한국유기농업학회지 제18권 4호
KOREAN JOURNAL OF ORGANIC AGRICULTURE
Volume 18, Number 4: 541-548, December 2010.

셀레늄 처리방법에 따른 '원황' 배 과원의 토양 및 수체 변화*

최현석** · 김월수*** · 김현지**** · 최경주***** · 이 연******

Variation of Soil and Leaf in a 'Wonhwang' Pear Orchard Appled by Selenium Solution

Choi, Hyun-Sug · Kim, Wol-Soo · Kim, Hyun-Ji · Choi, Kyeong-Ju · Lee, Youn

This study was established on which the selenium (Se), known as one of the functional elements in the human body, treatment was the most effective for the Se uptake in the soil and tree. Se treatments included foliar application, soil fertigation, and trunk injection. Se fertigation and control had similar soil P_2O_5, K, and Mg concentrations, and calcium and Se concentrations in the soil were greater on the control and Se fertigation, respectively. Leaf characteristics were not different among the treated trees. No differences were observed for the leaf K and Ca concentrations among the treated trees, and foliar Mg was greater on the Se treated trees than the control. Se foliar application and trunk injection had greater Se concentrations in the leaves and fruits than the Se fertigation and control.

Key words : *selenium, 'Wonhwang' pear, foliar application, fertigation, trunk injection, nutrient, leaf characteristics*

* 본 연구는 전남대학교 농업특성화센터의 배 수출사업단의 지원에 의 해서 수행되었습니다. 또한 국립농업과학원 유기농업과의 지원에도 감사드립니다.

** 국립농업과학원 유기농업과
*** 전남대학교 원예학과
**** 교신저자, 전라남도 농업기술원 원예연구소(hjkim99@korea.kr)
***** 국립농업과학원 유기농업과
****** 국립농업과학원 유기농업과

Ⅰ. 서 언

최근에 각종 성인병과 암의 발생이 급격히 증가함에 따라서 이러한 질병을 예방하고자 친환경 유기농 식품 또는 항산화력이 있는 의약용 식물로부터 약리 성분을 추출하여 기능성 물질을 새로 발굴하려고 하는 시도가 증가하고 있다(Hartikainen et al., 2000; Kim et al., 2009; Lee and Park, 2001; Mikkelsen and Wan, 1990; Park and Yang, 2004). 기능성 물질 중 셀레늄(selenium)은 glutathione peroxidase의 활성 발현에 관여하고 각종 자유 라디컬로부터 세포를 보호하는 항산화제 역할을 하는 것으로 밝혀졌다(Chung et al., 2003; Clark et al., 1996). 셀레늄은 여러 가지 발암물질의 활성화를 막고 암세포의 자살을 유도하고, 암 세포가 다음세대 세포로의 전이를 막으며 각종 바이러스성 질병에도 효과가 상당하다고 밝혀졌다(Chung et al., 2003; Clark et al., 1996; Stadtman, 1996). 또한 셀레늄은 우리 몸에 쌓여있는 수은, 카드뮴, 납 등의 유해 중금속과 결합하여 이들을 몸 밖으로 배설시키는 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 이러한 셀레늄은 인간의 건강과 관련하여 보다 안정적이고 활성이 강한 천연 항산화제에 대한 관심이 높아지면서 더 많은 연구가 호밀(Hartikainen et al., 2000)이나 채소(Lee and Park, 2001; Mikkelsen and Wan, 1990; Park and Yang, 2004)에서 진행되고 있다. Park과 Yang(2004)은 수경재배 된 2년생 인삼에 셀레늄을 처리함으로써 인삼의 셀레늄 함량을 유의적으로 증가시켜서 셀레늄 섭취에 유용한 약리 작물이라고 하였다. 하지만 배나무를 포함한 과수에 셀레늄을 처리해서 수체나 과실에 미치는 영향에 관한 정보는 현재까지 미비한 편이다. 따라서 본 연구는 신품종으로 각광을 받고 있는 '원황' 배에 셀레늄의 처리방법(엽면시비, 토양관주, 수간주입)에 따른 수체생장 및 셀레늄 함량에 미치는 영향에 대해 알아보고자 수행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험재료 및 처리내용

