

doi: 10.11720/wtyht.2019.0287

刘道荣,郑基滋,占玄,等.临安山核桃主产区林地土壤重金属生态风险评价[J].物探与化探,2019,43(6):1382-1388.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0287

Liu D R,Zheng J Z,Zhan X, et al.Ecological risk evaluation of heavy metals in soils of *Carya cathayensis* plantations, Lin'an [J].Geophysical and Geochemical Exploration,2019,43(6):1382-1388.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0287

临安山核桃主产区林地土壤重金属生态风险评价

刘道荣,郑基滋,占玄,吴问丹

(中化地质矿山总局 浙江地质勘查院,浙江 杭州 310002)

摘 要: 选择浙江临安山核桃主产区,采集了山核桃果实及对应土壤样品,分析土壤重金属元素、Se、有机质等指标,以《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618-2018)中,5.5<pH≤6.5 非水田条件下的风险筛选值为标准,评价土壤重金属污染程度;分析山核桃果仁重金属、Se、Ge 等微量元素含量,探讨土壤—山核桃果仁间元素含量关系。结果表明,山核桃林地土壤 Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、Cd、As、Hg、Se 等元素平均含量均大于中国土壤平均值,尤其 Cd 为中国土壤平均值的 5.6 倍。研究区局部土壤 Cd、As 已达到污染程度,其他重金属元素生态风险小。山核桃果仁 Cd、Hg、Pb、As 等重金属含量较低,未出现重金属元素超标现象,生态风险小,Zn 含量较高,具备开发富锌保健食品的潜力。山核桃对不同重金属吸收能力差异较显著,对 Zn、Cu 的吸收能力远大于 Cd、Cr、Hg。

关键词: 土壤;重金属;生态风险;山核桃;临安

中图分类号: P596;X142

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2019)06-1382-07

0 引言

通过地球化学调查,查明土壤元素组成及其分布特征,评价土壤质量及生态效应,实现土地管理科学化、精准化,服务农业现代化,已成为勘查地球化学领域的研究热点^[1]。宋明义等^[2]研究了寒武系荷塘组高镉地质环境下农用地富硒土壤特征及水稻镉含量超标的生态效应。王文俊^[3]采用单因子指数法和综合因子评价法研究了福建省寿宁县土壤环境质量。周国华等^[1]研究了福建铁观音茶园土壤及茶叶生态地球化学特征,发现茶叶中重金属含量较低。贾中民等^[4]研究了重庆西北地区土壤重金属分布特征,结果表明 Cd 超标比例最大,重金属的含量分布与地层(地质背景)及土地利用方式关系密切,Cd、Hg 等潜在生态风险较大。张红桔等^[5]对临安山核桃产区土壤重金属潜在生态风险进行了评价,结果表明重金属 Cd、Cu 污染风险概率较高,但

未采集相应山核桃果仁样品。Han 等^[6]对中国主要核桃产区土壤重金属分布特征及其与核桃重金属含量关系进行研究,并对食用核桃潜在生态风险进行评估,结果表明核桃及土壤重金属污染主要为 Pb 和 Cd。当前,土壤环境质量评价的重点还主要是耕地,少数涉及园地,对林地土壤调查研究相对缺乏。

山核桃(*Carya cathayensis*)主要生长在浙皖交界山区,是我国特有的木本油料植物和高档干果,其中临安西部地区是国内山核桃的主要生产区^[7],山核桃的生长分布及长势与地质背景关系密切^[8]。近年来,对山核桃林地土壤肥力性质、山核桃果仁营养成分等研究逐渐增多^[7,9-10],但对山核桃及其产地土壤重金属含量特征,尤其是山核桃果仁重金属含量了解甚少。本文依托临安区土地质量地质调查项目,通过对临安山核桃主产区林地土壤及山核桃果仁采样分析,评价土壤重金属污染程度及生态风险,分析山核桃果仁 8 种重金属及 Se、Ge 有益组分含量,以期如山核桃产业发展,保障农产品安全提供思路。

收稿日期:2019-05-20;修回日期:2019-06-26

基金项目:中化地质矿山总局“土地质量调查与污染防治团队建设计划”、浙江省临安区土地质量地质调查项目

作者简介:刘道荣(1982-),男,工程硕士,高级工程师,从事矿产地质、农业地质调查工作。Email:liudaorong0@163.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

