

福州城市边缘区果园土壤 Pb Cu 分布特征与潜在生态风险评价

马 军, 刘爱琴, 侯晓龙

(福建农林大学林学院, 福州 350002)

摘 要:采用现场采样及室内分析方法,从水平和垂直角度研究了福州城市边缘区果园土壤 Pb、Cu 全量及其 HCl、DTPA 两种浸提态含量分布特征,利用潜在生态风险指数法评价土壤 Pb、Cu 潜在生态风险。结果表明,福州城市边缘区果园土壤 Pb、Cu 存在一定程度的污染,且 Pb 污染比 Cu 严重,不同浸提态 Pb、Cu 含量与其全量呈正相关,与 pH 呈负相关;Pb、Cu 潜在生态风险处于轻微程度。

关键词:果园土壤;重金属;浸提态;潜在生态风险;福州城市边缘区

中图分类号:X820.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)02-0308-06

Pb,Cu Distribution Characteristics and Potential Ecological Risks Assessment in Orchard Soils in the Urban Fringe of Fuzhou, China

MA Jun, LIU Ai-Qin, HOU Xiao-long

(Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Field investigation and sampling, lab experiments were used to analysis the distribution of Pb, Cu total contents and concentration of HCl, DTPA, extravtion state in orchard soil of urban fringe in fuzhou. Potential ecological risk index method was used to evaluate soil pollution. The results showed that: Pollution characteristics of Pb, Cu in orchard soil in Fuzhou urban fringe was similar, which generally formed Pb, Cu composite pollution. Pb pollution was generally more serious than Cu pollution. Pb, Cu contents were significantly higher in soils surrounding highways and old industrial areas, and more easily absorbed by plants. Vertical distribution of Pb, Cu total contents and state extraction had certain differences due to sampling area and types of heavy metals. Correlation analysis showed that Pb, Cu and their extraction states had a total degeneration, and different extraction agents had strong consistency on the extraction of heavy metals; Soil pH value had no correlation with Pb, Cu contents, but had negative correlation with Pb, Cu extraction states. Evaluation showed that the potential ecological risks of Pb, Cu contents in 10 plots were in slight pollution.

Keywords: orchard soils; heavy metals; extraction states; potential ecological risks; urban fringe of Fuzhou

近年来,随着现代农业的发展,化肥和农药的广泛使用,污水灌溉、污泥充肥、生活垃圾和工矿企业废弃物的排放,果园土壤中 Cu、Pb 等重金属明显积累^[1]。Cu 在常量下对作物和人体有益,但过量则产生危害,Pb 是对作物和人畜有害的元素^[2],果园土壤重金属污染影响果树的生长发育,对人体健康造成危害。目前,国内

外对果园土壤重金属污染和评价研究时有报道^[2-9]。李仁英等^[2]对山东省主要果园土壤中 Cu、Zn 的形态、含量及分布特征进行了研究,发现果园土壤中 Cu、Zn 的全量高于一般粮田土壤,在不同土壤类型中形态分布各具特点。李文庆等^[9]对山东省栖霞市和泰安市郊区苹果园土壤中 Cu 的含量、形态及其与果树树体 Cu 含量的关系进行了研究,发现 Cu 及其各形态含量在果园土壤中自上而下逐步降低,土壤全 Cu 及各形态 Cu 含量与树体中部分部位的 Cu 含量显著相关。沈秋光等^[9]对上海郊区果园土壤中的 Zn、Cu、Pb 等土壤环境指标进行分析与综合评价,揭示上海市果园土壤环

收稿日期:2009-09-08

基金项目:福建省科技厅重点项目(2008Y0004);福建省自然科学基金(2009J01051)

