

셀레늄과 게르마늄 강화 배추와 고추 생산기술

윤형권^{1*} · 장성호² · 서태철¹ · 황화자¹

¹원에연구소, ²중국 절강성 농업과학원

Development of Techniques for the Production of Selenium and Germanium-enriched Chinese Cabbage and Pepper

Hyung Kwon Yun^{1*}, Cheng Hao Zhang², Tae Cheol Seo¹, and Hua Zi Huang¹

¹National Horticultural Research Institute, Suwon 440-706, Korea

²Zhejiang Academy of Agricultural Sciences Institute of Vegetables, Hangzhou 198, China

Abstract. The effects of selenium (Se) and germanium (Ge) fertilization on the growth and quality of Chinese cabbages cultivated in spring and autumn and peppers cultivated in spring were investigated. Se (Na_2SeO_4) and Ge (GeO_2) were supplied 5, 10, or 20 times in an aqueous solution of 0, 2, 4, or 8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ during the cultivation of Chinese cabbages and peppers. The fresh weight of Chinese cabbages increased by Ge fertilization with high concentration. But it was not affected by Se fertilization. The content of vitamin C increased by 10 times application with 4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of Se or Ge. The concentration of Se in Chinese cabbage increased according to increasing concentration of Se fertilization. Se concentration was higher in the outer leaves than in the inner leaves. Se concentration in the mesophyll was higher than that in the midrib. Ge fertilization increased the uptake and concentration of Ge in autumn-cultivated Chinese cabbages. Se and Ge fertilization did not affect the fresh weight of peppers. The content of vitamin C in pepper increased by 20 times application of 2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of Se. Vitamin C content in red peppers was twice as much as in green peppers.

Key words : fertilization, fresh weight, vitamin C

*Corresponding author

서 언

셀레늄(Se)은 1817년 스웨덴에서 처음으로 발견되었으며 사람과 동물에 매우 낮은 농도로 요구되는 필수 미량요소로서, 인간은 보통 식물, 가축, 그리고 해산물 등을 통하여 섭취하게 된다. Jansson(1980)의 보고에 의하면 셀레늄이 결핍된 토양에서 재배된 작물만을 지속적으로 섭취하는 사람들은 심장병 또는 암 등의 발생율이 높았다고 한다. 미국과 유럽에서는 심장, 간 등의 기능강화와 암 등에 예방효과가 있다고 인정되어(Axley 등, 1991) 셀레늄이 함유된 드링크제나 영양제를 시판하고 있다. 성인의 경우 셀레늄의 일일 권장 섭취량은 100~200 μg 로 알려져 있는데(Gunnar 등, 1985), 한국인의 일일 섭취량은 약 43 μg 로 다소 부족한 실정이다(Comb, 2001). 최근 인간의 건강과 관련

하여 보다 안정적이고 활성이 강한 천연 항산화제에 대한 관심이 높아지면서 셀레늄에 대한 다각적인 연구가 활발히 진행되고 있다(Barak 등, 1997). 그러나 인간에게 보건의적 또는 임상병리적 효과가 있는 셀레늄에 대한 토양 및 식물체내 함량과 같은 기초 연구는 활발하게 이루어지고 있으나 셀레늄 자체가 식물에 필수 영양소가 아니기 때문에 다른 원소에 비해 식물체내의 생리적인 기작에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

게르마늄은 무기 게르마늄과 유기 게르마늄으로 분류할 수 있는데, 무기게르마늄은 인체내 유입시 빈혈, 신기능 장애, 근육장애를 유발하는 것으로 알려져 있다. 유기게르마늄(Ge-132)은 항종양 효과, 항돌연변이 효과, 자연 살해세포 및 대식세포의 활성화를 포함하는 면역강화작용, 해열, 진통 작용, 중금속 해독작용 및 운동성 증가 등의 다양한 약리작용을 가지는 것으로 보고

Table 1. The effect of selenium and germanium application on the growth of Chinese cabbage grown in spring or autumn.

