

洛川苹果园土壤养分等级及与有机质的关系

王 蒙, 姬 强, 赵世翔, 王旭东

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在苹果优生区洛川县域范围内, 选取管理措施不同的果园采集土壤样品, 对其土壤有机质、全量 N、P、K 及速效养分和微量元素进行了等级分布研究。分析结果表明, 洛川果园土壤有机质、全氮、碱解氮属于偏低水平; 土壤有效磷变异大, 部分果园有累积现象, 土壤速效钾含量丰富。微量元素铁、锰、铜、锌较缺乏, 相对而言, 缺锌程度最大; 土壤有效铜变异较大。土壤有机质与全氮、碱解氮和有效磷呈极显著正相关, 与有效铁、有效锌呈显著正相关, 与有效铜、有效锰的相关性较低; 苹果园产量随着土壤有机质含量的增加而增多。

关键词: 洛川; 苹果果园; 土壤养分; 水平等级

中图分类号: S606.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0179-07

Grade of soil nutrients and their correlation with organic matter in apple orchards in Luochuan

WANG Meng, JI Qiang, ZHAO Shi-xiang, WANG Xu-dong

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In Luochuan County, Shaanxi province where was a suitable growing area of apple, different orchards were chosen to analyze the grade of soil organic matter, total N, total P, total K, available nutrients and trace elements. The results showed that the levels of soil organic matter, total N and available N were low; the coefficient of variation (CV) of soil available P was high, and it was accumulated in some orchards; the content of soil available K was high. The content of trace elements such as Fe, Mn, Cu and Zn was low, in which the shortage of Zn was most remarkable, and the CV of soil available Cu was relatively high. The soil organic matter was very significantly correlated with total N, available N and available P, and was significantly correlated with available Fe and Zn, but was not significantly correlated with available Cu and Mn. The yield of orchards increased with the increase of soil organic matter content.

Keywords: Luochuan; apple orchard; soil nutrient; grade

洛川县域范围内土壤以黑垆土为主, 土层深厚, 适宜于苹果生长。但土壤肥力总体偏低, 并且随着近 30 年来果树栽植规模的迅速发展, 果农采用的管理方式不同使得土壤肥力发生较大变异, 有的元素过多施用甚至出现富集现象。很多研究表明^[1-4], 土壤养分的丰缺对果实品质和果园产量起着决定性作用。土壤有机质含量的多少直接影响着土壤氮、磷以及微量元素的含量, 也对果园产量起着重要作用。据报道, 世界苹果单产最高的新西兰, 果园土壤有机质含量达到 $57 \sim 126 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[5], 国内高产优质的果园土壤有机质含量达到 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上^[6]。为了进一步掌握该区域果园养分的肥力水平, 促进苹果产业的持续发展, 本研究在对洛川县域进行充分

调查的基础上, 对不同类型代表性果园进行采样, 对果园土壤养分状况进行了分析和评估, 研究了土壤有机质与其他营养元素的相互关系, 期望为果园科学管理和施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及概况

洛川县 ($109^{\circ}18'06'' \sim 109^{\circ}45'48'' \text{E}$, $35^{\circ}21'03'' \sim 36^{\circ}04'08'' \text{N}$) 位于陕西省中部, 平均海拔为 1 100 m, 年均降水量 621.21 mm, 土层深度为 80 ~ 220 m, 年日照时数 2 552 h, 年均气温 9.2℃, 昼夜温差 15.7℃, 这些优越的自然条件使得洛川成为世界最佳苹果优生区之一。洛川苹果已有 50 多年的栽培

收稿日期: 2013-02-27

基金项目: 十二五科技支撑计划资助课题(2012BAD14B11); 陕西省科技统筹计划项目(2011KTDZ02-01)

作者简介: 王 蒙(1988—), 女, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 研究方向为土壤化学。E-mail: wmtcbb@qq.com。