杭州市临安区是我国山核桃的主要产区,山核桃主要分布在临安区西部的昌化、龙岗、岛石和太阳等乡镇。临安属季风型气候,光照充足,雨量充沛,山核桃林地多分布在海拔 50~1 200 m 的丘陵山地,土壤类型主要为油黄泥、黄红泥、钙质页岩土、黄泥土等。

1.2 样品采集与处理

选择山核桃种植密集的岛石镇、龙岗镇、昌化镇、太阳镇、清凉峰镇及湍口镇(图 1),于 2018 年 9 月采集了山核桃鲜果和对应的山核桃林土壤样品。

在选定的山核桃林中,按文献[5,7,12]山核桃林土壤采样方法,采集表层(0~20 cm)的土壤样品,每件土壤样由 5 个子样组合而成,子样点呈梅花形分布在中心点 20~50 m 范围内。共采集土壤样品 32 件,样品质量大于 2 kg,装入洁净布袋内。在野外驻地自然风干,挑拣出石子及植物根系,过 10 目筛,充分混匀,装袋(质量>300 g),送实验室检测。

在采集土壤样的范围内,选择长势较好、树龄>30 年的山核桃树,采集山核桃鲜果样品。共采集山核桃样品 32 件,样品鲜重大于 4 kg。在野外驻地晒干后,去皮,带壳干果外送分析。

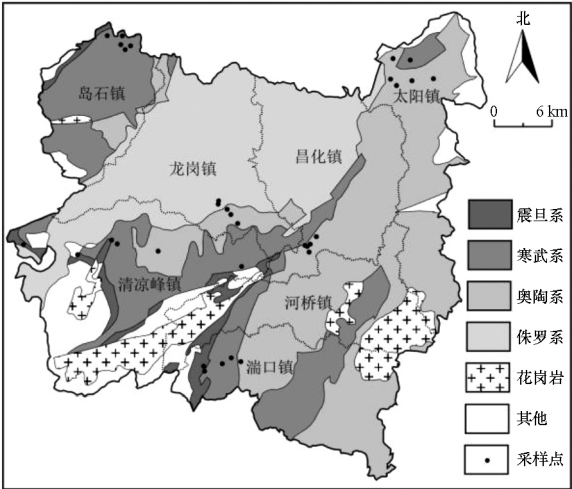


图 1 临安区地质背景及采样点分布

(据 1:10 万临安地质简图修编)^[11]

Fig.1 Geological background and sampling sites of Lin'an area (modified after Lin'an geology sketch map(1:100 000))

1.3 分析测试

土壤样品分析测试指标有 Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、Cd、Ge、As、Hg、Se、有机质、F、pH 等。测试时,插入标准样进行质量监控。经检查,所有元素报出率为 100%,监控样准确度和精密度合格率 100%,重复样合格率 100%,达到《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)^[13]的要求,数据可靠。分析方法及检出限见表 1。

表 1 土壤地球化学指标的分析方法与检出限

Table 1 Analytical method and detection limit of soil geochemical indicators

分析指标	分析方法	检出限	单位	分析指标	分析方法	检出限	单位
As	氢化物—原子荧光光谱法	0.2	10 ⁻⁶	Ni	X-射线荧光光谱法	1	10 ⁻⁶
Cd	等离子体质谱法	0.03	10 ⁻⁶	Pb	等离子体质谱法	2	10 ⁻⁶
Cr	X-射线荧光光谱法	2	10 ⁻⁶	Se	氢化物—原子荧光光谱法	0.01	10 ⁻⁶
Cu	等离子体质谱法	1	10 ⁻⁶	Zn	X-射线荧光光谱法	2	10 ⁻⁶
F	离子选择电极	100	10 ⁻⁶	有机质	电位法	0.1	%
Ge	氢化物—原子荧光光谱法	0.1	10 ⁻⁶	pH	玻璃电极法	0.1	
Hg	冷蒸汽—原子荧光光谱法	2	10 ⁻⁹				

山核桃样品采用不锈钢钳去壳,果仁经 50~60 ℃烘干。烘干后的果仁样品用不锈钢破碎机粉碎至小于 40 目,混匀,准确称取试样(0.2500 g),加 6 mL 浓硝酸,在控温电热板上 125 ℃消化致溶液清亮。再经过微波消解,按《生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)》(DD2005-03)^[14]测定果仁元素含量。采用标准物质和密码重复样监控分析质量,所有元素相对偏差均<20%,分析质量符合《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)^[13]农作物样品的分析质量要求。

