

三峡库区柑橘园土壤重金属行为特征研究*

黄 昀 周优良

(重庆市农产品质量安全中心 重庆 400020)

李道高 王三根 谢金峰

(西南农业大学 北碚 400716) (重庆大学 重庆 400030)

摘 要 试验研究三峡库区奉节县、忠县、长寿湖和江津市柑橘园土壤重金属行为特征结果表明,0~30cm 土层土壤全 Cd、有效镉含量显著高于 30~60cm 土层,说明三峡库区柑橘园土壤已受到 Cd 污染;三峡库区柑橘园土壤重金属源于成土母岩,柑橘园黄壤全 Cu、全 Cr、全 Zn 和全 As 含量显著高于紫色土,而有效锌、有效镉、有效铜和有效铅含量显著低于紫色土。柑橘园紫色土中有效镉占全量百分比达 30.39%,黄壤中有效镉占全量百分比仅为 2.30%。

关键词 三峡库区 柑橘园 土壤 重金属行为特征

Study on heavy metal behavior characteristics of soil in citrus orchards of the Three Gorges Reservoir Region. HUANG Yun, ZHOU You-Liang (Chongqing Agri-Food Quality and Safety Center, Chongqing 400020, China), LI Dao-Gao, WANG San-Gen (Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China), XIE Jin-Feng (Chongqing University, Chongqing 400030, China), *CJEA*, 2005, 13(3): 45~47

Abstract The heavy metal behavior characteristics of soil in citrus orchards in Fengjie County, Zhong County, Changshou Lake, Jiangjin City of the Three Gorges Reservoir Region were studied. The results show that the content of Cd in 0~30cm soil is obviously more than that in 30~60cm soil. It proves that the soil has been polluted by Cd. The heavy metal of the citrus soil in the Three Gorges Reservoir Region comes from the rock. The total content of Cu, Cr, Zn, and As in the yellow soil is much more than that in the purple soil in the citrus orchard, while the available content of Zn, Cd, Cu, and Pb in the yellow soil is much smaller than that in the purple soil in the citrus orchards. The proportion of available content to total content of Cd in the purple soil in the citrus orchards is 30.39%, while that in the yellow soil is 2.30%.

Key words The Three Gorges Reservoir Region, Citrus orchards, Soil, Heavy metal behavior characteristic
(Received June 30, 2004; revised July 31, 2004)

1 试验材料与方法

试验在三峡库区奉节县、忠县、长寿湖和江津市 4 个柑橘主产地(海拔高度 200~600m 间)进行,按蛇形法共布设 19 个土壤采样点,用竹削刀分层采样,每采样点采集混合土样约 1kg(由 5 个分样组成),共采集 0~30cm 和 30~60cm 土层土壤混合样各 19 个(除奉节县 6 个黄壤采样点外,其余采样点该层均为紫色砂页岩)。用塑料袋包装土样,去掉其砾石、植物残体及其他杂物,经自然风干、木棒压磨,全部过 2mm 筛并取 100g 均匀土样,用玛瑙乳钵研磨、过 100 目筛并混合均匀,装磨口玻璃瓶备测。分析土壤样品 pH 值,以原子吸收分光光度法测定土壤 Pb、Cd、Cu、Ni 和 Zn 含量,用原子荧光分光光度法测定土壤 Hg 和 As 含量,用二苯碳酰二肼分光光度法测定土壤 Cr 含量,以 0.1mol/L 盐酸浸提法^[1]提取后用日立 Z-5000 型原子吸收分光光度计测定土壤有效铜、有效锌、有效铅和有效镉含量。

2 结果与分析

表 1 和表 2 表明,不同土层土壤 pH 和重金属含量及不同土壤类型土壤重金属含量均有一定差异。表 3 表明柑橘园同层土壤有效铜、有效锌、有效铅和有效镉含量 0~30cm 和 30~60cm 土层均显著相关,说明柑橘园土壤中有有效铜、有效锌、有效铅和有效镉的解吸机理相同,环境因素对其影响完全一致。有效铜、有效锌、有效铅和有效镉含量相关性 30~60cm 土层强于 0~30cm 土层,说明 0~30cm 土层受环境影响的程度大于 30~60cm 土层。柑橘园不同土层土壤重金属元素相关性分析结果表明,30~60cm 土层与 0~30cm

