

Selenium 공급방법이 수경재배 토마토의 성장과 Se 흡수에 미치는 영향

이철규* · 조경철¹ · 이정현² · 조자용³ · 서범석⁴ · 양원모⁵

담양군농업기술센터, ¹전라남도농업기술원, ²전남대학교 응용식물학부, ³남도대학 약용자원원예개발과, ⁴한국온실작물연구소, ⁵순천대학교 식물생산과학부

Effects of Selenium Supplying Methods on the Growth and Se Uptake of Hydroponically Grown Tomato Plants

Cheol-Kyu Lee*, Kyung-Cheol Cho¹, Jeong-Hyun Lee², Ja-Yong Cho³,
Beom-Seok Seo⁴, and Won-Mo Yang⁵

Damyang-gun Agricultural Development and Technology Center, Damyang 517-805, Korea

¹Jeollanamdo Agricultural Research & Extension Service, Naju 520-715, Korea

²Major in Horticulture, Fac. of Applied Plant Science, Chonnam Nat'l Univ., Gwang-ju 500-757, Korea

³Dept. of Medicinal Resources & Horticulture Development, Namdo Provincial College of Jeonnam, Jangheung 529-850, Korea

⁴Korea Greenhouse Crop Research Institute, Damyang 517-911, Korea

⁵Major in Horticulture, Division of Plant Production & Technology, Suncheon Nat'l Univ., Suncheon 540-742, Korea

Abstract. This study was conducted to clarify the effects of supplying methods of selenium on the growth and Se uptake of hydroponically grown tomato plants. Tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Momotaro T-93, Daki Seed Co.) were sown in plug tray with fifty holes, and raised for sixty days. Tomato seedlings transplanted to coco fiber slabs were supplied with the nutrient solutions adjusted to EC 2.3 dS·m⁻¹ and pH 5.8~6.2 recommended by the Japanese Horticultural Experiment Station. Selenium forms used were inorganic SeO₂ (here in after referred to Se) and organic selenium chelated with sugar fatty acid ester (here in after referred to chelated-Se). 10 ppm selenium solutions were treated to tomato plants with foliar applications, drenching, and foliar application plus drenching. Growth characteristics in terms of plant height, number of leaves, leaf area and chlorophyll content were significantly increased in the plot of foliar application of Se, and in the plot of foliar application plus drenching of chelated-Se than other plots, respectively. Transported contents of selenium into the tomato fruits were highest as 0.302 ppm in the plot of foliar application plus drenching of chelated-Se. Also, it had tended to be higher in the plot of foliar application plus drenching than in the plots of foliar application or drenching in both of Se and chelated-Se. Foliar application and drenching of organic chelated-Se were effective to produce the functional tomato fruits.

Key words : drenching, foliar application, functional tomato fruit, organic selenium, selenium form

*Corresponding author

서 언

최근 항산화 작용이 높은 농산물에 대한 소비자의 관심이 급격히 증가하고 있으며, selenium(Se)과 같은 기능성 물질의 함유량이 많은 농산물의 개발과 기능성 검정 등에 관련한 연구가 늘어나고 있다(Greenwald, 1998). Selenium(이하 Se)은 동물, 인간 및 미생물 등

에 있어서 필수 영양소로서 구조나 기능면에서 Sulphur (S)와 화학적 특성이 비슷하며 금속과 비금속의 특성을 가지고 있다. 또한 Se는 지역에 따라 차이는 있지만 일반적으로 토양 내 Se 함량은 0.1~2 mg/kg 정도이며, 무기화합물(selenate, selenite, selenide)과 유기화합물(selenoamino acids)로 구성되어 있다(Conor, 1998). Se는 식물체에 의해 토양으로부터 selenate(SeO₄²⁻)나

selenite(SeO_3^{2-})의 무기화합물 형태로 흡수되어 glutathione peroxidase의 구성인자인 selenomethionine과 selenosysthionine과 같은 유기화합물로 전환되면서 강력한 항산화 작용을 한다(Danielle와 David, 2003).