通信作者: 王旭东(1965—), 男, 河南南阳人, 教授, 研究方向为土壤与环境化学。E-mail: wangxudong01@126.com。

历史,目前洛川苹果种植面积为 34 000 hm²,苹果总产量达到 60 万 t。洛川苹果因其营养丰富和风味独特享誉国内外,成为洛川的特色产业和经济支柱。

1.2 土样的采集

在对洛川县域进行充分调查的基础上,对不同代表性果园进行采样,研究的土壤分布在洛川 65 个果园中,果园为 10—15 年左右的盛果期果园,土壤类型主要为黑垆土,采集土样时间为 2010 年 10 月中旬,一个果园作为一个采样单元,每个果园随机采 10 个点,距树干 1 m 采集 0~40 cm 的土壤,四分法留取 1 kg 带回实验室自然风干后进行检测。

1.3 分析测定方法

土壤有机质用重铬酸钾容量法测定,土壤全氮用开氏法测定,测定土壤全磷用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法,土壤全钾用 NaOH 熔融-火焰光度法,碱解氮用碱解扩散法,速效磷用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法,速效钾用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法,土壤有效铜、锌、铁、锰用 DTPA-TEA 浸提,原子吸收分光光度法测定,有效硼测定用甲亚胺比色法^[7]。

2 结果与分析

2.1 土壤养分基本情况

洛川果园土壤有机质含量变幅为 2.52~22.56 g·kg⁻¹,平均为 10.23 g·kg⁻¹,属于中等水平;土壤中全氮含量变化范围为 0.12~1.61 g·kg⁻¹,平均含量为 0.772 g·kg⁻¹;土壤碱解氮含量变幅为 13.95~103.6 mg·kg⁻¹,平均值为 50.24 mg·kg⁻¹,属于中等水平;全磷含量变幅为 0.26~1.195 g·kg⁻¹,平均含量为 0.695 g·kg⁻¹;有效磷含量变幅为 3.5~85.9 mg·kg⁻¹,平均值为 16.89 mg·kg⁻¹,属于较高水平;全钾含量变幅为 6.42~22.65 g·kg⁻¹,平均含量为 12.86 g·kg⁻¹;速效钾含量变幅为 58~425 mg·kg⁻¹,平均含量为 178 mg·kg⁻¹,属于较高水平。对于微量元素,土壤中有有效铁含量变幅为 5.6~12.8 mg·kg⁻¹,平均值为 7.5 mg·kg⁻¹,属于适中水平;有效锰含量变幅为 2.8~22mg·kg⁻¹,平均值为 9.1

mg·kg⁻¹,含量缺乏;有效铜含量变幅为 0.29~2.1 mg·kg⁻¹,平均值 1.24 mg·kg⁻¹,含量适中;有效锌含量变幅为 2.1~29 mg·kg⁻¹,平均值为 0.98 mg·kg⁻¹,含量缺乏。营养元素的变异系数显示,果园土壤有效磷的变异系数最高为 45%,说明土壤中的有效磷差异较大,这与不同果农磷肥施用量不同有关。有研究指出,部分果园因磷肥施用过多出现累积现象^[8]。在所研究的微量元素中,土壤有效铜的变异系数最高为 30%,这与果农使用含铜的杀菌剂如波尔多液的多少有关,从而引起土壤中铜有较大变异。

表 1 陕西省洛川县果园土壤养分状况

Table 1 Soil nutrients in apple orchards in Luochuan County, Shaanxi Province

项目 Item	平均值 Mean	最高值 Max	最低值 Min	标准差 SD	变异系数 CV/%
有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	10.23	22.56	2.52	2.32	23
全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	0.772	1.61	0.12	0.21	29
碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available N	50.24	103.6	13.95	19.8	35
全磷/(g·kg ⁻¹) Total P	0.695	1.195	0.26	0.07	12
有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	16.89	85.90	3.50	4.90	45
全钾/(g·kg ⁻¹) Total K	12.86	22.65	6.42	1.98	18
速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available K	178	425	58	49.59	28
有效铁/(mg·kg ⁻¹) Available Fe	7.5	12.8	5.6	0.89	17
有效锰/(mg·kg ⁻¹) Available Mn	9.1	22	2.8	1.53	15
有效铜/(mg·kg ⁻¹) Available Cu	1.24	2.1	0.29	0.39	30
有效锌/(mg·kg ⁻¹) Available Zn	0.98	29	2.1	0.27	28

