

한국의 몇 가지 허브의 셀레늄 함유량 및 셀레늄 처리가 정유 함량에 미치는 영향

이문정¹ · 이금표² · 박권우^{1*}

¹고려대학교 생물생산과학부, ²서울여자대학교 자연자원연구소

Status of Selenium Contents and Effect of Selenium Treatment on Essential Oil Contents in Several Korean Herbs

Moon Jung Lee¹, Gung Pyo Lee², and Kuen Woo Park^{1*}

¹Division of Bioindustrial Science, College of Life and Environmental Science, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

²Institute of Natural Science, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

*corresponding author

ABSTRACT The selenium (Se) contents of 20 herbs, harvested in three areas in Korea, were analyzed. Many herbs had no Se. Angelica (138.4 μg Se · kg⁻¹ FW), caraway (167.8 μg Se · kg⁻¹ FW), chamomile (116.6 μg Se · kg⁻¹ FW), marjoram (158.7 and 132.6 μg Se · kg⁻¹ FW), and oregano (62.5 μg Se · kg⁻¹ FW) accumulated Se as higher concentration compared with other plants. The Se content of herbs was dependent on the species, cultivars and areas. The status of Se uptake by herbs was investigated according to Se concentrations in hydroponics. During four weeks, before harvest of several herbs in greenhouse, sodium selenate (Na₂SeO₄) was added to the nutrient solution at concentrations of 2, 4, 6, and 8 mg · L⁻¹. Field-mint accumulated Se too high, but external symptom of Se toxicity was not found. Essential oil content was generally proportionated to treated-Se concentration. The essential oil contents in basil and balm increased two to three times higher by sodium selenate treatment compared to non-treatment, but they did not show any linear relationship between essential oil contents and treated-Se concentration.

Additional key words: basil, coriander, field-mint, hydroponics, sodium selenate

서 언

셀레늄(selenium; Se)은 사람과 동물에 필수적인 원소로, 우리는 보통 식물, 가축, 그리고 어류 등의 해산물을 통하여 섭취하게 된다. Jansson(1980)의 보고에 의하면, 셀레늄이 결핍된 토양에서 재배된 작물만을 지속적으로 섭취하는 사람들은 심장병 또는 암 등의 발병율이 높았다고 한다. 이것은 셀레늄이 동물에서 암의 발병을 상당히 줄이거나 혹은 항산화제로서의 역할을 하는 것으로 풀이된다(Axley 등, 1991). 필수미량원소인 셀레늄은 결핍증과 과잉증 사이의 최적 범위가 매우 좁은 편으로, 가축의 경우 섭취량이 0.05mg Se · kg⁻¹ 이하이면 결핍증에 걸릴 수 있고, 반면에 4-5mg Se · kg⁻¹을 섭취하게 되면 과잉증을 나타낼 수 있다(NRC, 1983). 따라서, 초식동물을 비롯한 먹이사슬 내의 소비자인 동물은 적정량의 셀레늄이 함유된 작물을 섭취하여야 하는데, 이것은 토양 내에 함유되어 있는 셀

레늄의 양에 매우 의존적이라 할 수 있다. 전 세계적으로 볼 때, 지역별로 셀레늄 결핍지역이 존재하는데 대표적으로 중국의 만주, 심양지역과 핀란드를 비롯한 스칸디나비아 반도 국가들을 들 수 있다(Mattsson, 1982). 토양 내의 셀레늄 결핍상황을 극복하고자 핀란드에서는 1969년 이래로 가축의 먹이에 셀레늄을 투여하기 시작하였고, 덴마크(1975년), 노르웨이(1979년), 스웨덴(1980년)이 뒤이어 가축에게 셀레늄 및 비타민 E의 투여를 시작하였다(Watkinson, 1983). 또한, 핀란드에서는 1984년 농작물의 셀레늄 함유량을 증가시키기 위하여 셀레늄이 함유된 비료를 사용하기 시작하였다. 미국의 경우도, 지역별 토양 내 셀레늄 함량을 조사하였고, 캘리포니아주에 셀레늄 과잉지역을 지정하고, 토양 내 셀레늄 제거를 위한 phyto-remediation을 실시하고 있다. 한편, 우리나라는 아직까지 식물체내 셀레늄 함량 조사는 물론, 전국 토양통의 셀레늄 함량 조사도 이루어지지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구는 식물 중 허브의 셀

* Received for publication 21 February 2001. Accepted for publication 18 July 2001. This research was funded by the MAF-SGRP (Ministry of Agriculture and Forestry-Special Grants Research Program) in Korea.

