

## 토양중 게르마늄 처리농도에 따른 상추 생육 및 게르마늄 흡수

이성태\* · 이영한 · 반경녀<sup>1)</sup> · 서동철<sup>2)</sup> · 허종수<sup>2)</sup>

경상남도농업기술원 식물환경연구과, <sup>1)</sup>부산지방식품의약품안전청, <sup>2)</sup>경상대학교 응용생명과학부  
(2005년 11월 1일 접수, 2005년 12월 26일 수리)

### Growth Characteristics and Germanium Absorption in Lettuce with Different Concentrations of Germanium in Soil

Seong-Tae Lee<sup>\*</sup>, Young-Han Lee, Kyeong-Nyeo Bahn<sup>1)</sup>, Dong-Cheol Seo<sup>2)</sup>, and Jong-Soo Heo<sup>2)</sup> (Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea, <sup>1)</sup>Pusan Regional Food & Drug Administration, Busan 606-081, Korea, <sup>2)</sup>Division of Applied Life Science, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea)

**ABSTRACT:** In order to obtain the basic information for agricultural utilization of Germanium (Ge), the growth characteristics and germanium absorption in lettuce were investigated with different concentration of germanium in soil. This experiment was carried out in the wagner pot (1 5,000<sup>-1</sup>a). Germanium concentrations in soil for lettuce cultivation were maintained at 0.26, 2.0, 4.0, 6.0 and 8.0 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. The content of germanium in lettuce was increased with the increase of germanium concentration in soil. When lettuce was cultivated on soil supplemented with Ge 8.0 mg kg<sup>-1</sup>, germanium phytotoxicity (reduction of plant height, No. of leaf and fresh weight) was not observed. When lettuce was cultivated on soil supplemented with Ge 4.0 and 8.0 mg kg<sup>-1</sup>, its germanium contents were found 0.75 and 1.27 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. Germanium absorption efficiency of lettuce was not different by germanium concentrations in the soil. When lettuce was cultivated on soil supplemented with Ge 2.0, 4.0 and 8.0 mg kg<sup>-1</sup>, its absorption germanium efficiency was found 0.05, 0.04 and 0.03%, respectively. Germanium contents in different parts of lettuce cultivated with Ge 8.0 mg kg<sup>-1</sup> were 0.65 mg kg<sup>-1</sup> on inner leaf and 1.59 mg kg<sup>-1</sup> on outer leaf.

**Key Words:** germanium, lettuce, absorption, phytotoxicity

### 서 론

게르마늄(Germanium)은 무기게르마늄과 유기게르마늄으로 분류할 수 있는데, 무기게르마늄(GeO<sub>2</sub>)은 인체내 유입시 변형, 신기능장애, 근 장애를 유발하는 것으로 알려져 있으나<sup>1,2)</sup>, 유기게르마늄은 항종양 효과<sup>3,4)</sup>, 항돌연변이 효과<sup>5)</sup>, natural killer 세포 및 macrophages의 활성화를 포함하는 면역강화 작용<sup>6)</sup>과 virus 감염의 치료<sup>7)</sup>, 관절염 치료 효과와 같은 항염증 작용<sup>8,9)</sup>, 해열·진통 작용<sup>10,11)</sup>, 중금속 해독작용<sup>12)</sup> 및 운동성 증가<sup>13)</sup> 등의 다양한 약리작용을 가지는 것으로 보고되고 있다. 경남지역의 토양중 게르마늄 함량은 0.24 mg kg<sup>-1</sup>이었으며, 농작물중 게르마늄 자연 함유량은 곡물이 48~68 µg kg<sup>-1</sup>, 엽채류는 36~62 µg kg<sup>-1</sup>, 과채류는 28~37 µg kg<sup>-1</sup>

이었다<sup>14)</sup>. 따라서 토양과 농작물중 게르마늄 자연 함량은 낮아 무기게르마늄을 이용하여 유기게르마늄화 하기 위한 효과적인 농축의 수단으로 다양한 연구들이 수행되었다.