* 重庆市科学技术委员会项目资助

收稿日期:2004-06-30 改回日期:2004-07-31

表 1 柑橘园不同土层土壤重金属含量变化比较

Tab.1 The heavy metal content of different soil depths in citrus orchards

项目 Items	土层/cm Soil depths	最小值/mg·kg ⁻¹ Minimum	最大值/mg·kg ⁻¹ Maximum	平均值/mg·kg ⁻¹ Average	标准差 Standard difference	变异系数/% Variance coefficient
pH	0~30	5.440	6.290	5.830	0.240	4.117
	30~60	5.680	6.410	6.050	0.230	3.802
Cu	0~30	13.000	31.050	21.090	5.762	27.320
	30~60	13.000	31.050	21.970	6.081	27.680
有效铜	0~30	0.220	1.335	0.514	0.933	181.500
	30~60	0.065	1.545	0.504	0.401	79.560
Zn	0~30	50.400	91.000	71.480	9.951	13.920
	30~60	48.500	116.800	74.870	17.320	23.130
有效锌	0~30	0.000	8.375	1.776	2.460	138.500
	30~60	0.000	6.200	1.811	2.191	121.000
Pb	0~30	15.640	24.450	19.960	2.131	10.680
	30~60	13.850	32.500	19.970	3.780	18.930
有效铅	0~30	0.000	2.120	0.211	0.531	251.700
	30~60	0.000	2.030	0.267	0.560	209.700
Cd	0~30	0.150	0.300	0.227	0.041	18.060
	30~60	0.150	0.250	0.188	0.030	15.960
有效镉	0~30	0.005	0.170	0.053	0.061	115.100
	30~60	0.005	0.115	0.036	0.042	116.700
Ni	0~30	27.750	39.060	34.000	2.990	8.7944
	30~60	25.550	38.900	34.810	3.734	10.730
Hg	0~30	0.010	0.110	0.040	0.031	77.500
	30~60	0.005	0.078	0.030	0.022	73.330
As	0~30	4.460	13.110	8.580	2.631	30.660
	30~60	4.961	12.770	8.961	2.654	29.620
Cr	0~30	46.400	79.720	62.430	8.752	14.020
	30~60	46.460	78.080	64.980	9.391	14.450

土层土壤重金属 Cu、有效铜、Zn、有效锌、Pb、有效铅、Cd、有效镉、Ni、Hg、As 和 Cr 的相关系数分别为 0.883**、0.689**、0.752**、0.882**、0.225、0.725**、0.247、0.970**、0.782**、0.802**、0.917** 和 0.660**，其中除 Pb 和 Cd 无显著相关性外，其余元素在 2 层土壤间均极显著性相关(相关水平达 0.01)，体现了土壤化学成分与成土母岩间化学成分的继承性。经成对样品 *t* 检验(查 *t* 表自由度 = 18, $t_{0.05} = 2.10$, $t_{0.01} = 2.88$ ，实际 $t_{pH值} = -6.95$, $t_{全Cu} = -1.33$, $t_{有效铜} = -1.60$, $t_{全Zn} = -1.25$, $t_{有效锌} = -0.13$, $t_{全Pb} = -0.007$, $t_{有效铅} = -0.60$, $t_{全Cd} = 3.84$, $t_{有效镉} = 3.06$, $t_{全Ni} = -1.52$, $t_{全Hg} = 2.05$, $t_{全As} = -1.56$, $t_{全Cr} = -1.48$)可知，pH 值、全 Cd 和有效镉实际 $|t| > 2.88$ 即 $t_{0.01(18)}$ ，pH 值、全 Cd 和有效镉浓度 0~30cm 和 30~60cm 土层差

异极显著。0~30cm 土层土壤 pH 值明显低于 30~60cm 土层，这与酸雨沉降、土壤淋溶及柑橘根系分泌有机酸有关。0~30cm 土层土壤全 Cd 和有效镉极显著高于 30~60cm 土层，据丁中元^[2]、郑泽群等^[3]、张学询等^[4]及 Hassanin^[6]对污灌区土壤研究结果(金属污染物主要累积在 0~30cm 土壤耕作层)判定，三峡库区柑橘园 0~30cm 土层土壤已受 Cd 污染。全 Cu、有效铜、全 Zn、有效锌、全 Pb、有效铅、全 Ni、全 As、全 Hg 和全 Cr 的实际 $|t| < 2.10$ 即 $t_{0.05(18)}$ ，其浓度 0~30cm 和 30~60cm 土层差异不显著，说明三峡库区柑橘园土壤基本未受 Cu、Zn、Pb、Ni、As、Hg 和 Cr 污染。对三峡库区柑橘园 0~30cm 和 30~60cm 土层土壤 Cu、Zn、Pb、Cd、Ni、As、Hg 和 Cr 含量进行多元方差分析，得 Wilks' Λ 为 0.672295，自由度为 (12, 36, 1)，卡方值为 11.912，概率为 0.45279，表明三峡库区柑橘园不同

