 410128;2.湖南省园艺研究所,湖南 长沙 410125;3.湖南省湘西自治州吉首市农业局,湖南 吉首 416000)

摘 要:对湘西主要猕猴桃种植基地的土壤和猕猴桃植株中As、Pb、Hg、Cd、Cr等重金属的累积状况进行了分析研究。研究结果表明:6个猕猴桃种植地区的土壤中重金属积累均不明显,湘西有1地区土壤中镉(4.900 mg·kg^{-1})、汞(0.634 mg·kg^{-1})含量有所超标外,其余各地区各重金属含量均在国家标准范围以下;同时各地区重金属的综合污染指数$P_{综}$均远小于0.7,有5处基地无重金属污染现象发生,符合绿色猕猴桃种植基地土壤所需标准,可以安全生产。各地区猕猴桃枝干、叶片中各种重金属(镉、汞除外)的含量都很小;猕猴桃对土壤中重金属镉具有较强的吸收能力,其枝干中镉含量达到12.73%。6个地区猕猴桃果实中各重金属的含量都低于或远低于国家标准值,属于无污染的绿色水果。通过综合分析可得,湘西猕猴桃主要种植地土壤状况良好,果实无重金属残留现象。

关键词:湘西;猕猴桃;重金属;土壤;枝叶;果实

中图分类号:X835 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-6819(2017)03-0280-06 **doi**: 10.13254/j.jare.2016.0282

Accumulation of Heavy Metals in Soil and Kiwifruit of Planting Base in Western Hunan Province, China

WANG Ren-cai[1], SHI Hao[1], PANG Li[1], BU Fan-wen[2], WU Xiao-yan[1], LIU Qiong[1], XIAO Zhi-wei[3]

(1.Horticulture and Landscape College, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Research Institute of Horticulture in Hunan Province, Changsha 410125, China; 3.Agricultural Bureau of Jishou, Jishou 416000, China)

Abstract: The heavy metals accumulation in soil and kiwi fruit plant in Western Hunan Province main kiwifruit planting base were analyzed, such as As, Pb, Hg, Cd, Cr. The results showed that the accumulation of heavy metals in soil of 6 kiwifruit planting areas were not obvious. The contents of heavy metals in most of areas of Western Hunan Province were below the national standard, except one area where the soil contents of cadmium(4.900 mg·kg^{-1}), mercury(0.634 mg·kg^{-1}) were exceeded. At the same time, the comprehensive pollution index of heavy metals was less than 0.7 in these areas. There were 5 bases with no pollution of heavy metal, all which the kiwifruit could be safely produced in line with the requirements of the green kiwifruit planting base soil standards. At these areas, the contents of various heavy metals(except cadmium and mercury) were small in the branches and leaves of kiwifruit; kiwifruit had a very well capacity to absorb the cadmium when the cadmium content of its branches reached 12.73%. The heavy metal contents of the kiwifruit in the 6 regions, which belonging to the pollution-free green fruits, were below or far lower than the national standard. According to the comprehensive analysis, the soil condition of the main cultivated land in Western Hunan Province was good, and the fruit had no heavy metal residues.

Keywords: Western Hunan; kiwifruit; heavy metal; soil; branches and leaves; fruit

随着我国目前工业的发展和化石燃料大量不合理的利用,以及农药化肥不合理的施用,使得目前土壤重金属污染已日趋严重,对土壤生态环境和动植物的生长构成了一定的威胁[1-2];据估计,在中国有近2 000万hm^{2}耕地土壤已经受到重金属污染[3],尤其是矿区附近农田土壤受重金属污染程度更加严重[4-5]。土壤重金属污染可通过食物链危及人类健康,土壤重金属总量被认为是影响农产品安全的重要因素,

收稿日期:2016-11-23
基金项目:猕猴桃镉低积累品种筛选及配套技术研究与示范(5026301/111502600009)
作者简介:王仁才(1962—),男,湖南衡阳人,教授,博导,主要从事果树学栽培育种方面的研究。E-mail:wangrenc@163.com

