

网络出版时间:2015-01-05 08:59

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.02.022

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150105.0859.022.html

陕西省猕猴桃园土壤重金属含量及污染风险评价

李晓彤,岳田利,胡仲秋,赵旭博

(西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究陕西省眉县与周至县猕猴桃果园土壤重金属含量,并对其污染风险进行评价。【方法】于 2012-10,在陕西猕猴桃主产区眉县和周至县 10 个猕猴桃果园采集 40 个土壤样品,采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)测定铬、铜、砷、镉、汞与铅含量,并计算各重金属元素的单因子污染指数和综合污染指数。【结果】眉县土壤中铬、铜、砷、镉、汞与铅含量平均值分别为 (77.68 ± 8.84) , (42.39 ± 6.19) , (29.12 ± 1.56) , (0.18 ± 0.02) , (0.054 ± 0.017) 与 (7.03 ± 2.46) mg/kg;周至县土壤中铬、铜、砷、镉、汞与铅含量平均值分别为 (87.86 ± 5.86) , (50.02 ± 6.57) , (21.48 ± 3.57) , (0.22 ± 0.10) , (0.049 ± 0.006) 与 (3.87 ± 2.55) mg/kg。眉县 5 个猕猴桃园土壤样品中砷含量超标,周至县 1 个猕猴桃果园土样中砷含量超标。眉县猕猴桃果园土壤中重金属单因子污染指数排序为砷>铬>镉>铜>汞>铅;周至县猕猴桃果园土壤中重金属单因子污染指数排序为砷>镉>铬>铜>汞>铅。眉县和周至县猕猴桃果园土壤重金属综合污染指数分别为 0.86 和 0.65。【结论】眉县猕猴桃果园土壤重金属污染水平属尚清洁等级,污染等级为警戒级;周至县猕猴桃果园土壤重金属污染水平属清洁等级,污染等级为安全,土壤环境质量合格。

【关键词】 猕猴桃果园;土壤重金属;污染风险;陕西省

【中图分类号】 X825.04

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)02-0173-06

Concentrations of soil heavy metals in kiwi fruit orchards in Shaanxi and risk evaluation

LI Xiao-tong, YUE Tian-li, HU Zhong-qiu, ZHAO Xu-bo

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The study investigated concentrations of soil heavy metals in kiwi fruit orchards in Shaanxi and evaluated the contamination risk. 【Method】Concentrations of Cr, Cu, As, Cd, Hg and Pb in 40 soil samples from kiwi fruit orchards in Meixian County and Zhouzhi County in Shaanxi were determined in October 2012 using ICP-MS method. Then the single-factor pollution index of each heavy metal and the aggregate pollution index were calculated. 【Result】The contents of Cr, Cu, As, Cd, Hg and Pb in Meixian County were (77.68 ± 8.84) , (42.39 ± 6.19) , (29.12 ± 1.56) , (0.18 ± 0.02) , (0.054 ± 0.017) , and (7.03 ± 2.46) mg/kg, respectively while in Zhouzhi County they were (87.86 ± 5.86) , (50.02 ± 6.57) , (21.48 ± 3.57) , (0.22 ± 0.10) , (0.049 ± 0.006) , and (3.87 ± 2.55) mg/kg, respectively. Contents of As were above the permitted level in 5 samples from Meixian County and one sample from Zhouzhi County. The single-factor pollution indexes of heavy metals in Meixian County were in decreasing order of As>Cr>Cd>Cu>Hg>Pb and the order in Zhouzhi County was As>Cd>Cr>Cu>Hg>Pb. The aggregate pollution indexes in Meixian County and Zhouzhi County were 0.86 and 0.65, respectively. 【Conclusion】The pollution

【收稿日期】 2013-10-25

【基金项目】 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAK17B06)

【作者简介】 李晓彤(1988—),女,陕西澄城人,在读硕士,主要从事食品安全控制技术研究。E-mail:jjlxt123@163.com

【通信作者】 岳田利(1966—),男,陕西宝鸡人,教授,博士生导师,主要从事食品生物工程及食品安全控制研究。

E-mail: ytl6503@163.com

level in Meixian County was clean within the warning level while the level in Zhouzhi County was clean within the safe level.

