

셀레늄 처리 농도와 기간이 마늘의 생육에 미치는 영향

윤형권* · 장성호 · 서태철 · 이지원
원예연구소 채소과

Effect of Selenium Application Concentration and Periods on Growth in Garlic

Hyung Kweon Yun*, Cheng Hao Zhang, Tae Cheol Seo, and Ji Weon Lee
Vegetable Science Division, National Horticultural Research Institute, Suwon 440-706, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the effect of application concentration and period of sodium selenate (Na_2SeO_4) in the soil on the growth of garlic. Fresh weight were decreased with the application of higher concentration and longer period of Se compared with the control. The treatment of higher concentration and longer period of Se increased the content of Se in leaf sheath than bulb of garlic after 3 weeks. But, the Se content of garlic was higher in order of bulb, stem, root after 6 weeks of selenium treatment. Se was also detected also in control, the non-treated plot, but the amount was negligible. The content of selenium in the soil was not affected by the concentration and period of selenium application.

Key words : dry bulb weight, mineral element, sodium selenate

*Corresponding author

서 언

오늘날 생활방식과 식생활 습관이 변화에 따라 고혈압, 당뇨, 암 등 각종 대사질환의 발생이 급격히 증가하고 있다. 이들 질병 발생의 주요 원인은 과도한 스트레스와 이를 방어하는 항산화성 물질의 불균형에 의한 것으로 알려져 있다. 때문에 최근 이들 질병을 예방하고자 식물로부터 약리성분을 추출하여 이용하거나 또는 섭취하는 농산물에 항산화력이 있는 기능성 물질을 강화하여 이용하려는 시도가 점차 증가하고 있고 그 효능에 대한 검증도 계속되고 있다(Greenwald, 1998). 마늘은 우리 식생활에 필수적인 조미료이고 오래 전부터 동서양에서 민간 의약품으로도 이용되었으며 항균, 콜레스테롤 저하, 항암 등 약리적 기능이 알려져 있다(Dorant 등, 1993; Kim 등, 1997; Meskin, 1997). 셀레늄(Se)은 1817년 스웨덴에서 처음으로 발견되었으며 사람과 동물에 매우 낮은 농도로 요구되는 필수 미량요소로 식물, 가축, 어류 등의 해산물을 통하여 섭취하게 된다. 최근 미국에서 Ip와 Lisk(1993; 1994; 1995; 1996)는 셀레늄-강화마늘이 암예방에 효

과가 있다는 다수의 결과를 발표하였고, 마늘 외에 다른 작물에서도 셀레늄을 비료로 사용하여 기능성 성분이나 향기성분의 변화를 추적한 연구가 시도되었다(Gissel-Nielsen, 1986; Kim과 Park, 2001; Kopsell과 Randle, 1999; Stoewsand 등, 1989). 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). Du 등(2004)은 배추, 토마토, 무 등 원예작물을 대상으로 셀레늄을 처리한 결과 모든 작물에서 셀레늄함량이 증가하였다고 보고하였다. 한편 Liang(2004)은 담배 잎에 셀레늄을 처리한 결과 담배 잎의 셀레늄함량은 증가된 반면 타르의 함량이 현저히 감소되었다고 보고하였다. 인간에게 보건의적 또는 임상병리적 효과가 있는 셀레늄에 대한 토양 및 식물체내의 함량과 같은 기초 연구는 활발하게 이루어지고 있으나 셀레늄 자체가 식물에 필수영양소가 아니기 때문에 다른 원소에 비해 식물체내에서의 생리기작에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 마늘재배 토양에 비료의 형태로 농도와 처리기간을 달리하여 투여한 셀레늄의 기관별 축적된 함량을