질적인 셀레늄 함량을 조사하고, 셀레늄의 인위적 처리가 허브 식물체의 정유 함량에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

국내 허브류의 셀레늄 함량 조사를 위하여 유기농법을 사용하는 강원도 평창에서 수확된 허브와 서울 양재동에서 유통되고 있는 허브류를 구입하였다(Table 1). 또한, 수경재배 양액에 셀레늄을 첨가하여 주요 허브류의 셀레늄 흡수 양상을 비교하였다. 대상 허브류는 밤(balm: *Melissa officinalis*), 바실(basil: *Ocimum basilicum*), 고수(coriander: *Coriandrum sativum* L.), 민트(field-mint: *Melissa arvensis*), 방아(Korean mint: *Agastache rugosa*)와 오레가노(oregano: *Origanum vulgare* L.)였다. 육묘를 위하여, 이들 허브류의 종자를 피트모스와 펄라이트(2:1, v/v)의 상토로 충전된 72공 플러그 판에 파종하였다. 본엽 6매 전개 시에 묘를 담액수경 시스템(deep flow culture system)에 정식하였고, 양액은 유럽채소연구개발센터(European Vegetable Research and Development Center)에서 개발된 허브전용양액(Benoit와 Ceusternans, 1994)을 이용하였다. 양액은 2주에 한번 완전히 교체하였으며, 셀레늄 처리를 위하여 수확 전 4주간 sodium selenate(Na_2SeO_4)를 양액에 2, 4, 6, 8 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 수준으로 처리하였다. 개화기에 전체 식물체를 수

확하였으며, 수확된 시료는 70°C의 송풍건조기에서 완전히 건조시킨 후, 분말화시켜 분석에 이용하였다. 셀레늄 함량 분석은 2,3-diaminonaphtalene(DAN)을 이용한 형광광도법(Whetter와 Ullrey, 1978)을 사용하였다. 정유는 증기증류법(Letchamo 등, 1995)을 이용하였으며, 최종 정유질량(% , w:w)을 표현하였다. 모든 처리 시험은 난괴법을 이용한 시험구 배치 및 SAS 프로그램(SAS, 1985)을 이용한 Duncan's multiple range test 방법을 적용하였다.

결과 및 고찰

20가지 허브류의 셀레늄 함량은 Table 1과 같다. 이들 허브류 중 유기농법을 사용하는 강원도 평창지역에서 수확한 카라웨이(caraway: 167.8 $\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW), 카모마일(chamomile: 116.6 $\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW), 그리고 본 연구팀의 시험포장에서 재배된 안젤리카(angelic: 138.4 $\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW)에서는 상대적으로 높은 셀레늄 함량을 나타내었다. 한편, 다른 지역에서 수확된 허브류에서는 셀레늄 함량이 낮거나 혹은 측정되지 않았다. 또한, 마조람(marjoram), 레몬밤(lemon balm), 오레가노(oregano) 등은 서로 다른 지역에서 재배된 경우 셀레늄 함량의 차이가 나타났다. 이것은 시료와 품종에 따른 생육 지역별 차이에서 기인한 것으로 사료된다. Lee(1999)는 국내 채소류의 셀레늄 함량이 중, 품종, 그리고 재배지역에 따라 차

Table 1. Selenium contents of 20 herbs, cultivated in four areas in Korea.