也是影响果品中重金属含量的主因之一,已成为全球关注的主要环境问题之一[6-7]。

随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,发展绿色、有机农业是目前农业发展的新思路,也是保障食品的安全问题的重要手段之一。猕猴桃是一种维生素 C 含量极为丰富的藤本浆果果树[8],具有较高的食用价值和一定的保健效果。湖南省湘西自治州是我国主要猕猴桃生产基地之一,目前猕猴桃已成为该地区的主要农业发展项目之一。其种植地土壤环境的好坏将直接影响到猕猴桃质量、价值的高低以及食用者的身体健康。经过多年的栽植及各类肥料的使用,土壤环境是否还能保持以往的清洁,是否还能达到有机、绿色生产基地的标准,是当地栽植者和消费者所关心的问题。因此,对湖南省湘西自治州猕猴桃生产基地土壤中主要重金属元素(镉、汞、砷、铅、铬)的累积状况进行研究是非常有必要的。本试验对该地区土壤重金属含量进行实时监控,并对数据进行了科学分析,摸清了土壤重金属现状、污染程度及分布,做到及时发现问题、解决问题,为确保猕猴桃果园土壤用地的长期安全提供参考;对保护耕地、提高猕猴桃质量、保证农产品安全有着一定的现实意义和实用价值,同时也是可持续发展绿色农业的重要保障。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

湖南省湘西自治州地处湘鄂黔渝四省(市)交界处、武陵山脉由北东向南西斜贯全境,气候温和,雨量充沛,森林资源丰富,是我国猕猴桃主要生产分布区域。猴桃已经发展成为当地农村支柱产业,对改善农村经济状况起到了举足轻重的作用。目前,湘西猕猴桃种植面积发展到 0.67 万 hm^2,正常年产量达 5 万 t,使湘西果农增加现金收入 1 000 万元以上,带动 20 万农民脱贫致富,已占全国猕猴桃总产量的 20%,湘西已成为中国南方猕猴桃鲜果主要供应基地之一[9-10]。

1.2 样品采集

2015 年 5 月,在主要猕猴桃园区取土,果园土壤取样深度 0~40 cm。采用蛇形布点法,每个园区取 15~20 个点;采完后,取出碎砖石,用手将土壤捏碎、装袋,带回实验室及时风干、研磨、过 0.25 mm 铁筛。按照四分法装袋备用,每份样品留取 1 kg,装入标记序号的塑料袋中。2015 年 9 月,在每个园区的四周分别选取 15~20 株猕猴桃,摘取叶、枝、果。在每棵树的四周随机摘取嫩叶、功能叶和老叶,装入袋中;同样在树的四周随机摘取新生枝、一年生枝和多年生枝,装入袋中;在树的四周摘取生长状况良好的、具有一定价值的果实。各摘取 5.0 kg 及以上,样品先用自来水充分冲洗以去除粘附于植物样品上的泥土和污物,再用去离子水冲洗,沥去水分,晾干。各样品采集的基本情况见表 1。

1.3 测定和分析方法

按照 GB/T 5009.11—2003、GB 5009.12—2010、GB/T 5009.15—2003 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铬(Cr)、铅(Pb)和镉(Cd),用原子荧光光度计分析汞(Hg)和砷(As),土壤 pH 值采用 Orion 酸度计测定;每个样品做 3 次重复。

1.4 土壤重金属污染评价方法

1.4.1 单因子评价方法

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,S_i 具体见表 2。评价标准按公布的土壤环境质量标准计算[11]。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 $P_i>1$,表示

表 1 土壤样品的基本情况

Table 1 Information of soil sample

采集序号 Number	土样采集地点 Location of collection	海拔/m Altitude	经度/° E Longitude	纬度/° N Latitude	地貌 Landforms	采样数量/份 Number of samplest
1	吉首市马颈坳镇枫香村红阳猕猴桃园	434	109.810 62	28.388 97	坡土 8 年生园	20
2	吉首市马颈坳镇榔木村红阳猕猴桃园	305	109.827 43	28.425 29	坡土 5 年生园	15
3	吉首市马颈坳镇合群村米良 1 号猕猴桃园	323	109.814 34	28.400 98	坡土 8 年生园	20
4	吉首市寨阳镇寨阳村红阳猕猴桃园	304	109.654 36	28.306 49	坡土 5 年生园	15
5	湘西凤凰县腊尔山镇卡村米良 1 号猕猴桃园	338	109.388 39	28.062 10	坡土 6 年生园	20
6	湘西保靖县复兴镇洞口潭村米良 1 号猕猴桃园	237	109.548 58	28.623 98	河边土 6 年生园	20

