

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

吴一群, 林琼, 陈子聪, 林静芬

(福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013)

摘要: 利用基质栽培水肥一体化技术, 设计不同钙素营养供给水平(0, 1, 3, 6 mmol/L), 研究钙对无限生长型番茄钙吸收利用及果实品质和产量的影响。结果表明: 钙在番茄植物各部位中的分布极不均匀, 且同一部位不同时期钙含量差异也很大, 植物体内钙的分布和变化受钙素营养水平和气温的影响; 随着钙水平的提高, 番茄果实钙含量不断增加, 缺钙将降低果实的产量和品质, 虽然钙与 K、Mg、P、N 元素之间存在拮抗作用, 但是高钙不会造成果实产量和品质的下降; 高温会诱导植株缺钙症状及果实脐腐病的出现, 严重影响番茄的产量和品质, 高钙处理对高温胁迫具有一定的缓解作用。

关键词: 番茄; 无限生长型; 钙; 吸收利用; 胁迫

中图分类号: S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)05-0185-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.05.027

Effects of Calcium Level on Calcium Absorption, Fruit Quality and Yield of Infinite Growth Tomato

WU Yiqun, LIN Qiong, CHEN Zicong, LIN Jingfen

(Institute of Soil and Fertilize, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013)

Abstract: The effects of calcium level on calcium absorption and utilization, fruit quality and yield of infinite growth tomato were studied by using the integrated technology of water and fertilizer in substrate cultivation with different levels of calcium nutrition (0, 1, 3 and 6 mmol/L). The results indicated that the distribution of calcium in different parts of tomato plant was very uneven, and the calcium content of the same part varied greatly in different periods. The distribution and change of calcium in plant were affected by the level of calcium nutrition and temperature. With the increasing of calcium level, the calcium content of tomato fruit increased continuously, and calcium deficiency would reduce the yield and quality of tomato fruit. Although there was antagonistic relationship between calcium and K, Mg, P, N, high calcium would not cause the decline of fruit yield and quality. High temperature could induce calcium deficiency symptoms and umbilical rot of fruit, which seriously affected the yield and quality of tomato. High calcium treatment had a certain mitigative effect on high temperature stress.

Keywords: tomato; infinite growth; calcium; absorption and utilization; stress

钙是植物必需的营养元素, 在植物生长发育和应对环境胁迫中处于中心调控地位^[1]。植物缺钙会使其顶芽、侧芽和根尖等分生组织发生卷曲畸形, 叶缘开始变黄并逐渐坏死^[2]。缺钙会导致植物生理疾病, 严重影响果实外观和内在品质及耐贮性^[3-4]。缺钙主要的原因: 一为土壤缺钙, 主要发生在酸性沙质土壤上, 其他肥料的长期施用也会影响钙在土壤中的形态与分布^[5-6]; 二为生理性缺钙, 主要因为供水不足造成蒸腾作用下降, 影响了钙在植株体内的运输^[7-8]。利用温室大棚进行无土栽培, 通过水肥一体化技术为植物

提供营养与水分, 在生产操作上可以为作物提供足够的钙素营养和水分, 避免土壤栽培中可能出现缺钙因素。但是, 不同作物不同品种对钙的需求差异很大, 只有为作物提供适合的钙素营养才能获得高产优质的农产品^[9-10]。无限生长型番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 生产周期长, 产量高, 种植经济效益好, 被广泛种植于温室大棚内。因其没有明显的开花期、果实膨大期和收获期, 生长点随着时间不断生长, 钙运输的距离越来越远, 可能会影响其在植株体内吸收、积累和分布, 在水肥一体化无土栽培实践中也存在番茄钙

收稿日期: 2019-03-18

资助项目: 省属公益一般项目(2016R1021-6); 省属公益重点项目(2016R1021-3); 菌渣无土栽培专用基质研制及应用推广项目

第一作者: 吴一群(1982-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤环境与施肥研究。E-mail: wuyiqun1@163.com

