

富硒有机肥、复合肥和灌水量对番茄产量和品质的影响^①

黄 维^{1,2}

(1 玉林师范学院农学院, 广西玉林 537000; 2 湖南农业大学农学院, 长沙 410128)

摘 要:以樱桃番茄“千禧”为供试材料,采用大田小区试验的方法,研究了膜下滴灌条件下富硒高钙有机肥和复合肥配比(每 667 m² 分别施 50 kg 复合肥(F1), 500 kg 富硒高钙有机肥+25 kg 复合肥(F2), 1 000 kg 富硒高钙有机肥(F3))和灌水量(100% 灌水量(W1)和 80% 灌水量(W2))对番茄产量和品质的影响。结果表明: 富硒高钙有机肥和复合肥配施,比使用同量氮磷钾的富硒高钙有机肥或复合肥,产量都显著提高; 随着富硒高钙有机肥施肥量比例的增加,番茄果实中硒含量、番茄红素含量、维生素 C 含量和可溶性糖含量均显著增加; 滴灌可以有效提高水分利用效率,80% 灌水量在产量降低不显著的情况下,番茄果实中硒的含量和果实品质均有不同程度的提高。因此,膜下滴灌 80% 灌水量时,富硒高钙有机肥和复合肥配施(各占 50%)在保证果实品质和硒含量达到富硒农产品标准的同时,产量达到最佳。

关键词: 樱桃番茄; 富硒高钙有机肥; 有机无机肥配施; 膜下滴灌; 节水调质

中图分类号: S641.207 文献标识码: A

随着人们生活水平的提高,对农产品的品质及其功能有了新的理解和需求。硒(Se)具有抗氧化和抗肿瘤能力,是维持人体和动物机体健康的必需微量元素^[1]。大量的研究表明大约 15% 的人硒元素的摄入不足,而蔬菜及谷物是人类硒的主要来源,对人体的贡献率约为 70%^[2]。但由于无机硒存在毒性,如果不能及时被植物吸收和转化,可能使人致病。

近年来,国内外学者关注到无机肥的速效性和有机肥对土壤的改良性,对其配合使用的研究越来越多,但是缺少富硒高钙有机肥对番茄影响的论文。孙雅杰等^[3]研究表明,施用有机肥在一定程度上保证番茄产量,降低氮损失,保证较高的氮素后茬利用率,但是使用有机肥、化肥或有机肥和化肥各半对产量影响不显著。李恕艳等^[4], Zhong 等^[5]和 Badr 等^[6]却认为,施用有机肥可以显著提高番茄产量,提高番茄可溶性总糖、维生素 C 和可溶性固形物含量,增加果实中酯类和醛酮类,改善番茄口感。张恩平等^[7]的研究结果与李恕艳等^[4]一致,并从土壤酶活性角度揭示了其机理:氮磷钾肥配施有机肥,能够提高土壤酶活性,其中氮肥能提高过氧化氢酶活性,磷肥能提高蛋白酶和转化酶的活性。

番茄产量和品质对灌水量的响应,也是目前研究的热点问题。冯腾腾等^[8]以品质最佳为标准,平均单

果重和单株产量最大时,其灌水量为 120 m³;随着灌水量降低,番茄果实中的可溶性糖、番茄红素含量和可溶性固形物均有所提高;灌水量减少 30%,番茄果实的品质达到最大值。李红峥等^[9]认为,80% 灌水量(蒸发量为 100%)时,番茄的产量和水分利用率(WUE)均相对较高,番茄果实品质比较理想。国外的研究^[10-11]主要从不同滴灌情况考虑,其产量均比对照(沟灌)显著增加,同时品质有所改善;但当灌水量持续增加时,番茄红素和维生素 C 含量等指标均有不同程度的下降。