表 2 中华人民共和国土壤环境质量标准(GB 15618—1995,酸性土壤)与食品安全国家标准(GB 2762—2012)

Table 2 Environmental Quality Standard for Soils/Food Safety Standards

标准 Standard	As/mg·kg^{-1}	Pb/mg·kg^{-1}	Hg/mg·kg^{-1}	Cd/mg·kg^{-1}	Cr/mg·kg^{-1}
土壤≤S	40	250	0.3	0.3	150
果实≤S	0.5	0.2	0.01	0.05	0.5

注:此表为中华人民共和国土壤环境和食品安全质量标准部分数据。

Note:The data in the table are the part of Environmental Quality Standard for Soils and Food Safety Standards of P. R. China.

受到污染,判定为不合格。

1.4.2 综合指数评价方法

采用 SAS 软件对土壤质量环境进行综合污染指数评价,其评价模式为:$P_{综}=1/n\times\sum W_i\times P_i$

式中:P_i 为污染物 i 的单项污染指数,W_i 为各种重金属的权重[12](铅:0.108 6,镉:0.108 6,汞:0.437 8,砷:0.260 8,铬:0.044 2)。评价标准按公布的土壤环境质量标准计算[13]。综合污染指数分级标准,具体见表 3。

2 结果与讨论

2.1 土壤重金属含量分析

将 6 个地区土壤样品进行 5 种重金属含量及pH 值的测定,结果列于表 4。由表 4 可知:6 个地区土壤 pH 值均在 4.50 左右,属于偏酸性土壤,选取相对应土壤重金属含量的国家标准值进行分析,6 个地区土壤中铅、镉、汞、砷、铬各含量的平均值,除镉含量(0.963 mg·kg^{-1})超标外,其他均低于国家标准值。综合 6 个地区土壤中各重金属含量分析,除湘西保靖县复兴镇洞口潭村土壤中镉(Cd)(4.900 mg·kg^{-1}>0.300 mg·kg^{-1})、汞(Hg)(0.634 mg·kg^{-1}>0.300 mg·kg^{-1})超标外,其余地区重金属均低于或远低于国家标准值。可见湘西地区自然环境保护得当,大多地方仍处于原始未开发状态,且猕猴桃种植区远离城市,当地少有工业区,因此对于湘西有机绿色食品的开发具有得天独厚的优越条件。目前绝大部分猕猴桃生产基地中土壤重金属积累较低,仍符合绿色、有机生产基地的条件。

2.1.1 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,将所计算的 5 种重金属单因子污染指数列于表 5。由表 5 可知:6 个地区土样环境控制指数的单项污染指数 P_i,除湘西保靖县复兴镇洞口潭村土壤中

表 3 综合污染指数分级标准

Table 3 Aggregate pollution index for evaluation of environmental quality for soil

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

表 4 6 个猕猴桃生产区土壤重金属元素含量(mg·kg^{-1})

Table 4 Contents of heavy metals in soil in six kiwi fruit production areas(mg·kg^{-1})

序号 Number	取样地点 Sampling site	铅(Pb)	镉(Cd)	汞(Hg)	砷(As)	铬(Cr)	pH 值
1	湘西凤凰县腊尔山镇夯卡村米良 1 号猕猴桃园	31.73	0.110	0.279	21.97	52.88	4.81
2	吉首市马颈坳镇枫香村红阳猕猴桃园	21.58	0.140	0.141	11.44	50.18	4.21
3	吉首市马颈坳镇榔木村红阳猕猴桃园	25.22	0.220	0.095	8.86	49.40	4.43
4	吉首市马颈坳镇合群村米良 1 号猕猴桃园	28.01	0.250	0.118	10.75	62.71	4.63
5	吉首市寨阳镇寨阳村红阳猕猴桃园	20.48	0.160	0.129	15.01	60.58	4.20
6	湘西保靖县复兴镇洞口潭村米良 1 号猕猴桃园	77.00	4.900	0.634	14.10	74.37	4.29
	平均值 Mean value	34.00	0.963	0.23	13.68	58.35	4.48
	标准差 SD	21.46	1.929	0.21	4.64	9.56	0.247
	变异系数 CV	0.63	2.00	0.91	0.34	0.16	0.05