Se를 보충하는 방법은 무기셀레늄을 직접 섭취하는 것과 셀레늄이 풍부한 식품을 섭취하는 두 가지 방법이 있으며(Zhang 등, 2004), 식물체내의 유기셀레늄은 무기셀레늄에 비하여 흡수율이 좋고, 독성이 적으며 체내 축적이 용이하다는 장점을 가지고 있다(Xu, 1983). 영국에서 Se의 하루권장 섭취량은 60~75 $\mu\text{g}/\text{d}$ 정도이며, 부족할 경우 두뇌와 심장 근육에 이상을 유발시키며 유방암이나 대장암 등의 암 발병률이 높게 나타나는 것으로 보고되었다(Conor, 1998; Gunnar 등, 1985; Sathe 등, 1992; Young, 1981).

Se가 부족한 필랜드의 경우 토양의 Se 량을 증가시키기 위해 1984년부터 비료에 Se를 첨가하도록 법제화하였으며(Conor, 1998), Se이 보강된 기능성 식품이 외국서는 물론 국내에서도 시판되고 있다. 안전하면서도 건강을 증진시킬 수 있는 식품에 대한 소비자의 요구에 부응하여 셀레늄에 대한 기초 연구가 국내에서도 일부 이루어지고 있으나 Se를 함유한 기능성 채소와 기능성 성분의 향상 방법에 관한 실질적인 연구는 아직도 부족한 실정이다(Park 등, 1996).

따라서 본 연구는 SeO_2 의 무기형태와 sugar fatty acid ester에 킬레이트화 한 형태의 Se를 수경재배 토마토에 농도별로 관주와 엽면시비 등의 단용 및 혼용으로 처리하여 토마토의 성장 및 과실 내 Se의 흡수 반응을 조사함으로써 Se이 함유된 기능성 토마토의 수경재배 생산기술 체계화를 위한 기초 자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2003년 9월부터 12월까지 유리온실(L35 m \times W10 m \times H2.5 m)에서 실시하였다. 시험작물은 완숙토마토(모모타로 T-93, 다끼이종묘)로서 50공 트레이에 파종하여 60일간 육묘 한 후 9월 20일에 과체류용 수경재배 시스템(H0.15 m \times W0.3 m \times L1.2 m, 기율기 1/500)에 정식하였다. 수경재배 시스템에 코코피트 슬라브(지엔, 한국)를 설치하였으며, 일본원시균형배양액을 표준농도(EC 2.3 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)로 조성하여 공급하였다. 양

액의 급액은 오전 7시부터 오후 6시까지 1회당 10분씩 생육단계별로 8회에서 12회씩 조절하여 공급하였다. 온실 내부 기온은 주간 25°C, 야간 15°C로 조절하였고, 30°C 전후에 환기를 실시하였다. 토마토는 2회방위 엽수 2매를 남기고 적심을 실시하였다.

무기형태 SeO_2 (이하 Se)와 sugar fatty acid ester에 킬레이트화 한 Se(이하 chelated-Se)를 10 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 조성하여 관주, 엽면살포 또는 관주처리와 엽면살포 혼용 등의 방법으로 개화 전 3일, 개화 후 3일, 착과 후 30일에 총 3회 처리하였다. 엽면시비는 매회 주당 50~100 m/을 일출 전에 실시하였으며, 관주는 양액급액이 종료되는 오후 7시경에 근권에 매회 100 m/을 처리하였다.

생육조사는 정식 후 60일에 초장, 엽수, 엽면적, 엽록소 함량, 생체중과 건물중 등을 5반복으로 조사하였다. 엽면적은 엽면적계(LI 3100, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)로 측정하였으며, 엽록소함량은 휴대용 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta Camera Co., Japan)를 이용하여 생육단계별로 8엽과 11엽을 대상으로 측정하였다. 과실 수량은 제 1회방에서 5반복으로 조사하였으며, 수확한 과실은 기형과, 배꼽썩음과 및 소과(100 g 이하) 등을 비 상품과로 분류하여 농촌진흥청 농사시험 연구조사기준(농촌진흥청, 1995)에 기초하여 조사하였다.