土壤样品测试由华北有色地质勘查局燕郊中心实验室完成,山核桃果仁样品由湖北地质实验测试中心完成。

2 分析结果与讨论

2.1 表层土壤元素含量特征

表 2 为山核桃林表层土壤样品元素含量及理化指标统计特征值。研究区土壤 Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、Cd、As、Hg 等 8 种重金属元素含量均大于中国土壤

平均值^[15],其中 Cd 最显著,平均值达到 0.50×10^{-6} ,富集系数(q)为 5.62。同时,Cd 变异系数 $C_v > 100\%$,属于高度变异^[16],说明 Cd 存在局部富集现象,这与张红桔等^[5]的研究结果基本一致。

研究土壤中重金属含量的相关性可以推测重金属的来源是否相同,如果重金属含量有显著的相关性,说明其同源的可能性较大,否则来源可能不止一个^[18]。表 3 列出了研究区土壤重金属及土壤理化指标间的相关系数。土壤 Cu、Zn、Ni、Cr 等重金属元素间相关性极显著,而与 Pb、Cd 相关性不显著,表明 Cu、Zn、Ni、Cr 可能具有相同的来源。Pb 与 Cd 相关性显著,可能为另一来源。

土壤 pH 值与 Cd 存在极显著正相关关系($P < 0.01$),与 Zn、F 有显著正相关性($P < 0.05$),这是由于酸性条件下,Cd²⁺等离子活动性较强且易淋失,而土壤碱性越强 Cd 等元素越易保留在土壤中^[1]。土壤 pH 值与 Ge 则呈显著负相关($P < 0.05$),Ge 的地球化学性质与 Si 类似,具有亲石、亲铁、亲硫和亲有机质等多重地球化学性质,与 pH 值之间的关系相对比较复杂。大部分研究表明,Ge 与 pH 值相关性不显著,笔者在常山地区的研究结果也是这样^[19]。但临安山核桃根系土 Ge 与 pH 之间具有显著负相关关系,是否与山核桃多分布在石灰岩土中有关,还需要做进一步调查。

表 2 临安区山核桃林表层土壤元素含量统计参数($n=32$)
Table 2 Statistical parameters of element contents in surface soils of Lin'an area($n=32$)

指标	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Cd	As	Hg	Se	Ge	有机质	F	pH
最大值	59.4	84.7	151	62.8	108	3.60	181	215	1.82	2.44	7.83	1963	7.38
最小值	11.3	13.0	54.2	9.66	26.8	0.10	3.43	36.0	0.26	0.30	1.41	409	5.06
平均值	35.5	35.9	103	38.9	79.1	0.53	25.1	97.4	0.61	1.62	3.43	865	5.83
标准离差	12.56	13.04	22.46	12.52	22.28	0.65	34.14	40.57	0.33	0.40	1.21	405.62	
变异系数 $C_v/\%$	35.34	36.33	21.81	32.21	28.15	122.33	136.18	41.63	53.94	24.86	35.17	46.88	
中国土壤平均值	22.6	26.0	74.2	26.9	61.0	0.097	11.20	65	0.29	1.70		478	
富集系数 q	1.70	1.39	1.40	1.43	1.45	5.62	2.48	1.88	3.02	0.97		1.80	
风险筛选值	150	90	200	70	150	0.3	40	1800					

注:有机质含量单位为%,pH 为无量纲,Hg 含量单位为 10^{-9} ,其余为 10^{-6} ;中国土壤平均值据文献[15]; q =研究区平均值/中国土壤平均值;风险筛选值为文献[17]中, $5.5 < \text{pH} \leq 6.5$ 非水田条件下的风险筛选值; n 为样品数。

表 3 土壤重金属与理化指标间的相关系数($n=32$)
Table 3 Correlation coefficient between heavy metals and physico-chemical properties in soil($n=32$)