作者简介:马 军(1984—),男,硕士研究生,研究方向为环境污染监测与评价。E-mail:fjmj5256@126.com

通讯作者:刘爱琴 E-mail:fjlaq@126.com

境质量整体尚好。

福州是海峡西岸经济区中心城市,城市化发展迅猛,工农业污染物质排出量大,土壤污染日益加剧。当前,福州城市边缘区土壤污染研究主要集中在蔬菜地重金属污染方面^[10-11],也对果园地的生态栽培模式、病虫害及其防治、生态系统的碳、氮储量等方面进行了研究^[12-14],但对果园土壤重金属污染方面的研究还未见报道。本文对福州城市边缘区果园土壤 Pb、Cu 全量及不同浸提态含量进行研究,以福建土壤环境背景值、农业部《绿色食品产地环境质量标准》(NY/391—2000)和环境保护部《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ332—2006)为标准评价土壤污染程度,揭示城市边缘区果园土壤重金属污染特征,为城市边缘区农业用地生态规划提供科学依据。

1 研究区自然概况

福州位于我国东南沿海,福建省东部,闽江下游,118°08'~120°31'E;25°15'~26°29'N 之间,属亚热带海洋性季风气候,全年冬短夏长,温暖湿润,无霜期达 326 d,年平均日照数为 1 700~1 980 h;年平均降水量为 900~2 100 mm;年平均气温为 16~20℃。目前,福州市果园面积为 44 828.73 hm²,主要种植柑橘(*Citrus reticulata* Banco)、龙眼(*Dimocarpus longana* Lour.)、荔枝(*Litchi chinensis*)和枇杷(*Eriobotrya japonica*)等热带水果。

2 研究方法

2.1 样品采集

在对研究区全面踏查的基础上,根据典型性与代表性原则,选择荆溪镇徐家村、上街镇榕桥村、中美村、岐头村、盖山镇盘屿、云凤洲武警农副基地、竹榄洲农副基地、螺洲、城门镇黄山村、下洋村等 10 个代表区域(图 1),用麦哲伦 GPS315 定位采样点地理位置。

2008 年 11 月采集土样。采用 S 型布点,分层采集 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土样,每个土样由 5 个分样混合组成。土壤样品经室内自然风干后,磨细过筛,供分析测定用。

2.2 分析方法

分别采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 混合强酸消煮、HCl-DTPA 振荡浸提制备 Pb、Cu 全量及不同浸提剂待测液,用原子吸收分光光度法测定样品中 Pb、Cu 含量。

2.3 潜在生态风险评价法

应用 Hakanson 潜在生态危害指数法^[15],以福建省土壤环境背景值、绿色食品产地环境质量标准和食

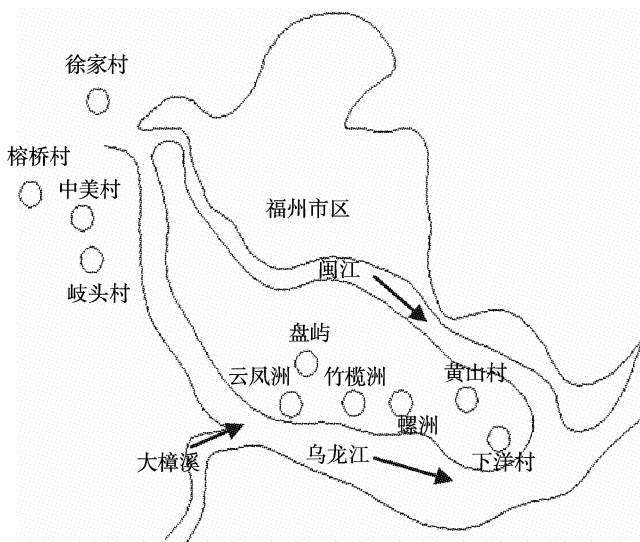


图 1 采样区位置示意图

Figure 1 Plots sampling diagram

用农产品产地环境质量标准为参比值(表 1),评价果园土壤 Pb、Cu 污染潜在生态危害风险。

单种重金属污染富集系数(C_f^i)为:

$$C_f^i = C_i / C_0$$

式中: C_i 、 C_0 分别为污染物 i 的实测值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、参比值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