Seasons	Treatments (mg·L ⁻¹)	Fresh weight (kg·plant ⁻¹)	Head height (cm)	Head diameter (cm)	Number of leaves	Leaf chlorophyll content (SPAD)
Spring	Control	4.4±0.2 ^z	29.7±1.5	20.7±1.5	83.3±1.5	35.0±3.4
	Se 2	3.7±0.6	27.0±1.0	17.0±2.0	89.3±6.0	38.8±4.5
	Se 4	4.2±0.5	28.3±0.6	19.0±2.0	87.7±6.4	38.1±4.6
	Se 8	4.5±0.4	29.7±0.6	19.3±2.1	89.7±5.5	40.8±4.9
	Ge 2	4.6±0.7	29.7±2.1	19.0±1.0	86.3±7.1	37.4±0.7
	Ge 4	3.8±0.2	27.0±1.0	18.0±1.0	89.3±4.9	44.5±6.5
	Ge 8	3.8±0.1	27.7±0.6	17.3±0.6	81.7±2.9	35.7±4.4
Autumn	Control	3.0±0.5	28.0±1.0	16.2±1.0	87.0±3.0	36.3±2.4
	Se 2	3.1±0.1	27.5±1.5	17.2±1.6	84.0±3.6	42.9±5.8
	Se 4	3.3±0.2	27.7±0.8	17.0±1.0	94.0±2.7	38.0±2.4
	Se 8	3.4±0.2	29.3±2.3	16.8±0.6	89.0±5.2	40.2±1.7
	Ge 2	3.2±0.2	29.2±1.4	16.5±1.5	84.0±1.0	39.1±2.0
	Ge 4	3.2±0.2	29.3±0.8	15.8±0.6	86.3±4.9	39.0±0.5
	Ge 8	2.6±0.4	27.7±0.3	15.8±0.8	84.0±1.7	41.5±3.9

^zmean ± standard deviation

되고 있다(Montenegro 등 1996). 벼, 참외, 단감, 고추, 딸기 등에 게르마늄 농자재를 사용하고 있으나 게르마늄 처리에 따른 작물체내 게르마늄 흡수량과 생육 특성 변화에 대한 기본연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 실험에서는 하우스 토양재배시 셀레늄과 게르마늄 처리횟수와 농도가 배추와 고추의 생육과 품질에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

공시재료로 ‘꽃노랑’(농우종묘) 봄배추와 ‘CR맛배추’(농우종묘)를 각각 128공의 plug tray에 각각 4월 10일과 8월 16일에 파종하여 5월 5일과 9월 12일에 정식하였으며 고추는 ‘마니따’(농우종묘)품종을 72공 plug tray에 2월 15일에 파종하여 5월 6일 포트에 정식하였다. 셀레늄의 공급원으로는 Na₂SeO₄(Sigma Co., USA)를 사용하였고 게르마늄 공급원은 GeO₂를 사용하여 셀레늄과 게르마늄 농도를 모두 2, 4, 8 mg·L⁻¹로 하여 각각 20회, 10회와 5회씩 셀레늄과 게르마늄 시비량을 같게 하여 생육기간 동안 점적관수로 처리하였다. 그리고 대조구는 같은 양의 물을 처리하였다.

배추의 생육조사는 주중과 구중을 측정하였고 고추는 청고추와 홍고추로 나누어 파종과 기타 일반 생육을 조사하였으며 식물체내의 셀레늄과 게르마늄 함량과 비타민 C를 분석하였다. 식물체내 셀레늄과 게르마늄 함량은 원자흡광광도계(Perkin elmer 3300, USA)를 이용하여 정량하였으며, 식물체내 총 셀레늄함량은 건