실험재료는 전라남도 나주시 봉황면에 위치한 전남대학교 부속농장에 식재된 7-8년생 원황 품종을 이용하였다. 처리제는 Na_2SeO_4를 공시하였다. 처리는 대조구(Control), 셀레늄 엽면시비(Foliar application=FA), 셀레늄 토양관주(Fertigation=FG), 셀레늄 수간주입(Trunk injection=TI)으로 처리하였다. 토양 관주처리는 2004년 5월 18일, 6월 23일, 8월 3일 약 1개월 간격으로 3회 처리하였고, 엽면살포 처리는 6월 1일부터 약 15일 간격으로 6회 처리하였으며, 수간주입 처리는 6월 15일부터 1개월 간격으로 3회 처리하였다. 처리 당 5반복(1주 1반복)으로 수행하였으며 처리농도는 모두 10ppm의 Na_2SeO_4 용액으로 하였다. 과실은 9월 10

일에 수확하여 각각의 특성을 조사하였다.

2. 조사내용

유기물(OM)은 Tyurin법으로 조사하였는데(Kononova, 1966) 토양 내 carbon 함량을 구한 후 계산식에 따라서 유기물 함량을 추정하였다.

염기치환용량(Cation Exchange Capacity, CEC)은 풍건 토양 5g과 침출액 1N NH_4OAc(pH 7.0)으로 여과하여 얻은 최종 추출액으로 CEC를 측정하였다. 최종 추출액을 이용하여 치환성 양이온인 Ca^{2+}, Mg^{2+}, 그리고 K+를 ICP(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Thermo jarrell ash, U.S.A.)로 측정하였고, Se는 ICP-MS로 측정하였다. P_2O_5는 $SnCl_2$에 의한 몰리브덴(Mo) 청법을 이용하였는데, 인산이온이 몰리브덴산 암모늄과 반응하여 생성된 몰리브덴산인 암모늄을 염화제일주석으로 환원하여 생성된 몰리브덴청의 흡광도를 720nm에서 비색 정량하였다.

엽은 무기양분의 이동이 적은 2004년 7월 중순에 1년생 신초에서 처리당 100매 정도의 엽을 채취하여 세척한 후 물기를 제거하였다(Faust, 1989a). 엽면적은 leaf area meter를 이용하여 측정하였고 중량은 저울을 이용하였으며 #10번의 cork borer를 이용하여 엽의 비엽중(leaf specific weight, g/∅)을 측정하였다.

세척된 엽을 70~80℃의 열을 가하는 건조기에서 3일간 건조시킨 후 마쇄시켜 40mesh체로 거른 후에 시료로 사용하였다. K, Ca, Mg, 그리고 Se 분석을 위해 식물체를 H_2SO_4로 습식분해법으로 분해하였고 시료를 여과하여 정용하였다. K, Ca, Mg는 토양 분석과 같이 ICP로 셀레늄 함량은 ICP-MS로 측정하였다. 과실은 과피를 제거한 후 과육을 건조시킨 후 엽 분석과 동일하게 셀레늄을 분석하였다.

3. 통계분석

각각의 조사분석은 5반복 이상으로 하였으며, 통계처리는 SPSS statistics 17.0 프로그램에서 t-test 검정을 실시하여 처리간의 유의성을 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 셀레늄 처리가 토양에 미치는 영향

셀레늄 처리는 토양 중 pH를 Lee 등(2009)이 제시한 배과원의 토양 pH 적정 농도보다 약

간 상승시키는데 기여를 했다(Table 1). 유기물 함량은 셀레늄(Selenium) 처리구에서 권고 농도보다 낮은 경향치를 보였는데, 이는 처리에 따른 원인이라기보다는 과원 자체내의 유기물 함량이 부족했던 것으로 판단된다. 양이온 치환용량이나 토양 염류 농도는 비교적 안정화 된 상태를 유지했다.

Table 1. Soil pH, OM, CEC, and EC in a 'Wonhwang' pear orchard as affected by Se treatment in August

Treatment	pH (1:5)	OM (%)	CEC ($cmol^+/kg$)	EC (ds/m)
Se treatment	7.33 ± 0.04	1.32 ± 0.17	12.21 ± 1.09	0.75 ± 0.02
Desired level	6.0~6.5	2.5~3.5	more than 5	below 2

Each values are in the mean of ±standard deviation in the pear orchard soil (n=5).
Desired level was obtained from Lee et al. (2009).