측정하여 적절한 셀레늄 처리농도 및 기간을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

원예연구소 포장에 2004년 9월20일 한지형마늘(서산종)을 피종하였고 시험구는 3반복으로 완전임의 배치하였다. 수확하기 3주 전부터 셀레늄 농도를 1, 2, 5 mg·L⁻¹로 처리하였으며 처리기간은 5, 10, 15일 동안 하루에 2L/m²씩 관비형태로 공급하였으며 대조구는 지하수를 공급하였다. 셀레늄의 공급원은 sodium selenate (Na₂SeO₄, Sigma Co., USA)를 사용하였다. 생육은 초장, 구경, 구고, 주중, 건구중을 측정하였고 처리 1주, 3주, 6주 후 부위별 식물체내 셀레늄 함량을 분석하였으며 또한 수확 후 토양에 존재하는 셀레늄함량도 분석하였다. 마늘에 함유된 셀레늄은 2005년 기관별로 분리하여 각각 80°C에서 12시간 정도 건조시켜 분쇄 후 분석하였고 토양분석 시료는 표토를 긁어내고 깊이 10cm까지의 흙을 채취하여 실온에 풍건한 다음 200 mesh로 분쇄하여 이용하였다. 건조된 분말 시료 0.5g를 질산 : 과염소산(3:1, v/v) 4mL를 가하여 Microwave (MARS, USA)로 분해하여 HVG-AAS(Shimadzu 6800, JAPAN)를 이용하여 196.1nm에서 정량 분석하였다. 통계처리는 SAS Ver 6.12를 이용하였다.

결과 및 고찰

셀레늄처리 농도 및 기간에 따른 마늘의 생육을 셀레늄 처리 6주 후 조사한 결과 구고, 구경, 생체중은 처리간에 차이가 없었으며 구고는 대조구 33.3mm에 비하여 29.9~32.3mm 다소 감소하였고 주중은 대조구 77.1g에 비해 처리구에서 적었는데 셀레늄 농도가 높을수록 감소하였다(Table 1). 엔디브와 청경채에서도 셀레늄의 농도가 높아질수록 생육이 억제되었는데 농도가 낮은 처리구에서는 대조구와 생육의 차이가 없다는 보고(Yun 등, 2004)와 같은 경향이였다. 건구중도 대조구에 비하여 처리횟수가 많고 농도가 높을수록 감소하는 경향을 보였다. 셀레늄처리에 따른 마늘 기관별 셀레늄 흡수량을 처리 1주 후 조사한 결과, 농도가 높을수록 증가하였다. 기관별로 5mg·L⁻¹ 처리는 뿌리와 앞에서 높고 엽초에서 낮았으며 1, 2mg·L⁻¹ 처리에서는 부위별로 큰 차이가 없었다(Fig. 1). 특히 대조구에서는 주로 위 부분으로 전달되기보다는 뿌리에 셀레늄이 집적되었다. 셀레늄처리 3주 후 기관별 흡수 특성은 농도가 높을수록 증가하였으며 기관별로는 잎>엽초>구>뿌리 순으로 흡수량이 많았다(Fig. 2). 처리기간에 따른 셀레늄 흡수량의 차이가 없었다. 최종 처리 후 수확하기 전에 구의 셀레늄 함량을 측정한 결과 구를 제외한 조직은 처리 3주후 보다 전체적으로 감소

Table 1. The growth and bulb weight of garlic cultivated at different concentration and periods of selenium application in soil.

Treated period (days)	Concentration ^z (mg·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Bulb diameter (mm)	Bulb height (mm)	Total fresh wt. (g)	Bulb fresh wt. (g)	Bulb dry wt (g)
	Control	71.6a ^y	45.3a	33.3a	77.1a	36.3a	27.6a
5	1	75.9a	42.0a	32.1b	70.0ab	32.7a	25.7a
	2	71.1a	42.9a	31.7bc	75.6a	33.2a	24.8a
	5	75.2a	43.5a	31.0c	72.4ab	33.8a	24.8a
	1	76.7a	43.9a	32.3b	76.5a	33.1a	25.1a
10	2	74.8a	42.2a	29.9c	65.6b	29.4a	23.5a
	5	72.3a	41.7a	32.3b	70.2ab	32.2a	23.1a
15	1	74.5a	42.9a	31.5bc	74.1a	32.6a	24.2a
	2	73.4a	41.8a	32.0b	67.7ab	33.1a	24.0a
	5	70.6a	43.1a	31.6bc	65.3b	30.9a	23.0a

^zSodium selenate.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05.