조된 분말 시료 0.5 g를 질산:과염소산(3:1, v/v) 4 mL를 가하여 후드에서 습식분해를 하여 HVG-AAS(Shimadzu 6800, JAPAN)를 이용하여 정량 분석하였다(Yun 등, 2004). 비타민 C함량은 생체시료 5 g를 2.5% HPO₃, 25 mL와 함께 Homogenizer로 10,000 rpm으로 10분간 마쇄한 후 원심분리기로 30,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 0.45 µm membrane filter(Millipore, USA)로 여과하여 10 µL씩 2회 반복 주입하여 HPLC로 분석하였다(Park 등, 1997). HPLC(Waters M1025, USA)의 조건은 UV-detector로 하였고, 컬럼은 symmetry C18 5 µm(3.9×150 cm)으로 이동상용매는 KH₂PO₄(pH 2.8):Methanol(9:1)을 0.5 mL/min으로 흘려 254 nm에서 측정하였다. 통계처리는 SAS 통계 패키지(version 6.12)를 이용하였다.

결과 및 고찰

봄배추와 가을배추의 생체중은 셀레늄 처리구와 대조구간에 유의성 차이가 없었다(Table 1). 배추의 양액 재배에서 Se 1 mg·L⁻¹ 처리하였을 때 생체중이 대조구와 차이가 없었다는 결과와 일치하였다(Yun, 2005). 엽록소 함량은 셀레늄 처리구가 대조구에 비해 증가하는 경향을 보였으며 셀레늄 농도별 차이는 없었다. 구고, 구폭 및 엽수는 셀레늄 처리에 의한 영향은 없었다. 게르마늄(Ge)처리에 의한 생체중은 봄재배는 Ge 4, 8 mg·L⁻¹, 가을재배는 Ge 8 mg·L⁻¹에서 대조구에

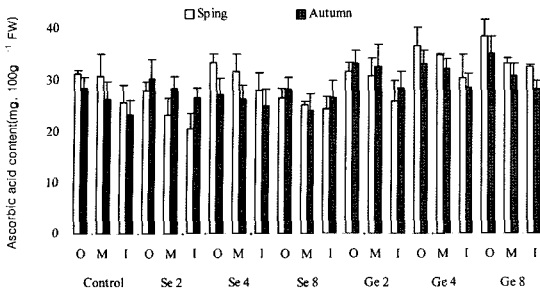


Fig. 1. Effect of selenium and germanium application on ascorbic acid content in outer, middle, and inner leaves of Chinese cabbages grown in spring and autumn. Vertical bars indicate SE of means (n=9). O: outer leaves, M: middle leaves, I: inner leaves

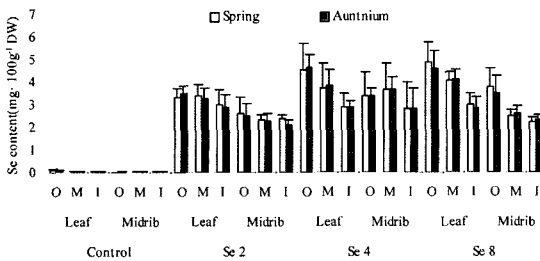


Fig. 2. Accumulated selenium contents in outer, middle, and inner leaves of Chinese cabbages grown in spring and autumn according to the selenium application. Vertical bars indicate SE of means (n=9). O: outer leaves, M: middle leaves, I: inner leaves

비해 감소하였으며 처리간에 엽록소, 구고, 구폭 및 엽수는 차이가 없었다.

잎 부위별로는 봄, 가을배추 모두 외엽 > 중엽 > 내엽 순이었다. 셀레늄 처리 시 비타민 C 함량은 Se 4 mg · L⁻¹ 10회 처리가 대조구에 비하여 증가하였고 Se 2 mg · L⁻¹ 20회 처리와 Se 8 mg · L⁻¹ 5회 처리에서는 차이가 없었다. Lee(1999)는 엽채류에 Se 처리 농도를 증가시킬수록 비타민 C 함량이 증가하였다고 보고한 바 있다. 게르마늄 처리 시 비타민 C 함량은 Ge 4 mg · L⁻¹ 10회 처리와 Ge 8 mg · L⁻¹ 5회 처리에서 대조구에 비교하여 증가하였으나 Ge 2 mg · L⁻¹ 20회 처리에서는 대조구와 차이가 없었다(Fig. 1).