表 5 土壤重金属单因子污染指数

Table 5 Single factor pollution index of heavy metals in soil

序号 Number	铅(Pb)	镉(Cd)	汞(Hg)	砷(As)	铬(Cr)
1	0.13	0.37	0.93	0.55	0.35
2	0.09	0.47	0.47	0.29	0.33
3	0.10	0.73	0.32	0.22	0.33
4	0.11	0.83	0.39	0.27	0.42
5	0.08	0.53	0.43	0.38	0.40
6	0.31	16.33	2.11	0.35	0.50
平均值 Mean value	0.137	3.210	0.775	0.343	0.389
标准差 SD	0.087	5.869	0.689	0.116	0.066

镉(Cd)和汞(Hg)大于 1 以外,其他都小于 1。土壤各元素污染指数的高低排列顺序为:镉>汞>铬>砷>铅,其中镉、汞平均指数达到 0.700 以上,尤其以镉单项污染指数较高。由污染指数分级标准[14]可知,湘西保靖县复兴镇洞口潭村土壤中镉属于重污染区,汞属于中污染区,需严格控制该地镉、汞等重金属的排放。

2.1.2 土壤重金属元素的综合污染指数

由于单项污染指数法无法完全考虑到当地重金属的综合污染情况。采用土地综合污染指数法对污染状况进行评价,评价结果列于表 6。由表 6 可知:6 个地区土样环境控制指数的综合污染指数 $P_{综}$都远小于 0.7,调查区域土壤总体上清洁;其中有 5 处基地无重金属污染现象发生,但有 1 处基地重金属镉(4.900 mg·kg^{-1})、汞(0.634 mg·kg^{-1})含量超标。目前可能导致土壤重金属超标的原因有很多,例如有些施用的家畜粪便中含有较高镉、汞等重金属,同时有些磷肥中含有一定量的相关重金属元素[15-17];再如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也可能导致土壤中的含量偏高[18]。湘西保靖县复兴镇洞口潭村地处公路旁及河床下游,土壤中重金属日积月累,这可能是该地区镉、汞有所超标的原因之一[19]。虽当地果实没有受到污染,但存在污染风险,需改良当地土壤,加强监控。为防止重金属的进一步污染应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 6 湘西猕猴桃主要种植地土壤质量综合指数

Table 6 Comprehensive index of soil quality in main planting areas of Western Hunan Province

指标	夯卡村	枫香村	榔木村	合群村	寨阳村	洞口潭村
$\sum W_i \times P_i$	0.619	0.355	0.302	0.363	0.371	2.844
$P_{综}=1/n\times\sum W_i\times P_i$	0.124	0.071	0.060	0.073	0.074	0.569

注:评价参数为 铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铬(Cr)

2.2 枝干重金属含量分析

将 6 个地区枝干样品进行 5 种重金属含量的测定,结果列于表 7。由表 7 可知:各地区猕猴桃枝干中铅、镉、汞、砷、铬含量的平均值都非常低,有些甚至低于果实中重金属含量的国家标准值。枝干中铅(Pb)含量≤0.356 mg·kg^{-1},相对于土壤中镉含量,猕猴桃枝干对土壤中铅的吸收不明显(小于 0.5%);镉(Cd)含量≤0.158 mg·kg^{-1},枝干对镉的吸收量可达 12.73%;枝干中汞(Hg)、砷(As)、铬(Cr)的含量均很低,且都远小于土壤中各重金属的含量,对土壤中各重金属的吸收都不明显。猕猴桃树枝干对土壤中镉有较强的吸收能力,其次是对汞(≤2.54%)有稍强的吸收能力;然而对其他重金属吸收不明显,可能因为只有当土壤中某种重金属含量达到一定值时,猕猴桃植株才会对相应的重金属具有较强的吸收能力[20-22]。

2.3 叶片重金属含量分析

将 6 个地区叶片样品进行 5 种重金属含量的测定,结果列于表 8。由表 8 可知:每个地区猕猴桃叶片中铅、镉、汞、砷、铬含量的平均值同样都非常低,且都远低于土壤中各重金属的含量。叶片中铅(Pb)含量≤2.520 mg·kg^{-1},相对于土壤中镉含量,米良 1 号

表 7 6 个猕猴桃生产区枝干重金属元素含量(mg·kg^{-1})

Table 7 Contents of heavy metals in branches in six kiwi fruit production areas(mg·kg^{-1})