单种重金属污染潜在生态危害系数(E_i^p)为:

$$E_i^p = T_i^* \times C_f^i$$

式中: T_i^* 为 Hakanson 制定的标准化重金属毒性响应系数^[15](Pb=Cu=5)。

重金属综合污染潜在生态风险指数(RI)为:

$$RI = \sum E_i^p$$

采用 Hakanson 提出的潜在生态危害评价指标(表 2)对生态危害进行分级。

3 结果与分析

3.1 福州城市边缘区果园土壤 Pb、Cu 分布特征

3.1.1 土壤 Pb、Cu 全量分布特征

由表 3 和表 4 可知,福州城市边缘区果园土壤

表 1 果园土壤重金属生态风险评价参比值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 The evaluation standards for the heavy metal pollution of orchard soil($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

项目	Pb	Cu
福建土壤环境背景值	34.9	21.6
绿色食品产地环境质量标准(pH<6.5)	50	50
食用农产品产地环境质量评价标准(pH<6.5)	80	150

表 2 重金属潜在生态风险评价指标与分级			
Table 2 Indices and grades of potential ecological risk index of heavy metals			
E_i^p	单种重金属生态风险程度	RI	重金属综合污染潜在生态风险程度
$E_i^p < 40$	轻微	$RI < 150$	轻微
$40 \leq E_i^p < 80$	中等	$150 \leq RI < 300$	中等
$80 \leq E_i^p < 160$	强	$300 \leq RI < 600$	强
$160 \leq E_i^p < 320$	很强	$600 \leq RI < 1\ 200$	很强
$E_i^p \geq 320$	极强	$RI \geq 1\ 200$	极强

表 3 果园土壤 Pb、Cu 含量(mg·kg ⁻¹)			
Table 3 The content of lead and copper in orchard soil(mg·kg ⁻¹)			
采样区	pH	Pb	Cu
徐家村	6.01	79.05±6.35d	32.73±3.61de
歧头村	4.95	55.33±23.71d	30.40±5.11e
榕桥村	5.23	171.88±7.61a	55.67±6.57a
中美村	5.68	157.19±1.53ab	42.50±2.23bcd
盘屿	4.82	142.68±11.91bc	46.77±10.42ab
云凤洲	4.75	131.98±16.38c	46.67±4.51ab
竹榄洲	4.91	132.44±6.14c	34.07±3.82cde
螺洲	4.57	147.10±4.72bc	44.13±1.96bc
黄山村	5.12	147.11±4.96bc	37.20±2.95bede
下洋村	5.15	135.76±21.52bc	44.73±13.28abc
最大值	6.01	171.88±7.61a	55.67±6.57a
最小值	4.57	55.33±23.71d	30.40±5.11e
平均值	5.21	130.05±36.01	41.49±9.25
变异系数	-	27.69%	22.30%

注:同列数据后相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Pb 含量在 55.33~171.88 mg·kg⁻¹ 之间,平均含量达 130.05 mg·kg⁻¹,是福建省土壤环境背景值的 3.73 倍,是 NY/T391—2000 的 2.60 倍,是 HJ/T332—2006 的 1.63 倍;Cu 含量在 30.40~55.67 mg·kg⁻¹ 之间,平均含量为 41.49 mg·kg⁻¹,是福建省土壤环境背景值的 1.92 倍,但低于其他两个标准,表明福州城市边缘区果园土壤中 Pb 污染普遍比 Cu 严重。10 个样区中,Pb、Cu 含量的变异系数分别为 27.69%和 22.30%,其中榕桥村果园土壤 Pb 含量最大达 171.88 mg·kg⁻¹,中美村其次,为 157.19 mg·kg⁻¹,歧头村 Pb 含量最小,显著性比较表明榕桥村果园土壤 Pb 含量与中美村差异不显著,与其他 8 个样区均有显著差异;Cu 含量分布也呈现相同的规律,榕桥村为最高达 55.67 mg·kg⁻¹,与盘屿、云凤洲、下洋村差异不显著,与其他 6 个样区均有显著差异,歧头村 Cu 含量最小,表明福州城市边缘区果园土壤 Pb、Cu 分布特征相似,呈 Pb、Cu 复合污