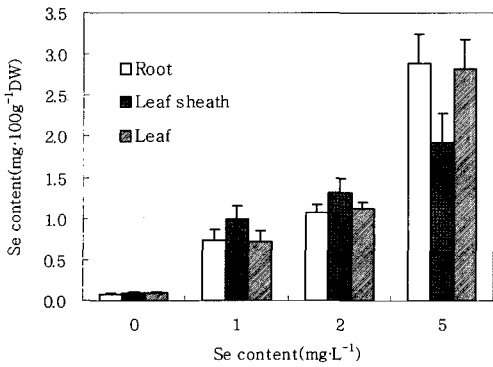


Fig. 1. The selenium content of root, stem and leaf sheath in garlic after 1 weeks cultivated by different application concentration and periods of selenium in the soil. Vertical bars mean standard error of the mean.

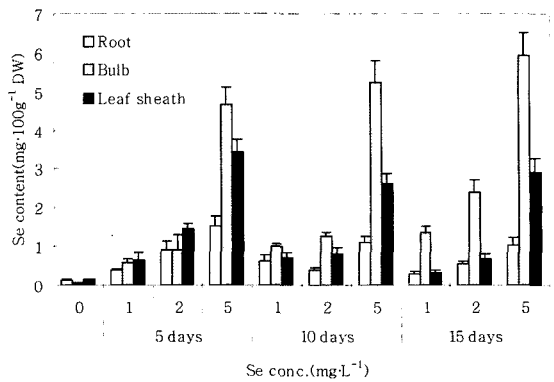


Fig. 3. The selenium content of root, stem and leaf sheath after 6 weeks in garlic cultivated by different application concentration and periods of sodium selenate in the soil. Vertical bars indicate standard error of the mean.

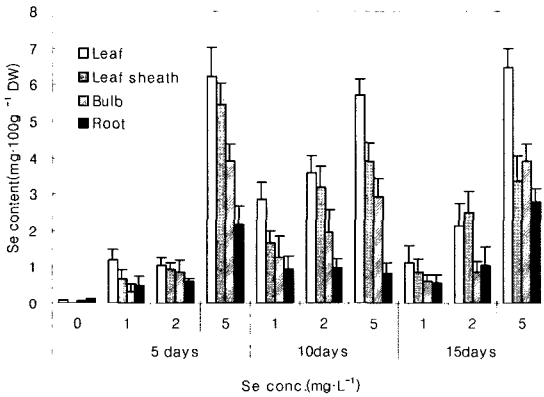


Fig. 2. The selenium content of root, stem and leaf sheath after 3 weeks in garlic cultivated by different application concentration and periods of sodium selenate in the soil. Vertical bars indicate standard error of the mean.

하였는데, 이는 마늘 생육 후기에 잎이 많이 노화되어 대부분 말랐고 엽초도 다소 노화되어 지상부의 셀레늄 함량이 감소된 것으로 사료된다(Fig. 3). 양액내 셀레늄처리농도가 상승함에 따라 작물 내 셀레늄함량의 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 건물중당 셀레늄함량이 증가하였다고 보고하였다. 일반 마늘에 함유된 셀레늄농도는 대개 0.03~0.06mg·L⁻¹수준으로 알려져 있지만(Ip와 Lisk, 1994; 1995), 본 연구결과에서는 대조구에도 기준치 이상으로 함유되었으며 셀레늄 농도 5mg·L⁻¹을 15일간 처리하여 수확 후 6.2mg·100g⁻¹로 약 200배 증가되어 셀

