

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.18110

不同浓度 CO₂ 施肥对温室番茄果实积硒效应的影响

李靖¹, 孙胜^{1, 2*}, 邢国明^{1, 2*}, 侯雷平^{1, 2}, 张振花¹, 刘洋¹, 袁宏霞¹, 郑金英¹

(1. 山西农业大学园艺学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西省设施蔬菜提质增效协同创新中心, 山西省设施园艺工程技术中心, 山西 太谷 030801)

摘要: 试验以“兴海12号”番茄为研究对象, 在施用4种不同浓度的CO₂的基础上, 又对每个CO₂浓度处理下的番茄做了4个不同浓度的硒处理。研究了不同浓度CO₂施肥对番茄积硒效应的影响。设各独立隔间CO₂浓度依次为大气浓度(CK)、(600±25) μmol·mol⁻¹(T1)、(800±25) μmol·mol⁻¹(T2)、(1000±25) μmol·mol⁻¹(T3)。在此基础上每个隔间的番茄材料实施包括空白在内的4个硒水平的处理L0(空白)、L1(2 mg·L⁻¹)、L2(4 mg·L⁻¹)、L3(6 mg·L⁻¹)。在相同的CO₂条件下叶面喷硒, 随着施硒浓度的升高, 使番茄果实内总硒和有机硒含量均有所升高, 并且当施硒浓度相同时, 随着CO₂浓度升高, 番茄果实内总硒及有机硒都有显著的提升, 且800 μmol·mol⁻¹处理下效果最佳。本次试验在研究了CO₂施肥对番茄硒积累及转化的时候也比较了不同CO₂与亚硒酸钠的不同组合配施下成熟果实主要营养物质含量, 结果为单独施硒与CO₂以及硒与CO₂的配施均使番茄营养品质得到提升。果实内维生素C、番茄红素及可溶性总糖在组合T2L3(CO₂浓度为800 μmol·mol⁻¹, 硒浓度为6 mg·kg⁻¹)时含量最高, 提升显著。在T3L2(CO₂浓度为1000 μmol·mol⁻¹, 硒浓度为4 mg·kg⁻¹)时有较高的糖酸比。

关键词: 番茄; CO₂施肥; 硒积累

自从硒被发现及通过, 近几十年国内外的研究表明, 硒作为动物和人体的必要微量元素, 无论是缺乏还是摄入过量均会引起不同疾病。如地方性的克山病、克汀病、大骨节病, 这些都与缺硒有密切关系^[1]。通过对蔬菜作物施硒处理使其吸收进入食物链是人体补硒最经济、安全、有效的途径^[2]。硒在植物体内积累的同时对植物的生长及发育也会有显著的影响。已有的研究表明一定浓度的硒对植物生长发育有着积极的促进作用。在植物增产提质方面有着显著的功效。但是人及动植物在高硒浓度下均会受到毒害影响。

已有相关施硒试验表明: 在对小白菜、番茄和萝卜富硒处理^[3]后发现其在一定限量范围内均对硒有较强的吸收与富集能力, 都可以通过人工施硒处理使其富硒并达到为人体补充适量的硒、营养保

健和预防疾病的目的。叶面施肥是调控植物营养与微量元素普遍采用的方法, 而且有着较少接触土壤、减少土壤吸收固定与污染以及提高植物利用率的优点, 而且通过叶面施硒也可显著提高作物中的硒含量^[4]。已有的研究证明, 天然有机硒的生物活性比无机硒高, 毒性比无机硒小^[5]。因此研究农作物以及蔬菜作物对硒的吸收和转化, 以及如何提高作物内含硒量, 特别是有机硒含量是非常有意义的课题。

已有的研究认为磷与硫可以影响土壤硒含量丰富地区小麦籽粒中硒积累的水平^[6]。苜蓿在酸性与碱性条件下的硒含量会与钾肥的施用量呈正相关关系。樊文华等^[7]试验结果得出, 单一施硒和硒钴配施均可明显地提高番茄中硒和土壤中有效硒的含量。国外有人认为蛋白质、氨基酸和水溶性氮素可以促进植物内硒的吸收量, 但是加入腐植酸则会降低植物中硒的含量^[8]。同时, 已有的研究也证明了CO₂施肥对作物的生长、品质及矿质元素的吸收总量均有不错的促进作用。本文内容则是研究不同浓度CO₂施肥处理不同施硒水平下对温室番茄果实内积硒效应结果及果实内营养物质的影响。找出提高总硒、有机硒积累转化的方式, 以及提高番茄果实品质的施肥组合方式。