토마토 체내 Se의 함량분석을 위한 전 처리는 습식 방법으로 실시하였다. 즉, 토마토를 80°C 조건 하에서 충분히 건조하여 이 중 0.5 g을 분해용 유리병에 넣은 후 질산과 과염소산 용액(1:1, v/v)을 5 ml 정도 가한 후 200°C에서 5시간 정도 가열하여 완전 분해 시켰으며, 3차 탈 이온수를 첨가하여 전체 량을 20 ml로 조성한 후 ICP(OPTIMA-4300 DV, Perkin Elmer Co., USA)를 이용하여 파장 196.026 nm에서 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 단위로 정량하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 셀레늄 형태별로 관주, 엽면시비 및 관주와 엽면시비를 병행하는 방법 등으로 처리하여 정식 후 60일에 수경재배 토마토의 초장, 엽수 및 엽면적 등의 성장반응을 조사한 결과이다.

초장에 있어서는 T2(84.3 cm) 처리를 제외하고는 대조구(84.2 cm)에 비하여 모든 셀레늄 처리구에서 높게

Table 1. Effects of selenium supplying methods on the growth of hydroponically grown tomato plants.

Treatment	Plant height (cm)	No. of leaves (ea/plant)	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Chlorophyll content (SCDSV)
Con ^z	84.2 b ^z	12.2 ab	4,120.1 b	593.2 ab	59.5 a	40.6 b
T1	97.5 a	12.3 ab	4,417.0 b	585.4 ab	66.0 a	41.7 b
T2	84.3 b	11.1 b	4,350.7 b	589.6 ab	60.5 a	41.9 b
T3	94.0 ab	11.8 b	4,259.0 b	519.1 b	67.4 a	45.9 ab
T4	98.8 a	13.5 a	4,501.4 b	606.3 ab	61.5 a	44.5 ab
T5	100.6 a	13.9 a	6,316.1 a	722.7 a	69.9 a	47.2 a
T6	101.2 a	13.5 a	5,816.7 ab	702.0 a	74.2 a	48.6 a

^zMean separation within columns by DMRT at 5% level.

^yCon: Se-0 mg·L⁻¹, T1: Se-10 mg·L⁻¹ drenching, T2: Se-10 mg·L⁻¹ foliar application, T3: Se-10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application, T4: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching, T5: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ foliar application, T6: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application.

나타났으며, Se 처리구에서는 T1(97.5 cm), T3(94.0 cm) 및 T2(84.3 cm) 순으로 관주처리 또는 관주와 엽면시비를 병행하여 처리한 것이 더 높게 나타났다. Chelated-Se 처리구에서는 처리간 유의적인 차이는 보이지 않았으나 처리구가 Chelated-Se 처리구 보다 더 높게 나타났다. 엽수는 처리간 유의적인 차이가 없었으며, 엽면적은 대조구에 비해 Chelated-Se 처리구에서 높게 나타났다. Se 처리구 엽면적은 유의적인 차이는 없었으나 대조구에 비해 높은 경향을 보였고 Se 형태에 있어서는 유기 Se 처리에서 엽면적이 증가되었다. Se 처리구에서는 관주와 엽면시비를 단용으로 처리한 것이 병행하여 처리한 것에 비해 좋은 반면, Chelated-Se 처리구에서는 엽면시비 또는 관주와 엽면시비를 병행하여 처리한 처리구에서 높게 나타났다. 주당 생체중은 Chelated-Se 처리구의 엽면시비 또는 관주와 엽면시비 병행 처리구에서 높게 나타났으나 건물중은 처리간 유의적 차이를 보이지 않았다. 엽록소 함량은 Se 처리와 Chelated-Se 모두 관주와 엽면시비를 병행한 처리구에서 높게 나타났으며 Se 처리구에서는 관주와 엽면시비 처리 간 차이가 거의 없었으나 Chelated-Se 처리구에서 관주와 엽면시비 병행 처리구에서 높게 나타났다.

