

贺灵, 孙彬彬, 吴超, 等. 浙江省江山市猕猴桃果园土壤环境质量与生态风险评价[J]. 岩矿测试, 2019, 38(5): 524 - 533.
HE Ling, SUN Bin - bin, WU Chao, et al. Assessment of Soil Environment Quality and Ecological Risk for Kiwifruit Orchards in Jiangshan City, Zhejiang Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2019, 38(5): 524 - 533.
【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201901080003】

浙江省江山市猕猴桃果园土壤环境质量与生态风险评价

贺灵^{1,2}, 孙彬彬^{1,2}, 吴超^{1,2}, 成晓梦^{1,2}, 吴正丰³, 周荣强⁴, 侯树军¹

- (1. 国土资源部地球化学探测技术重点实验室, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000;
2. 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北 廊坊 065000;
3. 江山市自然资源和规划局, 浙江 江山 324100;
4. 江山市林业局, 浙江 江山 324100)

摘要: 果园土壤环境与果品产量和质量及食用安全性关系密切。已有研究表明目前我国猕猴桃果园土壤中普遍存在养分含量不足、分布不均的问题, 个别地区发现有重金属含量超标的现象。浙江省近年来猕猴桃种植面积连年扩大, 已是我国重要的猕猴桃产区之一。为查明该省江山市猕猴桃果园土壤环境质量现状, 本文选择了两处典型猕猴桃果园采集土壤、岩石、果实样品, 采用原子荧光光谱、电感耦合等离子体发射光谱等技术测定土壤和岩石样品中的重金属、养分元素、土壤理化指标和果实样品中的重金属含量。以果园土壤中养分元素丰缺与影响因素、重金属元素含量与果实食用安全性为主要研究内容, 开展了猕猴桃果园土壤环境质量与生态风险评价。结果表明: ①两处果园土壤中 Ag、Bi、Co、Cr、Ni、Sb、Se、V、SiO₂ 等含量低于衢州市和浙江省土壤背景值, Pb、Al₂O₃ 等高于衢州市和浙江省土壤背景值, 土壤中元素含量受自然地质背景控制的特征明显; ②土壤 pH 值范围为 4.61 ~ 6.30, 按 DZ/T 0295—2016《土地质量地球化学评价规范》中土壤酸碱度分级标准, 属于强酸性和酸性土壤; ③养分元素 K、Ge、Mo、Zn 较丰富, 但 N、P、Mn、S 较缺乏; ④土壤中 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 含量最大值分别为 21.84、0.22、23.53、20.47、0.06、8.82、53.84、133mg/kg, 远低于农用地土壤污染风险筛选值(pH ≤ 5.5 时标准限值分别为 40、0.3、150、150、1.3、60、70、200mg/kg), 土壤污染风险低; ⑤猕猴桃果实中的重金属含量低于绿色食品限值和食品卫生标准限值, 如 As 含量最高为 0.009 mg/kg, 其限值分别为 0.2mg/kg 和 0.5mg/kg。整体上, 研究区土壤具有养分分布不均匀、重金属含量低、酸性强的特点, 建议采取科学措施补充和平衡土壤养分, 防范土壤酸化导致的重金属活化风险。

关键词: 猕猴桃; 果园土壤; 环境质量; 重金属; 生态风险评价; 原子荧光光谱法; 电感耦合等离子体发射光谱法

要点:

- (1) 查明了果园土壤中养分和重金属元素的含量数据, 分析了其影响因素。
- (2) 用土地质量地球化学调查的方法研究了果园土壤环境质量和生态风险。
- (3) 研究区果园土壤养分含量不均匀, 酸性强、重金属含量低, 暂无生态风险。

中图分类号: O657.31; O657.63; X825 文献标识码: A

猕猴桃原产于我国, 目前在陕西、河南、四川、贵州、湖南、江浙一带以及意大利、新西兰、智利、希腊、法国等地均有大规模种植。猕猴桃果园环境与果园土壤性质、猕猴桃产量、质量和果园经济效益有密切

收稿日期: 2019-01-08; 修回日期: 2019-05-28; 接受日期: 2019-07-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160320-02)

作者简介: 贺灵, 硕士, 高级工程师, 主要从事生态地球化学调查与评价方面的工作。E-mail: heling@igge.cn.

关系。国外比较注重从系统的生态学角度来研究果园土壤性质、生物种群、种植管理方式之间的相互作用和影响。Carey等^[1]对传统种植方式和有机种植方式下猕猴桃果园土壤质量和营养元素差异的研究表明,有机种植方式除产量较低之外,可以使土壤保持长久而充足的肥力,增加土壤中有机质和微生物总量,改善土壤理化性质。Briones等^[2]研究了蚯蚓和生物肥料对猕猴桃果园土壤改良的效果,结果表明增加有机肥对土壤中微生物总量、C、N和肥料有效性具有积极的效果。Todd等^[3]研究了猕猴桃果园管理方式、周边土地利用、防护林组成对果园防护林中寄生害虫的影响,以及有机种植和综合治理下猕猴桃果园土壤中无脊椎动物群落的变化^[4]。Wardle等^[5]研究了猕猴桃果园中杂草管理方式对土壤生物组成与功能的影响。与之相比,我国针对猕猴桃果园环境的研究更侧重于果园土壤中重金属和养分元素的含量高低与丰缺状况。土壤重金属含量和养分状况可以影响果树长势、果品产量和食用安全性,开展果园土壤环境质量及生态风险评价(本文中土壤环境主要指土壤养分和重金属含量状况)对于猕猴桃产业健康发展具有重要的参考意义。雷宝佳等^[6]以陕西周至县为例研究了猕猴桃果园土壤养分空间变异性;李晓彤等^[7]研究了陕西省猕猴桃果园土壤重金属含量及污染风险;康婷婷等^[8]研究了秦岭北麓猕猴桃果园土壤养分状况;潘俊峰等^[9]研究了都江堰猕猴桃主产区果园土壤肥力状况。