通信作者: 陈子聪(1963-), 男, 研究员, 主要从事土壤环境与施肥研究。E-mail: zicongchen123@163.com

素缺乏症状的发生,因此,本试验利用水肥一体化技术,设计不同钙素营养供给水平,对无限生长型番茄不同生长阶段不同部位的钙素状况进行监测,探寻植株钙素缺乏的原因,研究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,为无土基质栽培无限生长型番茄钙素营养供给提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验设在福建省农业科学院土壤肥料研究所玻璃温室内进行,供试番茄品种为“金玲珑”,属于樱桃番茄,为无限生长型,采用单杠整枝、吊蔓及放蔓的栽培管理方法。使用椰糠基质条进行番茄水肥一体化栽培,椰糠基质由厦门市江平生物基质技术股份有限公司提供基质包,每条基质包长 1 m,开挖 4 个定植穴,每穴种 1 株番茄,并配上 1 根滴剑。

2016 年 10 月 8 日进行育苗,2016 年 12 月 2 日定植,定植完用 1/4 营养液滴灌 7 天后,开始不同营养液配方处理。试验设置 4 个钙处理溶度(缺钙、低钙、正常、高钙),3 次重复,其含量分别为 0, 1, 3, 6 mmol/L,钙用氯化钙,其他元素各处理都一样,大量元素用六水硝酸镁 1 mmol/L,硝酸钾 4.06 mmol/L,硝酸铵 3.5 mmol/L,磷酸二氢钾 1.47 mmol/L,微量元素用通用配方,铁用 EDTA-Fe。用去离子水配制 160 倍 A 和 B 2 种母液,A 液为六水硝酸镁,硝酸钾、硝酸铵和 EDTA-铁,B 液为磷酸二氢钾和微量元素,每个处理用一个营养液施肥桶,每次配制营养液量 50 kg(施肥桶内营养液用自有井水配制,井水钙含量为 (23.67 ± 2.13) mg/L),配制完后用稀盐酸或氢氧化钠调节 pH 至 6.0~6.2,桶内装有潜水泵与定时器相连,根据作物生长和天气情况调节灌溉时长和频率。

1.2 样品的采集与分析

1.2.1 样品采集 上位叶采集顶上 3 叶,中位叶采集顶上 4~6 叶,下位叶采集余下所有叶片,同时在相应位置采集上中下茎。第 1 次取样时间 1 月 23 日,第 1 串果膨大;第 2 次取样时间 3 月 15 日,第 5 串果成熟,第 3 次取样时间 4 月 17 日,第 7 串果成熟;第 4 次取样时间 5 月 10 日,试验结束。

1.2.2 测定方法 用原子吸收分光光度计测定植株钙含量;3 月 15 日和 5 月 10 日采集成熟的果,用酸碱滴定法测定总酸,铜还原—直接滴定法测定还原糖,2,6-二氯酚法测定 Vc 含量^[11];脐腐病发生率(BER)=病果数/座果数;当一串果中至少有一个果成熟时进行每串果数统计,每串果数=统计果数/统计串数;提前划定测产株,分次采摘成熟果实,称重并计数,3 月 15 日和 5 月 10 日统计累积产量,单果重

(g)=采摘的成熟果重量(g)/个数。

1.3 统计分析方法

试验数据的分析采用 Excel 2003 软件处理,数据统计分析采用 DPS 12.5 软件。

2 结果与分析

2.1 钙在植株体内的分布规律

由图 1~图 4 可知,钙在体内的分布总体表现为叶片钙含量高于茎,叶片不同部位钙含量为下位叶>中位叶>上位叶,钙主要在植株的下部位叶中积累;但是缺钙处理在第 2 次取样时下位茎高于上位叶,第 3 次取样时上位茎和下位茎高于上位叶,高钙处理在第 1 次取样时下位茎高于上位叶,第 4 次取样时缺钙、低钙和正常处理中位叶钙含量高于下位叶,说明不同钙素营养水平会影响钙在植株体内的分布。

