

게르마늄 처리 방법이 '신고' 배 과원의 토양과 엽의 무기성분 및 엽 특성에 미치는 영향*

최현석** · 김태연*** · 김월수**** · 이 연*****

Effects of Germanium Treatments on Nutrient Concentrations in Soil and Leaves and Leaf Characteristics in a 'Niitaka' Pear (*Pyrus pyrifolia*) Orchard

Choi, Hyun-Sug · Kim, Tae-Yeon · Kim, Wol-Soo · Lee, Youn

This study was conducted to investigate the effects of germanium (Ge) application types on the nutrient concentrations in soil and leaves and leaf characteristics in a 'Niitaka' pear orchard in 2004. Ge application included foliar application, fertigation in soils, trunk injection, and the three-combined application. All Ge treated-plots had lower soil NO₃-N, K, and Ca concentrations than those of control plot. Ge concentrations in Ge treated-soils were approximately 50 times higher than those of the control. Ge applications significantly increased area, dry weight, and specific weight in leaves compared to the control. Control treated-trees had greater K concentrations in leaves than the Ge treated-trees, which was oppositively observed for the leaf Ca; leaf Ca was higher on the Ge treated-trees than control. Leaf Ge concentrations were significantly higher on the Ge treated-trees compared to the control, except for the Ge fertigation. Ge concentrations in fruits were greater on the Ge-treated trees than the control trees.

Key words : *fruit, germanium, nutrient, organic, pear*

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

** 국립농업과학원 유기농업과

*** 교신저자(pomology@naver.com)

**** 전남대학교 원예학과

***** 국립농업과학원 유기농업과

I. 서 언

게르마늄(Germanium)은 주기율표상에서 4족의 원소로서 실리콘과 같이 반도체의 성질을 띠고 있어 전자공학의 발전에 지대한 공헌을 했으나, 생물학적으로는 유해한 원소로 규정되어 있었다. 불과 50년 전만 하더라도 아연, 망간, 크롬, 셀레늄은 인간의 건강에 적합하지 못하다고 알려져 있었으나 최근에 이들이 인체에 유독한 중금속이라는 우려에도 불구하고 미량의 농도일 때 적절한 대사와 건강에 필수적인 중요한 역할을 한다는 것이 많은 과학자에 의해 판명되었다(Fujii *et al.*, 1993; Goodman, 1988; Lee and Park, 2001). 여러 기능성 물질 중 게르마늄은 성인병 등 여러 난치병 치료에 약리효과가 인정되고 있다(Fujii *et al.*, 1993). 이러한 게르마늄 중 식물에서 추출한 천연유기 게르마늄이 무기 게르마늄 및 합성유기 게르마늄보다 뛰어난 항암효과가 있다고 알려져 왔다. 과거부터 식물체내의 게르마늄 함량에 대한 조사들이 많이 이루어져 왔는데 이중 인삼을 분석한 결과에 의하면 Fresh ginseng은 $0.0012-0.01\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, White ginseng은 $0.002-0.009\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 정도의 게르마늄 함량을 가지고 있다고 하였다(Kim *et al.*, 1988). 이밖에 영지, 컴프리, 마늘, 클로렐라, 명일엽을 비롯한 여러 약용 식물들은 토양에 함유된 무기 게르마늄을 흡수하여 식물체내에 유기 게르마늄 형태로 전환하여 식물중 비교적 많은 양을 함유하고 있다고 하였다(Kim *et al.*, 1988; Koh, 1994).