前期缺少富硒高钙有机肥对番茄生长影响的研究,但就番茄无机肥配施有机肥的研究来看,主要从有机肥的使用量的角度,缺少定量分析各处理的氮磷钾总量;同时前期的文献中,缺少关于番茄无机肥配施有机肥与灌水量是否存在互作的研究。本研究以番茄为例,研究膜下滴灌和等量氮磷钾条件下,不同富硒高钙有机肥和复合肥的配比与灌水量对番茄产量、果实硒含量和果实品质的影响,为番茄水肥高效利用和富硒功能农业提供理论依据和应用参考。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验在钦州恒利立富硒生物科技有限公司钦州

基金项目: 广西科技计划项目(桂科 AA17202037, 桂科 AB16380164, 2015GXNSFAA139101)资助。

作者简介: 黄维(1990—),女,广西南宁人,讲师,博士研究生,主要从事富硒功能农业研究。E-mail: hww908i@foxmail.com

市钦南区久隆镇大岭村的试验基地大棚内进行。试验田土壤 pH 5.8、有机质 15.6 g/kg、碱解氮 51.7 mg/kg、有效磷 13.8 mg/kg、速效钾 42.5 mg/kg，田间持水量 28%。

1.2 试验材料

供试“千禧”番茄种子为市售。供试地膜为聚乙烯薄膜，厚度 0.012 mm，宽度 1.2 m。供试富硒高钙有机肥(其中 N+P₂O₅+K₂O 5%，有机质 45%，Se 0.1%)由北海立地肥业有限公司生产。

1.3 试验方法

采取随机区组试验设计，设置 3 种富硒高钙有机肥和复合肥组合(表 1)，即每 667 m² 使用：50 kg 复合肥(F1)；500 kg 富硒高钙有机肥 + 25 kg 复合肥(F2)；1 000 kg 富硒高钙有机肥(F3)；2 种灌水量为 100% 灌水(W1)和 80% 灌水(W2)。每处理重复 3 次。每小区 4 沟 4 垄，小区面积约 25 m²。

表 1 各处理的灌水量和施肥模式
Table 1 Fertilization patterns and irrigation amount

处理	灌水量	施肥模式
T1	W1	F1
T2	W1	F2
T3	W1	F3
T4	W2	F1
T5	W2	F2
T6	W2	F3

2017 年 9 月 5 日种子播种于 100 孔穴盘内，9 月 30 日定植。试验田中央设置直径 20 cm 标准蒸发皿，高度离开地面约 1 m，从定植后开始每天 07:00 测定蒸发皿日蒸发量。每周滴灌一次，100% 灌溉量是指上一周蒸发量的 100%，80% 灌溉量是指上一周蒸发量的 80%。各处理其他田间管理措施相同。

1.4 测定项目

每个处理小区标记 16 株，每次收获时，将各个计产小区的番茄果实分别称重，单独测产。在果实成熟时，选择各处理中发育状况相对一致的果实测定硒含量和果实品质指标，取第 1 层果和第 3 层果的平均值。硒含量采用原子荧光光度法进行测定^[12]，番茄红素含量采用紫外-可见分光光度计法测定^[13]；维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定^[13]；可溶性糖含量采用硫酸-蒽酮比色法测定^[13]。

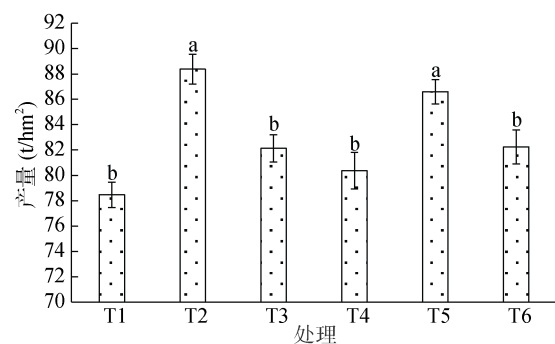
1.5 统计分析

采用 SPSS 17 软件利用通用线性模型进行方差分析，在 $P < 0.05$ 水平上分析差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 不同水肥处理对番茄产量的影响

