

고랭지 지역의 셀레늄 분포 조사 및 양채류 관비재배시 Sodium Selenate 처리가 생육과 셀레늄 함량 미치는 영향

이성진¹ · 강호민² · 김일섭^{2*}

¹횡성군 농업기술센터, ²강원대학교 원예학과

Investigation of Selenium Distribution in Highland Province of Gangwon and Effect of Sodium Selenate Treatment on the Selenium Content and Growth of Some Western Vegetables Grown by Fertigation

Sung-Jin Lee¹, Ho-Min Kang², and Il Seop Kim^{2*}

¹HoengSeong-Gun Agricultural Technology and Extension Center, HoengSeoug, 225-874, Korea

²Department of Horticulture, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate distribution of selenium in Gangwon highland Province and to confirm the effect of sodium selenate added nutrient solution on the selenium content of some western vegetables; beet, broccoli, cabbage lettuce, celery, and parsley. The contents of selenium were distributed from 0.024 to 0.038 mg·kg⁻¹ in soil of Gangwon highland province. As the selenium content in soil increased, the selenium content in broccoli was increased in highland of Gangwon province. The selenium content of broccoli showed 10.5~17.9 mg·kg⁻¹DW, followed by celery (6.02 mg·kg⁻¹DW). Beet, cabbage lettuce, and parsley contained just about 1 mg·kg⁻¹DW in highland of Gangwon province. Some western vegetables grown by fertigation supplied 2 mg·L⁻¹ sodium selenate were shown better growth and higher selenium content than those of 0 mg·L⁻¹ sodium selenate supplied treatment(control). The selenium contents of western vegetables supplied 2 mg·L⁻¹ sodium selenate in fertigation culture for 60 days were 76.2 mg·L⁻¹ in broccoli, 69.1 mg·L⁻¹ in parsley, 63.2 mg·L⁻¹ in celery, 54.2 mg·L⁻¹ in beet, 8.3 mg·L⁻¹ in cabbage lettuce. Those selenium content of broccoli, celery, and parsley treated 2 mg·L⁻¹ sodium selenate were followed the order 4.2 times, 10.5 times and 62.5 times higher in compared to control.

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

*Corresponding author

서 언

최근, 사회발전과 더불어 식품에 대한 다양한 정보와 각종 생활습관 병을 식생활을 통해 해결하려는 기대로 기능성 식품에 대한 관심이 높아지고 있다. 그중 1817년 처음 발견된 이래 동물에 필수적인 미량요소로서 glutathione peroxidase의 활성발현에 관여하며, 각종 자유 radical로부터 세포를 보호하는 항산화제 역할을 하는 것으로 밝혀진(Thompson과 Scott, 1969; Cai 등, 1995) 셀레늄이 식품 첨가물로 새롭게 부각되고 있다. Jansson (1980)의 보고에 의하면 셀레늄이

결핍된 토양에서 재배된 작물만을 지속적으로 섭취한 사람들은 심장병 또는 암의 발병율이 높았다고 한다. 성인의 셀레늄 일일권장 섭취량은 연구자나 국가에 따라 다소 차이가 있어 Gunnar 등(1985)은 100~200 µg을, Levander(1987)는 미국의 성인 남성의 경우 하루 70µg 정도를 요구한다고 보고하고 있다. 이에 비하면 한국인의 일일섭취량은 40µg정도로 다소 부족한 실정이다(Comb, 2001).

셀레늄 섭취 부족으로 인한 풍토병이 발생했던 중국의 Keshan 지방에서 지질전염병학(geoepidemiology) 차원에서 조사한 결과 하루에 30µg 이상을 섭취해야

만 Se 섭취 부족으로 인한 질병을 예방할 수 있다고 하였다(Keshan Disease Research Group, 1979). Se 부족의 대표적인 병은 Keshan병으로 토양내 요오드와 Se 농도가 낮아 식품과 사람의 혈장내 Se 농도가 저하되어 발생하는 병이다. Keshan병 다발지역에서의 Se 평균섭취량은 10 μ g 정도인 것으로 추정되며 임신한 여성과 취학전 아동에게서 주로 나타난다. 그 외에도 Kashin-Beck 병, 백색근육증 등이 있다.

핀란드를 비롯한 북유럽에서는 셀레늄 결핍상황을 극복하고자 1969년 이후로 가축의 먹이에 셀레늄을 투여하기 시작하였고 (Watkinson, 1983), 농작물의 셀레늄 함량을 증가시키기 위해서 셀레늄이 함유된 비료를 사용하기도 한다.

