

# Effects of Soil Copper and Sulfur Contents on Leaf Growth and Fruit Quality of Young Bearing Apple Trees\*

Lixin Dong, Baoguo Li<sup>#</sup>, Guohui Qi, Suping Guo, Lili Shi, Liyuan Ma, Xixing Liu

College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding  
Email: {donglixinqwe, #lbg88}@163.com

Received: Feb. 28th, 2012; revised: Apr. 9th, 2012; accepted: Apr. 19th, 2012

**Abstract:** The young bearing apple trees which were planted in the flood land filled by pyrite ironsand harmed by copper and sulfur in different degrees were used as materials to study the effects of different soil copper and sulfur contents on leaf growth and fruit quality of young bearing apple trees. The results showed that leaf areas of normal trees, the mildly affected trees and the severely affected trees in shoot growth rapidly period in spring were 20.91, 14.20, 8.28 cm<sup>2</sup>. The leaf copper contents of normal trees, the mildly affected trees and the severely affected trees in leaf expansion period were 19.0, 20.0, 21.3 mg·kg<sup>-1</sup>, and the contents were 4.25, 4.67, 3.18 times as high as that in vernal shoot retardation period. The leaf sulfur contents of the mildly affected trees and the severely affected trees were 4812.5, 8324.8 mg·kg<sup>-1</sup> at the maximum in the autumn shoot retardation period. The leaf sulfur content of normal trees in leaf expansion period was 2839.6 mg·kg<sup>-1</sup> at the maximum in vernal shoot retardation period. Yield per plant and single fruit weight of normal trees were 6.21 kg, 194.6 g, and were 1.86, 1.22 times of the mildly affected trees and were 51.75, 1.62 times of the severely affected trees. Soluble solids content of the mildly affected trees and the severely affected trees were 17.00%, 18.30%, and were significantly higher than that of normal trees. Fruit firmness of the severely affected trees was 13.5 kg/cm<sup>2</sup>, and significantly higher than that of the mildly affected trees and normal trees.

**Keywords:** Primary Fruit Stage Apple Trees; Copper; Sulfur; Leaf Growth; Fruit Quality

## 土壤铜、硫含量对初果期苹果树叶片生长和果实品质的影响\*

董丽欣, 李保国<sup>#</sup>, 齐国辉, 郭素萍, 施丽丽, 马丽媛, 刘喜星

河北农业大学林学院, 保定  
Email: {donglixinqwe, #lbg88}@163.com

收稿日期: 2012年2月28日; 修回日期: 2012年4月9日; 录用日期: 2012年4月19日

**摘要:** 以硫铁矿尾矿砂河滩垫地上栽植的受不同程度铜、硫危害的初果期苹果树为试材, 研究了土壤中不同铜、硫含量对初果期苹果树叶片生长和果实品质的影响。结果表明: 春梢旺长期生长正常树、轻度受害树、重度受害树的叶面积分别为 20.91、14.20、8.28 cm<sup>2</sup>; 展叶后生长正常树、轻度受害树、重度受害树叶片的铜含量分别为 19.0、20.0、21.3 mg·kg<sup>-1</sup>, 分别是春梢停长期的 4.25、4.67、3.18 倍。轻度受害树和重度受害树叶片的硫含量在秋梢停长期达到最高, 分别为 4812.5、8324.8 mg·kg<sup>-1</sup>; 生长正常树叶片的硫含量在春梢停长期达到最高, 为 2839.6 mg·kg<sup>-1</sup>。生长正常树的单株产量、单果重分别为 6.21 kg、194.6 g, 是轻度受害树的 1.86 倍、1.22 倍, 是重度受害树的 51.75 倍、1.62 倍; 轻度受害树和重度受害树果实的可溶性固形物含量为 17.00%、18.30%, 极显著高于生长正常树; 重度受害树的果实硬度为 13.5 kg/cm<sup>2</sup>, 极显著高于轻度受害树和生长正常树。

