

外源不同形态钙及钙铜同施对番茄叶片和果实钙含量及产量的影响

颜廷帅¹, 时立波², 陈玲², 张宝千², 窦宝存²

(1. 菏泽市林业局, 山东 菏泽 274000; 2 中化现代农业(山东)有限公司, 山东 济南 250199)

摘要: 以番茄为材料, 外源喷施不同形态钙及钙铜同时喷施, 研究缺钙条件下(砂培)外源喷施不同形态钙及钙铜同施对果实和幼叶中钙含量和产量的影响。结果表明, 与叶面喷施无机钙相比, 钙铜同施提高了番茄叶片钙含量; 与叶面喷施无机钙+铜相比, 叶面喷施糖醇钙+铜, 钙在生长中心和果实中的含量增加, 叶面喷施糖醇钙+铜促进幼叶和果实对钙的吸收, 同时延长了番茄的盛果期。

关键词: 番茄; 钙; 铜

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0488-5368(2022)08-0041-03

Effects of Different Forms of Exogenous Calcium and Application of Calcium and Copper on Calcium Content and Yield of Tomato

YAN Tingshuai¹, SHI Libo², CHEN Ling², ZHANG Baoqian², DOU Baocun²

(1. Heze Forestry Bureau, Shandong Province 274000, China;

2. Shandong Branch of Sinochem Agriculture Holdings, Jinan, Shandong 250199, China)

Abstract: Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) was used as the material, effect of spraying of different forms of calcium and combined with spraying of calcium and copper on calcium content and yield in young seedlings of tomato fruit under calcium deficiency condition (sand culture) was studied. The results showed that compared with foliar spraying of inorganic calcium, application of calcium and copper together increased the calcium content in tomato leaves; compared with foliar spraying of inorganic calcium and copper, foliar spraying of chelator-sugar alcohol calcium and copper, calcium content in young leaves and fruit of tomato increased. Foliar spraying of chelator-sugar alcohol calcium and copper on the leaf surface promoted the absorption of calcium in young leaves and fruit, and prolonged the full fruit period of tomato.

Key words: Tomato; Calcium; Copper

钙是植物所必需的中量元素^[1], 作为第二信使参与胞内生理生化反应和胞外信息传递^[2, 3], 同时在维持细胞稳定性^[4~7]、酶活化^[8]等方面具有重要的作用。植物缺钙会导致幼叶、嫩叶、根尖等分生组织坏死, 并严重影响果实外观、品质及耐贮性, 苹果苦痘病、梨黑心病、猕猴桃果实软化、番茄脐腐病、大白菜干烧心等均为植物缺钙的典型症状^[9]。

番茄在世界各地广泛栽培, 是重要的蔬菜作物。番茄缺钙是比较普遍的现象, 缺钙造成番茄嫩叶和根系坏死、光合效率下降、果实脐腐病多发, 严

重影响其经济效益。番茄缺钙有两个原因: 一是土壤中钙含量缺乏, 南方酸性土壤交换性钙含量普遍偏低, 容易造成植物缺钙; 二是植物生理性缺钙, 钙在植物体内通过蒸腾作用在木质部中运输, 顶芽、侧芽、根尖及果实蒸腾作用较弱, 这些部位容易缺钙^[10~13]。目前, 叶面喷施钙元素是重要的补钙措施, 而钙在植物体内移动性较差, 因此叶面喷施无机钙的效率较低。当前农业生产上主要喷施以糖醇钙为代表的小分子络合钙, 同时, 钙-铜同施是农业生产上的普遍做法。因此, 本课题重点探讨外

收稿日期: 2021-04-15 修回日期: 2021-05-26

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2013BAD05B04)。

第一作者简介: 颜廷帅(1989-), 男, 山东临沂人, 硕士, 主要从事植物营养与新型肥料研究。

通信作者: 时立波。

源喷施不同形态钙肥及钙—铜协同的效果,为进一步提高钙吸收和运输的效率提供数据支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

试验于 2020 年 1 月 12 日在宁阳县林业保护发展中心国有第一苗圃进行,供试番茄(*Solanum lycopersicum* Mill.)品种为辽园多丽。试验所用无机钙为氯化钙,无机铜为氯化铜,糖醇钙的络合剂为甘露醇和山梨醇。