우리나라는 모암이 화강암 또는 화강편마암으로 구성되어 있기 때문에 토양에 셀레늄 함량이 매우 적은 것으로 알려지고 있으나, 전국의 토양에 대한 셀레늄의 분포조사는 거의 이루어지지 않은 상태이며, 강원도 고랭지에서 많이 재배되고 있는 서양채소류에 대한 셀레늄 함량에 대한 조사도 충분히 이루어지지 못한 실정이다.

원예작물내 셀레늄 함량 증진을 위해 국내외에서 많은 연구 있었는데, 청경채, 상추, 토마토 등의 수경재배에서 양액내 첨가 혹은 엽면살포 연구가 수행된바 있다(Seo 등, 2006; Lee 등, 2005). 그러나 양채류 재배농가에서 생산성 및 품질 향상을 위해 쉽게 접근할 수 있는 관비재배 방식을 이용한 연구는 없었다.

따라서, 본 연구는 강원도 고랭지 지역의 주요 소득원으로 재배되고 있는 양채류 중 결구상추, 파슬리, 셀러리, 브로콜리를 중심으로 재배토양과 작물체내의 셀레늄 함량을 조사하고 관비재배시 sodium selenate첨가가 작물생육과 셀레늄함량 증가에 미치는 영향을 조사하여 기능성 양채류 생산의 가능성을 타진하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

1. 강원도 고랭지 지역의 셀레늄 분포조사

강원도 고랭지 지역의 재배포장내 셀레늄 분포를 알아보기 위하여 평창군 2개 지역(도암면, 계촌면)과 횡성군 3개 지역(둔내면, 안흥면, 강림면)의 토양과 각각의 지역에서 재배되고 있는 5종의 양채류(결구상추, 파슬리, 셀러리, 브로콜리, 비트) 시료를 채취하여 셀레늄

함량을 조사하였다.

토양채취는 각 지역별로 3개 포장에서 토양 깊이 10~20cm 사이에서 각각 500g씩 채취한 후 골고루 혼합하여 분석에 사용하였고, 작물체 시료 채취는 브로콜리는 5개 지역 포장에서 랜덤으로 수집하여 각 지역별 시료를 혼합하여 분석에 사용하였고, 다른 4 작목은 횡성군 안흥면 플라스틱 필름 하우스내에서 재배된 작물을 분석시료로 사용하였다.

토양의 셀레늄분석은 채취한 토양 시료를 음지에서 건조시킨 후 2mm standard test sieve를 통하여 걸러진 시료 5g을 취하여 질산:아염소산 (3:1) 10mL를 넣어 Microwave(CEM MERS, USA)로 전처리한 분해액을 3차 증류수로 100mL를 적정하여 ICP-MS (Shimadzu 8500, Japan.)로 분석하였다. 식물체의 셀레늄 분석은 수확된 시료를 70°C의 송풍 건조기에서 완전히 건조한 후 미세하게(0.2mm) 분말화시켜 토양의 셀레늄 분석과 동일하게 분석하였다.

2. 농가 관비재배시 Selenium 처리에 따른 양채류의 생육 및 흡수능

결구상추 'Urake'(crisphead lettuce, Micado Seed Co., Japan.), 셀러리 'Picnic'(Takii Seed Co., Japan.), 브로콜리 'Nicegreen'(Coregon Seed Co., Japan.), 파슬리 'Paramountin'(Takii Seed Co., Japan.)를 공시하여 2005년 4월 6일 200공의 plug tray에 파종하여 5월 6일 안흥면 성산리 1-1W형 비닐하우스 100평에 정식하고 관비농법으로 재배하였다.