表 2 柑橘园不同类型土壤重金属含量变化比较*

Tab.2 The heavy metal content of different soil types in citrus orchards

土壤类型 Soil types	项目 Items	最小值/mg·kg ⁻¹ Minimum	最大值/mg·kg ⁻¹ Maximum	平均值/mg·kg ⁻¹ Average	标准差 Standard difference	变异系数/% Variance coefficient
黄壤	pH	5.620	6.410	6.100	0.260	4.262
	Cu	20.850	31.050	28.310	2.781	9.823
	有效铜	0.290	0.380	0.320	0.028	8.750
	Zn	59.350	103.800	76.050	13.390	17.610
	有效锌	0.300	0.680	0.442	0.102	23.080
	Pb	16.850	21.650	19.850	1.452	7.315
	有效铅	0.000	0.000	0.000	0.000	-
	Cd	0.150	0.250	0.217	0.033	15.210
	有效镉	0.005	0.010	0.005	0.001	20.000
	Ni	25.550	38.710	33.630	3.853	11.460
	Hg	0.025	0.064	0.037	0.010	27.030
	As	5.881	13.110	10.240	2.402	23.460
	Cr	59.380	79.720	70.480	7.051	10.000
	紫色土	pH	5.440	6.200	5.860	0.220
Cu		13.000	31.050	18.400	3.893	21.160
有效铜		0.065	1.545	0.614	0.854	139.100
Zn		48.500	116.800	71.850	14.380	20.010
有效锌		0.000	8.375	2.417	2.555	105.700
Pb		13.850	32.500	20.020	3.552	17.740
有效铅		0.350	2.120	0.349	0.627	179.700
Cd		0.150	0.300	0.204	0.041	20.100
有效镉		0.014	0.170	0.062	0.050	80.650
Ni		29.350	39.060	34.770	3.123	8.982
Hg		0.005	0.110	0.034	0.029	85.290
As		4.462	12.770	8.092	2.452	30.300
Cr		46.460	76.880	60.580	8.181	13.500

* 黄壤为 12 个样本，紫色土为 26 个样本。

土层土壤重金属含量无显著性差异，柑橘园土壤中的重金属源于成土母岩。柑橘园土壤重金属有效态含量与全量比率研究表明，0~30cm 土层土壤有效铜/全 Cu、有效锌/全 Zn、有效铅/全 Pb 和有效镉/全 Cd 分别为 2.44%、2.48%、1.67% 和 23.12%，30~60cm 土层土壤分别为 2.29%、2.42%、1.58% 和 19.17%，0~30cm 土层土壤重金属有效态含量高于 30~60cm 土层，其原因是土壤表层 pH 值均低于下层，土壤酸性较

强,有利于土壤中重金属的解吸。柑橘根系主要分布在 0~40cm 土层,根系分泌的有机酸也有利于表层土壤重金属的解吸。柑橘园土壤有效镉与全 Cd 比率极高,2 土层平均值为 21.15%,表明柑橘园土壤中 Cd 元素易被植物吸收富集,并通过植物进入食物链,应严格控制外源 Cd 向土壤-柑橘生态系统的输入。柑橘园土壤重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 有效态与全量含量 0~30cm 土层相关系数分别为 -0.364、-0.391、-0.065 和 0.192,而 30~60cm 土层相关系数分别为 -0.343、-0.427、0.350 和 -0.141。重金属元素有效态与全量含量呈负相关或不显著正相关,这与土壤重金属有效态与全量含量显著正相关不一致,其原因是自然状态下柑橘园土壤重金属的解吸受土壤元素全量、pH 值、土壤有机物与微生物、柑橘根系分泌物和气温等多种因素共同影响,而这些影响因素不同区县亦不完全相同。柑橘园土壤 pH 值与有效铜、有效锌、有效铅、有效镉含量的相关性 0~30cm 土层分别为 -0.325、-0.388、-0.236 和 -0.262,30~60cm 土层分别为 -0.461*、-0.630**、-0.299 和 -0.451。相关分析表明柑橘园土壤 pH 值与有效铜、有效锌、有效铅和有效镉含量 0~30cm 和 30~60cm 土层均呈负相关或显著负相关,即 pH 值越低,有效铜、有效锌、有效铅和有效镉含量则越高,表明复杂的土壤-柑橘或土壤-微生物系统中低 pH 值有利于土壤中重金属的解吸。