2.2 果园土壤养分分布特征

根据黄土高原养分分级指标^[9](见表 2),对研究区果园土壤的有机质、大量元素、微量元素进行了分级研究。

表 2 黄土高原土壤养分分级指标

Table 2 The classification indicators of soil nutrients in Loess Plateau

分级级别 Classification	分级名称 Level	有机质 OM /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)
I	高 High	>40	>2	200	>30	>200
II	较高 Upper middle	20~40	1~2	100~200	10~30	100~200
III	中 Middle	10~20	0.75~1	50~100	5~10	50~100
IV	较低 Lower middle	6~10	0.5~0.75	30~50	2~5	30~50
V	极低 Low	<6	<0.5	<30	<2	<30

2.2.1 土壤有机质分布规律 在所调查的果园中, 50%的果园有机质含量为 10~20 g·kg⁻¹,属于中等水平,40%的果园有机质含量为 5~10 g·kg⁻¹,属于较低水平;属于极低水平(小于 5 g·kg⁻¹)以及高水平的(大于 20 g·kg⁻¹)的果园各占 5%。这说明大部分果园土壤有机质属于中等偏低水平,达到高水平的果园占的比例很少。这一方面与果园施用有机肥较少有关,另一方面也与果农为了防止病虫害,对果园进行清园管理,每年都把落叶等从土壤中清扫出有关。研究发现,黄土高原区苹果果树种植出现有机质降低的现象^[10]。

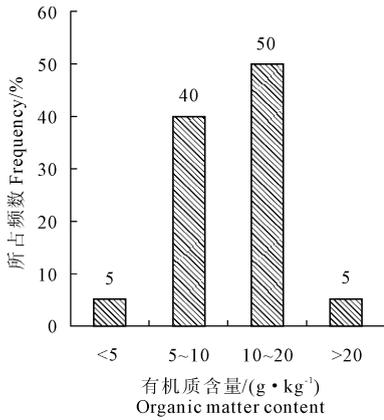


图 1 土壤有机质分布规律

Fig.1 Distribution of soil organic matter

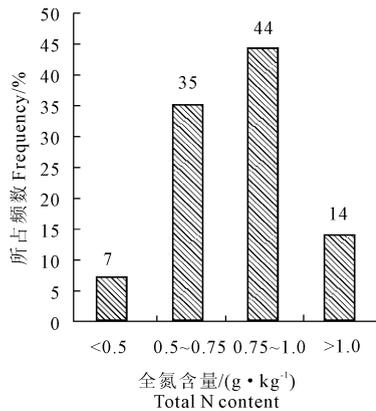


图 2 土壤全氮分布规律

Fig.2 Distribution of total N

2.2.2 土壤全氮及碱解氮分布规律 所调查果园中,44%的果园全氮含量为 0.75~1.0 g·kg⁻¹,属于中等水平;35%的果园全氮含量为 0.5~0.75 g·kg⁻¹,属于较低水平;属于极低水平(小于 0.5 g·kg⁻¹)的果园为 7%,属于较高水平(大于 1 g·kg⁻¹)的果园为 14%。28.8%的果园碱解氮含量

小于 50 mg·kg⁻¹,属于较低水平;66.7%的果园碱解氮含量为 50~100 mg·kg⁻¹,属于中等水平;碱解氮属于较高水平(含量大于 100 mg·kg⁻¹)的果园只占 4.5%。总体看来,洛川果园土壤全氮、碱解氮含量较低,这与土壤有机质含量偏低有着密切的关系。