\*基金项目: 林业公益性行业科研专项(201004024); 河北省科技支撑项目(11230605D)。

<sup>#</sup>通讯作者。

**关键词:** 初果期苹果树; 铜; 硫; 叶片生长; 果实品质

## 1. 引言

苹果是世界四大水果之一, 具有悠久的栽培历史和广泛的分布范围。河北省太行山区是红富士苹果的适宜栽培区, 同时太行山具有较多的硫铁矿资源, 随着硫铁矿资源的开发利用, 产生的大量硫铁矿尾矿砂多用于土壤复垦, 其中含有大量的铜、硫等元素。铜既是植物生长发育必需的微量营养元素, 又是环境污染的重金属元素<sup>[1]</sup>。植物铜中毒后生长受阻、植株矮小且主根生长不良<sup>[2,3]</sup>。硫已经成为世界公认的继氮、磷和钾之后的第 4 位植物生长必需的营养元素<sup>[4]</sup>。但硫过多时会抑制大白菜出苗率<sup>[5]</sup>, 造成土壤板结, 龟裂明显, 保水性差<sup>[6]</sup>。土壤中铜、硫含量过多, 苹果树根系和地上部分生长会受到抑制, 同时极显著降低了枝条的萌芽率和花序坐果率<sup>[7]</sup>, 但是, 目前未见有关土壤铜、硫污染对初果期苹果树叶片和果实品质影响的报道。河北省内丘县侯家庄乡岗底村于 1997 年在特大洪水冲毁耕地后形成的的河滩上用硫铁矿尾矿砂和耕地土混合垫起了耕地, 2005 年春季栽植红富士苹果树, 部分园片的苹果树一直生长缓慢, 生长 3 a 后个别植株死亡, 5 a 后大部分植株死亡。为查明原因, 于 2009~2011 年以该地块栽植的初果期苹果树为试验材料, 研究了土壤中不同铜、硫含量对初果期苹果树叶片和果实品质的影响。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验地概况

试验在河北省内丘县侯家庄乡岗底村进行。该村位于太行山南段东麓的内丘县西 65 km 处, 海拔高 518~1134 m, 年均降水量 523 mm, 年均气温 11.6℃, 无霜期 180 d, 土壤 pH 值为 6.9。试验地为在 1996 年特大洪水冲毁耕地后形成的河滩地上用硫铁矿尾矿砂和耕地土混合垫起的耕地, 土层厚度为 40~50 cm, 2005 年以前种植农作物, 2005 年春季栽植红富士苹果树。

### 2.2. 试验材料

于 2009 年和 2010 年 3 月~10 月, 随机抽取 4 a 生生长正常树(生长结果正常)、轻度受害树(30%~40%

的一年生枝枯死)、重度受害树(50%以上的二年生枝枯死)各 3 株, 分 5 个时期采集叶样——5 月 3 日(展叶后)、5 月 25 日(春梢旺长期)、6 月 28 日(春梢停长期)、8 月 29 日(秋梢生长期)和 10 月 20 日(果实采收期), 分别于树体四个方向取新梢中部叶片 0.2 kg。取样后 30 片用于测定叶片的长度和宽度, 其余用自来水冲洗干净, 再用去离子水冲洗, 杀青、烘干、粉碎待用。在果实成熟期分别于树体东、南、西、北 4 个方向摘取果实各 3 个待用。

### 2.3. 测定方法

叶面积测定: 叶面积 = 长 × 宽 × 2/3<sup>[8]</sup>。植物样品中 S 含量测定采用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮, BaSO<sub>4</sub> 比浊法<sup>[9]</sup>; 植物样品中 Cu 含量测定采用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮, 原子吸收分光光度法<sup>[10]</sup>。采收时测定单株果实产量, 用称重法测定单果重, 用 GY-1 型果实硬度计测定果实硬度, 用 WTY-5 型糖量折光仪测定可溶性固形物, 用铁氰化钾法测定<sup>[11]</sup>果实中可溶性糖含量, 用氢氧化钠滴定法测定<sup>[12]</sup>可滴定酸含量。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 土壤铜、硫含量对初果期苹果树叶片生长的影响

不同时期初果期苹果树叶片叶面积如表 1 所示。由表 1 可见, 展叶后到春梢旺长期是叶面积迅速增大的时期, 生长正常树、轻度受害树、重度受害树展叶后叶面积分别为 8.01 cm<sup>2</sup>、3.84 cm<sup>2</sup>、1.92 cm<sup>2</sup>, 春梢旺长期叶面积分别为 20.91 cm<sup>2</sup>、14.20 cm<sup>2</sup>、8.28 cm<sup>2</sup>, 之后叶面积变化不大。在各个时期, 生长正常树的叶面积均极显著高于轻度受害树, 轻度受害树极显著高于重度受害树。土壤铜、硫污染极显著抑制了叶片的生长。

