

# 不同钙肥对口感型番茄品质及脐腐病的影响

王子凡<sup>1</sup>, 张庆银<sup>1</sup>, 李燕<sup>1</sup>, 王丹丹<sup>1</sup>, 耿晓彬<sup>1</sup>,  
贾红卫<sup>2</sup>, 齐连芬<sup>1</sup>, 师建华<sup>1</sup>, 赵丽霞<sup>3</sup>, 田东良<sup>1</sup>

(1. 石家庄市农林科学研究院 石家庄 050041; 2. 河北北方学院 河北张家口 075000;  
3. 石家庄农博士科技开发有限公司 石家庄 050041)

**摘要:**以口感型番茄农博粉 18109 为试验材料, 采用设施内土壤栽培方式, 共设置 A、B 2 种试验, A 为基肥增施不同类型钙肥试验, B 为基肥增施不同类型钙肥+叶面肥试验, 研究不同钙肥对番茄品质及脐腐病的影响。结果表明, 与常规施肥相比, 基肥增施过磷酸钙, 番茄的可溶性固形物和可溶性糖含量分别增加和显著增加 4.81% 和 8.87%; 增施钙镁肥番茄的可溶性固形物、维生素 C 和可溶性糖含量分别显著增加 8.20%、5.95% 和 8.49%。在配合喷施叶面肥(氨基酸钙)的情况下, 与常规施肥相比, 基肥增施硝酸钙, 番茄果实的可溶性固形物含量显著提高 9.23%; 增施钙镁肥, 番茄果实可溶性固形物、维生素 C 含量分别显著增加 7.58% 和 7.70%, 且裂果数显著降低了 77.78%, 未发现脐腐病果实, 产量显著增加 43.82%。此外, 与常规施肥相比, 基肥增施 3 种钙肥, 显著提高了土壤中水溶性钾含量, 配合补充叶面肥, 土壤中水溶性钙的含量也分别显著提高 131.75%、138.10%、146.03%。综上, 选择最优处理 B3 作为口感型番茄生产中的施肥推荐量。

**关键词:** 番茄; 钙肥; 品质; 脐腐病

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)10-065-06

## Effect of different calcium fertilizers on quality and umbilical rot of palatable tomatoes

WANG Zifan<sup>1</sup>, ZHANG Qingyin<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, WANG Dandan<sup>1</sup>, GENG Xiaobin<sup>1</sup>, JIA Hongwei<sup>2</sup>, QI Lianfen<sup>1</sup>, SHI Jianhua<sup>1</sup>, ZHAO Lixia<sup>3</sup>, TIAN Dongliang<sup>1</sup>

(1. Shijiazhuang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041, Hebei, China; 2. Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China; 3. Shijiazhuang Dr. Agriculture Technology Development Co., Shijiazhuang 050041, Hebei, China)

**Abstract:** In order to study the effect of different calcium fertilizer on quality and umbilical rot of tomato, the palatable tomato Nongbo powder 18109 was used as experimental materials, including two experiments A and B, A was the base fertilizer application of different types of calcium fertilizer, B was the base fertilizer + foliar fertilizer treatments. The results showed that compared with conventional fertilization, the base fertilizer applied calcium super phosphate, the soluble solids and soluble sugar content of tomato significantly increased by 4.81% and 8.87%, respectively; base fertilizer applied calcium and magnesium fertilizer, the soluble solids, vitamin C and soluble sugar content of tomato increased significantly by 8.20%, 5.95% and 8.49%, respectively. In conjunction with the spraying of foliar fertilizer (calcium amino acid), compared with conventional fertilization, base fertilizer increased calcium nitrate, the soluble solids content of tomato increased significantly by 9.23%; base fertilizer application of calcium and magnesium fertilizers, the soluble solids, vitamin C content of tomato significantly increased by 7.58% and 7.70%, and the number of cracked fruits was reduced by 77.78%, no umbilical rot disease fruits were found, and the yield significantly increased by 43.82%. In addition, compared with the conventional fertilization, the application of three additional calcium fertilizers in the basal fertilizer significantly increased the water-soluble potassium content in the soil, and together with the supplemental foliar fertilizers, the water-soluble calcium content in the soil was also significantly increased by 131.75%, 138.10%, and 146.03%, respectively. In conclusion, the optimal treatment B3 was selected as the recommended amount of fertilization in the production of palatable tomato.