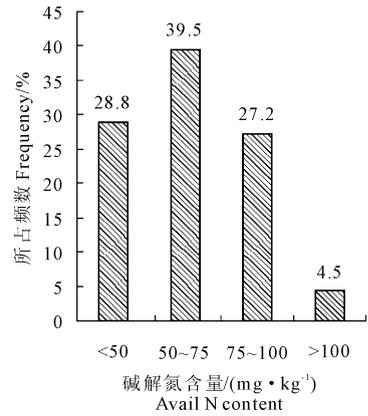


图 3 土壤碱解氮分布规律

Fig.3 Distribution of available N

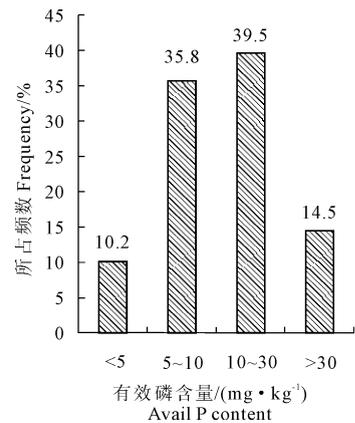


图 4 土壤有效磷分布规律

Fig.4 Distribution of available P

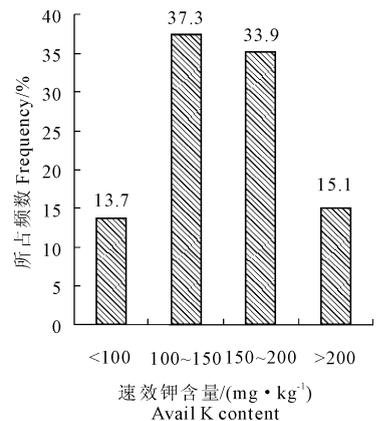


图 5 土壤速效钾分布规律

Fig.5 Distribution of available K

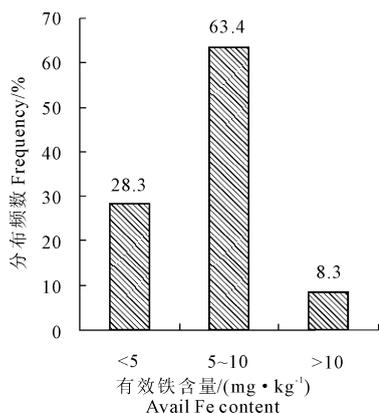


图 6 土壤有效铁分布规律

Fig.6 Distribution of available Fe

2.2.3 土壤有效磷及速效钾分布规律 在所调查的果园中,有效磷含量属于较低水平(小于 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的果园占 10.2%,35.8%的果园有效磷含量属于中等水平(含量为 $5 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),39.5%的果园有效磷含量属于较高水平(含量为 $10 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),属于高水平(大于 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的果园为 14.5%。总体看来,洛川果园土壤的有效磷水平相对较高,这与果农投入较多磷肥以及磷素在土壤中的富集有一定关系。

速效钾含量属于高水平(大于 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的果园占 15.1%,属于较高水平($100 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的果园占 71.2%,属于中等及以下水平(小于 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的果园有 13.7%。说明果园土壤速效钾的水平较高,这一方面与黄土母质发育的土壤钾素相对丰富有关,另一方面与果农对钾素投入相对重视有关。