此外,在贵州^[10-11]、湖南^[12-13]都开展了相关的工作。研究发现,都江堰猕猴桃主产区果园土壤明显偏酸性,在猕猴桃适宜生长范围 pH 5.5 ~ 7.0 的样本数只有 32.9%,且土壤中有效磷和有效钾分布不均衡^[9]。贵州修文县猕猴桃生产地果园土壤的速效磷含量为 20.01mg/kg,不能满足猕猴桃生长要求,近 2/5 的土壤缺速效磷^[10]。陕西周至县余家河小流域全氮平均含量均处在中等偏下水平;速效磷、速效钾均处在偏高水平,超过 75% 的猕猴桃园土壤速效磷、速效钾含量过高^[8]。湖南猕猴桃

主产区果园土壤有弱度的 Cd、Hg 和 As 污染,且局部污染问题较为突出,只有 48.1% 的土壤达到清洁标准^[14]。陕西省眉县 5 个猕猴桃园土壤样品中砷含量超标,周至县 1 个猕猴桃果园土壤样品中砷含量超标^[7]。

虽然我国猕猴桃种植面积和总产量居世界第一^[15],但管理粗放,过量使用化肥,基础研究严重不足^[16]等问题仍然存在。猕猴桃果园土壤中养分不足和分布不均的问题较为普遍,有些地区存在重金属含量超标的现象。

浙江省江山市自 1985 年开始发展种植猕猴桃,目前已成为“中国猕猴桃之乡”、“南方最大的猕猴桃产区”^[17]。为查明江山市猕猴桃果园土壤环境质量现状,本项目组于塘源口乡两处典型猕猴桃果园内采集土壤、岩石和果实样品,以果园土壤中养分元素丰缺与影响因素、重金属元素含量与果实食用安全性为主要研究内容,开展了果园土壤环境质量与生态风险评价。研究结果可为当地指导猕猴桃果园科学施肥、种植规划选区等提供科学数据。

1 实验部分

1.1 研究区概况

塘源口乡地处浙江省江山市东部,东邻衢江区,距江山市区 35km,交通十分便利。全乡区域总面积 105.6km²,属亚热带季风气候,四季分明,光照充足,雨量充沛,小气候资源丰富。北部地层主要为高坞组酸性、中酸性火山碎屑岩,南部主要为晚侏罗世石英-碱长正长岩。土壤类型主要为红壤和黄壤。据统计,2014 年底塘源口乡已形成 500 亩以上的猕猴桃产业基地 3 个,示范区 1 个,种植总面积达 6000 亩,到 2016 年 2 月种植面积达 8572 亩。

1.2 样品采集及处理

2017 年 9 月,选择塘源口乡规模较大的两处猕猴桃果园(以下简称果园 A 和果园 B)进行了采样调查,分别采集了果实、土壤和岩石样品,两处果园中共采集猕猴桃果实样品 6 件,土壤样品 6 件,岩石样品 2 件(表 1)。

表 1 样品采集信息

Table 1 Information of the samples

果园	位置	面积(亩)	海拔(m)	果实样品编号	土壤样品编号	岩石样品编号
果园 A	坑尾村	400	500 ~ 700	M01, M02, M03	MS01, MS02, MS03	MR01
果园 B	柴谷岭村	600	300	M04, M05, M06	MS04, MS05, MS06	MR02

果实样品:按照空间上均匀分布的原则在果园内选定三处样点,于样点周围 20m 范围内随机选择 4 棵果树,每棵果树上采集 2 颗猕猴桃果实。采回的果实样品经清洗晾干,去表皮,果肉打浆后冷藏保存备分析。

土壤样品:在选定的猕猴桃果树根部采集,每件样品由样点周围 4 棵果树根部的子样组合而成。样品采回后自然风干,剔除杂物后过 2000 μm 尼龙筛,充分混匀后装瓶备用。

岩石样品:两处果园中岩石出露面积均不大,果园 A 中的岩石样品采集于果园中部;果园 B 的岩石样品采集于果园边缘。两件样品岩石类型均为石英-碱长正长岩。样品采回后送实验室磨碎后分析。

1.3 样品分析测试

样品分析测试由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室完成。

土壤样品采用原子荧光光谱法(AFS)测定 As、Hg、Se;发射光谱法(ES)测定 Ag、Sn;电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定 Bi、Cd、Co、Cu、Ge、La、Mo、Ni、Pb、Sb、Sc、Tl、W、Zn^[18-19];电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定 S、Al₂O₃、MgO、Na₂O;ICP-OES 法和 X 射线荧光光谱法(XRF)测定 Cr;XRF 法测定 Mn、P、Ti、V、Zr、SiO₂、TFe₂O₃、CaO、K₂O;氧化热解-气相色谱法测定 N;电位法测定有机碳(OrgC)、pH;氧化燃烧气相色谱法测定总碳(TC)。