指标	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Cd	As	Hg	Se	Ge	有机质	F	pH
Cu	1												
Pb	-0.039	1											
Zn	0.656 **	0.290	1										
Ni	0.876 **	-0.096	0.679 **	1									
Cr	0.669 **	-0.222	0.446 **	0.818 **	1								
Cd	0.058	0.713 **	0.431 *	-0.011	-0.344	1							
As	0.209	0.128	0.006	0.078	0.084	0.008	1						
Hg	0.044	0.024	-0.140	-0.227	-0.243	-0.125	0.131	1					
Se	0.361 *	0.137	0.458 **	0.364 *	0.128	0.267	0.110	0.016	1				
Ge	0.343	-0.325	-0.034	0.221	0.524 **	-0.600 **	0.033	0.085	-0.252	1			
有机质	0.058	-0.062	-0.201	-0.004	0.024	-0.009	0.007	0.173	0.178	-0.130	1		
F	0.704 **	0.125	0.539 **	0.502 **	0.397 *	0.234	0.087	-0.011	0.124	0.348 *	0.004	1	
pH	0.061	0.290	0.352 *	0.006	-0.112	0.553 **	-0.080	-0.222	-0.087	-0.412 *	0.185	0.389 *	1

注:“ ** ”、“ * ”分别表示在置信度为 99%和 95%时显著相关

2.2 土壤元素含量与地质背景关系

据调查^[9],山核桃林主要分布在该区震旦系、寒武系、奥陶系和侏罗系地层区,其他地层区山核桃林分布较少。野外调查表明,山核桃林的成土母岩主要为震旦系白云质灰岩、硅质岩,寒武系泥灰岩、炭质页岩,奥陶系陆源碎屑岩和侏罗系火山碎屑岩、陆相中酸性火山岩。由表 4 可知,侏罗系火山碎屑

岩、火山岩形成的土壤除 Hg 含量较高外,其他组分含量均较低;震旦系白云质灰岩、硅质岩形成的土壤具有较高的 Pb、Cd 及有机质;寒武系泥灰岩、炭质页岩形成的土壤 Cu、Zn、Ni、As、Se、F 明显高于其他地层区土壤,且 Cr、Cd 含量也较高,这与寒武系黑色岩系关系密切^[20]。奥陶系陆源碎屑岩形成的土壤 Cr 含量最高,Ni、Hg 略高于平均值。不同母岩形

表 4 各地质背景区表层土壤元素含量平均值

Table 4 Average concentrations of elements in surface soils of study area with different geological settings														
地层	样品数	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Cd	As	Hg	Se	Ge	有机质	F	pH
侏罗系	2	12.7	30.4	61.3	11.2	29.9	0.17	5.88	117	0.29	1.51	2.79	500	5.46
震旦系	4	26.2	48.1	106	26.1	47.2	1.45	15.8	109	0.62	1.13	4.36	785	6.70
寒武系	11	45.9	34.5	116	47.4	87.1	0.64	34.3	87.8	0.81	1.69	3.32	1085	5.76
奥陶系	15	33.5	34.3	98.4	39.8	88.4	0.24	23.3	98.8	0.49	1.72	3.36	775	5.71
平均值	32	35.5	35.9	103	38.9	79.1	0.53	25.1	97.4	0.61	1.62	3.43	865	5.83

注:含量单位同表 1。

成的土壤,元素含量差异较大,地质背景是制约土壤元素组成的重要因素^[1]。

2.3 土壤重金属污染评价

单因子污染指数计算公式为

$$P_i = C_i / S_i,$$

式中: P_i 为污染物 i 的污染指数; C_i 为污染物 i 的实测值; S_i 为污染物 i 的评价标准。当 $P_i \leq 1$,表示土壤未受污染; $P_i > 1$,表示土壤已受到污染,且 P_i 值越大污染越严重。

内梅罗综合污染指数反映了各污染物的作用,突出高浓度污染物对环境质量的影响,其计算公式为

$$P_{\text{综}} = \sqrt{(P_{\text{imax}}^2 + P_{\text{iave}}^2) / 2},$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为样点 i 的内梅罗综合污染指数值, P_{imax} 和 P_{iave} 分别为样点 i 所有元素单因子污染指数中的最大值和平均值。内梅罗污染指数可分为 5 级, $P_{\text{综}} \leq 0.7$ 时表示土壤仍清洁; $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$ 表示土壤尚清洁(警戒限), $1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$ 表示土壤轻度污染,

$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$ 表示土壤中度污染, $P_{\text{综}} > 3.0$ 表示土壤受到重污染。

《食用林产品产地环境通用要求》(LY/T1678-2014)^[21]已于 2018 年 9 月废止,目前尚无新的林地土壤重金属限量标准。张红桔等^[5]采用了浙江省土壤背景值和《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)^[22]二级标准中 pH<6.5 的含量限值作评价标准,结果显示以浙江省土壤背景值为标准时,超标率及污染程度明显偏大。由于研究区土壤 pH 平均值为 5.83,因此采用《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)^[17]中, $5.5 < \text{pH} \leq 6.5$ 非水田条件下的风险筛选值。