表 4 果园土壤 Pb、Cu 含量超标倍数						
Table 4 The exceeded multiple of lead and copper content in orchard soils						
采样区	Pb			Cu		
	超标倍数 I	超标倍数 II	超标倍数 III	超标倍数 I	超标倍数 II	超标倍数 III
徐家村	2.27	1.58	0.99	1.52	0.65	0.22
歧头村	1.59	1.11	0.69	1.41	0.61	0.20
榕桥村	4.92	3.44	2.15	2.58	1.11	0.37
中美村	4.50	3.14	1.96	1.97	0.85	0.28
盘屿	4.09	2.85	1.78	2.17	0.94	0.31
云凤洲	3.78	2.64	1.65	2.16	0.93	0.31
竹榄洲	3.79	2.65	1.66	1.58	0.68	0.23
螺洲	4.21	2.94	1.84	2.04	0.88	0.29
黄山村	4.22	2.94	1.84	1.72	0.74	0.25
下洋村	3.89	2.72	1.70	2.07	0.89	0.30

注:超标倍数 I:以福建土壤环境背景值为标准;超标倍数 II:以绿色食品产地环境质量标准为标准;超标倍数 III:以食用农产品产地环境质量评价标准为标准。

染特征。

3.1.2 不同浸提态土壤 Pb、Cu 含量分布特征

从表 5 可知,不同浸提态土壤 Pb、Cu 含量分布特征不同,其中 Pb 的 HCl 浸提态和 DTPA 浸提态最高值均分布在榕桥村,与中美村、螺洲、黄山村、下洋村等差异不显著,但与徐家村有显著差异;Cu 的 HCl 浸提态以螺洲最高,DTPA 浸提态以黄山村最高,均与徐家村、歧头村有显著差异,与其他 6 个样区差异不显著。

3.1.3 土壤中 Pb、Cu 垂直分布特征

由果园土壤 Pb、Cu 含量垂直分布曲线(图 2,图 3)可见,10 个样区中,徐家村、歧头村、榕桥村、云凤洲

表 5 果园土壤 Pb、Cu 的不同浸提态含量(mg·kg ⁻¹)				
Table 5 The extractable content of lead and copper in orchard soils(mg·kg ⁻¹)				
采样区	Pb		Cu	
	HCl 浸提态	DTPA 浸提态	HCl 浸提态	DTPA 浸提态
徐家村	6.31±1.03d	3.46±0.11c	2.11±0.45d	0.64±0.08d
歧头村	10.90±1.66c	7.78±2.77abc	2.95±0.34cd	3.15±0.35c
榕桥村	16.53±0.86a	12.01±4.91a	3.88±1.19bcd	4.12±2.37abc
中美村	14.40±3.76ab	10.04±1.98ab	8.86±7.58ab	4.03±1.69abc
盘屿	9.55±1.24cd	6.45±1.08bc	8.66±2.49ab	5.48±1.50ab
云凤洲	11.71±2.13bc	5.87±1.34bc	7.33±1.71abc	4.56±0.04abc
竹榄洲	9.87±0.47c	5.05±0.71bc	6.38±1.64abcd	3.89±0.63bc
螺洲	12.10±2.09bc	9.10±1.60ab	9.67±3.49a	5.19±0.43ab
黄山村	9.71±0.91c	7.11±1.05abc	7.19±2.07abc	5.93±1.01a
下洋村	8.93±2.57cd	8.98±4.97ab	5.13±0.80abcd	4.32±0.17abc