果实样品测定 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn,各元素测定方法与土壤样品相同。

岩石样品除未测定 pH 值外,其他测定指标与土壤样品一致,各指标测定方法与土壤样品相同。各类样品主要分析项目和检出限见表 2。

2 结果与讨论

2.1 果园土壤元素含量

土壤中化学元素的含量高低是一项重要的地球化学指标,利用两处果园土壤中元素含量与衢州市和浙江省土壤元素背景值进行了对比(表 3)。结果表明:果园 A 中 Ag、As、Bi、Co、Cr、Cu、Hg、N、Ni、S、Sb、Sc、Se、Ti、V、W、Zr、SiO₂、MgO、Na₂O 含量明显低于衢州市和浙江土壤背景值;Pb、Tl、Al₂O₃ 明显高于衢州市和浙江土壤背景值。果园 B 中 Ag、Bi、Co、Cr、Mo、Ni、Sb、Se、V、SiO₂ 明显低于衢州市和浙江省土壤背景值;As、La、Mn、P、Pb、Zr、Al₂O₃、K₂O 明显高于衢州市和浙江省土壤背景值。

表 2 各指标分析测试检出限

Table 2 Detection limits of the elements

分析项目	检出限	单位	分析项目	检出限	单位
Ag	20	ng/g	Sc	1	$\mu\text{g/g}$
As	1	$\mu\text{g/g}$	Se	0.01	$\mu\text{g/g}$
Bi	0.05	$\mu\text{g/g}$	Sn	1	$\mu\text{g/g}$
Cd	20	ng/g	Ti	10	$\mu\text{g/g}$
Co	1	$\mu\text{g/g}$	Tl	0.1	$\mu\text{g/g}$
Cr	5	$\mu\text{g/g}$	V	5	$\mu\text{g/g}$
Cu	1	$\mu\text{g/g}$	W	0.2	$\mu\text{g/g}$
Ge	0.1	$\mu\text{g/g}$	Zn	2	$\mu\text{g/g}$
Hg	2	ng/g	Zr	2	$\mu\text{g/g}$
La	1	$\mu\text{g/g}$	SiO ₂	0.1	%
Mn	10	$\mu\text{g/g}$	Al ₂ O ₃	0.1	%
Mo	0.2	$\mu\text{g/g}$	TFe ₂ O ₃	0.1	%
N	20	$\mu\text{g/g}$	MgO	0.05	%
Ni	2	$\mu\text{g/g}$	CaO	0.05	%
P	10	$\mu\text{g/g}$	Na ₂ O	0.05	%
Pb	2	$\mu\text{g/g}$	K ₂ O	0.05	%
S	50	$\mu\text{g/g}$	OrgC	0.1	%
Sb	0.05	$\mu\text{g/g}$	TC	0.1	%

注:土壤、岩石、果实样品经加工处理后,同一元素采用相同的分析仪器和测试方法,故检出限合并并在同一个表中列出。

两处果园土壤中元素含量的共同的特点是 Ag、Bi、Co、Cr、Ni、Sb、Se、V、SiO₂ 等含量低于衢州市和浙江省背景值,Pb、Al₂O₃ 等高于衢州和浙江土壤元素背景值。这些元素多属于地质背景元素,受人为活动影响的可能性较小,推测其含量特征主要与自然地质背景有关。调查区气候湿热,红壤发育,成土过程中的脱硅富铝作用^[20]可能是导致果园土壤中 SiO₂ 低于衢州和浙江土壤背景值,而 Al₂O₃ 明显高于衢州市和浙江土壤背景值的主要原因。

横向对比可以发现:果园 A 中 As、La、Mn、Sc、Ti、W、Zr、Al₂O₃、TFe₂O₃、MgO、Na₂O、K₂O 含量明显低于果园 B;而 Cr、Mo、Ni、S、Se、Tl、SiO₂ 含量则高于果园 B。经与岩石样品的分析数据对比发现,两处果园的岩石中元素含量具有同样的特点,说明土壤中元素含量主要继承了成土母岩的特征。土壤中元素含量受自然背景控制的特征明显。

2.2 果园土壤养分丰缺与影响因素

土壤中养分全量是衡量土壤肥力的一项重要指标。顾万帆等^[21]按照平均亩产 2600kg 猕猴桃的目标产量,根据年周期树体所需肥量计算出土壤中氮全量应为 1.50g/kg,有机质含量应为 30g/kg 方可满足目标产量的需肥量。本研究调查区土壤中氮全量平均含量为 0.67g/kg,有机质含量为 13.3g/kg,仅为目标产量需肥量的一半左右。