Herb name	Culture area	Se contents ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW)
Angelica (<i>Angelica archangelica</i>) (leaf)	Seoul	138.4±6.1 ^z
Angelica (<i>Angelica archangelica</i>) (petiol)	"	17.2±2.0
Basil (<i>Ocimum basilicum</i>)	Chungwon	^y
Caraway (<i>Carum carvi</i>)	Pyungchang	167.8±8.6
Chive (<i>Allium schoenoprasum</i>)	Pyungchang	3.9±0.3
Chamomile (<i>Matricaria chamomilla</i>)	Pyungchang	116.6±6.4
Dill (<i>Anethum graveolens</i>)	Chungwon	-
Estaragon (<i>A. dracunculus</i> L.)	Pyungchang	-
Fennel (<i>Foeniculum vulfare</i>)	Pyungchang	-
Fennel (<i>Foeniculum vulfare</i>)	Seoul	-
Common thyme (<i>Thymus vulgaris</i>)	Chungwon	-
Korean-mint (<i>Agastache rugosa</i>)	Seoul	-
Lemon Balm (<i>Melissa officinalis</i>)	Pyungchang	36.6±2.7
Lemon Balm (<i>Melissa officinalis</i>)	Chungwon	-
French lavender (<i>Lavandula dentata</i>)	Chungwon	-
Spike lavender (<i>Lavandula spica</i> L.)	Pyungchang	-
Marjoram (<i>Origanum majorana</i>)	Pyungchang	158.7±7.9
Marjoram (<i>Origanum majorana</i>)	Chungwon	-
Marjoram (<i>Origanum majorana</i>)	Seoul	132.6±6.4
Mugwort (<i>A. vulgaris</i> L.)	Ilsan	-
Oregano (<i>Origanum vulgare</i> L.)	Pyungchang	-
Oregano (<i>Origanum vulgare</i> L.)	Chungwon	62.5±5.8
Parsley (<i>Petroselinum crispum</i>)	Seoul	-
Pepper mint (<i>M. piperita</i>)	Pyungchang	14.0±1.4
Rosemary (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	Chungwon	-
Sage (<i>Salvia officinalis</i>)	Pyungchang	-

^zMean±standard deviation.

^y- : not detected.

이를 보였다고 보고한 바 있으며, Mikkelsen 등(1989)도 식물체의 셀레늄 흡수는 토양 내 셀레늄의 이온화 형태, 토성, 토양 pH, 점토 함량, 그리고 다른 이온의 존재에 따라 달라진다고 보고하였다.

본 연구에서 유기농법을 사용한 지역의 허브류가 높은 셀레늄 함량을 보인 것은 동물에서 유래하는 구비 및 퇴비의 시용으로 토양 내에 다량의 셀레늄이 유입되어 식물체에 흡수된 것으로 여겨지며, 같은 식물종도 재배지역에 따라 서로 다른 다량 및 미량원소 함유량을 나타내는 것은 지극히 당연한 것으로 판단할 수 있다.

미국의 경우, 서부지역 토양의 셀레늄 오염정도를 지도화하여, 가축의 셀레늄 피해를 줄이고자 하였으며, 반대로 셀레늄 결핍지역의 식물사료를 섭취하는 가축의 결핍증을 완화하고자 FDA(Food and Drug Administration)는 가축사료에 셀레늄의 인위첨가를 허용한 바 있다(Lauchli, 1993). 한편, 국내에서는 셀레늄 함량과 관련된 정보가 극히 제한적인 상황이다. 또한 최근 수경재배 식물체가 다량 유통되는 상황에서, 사람에게 요구되는 필수원소를 식물체가 어느 정도 함유하는가에 대한 평가가 요구된다. Lee(1999)는 국내에서 수경재배로 유통되는 깻잎, 상추, 케일 등에서 셀레늄을 측정할 수 없었음을 보고한 바 있다.

따라서, 수경재배 시 사람에게 필수원소이거나 혹은 유용한 원소를 첨가하는 대안이 제시되었으며(Lee, 1999), 본 연구에서는 몇 가지 허브류에 sodium selenate(Na_2SeO_4)를 수경 양액 내에 2, 4, 6, $8\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 수준으로 처리한 후 그 효과를 평가하고자 하였다. Table 2와 같이 대부분의 허브에서 $4\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리 시 지상부 생체중이 증가하였으며, 민트(field-mint)의 경우 $8\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리까지 생체중이 증가하였다. 셀레늄 처리 후 축적량을 비교해 보면, 바실(basil: $4.3 - 865.8\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW), 민트(field-mint: $24.9 - 1191.8\mu\text{g Se} \cdot$