**Key words:** Tomato; Calcium fertilizer; Quality; Umbilical rot

收稿日期: 2023-04-20; 修回日期: 2023-07-11

基金项目: 石家庄市科技计划项目(229490132N)

作者简介: 王子凡, 男, 助理农艺师, 研究方向为园艺植物栽培生理与品质调控。E-mail: wzfwan666@163.com

通信作者: 田东良, 男, 推广研究员, 研究方向为蔬菜育种与栽培。E-mail: tdliaang@163.com

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)是茄科茄属番茄亚属一年生或多年生草本植物,又称西红柿,是全球蔬菜生产中年产量最高的作物<sup>[1-2]</sup>。钙素作为番茄生长发育过程中不可或缺的元素之一,它对番茄果实膨大、抵抗病害、应对环境胁迫及改善品质等方面具有重要作用<sup>[3-4]</sup>。

缺钙是番茄生产上普遍存在的现象,缺钙时会造成番茄幼嫩枝叶和根系坏死、叶片光合能力下降、果实脐腐病害多发<sup>[5]</sup>。番茄缺钙由多方面的因素引起,首先钙离子只能通过蒸腾作用在植物的韧皮部进行运输,运输速度缓慢<sup>[6]</sup>;其次是土壤中可供植物根系吸收利用的有效钙素不足,并且与 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ 等阳离子之间存在拮抗作用,当土壤中 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ 较多时会阻碍对 $Ca^{2+}$ 的吸收<sup>[7-8]</sup>。此外,当土壤中盐分浓度过高时,因根系部分渗透压增强,也会影响 $Ca^{2+}$ 的吸收<sup>[9]</sup>。一般情况下,土壤中的钙素含量( $w$ ,后同)在0.1%~10.0%,能够满足大部分作物的生理需求,但设施内的不合理灌溉及施肥、有机肥施用少、大量补充氮磷钾肥及地膜覆盖,导致土壤 $CO_2$ 含量过多,土壤中碳酸钙溶解与流失,造成土壤缺钙<sup>[10-11]</sup>。

缺钙在番茄上的最直接表现是脐腐病的发生,严重影响番茄的产量和品质<sup>[12-13]</sup>。生产上补钙一般是在整地时施用含钙基肥,开花结果期和果实膨大期进行叶面喷施钙肥。李美宁等<sup>[14]</sup>指出喷施氯化钙或滴施硝酸钙均降低脐腐病发生率,蒋欣梅等<sup>[15]</sup>研究表明,在番茄定植时施用石膏粉,显著降低脐腐病发病率,同时显著提高产量。齐明芳等<sup>[16]</sup>研究表明,外源钙提高了高温逆境下番茄幼苗叶片中功能性钙的含量,增强了光合作用。丁双双等<sup>[17]</sup>研究表明,叶面喷施低分子有机螯合钙,显著提高了樱桃番茄的产量,有效改善樱桃番茄果实品质。刘军丽等<sup>[18]</sup>研究表明,土壤中施用CaO有利于改善番茄果实的营养品质,提高番茄果实的总色值。缺钙会降低果实的产量和品质,但是高钙不会造成果实产量和品质的下降<sup>[19]</sup>。

笔者通过设置不同钙肥的基肥和基肥+叶面肥组合处理,研究了同类型钙肥对口感型番茄产量、品质及脐腐病的影响,旨在为口感型番茄实现品质提升提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试的番茄品种农博粉 18109,为石家庄市农

林科学研究院自育品种。供试的硝酸钙购自鲁西化工集团股份有限公司,总氮含量 $\geq 15\%$ 、硝态氮含量 $\geq 14\%$ 、钙含量 $\geq 18\%$ ,用量 $7.5\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ ;供试的过磷酸钙购自河北金源化工股份有限公司,有效钙含量 $\geq 14\%$ 、腐殖酸含量 $\geq 8\%$ ,用量 $50\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ ;供试的钙镁肥购自四川爱隆植物营养科技有限公司,钙镁含量 $\geq 10\%$ ,用量 $25\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ ;供试氨基酸钙叶面肥购自山东鲁虹农业科技股份有限公司,活性钙质量浓度 $\geq 260\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,稀释60倍喷施。

### 1.2 试验设计

试验于2022年8月至2023年2月进行,采用日光温室土壤栽培模式,试验分为两部分,A试验为基肥试验,共设置4个处理。B试验为基肥与叶面肥配施试验,在A试验设计的基础上喷施氨基酸钙叶面肥,试验设计见表1。A和B试验在不同地点进行,采用随机区组设计,各处理为独立的小区,除了施肥不同外,其他田间管理措施保持一致。