레늄이 강화된 마늘의 생산이 가능할 것이라 판단되었다. 또한 셀레늄 농도와 처리기간을 적정히 조절하였을 때 생육이 감소되지 않은 범위에서 높은 농도로 처리기간을 길게 하면 마늘을 재료로 유기셀레늄을 추출하여 제품화가 가능하다. 2006년 농림업 주요통계에 의하면 한국에서 일인당 하루에 마늘을 약 17.5g을 소비한다고 보고하였으며 농촌생활연구소 식품성분표에는 한국 마늘 수분함양이 62.5%라고 보고되었다. 이 표준을 적용하여 셀레늄 농도 2mg·L⁻¹을 5일간 처리한 마늘을 먹으면 하루에 마늘로부터 셀레늄을 약 59.7μg 보충하여 다른 음식으로부터 흡수한 기존의 45μg과 합하면 모두 일인당 104.7μg의 셀레늄을 흡수하여 적당할 것으로 사료된다. 기존의 보고된 자료에 의하면 마늘의 셀레늄 함량은 건물을 기준으로 약 112mg·kg⁻¹, 양파는 28mg·kg⁻¹으로 매우 높은 수준으로 강화되고 있다(Ip 등, 1992; Ip와 Lisk, 1995). 사료용 초지에 sodium selenite 120g·ha⁻¹, sodium selenate 10g·ha⁻¹을 사용하거나 selenate 5g·ha⁻¹을 엽면에 살포하면 식물체내 셀레늄함량이 약 0.05~0.1mg·kg⁻¹ 수준으로 증가되었다고 한다(Gissel-Nielsen G, 1986). 본 실험의 셀레늄사용수준으로 보아 마늘에 함유한 셀레늄농도는 이 이상의 수준이었다. 따라서 사용농도와 기간에 따라 많은 양의 셀레늄을 축적시킬 수 있으므로 앞으로는 양적인 축적보다 토양의 안전성을 유지하고 관리하여 품질이 좋은 마늘을 생산할 수 있는 방안에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 셀레늄은 처리 후 토양에 잔존하고 축적됨에 따라 토양 오염을 야기

셀레늄 처리 농도와 기간이 마늘의 생육에 미치는 영향

할 수 있다(Stadlober 등, 2001). 본 실험에서 토양에 함유된 셀레늄을 분석한 결과 대조구에 비하여 축적된 함량이 다소 증가하였지만 일반적으로 토양에 함유되어 있는 함량 정도의 수준으로 재배 후에도 큰 문제는 없을 것으로 판단된다(Fig. 4). 일반적으로 토양에 존재하는 셀레늄함량은 모제암에 따라 달라 화성암이나 석회암에는 0.15-0.05mg·L⁻¹으로 매우 낮지만 shale이나 응회암에서는 매우 높다고 한다(Neal 등, 1995). 본 시험에 사용된 토양은 주로 사질양토로 대조구에서도 셀레늄 함량이 높았다. 셀레늄처리 후 식물의 무기이온 흡수량의 변화 중 칼륨은 뿌리와 잎에서 대조구보다 높았으나 구와 엽초에서는 차이가 없었다(Fig. 5). 또한 부위별로 뿌리와 잎에서 칼륨 함량이 가장 많았고 다음은 엽초가 많았으며 구에서 가장 적었다. 칼슘은

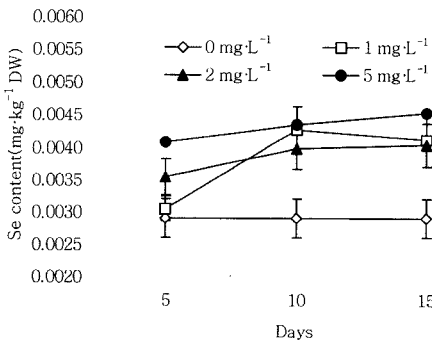


Fig. 4. The selenium content in the soil after harvested in garlic by different concentration and periods of sodium selenate application in the soil. Vertical bars indicate standard error of the mean.

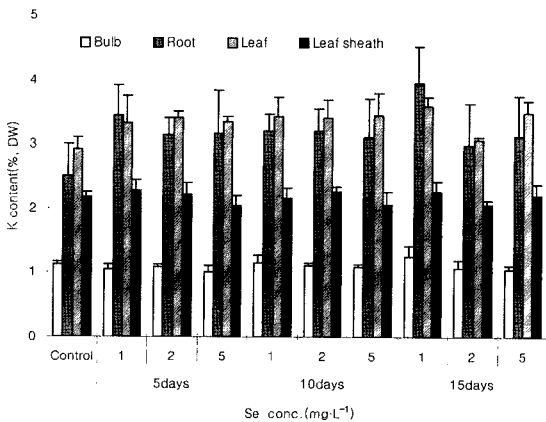


Fig. 5. The potassium content of bulb, root, leaf and stem in garlic after 6 weeks cultivated by different concentration and periods of sodium selenate application in the soil.