kg^{-1} FW), 밤(balm: $0.3 - 512.7\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW), 고수(coriander: $74 - 769\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW) 등이 오레가노(oregano: $0.3 - 362.8\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW)와 방아(Korean-mint: $58 - 187\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW)보다 상대적으로 높았으며, 방아와 오레가노는 $8\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 오히려 셀레늄 축적량이 감소하는 결과를 나타내었다(Table 3). 농업작물에서 보통 셀레늄의 함량은 건물량을 기준으로 $1\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하이며, 이보다 약간 많은 함량에서도 가축과 사람에게 과잉증을 유발하지는 않는다고 한다(Lauchli, 1993). 또한, Yuzo 등(1998)도 유아용 유제품에 함유된 셀레늄 양이 일본의 경우 약 $6.6\mu\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$, 한국은 약 $8.1\mu\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 보고한 바 있어, 향신채로서 사용되는 허브의 경우, 본 연구(Table 3)와 같이 $2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이하의 농도로 4주간 처리 시 셀레늄 축적량은 사람이 섭취할 경우 과잉증을 보이지 않는 범위로 판단된다.

한편, 수경재배를 통하여 셀레늄을 처리하지 않은 대조구에서 $0.28 - 74\mu\text{g Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW의 셀레늄이 측정된 것은 육묘를 위하여 사용한 피트모스 자체에 셀레늄이 함유되어 있어 이를 흡수한 것으로 사료된다.

식물체들은 셀레늄 축적종과 셀레늄 비축적종으로 나눌 수 있는데(Lauchli, 1993), Park 등(1997)과 Lee와 Park(1998)에 의하면, 일반적인 채소류에 Na_2SeO_4 를 $6\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 농도로 처리할 경우, 생육이 상당히 저해된다고 하였다. 본 연구에서의 허브류는 $8\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이상의 농도에서 생육이 저해된 고수를 제외하고는 별다른 외형적인 과잉증을 보이지 않아, 허브류가 일반 채소류에 비하여 셀레늄 축적량이 높음을 알 수 있었다. 또한, 이 결과로 보아 허브류의 분석을 통하여 토양 내 셀레늄 함유량을 유추하는데 도움을 줄 수 있으리라 사료된다.

Table 2. Changes of shoot fresh weight ($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$) in several herbs by Se treatments in nutrient solution.

Herb Na_2SeO_4 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Balm	Basil	Coriander	Field-mint	Korean-mint	Oregano
0 ^z	601.2 c ^y	164.1 b	71.8 a	651.1 b	63.9 d	71.9 b
2	628.2 a	184.8 b	72.8 a	734.3 b	85.1 c	76.7 ab
4	675.1 a	222.0 a	73.1 a	876.1 a	124.5 a	87.1 a
6	596.4 c	190.8 b	66.8 a	922.5 a	97.2 b	77.0 ab
8	566.3 d	169.0 b	46.8 b	913.0 ab	84.7 c	42.6 c

^zSodium selenate (Na_2SeO_4) concentration in response to 2, 4, 6, and $8\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

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

Table 3. Changes of Se uptake ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW) in several herbs by Se treatments in nutrient solution.

Herb Na_2SeO_4 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Balm	Basil	Coriander	Field-mint	Korean-mint	Oregano
0 ^z	0.3 ± 0.1^y	4.3 ± 0.9	74.0 ± 0.3	24.9 ± 1.4	58.0 ± 9.0	0.3 ± 0.1
2	59.3 ± 8.1	115.7 ± 14.8	226.0 ± 16.2	317.7 ± 9.0	94.7 ± 8.5	7.5 ± 10.4
4	135.1 ± 15.6	339.9 ± 21.1	425.0 ± 25.4	556.7 ± 25.1	187.0 ± 8.0	239.9 ± 23.0
6	324.3 ± 23.3	537.7 ± 38.1	599.0 ± 19.5	919.2 ± 24.7	145.3 ± 6.5	362.8 ± 26.2
8	512.7 ± 26.0	865.8 ± 53.3	769.0 ± 26.7	1191.8 ± 39.7	121.3 ± 10.1	253.6 ± 19.2

^zSee Table 2.