봄, 가을배추 부위별 Se 함량은 외엽 > 중엽 > 내엽 순이었으며 엽육부위가 중록에 비하여 높았다(Fig. 2). 이는 먼저 형성되는 엽조직에 Se이 계속적으로 축적된 것으로 판단된다. 또한 Se 농도의 증가에 따라 증가하였으며 Se이 거의 함유되지 않은 대조구에 비하여 약

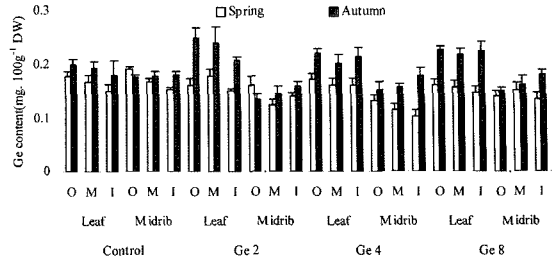


Fig. 3. Accumulated germanium contents in outer, middle, and inner leaves of Chinese cabbages grown in spring and autumn according to the germanium application. Vertical bars indicate SE of means (n=9). O: outer leaves, M: middle leaves, I: inner leaves

50~150배 정도의 Se을 함유하였다. 양액내 Se처리농도가 상승함에 따라 작물내 Se함량의 증가는 중국 엽채류(Park 등, 1996)와 몇 가지 엽채류 실험(Yun 등, 2004)을 통하여 보고된 바 있다. 또한 Barak와 Goldman(1997)도 양액재배시 Se처리 농도가 증가함에 따라 건물에서 Se 함량이 증가하였다고 보고하였다. 배추, 토마토, 무 등 원예작물을 대상으로 Se을 처리한 결과 모든 작물에서 Se함량이 증가되었다는 Du 등(2004a)의 보고와 일치하였다. Liang(2004)은 담배 잎에 Se을 처리한 결과 담배 잎의 Se함량은 증가된 반면 타르의 함량이 현저히 감소되었다고 보고하였다. 봄배추가 가을배추보다는 Se의 함량이 높았다.

게르마늄 처리에 있어서 봄배추는 부위별 및 처리별 게르마늄 함량이 차이가 없었다(Fig. 3). 그러나 가을배추에서는 잎에서 게르마늄 처리구가 대조구에 비해 다소 높게 나타났다. 이는 아마 봄배추 심은 밭에 다시 가을배추를 심어서 토양에 남아 있는 게르마늄으로 인해 가을배추의 게르마늄 함량 증가와 게르마늄 처리구가 대조구에 비해 많이 함유된 것으로 생각된다. 배추, 상추, 토마토 수경재배에서 양액에 게르마늄을 처리하였을 때 게르마늄 함량이 그래도 어느 정도 흡수되었는데 토양재배에서 게르마늄 흡수가 전혀 되지 않는 것으로 나타났다(미발표).

동일포장에서 봄배추와 가을배추를 재배한 후 토양의 셀레늄 함량을 분석한 결과 봄에는 셀레늄처리구가 무 처리에 비하여 약간 높았으나 가을에는 셀레늄처리구가 대조구에 비하여 현저히 높았으며 처리 농도의 증가에 따라 높아지는 경향이였다(Fig. 4). 가을배추 수확 후 토양에서 셀레늄 농도가 증가된 것은 봄배추 셀레늄처리 시 일부가 토양에 축적된 것으로 사료되며

셀레늄과 게르마늄 강화 배추와 고추 생산기술

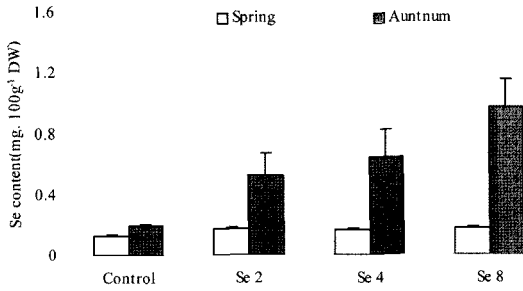


Fig. 4. Accumulated selenium contents in soil after cultivating Chinese cabbage. Vertical bars indicate SE of means (n=9).