Lee 등(2004)은 무기형태 Se와 sugar fatty acid ester에 킬레이트화 한 Se를 토마토에 2, 4, 10 mg·L⁻¹으로 엽면처리한 결과 Se 처리구에서는 6 mg·L⁻¹까지 생육과 수량이 증가하였으나 10 mg·L⁻¹에서는 감소한 반면 Chelated-Se 처리구에서는 10 mg·L⁻¹ 범위내에서 처리농도에 비례하여 증가하는 경향을 보였다고 보고하였으며, Kim(2003)은 콩나물 체내 Se 흡수가 용이하도록

Se에 킬레이팅 한 제조액 유리지방산 500배액에서는 뿌리의 발달과 생육촉진 효과가 있었다고 보고하였다.

본 연구에서도 무기형태 Se 보다는 sugar fatty acid ester에 킬레이트화한 Se 처리구에서 생육이 더 좋은 것으로 나타났으며, Chelated-Se 처리구에서는 엽면시비 또는 관주와 엽면시비 병행 처리구가 관주 처리구 보다 월등히 좋은 것으로 나타나 Chelated-Se의 적정 엽면시비는 작물의 생육에 효과적으로 작용할 것으로 기대되었다.

셀레늄의 형태와 공급방법이 수경재배 토마토의 과실생장에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 2와 Table 3등과 같다. 토마토 과실 착과수는 Chelated-Se

Table 2. Effects of selenium supplying methods on the number of fruits set, fruit fresh weights and marketable fruit yields of hydroponically grown tomato plants.

Treatment	No. of fruit set (ea/plant)	Fruit fresh wt. (g/ea)	Marketable fruit yield (g/plant)
Con ^z	5.8 a ^z	189.0 a	1,078 b
T1	5.3 a	192.0 a	1,030 b
T2	5.3 a	193.0 a	1,032 b
T3	5.3 a	191.0 a	1,037 b
T4	5.5 a	190.0 a	1,041 b
T5	5.9 a	196.0 a	1,166 a
T6	5.9 a	195.0 a	1,121 a

^zMean separation within columns by DMRT at 5% level.

^yCon: Se-0 mg·L⁻¹, T1: Se-10 mg·L⁻¹ drenching, T2: Se-10 mg·L⁻¹ foliar application, T3: Se-10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application, T4: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching, T5: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ foliar application, T6: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application.

Table 3. Effects of selenium supplying methods on the fruit quality of hydroponically grown tomato plants.

Treatment	Soluble solids (°Bx)	Titrateable acidity (%)	Sugar/acid ratio
Con ^y	6.10 a ^z	0.76 a	8.05 a
T1	6.12 a	0.73 a	8.38 a
T2	6.13 a	0.75 a	8.16 a
T3	6.15 a	0.74 a	8.31 a
T4	6.14 a	0.72 a	8.52 a
T5	6.14 a	0.73 a	8.38 a
T6	6.16 a	0.72 a	8.56 a

^zCon: Se-0 mg·L⁻¹, T1: Se-10 mg·L⁻¹ drenching, T2: Se-10 mg·L⁻¹ foliar application, T3: Se-10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application, T4: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching, T5: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ foliar application, T6: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application.

처리구의 엽면시비 단용 또는 병행처리구에서 높았으나 무기 Se 처리에서는 감소하고 유기 Se 처리에서도 대조구와 차이가 없었다. 평균과중은 처리간 유의적인 차이를 보이지는 않았으며, Se 처리구에서는 처리간 비슷한 경향을 보였으나 Chelated-Se 처리구에서 엽면시비 또는 관주와 엽면시비 병행 처리구가 관주처리보다 많은 것으로 나타났다(Table 2). 당도는 관주와 엽면시비 병행처리구가 엽면시비나 관주에 비해 다소 높았지만 유의적인 차이는 보이지 않았다(Table 3).