A试验在石家庄市鹿泉区国家半干旱农业工程技术研究中心综合试验基地进行,B试验在石家庄市藁城区三新种植服务专业合作社进行,两地直线距离相距约30 km,环境差异不大(年平均降水量526 mm,年平均气温 $13.5\text{ }^\circ\text{C}$ )。番茄统一育苗,幼苗3叶1心时定植,定植密度为 $2300\text{ 株}\cdot 667\text{ m}^2$ 。

基肥在整地时统一施入,用量按照推荐施用量。除了添加供试的钙肥外,各处理统一施用农家肥 $3\text{ m}^3\cdot 667\text{ m}^2$ ,氮磷钾质量比15:15:15的复合肥 $30\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ ;叶面肥在第1穗果坐果后开始施用,以后每隔20 d喷施1次,共施用5次,其中叶面喷施的钙肥占3种基肥钙肥(硝酸钙、过磷酸钙、钙镁肥)总量的比例分别为2.41%、0.46%、1.30%。

表1 试验设计

Table 1 Experiment design

处理	基肥(667 m <sup>2</sup> 用量)	叶面肥
CKA	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥	无
A1	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥+7.5 kg 硝酸钙	无
A2	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥+50 kg 过磷酸钙	无
A3	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥+25 kg 钙镁肥	无
CKB	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥	无
B1	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥+7.5 kg 硝酸钙	氨基酸钙 60 倍液
B2	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥+50 kg 过磷酸钙	氨基酸钙 60 倍液
B3	3 m <sup>3</sup> 农家肥+30 kg 复合肥+25 kg 钙镁肥	氨基酸钙 60 倍液

### 1.3 测定项目及方法

选取取样点具有代表性的商品番茄果实测定果实品质,在番茄第3穗果成熟时,每个处理选择15个果实。使用手持折光仪测定番茄果实可溶性

固形物含量;采用碘酸钾滴定法测定维生素 C 含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝分光光度法测定可溶性蛋白含量;采用紫外分光光度法测定硝酸盐含量,所有测定方法均参考高俊凤<sup>[20]</sup>的《植物生理学实验指导》。

土壤理化性质的测定,采用四苯硼钠比浊法测定土壤水溶性钾含量;采用原子发射光谱法测定土壤水溶性钠含量;采用 EDTA 法直接测定土壤水溶性钙离子含量;采用容量法测定土壤水溶性镁含量;采用硝酸银滴定法测定 Cl<sup>-</sup>含量;采用分光光度法测定 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量,所有测定方法均参考杨剑虹<sup>[21]</sup>的《土壤农化分析与环境监测》。

#### 1.4 数据分析

采用 Microsoft excel 2010 进行基础数据处理,采用 SPSS 18.0 对数据进行方差分析和差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同基肥对番茄果实品质的影响

由表 2 可知,与 CKA 处理相比,A1 处理番茄的硝酸盐含量和可溶性蛋白含量分别显著降低 30.16%、88.89%;A2 处理可溶性固形物含量提高 4.81%,可溶性糖含量显著提高 8.87%,维生素 C、硝酸盐和可溶性蛋白含量分别显著降低 13.09%、91.85%、77.78%;A3 处理可溶性固形物、维生素 C 和可溶性糖含量在 A 处理中均最高,较 CKA 处理分别显著提高 8.20%、5.95%和 8.49%。CKA 处理的硝酸盐和可溶性蛋白含量均最高,显著高于其他处理。说明在常规施肥基础上,基肥增施钙肥,可显著降低番茄果实硝酸盐和可溶性蛋白含量,增加番茄果实可溶性固形物和可溶性糖含量。

与 CKB 处理相比,B1 处理番茄的可溶性固形

表 2 不同基肥处理对番茄果实品质的影响

Table 2 Effect of different basal fertilizer treatments on fruit quality of tomato

处理	w(可溶性固形物)/%	w(维生素 C)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(可溶性糖)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(硝酸盐)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(可溶性蛋白)/(mg·kg <sup>-1</sup> )
CKA	5.61±0.07 d	31.62±0.98 b	39.47±0.05 c	7.36±0.84 a	0.09±0.01 a
A1	5.67±0.12 d	31.24±0.65 b	40.38±2.91 bc	5.14±0.51 c	0.01±0.00 d
A2	5.88±0.09 cd	27.48±0.33 e	42.97±2.53 ab	0.60±0.45 f	0.02±0.01 c
A3	6.07±0.09 bc	33.50±0.65 a	42.82±1.16 ab	6.11±0.72 b	0.03±0.01 bc
CKB	6.07±0.02 bc	29.36±0.98 cd	42.85±1.97 ab	2.98±0.45 e	0.03±0.01 bc
B1	6.63±0.05 a	30.49±0.00 bc	43.86±2.02 a	2.42±0.52 e	0.02±0.01 c
B2	6.27±0.13 b	28.23±0.98 de	45.14±1.00 a	4.01±0.34 d	0.03±0.01 c
B3	6.53±0.24 a	31.62±0.98 b	43.38±2.13 a	3.15±0.59 de	0.04±0.01 b