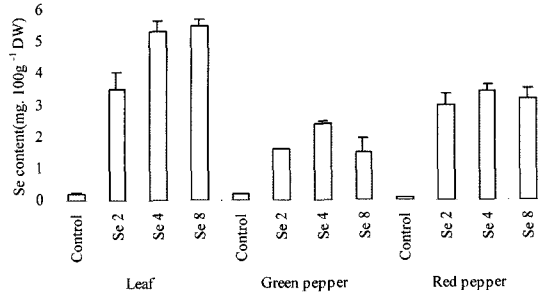


Fig. 6. Accumulated selenium contents in according to selenium application. Vertical bars indicate SE of means (n=9).

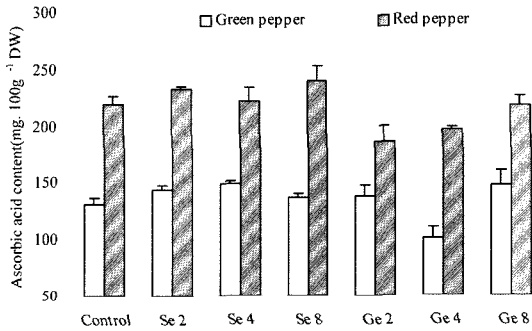


Fig. 5. Effect of selenium and germanium application on ascorbic acid content in pepper. Vertical bars indicate SE of means (n=9).

토양재배에서 장기적으로 셀레늄을 처리 시 토양과 식물에 미치는 영향은 진일보 연구가 필요한 것으로 생각된다.

고추에서 셀레늄 처리에 의한 생육차이는 없었다 (Table 2). 게르마늄 처리에서 Ge 2 mg·L⁻¹ 20회 처리가 타 처리에 비교하여 홍고추의 생체중이 높게 나타났다. 고추에서 비타민 C 함량을 분석한 결과 셀레늄 처리에 의해 풋고추의 경우 Se 2 mg·L⁻¹ 20회 처리와 Se 4 mg·L⁻¹ 10회 처리가 대조구에 비하여 다소 높았으며 홍고추의 경우 Se 2 mg·L⁻¹ 20회 처

리와 Se 8 mg·L⁻¹ 5회 처리가 대조구에 비하여 다소 높았다(Fig. 5). 게르마늄 처리에 의해 비타민 C의 변화를 보면 풋고추의 경우 Ge 2 mg·L⁻¹ 20회 처리와 Ge 8 mg·L⁻¹ 5회 처리가 대조구에 비하여 좀 높았고 Ge 4 mg·L⁻¹ 10회 처리는 반대로 대조구에 비해 낮았으며 홍고추의 경우 Ge 8 mg·L⁻¹ 5회 처리를 제외한 Ge 2 mg·L⁻¹ 20회 처리와 Ge 4 mg·L⁻¹ 10회 처리가 대조구에 비교하여 낮았다. 그리고 부위별로 모든 처리구가 홍고추가 풋고추에 비교하여 비타민 C 함량이 약 2배 높았다. 그러므로 생리활성적인 측면에서 홍고추가 풋고추보다 높다고 할 수 있다. 비타민 C는 엽록체에 존재하는 잘 알려진 항산화물질이다. 유리산소에 의해 손상된 식물세포를 보호해주는 비타민 C는 식물이 환경 스트레스에 인하여 발생하는 산화적 스트레스에 저항할 때 직접적으로 유리산소를 없애고 과산화수소를 생성한다. 따라서 식물이 환경스트레스로 인하여 손상될 때 총 비타민 C는 항상 반발적인 형태로 증가를 한다(Rautenkranz 등, 1994).