收稿日期: 2018-03-25; 录用日期: 2018-05-29

基金项目: 山西省煤基重点科技攻关项目(FT201402-08); 设施蔬菜高效固碳山西省科技创新培育团队建设(201605D131042); 功能果蔬共性关键技术研究示范(201703D211001-04)。

作者简介: 李靖(1993-), 男, 山西忻州人, 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜栽培生理与生态, E-mail: lijing18404980801@163.com。

通讯作者: 孙胜, E-mail: sunsheng_2004@126.com; 邢国明, E-mail: xingguoming@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在山西农业大学园艺站装有二氧化碳施放系统的日光温室内进行, 番茄为栽培种“兴海 12 号”。

1.2 试验处理

CO₂ 浓度共设置 4 个处理, 温室内分为 4 个隔间, 单个小区面积 6 m × 8 m。设各隔间 CO₂ 浓度依次为大气浓度 (CK)、(600 ± 25) μmol · mol⁻¹ (T1)、(800 ± 25) μmol · mol⁻¹ (T2)、(1 000 ± 25) μmol · mol⁻¹ (T3)。在此基础上每个隔间的番茄进行包括空白在内的 4 个硒水平的处理 L0 (清水)、L1 (2 mg · kg⁻¹)、L2 (4 mg · kg⁻¹)、L3 (6 mg · kg⁻¹)。具体为除了空白 L0 喷水作为对照, 其它 3 个处理分别喷施 2、4、6 mg · kg⁻¹ 的亚硒酸钠稀释液。3 次重复, 随机区组设计。喷施时间为坐果后进行第一次喷施, 以后每隔 14 d 喷施一次, 共 3 次。喷施方式为叶面喷施。土壤基肥为腐熟的羊粪 (总养分: 有机质 24% ~ 27%, 氮 0.7% ~ 0.8%, 磷 0.45% ~ 0.6%, 钾 0.4% ~ 0.5%), 在种植前已均匀翻入地中。定植后采用复合肥 (总养分: N+P₂O₅+K₂O ≥ 45%) 追肥, 随每次浇水时施入。每隔间每次施用量为 1 kg, 番茄坐果后在此基础上每次加施 0.5 kg 大量元素冲施肥 (总养分: N+P₂O₅+K₂O ≥ 60%, 硝态氮 ≥ 6%, 铁 0.1%, 锌 0.05%, 锰 0.05%, 钼 0.01%, 硼 0.05%)。浇水间隔为 10 d 左右。

采成熟后的番茄果实样品, 烘干后测果实内总硒与有机硒含量, 鲜样测果实相关品质指标。

1.3 指标测定方法

1.3.1 总硒及有机硒

硒以不同的化学形式存在于植物体中, 包括无机硒和有机硒。番茄试样中无机硒在 6 mol · L⁻¹ 盐酸水浴条件下提取, 与有机硒分离, 使用原子荧光光谱法测定无机硒的含量。有机硒含量为总硒与无机硒的差值。全硒与无机硒测定参考: GB 5009. 93—2017 食品安全国家标准 食品中硒的测定、DB 3301/T 117—2007 稻米中有机硒和无机硒含量的测定 原子荧光光谱法测定^[9]。

有机硒含量 = 全硒 - 无机硒含量

有机硒转化率 = 有机硒含量 / 全硒含量 × 100%

1.3.2 品质指标测定

采用蒽酮法测可溶性糖含量、钼蓝比色法测维生素 C 含量、石油醚萃取法测番茄红素含量、酸碱

滴定法测可滴定酸含量^[10-11]。

1.4 数据处理

数据处理用 Excel 2010、SAS 8.1 软件分别进行数据统计和分析 ($P < 0.05$) 作图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 CO₂ 施肥对番茄果实硒吸收转化的影响