### 3.2. 土壤铜、硫含量对初果期苹果树叶片中铜、硫含量的影响

#### 3.2.1. 土壤铜、硫含量对初果期苹果树叶片铜含量的影响

初果期苹果树不同时期叶片铜含量如表 2 所示。

土壤铜、硫含量对初果期苹果树叶片生长和果实品质的影响

Table 1. Leaf areas of young bearing apple trees in different periods/cm<sup>2</sup>  
表 1. 不同时期初果期苹果树叶片叶面积/cm<sup>2</sup>

土壤铜、硫含量 /mg·kg <sup>-1</sup>	展叶后 (2010.5.3)	春梢旺长期 (2010.5.25)	春梢停长期 (2010.6.28)	秋梢生长期 (2010.8.29)	果实采收期 (2010.10.20)
生长正常树 铜含量: 34.5 ± 0.8 硫含量: 354.7 ± 22.5	8.01 ± 0.50 A	20.91 ± 0.11 A	23.81 ± 2.52 A	24.07 ± 0.52 A	26.77 ± 0.53 A
轻度受害树 铜含量: 55.6 ± 0.2 硫含量: 1577.3 ± 83.5	3.84 ± 0.34 B	14.20 ± 1.46 B	15.21 ± 1.17 B	16.07 ± 0.87 B	17.41 ± 1.44 B
重度受害树 铜含量: 61.5 ± 0.3 硫含量: 2548.0 ± 45.9	1.92 ± 0.15 C	8.28 ± 0.82 C	9.40 ± 0.51 C	10.15 ± 1.22 C	12.47 ± 0.66 C

注: 土壤中铜、硫含量参考文献[7]中 20-40 cm(根系主要区)土层铜、硫含量, 下同; 数字右侧的字母为 Duncan 新复极差法分析检验结果, 小写字母为 0.05 显著水平, 大写字母为 0.01 极显著水平, 下同。

Table 2. The leaf copper contents of young bearing apple trees in different periods  
表 2. 不同时期初果期苹果树叶片铜含量

土壤铜、硫含量 /mg·kg <sup>-1</sup>	展叶后 (2010.5.3)	春梢旺长期 (2010.5.25)	春梢停长期 (2010.6.28)	秋梢生长期 (2010.8.29)	果实采收期 (2010.10.20)
生长正常树 铜含量: 34.5 ± 0.8 硫含量: 354.7 ± 22.5	19.0 ± 2.1	8.0 ± 1.0 bB	4.5 ± 0.2 B	4.2 ± 0.6 B	5.0 ± 0.3 cB
轻度受害树 铜含量: 55.6 ± 0.2 硫含量: 1577.3 ± 83.5	20.0 ± 1.4	8.5 ± 0.1 bAB	4.3 ± 0.2 B	4.4 ± 0.2 B	5.3 ± 0.2 bB
重度受害树 铜含量: 61.5 ± 0.3 硫含量: 2548.0 ± 45.9	21.3 ± 1.5	10.4 ± 1.0 aA	6.7 ± 0.7 A	5.4 ± 0.4 A	5.6 ± 0.1 aA

由表 2 可知, 展叶后叶片中铜含量最高, 随着新梢的生长, 叶片中的铜含量迅速减少, 春梢停长后叶片中的铜含量基本保持稳定。展叶后生长正常树、轻度受害树、重度受害树叶片中铜含量分别为 19.0、20.0、21.3 mg·kg<sup>-1</sup>, 分别是春梢停长期的 4.25、4.67、3.18 倍。春梢旺长期重度受害树中铜含量显著高于轻度受害树, 极显著高于生长正常树; 春梢停长期和秋梢生长期重度受害树极显著高于轻度受害树和生长正常树; 秋梢停长期重度受害树极显著高于其它, 轻度受害树显著高于生长正常树。由此认为, 随着土壤铜、硫含量的增加, 初果期苹果树受害程度加深, 各个时期的叶片铜含量也随之增加, 但叶片铜元素含量的年变化规律是一致的。

### 3.2.2. 土壤铜、硫含量对初果期苹果树不同时期叶片硫含量的影响

初果期苹果树不同时期叶片硫含量如表 3 所示。由表 3 可知, 生长正常树在展叶后叶片中的硫含量为

1616.3 mg·kg<sup>-1</sup>, 在春梢停长期达到最高, 为 2839.6 mg·kg<sup>-1</sup>, 之后呈现下降趋势, 在秋梢停长期叶片中的含量为 2043.5 mg·kg<sup>-1</sup>; 轻度受害树和重度受害树在展叶后叶片中的硫含量分别 2929.1、2965.3 mg·kg<sup>-1</sup>, 随着时间的推移呈现上升趋势, 在秋梢停长期达到最高, 分别为 4812.5、8324.8 mg·kg<sup>-1</sup>。叶片中硫含量在各个时期均为: 重度受害树 > 轻度受害树 > 生长正常树。土壤硫含量的过量污染改变了叶片硫含量的年变化规律, 使叶片中的硫含量呈现一直增长的趋势。