土壤重金属单因子污染指数评价结果列于表 5,Cd、As 超标率分别达 50%和 12.5%,其余 6 种重金属皆不超标。研究区土壤重金属综合评价结果(表 6)显示,区内清洁、尚清洁土壤占 56.2%,轻度以上污染土壤占 43.8%。土壤重金属污染主要为 Cd、As,且以 Cd 为主。

表 5 土壤重金属单因子污染指数评价结果

Table 5 Evaluated results of single factor pollution index for soil heavy metals								
参数	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Cd	As	Hg
平均值	0.24	0.40	0.51	0.56	0.53	1.76	0.63	0.05
最大值	0.40	0.94	0.76	0.90	0.72	12.00	4.53	0.12
最小值	0.08	0.14	0.27	0.14	0.18	0.34	0.09	0.02
超标率/%	0	0	0	0	0	50	12.5	0

表 6 临安区土壤重金属综合评价结果

Table 6 Overall evaluation results of soil heavy metals in study area					
评价标准	清洁	尚清洁	轻度污染	中度污染	重度污染
	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	$P_{\text{综}} > 3.0$
风险筛选值/%	46.88	9.38	25.0	9.38	9.38

2.4 山核桃果仁微量元素含量特征

32 件山核桃果仁样品微量元素含量最大值、最小值、平均值等特征参数列于表 7。本次调查样品中 Cu、Ni、Cr、Cd、Hg 含量平均值分别与钱新标等^[10]测试结果基本接近。所有样品 As 含量均低于检出限($<0.04 \times 10^{-6}$)。除 2 件样品 Pb 含量为 $0.13 \times$

10^{-6} 、 0.11×10^{-6} 外,其余样品 Pb 含量均小于 0.05×10^{-6} 。Cd 含量最大值为 0.082×10^{-6} ,Pb 含量最大值为 0.13×10^{-6} ,分别为《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762-2017)^[23]坚果及籽实类限量值的 16.32%和 65%,生态风险小。

仅 3 件样品检测出 Se,含量为 $0.007 \times 10^{-6} \sim$

0.009×10⁻⁶,其中 2 件样品分布于寒武系地层区,1 件样品分布于奥陶系地层区,这与某些灰岩风化后形成的土壤更易富集硒有关^[10]。

Zn 是人体必需的微量元素,中国营养学会^[24]推荐成人 Zn 日摄入量为 7.5 mg(女)/12.5 mg(男)。我国居民从膳食中摄入的 Zn 约 60%来自粮食,40%

来自蔬菜、水果、肉等其他食品,但粳米、面粉及蔬菜、水果中 Zn 含量较低(0.50×10⁻⁶~1.64×10⁻⁶)^[25]。临安山核桃果仁中 Zn 含量高达 49.96×10⁻⁶~82.71×10⁻⁶,平均值为 64.01×10⁻⁶,高于一般坚果类食品^[26-27],具备开发富锌保健食品的潜力^[12]。

表 7 山核桃果仁微量元素含量统计参数
Table 7 Contents of trace elements in Carya cathayensis kernels

参数	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Cd	Ge	As	Hg	Se
最大值	20.24	0.13	82.71	27.03	0.56	0.082	2.15	<0.04	2.92	0.009
最小值	7.65	<0.05	49.96	0.59	0.46	0.011	<1.00		0.76	<0.005
平均值	14.87		63.91	11.14	0.53	0.044			1.88	
标准离差	3.00		7.73	6.59	0.02	19.10			0.63	
变异系数/%	20.17		12.10	59.11	4.45	43.50			33.26	
标准值		0.2				0.5				

注: Ge、Hg 含量单位为 10⁻⁹,其余元素为 10⁻⁶;标准值为文献[23]中坚果及籽类的限量值。

2.5 土壤—山核桃果仁间元素含量关系

元素生物富集系数(bioconcentration factor, BCF)是某元素在生物体内的含量与该元素在环境(以土壤为主)中含量的比值^[28]。山核桃果仁的元素生物富集系数就是果仁中的元素含量同对应耕作层土壤中该元素含量的比值,表示为:BCF=果仁中的元素含量/土壤中的元素含量。由于果仁样品中 Se、As、Ge、Pb 含量较低,大部分样品低于检出限,故未计算其生物富集系数。Cu 等 6 种重金属元素生物富集系数列于表 8,Zn、Cu 生物富集系数平均值