2.1.1 番茄果实总硒含量

从图 1 可得, 番茄 CO₂ 施肥后的各施硒水平的结果如下: 硒水平为 L0 (空白) 时各 CO₂ 浓度下果实总硒含量均很少, 且各处理之间无明显差异; 硒水平为 L1 时, CO₂ 施肥处理 T2 与 T3 相比 CK 有显著提升, 果实总硒含量分别上升 32.85% 与 24.66%, 且两个 CO₂ 施肥处理之间也有显著差异。但是 T1 与对照相比无明显差异; 当硒水平为 L2 时, 在 CO₂ 施肥处理下 T1、T2、T3 与对照相比均有显著提升, 分别达到 25.00%、51.16%、27.91%。T1 与 T3 间无显著差异, 但均与 T2 差异明显; 当硒水平为 L3 时, CO₂ 施肥处理下 T1、T2、T3 处理比对照均有显著提升, 分别达到 15.88%、24.47% 与 11.51%, 且各处理之间也有显著差异。可以看出, 番茄施硒后在不同浓度的 CO₂ 施肥处理下除 T1L1 外在同一硒水平下随着 CO₂ 浓度升高番茄果实内总硒含量会显著上升, 而且在各施硒水平条件下 T2 相比 CK 增长幅度均达到最高。

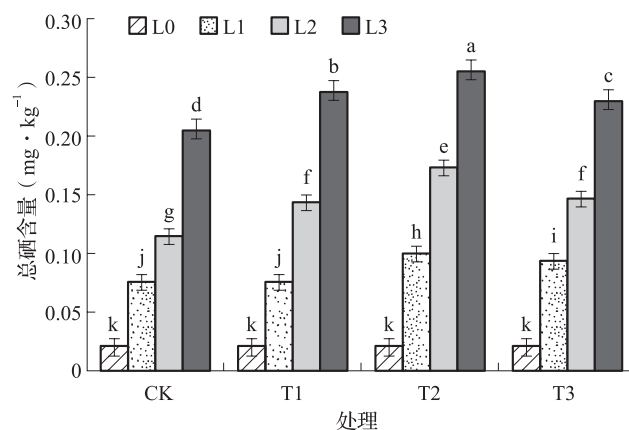


图 1 番茄果实总硒含量

注: 图柱上不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下图同。

同时可以看出, 在相同的 CO₂ 施肥环境中随着施硒浓度的升高, 果实内总硒含量随施硒浓度升高得到大幅度提升。并且在各 CO₂ 施肥处理下上升趋势相同。所以番茄果实中硒含量的主要影响因素是植株本身被施硒量的多少, 但是通过 CO₂ 施肥明显

可以提升在同一硒水平下番茄果实的总硒含量。综合来看,在 T2L3 组合下,番茄果实中积累总硒含量最多达到 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.1.2 番茄果实有机硒含量及转化率

番茄果实内有机硒是通过植株吸收硒后将无机硒转化为有机硒,且有机硒的生物意义更大。结合图 2,通过对番茄 CO_2 施肥后在不同的施硒水平番茄果实有机硒含量及变化分析结果如下:硒水平为 L0 空白时各 CO_2 浓度下果实有机硒含量仍然很少,且各处理之间也无明显差异;硒水平为 L1 时,各 CO_2 施肥处理 T1、T2 与 T3 相比 CK 有显著提升,果实总硒含量分别上升 16.12%、75.51% 与 65.10%,其中 T2 与 T3 之间差异不显著。但是与 T1 与有明显差异;当硒水平为 L2 时,在 CO_2 施肥处理下 T1、T2、T3 与对照相比均有显著提升,分别达到 37.78%、84.92%、53.59%。T1、T2、T3 两两互有显著差异;当硒水平为 L3 时,各 CO_2 施肥处理 T1、T2、T3 与对照均有显著提升,分别达到 19.71%、29.24% 与 17.80%,且各处理之间也有显著差异。

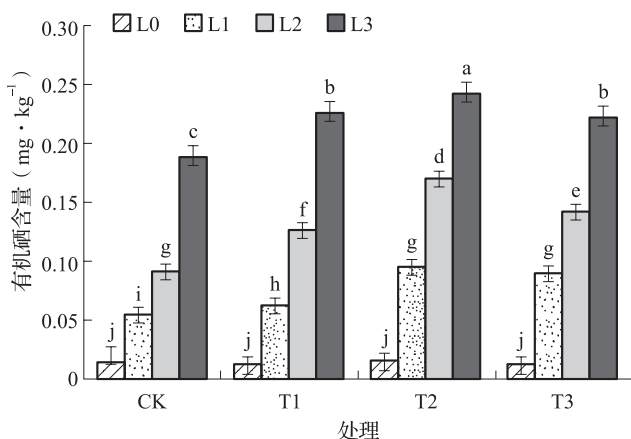


图 2 番茄果实有机硒含量

在相同的 CO_2 施肥浓度下时,随着施硒水平的升高果实内有机硒含量呈倍数上升,可以看出,番茄果实内有机硒含量随着施硒水平的升高而显著升高,并且在 CO_2 施肥环境下有进一步提升效果,并且效果显著。其中 CO_2 处理在 T2 时效果比其他处理有明显优势。