### 3.3. 土壤铜、硫含量对初果期苹果树果实品质的影响

不同土壤铜、硫含量初果期苹果树的果实品质如表 4 所示。由表 4 可得出, 生长正常树的单株产量、单果重分别为 6.21 kg、194.6 g, 分别是轻度受害树的 1.86 倍、1.22 倍, 是重度受害树的 51.75 倍、1.62 倍;

**Table 3. The leaf sulfur contents of young bearing apple trees in different periods**  
**表 3. 不同时期初果期苹果树叶片硫含量**

土壤铜、硫含量 /mg·kg <sup>-1</sup>	展叶后 (2010.5.3)	春梢旺长期 (2010.5.25)	春梢停长期 (2010.6.28)	秋梢生长期 (2010.8.29)	果实采收期 (2010.10.20)
生长正常树 铜含量: 34.5 ± 0.8 硫含量: 354.7 ± 22.5	1616.3 ± 58.7 B	1694.9 ± 29.2 C	2839.6 ± 61.2 cB	2469.6 ± 141.4 C	2043.5 ± 142.5 C
轻度受害树 铜含量: 55.6 ± 0.2 硫含量: 1577.3 ± 83.5	2929.1 ± 46.6 A	2862.4 ± 56.7 B	3260.0 ± 133.6 bB	4108.3 ± 90.2 B	4812.5 ± 75.3 B
重度受害树 铜含量: 61.5 ± 0.3 硫含量: 2548.0 ± 45.9	2965.3 ± 28.1 A	3149.0 ± 44.7 A	5490.4 ± 126.0 aA	5881.0 ± 99.3 A	8324.8 ± 184.5 A

**Table 4. The fruit quality of young bearing apple trees in different periods**  
**表 4. 不同受害程度初果期苹果树果实品质**

土壤铜、硫含量 /mg·kg <sup>-1</sup>	单株产量 /kg	单果重/g	纵径/cm	横径/cm	可溶性固形物%	硬度 /kg·cm <sup>-2</sup>	可溶性糖/%	可滴定性 酸含量/%
生长正常树 铜含量: 34.5 ± 0.8 硫含量: 354.7 ± 22.5	6.21 ± 0.30 A	194.6 ± 5.1 A	6.08 ± 0.08 aA	7.31 ± 0.02 A	15.27 ± 0.25 cB	9.0 ± 0.20 C	14.95 ± 0.23 B	0.3547 ± 0.0114 cB
轻度受害树 铜含量: 55.6 ± 0.2 硫含量: 1577.3 ± 83.5	3.34 ± 0.01 B	159.6 ± 7.7 B	5.82 ± 0.06 bA	6.99 ± 0.03 B	17.00 ± 0.50 bA	10.00 ± 0.20 B	15.89 ± 0.18 A	0.3714 ± 0.0154 bB
重度受害树 铜含量: 61.5 ± 0.3 硫含量: 2548.0 ± 45.9	0.12 ± 0.01 C	120.1 ± 2.7 C	5.39 ± 0.05 cB	6.58 ± 0.16 C	18.30 ± 0.2 aA	13.50 ± 0.10 A	15.78 ± 0.05 A	0.4028 ± 0.0077 aA

轻度受害树和重度受害树的果实可溶性固形物含量为 17.0%、18.3%，二者之间存在显著差异，且极显著高于生长正常树；重度受害树的果实硬度为 13.5 kg/cm<sup>2</sup>，极显著高于轻度受害树，轻度受害树极显著高于生长正常树；轻度受害树和重度受害树的可溶性糖含量极显著高于生长正常树，而二者之间无显著差异；重度受害树的果实可滴定性酸含量极显著高于轻度受害树和生长正常树，轻度受害树的显著高于生长正常树的。由此得出，铜、硫污染极显著地降低了初果期苹果树的单株产量、单果重，轻度受害树和重度受害树果实中可溶性固形物含量、可溶性糖含量高和硬度大可能与其单株产量低、单果重小有关。