序号	取样地点	取样作物种类品种	铅(Pb)	镉(Cd)	汞(Hg)	砷(As)	铬(Cr)
1	湘西凤凰县腊尔山镇夯卡村	米良 1 号猕猴桃	0.056	0.014	0.002	0.015	0.078
2	吉首市马颈坳镇枫香村	红阳猕猴桃	0.047	0.011	0.001	0.010	0.072
3	吉首市马颈坳镇榔木村	红阳猕猴桃	0.024	0.005	0.001	0.003	0.026
4	吉首市马颈坳镇合群村	米良 1 号猕猴桃	0.081	0.029	0.003	0.012	0.079
5	吉首市寨阳镇寨阳村	红阳猕猴桃	0.093	0.010	0.001	0.002	0.042
6	湘西保靖县复兴镇洞口潭村	米良 1 号猕猴桃	0.356	0.158	0.001	0.004	0.065
	平均值 Mean value		0.109	0.038	0.001 5	0.007	0.060
	标准差 SD		0.123	0.059	0.000 8	0.005	0.023

表 8 6 个猕猴桃生产区叶片重金属元素含量(mg·kg^{-1})

Table 8 Contents of heavy metals in leaves in six kiwi fruit production areas(mg·kg^{-1})

序号	取样地点	取样作物种类品种	铅(Pb)	镉(Cd)	汞(Hg)	砷(As)	铬(Cr)
1	湘西凤凰县腊尔山镇夯卡村	米良 1 号猕猴桃	0.206	0.011	0.008	0.178	0.158
2	吉首市马颈坳镇枫香村	红阳猕猴桃	0.219	0.015	—	0.036	0.071
3	吉首市马颈坳镇榔木村	红阳猕猴桃	0.092	0.007	—	0.022	0.045
4	吉首市马颈坳镇合群村	米良 1 号猕猴桃	0.135	0.010	0.002	0.021	0.080
5	吉首市寨阳镇寨阳村	红阳猕猴桃	0.237	0.018	0.002	0.036	0.070
6	湘西保靖县复兴镇洞口潭村	米良 1 号猕猴桃	2.520	0.410	0.019	0.086	0.158
	平均值 Mean value		0.568	0.078	0.005	0.063	0.097
	标准差 SD		0.958	0.162	0.007	0.061	0.049

猕猴桃叶片中铅的吸收能力稍强(≤3.27%)。镉(Cd)含量≤0.410 mg·kg^{-1}，红阳猕猴桃叶片对镉的吸收量较高可达 11.25%。汞(Hg)含量≤0.019 mg·kg^{-1}，米良 1 号猕猴桃叶片对土壤汞的吸收能力稍强（≤3.00%）。砷(As)、铬(Cr)含量也均很低，同时对土壤中砷、铬的吸收也不明显(小于 1.00%)。红阳猕猴桃叶片对土壤中镉有较强的吸收能力，米良 1 号猕猴桃对铅和汞有稍强的吸收能力，然而对其他重金属吸收不明显。

2.4 果实重金属含量分析

将 6 个地区果实样品进行 5 种重金属含量的测定，结果列于表 9。由表 9 可知：同样每个地区猕猴桃果实中铅、镉、汞、砷、铬含量的平均值都非常低。每个地区果实中铅(Pb)含量≤0.023 mg·kg^{-1}，镉(Cd)含量≤0.014 mg·kg^{-1}，汞(Hg)含量≤0.001 mg·kg^{-1}，砷(As)含量≤0.007 mg·kg^{-1}，铬(Cr)的含量≤0.021 mg·kg^{-1}。综合 6 个地点土壤重金属含量及猕猴桃植株中重金属含量分析，虽然猕猴桃植株对镉具有较强的吸收能力，虽然湘西保靖县复兴镇洞口潭村土壤中镉(Cd)严重超标(4.900 mg·kg^{-1}>0.300 mg·kg^{-1})，但其果实镉含量并未超标，这可能是由于重金属在果实中的转运积累值比较低[23]。可见，湘西猕猴桃果实中重金属含量很低，仍属于无污染的绿色水果。

3 结论

(1)湘西地区所测 6 处土壤总体上清洁，其中 5 处土壤无重金属(As、Hg、Cr、Cd、Pb)污染现象发生，可以安全生产；有 1 处基地重金属镉、汞含量超标，需进行土壤污染风险管控，或种植其他非食用作物，以防止重金属超标。