由图 1 可以看出，各处理中，T2 处理的番茄产量最高，与 T2 相比，T1，T3，T4 和 T6 的产量分别减少 11.21%，7.08%，9.08% 和 6.94%，差异均显著；这表明，富硒高钙有机肥和复合肥配施，比使用同量的氮磷钾的富硒高钙有机肥或复合肥，都有利于产量的提高。但 T1 和 T4 处理之间、T2 与 T5 处理之间、T3 和 T6 处理之间的差异均不显著；这表明，滴灌可以提高水分利用效率，当用水量减少 20% 时，番茄产量虽然略有下降，但差异不显著。



(图中小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，下同)

图 1 不同水肥处理对番茄产量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on tomato yield

2.2 不同水肥处理对番茄果实硒含量的影响

由图 2 可以看出，T2 和 T5 处理的番茄果实中硒含量较 T1 和 T4 处理分别增加 343.44% 和 283.60%，T3 和 T6 处理的番茄果实中硒含量较 T2 和 T5 处理分别增加 74.41% 和 58.34%，差异均显著。这表明随着富硒高钙有机肥施肥量的增加，番茄果实中硒含量显著增加，但增加的趋势显著下降。T1 处理番茄果实硒含量略小于 T4，T2 处理番茄果实硒含量略小于 T5，T3 处理番茄果实硒含量略大于 T6，但两两之间的差异均不显著。这表明：滴灌可以提高水分利用效率，当用水量减少 20% 时，番茄果实硒含量略有升高(W1 时，番茄果实硒平均含量为 23.77 μg/kg；W2 时，番茄果实硒平均含量为 24.09 μg/kg)，尤其是土壤中硒含量偏低时，减量滴灌有利于提高番茄果实中硒含量。

2.3 不同水肥处理对番茄果实品质的影响

2.3.1 番茄红素含量 由表 2 可以看出，T6 处理的番茄红素含量最高，与 T2 相比，其番茄红素含量提高 7.33%，差异显著。从相同施肥量来看，T1、T2 和 T3 处理分别略低于 T4、T5 和 T6 处理，但差异不

显著, 这表明减少 20% 滴灌量时, 可以提高番茄果实中番茄红素的含量, 但是差异不显著。

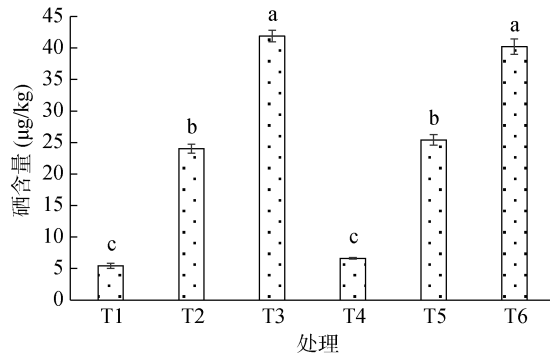


图 2 不同水肥处理对番茄果实硒含量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on Se contents in tomato fruit

表 2 不同水肥处理对番茄果实品质的影响
Table 2 Effects of different treatments on tomato quality

处理	番茄红素 (mg/kg)	Vc (mg/100g)	可溶性糖(%)
T1	38.12 ± 0.59 ab	37.70 ± 0.90 ab	1.626 ± 0.040 b
T2	36.66 ± 0.66 b	38.68 ± 0.75 ab	1.690 ± 0.047 b
T3	39.17 ± 0.62 a	39.09 ± 0.64 ab	1.932 ± 0.033 a
T4	38.40 ± 0.67 ab	36.62 ± 0.25 b	1.693 ± 0.036 b
T5	37.66 ± 0.96 ab	38.07 ± 1.45 ab	1.657 ± 0.024 b
T6	39.35 ± 0.69 a	40.82 ± 1.21 a	1.924 ± 0.056 a

