

## Sodium selenate의 토양관주 처리방법에 따른 서양채소의 생육과 무기성분, ascorbic acid, nitrate 및 셀레늄 함량에 미치는 영향

이성진<sup>1</sup> · 강호민<sup>2</sup> · 김일섭<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>횡성군 농업기술센터, <sup>2</sup>강원대학교 원예학과

### Effect of Sodium Selenate Supplied Condition by Fertigation on the Growth and Content of Minerals, Ascorbic acid, Nitrate, and Selenium of Some Western Vegetables

Sung-Jin Lee<sup>1</sup>, Ho-Min Kang<sup>2</sup>, and Il Seop Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>HoengSeong-Gun Agricultural Technology and Extension Center, HoengSeoug, 225-874, Korea

<sup>2</sup>Department of Horticulture, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

**Abstracts.** This study was conducted to investigate the proper supplied conditions of sodium selenate supplied by fertigation to improve functionality of major western vegetables; beet, broccoli, cabbage lettuce, celery, and parsley in highland. In this work, the growth and content of minerals, ascorbic acid, nitrate, and selenium were measured in western vegetables that treated sodium selenate by different concentration, treatment time and treatment frequency. While there was not different in early growth of some western vegetables among different concentration of sodium selenate; 1, 2, 5 and 20 mg·L<sup>-1</sup>, at 20 days after treatment, the fresh weight was reduced 33% at cabbage lettuce, 47% at broccoli, and 74% at parsley compared control in 5 mg·L<sup>-1</sup> treatment. But the fresh weight of beet and celery reduced just 20% and 15% compared control in even 20 mg·L<sup>-1</sup>. The ascorbic acid of cabbage lettuce, celery, and beet increased as sodium selenate concentration increased, so that of cabbage lettuce showed 1.2 times compared control in 20 mg·L<sup>-1</sup> treatment and also that of beet and celery increased 10%. But the ascorbic acid of broccoli and parsley was not influenced by treated sodium selenate. As the concentration of sodium selenate increased, the nitrate contents decreased regardless of crops compared control. This reduced effect of nitrate was highest in cabbage lettuce, followed by beet and celery. The mineral contents, such as K, Ca, and Mg, decreased in all crops, as the concentration of sodium selenate increased. The potassium content showed an obvious negative relationship with the concentrations of sodium selenate regardless of crops, but the magnesium and calcium content did not show significant difference between treatments. The selenium content increased in proportion as increasing sodium selenate concentrations. The broccoli, celery and parsley treated 20 mg·L<sup>-1</sup> sodium selenate showed 24.4 times, 76.4 times, and 560 times higher than control, respectively. When the sodium selenate supplied to some western vegetables in different growth stage, the selenium content increased 1.3 times and 1.4 times higher in early stage than in late stage in cabbage lettuce and broccoli, respectively. However in parsley and celery, the selenium content showed the highest in middle stage. The selenium content increased in proportion as increasing the sodium selenate treatment frequency, but in above 10 times treatment, the increased effect alleviated in parsley, celery, and cabbage lettuce. On the contrary, the selenium content of broccoli increased constantly as treatment frequency increased.

**Key words :** beet, broccoli, cabbage lettuce, celery, parsley, selenium

\*Corresponding author

## 서 언

20년 전까지만 해도 생물에 유해원소로만 생각되어

지던 셀레늄(Se)이 인간과 동물에 매우 낮은 농도로 요구되는 필수미량원소로 glutathione peroxidase의 활성발현에 관여하고 각종 자유 radical로부터 세포를 보