관비 처방액은 토양분석 후 양채류 배양액을 이용하였으며 정식후 3~4일간 1/2배양액으로 공급한 후 1배액으로 pH 6.0, EC 1.5mS \cdot cm⁻¹, 1L/3회/주 공급하였다. sodium selenate(Na₂SeO₄)의 처리농도는 2mg \cdot L⁻¹로 조절하여 브로콜리, 결구상추는 생육초기에 다른 작목은 생육중기에 2일 간격, 처리횟수는 10회로 조절하여 점적호스를 이용하여 공급하였다. 정식 90일(결구상추 60일) 후 수확하여 초장, 엽수, 주중, 경장, 제 1 절간장, 간장, 구고, 구폭, 회뢰중, 생체중을 조사하였다. 식물체내의 Se 함량은 실험 1과 같은 방법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 강원도 고랭지 지역의 셀레늄 분포조사

강원도 고랭지 5개 지역(도암, 계촌, 둔내, 안흥, 강림)의 토양의 Se 함량은 $0.024 \sim 0.038 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 의 분포를 보여 전반적으로 낮은 함량을 나타냈다. 지역별로는 강림지역이 제일 높았고, 도암지역이 가장 낮았다 (Table 1). 기존의 보고에 의하면 전 세계적으로 Se 함량은 유럽의 중부와 북부지역이 건물 기준으로 0.12 (독일)~ $0.3 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (노르웨이) 범위로서 낮게 나타났고, 호주는 $0.22 \sim 0.35 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 범위로 보고(Oster & Prellwitz, 1989)되어 강원도 5개 지역의 Se 함량은 매우 낮은 수준임을 알 수 있었다. 그러나 Cox(1995)는 Se이 토양에는 약 $0.01 \sim 1 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 의 함량을 보인다고 하여 강원도 고랭지 5개 지역의 함량은 기준발표의 범위내에 있었다. 이처럼 몇몇 고랭지지역 토양의 셀레늄함량이 세계적으로 낮은 지역으로 분류된 지역의 토양보다 약 1/10정도 낮은 함량을 보인 것은 북한에서 셀레늄 결핍으로 인한 Keshan병이 주민들에게 발병한 사실이 보고된 것(Petterson, 1987)과 자연계에서 셀레늄의 공급원으로 일차적인 역할을 담당하는 것은 화산의 폭발과 화성활동에 관련된 황화합물인데 우리나라 토양 모암이 화강암 또는 화강편마암으로써 셀레늄함량이 극히 적은 지역(Comb, 2001)이라 사실이 그 원인이 있는 것이 아닌가 생각된다. 다만 이런 사실을 보다 확실히 하기 위해서는 고랭지 지역을 포함한 전국 토양의 셀레늄 함량조사를 체계적으로 실시할 필요가 있을 것으로 생각된다. 각 토양 조사지역에서 재배된 브로콜리의 셀레늄 함량은 적게는 $10.5 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW}$ 에서 많게는 $17.9 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW}$ 로 나타났으며, 토양내 셀레늄 함량이 높을수록 재배 작물체내의 함량도 높아지는 경향을 보였다. 다만 안흥지역에서 재배된 브로콜리의 셀레늄함량이 $17.9 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW}$ 으로 토양의 셀레늄 함량이 제일 높았던 강림지역에서 재배된 작물의 함량보다 높

Table 1. Distribution of selenium content in soil and plant (broccoli) in the highland of Gangwon provinces.

Province	Se content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW}$)	
	Soil	Plant (broccoli)
Doam	0.024 d ²	10.5 e
Keichon	0.028 c	11.5 d
Dunnae	0.034 b	12.9 c
Anheong	0.034 b	17.9 a
Gangrim	0.038 a	14.5 b

²Mean separation within column by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

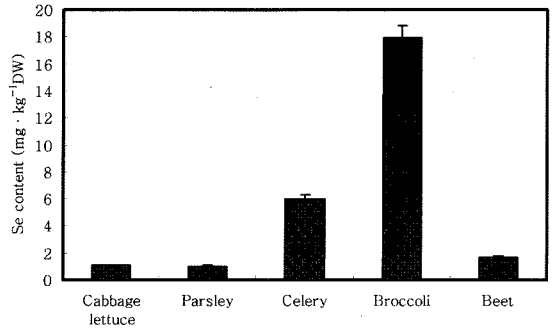


Fig. 1. Selenium content of occidental vegetable on the growth general in the highland. Vertical bars represent $\pm \text{SE}$ of means ($n=9$).

았다(Table 1).