表3 土壤和岩石样品元素含量对比

Table 3 Comparison of elements concentration in soils and rocks of research area

分析项目	衢州市 背景值	浙江省 背景值	MS01	MS02	MS03	MS04	MS05	MS06	MR01	MR02
Ag*	68.2	257	28.4	31.09	43.51	24.63	36.92	50.67	65.07	34.16
As	7.66	9.2	3.14	5.32	2.66	12.92	21.84	15.83	1.67	31.56
Bi	0.35	0.23	0.10	0.18	0.10	0.09	0.11	0.12	0.02	0.06
Cd*	201	70	219.13	48.22	83	73.94	64.39	119.62	77.90	69.16
Co	8.1	13.2	5.51	3.66	6.08	6.34	5.97	6.86	1.64	5.25
Cr	57.5	52.9	10.95	23.53	9.62	7.25	8.42	5.12	5.76	3.32
Cu	24.8	17.6	11.16	9.5	14.47	7.98	8.93	20.47	3.11	3.95
Ge	78.6	62	1.53	1.47	1.35	1.61	1.54	1.5	1.29	2.17
Hg*	78.8	86	56.78	64.18	46.92	44.95	56.29	71.57	5.25	4.19
La	41.8	33.8	47.94	26.7	66.65	88.73	92.73	108.01	60.85	121.79
Mn	330	448	214	156	476	543	503	641	488.70	420.58
Mo	1.16	5.7	1.15	1.68	0.89	0.6	0.72	0.66	1.00	0.95
pH	/	/	5.29	4.95	6.30	4.61	4.71	5.92	/	/
N	1187	/	561	640	669	582	709	900	51.35	94.82
Ni	17.2	24.6	6.48	8.82	6.5	3.77	4.33	3.36	2.10	2.94
P	583	471	1560	374	687	559	691	1178	202.80	317.82
Pb	31.5	23.7	53.84	37.14	45.34	45.61	41.72	44.79	35.73	29.95
S	283	/	172.7	197	185	129	144	144	53.30	68.50
Sb	0.74	1.53	0.37	0.51	0.35	0.39	0.54	0.41	0.19	0.44
Sc	8.85	9.45	5.76	6.56	4.92	10.18	10.37	9.65	3.00	7.82
Se	0.36	0.435	0.23	0.36	0.31	0.13	0.16	0.18	0.03	0.03
Sn	4.61	3	2.61	3.18	2.54	2.31	2.64	2.73	2.18	2.13
Ti	4567	3700	1408	2106	1384	2952	3020	2941	1000	2537
Tl	0.68	0.5	0.79	0.7	1.02	0.55	0.53	0.64	0.79	1.70
V	78.4	69.3	19.3	32.2	25	26.8	27.2	27.8	10.68	26.36
W	1.87	2.91	1.67	1.65	1.41	2.43	3.1	2.53	1.39	5.72
Zn	79.6	70.6	89	66	94	76	83	133	51.71	70.81
Zr	285	245	186	216	181	327	378	360	154.27	323.62
SiO ₂ ^x	74.92	/	71	70.38	69.04	65.94	66.63	65.9	70.61	67.23
Al ₂ O ₃ ^x	12.14	12.45	15.26	15.06	14.8	19.91	20.19	18.66	12.85	18.33
TFe ₂ O ₃ ^x	4.21	3.19	2.59	3.09	2.25	3.77	4.03	3.54	1.69	2.99
MgO ^x	0.65	0.73	0.33	0.28	0.25	0.68	0.63	0.76	0.23	0.51
CaO ^x	0.28	0.17	0.26	0.15	0.61	0.12	0.12	0.31	0.90	0.11
Na ₂ O ^x	0.28	0.51	0.07	0.05	0.13	0.32	0.25	0.35	1.62	0.33
K ₂ O ^x	2.35	1.78	1.85	1.53	2.96	3.73	3.17	4.71	5.11	5.23
OrgC ^x	/	/	0.57	0.82	1.04	0.6	0.75	0.84	0.07	0.08
TC ^x	1.36	/	0.56	0.77	1.02	0.58	0.72	0.8	0.19	0.04

注:元素含量单位为 mg/kg,标注“*”的元素含量单位为 μg/kg,标注“x”的元素含量单位为%,pH 无量纲,“/”表示无数据。

以 DZ/T 0295—2016《土地质量地球化学评价规范》中土壤养分等级划分标准为依据,对研究区果园土壤养分丰缺状况进行评价,每种养分元素依据其含量高分为五个等级,一等、二等、三等、四等、五等的定义分别为丰富、较丰富、中等、较缺乏、缺乏。果园土壤养分等级评价结果见图1。

果园A:Mo属于丰富状态;P、K₂O、Ge、Zn部分含量丰富,缺乏不严重;N、MgO、TFe₂O₃、Co、V、S、Cu全部为五等,属于缺乏状态,需要大量补充。

果园B:K₂O、Ge属于丰富状态;P、Mo、Mn缺乏

不严重;CaO、Co、V、S全部为五等,需要大量补充;N、MgO、TFe₂O₃、Cu也需要充分补充。

从调查结果来看,除果园A中的Mo、Ge、Zn和果园B中的K₂O、Ge、Zn外,其他养分元素均属于缺乏状态。

造成果园土壤养分不均和缺乏的主要原因可能有:一方面与成土母质有关,成土母质是土壤中元素的主要来源。金衢盆地区表现为Ca、Co、Cu、Fe、Mg、Mn、N、Na、P、Zn、OrgC等多数地球化学指标背景均值较低,而K、Mo、Si等元素相对偏高^[22];一方

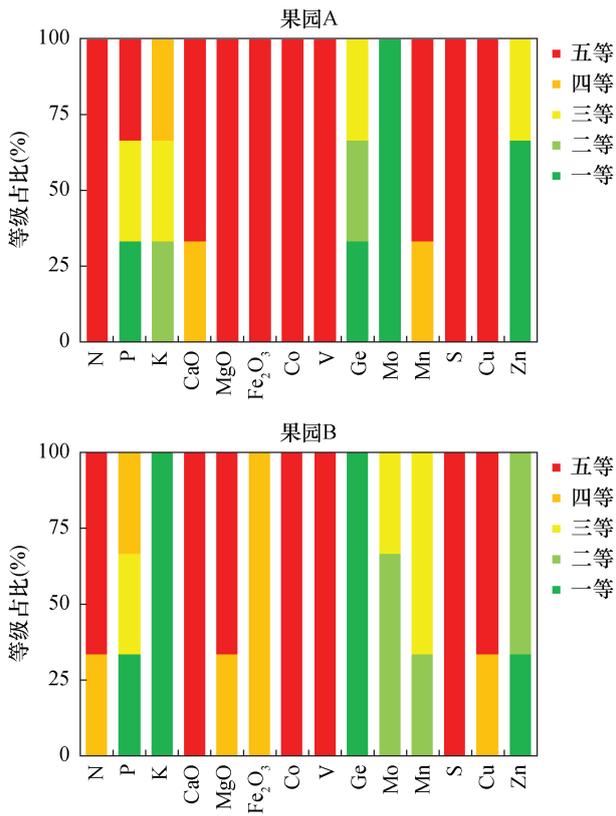


图1 果园土壤养分等级

Fig. 1 Nutrient classification in orchard soils at research area

面与水土流失有关^[23],两处果园均位于山坡,每年随着雨水冲刷,会有大量养分元素随之流失;第三,限于现有的种植管理水平,大多数果园施肥仅凭经验^[24],没有根据土壤本身的养分状况制定科学合理的施肥计划。猕猴桃果园土壤以有机质含量高,pH值5.5~6.5微酸性的砂质土壤为宜;年需肥量中早期以N、K为主,中期追肥以Ca、Mg、B、Fe、Mn等元素为主,成熟期以速效磷、钾肥为主^[25]。因此,应提倡根据果园土壤的养分状况开展测土配方施肥,保证土壤肥力。

