

洛川县不同种植年限果园土壤基本性质与 重金属含量评价

张彩云¹, 庞奖励^{1,2}, 申海元¹

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 中国科学院 地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

摘要: 研究了洛川县 20 a 与 60 a 果园土壤基本性质和土壤中的重金属含量, 并对土壤环境质量进行了评价。结果表明, 洛川县 20 a 与 60 a 果园土壤为壤土, CaCO₃ 含量最大值为 141.71 mg/kg, 土壤 TOC 平均含量大于 1.26%, 土壤 pH 值在 7.95~8.62 之间, 土壤特征基本满足苹果生长的要求。20 a 与 60 a 果园土壤重金属含量均略大于其背景值, 砷的最大平均含量值为 14.4 mg/kg, 铬为 84.4 mg/kg, 铜为 31.7 mg/kg, 铅为 24.8 mg/kg, 镍为 33.1 mg/kg, 锌为 144.5 mg/kg, 但两果园土壤环境指标的单项污染指数均小于 1, 综合污染指数小于 0.7, 土壤环境质量为清洁。

关键词: 土壤性质; 土壤重金属; 种植年限; 苹果园; 洛川县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0032-04

中图分类号: X53, X825

Assessment on Contents of Heavy Metals and Properties of Apple Orchard Soil with Different Planting Ages in Luochuan County

ZHANG Caiyun¹, PANG Jiangli^{1,2}, SHEN Haiyuan¹

(1. College of Tourism and Environmental Science, Shaanxi Normal University, Xi'an,

Shaanxi 710062, China; 2. Institute of Earth Environment, State Key Laboratory of

Loess and Quaternary Geology, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: Soil properties and the contents of its heavy metals in the 20 and 60 age apple orchards of Luochuan County were studied and its environment quality was evaluated. Results show that all the soil samples collected from the orchards were loamy soil with the maximum content of CaCO₃ being 141.71 g/kg, the average content of organic matter being more than 1.26%, and pH value being 7.95~8.62. The soil basically meets the requirements of green apple production. The contents of soil heavy metals in the orchards were higher than its background values. The maximum average content of As was 14.4 mg/kg; Cr, 84.4 mg/kg; Cu, 31.7 mg/kg; Pb, 24.8 mg/kg; Ni, 33.1 mg/kg, and Zn, 144.5 mg/kg. However, single-factor indices of all the soil samples were below 1 and synthetic pollution indices of soil heavy metals were below 0.7. Soil environment quality in the orchards of Luochuan County is evaluated to be good, reaching the "clean" level.

Keywords: soil property; soil heavy metal; planting age; apple orchard; Luochuan County

近年来, 由于世界范围内的食品污染问题日趋严重和人们环境意识的不断提高, 土壤重金属污染及其危害已成为环境科学领域研究的热点, 对无公害苹果和绿色食品苹果的土壤环境质量评价也越来越受到人们的重视^[1-4]。苹果园土壤基本性质与重金属含量的变化能在一定程度上反映出苹果园土壤物质的输

入与迁移状况^[5]。陕西省渭北黄土高原地区地处我国优质苹果产区的中心地带, 所产苹果在世界享有盛名, 但多年种植造成果园土壤质量下降问题已成为威胁该区苹果生产的一个重要问题, 因此研究和评价该苹果生产基地不同种植年限果园的土壤环境质量对无公害苹果生产的影响十分重要。目前对该基地土

收稿日期: 2008-06-05

修回日期: 2008-09-02

资助项目: 国家自然科学基金项目(40471119; 40571154)

作者简介: 张彩云(1982-), 女(汉族), 山西省朔州市人, 硕士研究生, 主要从事土地资源开发与环境演变研究。E-mail: zhangcaiyun0619@126.com。

通信作者: 庞奖励(1963-), 男(汉族), 陕西省西安市临潼区人, 博士, 教授, 主要从事土地资源开发与环境演变研究。E-mail: jlpang@snnu.edu.cn。