고추에 셀레늄을 처리한 결과 잎의 셀레늄 함량이 과실에 비교하여 높았으며 과실에서는 홍고추가 풋고추에 비하여 높았다(Fig. 6). 고추 잎의 셀레늄 함량은

Table 2. The effect of selenium and germanium application on the growth of pepper grown in spring and autumn.

Treatments (mg·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant diameter (mm)	Leaf chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	
				Green pepper	Red pepper
Control	140.3±7.8 ²	12.5±0.7	72.0±1.0	491.6±53.2	166.6±19.7
Se 2	153.0±4.0	11.7±0.5	72.6±2.0	416.1±46.1	173.1±5.0
Se 4	145.3±5.0	12.6±0.7	73.0±2.6	471.2±43.1	169.1±27.6
Se 8	146.7±5.8	12.5±0.7	71.5±1.8	486.6±42.3	128.4±25.3
Ge 2	142.0±2.0	12.5±1.5	68.6±1.3	468.9±59.3	227.6±13.3
Ge 4	137.3±6.0	13.1±0.7	72.7±0.5	510.9±6.4	148.2±30.5
Ge 8	147.3±2.5	12.4±0.6	69.0±3.5	477.7±32.1	179.2±28.8

²mean± standard deviation

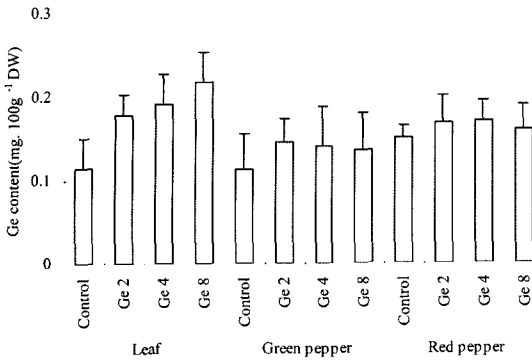


Fig. 7. Accumulated germanium contents in according to germanium application.

Vertical bars indicate SE of means(n=9).

셀레늄 처리 농도가 증가 할수록 증가하였으며 과실에서는 Se 4 mg · L⁻¹ 10회 처리가 타 처리에 비교하여 높았다. 고추에 게르마늄을 처리한 결과 셀레늄과 비슷한 경향으로 잎의 셀레늄 함량이 과실에 비교하여 높았으며 과실에서는 홍고추가 풋고추에 비하여 약간 높았다(Fig. 7). 고추 잎의 셀레늄과 게르마늄 함량은 처리 농도가 증가 할수록 증가하였으며 과실에서는 농도 처리에 의한 차이가 없었다. 셀레늄처리시 봄재배는 Se 4 mg · L⁻¹, 가을재배는 2 mg · L⁻¹ 처리가 적정농도로 판단되며 게르마늄 처리는 봄, 가을재배에서 Ge 4 mg · L⁻¹가 적정하였다. 고추는 Se 4 mg · L⁻¹, Ge 2 mg · L⁻¹는 처리가 적정할 것으로 판단하지만 재배 후의 토양내의 셀레늄과 게르마늄의 집적방지, 흡수특성에 따른 생리기작과 안전성 등에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

적 요

셀레늄과 게르마늄 처리 시 배추(봄, 가을배추)와 고추의 생육과 품질의 변화를 조사하였다. 셀레늄 처리에 의한 봄배추와 가을배추의 생체중은 차이가 없었고 Ge 처리시 높은 농도에서 생체중이 감소하였으나 고추에서는 차이가 없었다. 배추의 셀레늄 처리 경우 비타민 C 함량은 Se 4 mg · L⁻¹ 10회 처리가 무 처리에 비하여 증가하였으며 게르마늄 처리 경우 Ge 4 mg · L⁻¹ 10회 처리와 Ge 8 mg · L⁻¹ 5회 처리에서 증가하였다. 고추에서 셀레늄 처리에 의해 Se 2 mg · L⁻¹ 20회 처리가 높았으며 홍고추가 풋고추에 비교하여 비타민 C 함량이 약 2배가량 많았다. 봄, 가

을배추 부위별 셀레늄함량은 외엽 > 중엽 > 내엽 순으로 많았고 엽육부위가 중륜에 비해 높았으며 농도의 증가에 따라 증가하는 경향이었다. 게르마늄 처리 시 가을 배추 잎에서 모든 처리구가 무 처리에 비해 높았다.