2.3 果园土壤环境质量和生态风险评价

以GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》为依据,对果园土壤中As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn八项重金属元素进行了污染风险评价(表4)。GB 15618—2018根据土壤酸碱度(pH)的不同划分了污染物项目的限值。研究区土壤样品pH值范围为4.61~6.30(表3),故表4中列出了pH≤5.5和5.5<pH≤6.5两种条件下的污染物限值。结果表明:两处猕猴桃果园土壤样品中八项污染物指标测定最大值均远低于标准限值,表明土壤污染风险低,符合农用地土壤环境质

量标准要求。

土壤中的重金属元素经过根系吸收后先进入根细胞,后转移进入果树木质部和果实等各个器官^[26],最终通过食物链转移到人体。为进一步确定果园土壤重金属元素生态风险,本文测定了果实样品中重金属元素含量,经与NY/T 425—2000《绿色食品 猕猴桃》和GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》对比发现,猕猴桃果实中重金属元素含量均低于标准限量值(表5),如果实中As含量最高为0.009mg/kg,NY/T 425—2000和GB 2762—2017中其限值分别为0.2mg/kg和0.5mg/kg,可安全食用。

表4 农用地土壤污染风险筛选值

Table 4 Screening values of soil pollution risk for agricultural land

污染物项目	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
pH≤5.5 标准限值 (mg/kg)	40	0.3	150	150	1.3	60	70	200
5.5<pH≤6.5 标准 限值(mg/kg)	40	0.3	150	150	1.8	70	90	200
本研究中样品 最大值(mg/kg)	21.84	0.22	23.53	20.47	0.06	8.82	53.84	133

注:重金属和类金属砷均按元素总量计。

表5 果实中元素含量与标准限值对比

Table 5 Comparison of element contents in fruits with their standard limits

分析项目	限量值 ^① (mg/kg)	限量值 ^② (mg/kg)	测定最大值 (mg/kg)	与标准符合 情况
砷(以As计)	≤0.2	0.5	0.009	符合标准
铅(以Pb计)	≤0.2	0.1	0.01	符合标准
镉(以Cd计)	≤0.01	0.05	0.0007	符合标准
汞(以Hg计)	≤0.01	0.01	0.0009	符合标准
铬(以Cr计)	/	0.5	0.01	符合标准

注:限量值^①指标准NY/T 425—2000《绿色食品 猕猴桃》中的限值;限量值^②指标准GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中的限值。限量值^②中As、Hg、Cr的限值为参照新鲜蔬菜的值,“/”表示无相关数据。

富集系数表示某元素在一种介质中相对于另一种介质的富集程度,可用于表征元素在不同介质间的迁移能力,在生态环境问题的评价中有较多的应用^[27-29]。果实中元素的富集系数是反映果实对土壤中元素富集能力的一项重要参考值。农产品对土壤某种元素的富集系数=农产品中某种元素的浓度(mg/kg)/该元素在土壤中的浓度(mg/kg)。研究区猕猴桃果实对八种重金属元素中富集系数相对较

高的有 Cu、Ni 和 Cd,其他元素的富集系数都很低,按富集系数大小排序依次为: Pb < As < Hg < Cr < Zn < Cd < Ni < Cu(表6)。按富集系数推算,土壤中 Cd 元素含量需提高 15 倍才有可能导致果实中 Cd 含量达到标准 NY/T 425—2000 限量值($\leq 0.01\text{mg/kg}$,表5),如没有人为因素的影响,出现这种情况的可能性可以忽略。

表6 果实中元素富集系数

Table 6 Element enrichment coefficient in fruits

样品 编号	富集系数							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
M01	0.0005	0.0033	0.0013	0.0436	0.0002	0.0060	0.0002	0.0029
M02	0.0005	0.0047	0.0003	0.1195	0.0008	0.0048	0.0003	0.0011
M03	0.0009	0.0050	0.0006	0.0243	0.0003	0.0041	0.0001	0.0032
M04	0.0002	0.0065	0.0010	0.0487	0.0019	0.0104	0.0002	0.0033
M05	0.0001	0.0089	0.0006	0.0358	0.0007	0.0082	0.0002	0.0049
M06	0.0006	0.0049	0.0027	0.0256	0.0008	0.0108	0.0002	0.0069

土壤中重金属元素的生态风险不仅与总量有关,还与其活动性有关。一般认为,土壤 pH 值越低,重金属元素活动性越高^[30]。张忠启等^[31]研究发现,临近江山市的江西省余江县土壤 pH 已由 1982 年的 5.66 降至 2007 年的 4.74,二十五年来下降趋势非常明显,表明土壤酸化的威胁仍然存在。汪吉东等^[32]认为,除酸沉降外,农业活动中长期施用化肥也是导致土壤酸化加速的重要驱动因素。调查区土壤中重金属元素总量不高,但 pH 值相对较低。因此,重金属活化的潜在风险仍然存在,需要引起足够重视。另外,土壤中重金属元素的外源输入途径较多,如工业排放、大气沉降等活动都会使土壤中重金属元素不断累积。在后期管理上,应保护好当地的生态环境,避免人为污染导致果园土壤重金属元素含量增高。