(2)猕猴桃属于果实低镉积累果树。米良 1 号猕猴桃在土壤镉含量达 4.900 mg·kg^{-1} 时，枝、叶、根中镉含量有明显的增加，虽果实中镉含量也有相应的增加，但也低于国家标准值。

(3)猕猴桃植株的各部位对各重金属积累平均值之和为，叶片(0.811 mg·kg^{-1})>枝条(0.216 mg·kg^{-1})>果实（0.034 mg·kg^{-1})，其植株中重金属动态转运、积累的机理还有待进一步的研究。

(4)各基地猕猴桃果实目前均属于无重金属污染的绿色水果，但为避免猕猴桃果实重金属含量超标现象的发生，今后需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，减少工业排放，保证我国有机猕猴桃生产基地的可持续发展。

表 9 6 个猕猴桃生产区果实重金属元素含量(mg·kg^{-1})

Table 9 Contents of heavy metals in fruit in six kiwi fruit production areas(mg·kg^{-1})

序号	取样地点	取样作物种类品种	铅(Pb)	镉(Cd)	汞(Hg)	砷(As)	铬(Cr)
1	湘西凤凰县腊尔山镇夯卡村	米良 1 号猕猴桃	0.006	0.002	未检出	0.003	0.016
2	吉首市马颈坳镇枫香村	红阳猕猴桃	0.007	0.002	0.001	0.003	0.015
3	吉首市马颈坳镇榔木村	红阳猕猴桃	0.008	0.002	未检出	0.007	0.011
4	吉首市马颈坳镇合群村	米良 1 号猕猴桃	0.010	0.003	未检出	0.003	0.011
5	吉首市寨阳镇寨阳村	红阳猕猴桃	0.023	0.004	0.001	0.006	0.021
6	湘西保靖县复兴镇洞口潭村	米良 1 号猕猴桃	0.007	0.014	0.001	0.007	0.009
	平均值 Mean value		0.010	0.005	0.000 5	0.004 8	0.014
	标准差 SD		0.006	0.005	0.000 5	0.002	0.004

参考文献:

[1] Begum Z A, Rahman I M M, Tate Y, et al. Remediation of toxic metal contaminated soil by washing with biodegradable aminopolycarboxylate chelants[J]. *Chemosphere*, 2012, 87(10):1166-1170.

[2] 董会平, 闫晨曦. 甘肃天水市苹果园土壤重金属分布规律的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8):4657-4659.
DONG Hui-ping, YAN Chen-xi. Study on the distribution law of soft heavy metal in apple orchard in Tianshui City in Gansu[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(8):4657-4659. (in Chinese)

[3] Dong J, Yang Q W, Sun L N, et al. Assessing the concentration and potential dietary risk of heavy metals in vegetables at a Pb/Zn mine site, China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 64(5):1317-1321.

[4] Saria L, Shimaoka T, Miyawaki K. Leaching of heavy metals in acid mine drainage[J]. *Waste Management and Research*, 2006, 24(2):134-140.

[5] Arroyoa Y R R, Siebe C. Weathering of sulphide minerals and trace element speciation in tailings of various ages in the Guanajuato mining district, Mexico[J]. *Catena*, 2007, 71(3):497-506.

[6] Isinkaye M O. Distribution of heavy metals and natural radionuclides in selected mechanized agricultural farmlands within Ekiti State, Nigeria [J]. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2012, 37(5):1483-1490.

[7] Zorer O S. Determination of heavy metals and comparison to gross radioactivity concentration in soil and sediment samples of the Bendimahi river Basin(Van, Turkey)[J]. *Water Air & Soil Pollution*, 2009, 196(1):75-87.