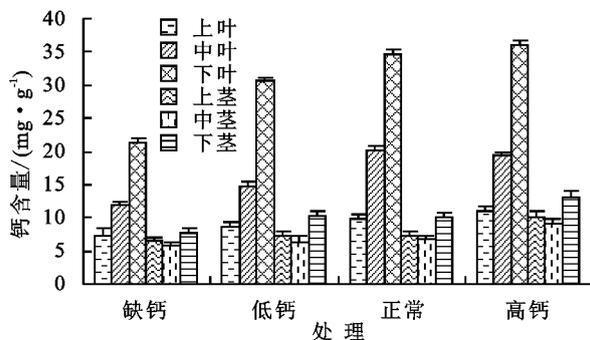


图 1 第 1 次取样钙在植株体内分布

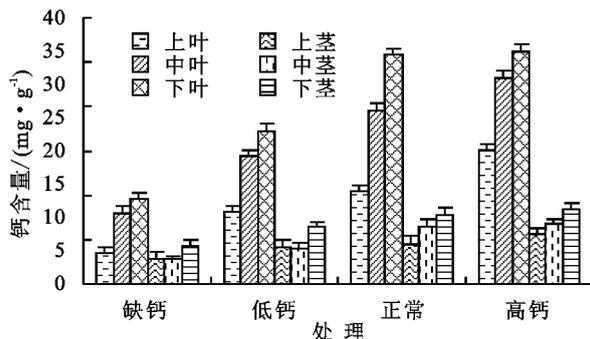


图 2 第 2 次取样钙在植株体内分布

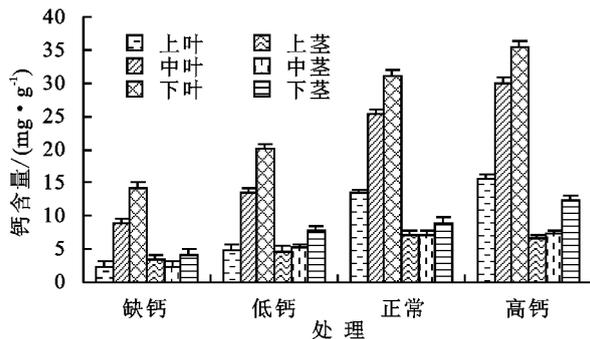


图 3 第 3 次取样钙在植株体内分布

2.2 不同钙水平对番茄植株上位叶钙含量的影响

不同时期上位叶钙含量见图 5。缺钙处理钙含量为 2.35~7.34 mg/g,低钙处理为 4.90~10.06 mg/g,正常处理为 9.83~15.27 mg/g,高钙处理为 10.95~17.29

mg/g, 同一时期叶片钙含量随着营养液钙水平的增加而升高, 不同处理之间差异均达到了显著水平; 正常和高钙处理, 叶片钙含量随着种植时间延长不断升高; 低钙处理为第 4 次 > 第 1 次 > 第 2 次 > 第 3 次, 缺钙处理为第 1 次 > 第 4 次 > 第 2 次 > 第 3 次, 缺钙和低钙处理在第 2 次和第 3 次取样都出现连续下降的趋势, 缺钙处理下降尤为明显, 第 4 次取样 2 个处理叶片钙含量都有不同程度的提高。

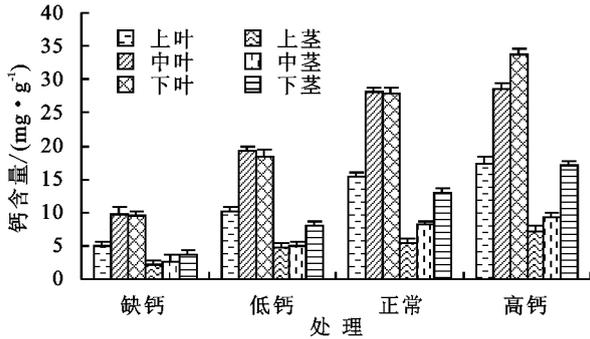


图 4 第 4 次取样钙在植株体内分布

表 1 不同钙水平对番茄果实 Ca、K、Mg、P、N 含量的影响

单位: mg/g, DW

处理	Ca	Mg	K	P	N
缺钙	0.94±0.10d	2.51±0.14a	44.34±1.97a	6.69±0.27a	25.01±2.05a
低钙	1.61±0.11c	2.30±0.10ab	42.94±1.81a	6.35±0.21ab	24.89±0.53a
正常	2.33±0.10b	2.13±0.11b	42.60±1.98a	6.19±0.11b	23.87±1.58a
高钙	2.98±0.28a	1.87±0.08c	41.29±1.16a	5.76±0.22c	22.21±1.61a