황성군 안흥면 지역의 준고냉지 지역에서 관행 재배한 양채류 다섯 품목의 수확 당시 Se함량은 브로콜리가 $17.9 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW}$ 인데 비하여, 셀러리는 $6.02 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW}$ 으로 브로콜리 함량의 1/3수준이었고, 비트, 결구상추 및 피슬리는 1mg 전후로 매우 낮은 함량을 나타내었다(Fig. 1). 이와 같은 수준은 중국 양채류인 청경채, 백경채, 담채의 셀레늄 함량이 건물중 1kg 기준으로 0.7mg 에서 1.2mg 이란 보고(Park 등, 1996)와 Yun 등(2004)이 엔디브와 청경채의 셀레늄함량이 각각 1.8mg 과 0.7mg 이었다는 결과와 비트, 결구상추, 피슬리는 비슷한 수준이었지만, 브로콜리와 셀러리는 이들 작물보다 훨씬 높은 함량을 나타내어, 작물체내의 셀레늄함량이 재배 토양 내의 함량 차이보다는 작물별 흡수 형태의 차이가 더 큰 요인으로 작용하고 있음을 보여주었다.

2. 관비재배시 셀레늄 처리에 따른 양채류의 생육 및 흡수능

관비재배시 셀레늄공급원으로 sodium selenate (Na_2SeO_4) $2 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 을 처리한 양채류의 생육조사 결과 결구상추의 생체중은 $2 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리구가 770g 으로 대조구의 608g 에 비해 23%, 브로콜리의 화뢰중도 대조구의 652g 에 비해 처리구는 802g 으로 10% 정도 증가하였으나, 피슬리는 절간장파 엽수의 증가에도 불구하고 생체중은 대조구와 통계적 유의성이 없었다(Table 2, 3, 4). 이러한 결과는 Park 등(1996)이 중국 양채류를 수경재배할 때 양액내 셀레늄의 농도가 $5 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상이 되면 생육이 억제되나, $2 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 미만에서는

Table 2. Effects of selenium concentration on the growth of cabbage lettuce after 60 days.

Selenium concentration (mg·L ⁻¹)	Number of leaves	Head height (cm)	Head width (cm)	Fresh weight (g)
0	30 b ²	18.5 b	16.2 a	608.2 b
2	37 a	22.4 a	17.8 a	770.6 a

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

Table 3. Effects of selenium concentration on the growth of parsley after 90 days.

Selenium concentration (mg·L ⁻¹)	Internode length (cm)	Number of leaves	Stem length (cm)	Fresh weight (g)
0	45.8 b ²	35 b	60.8 a	1,154.2 a
2	52.5 a	42 a	67.2 a	1,210.8 a

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

Table 4. Effects of selenium concentration on the growth of broccoli after 90 days.

Selenium concentration (mg·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Number of leaves	Head weight (g)	Fresh weight (g)
0	49.2 b ²	29 a	302.8 b	652.8 b
2	52.8 a	32 a	338.2 a	802.2 a

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

대조구보다 생육이 양호하다는 보고와, Yun 등(2004)이 청경채와 엔디브의 담액 수경재배시 셀렌종류와 관계없이 고농도 처리구에서는 생육이 억제되었으나, 저농도 처리구의 생육은 대조구와 큰 차이가 없어 배양액에 저농도 셀레늄첨가는 식물생육을 억제시키지 않는 범위 내에서 기능성채소 생산이 가능하리라는 일련의 보고와 상응하는 결과였다.

sodium selenate를 2mg·L⁻¹농도로 조절하여 60일간 재배한 결과 양채류의 Se 함량은 브로콜리 76.2mg·L⁻¹, 파슬리 69.1mg·L⁻¹, 셀러리 63.2mg·L⁻¹, 비트 54.2mg·L⁻¹, 결구상추 8.3mg·L⁻¹순이었으며 브로콜리는 Se 무처리구에서 보다 4.2배, 셀러리는 10.5배, 파슬리는

무려 62.5배가 증가하였다(Fig. 2). 본 실험에서는 십자화과인 브로콜리에서 Se 흡수도가 높은 것은 물론이고 산형화과인 파슬리도 흡수도가 매우 높았다. 이는 황과 비슷한 화학구조를 가지고 있는 Se가 십자화과와 콩과작물에 의해 많이 흡수된다고 보고(Gunnar 등, 1985), 그리고 산형화과 허브인 고수에서 양액내 셀레늄 처리로 셀레늄 함량이 10배까지 증가하였다는 보고(Lee 등, 2001)와도 일치하였다.

이 결과로 양채류 재배농가에서 수경재배가 아닌 비교적 손쉬운 관비재배를 통해 Se 함유 기능성 양채류 생산이 가능하리라 생각된다.