주제어 : 비료, 생체중, 비타민 C

인 용 문 헌

- Axley, M.J., A. Beuck, and T.C. Stadtman. 1991. Catalytic properties of an *Escherichia coli* formate dehydrogenase mutant in which sulfur replaces selenium. Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A. 88:8450-8454.
- Barak, P. and I.L. Goldman. 1997. Antagonistic relationship between selenite and sulfate uptake in onion (*Allium cepa*): Implications for production of organosulfur and organoselenium compounds in plants. J. Agric. Food Chem. 45:1290-1294.
- Burke, J.J. and K. A. Orzech. 1988. The heat shock response in higher plants: A biochemical model. Plant Cell Environ. 11:441-444.
- Comb, GF Tr. 2001. Selenium in global food system. Br. J. Nutr. 85:517-547.
- Du, Z.Y., Y.X. Shi, and Q.H. Wang. 2004a. Effects of selenium application on the selenium absorption and transformation of eggplant and its qualities. Plant Nutri. and Fertilizer Sci. 10:298-301.
- Du, Z.Y., Y.X. Shi, and Q.H. Wang. 2004b. Selenium uptake by vegetables and recommendation of edible amounts for selenium supplement. Eco. and Environ. 13:230-231, 267.
- 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. Adv. in Agron. 37:397-460.
- Jansson, B. 1980. The roles of selenium as a cancer protecting trace element. In metal ions in biological systems. Eds. Sigel and Dekker Inc., New York. USA. p. 28-31.
- Lee, G.P. 1999. The highly functional leafy vegetables and their physiological mechanism by selenium and germanium in hydroponics. ph. D. Thesis, Korea Univ.
- Liang, K.Z. 2004. The Effect of selenium-minimum fertilizer in tobacco plants of content. J. of Yunnan Agri. Uni. 19:611-612,618.
- Montenegro, L., Bonnia, F.P., & Dederen, J.C. 1996. In vivo photoprotective effect of β -bis(carboxyethyl)germanium sesquioxide. J. of Soc. of Cosmetic Chemists. 47:307-313.
- Park, K.W., J.H. Lee, and B. Geyer. 1996. Effect of

- selenium concentrations in nutrient solution on the growth and contents of inorganic substances of chinese leaf vegetables. Kor. J. Hort. Sci. 37(1):47-51.
13. Park, Y.S., T.S. Na, and K.M. Lee. 1997. Effects of O₂ and CO₂ treatments within polyethylene film bags on the fruit quality of nonstringent Fuyu persimmon fruits during storage. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:510-515.
 14. Rautenkranz. A.A.F., L. Li, F. Machler, E. Martinoia, and J.J. Oertli. 1994. Transport of ascorbic and dehydroascorbic acids across protoplast and vacuole membranes isolated from barley(*Hordeum vulgare* L. cv. Gerbel)leaves. Plant Physiol. 106:187-193.
 15. Yun, H.K., T.C. Seo, D.K. Park, K.Y. Choi, and Y.A. Jang. 2004. Effect of selenium and concentration on growth and quality of endive and pak-choi in deep flow culture. Kor. J. Hort. Sci & Tech. 22:151-155.
 16. Yun, H.K., T.C. Seo, C.H. Zhang, H.Z. Huang. 2005. Effect of selenium application on growth and quality of Chinese cabbage(*Brassica campestris* L.) grown Hydroponically in perlite media. Kor. J. Hort. Sci & Tech. 23:363-366.