셀레늄 관주처리에 따른 인산, 칼륨, 마그네슘은 처리구와 무처리구 간에 유의성이 나타나지 않았다(Table 2). 그러나 칼슘은 셀레늄 처리구가 무처리구에 비해 유의적으로 낮아지는 경향을 보였는데 이것은 셀레늄과 칼슘이 같은 2가 양이온으로서 음이온으로 하전된 토양입자에 경쟁적인 길항작용(Faust, 1989a)에 의해 낮은 칼슘농도가 나타났을 것으로 판단된다. 토양내 셀레늄 농도는 토양 관주처리에서 $32\mu g \cdot kg^{-1}$이었고 대조구 토양에서는 없는 것으로 나타났는데 이는 극히 미량으로 존재($1<\mu g \cdot kg^{-1}$)해서 검출할 수 없었을 것으로 사료된다.

Table 2. Soil available P_2O_5, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, and Se^{2+} in a 'Wonhwang' pear orchard as affected by Se fertigation in August

Treatment	Ava. P_2O_5 (mg/kg)	K^+ ($cmol^+/kg$)	Ca^{2+} ($cmol^+/kg$)	Mg^{2+} ($cmol^+/kg$)	Se^{2+} ($\mu g/kg$)
Control	251 a	0.30 a	15.1 a	2.7 a	0 b
Fertigation	287 a	0.52 a	11.3 b	3.1 a	32 a

Means separation within columns t-test.

2. 셀레늄 처리방법이 수체에 미치는 영향

셀레늄 처리가 엽형질의 변화에 미치는 영향을 알아보고자 조사한 엽면적과 엽중량, 그리고 비엽중은 무처리구와 처리구간에 유의성을 보이지 않았고 셀레늄 처리구간에도 차이

가 나타나지 않았다(Table 3). 엽채소류 재배시 셀레늄을 관주 처리했을 때 셀레늄 농도가 증가할수록 생체중이 오히려 감소했다는 보고가 있었다(Lee et al., 2008). 또한 고농도의 셀레늄은 엽의 형질에 나쁜 영향을 끼친다는 연구결과들이 많이 보고되고 있는데(Lee and Park, 2001; Lee et al., 2008) 본 실험에서의 처리 농도인 10ppm은 엽의 생육에 별다른 영향을 끼치지 않아서 고농도 피해를 주지 않은 것으로 사료된다.

Table 3. Leaf characteristics in a 'Wonhwang' pear orchard as affected by Se treatments in July

Treatment	Leaf area (cm^2)	Leaf fresh wt (g)	Leaf specific wt. (g/∅, #10)
Control	48.5 a	1.22 a	0.20 a
Foliar application	49.8 a	1.28 a	0.22 a
Fertigation	50.9 a	1.28 a	0.21 a
Trunk injection	52.5 a	1.33 a	0.22 a

Means separation within columns by t-test.

Table 4. Leaf K, Ca, and Mg concentrations in a 'Wonhwang' pear orchard as affected by Se (10ppm) treatments in July

Treatment	K	Ca	Mg
	(%)		
Control	2.12 a	1.64 a	0.53 b
Foliar application	2.02 a	1.97 a	0.72 a
Fertigation	2.13 a	1.52 a	0.66 a
Trunk injection	2.20 a	1.58 a	0.61 ab

Means separation within columns by t-test.

작물의 영양진단 방법으로 많이 이용하는 7월의 엽 무기성분의 함량을 살펴보면 칼륨과 칼슘은 처리 간에 통계적 유의성을 보이지 않았다(Table 4). 그러나 마그네슘은 엽면살포에서 0.72%로 가장 높게 나타났고 모든 처리구에서 대조구 보다 높아지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 엽채소 재배시 셀레늄 처리 농도가 증가함에 따라서 칼륨과 칼슘 그리고 마그네슘의 함량이 양이온 길항작용에 의해 오히려 감소했다(Lee et al., 2008)는 연구결과와 반대되는 결과가 나왔다. 이는 처리농도에 따른 민감하게 반응하는 엽채류에 관한 실험으로

배나무에 있어서 셀레늄 처리 농도에 따른 엽내 무기성분 변화에 대한 깊이 있는 연구가 필요하다고 할 수 있다. 엽내 칼륨과 칼슘 그리고 마그네슘 농도는 관행재배 된 엽 영양진단의 권고 기준 농도(농업과학기술원, 2006)에 모두 적합한 분포를 보여서 수체가 건강한 상태임을 알 수가 있다.