^yAverage of five samples \pm standard error of the mean.

Table 4. Change of essential oil contents (% , w/w, FW) in several herbs by Se treatments in nutrient solution.

Na ₂ SeO ₄ (mg · L ⁻¹) \ Herb	Balm	Basil	Coriander	Field-mint	Korean-mint	Oregano
0 ^z	0.058±0.008 ^y	0.170±0.004	0.012±0.002	0.215±0.009	0.198±0.009	0.060±0.014
2	0.070±0.009	0.376±0.016	0.023±0.001	0.224±0.008	0.249±0.024	0.075±0.004
4	0.185±0.005	0.524±0.004	0.019±0.003	0.210±0.029	0.174±0.014	0.054±0.027
6	0.186±0.002	0.492±0.043	0.014±0.002	0.300±0.021	0.169±0.009	0.092±0.005
8	0.188±0.003	0.525±0.016	0.011±0.002	0.280±0.017	0.164±0.012	0.178±0.002

^zSee Table 2.

^ySee Table 3.

Table 4는 허브류의 정유생성량에 미치는 셀레늄의 처리효과를 보여준다. 바실과 밤의 경우는 셀레늄 처리구(4mg · L⁻¹)에서 정유량이 2배 이상 증가하였고, 고수, 방아, 오레가노는 4mg · L⁻¹ 이상의 Na₂SeO₄ 처리에서 오히려 정유 함량이 감소되었다. 이 결과는 식물체마다 셀레늄이 정유생성량에 미치는 효과가 다름을 나타내며, 셀레늄 처리 시 작물별로 최적 농도실험이 필요함을 의미한다.

허브류에서 정유의 생성 및 축적은 광(Yan과 Craker, 1996), 수분스트레스(Rhizopoulou와 Diamantoglou, 1991), 산화적 스트레스, 효소활성(Snyder 등, 1988) 등에 따라 달라지는데, Levander (1987)는 적정농도의 셀레늄 처리 시에 모든 효소의 활성이 증가하였으며, 과잉의 셀레늄 처리는 산화적 스트레스를 야기한다고 하였다. 따라서, 셀레늄의 처리는 정유생산량에 영향을 미칠 수 있음을 반증한다.

또한, 황이온은 셀레늄이온과 물리적, 화학적 구조가 매우 비슷하여, 식물체의 셀레늄 이온 흡수, 동화, 축적이 황이온의 대사과정과 동일함이 보고된 바 있고, 셀레늄의 식물체 내에서의 독성 유발 중 한 요인이 단백질의 3차구조 변형이 이루어지는 것 때문임이 보고되었다(Lauchli, 1993). 바실의 수경재배 시 황이온의 처리농도가 높아지면 정유 함량이 증가하였다는 보고(Suh와 Park, 1999)가 있었는데, 이는 식물체의 다양한 휘발성 향성분의 전구물질이 thioglucosinolates와 cysteine sulfoxides이며 이들 물질이 황을 포함하기 때문이다. 따라서, 과잉의 셀레늄은 이들 전구물질의 생합성을 저해하거나 비정상적인 황화합물을 축적시켜 오히려 정유의 생성량을 억제한 것으로 판단된다.

본 연구의 정유생성 및 축적량에 미치는 셀레늄의 효과는 좀더 면밀한 분석이 요구되나, 적정량의 셀레늄 처리 시는 흡수된 셀레늄에 의해 활성화되는 효소 및 산화적 스트레스에 의한 정유 함량의 증가가 이루어졌고, 셀레늄의 과잉흡수는 황이온 대사과정의 저해를 통한 정유 생합성 경로의 저해를 유발하여 체내 정유합성을 억제한 것으로 판단된다.