3 结论

研究表明:两处果园土壤酸性较强,土壤重金属元素含量低,土壤中元素含量主要受自然地质背景控制;土壤养分元素氮、磷、镁、铁等比较缺乏;应采取科学措施,补充土壤养分,同时要避免因人为活动导致重金属积累和活化的生态风险。果实中重金属元素含量低于 NY/T 425—2000《绿色食品 猕猴桃》和 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》限量值,且富集系数低,可安全食用。研究结果为江山市猕猴桃果园种植管理和规划选区提供

了科学数据,在江山市猕猴桃种植面积连年扩大的背景下,建议在现有和规划种植范围内开展全面的土壤环境质量现状调查与评价工作,进一步提高猕猴桃种植管理水平和种植布局的科学性。

致谢:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室的工作人员在样品测试中付出了辛勤的劳动,江山市自然资源和规划局(原国土资源局)徐长春在采样过程中给予了协助,在此一并致谢。

4 参考文献

- [1] Carey P L, Bengé J R, Haynes R J. Comparison of soil quality and nutrient budgets between organic and conventional kiwifruit orchards [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 132: 7–15.
- [2] Briones M J I, Barreal M E, Harrison A C, et al. Earthworms and nitrogen applications to improve soil health in an intensively cultivated kiwifruit orchard [J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, 49: 158–166.
- [3] Todd J H, Poulton J, Richards K, et al. Effect of orchard management, neighbouring land – use and shelterbelt tree composition on the parasitism of pest leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) larvae in kiwifruit orchard shelterbelts [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, 260: 27–35.
- [4] Todd J H, Malone L A, McArdle B H, et al. Invertebrate community richness in New Zealand kiwifruit orchards under organic or integrated pest management [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 141: 32–38.
- [5] Wardle D A, Yeates G W, Bonner K I, et al. Impacts of ground vegetation management strategies in a kiwifruit orchard on the composition and functioning of the soil biota [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33: 893–905.
- [6] 雷宝佳, 杨联安, 张林森, 等. 猕猴桃果园土壤养分空间变异性分析——以陕西周至县为例 [J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2015, 45(2): 323–326.
Lei B J, Yang L A, Zhang L S, et al. Analysis on spatial variability of soil nutrition of kiwifruit orchards: Taking Zhouzhi County of Shannxi Province as a case [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2015, 45(2): 323–326.
- [7] 李晓彤, 岳田利, 胡仲秋, 等. 陕西省猕猴桃园土壤重金属含量及污染风险评价 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(2): 173–178.
Li X T, Yue T L, Hu Z Q, et al. Concentrations of soil

- heavy metals in kiwifruit orchards in Shaanxi and risk evaluation [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2015, 43(2): 173 - 178.
- [8] 康婷婷, 张晓佳, 陈竹君, 等. 秦岭北麓猕猴桃园土壤养分状况研究——以周至县余家河小流域为例[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(11): 159 - 164.
- Kang T T, Zhang X J, Chen Z J, et al. Soil nutrients status of kiwifruit orchards in the northern foothills of Qinling Mountains—A case study in Yujia River catchment of Zhouzhi County [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2015, 43(11): 159 - 164.
- [9] 潘俊峰, 曾华, 李志国, 等. 都江堰猕猴桃主产区果园土壤肥力状况调查与评价[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(10): 269 - 275.
- Pan J F, Zeng H, Li Z G, et al. An investigation and assessment on the soil fertility status of kiwifruit orchards in Dujiangyan [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(10): 269 - 275.
- [10] 张承, 周开拓, 龙友华. 贵州省修文县猕猴桃果园土壤养分分析[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(17): 4083 - 4086.
- Zhang C, Zhou K T, Long Y H. Analysis on soil nutrient availability of kiwifruit orchards in Xiuwen County of Guizhou Province [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(17): 4083 - 4086.
- [11] 刘晗, 何腾兵, 党华美. 贵州修文土壤 - 猕猴桃系统重金属富集特征[J]. *山地农业生物学报*, 2017, 36(2): 53 - 56.
- Liu H, He T B, Dang H M. Characteristics of accumulation of heavy metals in soil - kiwi system in Guizhou [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2017, 36(2): 53 - 56.
- [12] 卜范文, 汤佳乐, 杨玉, 等. 湖南省猕猴桃果园土壤镉含量及镉吸收规律研究[J]. *江西农业大学学报*, 2017, 39(3): 468 - 475.
- Bu F W, Tang J L, Yang Y, et al. A study of soil cadmium content and its absorption law in kiwifruit orchards in Hunan Province [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2017, 39(3): 468 - 475.
- [13] 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 R C, Shi H, Pang L, 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.
- [14] 杨玉, 童雄才, 王仁才, 等. 湖南猕猴桃园土壤重金属含量分析及污染评价[J]. *农业现代化研究*, 2017, 38(6): 1097 - 1105.
- Yang Y, Tong X C, Wang R C, et al. Analysis and safety evaluation of heavy metal contamination in kiwifruit orchard soils in Hunan Province [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(6): 1097 - 1105.
- [15] 张计育, 莫正海, 黄胜男, 等. 21世纪以来世界猕猴桃产业发展以及中国猕猴桃贸易与国际竞争力分析[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(23): 48 - 55.
- Zhang J Y, Mo Z H, Huang S N, et al. Development of kiwifruit industry in the world and analysis of trade and international competitiveness in China entering 21st century [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(23): 48 - 55.
- [16] 胡凡, 石磊, 李茹, 等. 陕西关中地区猕猴桃施肥现状评价[J]. *中国土壤与肥料*, 2017(3): 44 - 49.
- Hu F, Shi L, Li R, et al. Fertilization evaluation of kiwifruit in Guanzhong region of Shaanxi Province [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2017(3): 44 - 49.
- [17] 罗时健. 江山猕猴桃产业发展现状与对策[J]. *江西农业学报*, 2006, 18(4): 212 - 214.
- Luo S J. Development status and countermeasures of kiwifruit industry in Jiangshan [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2006, 18(4): 212 - 214.
- [18] Satyanarayanan M, Balaram V, Sawant S S, et al. Rapid determination of REEs, PGEs, and other trace elements in geological and environmental materials by high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Atomic Spectroscopy*, 2018, 39(1): 1 - 15.
- [19] Yuksel B, Arica E. Assessment of toxic, essential, and other metal levels by ICP - MS in Lake Eymir and Mogan in Ankara, Turkey: An environmental application [J]. *Atomic Spectroscopy*, 2018, 39(5): 179 - 184.
- [20] 赵其国. 红壤物质循环及其调控[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- Zhao Q G. Red Soil Material Cycle and Its Regulation [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [21] 顾万帆, 胡敏骏, 许杰, 等. 杭州市富阳区猕猴桃种植区域的土壤环境适宜性评价[J]. *浙江农业科学*, 2018, 59(2): 178 - 180.
- Gu W F, Hu M J, Xu J, et al. Evaluation of soil environmental suitability of kiwifruit planting area in Fuyang District of Hangzhou City [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2018, 59(2): 178 - 180.
- [22] 汪庆华, 董岩翔, 郑文, 等. 浙江土壤地球化学基准值与环境背景值[J]. *地质通报*, 2007, 26(5): 590 - 597.