호하는 항산화제 역할을 하는 것으로 밝혀지고(Burk와 Sevander, 1999; Cai 등, 1995; Thompson과 Scott, 1969), 셀레늄의 임상병리학적 효능에 대한 많은 연구가 진행되면서 셀레늄이 기능성 식품 첨가물로 새롭게 부각되고 있다. 셀레늄의 생체내 생리작용은 인체 조직 내의 산화방지작용으로 glutathione peroxidase(GSH-Px)의 활성중심에 selenocystine의 형태로 존재한다. GSH-Px는 혈액중에는 적혈구, 혈소판 및 혈장중에, 장기에는 간장, 신장, 심장, 폐등에 비교적 많이 존재하는 것으로 알려져 있으며, 체내에서 생성된 과산화수소를 수소로 환원시키는 것과 생체막을 구성하는 불포화 지방산의 과산화에서 생기는 과산화지질을 환원하여 알코올로 변환시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 최근에는 갑상선호르몬의 대사가 셀레늄에 의해 영향을 받고 있음이 밝혀졌다. 이처럼 필수 미량요소로 인식된 셀레늄 섭취방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 자연스럽게 식품으로부터 섭취하는 것이다. 하지만 셀레늄 함유량이 낮은 식품들이 생산되는 국가에서는 인위적으로 식품내 셀레늄 함유량을 높이는 방법을 사용하기도 한다. 두 번째로는 셀레늄 보조제를 복용하는 방법이 있다. 셀레늄 연구가 진척된 나라에서는 비타민제를 먹듯 셀레늄 보조제를 먹어 부족한 셀레늄을 보완하고 있다. 셀레늄은 대개 동물의 장기, 어패류, 근육이 많은 육류, 곡물, 낙농식품(우유, 버터, 치즈류), 채소 및 과일 순으로 많이 함유되어 있으나, 대부분의 작물에서는 낮은 농도의 Se에 의해서도 생육이 억제되며, 식물체내의 Se함량도 매우 적은 것으로 알려져 있다.

곡류속에 함유된 셀레늄은 모두 유기태 셀레늄으로 50%는 selenomethionine의 형태로 되어 있으며(Olson 등, 1942), 특이하게 고농도의 셀레늄을 흡수하는 asparagus와 같은 식물에 존재하는 셀레늄의 형태는 비 단백질성 아미노산인 selenocystine, selenocystathione, se-methylselenocystine 등으로 곡류속의 셀레늄 형태와는 다른 것으로 알려져 있다(Shibata 등 1982; Trelease 등 1949).

셀레늄의 시비를 통해 원예작물의 셀레늄 함량을 증진시키려는 시도는 중국 열채류(Park 등, 1996), 청경채와 엔디브(Yun 등, 2004), 마늘(Yun 등, 2006) 및 양파(Bark와 Goldman, 1997) 등의 작물에서 보고된 바 있으나, 국내 고랭지 지역에서 주로 재배되는 주요

서양채소를 중심으로 셀레늄처리에 따른 생육과 품질에 미치는 영향을 체계적으로 검토한 연구는 없었다.

따라서 본 연구는 고랭지에서 재배되는 주요 양채류인 결구상추, 파슬리, 브로콜리, 비트 및 셀러리의 기능성 향상을 위한 적정 셀레늄처리 방법을 구명하고자, sodium selenate처리 농도, 처리시기 및 처리 횟수에 따른 작물생육과 작물체내 무기성분, ascorbic acid, nitrate 및 셀레늄 함량에 미치는 영향을 조사하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 셀레늄 처리농도에 따른 양채류의 생육과 Selenium, nitrate 및 무기성분 함량

결구상추('Urake', Micado종묘, 일본), 파슬리('Paramountin', Takii종묘, 일본), 셀러리('Picnic', Takii Seed Co., Japan.), 브로콜리('Nicegreen', Coregon종묘, 일본), 및 비트('Detroit Darkled', Bikima Seed Co., USA)를 공시 작물로 하여 2004년 4월 6일 200공의 plug tray에 파종하여 육묘한 후 5월 6일 직경 30cm 포트에 정식하였다. 시비는 상추전용액(원예연)을 조성하여 정식후 1주일간은 1/2 수준으로 그 이후는 1배 액으로 관주하였다. 셀레늄 공급원은 sodium selenate ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ , Fluka Co., Japan)를 사용하였으며 처리 농도 1, 2, 5 및  $20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  처리구와 대조구의 총 다섯 처리구를 설계하여 정식 2주 후 처리하였으며, 처리 60일 후 수확하였다. 생육조사는 초장, 엽수, 경장, 제1결간장, 간장, 구고, 구폭, 화뢰중, 생체중을 측정하였다. 식물체 내의 Se 분석은 수확된 시료를  $70^\circ\text{C}$ 에서 완전히 건조한 후 미세하게(0.2mm) 분말화시킨 식물체 시료 5g을 질산:아염소산 (3:1) 10mL를 넣어 microwave(CEM MERS, USA)로 분해한 분해액을 3차 증류수로 100mL를 적정하여 ICP-MS (Shimadzu 8500, Japan)로 분석하였다. 무기성분인 K, Ca, Mg은 원자흡광광도계(Perkin elmer 3300, USA)를 이용하여 정량하였으며, 식물체 내 질산염 함량은 Selecta PM - Nitro(Foss electric 1030)로 분석하였다. Ascorbic acid는 시료 20g을 6%  $\text{HPO}_3$  200mL와 함께 10,000 rpm으로 10분간 마쇄한 후 30,000rpm으로 10분간 원심분리하여 상정액을  $0.45\mu\text{m}$  membrane filter로 여과하여  $10\mu\text{L}$ 씩 3회 반복주입하여 HPLC로 분석 하였다