Key words: kiwi fruit orchards; soil heavy metal; pollution risk; Shaanxi Province

土壤重金属污染可导致土壤肥力退化,降低农产品的产量并引起安全问题,同时加速水环境恶化,最终通过食物链危及人类健康,已成为全球关注的环境问题之一^[1]。果园土壤重金属含量是猕猴桃产地环境监测的一项重要指标,土壤重金属总量被认为是影响农产品安全的重要因素,也是影响果品中重金属含量的主因之一^[2-4]。陕西省周至县和眉县作为全国主要的猕猴桃产区,为确保该地区生产安全、优质的猕猴桃果品,本试验对该地区猕猴桃果园土壤重金属含量进行系统检测和科学评比,以排查土壤重金属污染问题,为确保猕猴桃果园土壤用地的长期安全提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

眉县与周至县地处陕西关中平原西部、秦岭北

麓,气候温和,雨量充沛,野生资源丰富,是我国猕猴桃主要生产分布区域。目前眉县猕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^[5]。周至县猕猴桃人工栽培的历史达 1 000 多年。全县累计为猕猴桃产业投入资金超过 12 亿元,建成了全国最大的猕猴桃生产基地,也是全国惟一的猕猴桃标准化管理示范县,被称为“猕猴桃之乡”^[6]。

1.2 样品采集与分析方法

2012-10,根据眉县和周至县猕猴桃生产基地分布现状,共选择 10 个生产基地或生产户(表 1),随机采集土壤样品,每户或生产基地布设 4 个采样点,共采集 40 个土样。土样采集深度均为 0~40 cm。将采集土样充分混匀后,按照四分法,每份样品留取 1 kg,装入标记序号的塑封袋中,带回实验室风干、研磨、过孔径 0.147 mm 尼龙筛,装袋备用。

表 1 陕西眉县和周至县猕猴桃果园土壤样品的基本情况

Table 1 Information of soil samples in kiwi orchards in Meixian County and Zhouzhi County

果园编号 Number	研究区 Region	土样采集地点 Location	样品数 Quantity
1	眉县 Meixian County	横渠镇金家庄 Jingjiazhuang, Hengqu Town	4
2		汤峪镇土岭村 Tuling Village, Tangyu Town	4
3		槐芽镇桃园 Taoyuan, Huaiya Town	4
4		第五村乡余官营村 Yuguanying Village, Diwucun Town	4
5		西北农林科技大学眉县猕猴桃试验站 Kiwi Test Station of Northwest A&F University	4
6	周至县 Zhouzhi County	余永路南千户村 Nanqianhu Village, Yuyong Road	4
7		集贤镇八一村 Bayi Village, Jixian Town	4
8		楼观镇送兵村 Songbing Village, Louguan Town	4
9		四屯乡上天屯 Shangtiantun, Situn Town	4
10		陕西佰瑞猕猴桃研究院有限公司 Shaanxi Bairui Kiwi Fruit Research Institute Co., LTD	4

采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)测定土样中 Cr、Cu、As、Cd、Hg、Pb 含量^[7-9]。参考《中华人民共和国土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)^[10]中对重金属含量的规定可知,当 Cr、Cu、As、Cd、Hg、Pb 6 种重金属含量分别≤250, 200, 25, 0. 6, 1. 0, 350 mg/kg 时,认为土壤中的重金属含量未超标。依据此标准,对研究区猕猴桃果园土壤重金属含量进行分析。

1.3 土壤重金属污染风险评价

对土壤重金属污染风险进行评价时,一般采用单因子污染指数法和多因子综合污染指数法进行。采用单因子污染指数法进行评价时,其模式为:

$$P_i = C_i / S_i。$$

式中: P_i 为污染物 i 的单因子污染指数, C_i 为污染物 i 的实测浓度, S_i 为污染物评价标准, i 代表某种污染物。

采用多因子综合污染指数法评价时,其模式为:

$$P = \sqrt{\frac{P_a^2 + P_{\max}^2}{2}}。$$

式中: P 为综合污染指数, P_a 为各单因子污染指数的平均值, $P_{\max}$ 为各单因子污染指数中的最大值^[10-11]。

参考文献[12],基于综合污染指数的土壤重金属污染等级分级标准见表 2。

表 2 基于综合污染指数的土壤重金属污染等级分级标准^[12]