注: 表中数据为平均值±标准差; 同列不同字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.4 不同钙水平对番茄果实产量和品质的影响

2.4.1 不同钙水平对番茄外在品质及产量的影响

由表 2 可知, 3 月 15 日番茄单果重、每串果数和每株产量随着钙水平的增加而增加, 高钙和正常处理之间未出现明显的差异; 低钙处理单果重和每串果数与正常处理之间未出现明显差异, 每株产量下降 8.01%, 差异达到显著水平; 缺钙处理单果重、每串果数和每株产量分别比正常处理下降 20.94%, 19.39%, 25.82%, 差异都达到了显著水平; 脐腐病除缺钙处理 BER 为 10.99% 外, 其他处理均未发现。

表 2 不同钙水平对番茄外在品质及产量的影响

处理	单果重/ g	脐腐病发生率 (BER)/%	单串 果数/个	单株 产量/g
缺钙	14.25±1.63c	10.99±1.66	8.52±0.57b	496.98±36.16c
低钙	16.49±0.99b	0±0	9.90±0.91ab	616.32±14.98b
正常	18.02±0.48ab	0±0	10.57±0.99a	669.98±22.24a
高钙	18.97±0.57a	0±0	10.77±0.54a	696.22±18.41a

由表 3 可知, 5 月 10 日番茄单果重、每串果数和每株产量随着钙水平的增加而增加; 与正常处理相比, 高钙处理分别增加了 18.00%, 18.80%, 15.27%, 差异都达到了显著水平, 低钙和缺钙处理分别下降了 20.99%, 18.64%, 18.05% 和 39.97%, 35.07%, 37.90%, 差异都达到

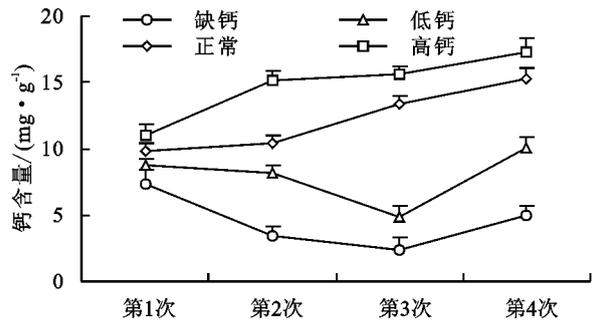


图 5 不同钙水平植株上位叶钙含量

2.3 不同钙含量处理对番茄果实 Ca、K、Mg、P、N 含量的影响

由表 1 可知, 番茄果实中钙含量为 0.94~2.98 mg/g, 随着营养液钙溶度的增加, 番茄果实中钙的含量随之增加, 互相之间差异均达到了显著水平, 与正常处理相比, 缺钙和低钙处理分别下降了 59.66% 和 30.90%, 高钙处理增加了 27.90%; 然而番茄果实 Mg、P、K、N 含量随着钙溶度的增加都有降低的趋势, 特别是高钙处理显著降低了果实中 Mg、P 含量。

了显著水平; BER 随着钙水平的增加而下降, 与正常处理相比, 高钙处理下降了 30.90%, 低钙和缺钙处理分别上升了 40.46% 和 89.45%。

表 3 不同钙水平对番茄外在品质及产量的影响

处理	单果重/ g	脐腐病发生率 (BER)/%	单串 果数/个	单株 产量/g
缺钙	7.57±0.86d	69.89±4.86a	4.20±0.48d	613.71±40.28d
低钙	9.96±0.68c	51.82±2.28b	5.27±0.36c	809.91±64.40c
正常	12.61±0.63b	36.89±3.29c	6.47±0.49b	988.29±57.64b
高钙	14.88±0.88a	25.49±3.26d	7.69±0.62a	1139.24±57.52a