从图 3 可以看出,随着硒浓度与 CO_2 浓度的升高番茄果实中有机硒转化率也在升高。但在较高浓度 CO_2 (T3) 下,有机硒转化率在 3 个施硒处理 (L1、L2、L3) 之间已无明显差异,这可能与转化率接近 100% 有关系,此时的转化率已达 95% 以上。

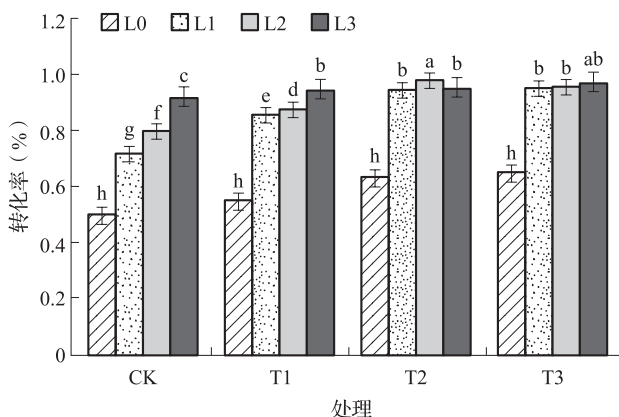


图 3 番茄果实有机硒转化率

2.2 不同 CO_2 施肥配施不同硒处理对番茄果实营养物质含量的影响

2.2.1 可溶性糖、可滴定酸含量及糖酸比

番茄果实内糖与酸不仅是营养物质,也影响到果实口感。因此糖酸含量是番茄果实品质的重要指标。从图 4 可以看出,在 CO_2 处理浓度为 CK 时,随着施硒水平的升高番茄果实内糖含量会有显著提升,说明对番茄叶片施硒会使番茄内可溶性总糖含量上升。不同 CO_2 浓度配合不同硒浓度处理番茄果实内可溶性糖含量均显著提升,其中 T2L3 组合效果最好,相比 CKL0 组合提升了 61.33%。

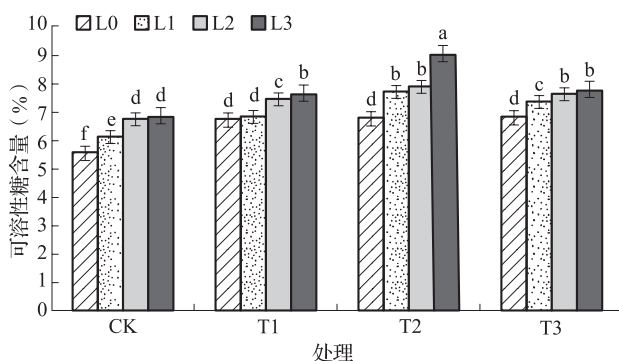


图 4 番茄果实可溶性糖含量

从图 5 可以看出,无论是单独施 CO_2 气体还是单独叶片喷施亚硒酸钠,果实内可滴定酸含量均有显著下降趋势,并且随着 CO_2 与硒的量增大,果实内可滴定酸的含量呈不断下降趋势且效果显著。在不同的硒水平 L0、L1、L2、L3 下,随着 CO_2 施肥浓度的升高果实内酸含量相比不施 CO_2 的 CK 显著下降。而在相同的 CO_2 环境下,番茄叶面喷施硒后果实可滴定酸含量相比 L0 也有显著下降趋势,其中 CO_2 为 T2 时 L1、L2、L3 之间没有显著差异,