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

物含量显著提高 9.23%;B2 处理硝酸盐含量显著提高 34.56%;B3 处理可溶性固形物、维生素 C 含量分别显著提高 7.58%和 7.70%。在 B 试验中,B1 处理可溶性固形物含量最高,B2 处理可溶性糖和硝酸盐含量最高,B3 处理维生素 C 和可溶性蛋白含量最高。说明在常规施肥基础上,增施不同基肥+叶面肥可提高番茄果实的可溶性固形物和可溶性糖含量。

此外,B1 和 B3 处理的可溶性固形物含量均显著高于其他处理,A3 处理的维生素 C 含量均显著高于其他处理,B1、B2、B3 处理的可溶性糖含量均显著高于 CKA 和 A1 处理,CKA 处理的硝酸盐和可溶性蛋白含量均显著高于其他处理。

### 2.2 不同基肥对土壤营养元素的影响

由表 3 可知,与 CKA 处理相比,A1、A2、A3 处

表 3 不同基肥处理对土壤理化性质的影响

Table 3 Effect of different basal fertilizer treatments on soil physicochemical properties

处理	w(水溶性钾)	w(水溶性钠)	w(水溶性钙)/	w(水溶性镁)	w(Cl <sup>-</sup> )	w(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
CKA	0.14±0.03 cd	0.11±0.05 b	0.14±0.02 d	0.09±0.05 e	0.14±0.09 ab	0.51±0.18 c
A1	0.34±0.08 a	0.22±0.06 a	0.47±0.15 cd	0.15±0.05 cde	0.18±0.03 ab	0.90±0.42 bc
A2	0.28±0.08 ab	0.17±0.07 ab	0.51±0.14 cd	0.13±0.04 de	0.16±0.02 ab	1.02±0.46 bc
A3	0.31±0.12 ab	0.19±0.08 ab	1.17±0.41 b	0.18±0.08 bcd	0.15±0.04 ab	0.91±0.45 bc
CKB	0.20±0.05 bcd	0.20±0.03 ab	0.63±0.09 c	0.27±0.02 a	0.18±0.02 ab	2.03±0.12 a
B1	0.13±0.03 d	0.11±0.04 b	1.46±0.20 ab	0.14±0.03 de	0.11±0.03 b	1.44±0.09 ab
B2	0.26±0.04 abc	0.20±0.04 ab	1.50±0.20 ab	0.24±0.04 ab	0.20±0.06 a	2.21±0.80 a
B3	0.23±0.02 abcd	0.18±0.02 ab	1.55±0.18 a	0.23±0.01 abc	0.17±0.01 ab	1.98±0.65 a

理土壤的水溶性钾含量分别显著提高 142.86%、100.00%、121.43%；A1 处理水溶性钠含量显著提高 100.00%；A3 处理的水溶性钙和镁含量分别显著提高 735.71%、100.00%。

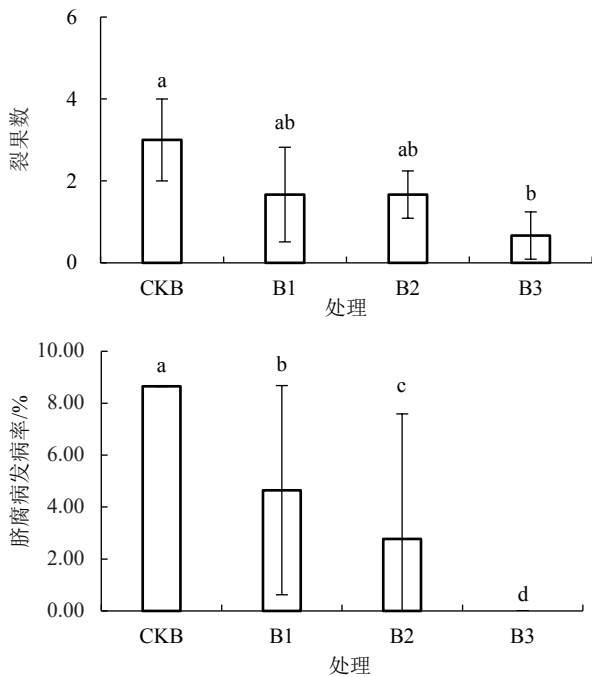
与CKB处理相比，B1、B2、B3处理土壤的水溶性钙含量分别显著提高 131.75%、138.10%、146.03%；B1处理水溶性镁含量显著降低 48.15%，而其他处理的变化幅度均未达到显著水平。