Table 2 Standards for soil quality grading based on the aggregate pollution index			
等级序号 Number	污染指数 Pollution index	污染等级 Pollution degree	污染水平 Pollution level
I	[0,0.7)	安全 Safe	清洁 Clean
II	[0.7,1.0)	警戒级 Warning level	尚清洁 Nearly clean
III	[1.0,2.0)	轻度污染 Lightly polluted	土壤、作物已受污染 Soil and crop were polluted
IV	[2.0,3.0)	中度污染 Medially polluted	土壤、作物已受中度污染 Soil and crop were medially polluted
V	[3.0,∞)	重度污染 Severely polluted	土壤、作物已受严重污染 Soil and crop were severely polluted

1.4 数据处理与分析

采用 SPSS 17.0 和 EXCEL 2007 软件进行数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 陕西猕猴桃果园土壤重金属含量

陕西猕猴桃果园土壤样品中重金属含量测定结果见表 3。由表 3 可知,眉县猕猴桃果园中,Cr 含量水平最高值、最低值和平均值分别为(89.61±7.74),(65.13±6.37)和(77.68±8.84) mg/kg,变异系数 11%;Cu 含量的最高值、最低值和平均值分别为(56.74±3.38),(35.73±4.51)和(42.39±6.19) mg/kg,变异系数 15%;As 含量的最高值、最低值和平均值分别为(31.09±6.23),(27.11±3.79)和(29.12±1.56) mg/kg,变异系数 5%;Cd 含量的最高值、最低值和平均值分别为(0.21±0.07),(0.14±0.03)和(0.18±0.02) mg/kg,变异系数 11%;Hg 含量的最高值、最低值和平均值分别为(0.086±0.015),(0.033±0.025)和(0.054±

0.017) mg/kg,变异系数 31%;Pb 含量的最高值、最低值和平均值分别为(13.18±4.21),(4.53±1.56)和(7.03±2.46) mg/kg,变异系数为 35%。周至县猕猴桃果园中,Cr 含量的最高值、最低值和平均值分别为(99.14±7.95),(74.74±8.24)和(87.86±5.86) mg/kg,变异系数 7%;Cu 含量的最高值、最低值和平均值分别为(62.78±6.19),(40.36±6.51)和(50.02±6.57) mg/kg,变异系数 13%;As 含量的最高值、最低值和平均值分别为(27.52±3.55),(16.06±3.26)和(21.48±3.57) mg/kg,变异系数 17%;Cd 含量的最高值、最低值和平均值分别为(0.46±0.16),(0.13±0.09)和(0.22±0.10) mg/kg,变异系数 45%;Hg 含量的最高值、最低值和平均值分别为(0.063±0.009),(0.040±0.011)和(0.049±0.006) mg/kg,变异系数 12%;Pb 含量的最高值、最低值和平均值分别为(10.23±3.31),(1.31±0.97)和(3.87±2.55) mg/kg,变异系数 66%。

表 3 陕西眉县和周至县猕猴桃果园土壤的重金属元素含量

Table 3 Contents of heavy metals in soil samples from kiwi orchards in Meixian County and Zhouzhi County									
采样地 Location	重金属 Heavy metals	不同果园测定值/(mg·kg ⁻¹) Measurements					平均值/ (mg·kg ⁻¹) Average	标准差/ (mg·kg ⁻¹) SD	变异系数/% CV
		1	2	3	4	5			
眉县 Meixian County	Cr	89.61±7.74	65.13±6.37	70.85±5.57	74.94±8.91	87.85±9.11	77.68	8.84	11
	Cu	43.52±7.31	37.46±5.12	35.73±4.51	38.50±6.11	56.74±3.38	42.39	6.19	15
	As	30.81±1.12	27.11±3.79	27.21±2.45	29.36±1.03	31.09±6.23	29.12	1.56	5
	Cd	0.18±0.02	0.17±0.01	0.20±0.01	0.14±0.03	0.21±0.07	0.18	0.02	11
	Hg	0.063±0.011	0.044±0.012	0.086±0.015	0.033±0.025	0.042±0.016	0.054	0.017	31
	Pb	5.28±2.23	6.01±1.87	4.53±1.56	6.16±3.01	13.18±4.21	7.03	2.46	35
采样地 Location	重金属 Heavy metals	不同果园测定值/(mg·kg ⁻¹) Measurements					平均值/ (mg·kg ⁻¹) Average	标准差/ (mg·kg ⁻¹) SD	变异系数/% CV
		6	7	8	9	10			
周至县 Zhouzhi County	Cr	90.76±5.01	99.14±7.95	74.74±8.24	88.33±4.78	86.33±4.01	87.86	5.86	7
	Cu	52.93±7.71	62.78±6.19	40.36±6.51	43.27±5.97	50.78±3.38	50.02	6.57	13
	As	16.06±3.26	24.36±4.79	27.52±3.55	21.04±3.07	18.41±6.25	21.48	3.57	17
	Cd	0.13±0.09	0.15±0.07	0.21±0.12	0.17±0.03	0.46±0.16	0.22	0.10	45
	Hg	0.042±0.007	0.063±0.009	0.040±0.011	0.048±0.005	0.050±0.006	0.049	0.006	12
	Pb	1.60±1.89	2.93±0.66	1.31±0.97	3.26±2.90	10.23±3.31	3.87	2.55	66