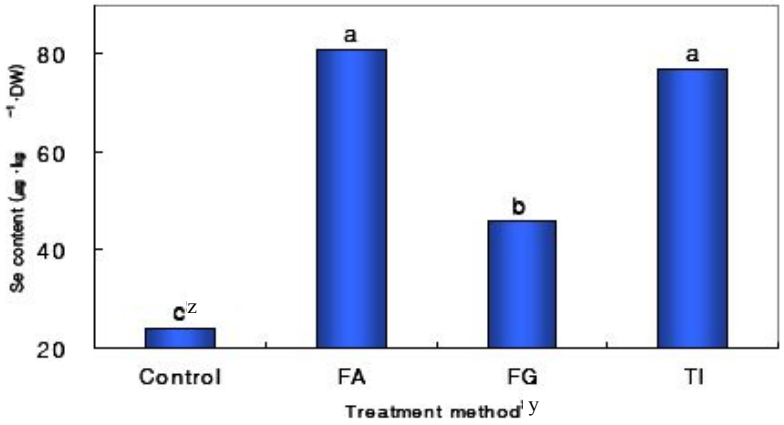

Fig. 1. Leaf Se concentration in a 'Wonhwang' pear orchard as affected by Se treatments in July.

[z] Different letters top columns indicate significant difference by Duncan's multiple range test at P=0.05.

[y] Treatment method; FA = Foliar application, FG = Fertigation, and TI = Trunk injection.

셀레늄 처리방법에 따른 엽내 셀레늄 함량은 엽면시비 처리구와 수간주입 처리구에서 80.9와 76.8$\mu g \cdot kg^{-1}$ DW로 대조구에 비해 4배정도 유의적으로 높게 나타났다(Fig. 1). 이는 세계보건기구가 정한 셀레늄 일일 적정 섭취량인 50~400$\mu g \cdot kg^{-1}$에 포함되는 안전한 수준으로서 건강보조제 기능식품으로 평가될 수 있다(Stadtman, 1996). 토양 관주는 대조구에 비해 높은 셀레늄 함량을 보였지만, 엽면살포나 수간주입에 비해 유의적으로 낮은 농도를 보였다. 보통 토양관주를 하면 토양의 산성, 건조, 뿌리의 활력저하 등의 여러 가지 조건으로 잘 흡수되지 못하고 흡수되더라도 그 효과는 1~2년 후에 나타날 수도 있다(Fasut, 1989a). 하지만 엽면살포는 직접 엽면의 기공으로부터 흡수되고 수간주입 또한 목관이나 사부조직을 통해 수체로 흡수되기 때문에 토양관주에 비해 셀레늄의 흡수율이 훨씬 높아 더 효율적인 흡수에 원인이 됐을 것으로 판단된다. 따라서 셀레늄의 엽면살포와 수간주입 방법이 엽의 셀레늄 함량을 높이는데 더 효과적일 것으로 사료된다.

셀레늄 처리방법에 따른 과실내 셀레늄의 함량을 살펴보면 엽에서와 같이 엽면살포와 수간주입에서 117과 123$\mu g \cdot kg^{-1}$ DW로 대조구 보다 약 6배 정도 높게 나타났다(Fig. 2). 과실 내 셀레늄 또한, 엽내 셀레늄이 사부조직을 통한 축적된 결과이고, 이외에도 엽면살포나

수간주입 시 엽보다 sink strength가 큰 과실이(Faust, 1989b) 셀레늄을 보다 더 흡수했을 것으로 판단된다.

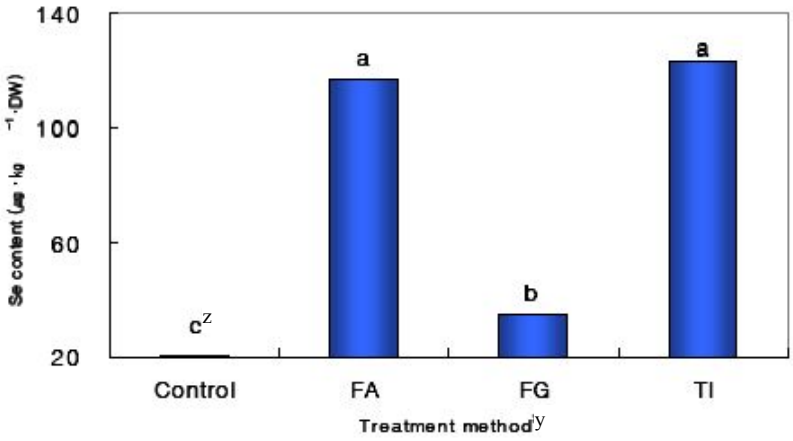

Fig. 2. Fruit Se concentration in a 'Wonhwang' pear orchard as affected by Se treatments in September adapted from Kim et al. (2009).