하지만 게르마늄은 앞서 언급한 바와 같이 독성 및 약리효과 측면에서 많은 연구가 수행되었지만 외국이나 국내의 경우에 게르마늄의 농업적 측면에서 특히 과실에 대한 연구는 미비한 실정이다. 또한 고농도의 무기태 게르마늄 처리는 식물체 성장저해와 독성을 가져올 수 있으므로(Kim *et al.*, 2009), 적합한 시용 농도와 처리방법을 구명하는 것이 요구되고 있다. 본 실험은 기능성 고 품질 과실을 생산하기 위한 수단으로 무기 게르마늄을 배 '신고' 과원에 여러 방법으로 살포함으로써 처리방법에 따른 토양과 엽의 무기성분 함량과 엽의 특성 및 배 과실에 천연 유기 게르마늄의 함량을 증대시킬 수 있는지를 구명하기 위해서 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시험재료 및 처리내용

전라남도 영암군 덕진면 감배농원에 식재된 12년생 '신고' 품종을 이용하였다. 처리제는 광주 과학기술원에 소재한 (주)캐러스 에서 생산하고 있는 엽면시비용 수용성 무기 게르마늄 액상인 'G⁺-Alpha'(3,000mg·L⁻¹ 게르마늄)와 토양관주용 수용성 무기 게르마늄 액상인

'G⁺-Mineral'(3,000mg·L⁻¹ 게르마늄)을 사용하였다. 처리시기는 2004년 5월 중순부터 엽면시비(Foliar application=FA)와 토양관주(Fertigation=FG) 처리는 약 1달 간격으로 3회, 수간주입(Trunk injection=TI) (Fig. 1)은 6월 중순부터 1달 간격으로 3회 처리하였다. 시험은 대조구(Control), 엽면시비(FA), 토양관주(FG), 수간주입(TI), 그리고 위의 세 가지를 혼용한 복합처리(FA+FG+TI)를 포함하였다. 각 처리농도는 6mg·L⁻¹으로 하였고 혼용한 복합처리는 18mg·L⁻¹의 게르마늄 수용액이 사용되었다. 과실은 9월 23일에 수확하여 주당 10개의 과실을 선정하여 과실의 게르마늄 함량을 조사하였다.

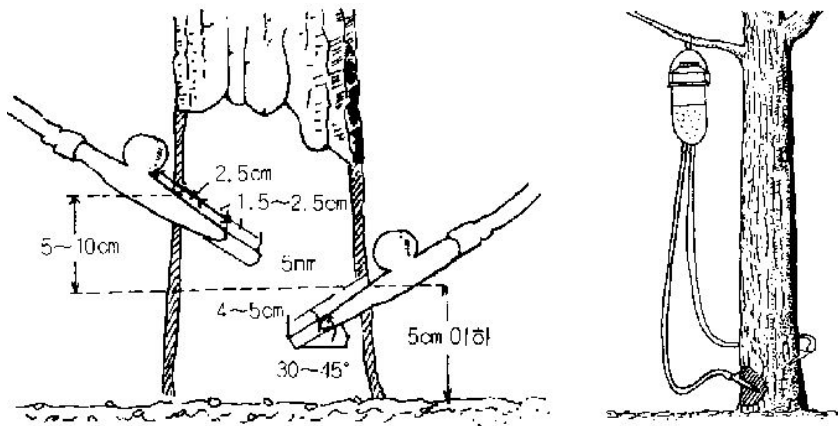


Fig. 1. Trunk-Injection method in 'Niitaka' pear trees.

2. 토양 화학성 조사

게르마늄 처리가 끝난 후인 9월에 표토 0-30cm 깊이에서 토양을 채취하였고, 음지에서 자연 건조 후 2mm 체를 통과한 토양을 시료로 이용하였다. 토양 화학성 조사는 국립농업과학원 토양 분석법(RDA, 2000)에 준하여 조사하였다. pH는 토양과 물을 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH meter(702P, Its teK Inc., Korea)로 측정하였고, 전기전도도(EC)는 pH를 측정할 위의 토양액을 전기전도계(Consort C533, Cole-Parmer Inc., USA)를 이용하여 측정하였다.