但均与 T2L0 有显著差异。综合来看, 在 T3L3 时果实内酸含量降到最低水平, 相比 CKL0 下降了 35.14%。

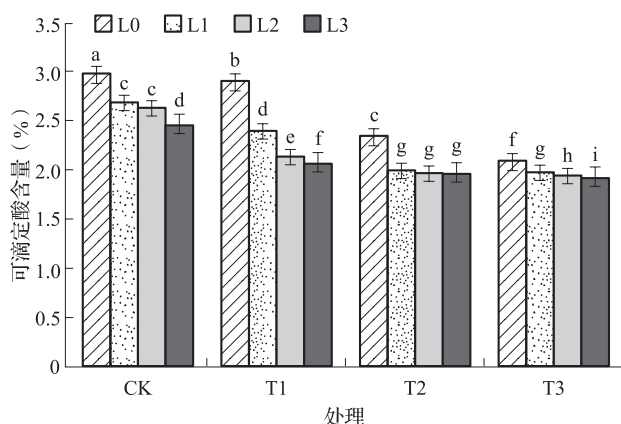


图5 番茄果实可滴定酸含量

图6为果实糖酸比的结果, 与果实内可溶性总糖与可滴定酸含量有关系。可以看出, 在各硒水平下随着 CO₂ 施肥浓度升高果实糖酸比都呈显著上升趋势。而在不同的 CO₂ 施肥水平下果实施硒相比不施硒糖酸比均有显著的提升, 但在 T1、T2、T3 的 CO₂ 水平中均是 L2 相对其他处理效果更明显, 在此次试验中 T3L2 组合处理下番茄果实糖酸比相对其他处理最高, 口感可能相对比来说会好一些。

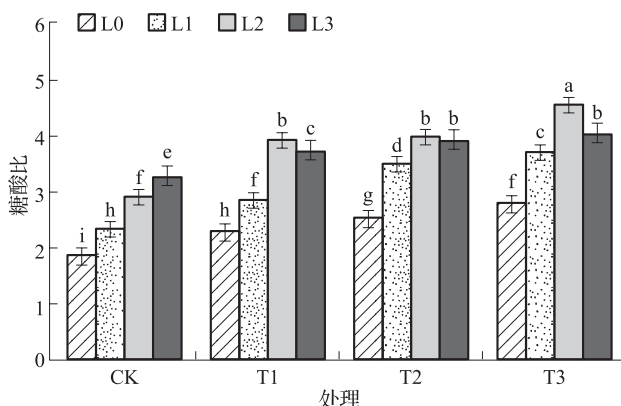


图6 番茄果实糖酸比

在一定范围内番茄施硒与施 CO₂ 气肥可以提高果实内可溶性总糖并且降低总酸量, 从而提升糖酸比, 这和人前^[12]的研究结果一致。而本试验通过硒与 CO₂ 的配施可使上述效果得到进一步提升。

2.2.2 维生素 C 及番茄红素含量

人体无法自身合成维生素 C 与番茄红素, 二者是对人体有益的抗氧化物质。并且番茄红素也是西红柿中相比其他蔬菜含量最高的营养物质, 对人体

疾病免疫及抗衰老等有多方面的作用。所以番茄果实内维生素 C 与番茄红素含量也是番茄重要的品质指标。

图7为 CO₂ 与硒配施后番茄果实内维生素 C 含量的结果。在各硒水平下, 随着 CO₂ 浓度升高番茄果实内维生素 C 含量均显著提升, 且都是 T2 的 CO₂ 处理浓度下优势最显著。同时在各 CO₂ 处理水平下施硒均会对果实维生素 C 含量有提升效果, 其中在 CO₂ 水平为 CK、T1、T3 时, L1 与 L2 虽与 L0 有差异但二者之间无明显差异, 并且提升幅度相比 L3 来说也比较小。在 T2L3 组合下番茄维生素 C 含量最高, 相比 CKL0 提升 53.89%。