此外，B1、B2、B3处理土壤的水溶性钾含量均低于A1、A2、A3处理，而水溶性钙和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量则均高于A1、A2、A3处理。说明与增施基肥相比，基肥与叶面肥组合处理可能提高了番茄植株对土壤中水溶性钾离子的吸收，在叶面补充钙肥的情况下，降低了植株对土壤中钙离子的吸收。

### 2.3 不同基肥与叶面肥组合对番茄裂果数及脐腐病发病率的影响

由于A组试验仅仅施用底肥，从第3穗果开始出现严重的裂果及脐腐病，对实际生产的指导意义较小，因此不予统计。

由图1可知，与CKB处理相比，B1、B2处理的裂果数差异不显著，B3处理裂果数显著降低了77.78%，但B1、B2、B3处理间差异不显著。说明与



注：不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。  
图1 不同基肥与叶面肥组合处理对番茄裂果数和脐腐病发病率的影响

Fig. 1 Effect of different combinations treatments of basal and foliar fertilizer treatments on fruit crack number and incidence of umbilical rot of tomato

常规施肥相比，在配合补充叶面肥情况下，基肥增施钙镁肥可显著降低番茄裂果数。

CKB、B1、B2、B3处理的脐腐病发病率分别为8.65%、4.65%、2.78%、0，各处理之间差异显著。其中B1、B2、B3处理较CKB处理分别显著降低46.24%、67.86%、100.00%。说明与常规施肥相比，基肥与叶面肥组合处理可显著降低番茄脐腐病发病率，其中钙镁肥与叶面肥组合处理的番茄脐腐病发病率最低。

### 2.4 不同基肥与叶面肥组合对番茄产量的影响

由图2可知，各处理的单株果数分别为11.57、14.33、12.00、14.67个，B3处理最多，但各处理间差异不显著。与CKB处理相比，B1处理的单果质量无显著差异，但B2和B3处理单果质量分别显著增加19.22%、21.03%。在667 m<sup>2</sup>产量上，B1和B2处

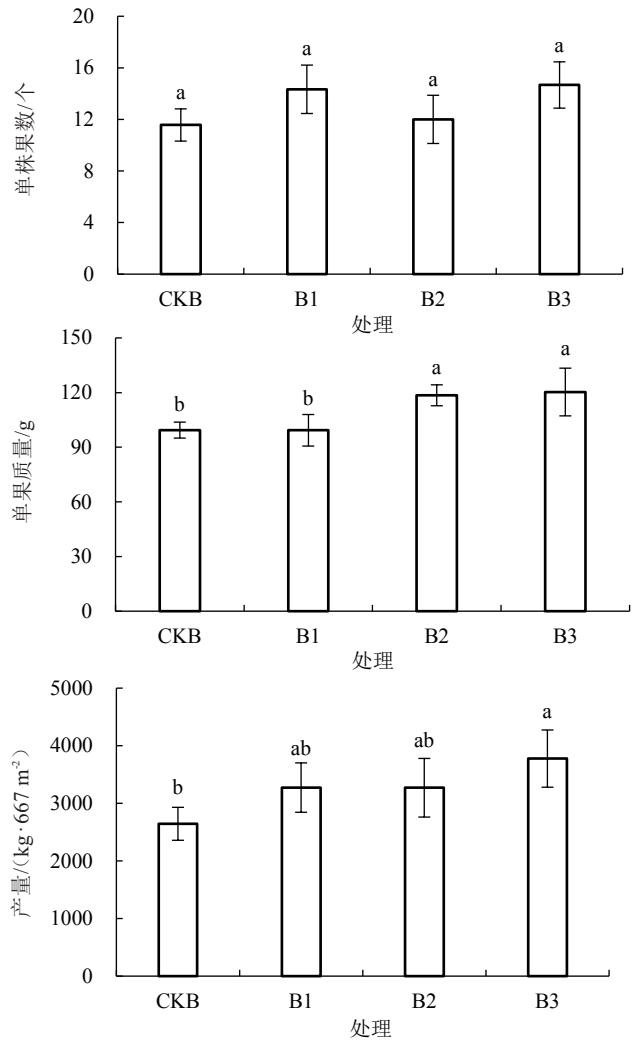


图2 不同基肥与叶面肥处理组合对番茄产量指标的影响  
Fig. 2 Effect of different combinations treatments of basal and foliar fertilizer treatments on yield indexes of tomato