由《中华人民共和国土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)^[10]来看,眉县猕猴桃果园土样中

除了 As 平均含量超标外,其他重金属平均含量均未超标。眉县猕猴桃果园土壤中 Cr、Cu、As、Cd 含量变异不大,变异系数均小于 30%;Hg、Pb 的变异系数较大,均高于 30%。周至县 6 种重金属平均含量都未超标,Cr、Cu、As 和 Hg 含量变异不大,变异系数均小于 30%,Cd、Pb 变异系数较大,均超过 45%;在所测土样中,有 1 个果园的 As 含量超标。眉县土样中 As、Hg、Pb 含量的平均值均高于周至县,而 Cr、Cu、Cd 含量的平均值均低于周至县。

2.2 陕西猕猴桃果园土壤重金属污染指数

采用单因子污染指数和多因子综合污染指数法计算眉县和周至县猕猴桃果园土壤中 6 种重金属污染指数,结果分别见表 4 和表 5。由表 4 可知,眉县 5 个猕猴桃果园土样中,除了 As 的 P_i 均大于 1 外,

其余重金属的 P_i 都小于 1。土壤中各重金属平均 P_i 由高到低的顺序为 $As>Cr>Cd>Cu>Hg>Pb$,因此土壤中 As 的含量要严格控制。眉县猕猴桃果园土壤综合污染指数平均值为 0.86,参照表 2 可知,该地区重金属污染等级为警戒级,污染水平属尚清洁等级,需引起有关部门的重视。

由表 5 可知,周至县 5 个猕猴桃果园土样中,仅有 1 个果园土样中 As 的 P_i 大于 1,其余果园土壤重金属的 P_i 都小于 1。土壤中各重金属平均 P_i 由高到低的顺序为 $As>Cd>Cr>Cu>Hg>Pb$ 。周至县猕猴桃果园土壤综合污染指数平均值为 0.65,参照表 2 可知,该地区重金属污染等级为安全,污染水平属清洁等级,土壤环境质量合格。

表 4 陕西眉县猕猴桃果园土壤重金属的污染指数

果园编号 Number	单因子污染指数 Single factor pollution index						综合污染指数 Aggregate pollution index
	Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	
1	0.36	0.22	1.23	0.30	0.06	0.02	0.91
2	0.26	0.19	1.08	0.29	0.04	0.02	0.79
3	0.28	0.18	1.09	0.33	0.09	0.01	0.81
4	0.30	0.19	1.17	0.24	0.03	0.02	0.86
5	0.35	0.28	1.24	0.36	0.04	0.04	0.92
平均值 Average	0.31	0.21	1.16	0.30	0.05	0.02	0.86
标准差 SD	0.04	0.03	0.06	0.03	0.02	0.01	0.05

表 5 陕西周至县猕猴桃果园土壤重金属的污染指数

果园编号 Number	单因子污染指数 Single factor pollution index						综合污染指数 Aggregate pollution index
	Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	
6	0.36	0.26	0.64	0.22	0.04	0	0.49
7	0.40	0.31	0.97	0.25	0.06	0.01	0.72
8	0.30	0.20	1.10	0.34	0.04	0	0.81
9	0.35	0.22	0.84	0.28	0.05	0.01	0.63
10	0.35	0.25	0.74	0.77	0.05	0.03	0.60
平均值 Average	0.35	0.25	0.86	0.37	0.05	0.01	0.65
标准差 SD	0.02	0.03	0.14	0.16	0.01	0.01	0.09

2.3 陕西猕猴桃果园土壤重金属含量相关性分析

分析结果见表 6。

陕西猕猴桃果园土壤中各重金属含量的相关性

表 6 陕西猕猴桃果园土壤中各重金属含量的相关性分析

重金属元素 Element	相关系数 Correlation coefficient					
	Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb
Cr	1	0.81 *	0.41 *	0.29	0.02	0.14
Cu		1	0.27	0.26	-0.08	0.27
As			1	0.08	-0.07	0.17
Cd				1	0.01	0.60 *
Hg					1	0.06
Pb						1

注: $n=40$ 。* 表示相关性达显著水平($P<0.05$)。
Note, $n=40$. * means significant correlation ($P<0.05$).