注: 表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平。

2.3.2 维生素 C 含量 由表 2 可以看出, W1 和 W2 两种灌水量时, 随着富硒高钙有机肥比例的增加, 维生素 C 含量有增加的趋势; T6 处理维生素 C 含量比 T4 处理增加 11.46%, 差异显著。这表明, 同等氮磷钾施肥量时, 随着有机肥比例的提升, 番茄果实维生素 C 含量逐渐增加, 当灌水量减少时, 差异显著。

2.3.3 可溶性糖含量 由表 2 可以看出, 与 T3 相比, T1 和 T2 处理可溶性糖含量分别减少 15.84% 和 12.52%, 差异显著, 但 T1 和 T2 处理可溶性糖含量之间的差异不显著; 与 T6 相比, T4 和 T5 处理可溶性糖含量分别减少 12.01% 和 13.86%, 差异显著, 但 T4 和 T5 处理可溶性糖含量之间的差异不显著。这表明, 同等氮磷钾施肥量时, 随着有机肥比例的提升, 番茄果实可溶性糖含量有增加的趋势。

3 讨论

3.1 不同水肥处理对番茄产量的影响

从试验结果来看, 施肥相同而灌水量不同的处理之间番茄果实的产量差异均不显著, 这表明滴灌可以

提高水分利用效率。当用水量减少 20% 时, 番茄产量差异不大, 与 Zhong 等^[5]和 Badr 等^[14]研究结果一致, 这对我国农业水资源的安全有着重要的参考价值。同时, 在玉米^[15-16]、葡萄^[17]、红麻^[18]等作物中也存在类似的规律。

关于有机肥与无机肥配合使用, 虽然前期不同学者持不同观点^[3-7], 但本文研究表明, 两者配合使用, 产量显著大于单独使用, 其中 100% 灌水处理时, 产量达到最大值。该结果, 除了因为富硒高钙有机肥能够提高土壤酶活性, 改善土壤微生物的活性及其群落分布以外, 还由于配施的无机肥能够快速被番茄吸收, 有利于番茄的生长发育。相关的研究结果在玉米、小麦等大田作物中, 也得到验证^[19-21]。

3.2 不同水肥处理对番茄果实硒含量的影响

番茄果实中的硒, 主要来源于土壤, 而土壤中硒的有效性可以通过土壤水分来调节。周超等^[22]认为, 在旱地土壤中随土壤水分含量的增加, 土壤中硒的活性增强, 有利于作物的吸收。而张青等^[23]在水田中进行试验, 认为干湿交替有利于土壤氧化性的增强, 提高了硒的有效性, 便于植物的吸收。本文滴灌试验表明, 滴灌可以提高水分利用效率, 当用水量减少 20% 时, 番茄果实硒含量略有升高(100% 灌水时, 番茄果实硒平均含量为 23.77 µg/kg; 80% 灌水时, 番茄果实硒平均含量为 24.09 µg/kg), 尤其是土壤中硒含量偏低时, 减量滴灌有利于提高番茄果实中硒含量。这表明灌水量与番茄对硒的吸收之间存在互作。

本文研究结果表明, 使用富硒高钙有机肥, 可以显著提高番茄果实中硒的含量, 同时, 随着富硒高钙有机肥施肥量的增加, 番茄果实中硒含量显著增加, 但增加的趋势并非呈线性, 而是有所减缓。这也从侧面表明, 硒并非作物所需大量元素, 而是被动吸收, 在一定的范围内, 作物对硒素的吸收作用较强, 但超过一定的范围, 吸收率开始降低^[24]。同时, 广西北部湾沿海地区土壤为酸性土壤, 而土壤 pH 是影响硒生物有效性的关键因素^[25]。富硒高钙有机肥能够很好地中和土壤的酸性, 提高硒素的吸收利用率。