2.2.4 土壤有效态微量元素分布规律 土壤有效态微量元素的分级指标是参考张进^[11]土壤有效态微量元素分级指标,具体如表 3 所示。

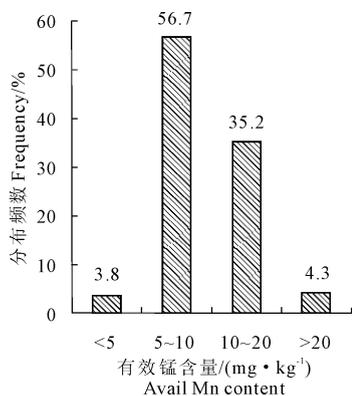


图 7 土壤有效锰分布规律

Fig.7 Distribution of available Mn

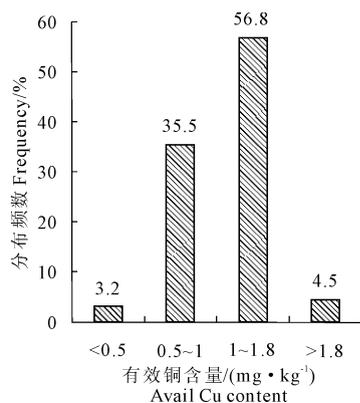


图 8 土壤有效铜分布规律

Fig.8 Distribution of available Cu

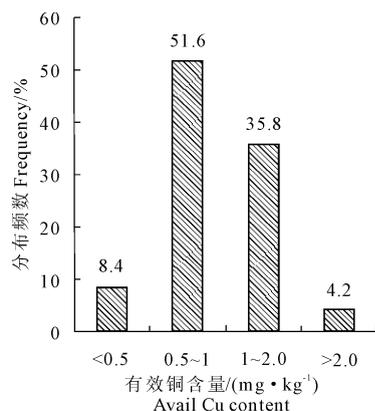


图 9 土壤有效锌分布规律

Fig.9 Distribution of available Zn

表 3 陕西土壤有效态微量元素分级指标/(mg·kg⁻¹)

Table 3 Classification indicators of soil available trace elements in Shaanxi Province

元素名称 Element	严重缺乏 Very scarce	缺乏 Scarce	适中 Moderate	较丰富 Rich
Fe	<2.5	2.5~5.0	5.0~10	>10
Mn	<1.0	1.0~10	10~20	>20
Cu	<0.1	0.1~1.0	1.0~1.8	>1.8
Zn	<0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	>2.0

在所调查的果园中,有效铁含量较缺乏的果园占 28.3%,含量适中的占 63.4%,只有 8.3%的果园有效铁含量达到较丰富水平(大于 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),总体看来,多数果园有效铁偏低。有效锰含量较缺乏的果园占 60.5%(含量小于 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),含量适中的占 35.2%,含量比较丰富的仅占 4.3%(大于 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),说明大部分果园土壤缺乏有效锰。有效铜含量比较丰富的果园占 4.5%(大于 $1.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),含量适中的占 56.8%,含量较缺乏的占 35.5%,严重缺乏的占 3.2%。后两者所占比例接近 40%,说明仍有一部分果园土壤有效铜含量偏低。

有效锌含量比较丰富的果园只占 4.2%, 含量适中的占 35.8%, 含量较缺乏的占 51.6%, 严重缺乏的占 8.4%。后两者占比例接近 60%, 说明大部分果园土壤有效锌含量较缺乏。

高浓度的铁会抑制锌在树体中的吸收和运输, 根系中的锌又会调节树体中锌铁的平衡^[12]; 锰含量高并不影响铁含量的变化, 但是缺铁的果树会造成叶片锰含量的降低^[13]。铜影响着叶绿素的稳定性, 铁、锌和锰都是组成叶绿素的重要成分之一, 锌参与果实中蛋白质和淀粉的形成, 适量的锌可以使果实体积增加^[14]; 铁可以增加果实中可溶性固形物、维生素 C、还原糖和可溶性糖的含量^[15]; 锰是硝酸还原成氨的辅助因素, 充足的锰可以促进氨基酸和蛋

白质的合成^[16]。在研究区域中, 应该提高土壤有效锌和有效锰的有效性。

2.3 土壤有机质与主要营养元素的相互关系

土壤有机质是氮的主要来源, 同时也对土壤磷素以及微量元素的有效性具有重要的调节功能^[17]。表 4 是土壤各养分间及其与果实产量间的相关性。有机质与土壤各营养成分均呈正相关性, 其中与有效铁、有效锌、有效磷、全氮和碱解氮的相关系数较高, 分别为 0.915、0.846、0.982、0.969 和 0.902, 说明提高土壤有机质含量可以显著提高土壤氮、磷、铁和锌的有效性; 有机质与产量的相关系数为 0.977, 说明有机质的增加可以显著提高果实产量。

表 4 土壤养分含量与果实产量间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between soil nutrient content and fruit yield

项目 Item	有机质 OM	有效铁 Available Fe	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn	有效锰 Available Mn	有效磷 Available P	全氮 Total N	碱解氮 Available N	产量 Yield
有机质 OM	1.000								
有效铁 Available Fe	0.915	1.000							
有效铜 Available Cu	0.432	0.431	1.000						
有效锌 Available Zn	0.846	0.844	0.631	1.000					
有效锰 Available Mn	0.278	0.278	0.770	0.449	1.000				
有效磷 Available P	0.982	0.991	0.375	0.828	0.236	1.000			
全氮 Total N	0.969	0.999	0.431	0.834	0.278	0.989	1.000		
碱解氮 Available N	0.902	0.985	0.481	0.795	0.292	0.968	0.986	1.000	
产量 Yield	0.977	0.977	0.459	0.851	0.298	0.967	0.973	0.956	1.000