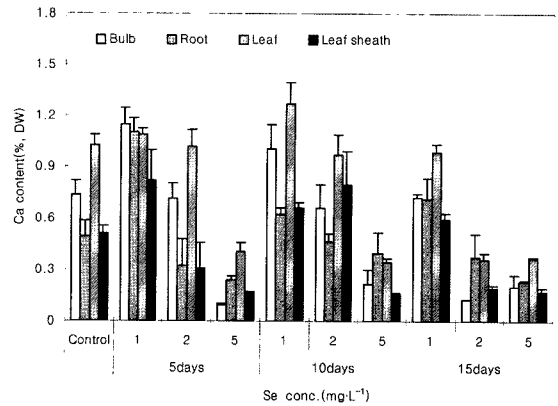


Fig. 6. The calcium content of bulb, root, leaf and stem in garlic after 6 weeks cultivated by different concentration and periods of sodium selenate application in the soil.

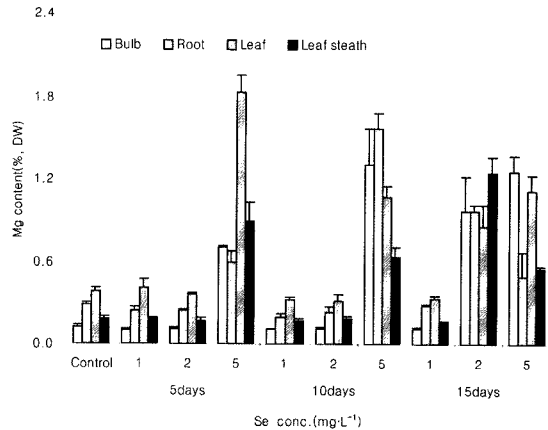


Fig. 7. The magnesium content of bulb, root, leaf and stem in garlic after 6 weeks cultivated by different concentration and periods of sodium selenate application in the soil.

처리일수가 동일할 때 셀레늄 농도의 증가에 따라 칼슘 함량이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6). 부위별로 잎에서 칼슘 함량이 타 기관에 비하여 높았다. 마그네슘은 대조구보다 셀레늄 농도 높은 처리구에서 높았는데, 특히 5mg·L⁻¹ 처리구에서 가장 높았다(Fig. 7). 전체적으로 본 연구 결과를 종합하면 마늘의 셀레늄의 흡수는 칼륨 흡수와는 상관관계가 없으나 셀레늄 농도가 높은 처리에서 마그네슘 함량은 증가되었고 칼슘 함량이 감소된 것으로 보아 두 원소와 어느 정도 상관관계가 있는 것으로 사료된다. 셀레늄은 원소형태의 셀레늄을 포함해서 selenide, selenite, selenate 및 유기성 셀레늄화합물에 이르기까지 여러 형태로 존재한

다. 또한 셀레늄의 함량은 작물에 따라 큰 차이를 보이고 있는데 식품 이용면에서 채소류는 85~100% 범위로 높은 반면에 해산물은 25% 정도, 육류제품은 15% 정도, 소와 염소젖은 7% 이하로 매우 낮다(Navarro-Alareon과 Lopez-Martinaz, 2000). 이러한 점에서 셀레늄을 몸에 흡수시키기 위해서는 채소를 통하여 섭취하는 것이 가장 바람직하다고 볼 수 있다. 셀레늄 함량이 과다한 경우 작물에 피해 현상이 발생했지만 저농도의 셀레늄(Na_2SeO_4)처리는 식물체의 생육을 억제시키지 않는 범위 내에서 인체의 방어기작에 필요한 glutathione peroxide의 구성성분인 셀레늄을 공급하기 때문에 셀레늄 함량이 높은 고부가가치 채소의 생산이 가능하다(Yun 등, 2004). 앞으로는 좀 더 다양한 채소작물을 대상으로 기능성과 안정성이 향상된 셀레늄 함유 채소를 생산하기 위해서는 작물별 적용 실험과 셀레늄의 분석법 확립, 흡수특성에 따른 생리기작 등 다양한 생화학적, 분자생물학적 연구와 셀레늄흡수의 안전성 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

적 요

토양에 비료 형태로 투여한 셀레늄 농도와 처리기간이 마늘의 생육에 미치는 영향을 구명하고자 본 실험을 수행하였다. 셀레늄의 농도가 높고 처리기간이 길수록 생체중은 대조구에 비하여 감소하였다. 셀레늄의 처리농도가 높고 처리기간이 길수록 3주 후 셀레늄의 함량은 구보다는 엽초에 많이 축적되었다. 그러나 처리 6주 후에는 구>엽초>뿌리 순으로 셀레늄의 함량이 높았다. 셀레늄 처리 후 토양에 잔류하고 있는 셀레늄의 함량은 대조구와 차이가 없었다.