3.3 不同水肥处理对番茄果实品质的影响

同等的施肥水平下, 减少 20% 滴灌量时, 各处理番茄果实中番茄红素的含量有所提高。这表明滴灌可以有效提高水分利用效率, 减少 20% 滴灌量的情况下, 番茄产量和品质都依然得到保证, 研究结果与冯腾腾等^[8]、Gerçek 等^[10]及 Luo 和 Li^[11]的研究一致。

本文研究表明, 同等氮磷钾施肥量时, 随着富硒高钙有机肥比例的提升, 番茄果实中番茄红素、维生

素 C 和可溶性糖含量等品质指标逐渐增加, 与前人研究结果一致^[5-6]。主要有两个原因: 一是硒素的作用; 二是随着有机肥施用量的增加, 土壤中有有机质含量提高, 活化了土壤酶, 改善了土壤微生物的数量及其群落^[7]。所以随着富硒高钙有机肥使用比例的提升, 番茄的产量和品质获得极大提高。

4 结论

富硒高钙有机肥和复合肥配施(各占 50%), 膜下滴灌 80% 灌水量时, 番茄产量达到最佳, 其果实中硒含量达到我国富硒农产品标准, 番茄果实的品质也获得极大改善。

参考文献:

- [1] 马迅, 诸旭东, 宗良纲, 等. 不同调控措施对酸性富硒土壤硒有效性及水稻产量性状的影响[J]. 土壤, 2018, 50(2): 284-290
- [2] Zhang G, Zhou L, Cai D, et al. Anion-responsive carbon nanosystem for controlling selenium fertilizer release and improving selenium utilization efficiency in vegetables[J]. Carbon, 2018, 129: 711-719
- [3] 孙雅杰, 吴文良, 刘原庆, 等. 有机肥和化肥对盆栽番茄氮素利用以及损失的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(4): 37-46
- [4] 李恕艳, 李吉进, 张邦喜, 等. 施用有机肥对番茄品质风味的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(2): 114-119, 135
- [5] Zhong F, Hou M, He B, et al. Assessment on the coupling effects of drip irrigation and organic fertilization based on entropy weight coefficient model[J]. Peerj., 2017, 5(10): e3855
- [6] Badr M A, Abou-Hussein S D, El-Tohamy W A. Tomato yield, nitrogen uptake and water use efficiency as affected by planting geometry and level of nitrogen in an arid region[J]. Agricultural Water Management, 2016, 169: 90-97
- [7] 张恩平, 谭福雷, 王月, 等. 氮磷钾与有机肥配施对番茄产量品质及土壤酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(10): 2059-2067
- [8] 冯腾腾, 周啸尘, 郁娅池, 等. 灌水量对大棚番茄产量与品质的影响[J]. 北方园艺, 2016(10): 54-58
- [9] 李红峥, 曹红霞, 郭莉杰, 等. 沟灌方式和灌水量对温室番茄综合品质与产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4179-4191
- [10] Gerçek S, Demirkaya M, Işık D. Water pillow irrigation versus drip irrigation with regard to growth and yield of tomato grown under greenhouse conditions in a semi-arid region[J]. Agricultural Water Management, 2017, 180: 172-177
- [11] Luo H, Li F. Tomato yield, quality and water use efficiency under different drip fertigation strategies[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 235: 181-188
- [12] Peng Q, Wang M, Cui Z, et al. Assessment of bioavailability of selenium in different plant-soil systems by diffusive gradients in thin-films (DGT)[J]. Environmental Pollution, 2017, 225: 637-643
- [13] 黄维, 王道波, 黄素萍, 等. 膜下滴灌条件下耕作方式和灌水量对番茄产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2018(12): 73-76
- [14] Badr M A, Abou-Hussein S D, El-Tohamy W A. Tomato yield, nitrogen uptake and water use efficiency as affected by planting geometry and level of nitrogen in an arid region[J]. Agricultural Water Management, 2016, 169: 90-97
- [15] Zhou B, Sun X, Ding Z, et al. Multisplit nitrogen application via drip irrigation improves maize grain yield and nitrogen use efficiency[J]. Crop Science, 2017, 57(3): 1687-1703
- [16] Sui J, Wang J, Gong S, et al. Assessment of maize yield-increasing potential and optimum N level under mulched drip irrigation in the Northeast of China[J]. Field Crops Research, 2018, 215: 132-139
- [17] Zhao F, Sun J, Jiang Y, et al. Effect of rhizosphere aeration by subsurface drip irrigation with tanks on the growth of "Red Globe" grape seedling and its absorption, distribution and utilization of urea-¹⁵N[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 236: 207-213
- [18] Wang D, Li F, Nong M. Response of yield and water use efficiency to different irrigation levels at different growth stages of Kenaf and crop water production function[J]. Agricultural Water Management, 2016, 179: 177-183
- [19] Zhang Y, Li C, Wang Y, et al. Maize yield and soil fertility with combined use of compost and inorganic fertilizers on a calcareous soil on the North China Plain[J]. Soil & Tillage Research, 2016, 155: 85-94
- [20] Sarma B, Gogoi N, Bharali M, et al. Field evaluation of soil and wheat responses to combined application of hardwood biochar and inorganic fertilizers in acidic sandy loam soil[J]. Experimental Agriculture, 2017: 1-13
- [21] Arif M, Ilyas M, Riaz M, et al. Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil[J]. Field Crops Research, 2017, 214: 25-37
- [22] 周超, 胡玉荣, 曾建明, 等. 土壤因子对茶树硒吸收特性的影响[J]. 茶叶科学, 2015, 35(5): 429-436
- [23] 张青, 王煌平, 孔庆波, 等. 干湿交替灌溉对富硒土壤硒形态及水稻硒积累的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 327-331, 338
- [24] 郑甲成, 刘婷. 不同浓度硒肥对籼稻硒含量和产量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(1): 88-93
- [25] 马迅, 诸旭东, 宗良纲, 等. 不同调控措施对酸性富硒土壤硒有效性及水稻产量性状的影响[J]. 土壤, 2018, 50(2): 284-290