[z] Different letters top columns indicate significant difference by Duncan's multiple range test at P=0.05.

[y] Treatment method; FA = Foliar application, FG = Fertigation, and TI = Trunk injection.

Ⅳ. 요 약

본 연구는 신체에 유익한 기능성 성분으로 알려져 있는 셀레늄을 '원황' 배나무에 처리방법을 달리했을 때 어떤 처리방법이 토양과 수체에 셀레늄 흡수를 증진시키는 것에 대해서 조사하였다. 셀레늄 처리는 엽면살포, 토양 내 관주, 그리고 수간주입을 포함하였다. 토양 내 인산과 칼륨 및 마그네슘 함량은 대조구와 셀레늄 관주 처리간에 비슷한 경향을 보였고, 토양 내 칼슘은 셀레늄 처리로 인한 양이온 경쟁작용으로 대조구에서 오히려 높았고 셀레늄 함량은 관주 처리구에서 높게 나타났다. 셀레늄 처리에 따른 엽형질은 별다른 영향을 받지 못했다. 엽중 칼륨과 칼슘은 모든 처리구 간에 별다른 영향이 없었고, 마그네슘은 셀레늄 처리구에서 대조구보다 높은 경향이 나타났다. 엽과 과실 내 셀레늄 함량은 셀레늄 엽면살포와 수간주입 처리구에서 대조구와 관주 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다.

[논문접수일 : 2010. 2. 20. 논문수정일 : 2010. 5. 10. 최종논문접수일 : 2010. 5. 17]

참 고 문 헌

1. 농업과학기술원. 2006. 작물별 시비처방 기준, 농업과학기술원, 수원, 한국. pp. 168-171.
2. Chung, A. S., S. O. Yoon, U. Jung, and J. M. Park. 2003. Effect of selenium on chemoprevention and metastasis. J. Kor. Asso. Cancer Preven. 8: 45-52.
3. Clark, L. C., G. F. Jr. Combs, B. W. Turnbull, E. H. Slate, D. K. Chalker, J. Chow, L. S. Davis, R. A. Glover, G. F. Graham, E. G. Gross, A. Krongrad, J. L. Jr. Lesher, H. K. Park, B. B. Jr. Sanders, C. L. Smith, and J. R. Taylor. 1996. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin. A randomized controlled trial. Nutritional prevention of cancer study group. JAMA. 276: 1957-1963.
4. Faust, M. (ed.). 1989a. Nutrition of fruit trees. pp. 53-132. In: Physiology of Temperate Zone Fruit Trees. A Wiley-InterScience Publication.
5. Faust, M. (ed.). 1989b. Photosynthetic productivity. In: Physiology of temperate zone fruit trees, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., pp. 1-51.
6. Hartikainen, H., T. Xue and V. Piironen. 2000. Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant Soil 225: 193-200.
7. Kim, H. J., W. S. Kim, and H. S. Choi. 2009. Effect of selenium treatment on the quality of ‘Wonwhang’ pear fruit. Kor. J. Food. Preserv. 16: 838-842.
8. Kononova, M. M. 1966. Soil organic matter. p. 544. In: Nowakowski, T. Z., A. C. D. Newman (eds). Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Pergamon Press, Oxford, England.
9. Lee, G. P. and K. W. Park. 2001. Study of selenium and germanium treatment on their accumulation traits and induced antioxidant capacity in ‘seoul’ lettuce in hydroponics. Acta Hort. 548: 491-496.
10. Lee, S. J., H. M. Kang, and I. S. Kim. 2008. Effect of sodium selenate supplied condition by fertigation on the growth and content of minerals, ascorbic acid, nitrate, and selenium of some western vegetables. J. Bio-Environ. Control 17: 43-50.
11. Mikkelsen, R. L. and H. F. Wan. 1990. The effect of selenium on growth and quality in hydroponically-grown Korea mint (Agastache rugosa). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42: 483-486.
12. Park, K. W. and D. S. Yang. 2004. Production of functional Korean ginseng by selenium supplement in hydroponic system. Acta Hort. 629: 307-311.
13. Stadtman, T. C. 1996. Selenocystein. Annu. Rev. Biochem. 65: 83-100.