유기물(OM)은 Turin법(Kononova, 1966)으로 조사하였는데 토양 중 탄소함량을 구한 후 계산식에 따라서 유기물함량을 구하였다. 치환성양이온(Cation exchange capacity)은 풍건토양 5g과 침출액 1N-NH₄OAc(pH 7.0) 50mL를 100mL 플라스크에 취하여 30분간 진탕한 뒤 No. 2 여과지를 이용하여 여과한 뒤에 1mL를 취하여 증류수 24mL와 함께 잘 섞은 용액을 가지고 치환성 양이온인 칼슘, 마그네슘 그리고 칼륨을 ICP(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer; IRIS Argon plasma spectrometer; Thermo Jarrell Ash, USA)로

측정하였다. Ge는 ICP-MS를 이용하여 측정하였다. 유효태 인산은 SnCl_2 와 몰리브덴산 암모늄을 이용하여 720nm에서 비색정량 하였다.

3. 엽 특성 및 과실 내 게르마늄 함량 조사

엽은 무기양분의 이동이 적은 2004년 7월 중순에 1년생 도장지에서 처리당 100매 정도의 엽을 채취하여 물기가 마르지 않게 실험실로 옮겨와 비이온성 세제를 이용하여 각각의 엽을 세척한 후 물기를 제거하였다. 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3000C, LI-COR Inc., U.S.A.)를 이용하여 측정하였고 중량은 전자저울을 이용하였으며, #10번의 cork borer를 이용하여 엽비중($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)을 측정하였다.

세척된 엽을 70-80°C의 건조기에서 3일간 건조 후 마쇄시켜 식물체분해를 위한 시료로 사용하였다. 식물체 분해는 습식분해법으로 하였는데 시료 0.5g을 100mL 분해용 플라스크에 넣고 H_2SO_4 10mL를 가하여 250°C에서 30분간 가열한 후 370°C까지 온도를 올려 분해를 하였고 분해가 덜된 시료는 2-3mL의 H_2O_2 를 첨가하여 다시 가열 분해 시켰다. 분해된 액체 시료를 Whatman 여과지 No. 6을 사용하여 여과하여 3차 증류수를 이용하여 100mL로 정용하였다. K, Ca, Mg는 ICP를 이용하여 분석하였고 엽내 게르마늄 함량은 ICP-MS로 측정하였다.

2004년 9월 23일에 수확한 과실을 70-80°C의 건조기에서 3일간 건조시킨 후 마쇄시켜 시료로 사용하였다. 식물체 분해는 앞에서 언급하였던 습식분해법으로 분해하고 정량한 후 ICP-MS를 이용하여 분석하였다.

4. 통계분석

시험구 배치는 난괴법으로 1주 1반복으로 구당 10주 배치하였다. 자료분석은 SPSS 통계 분석을 이용하여 분산 분석하였고, 평균간 유의차 검증은 Duncan(duncan's multiple range test, $\alpha=0.05$)을 활용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 게르마늄 처리가 토양 이화학성에 미치는 영향

과원 토양에 시기별로 3회 게르마늄 GeO_2 를 관주 처리한 후 9월에 토양화학성을 조사하였다(Table 1). Lee와 NamKoong 등(1997)은 벼의 게르마늄 처리로 인하여 토양 pH가 감소

하는 경향을 보였다고 하였으나 본 실험에서는 처리 간에 통계적으로 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 토양 pH는 모든 처리구에서 배 과수가 성장하기에 적합한 범위(pH 6.0-6.5) (RDA, 2010)에 속하였다. 토양 유기물과 전기전도도 또한 게르마늄 처리에 의해 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 토양 질산태 질소는 대조구(Control)에 비해 관주처리구(FG=fertigation)와 복합처리구(FA+FG+TI)에서 현저히 낮아지는 경향을 보였다($P<0.05$). 토양 유효인산은 모두 $439-507\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 처리간에 약간의 차이가 있었으나 통계적으로 유의성은 없었으며 전반적으로 배 재배 토양에 적합한 범위인 $200-300\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (RDA, 2010) 보다 2배 정도 높게 나타나서 토양 중 과도한 인산에 대한 주의가 요구되었다. 토양 칼륨과 칼슘은 대조구에 비해 관주와 복합처리구에 비해서 통계적으로 유의성 있게 낮게 나타났다($P<0.05$). 이는 게르마늄 처리가 토양 내 양이온인 게르마늄 농도를 증가시킴으로서(Fig. 2) 음이온으로 하전된 토양 콜로이드 입자에 치환성 양이온인 칼륨과 칼슘 농도를 감소(Faust, 1989)시켰을 것으로 판단되었다. 마그네슘은 칼륨과 칼슘과는 반대로 대조구에서 게르마늄 처리구보다 낮게 나타났는데, 이는 양이온 경쟁작용에(Faust, 1989) 의해 부분적으로 영향을 받았을 것으로 판단되었다. 하지만 처리구간에 약간의 차이는 있었으나 통계적으로 유의성 있는 차이는 인정되지 않았다. 무기성분의 용탈이나 온도나 강우등과 같은 환경적인 다양한 요인 때문에 9월의 단 한번의 토양 조사로 해석을 하기에는 다소 무리가 따르므로 게르마늄 처리에 따른 토양의 계절적인 무기성분의 변화를 관찰하는 연구가 필요하다고 하겠다.