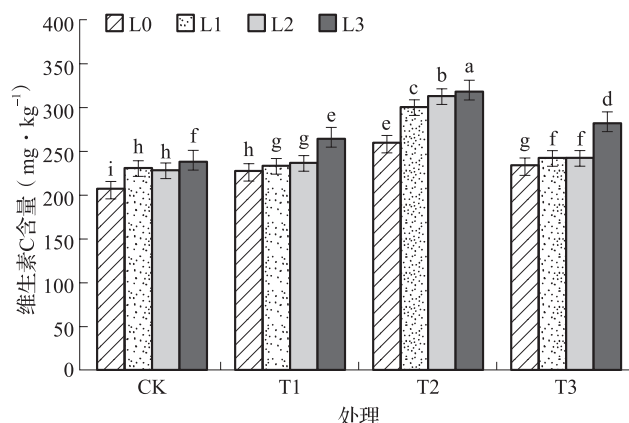


图7 番茄果实维生素 C 含量

图8为 CO₂ 与硒配施后番茄果实内含番茄红素结果, 硒水平为 L0 时, CO₂ 施肥处理下 T1、T2 与 T3 相比 CK 有显著提升, 果实内番茄红素含量分别上升 21.09%、41.88% 与 22.44%, 其中 T3 与 T1 间差异不显著但与 T2 及 CK 均有显著差异。硒水平为 L1 时各 CO₂ 浓度下 T1、T2、T3 相比 CK 均有显著提升, 分别达到 8%、32.65%、23.43%; 当硒水平为 L2 时, 在 CO₂ 施肥处理下 T2、T3 与对照相比均有显著提升, 分别达到 18.46% 和 6.43%。但是 T1 与 CK 间无显著差异; 当硒水平为 L3 时, CO₂ 施肥处理下 T1、T2、T3 各处理与对照相比均有显著提升, 分别达到 4.21%、66.13% 与 20.44%, 且各处理之间也有显著差异。而在相同 CO₂ 施肥水平下不同硒水平结果为: 当 CO₂ 为 CK 时, 不同硒水平下 L1、L2 与 L3 相比 L0 有显著提升, 果实番茄红素含量分别上升 12.72%、31.87% 与 32.43%, 其中 L2 与 L3 间差异不显著但与 L1 及 L0 均有显著差异。CO₂ 为 T1 时各硒水平下 L2、L3 相比 L0 均有显著提升, 分别达到 9.44%、13.97%, 而 L1 与 L0

差异不明显;当 CO_2 为 T2 时, L1、L2、L3 各处理与对照均有显著提升,分别达到 5.39%、10.11% 与 55.06%,且各处理之间也有显著差异;当 CO_2 为 T3 时,各硒水平下 L1、L2、L3 各处理与对照均有显著提升,分别达到 13.63%、14.62% 与 30.27%,但是其中 L1 与 L2 间差异不显著,但与 L3 及 L0 均有显著差异。综合比较, T2L3 组合配施处理下番茄果实内番茄红素含量最高,是 CKL0 的 2.2 倍。

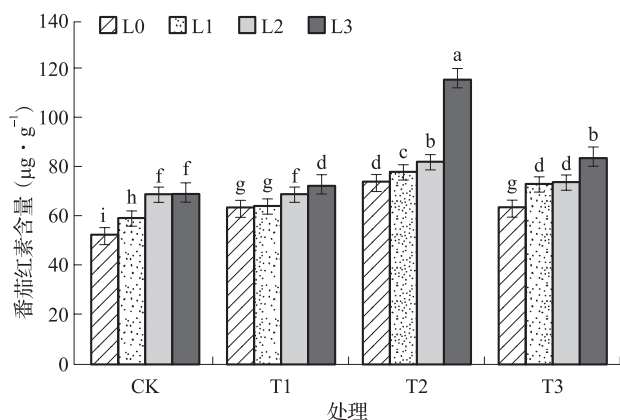


图 8 番茄果实番茄红素含量

3 讨论与结论

作为植物光合作用的底物, CO_2 的浓度很大程度上影响着植物的生长与发育,对植物的光合速率有着重要的作用。本试验主要研究了 CO_2 施肥对番茄果实硒积累的影响,也研究了 CO_2 与硒的组合配施对番茄主要营养物质含量的影响。杜振宇等^[12]对番茄叶面喷硒后得出随喷硒量的增加,番茄在同一采收期含硒量均有增长趋势的结论。

本试验中,在相同的 CO_2 条件下叶面喷硒后随着硒浓度升高均能够使番茄果实内总硒和有机硒含量升高,并且当施硒浓度相同时随着 CO_2 浓度升高番茄果实内总硒及有机硒都有显著提升的效果且 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 处理下效果最佳。有关于植物对亚硒酸盐的吸收机制目前研究尚少,也无定论。但就目前研究情况来看,认为吸收方式为主动运输并不依赖代谢^[13-14]。我国有研究人员通过对水稻叶片吸收亚硒酸钠特性研究发现,其在 pH 值较低、温度较高环境下以被动运输方式进入叶表细胞,而且低 pH 值与高温也有助于亚硒酸钠的吸收^[15-16]。水稻的不同叶位叶片对吸收亚硒酸盐影响的研究表明,充分伸展和正在伸展的叶片吸收亚硒酸盐速率要高于成熟的老叶。 CO_2 施肥可能提供了某种有利