무기게르마늄을 유기게르마늄화하기 위한 수단으로는 미생물, 효모<sup>15-17)</sup>를 이용하기도 하였으며, 몇몇 연구자는 유기게르마늄 함유 식물체를 개발하기 위하여 벼<sup>18)</sup>, 일당귀와 인삼<sup>19)</sup>, 강황<sup>20)</sup>을 이용하기도 하였다. Lee 등<sup>21)</sup>은 토양중 게르마늄 농도를 달리하여 벼를 재배하였을 때 게르마늄 5.0 mg kg<sup>-1</sup> 이상에서는 게르마늄 독성으로 잎에 황색반점이 발생하고 초장, 수장, 수수 및 수량이 급격히 감소하였으며, 벼의 부위별 게르마늄 함량은 벼짚>왕겨>현미 순으로 높았다고 하였다. 최근 게르마늄은 한방, 키토산, 인삼, 칼슘, 녹차, 목초액, 참숯, 백반석 등의 농자재와 함께 기능성 농산물 생산을 위한 자재로 사용되고 있다. 벼, 참외, 단감, 고추, 딸기 등에 게르마늄 농자재를 사용하고 있으나 게르마늄 처리에 따른 작물체내 게르마늄 흡수량과 생육특성 변화에 대한 기본 연구는 미흡한 실정이다.

\*연락처:  
Tel: +82-55-771-6414 Fax: +82-55-771-6419  
E-mail: LST08@gsnd.net

따라서 본 연구는 게르마늄을 토양에 처리하여 작물을 재배하였을 때 작물과 부위에 따라 흡수량에 차이가 있을 것으로 예측되어 자연상태에서 게르마늄 함량이 높은 엽채류인 상추<sup>14)</sup>에 게르마늄을 처리하여 재배하였을 때 상추의 생육 특성 및 게르마늄 흡수 이행성을 분석하여 게르마늄의 농업적 이용에 대한 자료를 제공하고자 실시하였다.

**재료 및 방법**

**게르마늄 처리농도별 상추 포트시험**

게르마늄 처리농도별 포트 시험을 위해 토양중 게르마늄 함량을 0.26(Ge 무처리), 2.0, 4.0, 6.0 및 8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 각각 조절된 4 kg의 토양을 1 5,000<sup>-1</sup> a wagner pot에 충전하였다. 상추의 품종은 불꽃측면상추를 사용하였으며, 잎이 2~3장 전개된 모종을 pot에 이식하였다. 상추 재배를 위한 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 시비는 200-59-128 kg ha<sup>-1</sup>의 비율로 시비하였다. 밀거름과 옷거름 분시비율은 각각 질소와 칼리는 50%, 50%으로 하였고, 인산은 전량 밀거름으로 공급하였으며 관수 및 기타재배는 관행재배에 준하였다.

상추의 게르마늄 처리농도별 시험을 위해 사용한 게르마늄은 이산화게르마늄인 GeO<sub>2</sub>(Kanto chemical Co. Inc., Japan)를 사용하였다. 시험구 배치는 완전임의배치법으로 5반복 실시하였으며, 시험에 사용된 토양의 토성은 미사질양토이고 화학적 성질은 Table 1과 같다.

**상추중 게르마늄 및 일반성분 분석**

상추 식물체 분석용 시료는 80℃에서 10시간 건조 후 분쇄하여 40 mesh 체를 통과시킨 것을 사용하였다. 시료 2 g에 Kim 등이<sup>22)</sup> 인삼의 게르마늄 분석을 위해 사용한 혼합산용액(HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub>: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=10:4:1) 25 ml을 가하여 1일 방치한 후, Hot plate에서 분해하였다. 분해액은 Whatman No. 6 여과지를 사용하여 여과한 후 50 ml로 정용하여 ICP-MS(HP 4500, USA)를 사용하여 게르마늄 함량을 정량하였다. 그 외

식물체 분석을 위해서 시료 0.5 g을 습식분해액(HClO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 2 : 1) 10 ml로 분해시킨 여액을 희석하여 분석하였다. 총 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadomolybdate법으로 발색시켜 Spectrophotometer(Genesys 5, USA)를 사용하여 분석하였고, K, Ca, Mg, Na는 Atomic Absorption Spectrophotometer(Perkin elmer, Analyst 300, USA)를 이용하여 분석하였다.