较大,分别为 0.663 和 0.487;其次为 Ni;Cr、Cd、Hg 生物富集系数较小,为 0.008~0.163。果仁中不同的 BCF 代表山核桃对不同重金属元素吸收能力差异^[6],山核桃对 Zn、Cu 的吸收能力远大于 Cd、Cr、Hg。

此外,通过对比土壤及山核桃果仁 Zn 含量可知(图 2),随着土壤 Zn 含量增高,山核桃果仁中 Zn 含量呈显著降低($P>0.05$)。这可能是由于土壤 Zn 含量与 pH 呈正相关关系($P>0.05$),pH 值较高土壤中 Zn 含量虽较高,但其有效性却显著降低。

表 8 山核桃果仁部分重金属元素生物富集系数
Table 8 The BCFs of some heavy metals in Carya cathayensis kernels

参数	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd	Hg
平均值	0.487	0.663	0.303	0.008	0.163	0.022
最大值	1.363	1.526	0.675	0.020	0.435	0.037
最小值	0.182	0.419	0.029	0.005	0.004	0.005

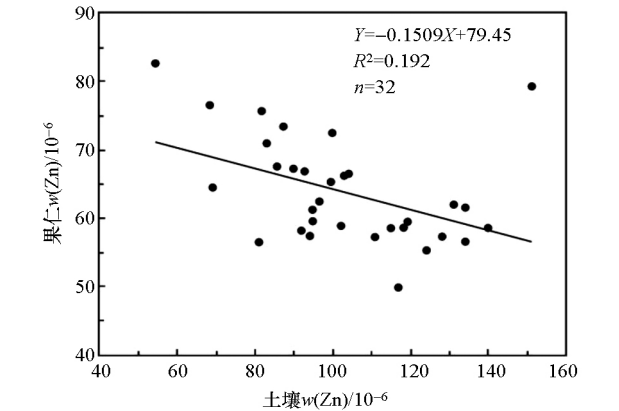


图 2 山核桃果仁与土壤 Zn 含量关系

Fig.2 Relationship between the contents of Zinc in Carya cathayensi kernels and soil

3 结论

通过对临安山核桃林地土壤和山核桃果实的采样分析,取得以下主要认识:

1) 临安山核桃林地土壤 Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、Cd、As、Hg、Se 等元素平均含量均大于中国土壤平均值,尤其 Cd 为中国土壤平均值的 5.6 倍。Cu、Zn、Ni、Cr 可能具有相同的来源,Pb 与 Cd 可能为另一来源。地质背景—成土母岩控制着土壤微量元素的分布。

2) 以土壤环境质量风险筛选值为标准,评价表明研究区局部土壤 Cd、As 已达到污染程度,其他重金属元素生态风险小。

3) 山核桃果仁 Cu、Ni、Cr、Cd、Hg、Pb、As 等重金属含量较低。按照《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762-2017),果仁样品未出现重金属元素超标现象,生态风险小。Zn 含量较高,具备开发富锌保健食品的潜力。

4) 山核桃对 Zn、Cu 的吸收能力远大于 Cd、Cr、Hg。

致谢:中化地质矿山总局浙江地质勘查院王美华高级工程师参加了野外调查工作,审稿专家在本文修改过程中提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

参考文献 (References):

[1] 周国华,曾道明,贺灵,等.福建铁观音茶园生态地球化学特征[J].中国地质, 2015, 42(6): 2008-2018.

Zhou G H, Zeng D M, He L, et al. Eco-geochemical characteristics of the Tieguanyin tea gardens in Fujian Province[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 2008-2018.

[2] 宋明义,岑静,胡艳华,等.高镉地质环境富硒土壤特征及其生态效应[J].地球与环境,2012, 40(3): 354-360.

Song M Y, Cen J, Hu Y H, et al. Study on the characteristics of selenium-rich soil under geological environment with high contents of cadmium and its ecological effects[J]. Earth and environment, 2012, 40(3): 354-360.

[3] 王文俊.福建省寿宁县 1:25 万土地质量地球化学评估[J].中国地质,2015, 42(6):2008-2018..

Wang W J. 1:250000 land quality geochemical assessment of Shouning County, Fujian Province[J]. Geology in China, 2015, 42(6):2008-2018.