Table 1. Soil pH, organic matter (OM), electrical conductivity (EC), $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 , and extractable cations (K, Ca, and Mg) in a 'Niitaka' pear orchard as affected by germanium treatments in September in 2004.

Ge treatment	pH (1:5)	OM (%)	EC ($\text{ds} \cdot \text{m}^{-1}$)	$\text{NO}_3\text{-N}$	P_2O_5	K	Ca	Mg
				$(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		$(\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1})$		
Control	6.03 a*	2.40 a	0.93 a	17.1 a	507 a	1.03 a	10.4 a	2.99 a
FG	6.36 a	2.64 a	0.84 a	8.4 b	456 a	0.89 b	9.9 ab	3.06 a
FA+FG+TI	6.30 a	2.21 a	0.63 a	8.2 b	439 a	0.67 c	9.2 b	3.25 a

FA = foliar application, FG = fertigation, and TI = trunk injection.

* Means separation within columns by Duncan's multiple range test at $P<0.05$.

토양 중 게르마늄 함량을 분석한 결과 대조구($0.33\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$)에서 우리나라 일반 토양에서 관찰되는 극미량의 게르마늄이 검출되었고 관주 처리($18.07\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$)와 복합 처리($17.63\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$) 에서는 대조구보다 50배 이상 높게 나타나서 통계적으로 유의성 있게 높은 함량을 나

타내었다(Fig. 2).

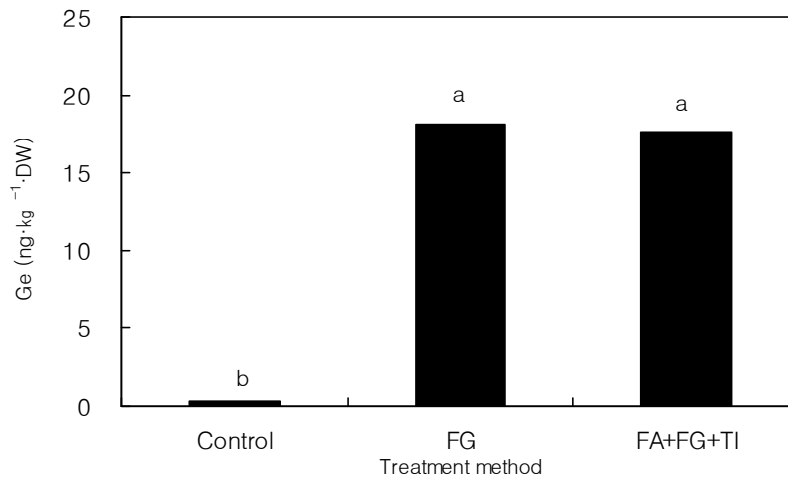


Fig. 2. Ge concentration in soils of a 'Niiitaka' pear orchard as affected by germanium treatments.

FA = foliar application, FG = fertigation, and TI = trunk injection.