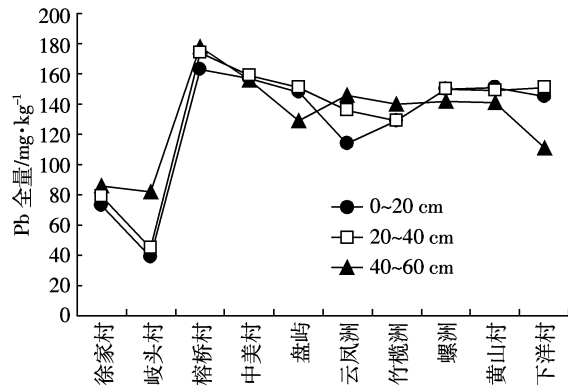


图2 果园土壤 Pb 全量垂向分布曲线

Figure 2 Vertical distribution of the content of lead in orchard soil

和竹榄洲的 Pb 含量随土层深度的增加而增高, 出现明显的深层(40~60 cm)富集, 其余 5 个样区相反, 表层(0~20 cm)和亚表层(20~40 cm)出现明显的富集。Cu 含量在岐头村和下洋村出现明显的深层(40~60 cm)富集, 榕桥村、盘屿、云凤洲、螺洲和黄山村 Cu 含量呈明显的表层(0~20 cm)富集特征, 其他各样区均无明显规律。

Pb、Cu 不同浸提率垂向分布(表 6)表明, 10 个样区中, 徐家村、中美村、盘屿的 Pb-HCl 浸提率随土层深度加大而升高, 岐头村、榕桥村、云凤洲的 Pb-HCl 浸提率随深度变化大小排序为表层>亚表层>深层; 徐家村、岐头村、榕桥村和云凤洲的 Pb-DTPA 浸提率均随深度变化大小排序为表层>亚表层>深层, 盘屿则呈 Pb-DTPA 随土层深度加大而升高的规律。中美村、竹榄洲和螺洲明显呈 Cu-HCl 浸提率随土层加大而减小的特征, 徐家村和云凤洲的 Cu-DTPA 浸提率随深度变化大小排序为深层>亚表层>表层, 岐头村、榕桥村、中美村、螺洲和黄山村 Cu-DTPA 浸提率随深度变化大小排序为表层>亚表层>深层。下洋村、黄山

表 6 果园土壤 Pb、Cu 不同浸提率垂向分布(%)

Table 6 Vertical distribution of different extraction rate of lead and copper in orchard soils(%)

采样区	采样深度/ cm	Pb		Cu	
		HCl 浸提率	DTPA 浸提率	HCl 浸提率	DTPA 浸提率
徐家村	0~20	7.15	4.62	5.52	1.72
	20~40	8.22	4.36	5.40	1.87
	40~60	8.47	4.19	8.73	2.27
岐头村	0~20	30.59	27.50	9.62	13.02
	20~40	26.53	16.92	11.98	10.72
	40~60	10.89	6.19	8.02	8.11
榕桥村	0~20	10.60	10.39	7.70	10.70
	20~40	9.57	6.83	8.25	6.73
	40~60	8.76	4.02	4.84	4.13
中美村	0~20	10.34	6.92	41.39	13.73
	20~40	10.63	7.22	15.10	9.59
	40~60	14.76	5.00	6.74	5.37
盘屿	0~20	5.63	3.59	19.22	12.26
	20~40	7.14	4.92	15.47	11.13
	40~60	7.38	5.11	20.60	11.52
云凤洲	0~20	11.00	7.91	18.10	8.97
	20~40	9.80	7.71	14.18	9.74
	40~60	6.35	4.90	14.46	10.74
竹榄洲	0~20	7.76	3.31	22.28	11.30
	20~40	7.26	4.39	21.88	14.92
	40~60	7.35	3.75	12.73	8.67
螺洲	0~20	8.87	6.31	29.23	12.20
	20~40	8.90	7.00	20.54	12.09
	40~60	6.84	5.20	15.50	10.98
黄山村	0~20	5.93	4.41	13.82	16.78
	20~40	7.19	5.57	25.52	16.78
	40~60	6.69	4.50	19.06	14.00
下洋村	0~20	8.19	10.09	14.33	10.66
	20~40	5.01	4.60	14.49	12.98
	40~60	6.61	4.82	7.76	7.07