试验采用砂培方式,基质为经高压灭菌后的石英砂与珍珠岩 1:1 的混合物。选择长势一致的 5 叶 1 心番茄植株,移入盛满基质的栽培盆中(盆高 35 cm,直径 20 cm),每盆定植 1 株,共定植 12 盆,移苗后浇灌蒸馏水,缓苗 6 d 后浇灌不含钙元素的 Hoagland 和 Arnon 营养液^[14],3 d 浇灌 1 次,每盆每次 500 mL,试验期间控制温度 18~25 ℃。

待番茄长至 8 叶 1 心后进行处理,试验为单因素设计,共设 3 个处理,每处理 4 次重复,处理如表 1 所示。顶端 3 片叶和果实用自封袋遮住,其余叶片均喷施不同处理钙,呈雾状喷施,每棵植株正面和反面各喷施十下。每隔 10d 喷施一次,共喷施 5 次,第 5 次喷施后 7 d 取样。

表 1 各处理钙和铜含量

处理	钙(mg/L)	铜(mg/L)
无机钙	200	
无机钙+铜	200	2.38
糖醇钙+铜	200	2.38

1.2 取样和测定方 法

叶片取样及处理:取未喷施叶片第 4 和第 5 片叶,分离叶脉和叶片,放于信封中置于干燥箱 105 ℃杀青 30 min,75 ℃烘干至恒质量,将烘干的叶脉和叶片磨碎用于测定元素含量。

果实取样及处理:测定各处理番茄不同果穗的质量,蒸馏水流水冲洗后 75 ℃烘干至恒质量,将烘干的叶脉和叶片磨碎用于测定元素含量。

钙和铜含量测定:叶片和果实样品均应用 H₂SO₄-H₂O₂ 联合消煮法煮至澄清,ICP-AES

表 4 各处理顶叶叶片和不同果穗钙和铜含量

处理	钙/%			铜(mg/kg)		
	无机钙	无机钙+铜	糖醇钙+铜	无机钙	无机钙+铜	糖醇钙+铜
第一、二穗果	0.113a	0.119a	0.117a	1.553a	1.343a	1.258ab
第三、四穗果	0.109b	0.106b	0.158a	1.515b	1.708ab	2.576ab
顶叶叶片	1.016a	0.722b	0.837ab	3.416a	3.568a	4.236a

注:同一元素含量类目下同行数据后不同小写字母表示处理间有显著性差异。

测定钙和铜含量^[15,16]。

1.3 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2013 软件进行处理,采用 SPSS16.0 软件进行统计分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

表 2 为番茄叶片和叶脉中钙含量数据。由表可知,无机钙+铜处理叶片和叶脉中钙含量高于无机钙处理,配方中加入铜促进了番茄叶片和叶脉对钙的吸收。无机钙+铜处理叶脉中钙含量低于糖醇钙+铜处理,而叶片中钙含量高于糖醇钙+铜处理,糖醇钙+铜处理中钙的分布在叶脉中增加。

表 2 各处理番茄叶片和叶脉中钙含量

处理	叶脉钙含量/%	叶片钙含量/%
无机钙	0.261c	0.858b
无机钙+铜	0.388b	1.234a
糖醇钙+铜	0.520a	1.006a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间有显著性差异。

表 3 为收获后各处理果实质量的测定数据。由三、四穗果与一、二穗果的比值可知,配方中加入铜和糖醇,番茄果重在第三四穗果的分布均增加。与单独施用无机钙相比,同时施用无机钙和铜,均推迟了果实盛果期。

表 3 各处理果实质量

处理	一、二穗果 (g/株)	三、四穗果 (g/株)	三、四穗果 /一、二穗果
无机钙	393.13	33.81	0.11
无机钙+铜	272.94	68.36	0.26
糖醇钙+铜	297.79	77.71	0.29

注:同列数据后不同小写字母表示处理间有显著性差异。

表 4 为收获后测定顶叶叶片和果实中钙和铜含量。各处理第一、二穗果钙含量无显著性差异;糖醇钙+铜处理第三、四穗果钙含量高于无机钙处理和无机钙+铜处理。顶叶叶片钙含量方面,糖醇钙+铜处理钙含量最高。铜含量数据与钙含量数据的表现基本相同。