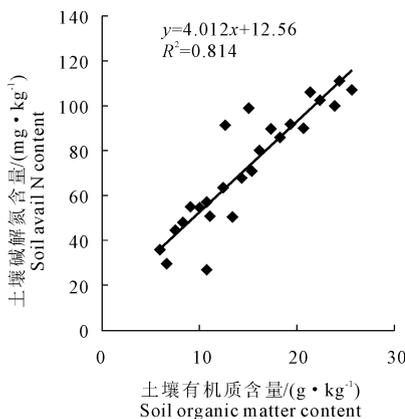


图 10 土壤有机质与碱解氮的关系

Fig. 10 The correlation analysis between SOM and available N

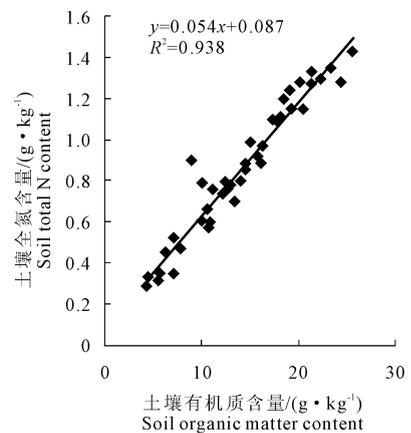


图 11 土壤有机质与全氮的关系

Fig. 11 The correlation analysis between SOM and total N

土壤有机质与有效铁、有效锌呈显著正相关, 但与有效铜及有效锰的相关性较低, 达不到显著水平。说明土壤有机质可以活化或与土壤锌、铁等络合, 从而增加了铁、锌的有效性^[18]。在黄土高原区的有关研究表明^[19], 影响土壤锰含量分布的因子较多, 所

调查果园的土壤类型为黑垆土, 其中的黑垆土层本身含有较多的锰, 但由于含碳酸钙和碱性偏高, 导致有效锰含量较低。另外, 铜元素在果树喷洒的杀菌剂中应用较多, 这也可能是其与有机质关系不密切的主要原因。

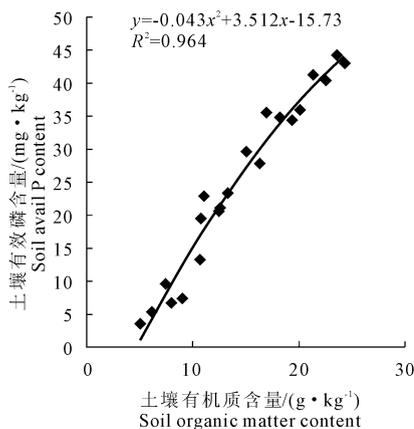


图 12 土壤有机质与有效磷的关系

Fig. 12 The correlation analysis between SOM and available P

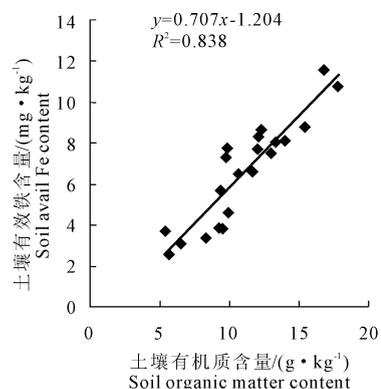


图 13 土壤有机质与有效铁关系

Fig. 13 The correlation analysis between SOM and available Fe

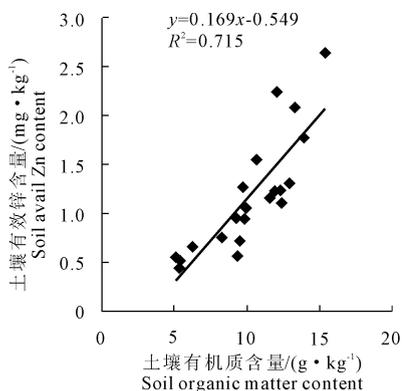


图 14 土壤有机质与有效锌关系

Fig. 14 The correlation analysis between SOM and available Zn

有机质含量可以作为衡量果园产量的重要指标之一,调查分析表明,在同一个区域,果园产量与土壤有机质之间有密切关系(见图 17)。在研究的果园中,果园等级按照产量的不同分为 5 级,1 级果园