- Wang Q H, Dong Y X, Zheng W, et al. Soil geochemical baseline values and environmental background values in Zhejiang, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(5): 590 - 597.
- [23] 林清火, 罗微, 林钊沐, 等. 砖红壤地区旱地土壤肥料养分淋失研究进展 [J]. *热带农业科学*, 2003, 23(1): 61 - 66.
- Lin Q H, Luo W, Lin Z M, et al. Research advances on leaching of fertilizer nutrients in the latisol areas [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2003, 23(1): 61 - 66.
- [24] 陆若辉, 陈思力, 沈月. 降低浙江农田化肥施肥强度对策分析 [J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(8): 1293 - 1295.
- Lu R H, Chen S L, Shen Y. Countermeasure analysis of reducing fertilization intensity of fertilizer in Zhejiang farmland [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2017, 58(8): 1293 - 1295.
- [25] 彭勃, 王新平, 孟庆青, 等. 猕猴桃需肥特性及施肥技术 [J]. *中国农技推广*, 2008, 24(12): 30 - 31.
- Peng B, Wang X P, Meng Q Q, et al. Kiwifruit fertilizer characteristics and fertilization techniques [J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2008, 24(12): 30 - 31.
- [26] 柳检, 罗立强. As、Cd 和 Pb 植物根系吸收途径和影响因素研究现状与进展 [J]. *岩矿测试*, 2015, 34(3): 269 - 277.
- Liu J, Luo L Q. Research progress on the root uptake pathway of As, Cd and Pb and its influence factors [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2015, 34(3): 269 - 277.
- [27] 廖启林, 金洋, 吴新民, 等. 南京地区土壤元素的人为活动环境富集系数研究 [J]. *中国地质*, 2005, 32(1): 141 - 147.
- Liao Q L, Jin Y, Wu X M, et al. Artificial environmental concentration coefficients of elements in soils in the Nanjing area [J]. *Geology in China*, 2005, 32(1): 141 - 147.
- [28] 赵庆令, 李清彩, 谢江坤, 等. 应用富集系数法和地累积指数法研究济宁南部区域土壤重金属污染特征及生态风险评价 [J]. *岩矿测试*, 2015, 34(1): 129 - 137.
- Zhao Q L, Li Q C, Xie J K, et al. Characteristics of soil heavy metal pollution and its ecological risk assessment in South Jining District using methods of enrichment factor and index of eoaccumulation [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2015, 34(1): 129 - 137.
- [29] 王腾云, 周国华, 孙彬彬, 等. 福建沿海地区土壤-稻谷重金属含量关系与影响因素研究 [J]. *岩矿测试*, 2016, 35(3): 295 - 301.
- Wang T Y, Zhou G H, Sun B B, et al. The relationship between heavy metal contents of soils and rice in coastal areas, Fujian Province, including influencing factors [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2016, 35(3): 295 - 301.
- [30] 周国华. 土壤重金属生物有效性研究进展 [J]. *物探与化探*, 2014, 38(6): 1097 - 1106.
- Zhou G H. Recent progress in the study of heavy metal bioavailability in soil [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2014, 38(6): 1097 - 1106.
- [31] 张忠启, 茆彭, 于东升, 等. 近 25 年来典型红壤区土壤 pH 变化特征——以江西省余江县为例 [J]. *土壤学报*, 2018, 55(6): 1545 - 1553.
- Zhang Z Q, Mao P, Yu D S, et al. Characteristics of soil pH variation in typical red soil region of South China in the past 25 years—A case study of Yujiang County, Jiangxi Province [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(6): 1545 - 1553.
- [32] 汪吉东, 许仙菊, 宁运旺, 等. 土壤加速酸化的主要农业驱动因素研究进展 [J]. *土壤*, 2015, 47(4): 627 - 633.
- Wang J D, Xu X J, Ning Y W, et al. Progresses in agricultural driving factors on accelerated acidification of soils [J]. *Soils*, 2015, 47(4): 627 - 633.