2.4.2 不同钙水平对番茄果内在品质的影响

3 月 15 日番茄果实内在品质见表 4。还原糖、Vc 和糖酸比随着钙水平的增加而增加, 高钙和正常处理之间未出现明显的差异; 低钙处理还原糖和糖酸比分别下降了 11.14% 和 16.31%, 差异达到显著水平; 缺钙处理还原糖、Vc 和糖酸比分别下降了 27.75%, 17.71%, 42.34%, 差异达到显著水平; 总酸随着钙水平的增加而下降, 缺钙比正常处理下降 26.17%, 差异达到显著水平, 高钙、正常和低钙处理之间未出现明显差异。

5 月 10 日番茄果实内在品质见表 5。还原糖、Vc 和糖酸比随着钙水平的增加而增加; 与正常处理相比, 高钙处理分别增加了 13.15%, 9.36%, 17.60%, 差异都达

到了显著水平;低钙和缺钙处理分别下降了 19.14%, 12.19%, 26.33% 和 51.00%, 22.15%, 63.35%, 差异都达到了显著水平;总酸随着钙水平的增加而下降,缺钙比正常处理下降了 34.31%, 差异达到了显著水平,高钙、正常和低钙处理之间未出现明显差异。

表 4 不同钙水平对番茄果实内在品质的影响

处理	还原糖/ %	Vc/ (mg·kg ⁻¹)	总酸/ %	糖酸比
缺钙	4.84±0.48c	1.36±0.05c	0.45±0.04a	10.85±2.99c
低钙	5.96±0.31b	1.54±0.05b	0.39±0.02b	15.15±1.35b
正常	6.70±0.17a	1.66±0.07ab	0.36±0.02b	18.82±1.26a
高钙	6.87±0.16a	1.77±0.09a	0.35±0.02b	19.68±2.25a

表 5 不同钙水平对番茄果实内在品质的影响

处理	还原糖/ %	Vc/ (mg·kg ⁻¹)	总酸/ %	糖酸比
缺钙	2.59±0.28d	1.14±0.07d	0.46±0.03a	5.79±1.03d
低钙	4.63±0.28c	1.27±0.08c	0.37±0.03b	11.63±1.23c
正常	5.38±0.34b	1.46±0.06b	0.34±0.02b	15.78±1.67b
高钙	6.35±0.26a	1.60±0.03a	0.33±0.03b	18.56±0.94a

3 讨论

钙在番茄植物各部位中的分布极不均匀,且同一部位不同时期钙含量差异也很大,本试验各部位钙含量表现为叶片>茎>果,钙主要在植株的下部位叶中积累;前 3 次取样正常和高钙处理,植株上位叶钙含量始终维持在较高水平,且随着种植时间延长不断增加;而缺钙和低钙处理却出现下降的趋势,上位叶钙含量能够体现番茄植株钙素营养水平,可以通过监测上位叶钙对钙营养水平进行诊断;第 4 次取样时缺钙和低钙上位叶含量也出现了上升的趋势,可能的原因是此时正值气温大幅升高,植株蒸腾速率增强,钙离子随着蒸腾流向上运输^[2],温度是影响钙在幼嫩部位分配的重要因素,因此,在钙素营养水平诊断的时候不仅需要考虑取样的时期部位还需要考虑气温因素。

缺钙和低钙处理显著下降了果实钙含量,高钙处理显著增加了果实钙含量,而 Mg、P、K、N 含量随着钙溶度的增加都有降低的趋势,特别是高钙处理显著降低了果实中 Mg、P 含量,钙与大多数元素之间存在拮抗作用^[12]。然而果实的品质和产量却是随着钙水平的增加而提高,这和董彩霞等^[13]同样在番茄上的研究结果相似,说明在本试验条件下钙与其他元素的拮抗作用不是影响果实产量和品质的主要因素。