壤环境质量方面的研究较少, 而且有关苹果园土壤基本性质方面的系统性研究也较少。本研究通过对该区不同种植年限苹果园土壤理化性质的研究, 试图对其土壤环境状况进行分析与评价, 为当地果业可持续发展 and 果园生态系统环境质量的改善提供依据。

1 试验材料

研究区为陕西省洛川县(109°18′06″–109°45′48″E, 35°21′03″–36°04′08″N)。该地区黄土塬面积约占 1/3, 沟壑约占 2/3, 耕地、果园主要集中在塬面上, 塬面海拔 1 100 m 左右。区内属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年日照时数 2 552 h, 年均气温 9.2 °C, 日照率高达 56%, 辐射总量达 123.6 × 4.18 kJ/cm², 无霜期 180 d, 年均降水量 622 mm。黄土层厚度 80 ~ 220 m, 质地中壤, 通透性强, 光、热、水、土的配合, 特别是气温日差较大, 全生育期昼夜温差最高月达 12.6 °C, 最低月为 9.5 °C, 利于苹果光合物质的积累和运转, 使该地区成为世界上最佳苹果优生区的核心地带之一。2006 年洛川县苹果种植总面积达 3.33 × 10⁴ hm², 人均 0.21 hm²; 苹果总产量 5.1 × 10⁵ t, 总产值 8.0 × 10⁸ 元, 占全县农业总产值的 63.4%。

研究的土壤剖面选择在洛川县阿寺村的两个典型苹果园内(35°47′37.0″N, 109°30′59.7″E, 海拔 1 186 m), 据实地调查, 其中的老果园建于 20 世纪 40 年代, 至今已超过 60 a, 另一果园的种植年限为 20 a, 两果园施肥及管理措施基本相同。期间两果园虽进行过高接换头, 但一直为苹果园, 另外苹果园位于平坦的塬面, 未发生过人工平整土地等活动(即地表仍是原始的自然形态)。两果园可作为不同种植年限苹果园的典型代表。

2 试验与评价方法

2.1 试验方法

野外在苹果园中央人工挖掘样坑, 从地表开始向下每 5 cm 连续采剖面样, 采样深度至 60 cm。样品测试工作在陕西师范大学环境演变实验室完成。样品在室内自然风干。粒度采用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer S 型激光粒度仪进行分析。容重采用环刀法。碳酸钙含量用气量法测量。土壤酸碱性(pH 值)使用上海雷磁公司生产的 PH SJ-4A 型实验室 pH 酸度计测定。总有机碳(TOC)含量使用德国 Elementar 公司生产的 High TOC II 型仪器测定^[6]。微量元素含量用荷兰帕纳科公司生产的 X-Ray 荧光光谱仪(PW2403)测定; 实验过程中加入标准样品(GSS-1)并对部分样品进行重复测定, 分析结果在

实验误差范围内。粒度分级采用中国土壤质地的分类标准(1978 年)。

2.2 果园土壤环境质量评价标准和方法

研究区土壤 pH 值范围为 7.87~8.53, 属微碱性土, 故采用土壤环境质量二级标准中 pH > 7.5 的果园土壤重金属限量值作为主要评价标准(表 1)。根据内梅罗污染指数法的分级标准进行评价。

表 1 土壤环境质量标准(GB15618-1995) mg/kg

土壤环境	As	Cu	Pb	Cr	Zn	Ni
pH < 6.5	40	150	250	150	200	40
6.5 < pH < 7.5	30	200	300	200	250	50
pH > 7.5	25	200	350	250	300	60

2.2.1 单因子污染指数评价法 以土壤单项污染物的实测值与评价标准相比, 比值为分值数, 用以表示土壤中该污染物的污染程度。

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i ——第 i 种污染物的污染分指数; C_i ——第 i 种污染物实测浓度; S_i ——其评价标准。一般 $P_i \leq 1$ 为未污染, $P_i > 1$ 为已污染, $1 < P_i \leq 2$ 为轻度污染, $2 < P_i \leq 3$ 为中度污染, $P_i > 3$ 为重度污染, P_i 越大受到的污染越严重。