[4] 贾中民,冯汉茹,鲍雨然,等.渝西北土壤重金属分布特征及其风险评价[J].西南大学学报:自然科学版,2014, 41(2): 665-674.

Jia Zh M, Feng H R, Bao L R, et al. Distribution characteristics and risk assessment of soil heavy metals in Northwest Chongqing [J]. Journal of Southwest University: Natural science edition 2014, 41(2): 665-674.

[5] 张红桔,赵科理,叶正钱,等.典型山核桃产区土壤重金属空间异质性及其风险评价[J].环境科学,2018,39(6):2893-2903.

Zhang H J, Zhao K L, Ye Zh Q, et al. Spatial variation of heavy metals in soils and its ecological risk evaluation in a typical Carya cathayensis production area[J]. Environmental science, 2018, 39(6):2893-2903.

[6] Han Y X, Ni Zh L, Li Sh L, et al. Distribution, relationship, and risk assessment of toxic heavy metals in walnuts and growth soil [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25: 17434-17443.

[7] 郭奇峰,章秀梅,阮弋飞,等.临安市山核桃林地土壤肥力特征及其施肥对策[J].浙江农业科学,2017,58(7):1132-1135.

Wu Q F, Zhang X M, Ruan Y F, et al. Soil fertility characteristics and fertilization strategy of Carya cathayensis forest land in Lin'an City[J]. Zhejiang agricultural science, 2017, 58(7):1132-1135.

[8] 吕惠进.浙江临安山核桃立地环境研究[J].森林工程,2005,21

(1):1-4.

Lyu H J. The natural stands conditions of Carya Cathayensis Sarg. in Lin'an County of Zhejiang province [J]. Forest engineering, 2005, 21(1):1-4.

[9] 董建华,赵伟明,周建金,等.临安区山核桃林不同地质背景下的土壤肥力特性研究[J].浙江林业科技, 2018, 38(2): 14-20.

Dong J H, Zhao W M, Zhou J J, et al. Soil fertility of Carya cathayensis plantations on different geological strata [J]. Journal of Zhejiang forest science and technology, 2018, 38(2): 14-20.

[10] 钱新标,徐温新,张圆圆,等.山核桃果仁微量元素分析初报[J].浙江林学院学报,2009,26(4):511-515.

Qian X B, Xu W X, Zhang Y Y, et al. Trace elements in kernels of Chinese hickory (Carya cathayensis) grown in limestone and non-limestone soils [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(4):511-515.

[11] 汤江伟,杜江浩,侯嘉莉,等.临安市矿产资源规划报告(2016~2020)[R].临安市国土资源局,2016.

Tang J W, Du J H, Hou J L, et al. Mineral resources planning report of Lin'an City [R]. Bureau of land and resources of Lin'an City, 2016.

[12] 宋明义,陈文光,斯小君,等.安吉县山核桃立地环境条件分析[J].浙江林业科技,2008,28(6):11-15.

Song M Y, Chen W G, Si X J, et al. Study on site conditions of Carya cathayensis stand in Anji County [J]. Journal of Zhejiang forest science and technology, 2008, 28(6):11-15.

[13] DZ/T 0295-2016 土地质量地球化学评价规范[S].中华人民共和国国土资源部.

DZ/T 0295-2016 Specification of land quality geochemical assessment[S]. Ministry of land and resources of the People's Republic of China.

[14] DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)[S].中国地质调查局.

DD2005-03 Requirements for sample analysis techniques for eco-geochemical assessment (Trial Implementation) [S]. China geological survey.

[15] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等.中国土壤环境背景值研究[J].环境科学, 1991,12(4):12-19.

Wei F S, Chen J Sh, Wu Y Y, et al. Study on the background contents on elements of soils in China [J]. Chinese journal of environmental science, 1991, 12(4):12-19.

[16] Zhang X Y, Sui Y Y, Zhang X D, et al. Spatial variability of nutrient properties in black soil of Northeast China [J]. Pedosphere, 2007, 17(1):19-29.

[17] GB15618-2018 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)[S].中华人民共和国生态环境部.

GB15618-2018 Soil environmental quality risk control standard for soil contamination of agricultural land (Trial Implementation) [S]. Ministry of ecological and environment of the People's Republic of China.

[18] 朱建军,崔保山,杨志峰,等.纵向岭谷区公路沿线土壤表层重金属空间分异特征[J].生态学报,2006,26(1):146-153.