[8] 黄 诚, 周长春, 李 伟. 猕猴桃的营养保健功能与开发利用研究[J]. 食品科技, 2007, 32(4):51-55.
HUANG Cheng, ZHOU Chang-chun, LI Wei. Nutrition and health care function of kiwi fruit and its processing technique[J]. *Food Science and Technology*, 2007, 32(4):51-55. (in Chinese)

[9] 王仁才, 熊兴耀, 庞 立. 湖南猕猴桃产业发展的问题及建议[J]. 湖南农业科学, 2015(5):124-127.
WANG Ren-cai, XIONG Xing-yao, PANG Li. Problems and solutions of kiwifruit industry development in Hunan Province[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2015(5):124-127. (in Chinese)

[10] 向楚华. 湘西猕猴桃产业开发现状及发展前景[J]. 湖南林业科技, 2009, 36(5):63-64.
XIANG Chu-hua. The present situation and development prospect of Xiangxi kiwi fruit industry[J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2009, 36(5):63-64. (in Chinese)

[11] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解[M]:北京:中国环境科学出版社, 1996.
XIA Jia-qi. Detailed soil environmental quality standards[M]: Beijing: China Environmental Science Press; 1996. (in Chinese)

[12] 李雪梅, 王祖伟, 汤显强, 等. 重金属污染因子权重的确定及其在土壤环境质量评价中的应用 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(6):2281-2286.
LI Xue-mei, WANG Zu-wei, TANG Xian-qiang, et al. Determining weights of heavy metal contaminations and its application to soil environmental quality assessment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(6):2281-2286. (in Chinese)

[13] 张乃明, 常晓滨. 太原污灌区土壤重金属污染研究 [J]. 农业环境科学学报, 1996(1):21-23.
ZHANG Nai-ming, CHANG Xiao-bin. Study on heavy metal pollution in soil of Taiyuan sewage irrigation area[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 1996(1):21-23. (in Chinese)

[14] 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.
MA Cheng-ling, WANG Huo-yan, ZHOU Jian-min, et al. Investigation and evaluation of the heavy metal pollution in farmland of a typical county in Yangtze River Delta[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3):751-755. (in Chinese)

[15] Manta D S, Angelone M, Bellanca A. Heavy metals in urban soils:A case study from the city of Alermo(Sicily), Italy[J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 300(13):229-243.

[16] Zagury G J, Samson R, Deschenes L. Occurrence of metals in soil and ground water near chromate copper arsenate:Treated ulitily poles[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32(2):507-514.

[17] 鲁如坤, 时正元. 我国磷矿磷肥中镉的含量及其对生态环境影响的评价[J]. 土壤学报, 1992, 29(2):150-157.
LU Ru-kun, SHI Zheng-yuan. Cadmium contents of rock phosphates and phosphate fertilizers of China and their effects on ecological environment[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1992, 29(2):150-157. (in Chinese)

[18] 吴永刚, 姜志林, 罗 强. 公路边茶园土壤与茶树中重金属的积累与分布[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(4):39-42.
WU Yong-gang, JIANG Zhi-lin, LUO Qiang. The accumulation and distribution of heavy metals in teas on both sides of highway[J]. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition)*, 2002, 26(4):39-42. (in Chinese)

[19] 张继来, 傅开道, 王 波, 等. 澜沧江河床沉积物重金属污染评价[J]. 地理科学进展, 2014, 33(8):1136-1144.
ZHANG Ji-lai, BO Kai-dao, WANG Bo, et al. Assessment of heavy metal pollution of bed sediment in the Lancang River [J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(8):1136-1144. (in Chinese)

[20] 谢运河, 纪雄辉, 李 莓, 等. 甘蓝型油菜对 Cd 的吸收积累[J]. 作物研究, 2014, 28(8):881-884.
XIE Yun-he, JI Xiong-hui, LI Mei, et al. Absorption and accumulation of Cd in *Brassica napus*[J]. *Crop Research*, 2014, 28(8):881-884. (in Chinese)

[21] 罗 满, 张灿明, 李有志, 等. 洞庭湖区莲藕重金属污染特征 [J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(6): 554-559.
LUO Man, ZHANG Can-ming, LI You-zhi, et al. Characteristics of heavy metals contamination in lotus root in the Dongting Lake Area[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(6): 554-559. (in Chinese)

[22] Abdulwahab S A, Jupp B P. Levels of heavy metals in subtidal sediments in the vicinity of thermal power/desalination plants:A case study [J]. *Desalination*, 2009, 244(1):261-282.

[23] 蔡 葵, 于秋华, 赵征宇, 等. 花生不同品种植株重金属 As 和 Hg 的富集与转运规律[J]. 中国农学通报, 2010, 26(24):167-172.
CAI Kui, YU Qiu-hua, ZHAO Zheng-yu, et al. As and Hg accumulation and transformation rules in different varieties of peanut plants[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(24):167-172. (in Chinese)