理虽然高于CKB,但差异不显著,而B3处理则比CKB处理显著提高43.82%。说明与常规施肥相比,施用不同基肥与叶面肥组合可提高番茄产量,其中钙镁肥+叶面肥组合的番茄产量显著提高。

### 3 讨论与结论

钙作为番茄生长过程中必需的营养元素,不仅参与细胞组织结构的建成,并且能作为“第二信使”参与细胞内的多种生理反应<sup>[22]</sup>。钙元素参与到番茄生长的各个阶段,番茄吸收利用钙元素的最大效率期为开花结果期,果实成熟期次之<sup>[23]</sup>。钙肥有利于改善果实的营养品质,刘军丽等<sup>[24]</sup>研究指出,土壤栽培中667 m<sup>2</sup>施900 kg CaO可显著提高番茄可溶性固形物和可溶性总糖含量。浦敏等<sup>[12]</sup>研究指出,施用水溶性钙镁肥300 kg·hm<sup>-2</sup>显著提高加工番茄产量和品质,降低脐腐病的发病率。笔者的试验中,与常规施肥相比,在不施叶面肥的情况下,基肥施用硝酸钙、过磷酸钙、钙镁肥均显著降低了果实中硝酸盐和可溶性蛋白含量,但施用过磷酸钙增加了番茄果实可溶性固形物、可溶性糖含量,施用钙镁肥显著增加可溶性固形物、维生素C和可溶性糖含量,说明施用钙肥能够提高番茄的品质,并且施用不同种类的钙肥对番茄品质有不同的影响。

在生产上一般采用基肥外加叶面肥方式进行补钙,研究表明叶面喷施钙肥,可显著影响可溶性溶质、可滴定酸以及维生素C含量<sup>[25]</sup>。杨丽娟等<sup>[26]</sup>研究表明,在同一灌溉方式下,在一定的浓度范围内,番茄果实可溶性糖含量随施喷氯化钙浓度的增加而提高;钙镁肥配施能显著提高番茄产量和果实中维生素C含量<sup>[27]</sup>。笔者的试验中与常规施肥相比,钙镁肥+叶面肥处理显著提高了维生素C含量,与前人研究结果一致。李美宁等<sup>[14]</sup>研究表明,喷施氯化钙可增加加工番茄果实钙含量;与喷施氯化钙、硝酸钙等无机离子钙肥相比,喷施小分子有机螯合钙肥可以更好地提高番茄的产量、品质,以及促进养分的吸收<sup>[17]</sup>。本试验中基肥与叶面肥配合施用后,番茄果实的可溶性固形物、可溶性糖含量较仅增施基肥的处理均有提升,说明叶面肥可以补充植株从土壤中吸收钙素的不足。此外,所有基肥+叶面肥处理的产量较常规施肥均有提高,其中钙镁肥+叶面肥组合处理的产量显著增加。

土壤中施用钙可显著提高土壤pH及可用钙含量<sup>[28]</sup>,钙与钾、镁均为阳离子,通常表现为拮抗作用,但在供钙浓度一定范围内,钙离子和镁离子并不发

生拮抗<sup>[29]</sup>。本试验中,在不补充叶面肥的情况下,基肥增施钙肥,土壤中水溶性钙和镁含量均有所上升,说明植物体内钙离子和镁离子并未发生拮抗作用。在补充叶面肥的情况下,与常规施肥相比,土壤增施钙肥显著提高了土壤中水溶性钙含量,水溶性镁含量有所降低,可能是叶面补充钙肥与土壤增施钙肥的交互作用下,促进了植株对镁离子的吸收。杨竹青<sup>[27]</sup>研究表明,当土壤中钙含量低于0.16 g·kg<sup>-1</sup>时,促进植株对矿质元素的吸收积累,大于0.32 g·kg<sup>-1</sup>时,则会抑制吸收。本试验中,CKA处理水溶性钙离子含量在0.16 g·kg<sup>-1</sup>以下,基肥增施钙肥处理土壤的钙离子含量均大于0.32 mg·kg<sup>-1</sup>,且增施硝酸钙、过磷酸钙和钙镁肥处理土壤中其他离子含量均高于CKA处理,说明基肥增施钙肥处理抑制了植物对其他离子的吸收,与前人研究结果一致。与常规施肥相比,基肥增施钙肥处理的土壤中水溶性钾离子、钠离子、镁离子的含量均有所提升,可能是因为钙素的补充抑制了番茄对钾、钠、镁元素的吸收。与常规施肥相比,基肥+叶面补充钙肥处理,土壤中水溶性钙离子显著增加,说明叶面补充钙肥,降低了植株对土壤中钙离子的吸收。