**Table 1.** The effect of selenium various concentration on the growth of cabbage lettuce after 60 days.

Selenium concentration (mg·L <sup>-1</sup> )	Number of leavers			Head height (cm)	Head width (cm)	Fresh weight (g/plant)
	Total	Outer leaf	Inner leaf			
0	31 b <sup>2</sup>	5 c	26 a	18.5 b	16.6 a	605 c
1	37 a	10 bc	27 a	19.2 b	16.2 a	713 b
2	39 a	11 b	28 a	22.3 a	17.5 a	745 a
5	31 b	20 a	11 b	18.8 b	14.3 b	417 d
20	26 b	19 a	7 c	14.5 c	12.5 c	365 e

<sup>2</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test at *P*=0.05.

(Park 등, 1997). HPLC(Waters, USA)의 조건은 UV-detector로 하였고, 컬럼은 symmetry C<sub>18</sub> 5 $\mu$ m(3.9×150cm)으로 이동상용매는 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>:Methanol(9:1)을 0.5mL/min로 흘려 254nm에서 측정하였다.

## 2. 처리시기 및 횟수에 따른 양채류의 Selenium 흡수특성

실험 1과 동일한 작물을 같은 방법으로 동일시기에 파종, 정식하고 셀레늄 농도를 2mg·L<sup>-1</sup>으로 조절한 후 정식 20일까지를 생육초기, 40일까지를 생육중기, 60일까지를 생육후기로 구분하였다. 정식 10일 후부터 2일 간격으로 5회, 10회, 15회, 20회 처리한 후 정식 60일 후 수확하여 식물체 내의 Se 함량을 실험 1과 같은 방법으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 처리농도에 따른 양채류의 생육과 Selenium, nitrate 및 무기성분 함량

셀레늄의 처리농도별 작물의 초기생육은 모두 큰 차이가 없었으나, 처리 60일에는 5mg·L<sup>-1</sup> 이상의 고농도 처리에서 생육이 억제되었다. 결구상추의 경우 2mg·L<sup>-1</sup>의 농도까지는 무처리구에 비해 엽수 및 구고(球高)가 증가되고 생체중이 증가하였으나, 그 이상의 농도에서는 30% 이상 생체중이 감소하였다(Table 1). 생체중의 감소는 구의 크기뿐만 아니라 고농도에 따른 새로운 잎의 분화가 억제되어 속잎의 수가 대조구의 1/2이하인 것에 기인하였다. 파슬리는 2mg·L<sup>-1</sup>의 농도까지는 생육에 큰 차이가 없었으나, 5mg·L<sup>-1</sup>에서는 생육이 급격히 억제되어 대조구 생체중의 1/4, 20mg·L<sup>-1</sup>에서는 1/7 수준에 머물렀다(Table 2).브로콜리 역시 같은 경향으로 5mg·L<sup>-1</sup> 이상의 농도에서는

무처리구에 비해 45%이상 생체중이 감소하였다(Table 3). 그러나 비트와 셀러리는 고농도에서도 생육억제 현상이 크지 않아, 비트의 경우 20mg·L<sup>-1</sup>농도에서만 20% 정도 생체중이 작았고 다른 처리구에서는 유의차가 없었으며, 셀러리의 경우도 고농도 처리에 따른 생체중 감소는 10~15%정도에 그쳤다(Table 4, Fig. 1).

비트와 셀러리의 생체중은 Se 농도가 증가하더라도 영향이 크지 않으나, 결구상추, 파슬리, 브로콜리는 크게 영향을 받아 작물별로 Se에 대한 농도 장해가 상이하다는 것을 알 수 있었는데, 양액내 Se 농도가 중국채소의 생육을 억제한다는 Park 등(1996)의 보고와

**Table 2.** The effect of selenium various concentration on the growth of parsley after 60 days.

Selenium concentration (mg·L <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Number of stem	Fresh weight (g/plant)
0	18 a <sup>2</sup>	16 a	61 b
1	22 a	17 a	69 a
2	20 a	16 a	58 b
5	15 b	11 b	16 c
20	9 c	5 c	8 d

<sup>2</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test at *P*=0.05.