表 4 柑橘园紫色土与黄壤重金属含量 t 检验*

Tab.4 t-test for heavy metal between citrus purple soil and yellow soil in citrus orchards

项目 Items	t 值 t value	概率 Probability	项目 Items	t 值 t value	概率 Probability
pH	2.930	0.006	全 Cd	0.904	0.372
全 Cu	7.916	0.000	有效镉	-3.941	0.000
有效铜	-1.430	0.161	全 Ni	-0.973	0.337
全 Zn	0.855	0.398	全 Hg	0.358	0.722
有效锌	-2.657	0.012	全 As	2.522	0.016
全 Pb	-0.154	0.878	全 Cr	3.614	0.001
有效铅	-1.914	0.064			

* 自由度为 36,置信度为 95%。

铅/全 Pb、有效镉/全 Cd 分别为 1.13%、0.58%、0.00% 和 2.30%,紫色土分别为 3.67%、3.36%、1.74% 和 30.39%,柑橘园紫色土中 Cu、Zn、Cd 有效态含量占全量的百分率分别比黄壤高 3.25 倍、5.79 倍和 13.21 倍,柑橘园紫色土有效镉占全量的百分比为黄壤的 13.21 倍,柑橘园黄壤有效铅含量也极低。适量 Zn 有利于柑橘生长和结果,应适量控制柑橘园黄壤有效锌含量,并严格控制外源 Cd 进入柑橘园紫色土。

3 小 结

三峡库区柑橘园土壤已受 Cd 污染,不同土层土壤重金属含量无显著性差异,表明库区柑橘园土壤中重金属源于成土母岩,且黄壤全 Cu、全 Cr、全 Zn 和全 As 含量显著高于紫色土,而有效锌、有效镉、有效铜和有效铅含量明显低于紫色土,说明柑橘园紫色土中重金属比黄壤中的重金属易转化为有效态。

参 考 文 献

- 1 皮广洁等. 农业环境监测原理与应用. 成都:成都科技大学出版社,1998.95~97
- 2 丁中元. 重金属在土壤-作物中分布规律研究. 环境科学,1989,10(5):78~80
- 3 郑泽群,边淑萍,郑建民等. 从西安的镉、铬污染农田论农业环境保护. 西北农学院学报,1984(4):82~91
- 4 张学询,吴燕玉等. 张士灌区镉、铅等重金属迁移分布规律及其治理途径. 环境科学,1982,3(6):51~55
- 5 夏增禄. 中国主要类型土壤若干重金属临界含量和环境容量区域分异的影响. 土壤学报,1994,31(2):161~169
- 6 Hassanin. Potential Pb, Cd, Zn and B contamination of sandy soils after different irrigation periods with sewage effluent. Water Air Soil Pollut., 1993, 66(3~4):239~249

表 3 柑橘园同层土壤有效态重金属元素间相关性

Tab.3 Relativity of the available content among heavy metal elements in the same flat soil in citrus orchards

项目 Items	土层/cm Soil depths	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn	有效铅 Available Pb	有效镉 Available Cd
有效铜	0~30	1.000			
	30~60	1.000			
有效锌	0~30	0.793**	1.000		
	30~60	0.854**	1.000		
有效铅	0~30	0.730**	0.555*	1.000	
	30~60	0.879**	0.746**	1.000	
有效镉	0~30	0.565*	0.817**	0.598**	1.000
	30~60	0.545*	0.825**	0.605**	1.000

* 相关水平为 0.05; ** 相关水平为 0.01。

表 4 表明, t 检验^[5] 柑橘园紫色土与黄壤 pH 值、全 Cu、有效锌、有效镉、全 As 和全 Cr 含量差异显著,有效铜、全 Zn、全 Pb、有效铅、全 Cd、全 Ni 和全 Cr 含量差异不显著。黄壤 pH 值、全 Cu、全 As 和全 Cr 含量显著高于紫色土,而有效锌、有效镉含量显著低于紫色土,有效铜和有效铅含量也明显低于紫色土,表明紫色土中重金属比黄壤中重金属易转化为有效态。且 Cu、Zn、Pb、Cd 有效态含量占全量的百分率黄壤有效铜/全 Cu、有效锌/全 Zn、有效