**상추 아미노산 분석**

상추의 아미노산 분석은 Sparkman 등의 방법<sup>23)</sup>에 따라 시료를 전처리하였다. 즉, 건조한 시료를 막자사발로 아주 미세하게 분말화 한 다음 건조시료 50 mg을 분해용 시험관에 넣고 6N-HCl용액 3 ml을 가하여 질소가스로 10분간 충전하여 산소를 제거한 후, 밀봉하여 110±1℃에서 24시간 가수분해시킨 다음 여과하여 진공농축기로 50℃에서 HCl과 물을 완전히 증발 건조시켰다. 이를 loading buffer(0.2 M sodium citrate buffer, pH 2.2) 5 ml에 녹여 0.22 µm 필터로 여과하여 아미노산 자동분석기(Amino acid autoanalyzer, LKB-4150, England)로 분석하였다.

**결과 및 고찰**

**게르마늄 처리농도별 상추 생육 및 게르마늄 흡수량**

게르마늄을 처리하지 않고 재배한 채소류중 게르마늄 함량이 자연적으로 높은 상추<sup>14)</sup>를 대상으로 게르마늄 처리농도별 흡수 특성을 알아 보고자 게르마늄을 0.26(무처리), 2.0, 4.0, 6.0 및 8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하여 생육 및 게르마늄 함량을 분석하였다. 벼의 경우는 게르마늄 5.0 mg kg<sup>-1</sup> 이상에서 게르마늄 독성으로 엽이 황화되고 생육이 저해되었지만<sup>21)</sup>, 상추는 게르마늄 농도가 8.0 mg kg<sup>-1</sup> 까지 증가 되어도 엽장, 엽폭, 엽수 및 생체중 감소 등의 생육 저해는 나타나지 않아(Table 2) 상추의 경우 게르마늄 독성이 없는 것으로 나타났다. Ma와 Takahashi<sup>24)</sup>는 몇가지 작물을 규산 47 mg L<sup>-1</sup>

**Table 1. Physico-chemical properties of the soil before experiment**

pH (1:5)	O.M. (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex.Cat. (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			Ge (mg kg <sup>-1</sup> )	Particle distribution (%)			Soil texture
			K	Ca	Mg		Sand	Silt	Clay	
6.1	24.7	254	0.35	6.5	1.9	0.26	2.9	86.8	10.3	Silt loam

**Table 2. Growth characteristics of lettuce by different germanium concentration in the soil**

Ge concentration (mg kg <sup>-1</sup> )	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. leaf per plant	Leaf area (cm <sup>2</sup> plant <sup>-1</sup> )	Fresh weight (g pot <sup>-1</sup> )
0.26	18.1	19.0	11.2	1,053	55.8
2.0	19.3	19.2	10.7	1,004	52.5
4.0	19.2	20.2	11.0	1,053	55.2
6.0	19.5	21.2	11.3	1,126	56.3
8.0	19.0	21.9	11.2	1,146	58.2

Table 3. Inorganic components of lettuce by different germanium concentrations in the soil

Ge concentration (mg kg <sup>-1</sup> )	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
	----- (%) -----					
0.26	2.5	0.82	5.84	1.04	0.53	0.56
2.0	2.4	0.74	6.08	1.05	0.60	0.36
4.0	2.4	0.74	6.04	1.13	0.64	0.43
6.0	2.5	0.82	6.23	1.24	0.69	0.54
8.0	2.4	0.84	6.01	1.01	0.63	0.48

Table 4. Germanium efficiency and germanium contents of lettuce by different germanium concentrations in the soil

Ge concentration (mg kg <sup>-1</sup> )	Ge treatment (mg pot <sup>-1</sup> )	Dry weight (g pot <sup>-1</sup> )	Ge content (mg kg <sup>-1</sup> )	Ge absorption (mg pot <sup>-1</sup> )	Ge absorption efficiency (%)
0.26	0	8.4	0.07e <sup>1)</sup>	-	-
2.0	8.0	7.9	0.48d	0.004	0.05
4.0	16.0	8.3	0.75c	0.006	0.04
6.0	24.0	8.5	1.09b	0.009	0.04
8.0	32.0	8.8	1.27a	0.011	0.03

<sup>1)</sup> The same letters are not significantly different at 5% level by DMRT.