#### 4. 结论与讨论

据研究，植物中的铜元素多集中分布在幼嫩叶片等活跃的组织中，而成熟叶片中含量较少<sup>[13]</sup>。樊红柱等<sup>[14]</sup>人对苹果树体不同器官元素含量与累积量季节性变化研究得出在萌芽展叶后和春梢旺长期，叶片铜含量快速下降，之后有另一生长高峰。本研究结果与其

结果基本一致。硫是易转移元素，在植物生长活跃部位分布较多<sup>[15]</sup>。硫在植物开花前集中分布于叶片中，成熟时叶片中的硫逐渐减少并向其他器官转移<sup>[13]</sup>。当供硫量超过植株自身调节能力后，则抑制植株的生长发育及其代谢<sup>[16]</sup>。有研究认为<sup>[14]</sup>，在萌芽展叶后和春梢旺长期，叶片硫含量迅速增加，此后变化较小，叶片硫累积量随叶龄增加而减少。本研究中生长正常树叶片中硫含量的变化基本符合这个规律，但轻度受害树与重度受害树叶片硫含量一直呈现增长趋势，可能是土壤硫含量过高，破坏了原有的吸收运转规律，受浓度梯度的胁迫，使树体组织中的累积量持续增加，从而使树体正常生理代谢受阻，影响了叶片的正常生长，叶面积显著变小，光合产物合成总量减少，不能满足树体生长和果实发育的需要，致使果实单果重显著变小，单株产量降低，严重时枝条也不能生长，根系饥饿，失去吸收功能，从而整株死亡。本研究结果表明，土壤含硫量达到 1557 mg·kg<sup>-1</sup> 时，红富士苹果初果期树就会受害，具体临界值，有待于进一步研究。

## 5. 致谢

本论文是在李保国教授和齐国辉教授的亲切关怀和悉心指导下完成的。在试验的准备和实施过程中,得到了师姐张雪梅、李杰、齐昆,师兄于祎飞、胡志伟,师妹魏常燕的热心帮助和支持,同时对刘喜星、施丽丽、马丽媛等同学在试验中给予的大力支持和帮助一并表示衷心的感谢!

同时感谢林业公益性行业科研专项和河北省科技支撑项目所给予的资金支持,河北富岗食品有限责任公司在试验的取材过程中所提供的良好生活和试验条件,使试验得以顺利完成,在此表示最诚挚的谢意!

值此论文完成之际,谨向所有关心、支持和帮助过我的师长、同学和朋友表示衷心的感谢和美好的祝福!

## 参考文献 (References)

- [1] 高拯民. 中国百科全书环境科学卷[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1983: 383-386.
- [2] 黄细花, 赵振纪, 刘永厚等. 铜对紫云英生长发育影响的研究[J]. 农业环境保护, 1993, 12(1): 1-6.
- [3] 王宏康, 阎寿沧. 污泥施肥时铜对农作物的污染[J]. 环境科学, 1990, 11(3): 6-11.
- [4] O. V. Singh, S. Labana, G. Pandey, et al. Phytoremediation: An overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2003, 61: 405-412.
- [5] 李海云, 孙洁, 张敏等. 硫对大白菜幼苗生长的影响[J]. 长江蔬菜, 2008, 8: 40-41.
- [6] 张风云, 毛富春, 赵先贵. 猕猴桃对氯和硫的耐性研究[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(2): 37-40.
- [7] 董丽欣, 李保国, 齐国辉等. 土壤铜、硫污染对苹果幼树生长发育的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 198-201.
- [8] 黄庆文, 洪建源, 杨宝富. 介绍苹果树叶面积系数的测定方法[J]. 北方果树, 1988, 11(2): 9-10.
- [9] 中国林业科学研究院分析中心. 现代实用仪器分析方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994: 113-115.
- [10] 郑树贵, 高明, 曹松屹等. 湿法和干湿结合法处理样品测定植物性饲料中铜、铁含量[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(2): 221-225.
- [11] H. X. 波钦诺克. 植物生物化学分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [12] 全月澳, 周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
- [13] 陆景陵. 植物营养学[M]. 中国农业大学出版社, 2003.
- [14] 樊红柱, 同延安, 吕世华. 苹果树体不同器官元素含量与累积量季节性变化研究[J]. 西南农业学报, 2007, 20(6): 1202-1206.
- [15] 黄保同, 李亚丽, 张道建等. 河南西峡黑烟镇自然保护区药用植物氯、硫、氟元素的含量分布规律研究[J]. 河南林业科技, 2008, 28(1): 27-28, 34.
- [16] 闫冰洁. 硫对大蒜产量和品质影响[D]. 山东农业大学, 2006.