Lee 등(2004)은 수량에 있어서 Chelated-Se 처리구가 Se 처리구 보다 더 많은 것으로 나타났으며 당도에 있어서는 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고한바, 본 연구에서도 과실 수량은 Se 처리구에서는 대조구 보다 적은 반면, Chelated-Se 처리구에서 관주처리시 대조구보다 적었으나 엽면시비나 관주와 엽면시비를 병행한 처리구에서 많은 것으로 나타났으며, 당도에 있어서는 관주나 엽면시비의 단독 또는 병행 처리에서도 비슷한 경향을 보였다.

Se의 관주와 엽면시비 등의 처리방법에 따른 토마토의 체내 셀레늄 함량을 조사하기 위하여 개화전 3일, 개화일 및 착과기 등에 셀레늄을 처리하여 수확한 토마토 과실 내에 함유된 셀레늄 함량을 분석한 결과, T6(0.302 mg·L⁻¹)>T3(0.297)>T5(0.267)>T4(0.176)>T2(0.241)>T1(ND) 등의 순으로 나타났다. 킬레이트화된 셀레늄을 관주와 엽면살포의 병행 처리구에서 토마토 체내 셀레늄 함량이 가장 많았으며, 무기 Se 처리

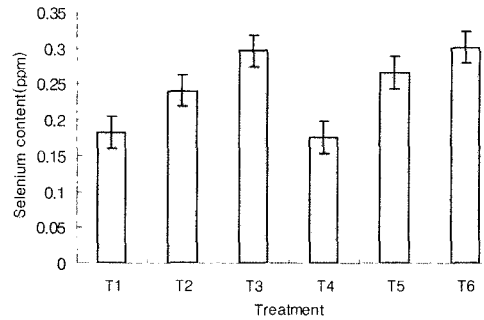


Fig. 1. Effect of selenium supplying methods on the transported content of selenium into the fruits of hydroponically grown tomato plants.

*T1: Se-10 mg·L⁻¹ drenching, T2: Se-10 mg·L⁻¹ foliar application, T3: Se-10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application, T4: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching, T5: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ foliar application, T6: Chelated-Se 10 mg·L⁻¹ drenching+foliar application).

구에서도 관주와 엽면시비를 병행한 처리구에서 Se 흡수량이 많았다. 엽면시비, 관주와 엽면시비 병행 처리구 등에 있어서 Se 제제 처리구(T5, T6)가 무기 Se 형태로 처리한 시험구(T2, T3) 보다 각각 0.026 mg·L⁻¹, 0.023 mg·L⁻¹ 정도 더 많이 검출되었다.

Kim(2003)은 유리지방산을 이용한 Chelated-Se 제제 10 mg·L⁻¹을 콩나물에 관주 처리한 경우 Se만 처리한 것 보다 Se 체내 흡수량이 1.5배 정도 높게 나타났다으며, Chelated-Se 제제의 경우 100 mg·L⁻¹을 관주방법으로 1시간 이상 처리하여도 약해가 발생하지 않았다고 보고하였다. Lee(2004)는 Se와 Chelated-Se를 2, 6, 10 mg·L⁻¹으로 엽면시비한 결과 토마토 과실내 Se함량은 Chelated-Se처리구에서 더 높게 나타났으며, 모든 처리구에서 농도에 비례하여 과실내 Se 흡수량이 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 무기 Se 형태로 사용하여 처리한 경우 보다는 Chelated-Se 제제 처리구에서 관주와 엽면시비를 병행한 처리구가 관주나 엽면시비 단용 처리한 것 보다 토마토 체내 Se 함량이 더 많은 것으로 나타났다. 따라서 Se이 함유된 기능성 토마토 생산을 위해 농가에 적용할 경우 Chelated-Se 제제 10 mg·L⁻¹을 관주와 엽면살포를 병행하여 처리하는 방법이 효과적일 것으로 생각되었다.