초 록

한국의 세 지역에서 수확한 20가지 허브들의 셀레늄 함량을 분석한 결과, 많은 허브류들에서 셀레늄을 검출할 수 없었다. 안젤리

카(138.4µg Se · kg⁻¹ FW), 카라웨이(167.8µg Se · kg⁻¹ FW), 카모밀(116.6µg Se · kg⁻¹ FW), 마조람(158.7 and 132.6µg Se · kg⁻¹ FW), 그리고 오레가노(62.5µg Se · kg⁻¹ FW)는 다른 작물들에 비해 높은 Se을 함유하고 있었다. 식물체 내 Se 함량은 종, 품종 그리고 지역에 따라 차이가 있었다. 양액 내 Se을 첨가하여 식물체 간 Se 흡수 경향을 조사하였다. Se은 수확 4주 전 배양액 내에 sodium selenate(Na₂SeO₄) 형태로 각각 2, 4, 6, and 8 mg · L⁻¹의 농도로 처리하였다. Field-mint의 경우가 가장 많은 Se를 흡수하였고 외관상 Se의 독성도 나타나지 않았다. 허브의 정유 함량도 Se에 의해 증가하는 경향을 보였다. Basil과 balm은 Se 처리효과가 컸으며 무처리구에 비해 처리구에서 2-3배나 정유 함량이 증가하였다. 그러나 정유 함량이 배양액 내 Se농도에 따라 계속적으로 증가하지는 않았다.

추가 주요어 : 바실, 고수, 필드민트, 수경재배, 셀레네이트

인용문헌

- 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.
- Benoit, F. and N. Ceusternans. 1994. Hydroponic culture kitchen herbs. ISHS-Symposium on growing media and plant nutrition in horticulture. Glasshouse Crops Research Station, The Netherlands.
- 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. p. 28-31.
- Lauchli, A. 1993. Selenium in plants: uptake, functions, and environmental toxicity. Bot. Acta. 106:455-468.
- Lee, G.P. 1999. The highly functional leafy vegetables and their physiological mechanism by selenium and germanium in hydroponics. Ph. D. Thesis, Korea University.
- Lee, G.P. and K.W. Park. 1998. Effect of selenium concentration in the nutrient solution on the growth and internal quality of

- endive. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:391-396.
- Letchamo, W., H.L. Xu, and A. Gosselin. 1995. Variations in photosynthesis and essential oil in thyme. J. Plant Physiol. 147: 29-37.
- Levander, O.A. 1987. Selenium. In W. Mertz (ed.) Trace elements in human and animal nutrition. Vol. 2. 5th ed. Academic Press, New York. p. 209-280.
- Mattsson, A. 1982. Selenium in animal husbandry in Scandinavia. Feedstuffs 54:21-23.
- Mikkelsen, R.L., A.L. Page, and F.T. Bingham. 1989. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. In L.W. Jacobs (ed.) Selenium in agriculture and the environment. p. 66-94. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- National Research Council (NRC). 1983. (Subcommittee on Selenium; Committee on Animal Nutrition; Board of Agriculture). Selenium in nutrition. National Academy Press, Washington D.C.
- Park, K.W., Y.J. Lee, and J.C. Jeoung. 1997. Effects of selenate ion concentration in nutrient solution on the growth and essential oil content of wormwood (*Artemisia absinthium* L.). J. Bio. Fac. Env. 6:264-269.
- Rhizopoulou, S. and S. Diamantoglou. 1991. Water stress-induced diurnal variations in leaf water relations, stomatal conductance, soluble sugars, lipids and essential oil content of *Origanum majorana* L. J. Hort. Sci. 66:119-125.
- SAS. 1985. SAS/STAT User's Guide, SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina.
- Shrift, A. and J.M. Ulrich. 1969. Transport of selenate and selenite into *Astragalus* roots. Plant Physiol. 44:893-896.
- Snyder, J.M., E.N. Frankel, E. Selke, and K. Warner. 1988. Comparison of gas chromatographic methods for volatile lipid oxidation compounds in soybean oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 65:1617-1620.
- Suh, E.J. and K.W. Park. 1999. Effect of S-ionic strength in nutrient solution on the growth and the content and composition of essential oil of basil. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:193-199.
- 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.
- Whetter, P.A. and D. Ullrey. 1978. Improved fluorometric method for determining selenium. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 61:927-930.
- Yan, L.L. and L.E. Craker. 1996. Effect of light level on essential oil production of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). Acta Hort. 426:419-426.
- Yuzo T., E.S. Kim, and K.H. Lee. 1998. Selenium content of infant formulas and estimated intake of infants in Japan and Korea. J. Food Sci. Nutr. 3:260-266.