주제어 : 셀레나이트, 무기성분, 건조중

인 용 문 헌

- 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.
- Comb, G.F. Tr. 2001. Selenium in global food system. *Br. J. Nutr.* 85:517-547.
- Dorant, E., P.A. van den Brandt, R.A. Goldbohm, R.J.J. Hermus, and F. Sturmans. 1993. Review-Garlic and its significance for the prevention of cancer in humans: a critical view. *Nutr. Cancer.* 67:424-429.
- Du, Z.Y., Y.X. Shi, and Q.H. Wang. 2004. Selenium uptake by vegetables and recommendation of edible amounts for selenium supplement. *Ecology and Environment* 13:230-331, 267.
- Gissel-Nielsen, G. 1986. Selenium fertilizers and foliage application, Danish experiments. *Ann. Clin. Res.* 18:61-64.
- Greenwald, J. 1998. Is it good medicine? *Time*, November 30:37-44.
- 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.
- Ip, C., D.J. Lisk, and G.S. Stoewsand. 1992. Mammary cancer prevention by regular garlic and selenium-enhanced garlic. *Nutr. Cancer.* 17:279-286.
- Ip, C. and D.J. Lisk. 1993. Bioavailability of selenium from selenium-enriched garlic. *Nutr. Cancer* 20:129-137.
- Ip, C. and D.J. Lisk. 1994. Characterization of tissue selenium profiles and anticarcinogenic responses in rats fed natural sources of selenium-rich products. *Carcinogenesis* 15:1881-1885.
- Ip, C. and D.J. Lisk. 1995. Efficiency of cancer prevention by high-selenium garlic is primarily dependent on the action of selenium. *Carcinogenesis* 16: 2649-2652.
- Ip, C. and D.J. Lisk. 1996. The attributes of selenium-enriched garlic in cancer prevention. p.179-187., In : *The American Institute for Cancer Research (ed.). Dietary phytochemicals in cancer prevention and treatment.* Plenum Press, New York.
- Kim, E.S., Chun, H.C., Kim, B.K. and Rhee. K.C. 1997. Garlic and cancer prevention. *J. Food Sci. Nutr.* 2:180-190.
- Kim, M.S. and K.W. Park. 2001. Effect of selenium on storability of basil (*Ocimum basilicum*) in hydroponics. *J. Kor. Soc. Hort. Sci. Tech.* 19:87-91.
- Kopsell, D.A. and W.M. Randle. 1999. Selenium affects the S-alk(en)yl cysteine sulfoxides among short-day onion cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124:307-311.
- Liang, K.Z. 2004. The Effect of selenium-minim fertilizer in tobacco plants of content. *J. of Yunnan Agri. Uni.* 19:611-612,618.
- Meskin, M.S. 1997. A clove a day keeps the doctor away. *Nutr. Division (Newsletter)* 17(3):6-7.
- Navarro-Alarcon M., and M. C. Lopez-Martinez. 2000. Essentiality of selenium in the human body: relationship with different diseases. *Sci. of Environ.* 249:347-371.
- Neal, R.H. 1995. Selenium, p.260-283. In: B. J. Allo-

셀레늄 처리 농도와 기간이 마늘의 생육에 미치는 영향

- way(ed.). Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professional, UK.
20. 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.
 21. Stadlober, M., M. Sager, and K. J. Irgolic. 2001. Effects of selenate supplemented fertilization on the selenium level of cereals-identification and quantification of selenium compounds by HPLC-ICP-MS. *Food Chem.* 73:357-366.
 22. Stoewsand, G.S, J.L, Anderson, L. Munson, and D.J. Lisk. 1989. Effect of dietary Brussels sprouts with increased selenium content on mammary carcinogenesis in the rat. *Cancer Lett.* 45:43-48.
 23. 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.