条件使得进入番茄植株细胞内的硒含量增高。在植物体中硒元素以多种化合物的形式存在,大体可分为有机态的硒与无机态的硒。而且硒主要的存在方式为有机硒,占比可达到 80% 以上^[17]。有研究表明在 Se^{4+} 培养基上培养的萝卜中大约 95% 的硒都转化为有机态的硒^[18]。本试验在相同的施硒环境下 CO_2 施肥会使得番茄果实中有机硒及转化率都显著提升。当然对植物内硒以及有机硒绝对含量影响的主要因素还是在于施硒量。本试验中当 CO_2 施肥浓度一定时,有机硒的含量及转化率也会随番茄叶面施硒量的上升而上升,而杜振宇等^[19]对茄子的施硒试验结果为:随着施硒含量浓度的增加,硒含量会增加,但有机硒的转化率会下降,这与本试验的结果不同。而施和平等^[20]此前对番茄施硒的结果为:高浓度硒对农作物产生毒害,但在合适浓度下既促进生长,又可合成有机硒化合物。诸多的研究表明,植物吸收的硒最终转化为无机态和各种有机态硒,并且有其他新的存在形式也在被不断发现中。硒是如何转化为这些有机物,硒的这些转化对植物本身及生理等有何功能等,所见报道还未能够解释清楚。在本试验的条件设置范围内番茄 CO_2 的施肥处理表现出对硒的积累及有机硒转化的促进作用,但是植物内硒吸收与转化的调控机理目前的研究甚少。

已有的研究表明,合理的施硒浓度可以提高植株生长指标以及产量指标。邵旭日等^[21]对番茄梯度施硒研究表明在一定施硒范围内维生素 C、番茄红素、糖酸比与施硒量呈正相关。通过对茄果类增施 CO_2 的研究也已经比较广泛。本次试验在研究 CO_2 对番茄硒积累及转化的时候也比较了不同 CO_2 与亚硒酸钠的配施组合下成熟果实主要营养物质含量,结果为单独施亚硒酸钠与 CO_2 气肥以及亚硒酸钠与 CO_2 的配施均使番茄营养品质得到提升。果实内维生素 C、番茄红素及可溶性总糖在组合 T2L3 (CO_2 浓度为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 硒浓度为 $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 时含量最高,提升显著。在 T3L2 (CO_2 浓度为 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 硒浓度为 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 时有较高的糖酸比。

CO_2 作为植物生命来源影响着植物的大多数生命活动,精细化且深入的研究仍然需要。同时与硒有关的研究还在进行,深究和利用植物中潜在进行调控硒吸收、运转、代谢和积累的基因和调控机制,并将此基因转入相关目标植物中使之高效表

达,提高目标植物中的硒含量。植物吸收和转化硒(叶面施硒及土壤有效硒^[9, 22])研究的深入将极大地推动富硒功能性食品、保健品等产业的发展,为人类硒营养健康做出重要贡献。

参考文献:

- [1] 中国科学院地理研究所环境与地方病组. 我国低硒带与克山病、大骨节病病因关系的研究[J]. 环境科学, 1986, 7(4): 89.
- [2] 谭见安. 环境硒与健康[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1989. 219-224.
- [3] 付冬冬, 段曼莉, 梁东丽, 等. 不同价态外源硒对小白菜生长及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 358-365.
- [4] Ducsay L, Lozek O. Effect of selenium foliar application on its content in winter wheat grain[J]. Plant Soil & Environment, 2006, 52(2): 78-82.
- [5] Schwarz K. Biological potency of organic selenium compounds[J]. J Biol Chem, 1969, 244: 2103-2110.
- [6] 刘慧, 杨月娥, 王朝辉, 等. 中国不同麦区小麦籽粒硒的含量及调控[J]. 中国农业科学, 2016, 49(9): 1715-1728.
- [7] 樊文华, 李莉. 硒钴配施对番茄产量、番茄红素及硒、钴含量的影响[J]. 山西农业科学, 2009, 37(10): 19-22.
- [8] Shrift A, Ulrich J M. Transport of selenate and selenite into Astragalus roots[J]. Plant Physiol, 1969, 44: 893-896.
- [9] 张栋, 翟勇, 张妮, 等. 新疆水稻主产区土壤硒含量与水稻籽粒硒含量的相关性[J]. 中国土壤与肥料, 2017, (1): 139-143.
- [10] 田芳, 李勇, 张周洋, 等. GB 5009.93-2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》标准解读[J]. 食品安全导刊, 2017, (36): 57.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 杜振宇, 史衍玺, 王清华. 蔬菜对硒的吸收及适宜补硒食用量[J]. 生态环境, 2004, (2): 230-231, 267.
- [13] Ulrich J M. Transport of selenate and selenite into Astragalus roots[J]. Plant Physiology, 1969, 44(6): 893-896.
- [14] Arvy M P. Selenate and selenite uptake and translocation in bean-plants (Phaseolus vulgaris)[J]. Journal of Experimental Botany, 1993, 44(263): 1083-1087.
- [15] 张联合, 赵巍, 郁飞燕, 等. 水稻离体叶片吸收亚硒酸盐的生理特性[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 189-193.
- [16] Li H F, Mcg R S P, Zhao F J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite[J]. New Phytologist, 2008, 178(1): 92-102.
- [17] 张华华, 康玉凡. 植物吸收和转化硒的研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2013, 32(3): 270-275.
- [18] 左银虎. 环境与植物中硒形态研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 378-380.
- [19] 杜振宇, 史衍玺, 王清华. 施硒对茄子吸收转化硒和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 298-301.
- [20] 施和平, 张英聚, 刘振声. 番茄对硒的吸收、分布和转化[J]. 植物学报, 1993, (7): 541-546.
- [21] 邵旭日, 韩莹琰, 齐长红, 等. 叶面施用不同浓度的硒肥对番茄果实品质的影响[J]. 蔬菜, 2017, (8): 25-28.
- [22] 匡恩俊, 迟凤琴, 张久明, 等. 叶面喷硒对不同作物籽粒硒含量及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018, (4): 133-136.

Effect of different concentrations of CO₂ enrichment on the accumulation of selenium of tomato fruit

LI Jing¹, SUN Sheng^{1, 2*}, XING Guo-ming^{1, 2*}, HOU Lei-ping^{1, 2}, ZHANG Zhen-hua¹, LIU Yang¹, YUAN Hong-xia¹, ZHENG Jin-ying¹ (1. College of Horticultural, Shanxi Agricultural University, Shanxi Taigu 030801; 2. The Facility Vegetable Upgrading Synergistic Innovation Center in Shanxi Province, Engineering Technology Center of Horticultural Facilities in Shanxi Province, Shanxi Taigu 030801)

Abstract: Taking “Xinghai 12” tomato as the research object, four different concentrations of CO₂ and four different concentrations of selenium were set up in this experiment to study the effect of CO₂ fertilization on selenium accumulation in tomato. The four CO₂ concentrations and four selenium levels were atmospheric concentration (CK), (600 ± 25) (T1), (800 ± 25) (T2), (1 000 ± 25) (T3) μmol · mol⁻¹ CO₂, and 0 (L0), 2 (L1), 4 (L2), 6 (L3) mg · L⁻¹ Se, respectively. Under the same CO₂ condition, the contents of total selenium and organic selenium in tomato fruit increased with the increase of selenium concentration, and when the concentration of selenium is the same, with the increase of CO₂ concentration, both total selenium and organic selenium in tomato fruit increased significantly, the effect of 800 μmol · mol⁻¹ treatment was the best. This experiment was conducted not only to study the effects of CO₂ on selenium accumulation and transformation in tomato, the main nutrient contents of mature fruits under different combinations of CO₂ and sodium selenite were also compared. The results showed that all the application of selenium and CO₂ alone and the combination of selenium and CO₂ improved the nutritional quality of tomato. The content of vitamin C, lycopene and soluble sugar in fruit increased significantly when the concentration of T2L3 (CO₂ was 800 μmol · mol⁻¹ and the concentration of selenium was 6 mg · kg⁻¹). When the concentration of T3L2 (CO₂ was 1 000 μmol · mol⁻¹ and the concentration of selenium was 4 mg · kg⁻¹), the ratio of sugar to acid is higher.

Key words: tomato; CO₂ fertilization; accumulation of selenium