Different letters above bars indicate significant difference between treatments as determined by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

2. 게르마늄 처리가 잎과 과실에 미치는 영향

게르마늄 처리가 엽형질 변화에 미치는 효과를 알아보기 위해서 엽면적, 엽중량, 엽비중을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 엽면적, 엽중량, 엽비중의 세 가지 조사에서 게르마늄 처리구에서 대조구보다 통계적으로 유의성 있게 높게 나타났거나($P < 0.05$) 유의성은 없었지만 높은 경향을 보였다. Lee 등(2005)은 저농도($8\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)의 게르마늄 살포는 상추와 청경채 그리고 싹갓에서 생체중이 무거웠으나 고농도($16\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 처리는 오히려 생육을 저하시켰다고 하였다. 본 실험에서도 저농도($6\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)의 단용처리인 엽면살포(FA=foliar application), 관주 처리, 수간주입(TI=trunk injection)처리가 고농도($18\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)의 복합처리보다 통계적으로 유의성은 없었으나 다소 높은 엽면적과 엽중을 생산한 것으로 관찰되었다.

엽내 인산은 처리구간에 별다른 영향이 나타나지 않았다. 엽중 칼륨 함량은 대조구가 2.88%로 현저히 높았으며 수간주입 1.94%, 관주 2.35%, 복합처리 2.24%로 대조구보다 현저히 낮은 함량을 나타내었고 엽면살포에서 가장 낮은 1.94%의 함량을 나타내었다(Table 3). 대조구는 처리구에 비해서 토양내 칼륨이 가장 높게 나타났는데(Table 1), 이러한 칼륨농도가 식물체 흡수에 영향을 주었을 것으로 판단되었다. 하지만 인산과 칼슘 그리고 마그네슘

은 토양과 엽내 성분함량이 별다른 관련이 없는 것처럼 보이는데, 이전의 보고에서도 사과 과원의 토양과 엽의 상관관계에서 칼륨을 제외하고는 유의 상관관계가 나타나지 않았다고 하였다(Pinamonti *et al.*, 1995). 칼슘은 엽내 칼륨함량이 가장 높았던 대조구에서 가장 낮게 나타났는데, 칼륨과 양이온 흡수 길항작용(Faust, 1989)으로 엽내 칼슘농도에 부분적으로 영향을 끼쳤을 것으로 판단되었다. 마그네슘은 엽내 인산과 마찬가지로 처리 간에 통계적으로 유의성 있게 차이가 나타나지 않았다. 대조구를 포함한 모든 처리구의 엽내 인산, 칼륨, 칼륨 그리고 마그네슘 농도는 RDA(2010)에서 권고한 배 수채생육에 적당한 범위를 나타내었다.

Table 2. Leaf characteristics in 'Niitaka' pear trees as affected by germanium treatments.

Ge treatment	Leaf		
	Area (cm ²)	Weight (g)	Specific wt. (g·cm ⁻²)
Control	55.8 b*	1.31 b	0.206 b
Foliar application (FA)	61.1 a	1.46 a	0.208 ab
Fertigation (FG)	61.2 a	1.46 a	0.229 a
Trunk injection (TI)	61.3 a	1.47 a	0.230 a
FA+FG+TI	59.1 ab	1.38 ab	0.216 ab

* Means separation within columns by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

Table 3. P, K, Ca, and Mg concentrations in leaves in a 'Niitaka' pear orchard as affected by germanium treatments.

Ge treatment	P	K	Ca	Mg
	(%)			
Control	0.16 a*	2.88 a	1.99 b	0.31 a
Foliar application (FA)	0.18 a	1.94 c	2.30 b	0.32 a
Fertigation (FG)	0.18 a	2.35 bc	2.19 b	0.28 a
Trunk injection (TI)	0.18 a	2.53 b	2.70 a	0.34 a
FA+FG+TI	0.23 a	2.24 bc	2.24 b	0.25 a

* Means separation within columns by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

엽중 게르마늄 함량을 분석한 결과 복합처리가 대조구에 비해 통계적으로 유의성 있게 높게 나타났으며($P < 0.05$) 엽면살포와 수간주입도 높은 농도를 보였다(Fig. 3). Lee 등(1995)