적 요

토마토 ‘모모타로’를 공시하여 셀레늄 10 mg·L⁻¹의

관주 및 엽면시비 등의 단용 및 혼용처리가 수경재배 토마토의 생육 및 과실 내 셀레늄 축적 함량에 미치는 영향을 구명하였다. 토마토 종자를 50공 트레이에 파종하여 70일 동안 육묘한 후 유묘를 코코피트 슬라브를 이용한 수경재배 시스템에 정식하였다. 양액은 일본원예시험장 배양액 표준처방으로 조성하였으며, pH 5.8~6.2와 EC 2.3 mg·L⁻¹ 등으로 조절하여 공급하였다. 셀레늄은 무기태 SeO₂와 sugar fatty acid ester에 킬레이트화 한 유기태 셀레늄을 10 mg·L⁻¹으로 조성하여 관주, 엽면시비, 관주와 엽면시비를 병행하여 처리하였다. 초장, 엽수, 엽면적 및 엽록소 등의 토마토 생장 반응은 셀레늄의 엽면시비, 그리고 엽면시비와 관주를 병행한 처리구에서 현저히 증가하였다. 과실 내 셀레늄 축적 함량은 킬레이트화 한 유기태 셀레늄을 엽면시비와 관주를 병행하여 처리한 경우에 0.302 mg·L⁻¹으로 가장 높았다. 무기태와 유기태 셀레늄의 엽면시비와 관주 등의 단용 처리 보다는 혼용 처리가 전반적인 과실 생장과 체내 셀레늄 축적에 효과적이었다. 무기태 셀레늄(SeO₂) 보다는 sugar fatty acid ester에 킬레이트화 한 유기태 셀레늄 처리가 셀레늄을 함유한 기능성 토마토의 수경재배에 더 효과적이었다.

주제어 : 관주, 기능성 토마토, 셀레늄 형태, 엽면시비, 유기셀레늄

인 용 문 헌

1. Conor Reilly. 1998. Selenium: A new entrant into the functional food arena. Trends in Food Science & Technology 9:114-118.
2. Danielle, R.E. and E.S. David. 2003. Plants, selenium and human health. Current Opinion in Plant Biology pp. 273-279.
3. Greenwald, J. 1998. Is it good medicine? Time, November 30:37-44.
4. Gunnar, G.N., C.G. Umesh, L. Michel, and W. Tuomas. 1985. Selenium in soil and plant and its importance in livestock and human nutrition. Advanced in Agronomy 37:397-460.
5. Kim, J.W. 2003. Selenium uptake responses as affected by the different applying methods in soybean sprout. Master dissertation. Chonnam National University.
6. Lee, C.K., Chang, P.H., Kim, D.H., Cho, K.C., Lee, B.S., Lee, J.H. and Chung, S.J. 2004. The effect of selenium concentration on the growth and selenium content of the fruit of hydroponically grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Honam Soc. Hort. 2:85-91.
7. Park, K.W., Lee, J.H. and Geyer, B. 1996. Effects of selenium concentrations in nutrient solution on the growth and contents of inorganic substances of chinese leaf vegetables. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 37:47-51.
8. Qingzhi, W., Kaixun, H. and Huibi, X. 2003. Effects of long-term selenium deficiency on glutathione peroxidase and thioredoxin reductase and expressions in rat aorta. J. Inorganic Biochemistry 94:301-306.
9. Xu, H.B. 1983. Biological trace element: Selenium. Wuhan: Press of Engineering College of Central China.
10. Young, V.R. 1981. Selenium: A case for its essentiality in man. N. Engl. J. Med. 304:1228-1230.
11. Zhang, M., Li, C. and Cao, P. 2004. Effects of processing conditions of the green-leafy vegetable juice enriched with selenium on its quality and stability. Journal of Food Engineering 62:393-398.