**Table 3.** The effect of selenium various concentration on the growth of broccoli after 60 days.

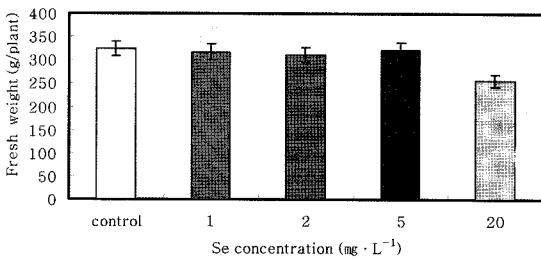
Selenium concentration (mg·L <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Number of leaves	Head weight (g/plant)
0	31 b <sup>2</sup>	22 a	180 b
1	29 b	23 a	192 a
2	33 a	23 a	193 a
5	29 b	22 a	95 c
20	19 c	19 b	52 d

<sup>2</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test at *P*=0.05.

**Table 4.** The effect of selenium various concentration on the growth of celery after 60 days.

Selenium concentration (mg·L <sup>-1</sup> )	Internode length (cm)	Number of leaves	Stem length (cm)	Fresh weight (g/plant)
0	31 b <sup>2</sup>	25 a	52 c	742 a
1	32 b	26 a	63 b	736 a
2	35 a	27 a	70 a	745 a
5	33 b	23 ab	46 d	662 b
20	26 c	20 b	32 e	628 b

<sup>2</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test at P=0.05.



**Fig. 1.** The effect of selenium various concentration on the fresh weight of beet after 60 days. Vertical bars represent ±SE of means (n=9).

일치하였다. 이는 처리농도가 높을수록 Se이 황과 경쟁적으로 흡수되어 정상적인 cystein 대신 selenocystein 이 합성되어 단백질의 disulfide 결합이 방해되고 단백질 구조의 변화로 인해 Se 함유 단백질이 정상적인 기능을 못하기 때문이다(Lauchli, 1993).

셀레늄 처리 농도에 따른 작물체내 ascorbic acid, 질산염 및 무기성분의 함량에 미치는 영향을 Table 5에 나타냈다. 비타민 C (ascorbic acid) 함량은 결구상추의 경우 셀레늄처리 농도가 높아질수록 증가하는 경향을 보여 20mg·L<sup>-1</sup>처리구에서는 8.2mg·100g<sup>-1</sup>FW로 대조구 7mg·100g<sup>-1</sup>FW보다 약 1.2배 높았고, 셀러리와 비트도 같은 농도에서 약 10% 정도 함량 증가를 보였으나, 브로콜리와 파슬리는 셀레늄처리에 따른 통계적 유의치는 없었다. 수경재배시 배양액에 첨가한 셀레늄의 농도를 증가시킬수록 ascorbic acid 함량이 다소 증가한다는 보고는 허브식물인 바실(Kim과 Park, 2001), 엔디브와 청경채(Yun 등, 2004) 및 몇몇 엽채류(Lee, 1999)에서 이미 보고된바 있다. 셀레늄 처리에 따른 비타민 C 함량이 증가하는 원인을 Kim과 Park(2001)은 식물이 셀레늄을 다른 중금속에

대한 반응처럼 외부 스트레스로 인식하여 이에 대응하는 항산화기작의 결과로 추론하고 있다. 식물세포가 다양한 환경 스트레스로 인하여 손상될 때 ascorbic acid는 이에 대항하여 증가하며(Rautenkranz 등, 1994), 셀레늄이 ascorbic acid와 함께 엽록체에 존재하는 대표적인 항산화물질(Foyer & Halliwell, 1976)인 점을 고려할 때 이러한 추론은 타당하다고 생각된다. 식물체내 nitrate함량은 무처리구에 비해 모든 작물에서 감소하였으며, 처리농도가 증가할수록 감소의 폭은 큰 경향을 나타내었다. 작물별 셀레늄 농도 증가에 따른 질산염의 함량 저하는 결구상추에서 가장 현저하였으며, 그 다음이 비트, 셀러리 순이었다. 이러한 결과는 중국채소인 청경채의 수경재배시 배양액에 0.5~2.0mg·L<sup>-1</sup>농도로 Se를 첨가하여 재배하였을 경우, 청경채내 nitrate함량은 대조구보다 25% 정도 감소하였으며, 처리농도간의 차이는 없었다(Park 등, 1996)는 보고와 Yun 등(2004)이 엔디브와 청경채의 담액수경시 셀레늄의 종류와 관계없이 처리농도가 증가할수록 질산염 함량이 감소하였다는 보고와 같은 결과였다. 이처럼 셀레늄 처리에 따른 작물체내 nitrate 함량의 감소효과는 감자의 괴경(Munsh & Mondy, 1992), 보리의 유묘(Aslam, 1990)에서도 확인된바 있어, 작물별 적정 처리농도와 처리방법 등의 체계적인 실험을 통해 작물체내의 셀레늄함량 증가와 더불어 질산염함량이 적은 고기능성 채소생산이 충분히 가능하리라 판단된다. 아울러 고농도의 Se이 생육억제 현상을 보이는 것은 식물생장 조절제로서의 또 다른 연구 가치가 있다고 생각한다.