은 명일엽과 일당귀를 기내 배양하여 게르마늄 흡수량 시험을 하였는데 식물 부위별 게르마늄 함량 분석결과 명일엽은 일당귀에 비하여 전체적으로 약 2.1배 높았고 부위별로는 명일엽에서 엽병, 줄기 앞의 순으로 함량이 많았다고 하였다. 하지만 토양 내 게르마늄 농도를 증가시켰던(Fig. 2) 관주처리는 엽내 게르마늄에 있어서 대조구와 별다른 차이가 나타나지 않았다. 이러한 현상이 일어나는 가능한 이유는 토양 내 게르마늄은 식물체에 흡수되는데 상당한 시간이 필요로 하거나, 토양내의 다른 음이온과 결합하여 유기태 게르마늄으로 존재해서 식물체가 흡수하기에 좀 더 어려운 형태로 있었을 것으로 추정된다.

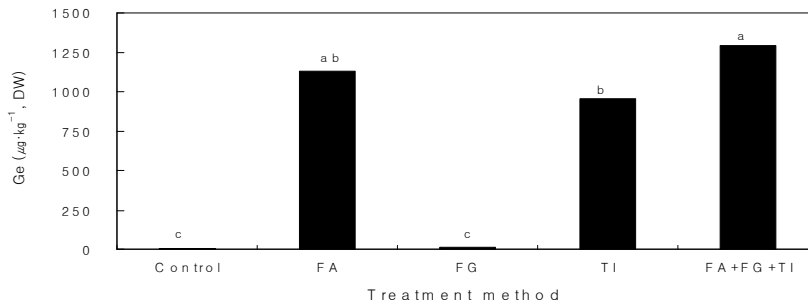


Fig. 3. Germanium concentrations in leaves of 'Niitaka' pear trees as affected by germanium treatments.

FA = foliar application, FG = fertigation, and TI = trunk injection.

Different letters above bars indicate significant difference between treatments as determined by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

수확 후 과실의 게르마늄 농도는 대조구는 $0.6\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 현저히 낮았으며 엽면살포, 관주, 수간주입 처리는 각각 $23.7\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$, $8.2\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$, $3.3\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 대조구보다 높았으며 복합처리구는 $44.5\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 대조구보다 현저히 높은 수치를 나타내었다($P < 0.05$) (Fig. 4). Kim 등(1988)은 약용으로 쓰이는 작물은 게르마늄 함량이 높다고 하였는데, fresh ginseng은 $0.0012\text{-}0.01\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, white ginseng은 $0.002\text{-}0.009\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 정도의 게르마늄을 가지고 있다고 하였다. Lee 등(2005)은 우리나라 농작물중 게르마늄 함량은 전반적으로 곡류>채소류>과일류 순으로 높았다고 보고하였다. 본 실험에서 게르마늄 처리로 상당부분 과실 내 게르마늄을 증가시켰지만 위에서 보고된 자료와 비교하면 약용작물에 비해서는 상당히 적은 양이 있는 것으로 판단되었다.

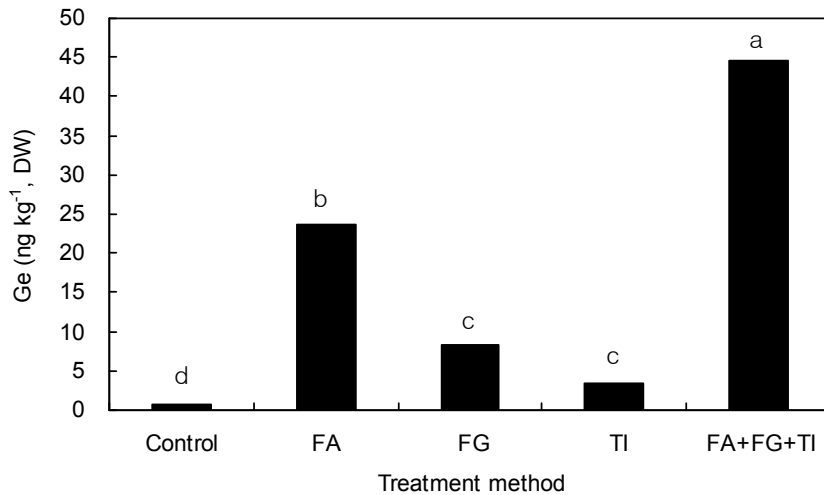


Fig. 4. Germanium concentration in fruits of 'Niitaka' pear trees as affected by germanium treatments.