对土壤重金属含量之间的相关性进行研究,可初步推测重金属的来源是否相同。通常若不同重金属元素之间显著相关,表明其有相同来源的可能性较大,这一来源既可能出自天然,即地球化学来源,也可能是人为活动造成的复合污染所致^[13-14]。由表 6 可见,Cu 与 Cr、As 与 Cr、Pb 与 Cd 之间相关性达到显著水平,表明它们之间同源性很高,具有较强的伴生关系,可能来自同一污染源^[15-16]。Hg 与其他元素相关性较低,表明 Hg 的积累不受其他重金属影响。

3 结论与讨论

本研究对陕西省眉县和周至县 10 个猕猴桃果园的 40 个土样中 Cr、Cu、As、Cd、Hg 和 Pb 6 种重金属含量进行了检测与污染风险评价,结果表明,眉县猕猴桃果园土壤中 As 含量超标,周至县除 1 个果园土样中 As 含量超标外,其余重金属含量均未超过土壤环境质量标准。果园中 As 含量较高,可能与曾施用含 As 的农药或肥料有关,且超标果园均处于公路旁边,机动车辆的燃料及轮胎中所含重金属成分在车辆运行过程中向环境释放,并可能在土壤中沉积,造成土壤中重金属含量偏高^[17-18]。本研究结果显示,眉县和周至县猕猴桃果园土壤重金属综合污染指数分别为 0.86 和 0.65,污染等级分别为警戒级和安全;猕猴桃果园土壤中 Cu 与 Cr、As 与 Cr、Pb 与 Cd 极可能来自同一污染源;其他重金属元素间相关性均较低,其中 Hg 与其他元素相关性最低,表明 Hg 的积累不受其他重金属影响。

为了确保猕猴桃果园土壤用地的长期安全,建议严格禁止工业“三废”以及未经处理的生活污水排放进果园,严禁将未经无害化处理的城市垃圾直接作为肥料使用,注意严格控制农药污染。在施肥方面,充分利用有机肥源,鼓励和倡导施用无公害的农家肥,并加强猕猴桃生产过程中肥料施用的管理力度。

[参考文献]

[1] 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 H P, Yan C X. Study on the distribution law of soil heavy metal in apple orchard in Tianshui City in Gansu [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2011, 39(8):4657-4659. (in Chinese)

[2] 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 L S, Liang J, Wu C L, et al. Evaluation and concentration

of soil heavy metals in apple orchards of Shaanxi Province [J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(2):103-105. (in Chinese)

[3] Matthew Omoniyi Isinkaye. Distribution of heavy metals and natural radionuclides in selected mechanized agricultural farmlands within Ekiti State, Nigeria [J]. Arab J Sci Eng, 2012, 37: 1483-1490.

[4] Zorer O S, Ceylan H, Dogru M. Determination of heavy metal and comparison to gross radioactivity concentration in soil and sediment samples of the Bendimahi River Basin (Van, Turkey) [J]. Water Air Soil Pollut, 2009, 196:75-87.

[5] 李百云,刘旭峰,金会翠,等. 陕西眉县部分猕猴桃园土壤主要养分状况分析 [J]. 西北农业学报,2008,17(3):215-218.
Li B Y, Liu X F, Jin H C, et al. Analysis on soil nutrition of kiwifruit orchards in Meixian County of Shaanxi Province [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(3): 215-218. (in Chinese)

[6] 雷玲,刘冬梅,张晓惠. 周至县猕猴桃产业发展问题的思考 [J]. 安徽农业科学,2007,35(20):6299-6300.
Lei L, Liu D M, Zhang X H. Pondering over development problems of Chinese gooseberry industry in Zhouzhi County [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(20): 6299-6300. (in Chinese)

[7] Eva C, Lenka V, Miloslav S. ICP-MS determination of heavy metals in submerged cultures of wood-rotting fungi [J]. Talanta, 2004, 62:483-487.

[8] Umit D, Nesrin H, Mustafa S. Trace heavy metal contents of some spices and herbal plants from western Anatolia, Turkey [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2006, 41:712-716.