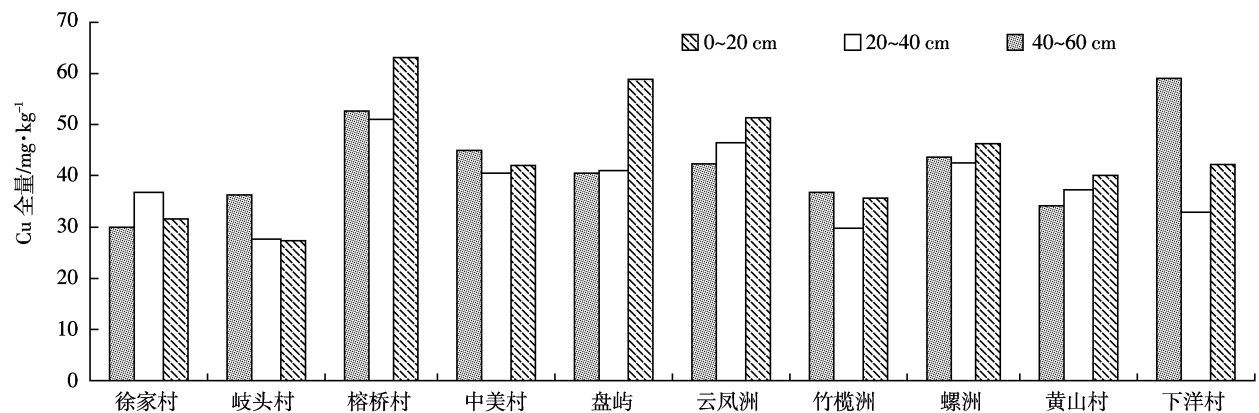


图3 果园土壤 Cu 全量垂直分布图

Figure 3 Vertical distribution of the content of copper in orchard soil

村、螺洲和竹榄洲 Pb、Cu 浸提率垂向分布特征规律不明显,这可能与工业区长期污染严重有关。

3.1.4 土壤 Pb、Cu 相关分析

相关性(表 7)表明,Pb 与 Cu 呈极显著相关,其相关系数达 0.561;Pb 与 Pb-DTPA、Pb-HCl 相关系数依次为 0.383 和 0.468,分别呈显著相关和极显著相关,与 Cu-DTPA、Cu-HCl 间相关系数达 0.521 和 0.423,分别呈极显著相关和显著相关;Cu 与 Cu-DTPA 相关系数为 0.438,呈显著相关,与 Cu-HCl 相关性不显著,与 Pb-DTPA、Pb-HCl 间相关系数均为 0.402,均呈显著相关。表明福州城市边缘区果园土壤 Pb、Cu 呈现相同的分布特征,形成 Pb、Cu 复合污染。

各浸提态之间,Pb-DTPA 与 Pb-HCl 相关系数为

表 7 土壤 Pb、Cu 和 pH 之间相关性

Table 7 The correlations between lead, copper content in soils and the soil pH values

项目	pH	Pb	Pb-DTPA	Pb-HCl	Cu	Cu-DTPA	Cu-HCl
pH	1						
Pb	-0.311	1					
Pb-DTPA	-0.425*	0.383*	1				
Pb-HCl	-0.365*	0.468**	0.811**	1			
Cu	-0.154	0.561**	0.402*	0.402*	1		
Cu-DTPA	-0.665**	0.521**	0.460*	0.331	0.438*	1	
Cu-HCl	-0.371*	0.423*	0.243	0.320	0.254	0.693**	1

注:** 0.01 水平极显著相关;* 0.05 水平显著相关。

0.811,呈极显著相关;Cu-DTPA 与 Cu-HCl 相关系数为 0.693,呈极显著相关,表明不同浸提剂对同一重金属的浸提效果具有很强的一致性;Pb-DTPA 与 Cu-DTPA 相关系数为 0.460,呈显著相关,表明 DTPA 对 Pb、Cu 含量的浸提效果有较强的一致性。

pH 值与 Pb、Cu 全量之间相关性均不显著,表明 Pb、Cu 全量与 pH 值大小无关。pH 值与 Pb 和 Cu 两种浸提态之间均呈显著负相关,其中,与 Cu 的 DTPA 浸提态呈极显著负相关,表明福州城市边缘区果园土壤中,pH 值的大小对 Pb、Cu 浸提态有直接影响,pH 值的升高使土壤中 Pb、Cu 浸提态含量减小,植物较难吸收,反之,pH 值的减小使土壤中 Pb、Cu 浸提态含量升高,植物吸收 Pb、Cu 量增大。