番茄缺钙会引起果实早衰、裂果,导致脐腐病<sup>[30]</sup>。番茄果实缺钙的原因可能是果实脐部Ca<sup>2+</sup>含量少且对Ca<sup>2+</sup>缺乏症敏感,Ca<sup>2+</sup>向果实脐部的运输量依赖于果梗与脐部组织有运输功能的木质部导管丰度,而木质部导管的丰度会影响果实Ca<sup>2+</sup>的吸收和分布<sup>[31]</sup>。果梗端果实的木质部导管最多,沿着果脐向各个方向延伸,并逐渐递减,到果脐端最少,因此运输到果脐的Ca<sup>2+</sup>最少<sup>[30,32]</sup>。Ca<sup>2+</sup>的运输通过蒸腾拉力带动,蒸腾作用会导致大部分的Ca<sup>2+</sup>往蒸腾拉力较强的器官转移,从而导致分配到果实中的Ca<sup>2+</sup>不足<sup>[33-34]</sup>。目前设施番茄生产上一般采用基肥增施钙肥或者叶面喷施钙肥的方法,李美宁等<sup>[14]</sup>采用滴施硝酸钙和喷施氯化钙处理均显著降低了番茄脐腐病的发病率;郑鹤龄等<sup>[35]</sup>研究表明,喷施钙肥可有效防治番茄脐腐病,并且有利于品质的提升。笔者的试验在喷施叶面肥后,与常规施肥相比,各处理的脐腐病发病率显著降低,可溶性固形物和可溶性糖含量均有上升,验证了这一结论。鄢圣芝<sup>[36]</sup>研究表明,采用营养液栽培的番茄,除了在营养液中添加钙元素外,另外叶面喷施钙肥,可补充根系吸收钙肥的不足,对脐腐病的防效较好。本试验中,与仅施用基肥的CKB相比,基肥与叶面肥组合处理后番茄的脐腐病发病率显著降低,且钙镁肥与

叶面肥组合番茄裂果数也显著降低,说明基肥与叶面肥的组合处理,能够补充仅施用基肥的不足,为番茄提供足够的钙素,降低脐腐病发病率。

综上所述,与常规施肥相比,基肥增施钙镁肥  $25 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ ,可提高番茄的果实品质,显著增加番茄果实的可溶性固形物、维生素 C 和可溶性糖含量;在基肥增施钙镁肥  $25 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$  基础上,再补充氨基酸钙叶面肥,裂果数与脐腐病发病率均最低,产量显著增加。