[9] Irena B, Hanna B, Anna P. Distribution of pesticides and heavy metals in trophic chain [J]. Chemosphere, 2005, 60: 1590-1599.

[10] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解 [M]. 北京:中国环境科学技术出版社,1996:84-87.
Xia J Q. Soil environmental quality standards [M]. Beijing: China Environmental Science and Technology Publications, 1996:84-87. (in Chinese)

[11] 张翼飞,王洋,任丹,等. 无公害猕猴桃生产基地土壤中重金属累积状况研究 [J]. 干旱地区农业研究,2010,28(3):219-223.
Zhang Y F, Wang Y, Ren D, et al. Research on heavy metal accumulation in soil in an organic kiwi fruit production base [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(3): 219-223. (in Chinese)

[12] 中国环境监测总站. 中国土壤环境背景值 [M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:265-267.
China National Environmental Monitoring Centre. Chinese soil environmental background value [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990:265-267. (in Chinese)

[13] 何峰. 重庆市农田土壤-粮食作物重金属关联特征与污染评价 [D]. 重庆:西南农业大学,2004.
He F. Correlation and assessment of heavy metal contamination

tion between agricural soils and food crops in Chongqing [D]. Chongqing: Agricultural University of Southwest, 2004. (in Chinese)

[14] Feng M, Bin D, Feng Y. Measurement and analysis of mineral and heavy metal components in grape cultivars by inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES) [J]. J Verbr Lebensm, 2012, 7: 137-140.

[15] 余艳华. 新疆奎屯垦区土壤-植物-水体中重金属污染现状评价 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.

Yu Y H. Soil-plant-water assessment of heavy metal pollution in Xinjiang Kuitun Reclamation Area [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2007. (in Chinese)

[16] Antonious G F, Kochhar T S. Mobility of heavy metals from soil into hot pepper fruits: A field study [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2009, 82: 59-63.

[17] Golia E E, Dimirkou A, Mitsio I K. Influence of some soil parameters on heavy metals accumulation by vegetables grown in agricultural soils of different soil orders [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2008, 81: 80-84.

[18] 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 C L, Wang H Y, Zhou J M, 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)

(上接第 172 页)

[16] 张源润, 蔡进军, 董立国, 等. 半干旱退化山区坡改梯地土壤养分变异特征研究: 以宁夏彭阳县为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(3): 121-124.

Zhang Y R, Cai J J, Dong L G, et al. Research on variation characteristics of soil nutrient after slope land changed into the terrace in semi-arid degenerated mountainous Area: Taking Ningxia Pengyang County as example [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(3): 121-124. (in Chinese)

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-114.

Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25-114. (in Chinese)

[18] 郭兆元. 陕西土壤 [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 363-449.

Guo Z Y. Soil of Shaanxi [M]. Beijing: Science Press, 1992: 363-449. (in Chinese)

[19] 刘海福. 干旱地区提高新修梯田土地生产力的措施 [J]. 甘肃科技, 2006, 22(1): 178-179.

Liu H F. Measures of improve the productivity of newly-built terraces in arid regions [J]. Gansu Science and Technology, 2006, 22(1): 178-179. (in Chinese)

[20] 董水丽, 刘恩斌. 绿肥培肥新修梯田的效果研究 [J]. 陕西农业科学, 2003(4): 17-19.

Dong S L, Liu E B. Fertilizing effects of green manure in new terraced fields [J]. Science of Agricultural in Shaanxi, 2003(4): 17-19. (in Chinese)

[21] 张国艳. 修梯田后的土壤培肥与增产问题 [J]. 农业科技与信息, 2011(19): 28-29.

Zhang G Y. Question of soil fertility and production increase after slope cropland changed into terrace with the machine [J]. Agricultural Technology and Message, 2011(19): 28-29. (in Chinese)

[22] 张超, 刘国彬, 薛 箴, 等. 丘陵区坡改梯田土壤碳库组分演变特征 [J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 20-23.

Zhang C, Liu G B, Xue S, et al. Evolution of soil carbon fraction after slope crop land changed into terrace in Loess Hilly Region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(1): 20-23. (in Chinese)

[23] 康玲玲, 王云璋, 刘 雪, 等. 水土保持措施对土壤化学特性的影响 [J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 46-48.

Kang L L, Wang Y Z, Liu X, et al. Effect of soil and water conservation measures on soil chemical properties [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2003, 23(1): 46-48. (in Chinese)