缺钙能够导致脐腐病,但不是脐腐病发生的必然因子^[14],本试验 3 月 15 日时,除缺钙处理 BER 为 10.99% 外,其他处理均未发现。高温是引发脐腐病的重要因素^[15-16],5 月 10 日高钙、正常、低钙和缺钙处理 BER 都分别达到了 25.49%, 36.89%, 51.82%,

69.89%, 高钙处理能够降低脐腐病的发生率。

本试验前 3 次取样时,除缺钙处理出现钙缺乏症状外,其他各处理都未出现明显的缺钙症状,第 4 次取样时不仅缺钙和低钙处理出现上位新叶叶尖、叶缘黄化,窄小畸形成粘连状,叶肉组织残缺不全并伴有焦边的典型缺钙症状^[17],正常和高钙处理也出现了不同程度的缺钙症状,而此时各处理上位叶钙含量都有不同程度的提高,说明并不是单纯的植株钙素缺乏引起的缺钙症状,而是出现了高温逆境胁迫。高温胁迫是影响设施番茄产量与品质的重要因素之一,高于 35 °C 即对植株的生长发育造成不良影响^[18-19]。试验后期大棚内气温经常出现高于 35 °C 的情况,不同处理番茄果实内外品质 5 月 10 日比 3 月 15 日都有不同程度的下降。钙作为细胞的结构与功能物质,对于维持细胞生理活性具有重要作用^[20-21],作为第二信使在植物逆境生理生态中发挥着增强植物生理系统功能的作用^[22-23],能够提高高温下植物光合作用^[24-25]。在受高温胁迫阶段,不同处理之间番茄果实品质和产量差异都达到了显著水平,高钙处理果实产量和品质显著高于正常处理,进而说明高钙对高温胁迫具有缓解作用。

4 结论

(1) 钙在番茄植物各部位中的分布极不均匀,且同一部位不同时期钙含量差异也很大,本试验各部位钙含量表现为叶片>茎>果,钙主要在植株的下部位叶中积累;缺钙和低钙都会造成番茄果实产量与品质的下降,上位叶钙含量能够体现番茄植株钙素营养水平,可以通过监测上位叶钙对钙营养水平进行诊断;温度是影响钙在幼嫩部位分配的重要因素,因此在钙素营养水平诊断的时候不仅需要考虑取样的时期部位还需要考虑气温因素。

(2) 高温会诱发番茄植株出现缺钙症状,引起脐腐病的发生,造成果实产量与品质下降,是影响无限生长型番茄后期生长的主要障碍因子,高钙处理对这一现象具有明显的缓解作用,因此在高温条件下可以适当提高钙素供给水平。

参考文献:

- [1] Hepler P K. Calcium, a central regulator of plant growth and development [J]. *Plant Cell*, 2005, 17: 2142-2155.
- [2] 周卫,汪洪.植物钙吸收,转运及代谢的生理和分子机制 [J]. *植物学通报*, 2007, 24(6): 762-778.
- [3] 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.
- [4] 王雷,李玲,陈修德,等.喷施钙对肥城桃果活性钙含量及其在亚细胞分布的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*,