糖醇钙+铜处理使得钙和铜在第三、四穗果的分布增加,叶片的分布降低,钙和铜向生殖生长的中心分布增加。

3 讨论

施积炎等的研究表明,钙离子通道抑制剂抑制了海州香薷对铜的吸收^[17];田静等的研究表明李氏禾根吸收铜与钙离子通道密切相关^[18];韩文炎等的研究表明叶面喷施铜能够提高茶树钙含量^[19];黄长干等的研究表明外源高浓度铜的施用促进了紫鸭跖草对钙的吸收^[20]。本试验中无机钙+铜处理叶片和叶脉钙含量显著高于无机钙处理,这与前人的研究结果一致,这表明钙和铜同时施用提高了番茄对钙的吸收效率,钙—铜吸收和运输具有协同效果。

由于钙元素在植物体内较难移动再分配,因此以糖醇钙为代表的小分子络合钙提高其运输及再分配效率成为提高钙营养效率的方式。张洁等的研究表明,与喷施无机钙相比,喷施糖醇钙提高了番茄对亚高温的耐受性,保护了叶绿体结构^[21]。营养元素的再移动分配主要是通过韧皮部进行,本试验中糖醇钙+铜处理番茄叶脉钙含量显著高于无机钙+铜处理,可能表明糖醇钙在番茄体内的移动性增强。同时,糖醇钙+铜处理第三、四穗果的钙含量和果实质量显著高于无机钙+铜处理,这表明幼果对糖醇钙的吸收效率较高,同时也延长了番茄盛果期。

试验结果表明,缺钙情况下喷施糖醇钙和铜,幼叶和幼果钙的含量增加。外源喷施糖醇钙和铜提高了钙在生长中心含量的作用。

参 考 文 献:

[1] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京:中国林业出版社, 2004.
 [2] Reddy V S, Reddy A. Proteomics of calcium-signaling components in plants. [J]. Phytochemistry, 2004, 65(12):1 745-1 776.
 [3] Hetherington A M, Brownlee C. The generation of Ca²⁺ signals in plants. [J]. Annual Review of Plant Biology, 2004, 55(55):401-427.
 [4] Hepler, Peter K. Calcium: A Central Regulator of Plant Growth and Development. [J]. Plant Cell, 2005.
 [5] Al-Whaibi M H, Bullet M H, Siddiqui, *et al.* Performance of faba bean under calcium and gibberellic

acid application. *amri*, 2010.
 [6] Gilliham, Dayod, Hocking, *et al.* Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow[J]. J EXP BOT, 2011, 2011, 62(07):2 233-2 250.
 [7] Hirschi K D. The Calcium Conundrum. Both Versatile Nutrient and Specific Signal. *plant physiology*, 2004.
 [8] Martin M H, Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants [J]. Journal of Ecology, 1988, 76 (04):1 250.
 [9] White P J, Broadley M R. Calcium in plants[J]. Annals of botany, 2003, 92(04): 487-511.
 [10] CA Moore, Bowen H C, Scrase-Field S, *et al.* The deposition of suberin lamellae determines the magnitude of cytosolic Ca²⁺ elevations in root endodermal cells subjected to cooling[J]. Plant Journal, 2010, 30(04):457-465.
 [11] White P J. The pathways of calcium movement to the xylem [J]. Journal of Experimental Botany, 2001(358):891-899.
 [12] Yang H Q, Jie Y L. Uptake and transport of calcium in plants. [J]. Acta Photophysiological Sinica, 2005, 31(03):227.
 [13] Lam C H. Early signal transduction pathways in plant-pathogen interactions [J]. Trends in Plant Science, 1998.
 [14] Hoagland D R, Arnon D I. The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular, 1950.
 [15] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社, 1980.
 [16] Anderson K A. Micro-Digestion and ICP-AES Analysis for the Determination of Macro and Micro Elements in Plant Tissues [J]. Atomic Spectroscopy, 1996, 17(01):30-33.
 [17] 施积炎, 陈英旭, 田光明, 等. 海州香薷和鸭跖草铜吸收机理[J]. 植物营养与肥料学报, 2004(06): 642-646.
 [18] 田静, 张学洪, 陈俊, 等. 多金属富集植物李氏禾根系对铜吸收机理的研究[J]. 生态环境学报, 2014 (07):1 217-1 221.
 [19] 铜与锌对茶树生育特性及生理代谢的影响Ⅲ. 施铜对茶树体内铜及其他矿质元素吸收的影响[J]. 茶叶科学, 1995(02):93-98.
 [20] 黄长干, 陈赞, 邱业先. 铜盐毒害对紫鸭跖草养分吸收和生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(01):168-172.
 [21] 张洁, 李天来, 徐晶. 高温对日光温室番茄叶片碳水化合物代谢的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35 (04):529-534.