2.2.2 多因子综合指数评价法 各类土壤一般为多种重金属所污染, 因而土壤污染评价多应用综合指数法进行污染综合评价。综合指数的算法有多种, 一般采用内梅罗(Nemerow)指数法计算综合指数。

$$P_N = \sqrt{[(\max P_i)^2 + (\overline{P_i})^2] / 2}$$

式中: P_N ——土壤污染综合指数; $\max P_i$ ——土壤污染物中最大的污染分指数; $\overline{P_i}$ ——各污染分指数的算术平均数。综合污染指数分级标准(表 2)。

表 2 土壤污染分级标准

综合污染指数	分级	污染等级	污染水平
$P_N \leq 0.7$	1	安全	清洁
$0.7 < P_N \leq 1$	2	警戒级	尚清洁
$1 < P_N \leq 2$	3	轻污染土壤、作物	已受污染
$2 < P_N \leq 3$	4	中污染土壤、作物	已受中度污染
$P_N > 3$	5	重污染土壤、作物	已受严重污染

3 结果与分析

3.1 不同种植年限果园土壤基本性质

实验结果表明, 60 a 与 20 a 果园土壤容重变化分别在 1.23~1.54 g/cm³ 和 1.32~1.65 g/cm³ 之

间,在 0—60 cm 土层深度,60 a 果园平均容重(分别为 1.45, 1.36 与 1.38 g/cm³)均低于 20 a 果园(分别为 1.46, 1.43 与 1.55 g/cm³)。60 a 果园土壤平均含水量随土层深度增加有升高趋势(16.39% → 18.54%),20 a 果园土壤平均含水量变化幅度较小(14.90% → 15.70%),0—60 cm 土层深度,60 a 果园土壤含水量(分别为 16.39%, 17.24% 与 18.54%)均高于 20 a 果园(分别为 15.00%, 14.90% 与 15.70%)。60 年果园在 0—60 cm CaCO₃ 含量(分别

为 43.86, 57.73 与 110.56 g/kg)远高于 20 a 果园(分别为 5.13, 2.60 与 1.17 g/kg)。60 a 与 20 a 果园土壤有机质含量分别在 1.51%~2.23% 与 1.17%~2.00% 之间,0—60 cm,60 a 果园土壤有机质含量(分别为 1.71%, 1.75% 与 1.70%)均高于 20 a 果园(分别为 1.47%, 1.26% 与 1.45%)。60 a 果园土壤 pH 平均值(8.15)低于 20 a 果园(8.57),均属于中性偏碱土壤。两果园土壤粒度分布以 5~50 μm 颗粒为主,平均含量占土壤颗粒总含量的 67.1% 以上(表 3)。

表 3 洛川县不同种植年限人工苹果园土壤基本性质

深度/ cm	种植年限/ a	含水量/ %	容重/ (g·cm ⁻³)	CaCO ₃ / (g·kg ⁻¹)	pH	TOC/ %	粒度/(g·kg ⁻¹)		
							1 000~50 μm	50~5 μm	<5 μm
0—20	20	15.00	1.46	5.13	8.57	1.47	18.0	67.1	14.8
	60	16.39	1.45	43.86	8.43	1.71	17.5	67.3	15.2
20—40	20	14.90	1.43	2.60	8.62	1.26	14.2	69.2	16.6
	60	17.24	1.36	57.73	8.07	1.75	17.0	68.7	14.3
40—60	20	15.70	1.55	1.17	8.54	1.45	10.6	70.2	19.1
	60	18.54	1.38	110.56	7.95	1.70	14.5	71.4	14.1