셀레늄 처리에 따른 무기성분 K, Ca, Mg의 함량은 공시작물 모두 처리농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 성분별로는 K성분이 모든 작물에서 처리농도 증가에 따라 극명하게 부(負)의 상관관계를 나타냈으나, Mg은 결구상추와 파슬리에서는 본 실험에서 최고 농도인 20mg·L<sup>-1</sup>를 제외하고는 처리농도에 따른 함량차이에 일정한 경향을 보이지 않았다. Ca도 셀레늄 처리구에서 Ca함량이 감소하는 경향을 보였으나, 5mg·L<sup>-1</sup>와 20mg·L<sup>-1</sup>농도간의 유의치는 없었다. 이처럼 Se처리가 식물체내의 무기성분의 함량을 저하시킨다는 사실은 다수의 연구자에 의해 보고된바 있으며, Park 등(1996)은 그 원인을 셀레늄이 무기성분의 흡수기작에 직접 영향을 주었다기보다는 Se 과잉해로 인한 뿌리의 갈변과 그에 따른 뿌리의 활력감소로 흡수능이

**Table 5.** Effects of various selenium concentration ascorbic acid and mineral concentration in nutrient cultured occidental vegetables after 60 days.

Selenium concentration (mg·L <sup>-1</sup> )	Vitamin C content (mg·100g <sup>-1</sup> FW)	Nitrate content (mg·L <sup>-1</sup> FW)	Mineral contents (% D.W.)		
			K	Ca	Mg
Cabbage lettuce					
0	7.0 c <sup>z</sup>	6,850 a	9.85 a	0.98 a	0.28 b
1	7.3 c	5,800 b	8.71 b	0.73 b	0.22 c
2	7.8 b	2,612 c	5.54 c	0.56 c	0.29 ab
5	7.7 b	1,820 d	5.42 c	0.34 d	0.32 a
20	8.2 a	1,610 d	4.98 c	0.47 c	0.18 c
Parsley					
0	139.0 a	1,400 b	9.61 a	1.08 a	0.44 a
1	140.0 a	1,892 a	9.78 a	0.88 b	0.16 d
2	141.0 a	1,250 c	5.58 b	0.85 b	0.33 b
5	141.0 a	1,130 d	5.32 b	0.52 c	0.44 a
20	142.0 a	1,120 d	3.17 c	0.51 c	0.25 c
Celery					
0	10.1 b	2,012 a	8.09 a	1.20 a	0.41 a
1	10.2 b	1,623 b	8.47 a	1.15 a	0.31 b
2	10.4 b	1,415 b	6.41 b	1.87 a	0.37 ab
5	11.2 a	1,215 bc	5.66 c	0.75 b	0.24 c
20	11.2 a	1,147 c	3.39 d	0.57 b	0.26 c
Broccoli					
0	98.2 a	3,160 a	9.71 a	1.85 a	0.52 a
1	98.4 a	3,125 a	9.47 a	1.21 ab	0.46 b
2	99.4 a	3,026 ab	7.72 b	1.99 a	0.33 c
5	99.6 a	2,875 b	6.45 c	0.87 b	0.25 d
20	99.5 a	2,546 c	3.27 d	0.96 b	0.26 d
Beet					
0	10.1 b	2,597 a	7.36 b	1.38 a	0.53 a
1	10.2 b	2,231 b	8.02 a	1.26 a	0.49 b
2	10.4 b	2,102 b	5.56 c	1.15 b	0.42 b
5	10.9 b	1,857 c	5.04 c	0.89 c	0.26 c
20	11.2 a	1,214 d	3.42 d	0.74 c	0.24 c

<sup>z</sup>Mean separation within column by Duncan's multiple range test at  $P=0.05$ .

떨어진 것으로 추정하였다.