- 2016,22(4):1102-1110.
- [5] 张大庚,祝艳青,李天来,等.长期定位施肥对保护地土壤钙素形态分布的影响[J].水土保持学报,2011,25(2):198-202.
- [6] 张大庚,王凯琼,栗杰,等.长期施有机肥对耕地棕壤团聚体及钙素分布的影响[J].水土保持学报,2017,31(4):154-158.
- [7] 周卫,林葆.植物钙素营养机理研究进展[J].土壤学进展,1995,23(2):12-17.
- [8] Hirschi K D. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal [J]. *Plant Physiology*,2004,136(1):2438-2442.
- [9] 陆景陵.植物营养学(上册)[M].北京:北京农业出版社,1995:51-59.
- [10] 董彩霞,周健民,王火焰.不同番茄品种对缺钙敏感性的差异[J].西北植物学报,2003,23(5):777-782.
- [11] 庞胜群,辛建华,郑群,等.加工番茄果实品质性状的配合力及遗传力研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2011,29(3):278-281.
- [12] 郭文忠,刘声锋,徐新福.不同硝酸钙和氯化钠溶度处理土壤对番茄植株养分吸收的影响[J].西北植物学报,2004,24(11):2043-2047.
- [13] 董彩霞,周健民,范晓晖,等.不同施钙措施对番茄果实钙含量和钙形态的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):91-95.
- [14] 董彩霞,周健民,段增强,等.番茄脐腐病发生机理研究综述[J].园艺学报,2001,28(增刊1):644-648.
- [15] Adams P, Ho L C. Deposition of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity [J]. *Journal of Pomology & Horticultural Science*,1992,67:827-839.
- [16] Paiva E A S, Smpaio R A, Martinez H E P. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations [J]. *Plant Nutrition*,1998,21(12):2653-2661.
- [17] 马国瑞,石伟勇.农作物营养失调症原色图谱[M].北京:中国农业出版社,2002:32.
- [18] 张洁,李天来,徐晶.昼间亚高温对日光温室番茄生长发育、产量及品质的影响[J].应用生态学报,2005,16(6):1051-1055.
- [19] Golam F, Prodhon Z H, Nezhadahmadi A, et al. Heat tolerance in tomato [J]. *Life Science Journal*,2012,9(4):1936-1950.
- [20] Silveira A C, Aguayo E, Chisari M, et al. Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melon [J]. *Postharvest Biology and Technology*,2011,62(1):77-84.
- [21] 李天来,李淼,孙周平.钙和水杨酸对亚高温胁迫下番茄叶片保护酶活性的调控作用[J].应用生态学报,2009,20(3):586-590.
- [22] 宗会,李明启.钙信使在植物适应非生物逆境中作用[J].植物生理学通讯,2001,37(4):330-335.
- [23] 王芳,杨莎,郭峰,等.钙对花生幼苗生长、活性氧积累和光抑制程度的影响[J].生态学报,2015,35(5):1496-1504.
- [24] 齐明芳,刘玉凤,周龙发,等.钙对亚高温下番茄幼苗叶片光合作用的调控作用[J].中国农业科学,2011,44(3):531-537.
- [25] 齐红岩,王丹,齐明芳,等.不同形态钙对高温逆境下番茄叶片光合作用的调控作用[J].应用生态学报,2014,25(12):3540-3546.
- (上接第184页)
- [17] 富丽,赵锦梅,李永宁,等.陇东黄土高原不同林龄苹果林地枯落物及土壤的水文效应[J].水土保持通报,2018,38(5):40-45.
- [18] 李红,范素芳,张光灿,等.黄土丘陵区退耕还林后不同林地土壤孔隙与贮水特性[J].水土保持通报,2010,30(1):27-30.
- [19] 冯宜明,李毅,曹秀文,等.甘肃亚高山云杉人工林土壤特性及水源涵养功能对林分密度的响应特征[J].自然资源学报,2018,33(9):1529-1541.
- [20] 陈光升,胡庭兴,黄立华,等.华西雨屏区人工竹林凋落物及表层土壤的水源涵养功能研究[J].水土保持学报,2008,22(1):159-162.
- [21] 刘凯,贺康宁,田赟,等.青海高寒山区5种林分的土壤特性及其水源涵养功能[J].水土保持学报,2017,31(3):141-146.
- [22] 王燕,宫渊波,尹艳杰,等.不同林龄马尾松人工林土壤水土保持功能[J].水土保持学报,2013,27(5):23-27,31.
- [23] 李文影,满秀玲,张阳武.不同林龄白桦次生林土壤特性及其水源涵养功能[J].中国水土保持科学,2009,7(5):63-69.
- [24] 李际平,李沛霖,曹小玉,等.福寿林场杉木人工林水源涵养功能比较研究[J].中南林业科技大学学报,2014,34(7):80-83,129.