### 参考文献

- [1] 马荣辉,张淑娟,翟合生,等.不同施肥方式对番茄生物性状及产量的影响[J].中国农技推广,2022,38(9):64-66.
- [2] 李君明,项朝阳,王孝宣,等.“十三五”我国番茄产业现状及展望[J].中国蔬菜,2021(2):13-20.
- [3] 陈善逊,徐四新,诸海焱,等.亏缺灌溉下外源钙对番茄幼苗抗旱特性的影响[J].中国水土保持科学(中英文),2022,20(4):145-154.
- [4] 姚棋,韩天云,梁祎等.外源钙和 EBR 处理对番茄果实品质特性的影响[J].中国瓜菜,2021,34(10):74-79.
- [5] 颜廷帅,时立波,陈玲,等.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[J].陕西农业科学,2022,68(8):41-43.
- [6] 蒲敏,冶军,阮向阳,等.钙镁肥对石灰性土壤加工番茄产量和品质的影响[J].北方园艺,2022(5):8-14.
- [7] 刘军丽,包婕,李建设,等.限根下不同施钙量对番茄品质、产量及养分的影响[J].西南农业学报,2019,32(10):2403-2411.
- [8] FARHAT N, ELKHOUNI A, ZORRIG W, et al. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2016, 38(6): 145.
- [9] 武雅文,顾闽峰,隆小华.番茄脐腐病发生与元素运移的关系[J].江苏农业科学,2017,45(20):117-120.
- [10] 魏彬萌,王益权,石宗琳,等.渭北苹果园土壤钙素退化状态[J].中国农业科学,2015,48(11):2199-2207.
- [11] 安芬.陕西省泾阳县云阳镇日光温室土壤中水溶性钙含量及其影响因子[J].陕西农业科学,2011,57(5):21-25.
- [12] 蒲敏,冶军,阮向阳,等.钙镁肥对石灰性土壤加工番茄产量和品质的影响[J].北方园艺,2022(5):8-14.
- [13] 王同林,黄凯美,郑积荣,等.番茄脐腐病发生机理概述[J].北方园艺,2021(17):135-142.
- [14] 李美宁,危常州,朱齐超,等.不同施钙措施对加工番茄脐腐病发生率及产量品质的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2013,31(2):133-136.
- [15] 蒋欣梅,董然,郑姗姗,等.不同性质钙肥施用对番茄产量及品质的影响[J].长江蔬菜,2015(20):77-79.
- [16] 齐明芳,王丹,齐红岩,等.钙处理对高温胁迫下番茄幼苗光合及钙含量的影响[J].沈阳农业大学学报,2015,46(3):277-283.
- [17] 丁双双,李燕婷,袁亮,等.小分子有机物螯合钙肥对樱桃番茄产量、品质和养分吸收的影响[J].中国土壤与肥料,2015(5):61-66.
- [18] 刘军丽,包婕,李建设,等.日光温室土壤限根下不同施钙量对番茄品质产量及植株养分的影响[J].北方园艺,2019(16):82-89.
- [19] 吴一群,林琼,陈子聪,等.钙水平对无限生长型番茄钙吸收利用及果实品质和产量的影响[J].水土保持学报,2019,33(5):185-189.
- [20] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [21] 杨剑虹,王成林,代亨林.土壤农化分析与环境监测[M].北京:中国大地出版社,2008:27-90.
- [22] 李秀霞,努尔麦麦提·艾麦提,齐曼·尤努斯,等.钙营养胁迫对加工番茄幼苗营养分配及其生理指标的影响[J].安徽农业通报,2021,27(10):13-15.
- [23] 王丹丹,张庆银,李燕,等.日光温室袋培番茄氮、磷、钾、钙、镁营养吸收分配规律研究[J].河北农业大学学报,2021,44(1):33-40.
- [24] 刘军丽,包婕,李建设,等.日光温室土壤限根下不同施钙量对番茄品质产量及植株养分的影响[J].北方园艺,2019(16):82-89.
- [25] RODRÍGUEZ- MENDOZA M N, BACA- CASTILLO G, GARCIA- CUE J L, et al. Effect of fruit thinning and foliar spraying of calcium and honey on quality of ribbed tomato[J]. Revista Fitotecnia Mexicana, 2015. 38(2)197-204
- [26] 杨丽娟,张玉龙,杨崑,等.灌水方式与施钙水平对盆栽番茄产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(2):60-62.
- [27] 杨竹青.钙镁肥对番茄产量品质和养分吸收的影响[J].土壤肥料,1994(2):14-18.
- [28] ANIL A S, SHARMA V K, BARMAN M, et al. Effect of calcium and boron on biomass yield and nutrients uptake by tomato (*Solanum lycopersicum*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2020, 90(6): 1176-1185.
- [29] 袁可能.植物营养元素的土壤化学[M].北京:科学出版社,1983.
- [30] 牟咏花,陆定志,饶立华.番茄花期缺钙与果实脐腐病关系研究[J].园艺学报,1992,31(3):251-255.
- [31] HO L C, WHITE P J. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit[J]. Annals of Botany, 2005, 95(4):571-581.
- [32] 王同林,黄凯美,郑积荣,等.番茄脐腐病发生机理概述[J].北方园艺,2021(17):135-142.
- [33] DE FREITAS S T, JIANG C Z, MITCHAM E J. Mechanisms involved in calcium deficiency development in tomato fruit in response to gibberellins[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2012, 31(2): 221-234.
- [34] GILLIHAM M, DAYOD M, HOCKING B J, et al. Calcium delivery and storage in plant leaves: Exploring the link with water flow[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(7): 2233-2250.
- [35] 郑鹤龄,张瑞霞,潘洁,等.两种钙剂对番茄生长及防治蒂腐病效果的影响[J].天津农业科学,2003,9(3):24-26.
- [36] 鄢圣芝.叶面喷钙对番茄脐腐病的防治研究[J].湖北农业科学,2000,39(4):45-47.