이러한 추정은 본 실험에서도 고농도 셀레늄처리에 의해 생육이 억제된 처리구에서 무기성분의 함량이 감소한 결과를 볼 때 타당한 추론이라 생각되나, Yun 등(2004)이 청경채와 엔디브에서 셀레늄의 처리농도가 증가하여도 무기성분의 함량은 차이가 없었다는 보고와, 본 실험에서 생육이 억제되지 않거나 오히려 생체중이 증가한 일부 저농도 처리구에서도 무기성분의 함량이 감소한 결과를 볼 때 셀레늄과 무기성분의 흡수

와의 관계는 추후 보다 체계적인 검토가 필요할 것으로 판단되었다. Sodium selenate 처리에 따른 식물체 내 셀레늄함량은 처리 농도가 증가함에 따라 모든 공시작물에서 비례적으로 증가하였으며, 특히 고농도인 20mg·L<sup>-1</sup> 처리구에서 브로콜리는 437mg·L<sup>-1</sup>로 무처리구의 17.9mg·L<sup>-1</sup>보다 24.4배, 셀러리는 459.7 mg·L<sup>-1</sup>로 76.4배 높은 함량을 나타냈으며, 파슬리는 무처리구보다 무려 560배 높은 함량을 보였으며, 결구상추, 비트도 같은 경향을 보였다(Fig. 2). 이처럼 Se

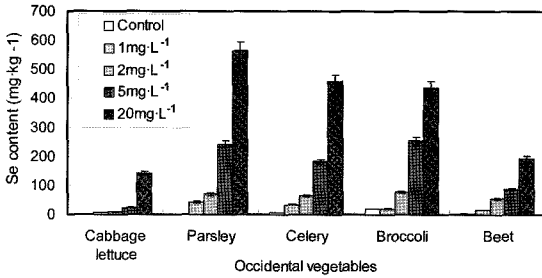


Fig. 2. Accumulated selenium contents in occidental vegetable by the nutrient solution culture treated with various concentration after 60 days. Vertical bars represent  $\pm$ SE of means (n=9).

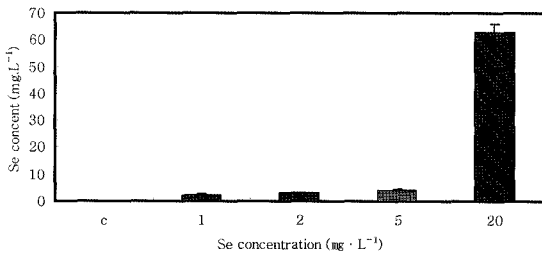


Fig. 3. Residued selenium contents in soil by the nutrient solution treated with various selenium concentration after broccoli harvesting. Vertical bars represent  $\pm$ SE of means (n=9).

함량이 셀레늄의 처리농도가 높아질수록 증가한다는 사실은 중국 엽채류(Park 등, 1996), 청경채와 엔디브(Yun 등, 2004), 마늘(Yun 등, 2006) 및 양파(Bark와 Goldman, 1997)등의 작물에서도 이미 보고된바 있다.

농도별로 60일간 셀레늄을 처리한 후 토양내 잔류한 Se농도를 조사한 결과, 처리농도가 높을수록 토양에 잔류한 셀레늄농도도 증가하여 무처리구의 0.01mg·L⁻¹에 비해, 1, 2, 5 및 20mg·L⁻¹처리구에서 각각 2.45, 3.11, 4.14 및 62.75mg·L⁻¹이 잔류하였다(Fig. 3).

## 2. 처리 시기 및 횟수에 따른 양채류의 생육 및 Selenium 흡수능

작물의 생육 단계에 따른 셀레늄처리가 작물체내의 셀레늄 함량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 sodium selenate 2mg·L⁻¹의 농도를 생육 초기, 중기, 후기로 구분하여 10회씩 처리한 결과 결구상추는 생육초기 처리구가 8.3mg·L⁻¹로 생육후기 처리구가 6.5mg·L⁻¹보다 1.3배 높았으며, 브로콜리도 생육초기 처리구가 76.2 mg·L⁻¹로 생육후기 51.2mg·L⁻¹ 보다 1.4배 높았다

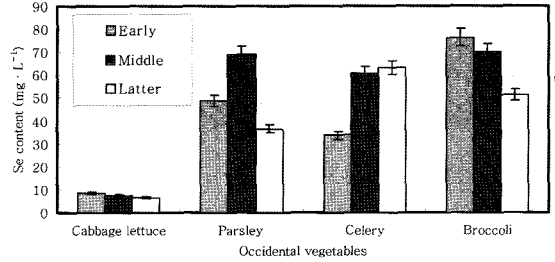


Fig. 4. Accumulated selenium content in occidental vegetable by the nutrient solution with various treatment period. Vertical bars represent  $\pm$ SE of means (n=9) Early : after planting 20 days, Middle : after planting 40 days, Latter : after planting 60 days.