적 요

강원도 고랭지 지역의 재배토양과 주요 양채류의 셀레늄 함량을 조사하고 관비재배시 sodium selenate첨가가 작물생육과 셀레늄함량 증가에 미치는 영향을 조사하였다. 고랭지 지역의 토양의 셀레늄 함량은 0.024~0.038mg·kg⁻¹의 분포를 보여 전반적으로 낮은 함량을 나타냈다. 각 지역에서 재배된 브로콜리의 셀레늄 함량은 적게는 10.5mg에서 많게는 17.9mg·kg⁻¹DW로 나타났으며, 토양내 셀레늄 함량이 높을수록 재배작물체내의 함량도 높아지는 경향을 보였다. 셀러리의

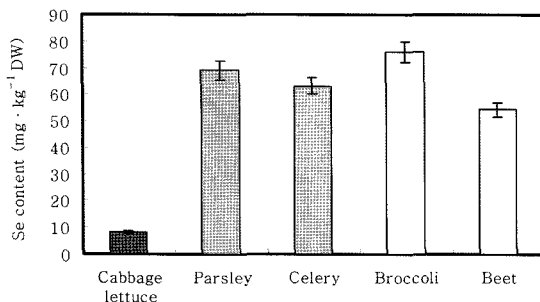


Fig. 2. Accumulated selenium contents in occidental vegetable by the nutrient solution treated with 2mg·L⁻¹ concentration. Vertical bars represent ±SE of means (n=9).

셀러리 함량은 $6.02\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ 이었고, 비트, 결구상추 및 파슬리는 1mg 전후로 매우 낮은 함량을 나타내었다. 관비재배시 sodium selenate $2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구는 무처리구(대조구)에 비해 생육 및 작물체내 셀레늄함량을 증진시켰다. $2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도 60일간 관비재배한 결과 양채류의 Se 함량은 브로콜리 $76.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 파슬리 $69.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 셀러리 $63.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 비트 $54.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 결구상추 $8.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 순이었으며 브로콜리는 대조구보다 4.2배, 셀러리는 10.5배, 파슬리는 62.5배가 증가하였다.

주제어 : 결구상추, 브로콜리, 비트, 셀러리, 파슬리

사 사

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

인 용 문 헌

1. 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.
2. Comb, G.F. Tr. 2001. Selenium in global food system. *Br. J. Nutr.* 85:517-547.
3. Cox, P.A. 1995, *The elements on Earth*, Oxford UK., p287.
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. Jansson, B. 1980. The roles of selenium as a cancer protecting trace element. p.28-31. In: Sigel, A. and M. Dekker (eds) *Metal ions in biological systems*. Inc. New York.

6. Keshan Disease Research Group of Chinese Academy of Medical Science. 1979. Epidemiologic studies on the etiologic relationship of selenium and Keshan disease. *Chin. Med. J.* 92:477-482.
7. Lee, C.K., K.C. Cho, J.H. Lee, J.Y. Cho, B.S. Seo, and W.M. Yang. 2005. Effects of selenium supplying methods on the growth and Se uptake of hydroponically grown tomato plants. *Journal of Bio-Environmental Control.* 14:284-288. (in Korean).
8. Lee, M.J., G.P. Lee, and K.W. Park. 2001. Status of selenium contents and effect of selenium treatment on essential oil contents in several Korean herbs. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19: 384-388. (in Korean).
9. Levander, O.A. 1987. Selenium. p.209-280. In: W. Mertz (ed.) *Trace elements in human and animal nutrition*. Vol. 2. 5th ed. Academic Press, New York.
10. Oster, O. and W. Prellwitz. 1989. The daily dietary selenium intake of West German adults. *Bio Trace Element Research* 29:1-14.
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. Petterson, P.J. 1987. Selenium biogeochemistry: Local, regional and global processes and problems, p.368. *Trace Substances*, UK.
13. Seo, T.C., H.K. Yun, and C.H. Zhang. 2006. Effect of surfactant addition on Se absorption and growth of pak-choi and lettuce in DFT culture. *Abstract of Journal of Bio-Environmental Control* 15(I): 136-141. (in Korean).
14. Thompson, J.N. and M.L. Scott. 1969. Role of selenium in the chick. *J. Nutr.* 97:335-342.
15. Watkinson, J.H. 1983. Prevention of selenium deficiency in grazing animals by annual topdressing of pasture with sodium selenate. *N.Z. Vet. J.* 31:78-85.
16. Yun, H.K., T.C. Seo, D.K. Park, K.Y. Choi, and Y.A. Jang. 2004. Effect of selenium 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).