注:①表中数据为平均值;②含水量指采样时土壤的含水量;③TOC为总有机碳。

大量研究证实^[7-8],较有利于苹果生长的土壤环境是:土壤 CaCO₃ 含量不高于 150 g/kg;土壤有机质含量应当在 1.2%~1.5% 以上;土壤酸碱度的范围应为 5.3~8.2(即偏酸至微碱);土壤质地以心土通气、排水良好的沙质壤土为最好。本研究对洛川县 20 a 与 60 a 果园土壤的研究显示,所测定的土壤样品中,CaCO₃ 含量最大值为 141.71 g/kg;土壤 TOC 平均含量大于 1.26%(表 3);土壤中偏碱,pH 平均值在 7.95~8.62 之间;土壤 5~50 μm 粉砂级颗粒平均含量占土壤颗粒总含量的 67.1% 以上(表 3)。通过对比可以看出,洛川县 20 a 与 60 a 果园土壤尽管具有较长期的果树栽种历史,但其仍然符合苹果生长的较佳土壤环境要求,仍可继续栽种苹果。

3.2 不同种植年限果园土壤重金属含量及评价

3.2.1 土壤重金属元素含量状况 实验结果表明,60 a 与 20 a 果园土壤 As 含量范围为 15.2~13.5 mg/kg 和 12.2~14.8 mg/kg,大于其背景值(12.1 mg/kg),0—40 cm,60 a 果园 As 平均含量(分别为 14.2 和 14.3 mg/kg)均大于 20 a 果园(分别为 12.8 和 12.9 mg/kg),在 40—60 cm 土层深度则相反;60 a 与 20 a 果园 Cr 含量为 80.1~72.6 mg/kg 和 76.6~88.7 mg/kg,大于其背景值(69.1 mg/kg),0—60 cm,60 a 果园 Cr 平均含量(分别为 76.0, 79.5 和 73.3 mg/kg)均小于 20 a 果园(分别为 79.8, 82.7 和 84.4 mg/kg);60 a 与 20 a 果园 Cu 含量为

48.8~23.2 mg/kg 和 23.7~34.3 mg/kg,大于其背景值(22.2 mg/kg),在 0—40 cm 土层深度,60 a 果园 Cu 平均含量(分别为 31.7 和 24.9 mg/kg)均大于 20 a 苹果园(分别为 27.5 和 24.1 mg/kg),40—60 cm 则相反;60 a 果园 Pb 元素最大平均含量(24.8 mg/kg)大于其背景值(24.0 mg/kg),而 20 a 果园在 0—60 cm 深度 Pb 的平均含量均低于其背景值,0—40 cm,60 a 果园 Pb 平均含量(分别为 24.8 和 20.9 mg/kg)均大于 20 a 果园(分别为 21.4 和 20.8 mg/kg),40—60 cm 则相反;60 a 果园 Ni 含量(34.0~31.3 mg/kg)大于其背景值(31.0 mg/kg),20 a 果园在 40—60 cm 深度 Ni 平均含量(33.1 mg/kg)大于其背景值,0—40 cm,60 a 果园 Ni 平均含量(分别为 31.9 和 32.9 mg/kg)均大于 20 a 苹果园(分别为 30.5 和 30.6 mg/kg),40—60 cm 土层深度则相反;60 a 与 20 a 果园 Zn 含量为 381.8~57.8 mg/kg 和 61.6~67.5 mg/kg,60 a 果园 Zn 最大平均含量(144.5 mg/kg)远大于其背景值(69.6 mg/kg),0—40 cm,60 a 果园 Zn 平均含量(分别为 144.5 和 62.2 mg/kg)均大于 20 a 苹果园(分别为 30.5 和 30.6 mg/kg),40—60 cm 则相反(表 4)^[9]。

3.2.2 不同种植年限果园土壤环境质量 60 a 与 20 a 果园采样土壤各重金属元素的单项污染指数高低不一,其中 As(20 a 为 0.513~0.577,60 a 为 0.557~0.572),Ni(20 a 为 0.508~0.551,60 a 为

0.532~0.548) 的污染指数较高, 而 Cu(20 a 为 0.120~0.138, 60 a 为 0.119~0.158), Pb(20 a 为 0.059~0.061, 60 a 为 0.056~0.071) 的污染指数较低, 但所有环境指标的单项污染指数都小于 1, 综合污染指数(20 a 为 0.590~0.655, 60 a 为 0.404~0.473) 小于 0.7(表 5)。