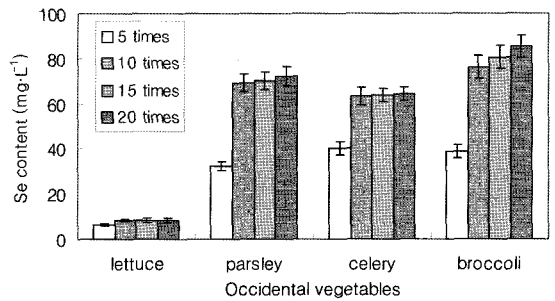


Fig. 5. Accumulated selenium content in occidental vegetable by nutrient solution culture treated with various treatment number. Vertical bars represent  $\pm$ SE of means (n=9).

(Fig. 4). 파슬리는 생육중기에 처리한 것이 69.1 mg·L⁻¹로 가장 높은 함량을 보였으며 셀러리는 중기 이후 처리한 것이 63.2mg·L⁻¹로 생육초기 처리구의 33.6mg·L⁻¹보다 1.9배 높았다. 브로콜리와 결구상추는 생육초기에. 파슬리나 셀러리는 생육중기에 처리하는 것이 효과적이었다.

처리 횟수별 Se 함량 실험에서는 Se을 2mg·L⁻¹으로 조절하여 정식 10일부터 5회, 10회, 15회, 20회 처리한 결과(Fig 5), 파슬리는 5회 처리구에서 32.5 mg·L⁻¹, 10회 처리구에서 69.1mg·L⁻¹, 15회 처리구에서 70.2mg·L⁻¹, 20회 처리구에서 72.3mg·L⁻¹로 나타나, 처리 횟수에 비례하여 증가하다가 10회 이상이 되면 셀레늄의 축적량이 둔감해지는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 셀러리, 결구상추, 그리고 브로콜에서도 나타났다. 이상과 같이 셀레늄은 처리횟수가 많아질수록 작물의 생육이 저조하거나 고사하는 경향이 있어 작물마다 생육에 영향을 받지 않는 범위 내에서 처리 횟수를 조절하는 것이 바람직하다고 생각된다.

## 적 요

고랭지에서 재배되는 주요 양채류의 기능성 향상을 위한 적정 셀레늄처리 방법을 구명하고자, sodium selenate처리 농도, 처리시기 및 처리 횟수에 따른 작물생육과 작물체내 무기성분, ascorbic acid, nitrate 및 셀레늄 함량에 미치는 영향을 조사하였다. Sodium selenate 1, 2, 5 및 20mg·L<sup>-1</sup>처리구에서 공시작물 모두 초기생육은 큰 차이가 없었으나, 처리 60일 후부터 5mg·L<sup>-1</sup> 이상의 고농도에서는 생육이 크게 억제되어, 무처리구에 비해 5mg·L<sup>-1</sup>처리구에서도 결구상추는 33%, 브로콜리는 47%, 파슬리는 74% 생체중이 감소한대 비해 비트와 셀러리는 고농도에서도 생육억제 현상이 크지 않아 20mg·L<sup>-1</sup>농도에서 생체중이 20%와 15% 감소하였다. sodium selenate 처리에 따른 작물체내 ascorbic acid 함량은 결구상추의 경우 셀레늄처리 농도가 높아질수록 증가하는 경향을 보여 20 mg·L<sup>-1</sup>처리구는 무처리구에 비해 약 1.2배 높았고, 셀러리와 비트도 같은 농도에서 약 10% 정도 함량 증가를 보였으나, 브로콜리와 파슬리는 셀레늄처리에 따른 통계적 유의차는 없었다. 식물체내 nitrate함량은 무처리구에 비해 모든 작물에서 감소하였으며, 처리농도가 증가할수록 감소의 폭은 큰 경향을 나타내었다. 작물별 질산염의 함량 저하는 결구상추에서 가장 현저하였으며, 그 다음이 비트, 셀러리 순이었다. 무기성분 K, Ca, Mg의 함량은 공시작물 모두 처리농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 성분별로는 K성분이 모든 작물에서 고도의 부(負)의 상관관계를 나타냈으나, Mg와 Ca함량이 감소는 농도간의 차이에 유의성이 없었다. Sodium selenate 처리에 따른 식물체내 셀레늄함량은 처리 농도가 증가함에 따라 모든 공시작물에서 비례적으로 증가하여, 고농도인 20mg·L<sup>-1</sup> 처리구에서 브로콜리는 무처리구 보다 24.4배, 셀러리는 76.4배, 파슬리는 560배의 높은 함량을 보였으며, 결구상추, 비트도 같은 경향을 보였다. 작물의 생육단계별 처리에서는 생육초기에 후기보다 결구상추는 1.3배, 브로콜리는 1.4 배 높았으나, 파슬리와 셀러리는 생육중기에 처리한 것이 가장 높은 함량을 보였다. 처리 횟수별 Se 함량은 파슬리, 셀러리 및 결구상추는 처리 횟수에 비례하여 증가하다가 10회 이상이 되면 셀레늄의 축적량이 둔감해지는 경향을 나타냈으나, 브로콜리는 처리횟수가 많