Effects of Se-enriched & High Calcium Organic Fertilizer, Compound Fertilizer and Irrigation Amount on Tomato Yield and Quality

HUANG Wei^{1,2}

(1 *College of Agriculture, Yulin Normal University, Yulin, Guangxi 537000, China;*

2 *College of Agronomy of Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*)

Abstract: With the cherry tomato "Millennium" as the test material, the effects of ratio of Se-enriched & high calcium organic fertilizer and compound fertilizer (50 kg compound fertilizer per 667 m², 500 kg Se-enriched & high calcium organic fertilizer + 25 kg compound fertilizer per 667 m², 1 000 kg Se-enriched & high calcium organic fertilizer per 667 m²) and irrigation amount (100% irrigation amount, 80% irrigation amount) on tomato yield and quality under drip irrigation were studied. The results were as follows: 1) the yield of combination Se-enriched & high calcium organic fertilizer with compound fertilizer was significantly higher than that of Se-enriched & high calcium organic fertilizer or compound fertilizer with the same amount of NPK; 2) the contents of selenium, lycopene, vitamin C and soluble sugar in tomato fruit were significantly increased with the increase of the fertilizer amount of Se-enriched & high calcium organic fertilizer; 3) drip irrigation effectively improved the utilization efficiency of water, and selenium content and tomato quality were improved under the condition 80% irrigation while the yield was not significantly reduced. Therefore, treatment of combination Se-enriched & high calcium organic fertilizer with compound fertilizer (equal weighting) and 80% irrigation with drip irrigation is more feasible, as tomato quality is significantly improved and tomato yield is guaranteed.

Key words: Cherry tomato; Se-enriched & high calcium organic fertilizer; Combination organic fertilizer with inorganic fertilizer; Under drip irrigation; Water saving and regulating quality