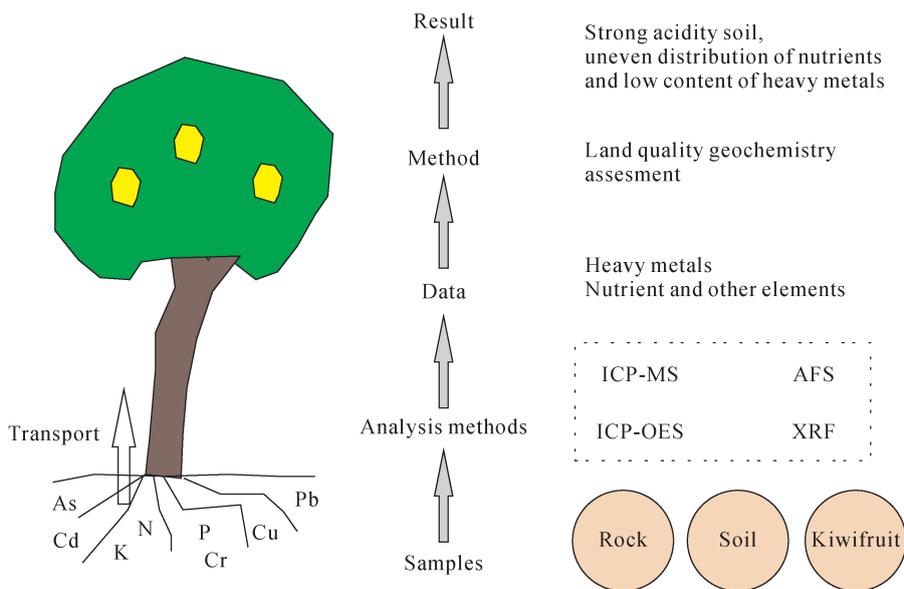
Assessment of Soil Environment Quality and Ecological Risk for Kiwifruit Orchards in Jiangshan City, Zhejiang Province

HE Ling^{1,2}, SUN Bin-bin^{1,2}, WU Chao^{1,2}, CHENG Xiao-meng^{1,2}, WU Zheng-feng³, ZHOU Rong-qiang⁴, HOU Shu-jun¹

- (1. Key Laboratory of Geochemical Exploration, Ministry of Land and Resources, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China;
2. UNESCO International Center on Global-Scale Geochemistry, Langfang 065000, China;
3. Jiangshan Natural Resources and Planning Bureau, Jiangshan 324100, China;
4. Jiangshan Forestry Bureau, Jiangshan 324100, China)

HIGHLIGHTS

- (1) The contents of nutrients and heavy metals in orchard soil were investigated and the influencing factors were analyzed.
- (2) Soil environment quality and ecological risk in orchards were studied by the methods of land quality geochemical surveys.
- (3) The soil in the study area had the characteristics of strong acidity, uneven distribution of nutrients and low content of heavy metals, and showed no ecological risk at present.



ABSTRACT

BACKGROUND: The orchard soil environment is closely related to kiwifruit yield, quality and its edible safety. Research shows that the nutrient insufficiency and uneven distribution in kiwifruit orchard soil is a common problem in China, and in some areas, the content of heavy metals in soil has been found to exceed the environmental quality standard for soils. In recent years, the planting area of Kiwifruit in Zhejiang Province has been expanded year by year, being one of the important kiwifruit producing areas in China.

OBJECTIVES: To study the present situation of soil environmental quality in kiwifruit orchards in Jiangshan City, Zhejiang Province.

METHODS: Two typical kiwifruit orchards were selected to collect samples of soil, rock and fruit, and the content of heavy metals, nutrients and physical and chemical parameters of soil and rock samples were determined by atomic fluorescence spectrometry (AFS) and inductively coupled plasma – optical emission spectrometry (ICP – OES). The environmental quality and ecological risk assessment of orchard soil were carried out with the main research contents of nutrient abundance and deficiency in orchard soil, influence factors, heavy metal content and fruit edible safety.

RESULTS: The results showed that the content of Ag, Bi, Co, Cr, Ni, Sb, Se, V and SiO₂ in the soil of the two orchards were lower than those of Quzhou City and Zhejiang Province, while Pb and Al₂O₃ contents were higher than those of Quzhou City and Zhejiang Province. The characteristics of soil element content were obviously controlled by the natural geological background. Soil pH value ranged from 4.61 to 6.30. According to the classification standard in DZ/T 0295—2016, the soils in the studied area belonged to strong acidic and acidic soils. Nutrient elements K, Ge, Mo and Zn were abundant, but N, P, Mn and S were deficient. The maximum value of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn in the soil samples were 21.84, 0.22, 23.53, 20.47, 0.06, 8.82, 53.84 and 133mg/kg, respectively, which were far lower than the screening value of soil pollution risk for agricultural land (standard limit were 40, 0.3, 150, 150, 1.3, 60, 70, 200mg/kg when pH ≤ 5.5). The risk of soil pollution was low. The contents of heavy metals in kiwifruit fruit were lower than the limits of green food and food hygiene standards. For example, the highest content of As was 0.009mg/kg, the limit were 0.2mg/kg and 0.5mg/kg, respectively.

CONCLUSIONS: On the whole, the soils in the study area have the characteristics of strong acidity, uneven distribution of nutrients and low content of heavy metals. It is necessary to take scientific measures to supple and balance soil nutrients and prevent the risk of heavy metals activation caused by soil acidification.

KEY WORDS: kiwifruit; orchard soil; environment quality; heavy metals; ecological risk assessment; atomic fluorescence spectrometry; inductively coupled plasma – optical emission spectrometry