FA = foliar application, FG = fertigation, and TI = trunk injection.

Different letters above bars indicate significant difference between treatments as determined by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

IV. 요약

본 연구는 기능성 성분으로 알려져 있는 게르마늄을 '신고' 배 과원에 처리 방법을 달리 했을 때 토양과 엽내 무기성분과 엽 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 2004년에 조사하였다. 게르마늄 처리는 엽면살포, 토양 내 관주, 수간주입, 그리고 앞의 세 가지 처리를 혼용한 복합처리를 포함하였다. 게르마늄 처리는 대조구에 비해 토양 중 질산태질소와 칼륨과 칼슘 농도를 오히려 감소시켰다. 게르마늄 처리는 대조구에 비해 토양 중 게르마늄을 약 50배 이상 증가시켰으며, 엽면적, 엽건물중, 그리고 엽비중을 통계적으로 유의성 있게 증가시켰다. 대조구는 게르마늄 처리구에 비해서 엽내 칼륨농도를 유의성 있게 증가시켰고, 반대로 칼슘은 게르마늄 처리구에서 높은 경향이 나타났다. 엽내 게르마늄은 게르마늄 관주처리를 제외하고 대조구보다 현저히 높게 나타났고, 과실 내 게르마늄은 모든 처리구에서 대조구 보다 높게 나타났다.

[논문접수일 : 2010. 10. 7. 논문수정일 : 2010. 11. 28. 최종논문접수일 : 2011. 6. 24]

참 고 문 헌

1. Faust, M. (ed.). 1989. Photosynthetic productivity. pp. 53-132. In: Physiology of Temperate Zone Fruit Trees. A Wiley-InterScience Publication, Beltsville, U.S.A.
2. Fujii, A., N. Kuboyama, J. Yamane, S. Nakao, and Y. Furukawa. 1993. Effect of organic germanium compound (Ge-132) on experimental osteoporosis in rats. *Gener. Pharma.* 24: 1527-1532.
3. Goodman, S. 1988. Therapeutic effects of organic germanium. *Med. Hypotheses* 26: 207-215.
4. Koh, K. S. 1994. Do you know about a fantastic germanium, Ihwa Publishing, Seoul, Korea.
5. Kononova, M. M. 1966. Soil organic matter. p. 544. In: Nowakowski, T. Z. and A. C. D. Newman (eds.). Its Ture, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility. Pergamon Press, Oxford, England.
6. Kim, S. T., C. W. Lee, B. S. Choi, and B. C. Lee. 1988. Determination of germanium in ginseng radix by hydride generation-inductively coupled plasma spectrometry. *J. Kor. Soc. Anal.* 1: 203-209.
7. Kim, T. Y., W. S. Kim, and H. S. Choi. 2009. Effect of germanium treatment on the quality of 'Niitaka' pear fruit. *Kor. J. Food Preserv.* 16: 675-679.
8. 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.
9. Lee, G. P., H. S. Park., J. H. Won, and K. W. Park. 2005. Effect of GeO₂ concentration on hydroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa*). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 46: 113-118.
10. Lee, J. H. and S. B. Namkoong. 1997. Effect of germanium treatment on absorption of mineral element in rice seedling. *J. Life Sci. & Nat. Res. Wonkwang Univ.* 20: 27-34.
11. Pinamonti, F., G. Zorzi, F. Gasperi, S. Silvestri, and G. I. Stringari. 1995. Growth and nutritional status of apple trees and grapevines municipal solid-waste-amended soil. *Acta Hort.* 383: 313-321.
12. RDA (Rural Development Administration). 2000. Soil and Plant Analysis. Suwon, Korea.
13. RDA (Rural Development Administration). 2010. Technical Information. Apples. Suwon, Korea.