依据 1995 年国家颁布的无公害果园土壤环境质量标准(表 1), 此含量不足以对苹果的生产造成污

染, 土壤环境质量为清洁。洛川县果园土壤与黄土高原上广泛分布的黑垆土比较, 洛川县不同种植年限果园土壤重金属含量在其背景值的基础上积累不明显, 这也许是因为洛川县果园过去以施有机肥为主, 使用化肥较少, 也可能由于某些元素经树体多年吸收致使含量略有下降^[10-11], 但其重金属元素含量的最大值仍高于区域背景值(表 4), 这应当是果园管理过程中施肥和喷洒农药等人为活动导致的。

表 4 洛川县不同种植年限苹果园土壤重金属元素含量

微量元素	背景值/ (mg·kg ⁻¹)	种植年限/ a	0—20 cm		20—40 cm		40—60 cm	
			范围/ (mg·kg ⁻¹)	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	范围/ (mg·kg ⁻¹)	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	范围/ (mg·kg ⁻¹)	平均值/ (mg·kg ⁻¹)
As	12.1	20	12.6~12.9	12.8	12.2~13.6	12.9	14.2~14.8	14.4
		60	13.6~15.2	14.2	13.6~14.7	14.3	13.5~14.4	13.9
Cr	69.1	20	76.6~86.3	79.8	79.7~88.7	82.7	81.7~86.6	84.4
		60	72.8~78.8	76.0	78.9~80.1	79.5	72.6~73.6	73.3
Cu	22.2	20	24.2~34.3	27.5	23.7~24.7	24.1	24.1~26.3	25.3
		60	24.1~48.8	31.7	24.5~25.5	24.9	23.2~24.8	24.0
Pb	24.0	20	19.8~24.2	21.4	20.2~21.9	20.8	19.2~22.7	20.6
		60	20.8~34.5	24.8	18.6~21.0	20.9	18.9~20.0	19.4
Ni	31.0	20	30.2~31.1	30.5	30.4~30.8	30.6	31.5~34.3	33.1
		60	31.3~32.6	31.9	32.0~34.0	32.9	31.7~33.1	32.4
Zn	69.6	20	62.7~67.5	64.3	61.6~62.2	61.9	61.6~66.7	64.0
		60	62.3~381.8	144.5	60.5~62.8	62.2	57.8~61.1	59.7

注: 表中背景值为黑垆土微量元素含量背景值^[9]。

表 5 洛川县不同种植年限果园土壤重金属元素含量评价结果

土层深度/ cm	种植 年限/a	单项污染指数						综合污染 指数	评价 结果
		As	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn		
0—20	60	0.569	0.304	0.158	0.071	0.532	0.482	0.473	清洁
	20	0.513	0.319	0.138	0.061	0.508	0.214	0.591	清洁
20—40	60	0.572	0.318	0.125	0.057	0.548	0.207	0.404	清洁
	20	0.514	0.331	0.120	0.059	0.510	0.206	0.590	清洁
40—60	60	0.557	0.293	0.119	0.056	0.540	0.199	0.445	清洁
	20	0.577	0.338	0.127	0.059	0.551	0.213	0.655	清洁

4 结论及建议

(1) 洛川县 60 a 果园土壤含水量、有机质含量及 CaCO₃ 含量均高于 20 a 苹果园, 容重、pH 低于 20 a 苹果园, 两果园土壤基本性质特征仍适合优质苹果生长对土壤环境的要求。

(2) 洛川县 60 a 果园与 20 a 果园土壤重金属含量存在明显差异。0—40 cm, 60 a 果园土壤重金属 As, Cu, Pb, Ni 与 Zn 含量均高于 20 a 苹果园, 40—

60 cm 则相反。60 a 果园土壤 Cr 含量在 0—60 cm 低于均 20 a 苹果园。

(3) 洛川县 60 a 果园与 20 a 果园土壤仍具备无公害苹果生产的土壤环境质量条件。虽然土壤重金属含量稍高于其背景值, 但积累不明显, 土壤重金属污染物指标均在国家颁布的无公害苹果环境质量指标范围以内。