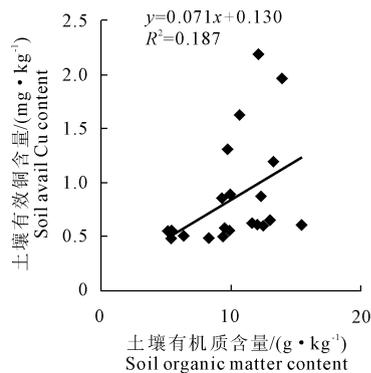


图 15 土壤有机质与有效铜关系

Fig. 15 The correlation analysis between SOM and available Cu

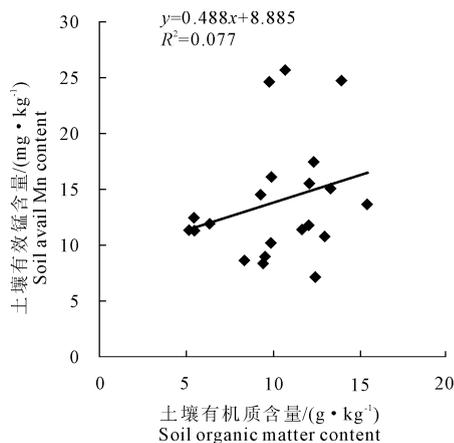


图 16 土壤有机质与有效锰关系

Fig. 16 The correlation analysis between SOM and available Mn

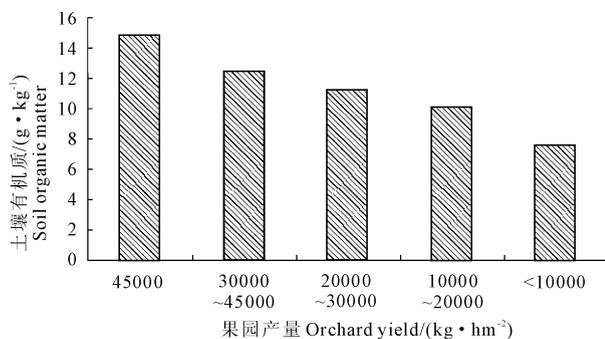


图 17 果园产量水平与土壤有机质分布规律

Fig. 17 Distribution of orchard yield and SOM

的产量为 45 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其果园土壤有机质平均含量为 14.85 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 2 级果园产量为 30 000 ~ 45 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其果园土壤有机质平均含量为 12.47 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 3 级果园产量为 20 000 ~ 30 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其果园土壤有机质平均含量为 11.28 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 4 级果园产量为 10 000 ~ 20 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其土壤有机质平均含量为 10.12 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 5 级的果园产量小于

10 000 kg·hm⁻², 土壤有机质平均含量为 7.54 g·kg⁻¹。由此看出, 土壤有机质是果园土壤的肥力基础, 决定着果园土壤有效养分含量以及苹果产量。因此, 果园培肥的最重要措施就是提高土壤有机质含量。

3 结 论

1) 研究的果园中, 各果园经过 10—15 年不同施肥, 土壤有效磷、有效铜和碱解氮的变异较大, 土壤有机质、全氮和碱解氮含量中等偏低, 有效磷和速效钾含量属于较高水平; 土壤有效铁和有效铜含量中等偏低, 有效锰和有效锌含量偏低, 应着重提高有效锰和有效锌的含量。总体而言, 果园土壤多数处于中等偏低肥力水平。

2) 土壤有机质与全氮、碱解氮和有效磷呈极显著正相关, 与有效铁、有效锌呈显著正相关, 与有效铜、有效锰的相关性较低。土壤有机质与果园产量呈正相关。提高土壤有机质含量是全面提高果园土壤肥力的关键。