Zhu J J, Cui B Sh, Yang Zh F, et al. Spatial distribution and varia-

bility of heavy metals contents in the topsoil along roadside in the longitudinal Rang-Gorge Region in Yunnan Province[J].Acta ecologica sinica, 2006,26(1):146-153.

[19] 刘道荣,徐虹,周漪,等. 浙西常山地区富硒土壤特征及成因分析[J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 658-666.

Liu D R,Xu H,Zhou Y,et al. Characteristics and genetic analysis of selenium-rich soil in Changshan County, western Zhejiang Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43 (3): 658-666.

[20] 宋明义.浙西地区下寒武统黑色岩系中硒与重金属的表生地球化学及环境效应[D].合肥:合肥工业大学,2009.

Song M Y. Supergenic geochemistry and environmental effects of selenium and heavy metals in the lower Cambrian black series of western Zhejiang province, China[D].Hefei: Hefei university of technology,2009.

[21] LY/T 1678-2014 食用林产品产地环境通用要求[S].中华人民共和国林业部.

LY/T 1678-2014 Environmental general requirements for production area of edible forest product[S]. Ministry of forestry of the People's Republic of China.

[22] GB15618-1995 土壤环境质量标准[S].国家环境保护局.

GB15618-1995 Environmental quality standard for soils[S]. Environmental Protection Agency.

[23] GB 2762-2017 食品安全国家标准食品中污染物限量[S].中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.

GB 2762-2017 National food safety standard contaminant limit in food [S]. State health and family planning commission of the People's Republic of China.

[24] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 版) [M].北京:科学出版社,2014,165-416.

Chinese society of nutrition. Reference intake of dietary nutrients for Chinese residents (2013 edition) [M]. Beijing: Science Press, 2014,165-416.

[25] 宁运旺,张永春,汪吉东,等.土壤—植物—人类系统中锌与富锌农产品的开发[J].江苏农业科学,2009,37(3):1-4.

Ning Y W,Zhang Y Ch,Wang J D,et al.Research of zinc in soil-plant-human system and development of zinc enrichment agricultural products[J].Jiangsu agricultural sciences, 2009,37(3):1-4.

[26] 虎海防,郑伟华,张强,等.新疆6个核桃品种种仁主要营养成分比较分析[J].新疆农业科学,2010,47(6):1122-1125.

Hu H F,Zheng W H,Zhang Q,et al.Comparative analysis on main nutrient components in the Kernel of six Walnut varieties in Xinjiang [J].Xingjiang agricultural sciences, 2010,47(6):1122-1125.

[27] 杨为海,张明楷,明宏,等.澳洲坚果不同种质果仁矿质元素含量分析[J].中国粮油学报,2016,31(12):158-162.

Yang W H,Zhang M K,Ming H,et al.Analysis of mineral elements contents in various Germplasms Kernel of Macadamia[J]. Journal of the Chinese cereals and oils association,2016,31(12):158-162.

[28] 方如康.环境学词典[M].北京:科学出版社,2003,127-128.

Fang R K. Dictionary of environmental sciences [M]. Beijing: Science Press, 2003,127-128.

Ecological risk evaluation of heavy metals in soils of
Carya cathayensis plantations, Lin'an

LIU Dao-Rong, ZHENG Ji-Zi, ZHAN Xuan, WU Wen-Dan
(Zhejiang Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Hangzhou 310002, Chinaa)

Abstract: Through investigation and sampling Carya cathayensis kernels and soil of plantations, the heavy metals, Se, organic matter and other indicators in soil were analyzed, and the pollution degrees of heavy metals in soil were evaluated with risk screening values as the criteria. The content of heavy metals, Se, Ge and other trace components in kernels was analyzed, and the relationship between soil and kernels was discussed. The results show that the average values of Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Cd, As, Hg and Se in the soil of Carya cathayensis plantations are higher than those of the average soil of China, especially Cd is 5.6 times that of the average soil of China. Local soil Cd and As in the study area have reached the pollution level while the ecological risk of other heavy metals is slight. Carya cathayensis kernels have low Cd, Hg, Pb, As and other heavy metals content, no excessive heavy metal elements, low ecological risk, and high zinc content, with the potential to develop zinc-rich health food. Carya cathayensis has a significant difference in the absorption capacity of different heavy metals. The absorption capacity of zinc and copper is much greater than that of Cd, Cr and Hg.

Key words: soil; heavy metals; ecological risk; Carya cathayensis; Lin'an

(本文编辑:蒋实)