3.2 福州城市边缘区果园土壤 Pb、Cu 潜在生态风险评价

从表 8 可见,分别以福建土壤环境背景值、HJ/T332—2006 和 NY/T391—2000 为参比值时,10 个样区 Pb、Cu 潜在生态风险均处于轻微程度,Pb 的 E_i^i 比 Cu 的高,榕桥村 RI 最大,其次为中美村,徐家村与岐头村最小,可见,福州城市边缘区高速公路和老工业区周边的重金属潜在生态风险高于一般区域。

4 结论

福州城市边缘区果园土壤中存在 Pb、Cu 污染且 Pb 污染比 Cu 污染严重,距离高速公路和老工业区越

表 8 果园土壤 Pb、Cu 潜在生态风险评价

Table 8 Potential ecological risk assessment of lead and copper content in Orchard soils

项目		徐家村	岐头村	榕桥村	中美村	盘屿	云凤洲	竹榄洲	螺洲	黄山村	下洋村
参比值		福建土壤环境背景值									
E_i^i	Pb	11.33	7.93	24.62	22.52	20.44	18.91	18.97	21.07	21.08	19.45
	Cu	7.58	7.04	12.89	9.84	10.83	10.80	7.89	10.22	8.61	10.35
RI		18.90	14.96	37.51	32.36	31.27	29.71	26.86	31.29	29.69	29.80
潜在生态风险程度		轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微
参比值		绿色食品产地环境质量标准(NY/T391—2000)									
E_i^i	Pb	7.91	5.53	17.19	15.72	14.27	13.20	13.24	14.71	14.71	13.58
	Cu	3.27	3.04	5.57	4.25	4.68	4.67	3.41	4.41	3.72	4.47
RI		11.18	8.57	22.76	19.97	18.95	17.87	16.65	19.12	18.43	18.05
潜在生态风险程度		轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微
参比值		食用农产品产地环境质量评价标准(HJ/T332—2006)									
E_i^i	Pb	4.94	3.46	10.74	9.82	8.92	8.25	8.28	9.19	9.19	8.49
	Cu	1.09	1.01	1.86	1.42	1.56	1.56	1.14	1.47	1.24	1.49
RI		6.03	4.47	12.60	11.24	10.48	9.80	9.41	10.66	10.43	9.98
潜在生态风险程度		轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微	轻微

注: E_i^i 为潜在生态危害系数;RI 为潜在生态风险指数。

远,污染越轻。

相关分析表明,Pb、Cu 全量及 HCl、DTPA 浸提态含量呈相似分布特征,形成明显的 Pb、Cu 复合污染;不同浸提剂对同一重金属的浸提效果具有很强的一致性;土壤 pH 值大小与 Pb、Cu 含量无关,但与 Pb、Cu 浸提态呈负相关。

潜在生态风险评价表明,10 个样区 Pb、Cu 潜在生态风险均处于轻微程度。

参考文献:

- [1] 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[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3):546, 572.
TIAN Shi-lin, LI Li, et al. Determination and appreciation of the content of heavy metals in soil of apple's farm [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(3):546, 572.
- [2] 李仁英,张 民,杨 浩. 山东省主要果园土壤中 Cu、Zn 的形态、含量及分布[J]. 农村生态环境, 2002, 18(4):41-44.
LI Ren-ying, ZHANG Min, YANG Hao. Forms, contents and distribution of Cu, Zn in some orchard soils in Shandong Province [J]. *Rural Eco-Environment*, 2002, 18(4):41-44.
- [3] 韩 鹏,廖明安,刘 旭,等. 汉源金雪梨果园土壤和果实中重金属元素含量的测定分析[J]. 北方园艺, 2007(6):34-36.
HAN Peng, LIAO Ming-an, LIU Xu, et al. Determination and analysis on content of heavy metals in orchard soil and fruit of Jin hua pear in Hanyuan[J]. *Northern Horticulture*, 2007(6):34-36.
- [4] 卢树昌,贾文竹. 河北省果园土壤质量现状及演变分析[J]. 华北农学报, 2008, 23(5):219-222.
LU Shu-chang, JIA Wen-zhu. Analysis on the status quo and changes of orchard soil quality in Hebei Province[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(5):219-222.
- [5] 郑国璋,岳乐平. 洛川苹果园地土壤重金属污染调查与评价[J]. 土壤通报, 2008, 39(2):402-405.
ZHENG Guo-zhang, YUE Le-ping. Investigation and assessment on heavy metals pollution of soil in Luochuan apple orchard[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(2):402-405.
- [6] 李文庆,张 民,束怀瑞,等. 苹果园土壤中铜的含量及形态特征研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(5):769-772.
LI Wen-qing, ZHANG Min, SHU Huai-rui, et al. The content and fractionation of copper in apple orchard soils [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(5):769-772.
- [7] 黄玉溢,刘 斌,陈桂芬,等. 沙田柚果园土壤铜素的含量及其剖面分布特征研究[J]. 广西农业科学, 2007, 38(1):58-61.
HUANG Yu-yi, LIU Bin, CHEN Gui-fen, et al. Copper content in citrus grandis orchards and its distributing characters of soil profiles [J]. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2007, 38(1):58-61.
- [8] 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.
ZHANG Lin-sen, LIANG Jun, WU Chun-lin, et al. Evaluation and concentration of soil heavy metals in apple orchards of Shangxi province[J]. *Journal of Fruit Science*, 2004, 21(2):103-105.
- [9] 沈秋光,陆貽通,毕经纬,等. 上海果园土壤质量分析与评价[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2005, 23(2):168-171.
SHEN Qiu-guang, LU Yi-tong, BI Jing-wei, et al. Analysis and evaluation of soil environmental quality of orchards in suburb of Shanghai[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2005, 23(2):168-171.
- [10] 刘 泓,黄双兴,方惠云. 福州市郊菜区土壤主要重金属元素的污染评价[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2005, 34(3):376-378.
LIU Hong, HUANG Shuang-xing, FANG Hui-yun. The evaluation of soil heavy metals pollution in suburban vegetable growing areas of Fuzhou[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University(Natural Science Edition)*, 2005, 34(3):376-378.
- [11] 魏为兴. 福州市主要蔬菜基地土壤重金属的影响评价 [J]. 福建地质, 2007, 2:100-107.
WEI Wei-xing. On the influence of heavy metals in the soil of major vegetable bases in Fuzhou City[J]. *Geology of Fujian*, 2007, 2:100-107.
- [12] 张光华. 福州山地生态柑桔园栽培模式的建立与示范推广[J]. 福建农业科技, 2003, 2:12-13.
ZHANG Guang-hua. Establishment and demonstration of ecological plantation model of citrus orchard in Fuzhou mountain[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2003, 2:12-13.
- [13] 潘少霖,韦晓霞,黄雄峰,等. 福州地区无花果主要病虫的危害及防治[J]. 福建果树, 2008, 146(3):50-51.
PAN Shao-lin, WEI Xiao-xia, HUANG Xiong-feng, et al. Damage and control of main pests in *Ficus carica* Linn in Fuzhou area[J]. *Fujian Fruits*, 2008, 146(3):50-51.
- [14] 吴志丹,王义祥,翁伯琦,等. 福州地区 7 年生柑橘果园生态系统的碳氮储量[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(3):316-319.
WU Zhi-dan, WANG Yi-xiang, WENG Bo-qi, et al. Organic carbon and nitrogen storage in 7 years old citrus orchard ecosystem in Fuzhou, China[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University(Natural Science Edition)*, 2008, 37(3):316-319.
- [15] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control-A sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14:975-1001.