3) 提高洛川果园土壤肥力, 增施有机肥是最有效的途径, 通过施用有机肥使土壤有机质含量为 10~20 g·kg⁻¹以上, 达到中等偏高水平, 是果园持续发展的关键。

参 考 文 献:

[1] 宋爱萍, 魏海勤. 从晋中果园土壤养分调查看平衡施肥的必要性[J]. 应用研究, 2004, 6(3): 53-57.
 [2] 刘成先. 果园土壤管理与施肥(二): 土壤管理[J]. 北方果树, 2005, (2): 43-47.

[3] 夏国海, 陈英照, 孙守如. 黄河故道地区果园土壤和叶片营养特点研究[J]. 果树科学, 1998, 15(3): 207-211.
 [4] 刘子龙, 张广军, 赵政阳, 等. 陕西苹果主产区丰产果园土壤养分状况的调查[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(2): 50-53.
 [5] 辽宁省果树科学研究所. 果园土壤管理与施肥技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1991.
 [6] 全国红富士优质高产技术推广协作组. 红富士苹果优质高产栽培技术[J]. 北方果树, 1993, 1: 31-33.
 [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
 [8] 卢树昌, 陈 清, 张福锁, 等. 河北果园主要分布土壤磷素投入特点及磷负荷风险分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3149-3157.
 [9] 彭 琳, 余存祖, 王继增. 黄土高原旱作土壤养分含量与供给[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1995, 25(2): 117-122.
 [10] 张 义, 谢永生, 郝明德, 等. 黄土塬面果园土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1170-1175.
 [11] 张 进. 渭北苹果园土壤养分状况调查与评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学资源与环境学院, 2010.
 [12] 王衍安, 董佃朋, 李 坤, 等. 铁锌互作对苹果锌、铁吸收分配的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(7): 1469-1478.
 [13] 叶优良, 杨素勤, 黄玉芳. 苹果铁锰含量变化及其关系[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 323-325.
 [14] 王中英, 古润泽, 杨佩芳, 等. 不同砧木苹果树体内锌含量变化的研究[J]. 落叶果树, 1992, (3): 9-12.
 [15] 许安民, 尚皓博, 翟丙年. 叶绿素球肥对防治苹果树缺铁失绿的效应[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(6): 44-48.
 [16] 关军锋, 马智宏. 采后苹果果实 Ca, Mg, K 元素的再分配[J]. 华北农学报, 1999, 14(增刊): 79-82.
 [17] 刘松忠, 张 强, 赵昌杰. 果园土壤有机质对土壤特性与过失品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(36): 21104-21106.
 [18] 刘合满, 张兴昌, 苏少华. 黄土高原主要土壤锌有效性及其影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 898-902.
 [19] 彭 琳, 彭祥林, 余存祖. 黄土区土壤锰的含量及锰肥肥效[J]. 土壤通报, 1981, 6: 16-19.

(上接第 149 页)

[10] 姜朋辉, 赵锐锋, 赵海莉, 等. 1975 年以来黑河中游地区土地利用/覆被变化时空演变[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(5): 473-479.
 [11] 潘竟虎, 刘菊玲, 王 建. 基于遥感与 GIS 的江河源区土地利用动态变化研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 419-425.
 [12] 林 佳, 宋 戈, 宋思铭. 景观结构动态变化及其土地利用生态安全[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5918-5927.
 [13] 韩武波, 贾 薇, 孙泰森. 基于 3S 的平朔矿区土地利用及景观格局演变研究[J]. 中国土地科学, 2012, 26(4): 60-65.
 [14] 何 鹏, 张会儒. 常用景观指数的因子分析和筛选方法研究

[J]. 林业科学研究, 2009, 22(4): 470-474.
 [15] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版)[J]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 90-101.
 [16] 王生霞, 丁永建, 叶柏生, 等. 基于气候变化和人类活动影响的土地利用分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 828-834.
 [17] 李传哲, 于福亮, 刘 佳, 等. 近 20 年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 353-363.
 [18] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红. 新疆和田河流域土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 326-333.