(下转第 39 页)

[参 考 文 献]

- [1] 李发东, 宋献方. 华北典型山区坡地径流的退水过程研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(2): 79-84.
- [2] Zecharias Y B, Brutsaert W. Recession characteristic of groundwater outflow and base flow from mountainous watersheds[J]. Water Resources Research, 1988, 24(10): 1651-1658.
- [3] Sugiyama, Hironobu. Analysis and extraction of low flow recession characteristics[J]. Water Resources Bulletin, 1996, 32(3): 491-497.
- [4] Singh P, Huebl H, Weinmeister H W. Use of the recession characteristics of snowmelt hydrographs in the assessment of snow water storage in a basin[J]. Hydrological Processes, 2000, 14(1): 91-101.
- [5] Mishra A, Hata T, Abdelhadi A W. Models for recession flows in the upper Blue Nile River[J]. Hydrological Processes, 2004, 18(15): 2773-2786.
- [6] 张亚丽, 李怀恩. 黄土坡面退水及其氮污染试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报, 2007, 39(1): 71-77.
- [7] Tallaksen L M. A review of baseflow recession analysis[J]. Journal of Hydrology, 1995, 165(22): 349-370.
- [8] Smakhtin V U. Low flow hydrology: a review[J]. Journal of hydrology, 2001, 240(3): 147-186.
- [9] Mohanmond Y. Evaluating Manning's roughness coefficients for tilled soils[J]. Journal of Hydrol., 1992, 135: 143-156.
- [10] 中山大学, 北京大学. 自然地理学(上册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978.
- [11] 华东水利学院. 水力学(上册)[M] 2 版. 北京: 科学出版社, 1983.
- [12] 张科利, 张竹梅. 坡面侵蚀过程中细沟水流动力学参数估算探讨[J]. 地理科学, 2000, 20(4): 326-330.
- [13] 张光辉, 蒋定生, 邵明安, 用非饱和土壤物理参数模拟坡面产流过程研究[J]. 山地学报, 2001, 19(1): 14-18.

(上接第 35 页)

(4) 土壤环境质量的评价过程中还揭示出该地区果园存在着潜在污染可能, 今后洛川县苹果生产中应将土壤环境中的 As 与 Ni 作为严控的土壤污染物, 重点加强对农药、化肥使用的管理, 以确保洛川县苹果基地果业生产的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] 聂继云, 董雅凤. 果园重金属污染的危害与防治[J]. 中国果树, 2002(1): 44-47.
- [2] 张建光, 刘玉芳, 郭素萍. 我国无公害干果产地土壤重(类)金属限量标准研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 153-155.
- [3] 冯明祥, 王佩圣. 青岛郊区果园土壤重金属和农药污染研究[J]. 中国果树, 2002(1): 24-26.
- [4] Martin A C. Contamination by heavy metals in soils in the neighborhood of a scrap yard of discarded vehicles[J]. Sci. Total Environ, 1998, 212(2/3): 145-152.
- [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.
- [6] 庞奖励, 黄春长, 张旭, 等. 白鹿原人工果树林地土壤和农耕地土壤微形态对比研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 792-800.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. NY 5013-2001 无公害食品苹果产地环境条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 1-4.
- [8] 赵政阳, 梁俊. 陕西澄城县苹果园环境质量评价[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 222-225.
- [9] 田均良, 黄义端, 李雅琦. 黄土高原土壤剖面发生学特征和元素背景值的垂直分异现象[J]. 中国环境监测, 1992, 8(3): 56-62.
- [10] 单正军, 王连生, 蔡道基, 等. 果园土壤铜污染状况及其对作物生长的影响[J]. 农业环境保护 2002, 21(2): 119-121.
- [11] 李丽霞, 郝明德, 薛晓辉, 等. 黄土高原沟壑区苹果园土壤重金属含量特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 65-69.