으면 많아질수록 셀레늄의 축적량도 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈다.

**주제어** : 결구상추, 브로콜리, 비트, 셀러리, 셀레늄

## 사 사

이 논문은 농촌진흥청 지역 농과계 대학 기반조성 시설·장비 지원사업의 도움으로 수행되었음.

## 인 용 문 헌

1. Aslam, M., K.B. Harbit, and R.C. Huffaker. 1990. Comparative effects of selenite and selenate on nitrate assimilation in barley seedlings. *Plant Cell and Environment* 13:773-782.
2. Bark, P. and I.L. Goldman 1997. Antagonistic relationship between selenite and sulfate uptake in onion: Implications for production of organosulfur and organoselenium compounds in plants. *J. Agri. Food Chem.* 45:1290-1294.
3. Burk, R.F. and O.A. Levander. 1999. Selenium, p.265-276. In: *Modern Nutrition in Health and Disease Ninth Edition*, eds. M. Shils, J. Olson, M. Shike, and A. C. Ross. Baltimore: Williams & Wilkins
4. Cai, X.J., E. Block, P.C. Uden, X. Zhang, B.D. Quimby, and J.J. Sullivan. 1995. Allium chemistry: Identification of seleno-amino acids in ordinary and selenium-enriched garlic, onion, and broccoli using gas chromatography with atomic emission detection. *J. Agr. Food Chem.* 43:1754-1757.
5. Foyer, C.H. and B. Halliwell. 1976. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: A proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta* 133:21-25.
6. Kim, M.S. and K.W. Park. 2001. Effect of selenium on storability of basil in hydroponics. *Kor. J. Hort. Sci. & Technol.* 19(1): 87-91(in Korean).
7. Lauchli, A. 1993. Selenium in plants: Uptake, functions, and environmental toxicity. *Bot. Acta* 106:455-468.
8. Lee, G.P. 1999. The highly functional leafy vegetables and their physiological mechanism by selenium and germanium in hydroponics. Ph. D Diss., Korea University.
9. Munshi, C.B. and N.I. Mondy. 1992. Glycoalkaloid and nitrate content of potatoes as affected by method of selenium application. *Bio. Trace Elem. Res.* 33:121-127.
10. Olson, O.E., E.I. Whitehead, and A.L. Moxon. 1942,

- Occurrence of soluble selenium in soils its availability to plants. *Soil Science* 54:47-53.
11. Park, K.W., J.H. Lee, and B. Geyer. 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 (in Korean).
  12. Park, K.W., Y.J. Lee, and J.C. Jeung. 1997. Effects of selenate ionconcentration in nutrient solution on the growth and essential oil content of wormwood (*Artemisia absinthium* L.). *J. Bio. Fac. Env.* 6:264-269 (in Korean).
  13. 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 varley(*Hordeum vulgare* L. cv. Gerbel) leaves. *Plant Physiol.* 106:187-193.
  14. Shibata, Y., M.C. Masatoshi, and R.J. Young 1982. Nutrition of the chichen. M.L. Scott and Associates, Itach, New York., USA.
  15. Thompson, J.N. and M.L. Scott. 1969. Role of selenium in the chick *J. Nutr.* 97:335-342.
  16. Trelease, S.F. and O.A. Beath. 1949. Selenium: Its geological occurrence and its biological effects in relation to botany, chemistry, agriculture, nutrition and medicine. The Champlain Printers, Burlington. VT., USA.
  17. 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. Technol.* 22(2):151-155 (in Korean).
  18. Yun, H.K., C.H. Zhang, T.C. Seo, and J.W. Lee. 2006. Effect of selenium application concentration and periods on growth in garlic. *J. Bio-Environ. control.* 15(4):346-351 (in Korean).