과 germanic acid 1~10 mg L<sup>-1</sup>을 함유하는 양액에서 재배하였을 때 게르마늄 처리에 의해 생육에 저해를 받았고 저해 정도는 벼 > 옥수수 > 오이 > 완두콩 > 토마토 > 나팔꽃 순으로 나타났다고 하였으며, 규소는 게르마늄과 비슷한 화학적 성질을 가지고 있어 규산을 많이 함유하는 작물일수록 게르마늄 흡수량도 높다고 하였다.

따라서 규소를 다량 함유하는 식물인 벼의 경우 게르마늄 5.0 mg kg<sup>-1</sup> 처리에서 벼짚중 게르마늄 흡수량이 141.9 mg kg<sup>-1</sup>으로 매우 높아 생육저해가 일어났지만 상추의 경우 토양중 게르마늄 8.0 mg kg<sup>-1</sup> 처리에서도 생육저해가 일어나지 않은 원인은 상추의 게르마늄 흡수량은 1.27 mg kg<sup>-1</sup>으로 낮았기 때문으로 생각된다.

게르마늄 처리농도에 따른 상추의 무기성분 함량을 분석한 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO 및 Na<sub>2</sub>O 함량에 차이는 나타나지 않았다. Matsumoto 등<sup>25)</sup>은 벼 줄기에서 게르마늄 흡수는 주로 단백질이 관여한다고 보고하였으며 벼의 경우는 게르마늄 처리농도가 증가함에 따라 T-N 함량이 증가하는 결과를 보였는데<sup>21)</sup> 이러한 이유는 게르마늄 처리량이 많으면 작물체내 게르마늄 흡수량이 많고 그에 따라 흡수관련 단백질이 많이 생성 되었을 것으로 추정된다. 그러나 상추의 경우 게르마늄 처리량이 많아도 T-N 함량 증가에 크게 영향을 미치지 않았던 것은 벼의 게르마늄 처리농도별 게르마늄 흡수량<sup>21)</sup>에 비해 게르마늄 흡수량이 매우 낮았기 때문으로 생각된다.

게르마늄을 0.26(무처리), 2.0, 4.0, 6.0 및 8.0 mg kg<sup>-1</sup> 농도별로 처리하여 게르마늄 함량과 흡수율을 분석하였다 (Table 4). 토양중 게르마늄 처리농도가 증가할수록 상추의

게르마늄 함량은 증가하였지만 게르마늄 처리농도 증가에 비례하여 함량이 증가하지는 않았다. 게르마늄 2.0 mg kg<sup>-1</sup> 처리시 상추의 게르마늄 함량은 0.48 mg kg<sup>-1</sup> 이었으며, 게르마늄 8.0 mg kg<sup>-1</sup> 처리하였을 때 상추의 게르마늄 함량은 1.27 mg kg<sup>-1</sup> 이었다. 게르마늄을 2.0~8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하였을 때 게르마늄 흡수율은 0.03~0.05%로 처리별 차이는 나타나지 않았다. 벼의 경우 게르마늄을 5.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하였을 때 흡수율은 12.5% 이었으나<sup>21)</sup> 상추의 게르마늄 흡수율이 매우 낮은 원인은 벼에 비해 단위 면적당 건물중이 적을 뿐만 아니라 게르마늄 함량도 낮았기 때문이었다.

토양중 게르마늄을 8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하여 재배한 상추를 내부엽과 외부엽으로 구분하여 부위별 게르마늄 함량을 분석하였다(Table 5). 내부엽 및 외부엽의 게르마늄 함량은 각각 0.65 및 1.59 mg kg<sup>-1</sup>으로 외부엽에서 함량이 높았다. 따라서 상추의 경우 게르마늄 함량이 높은 부위를 이용하고자 한다면 외부엽을 이용하는 것이 효과적인 것으로 생각된다.

Matsumoto 등<sup>25)</sup>은 작물의 게르마늄 흡수에 주로 단백질이 관여한다고 보고 하였기에 게르마늄 처리농도별 상추의 게르마늄 흡수량에 따른 아미노산 함량을 분석하여 비교하였다. 벼의 경우 게르마늄 처리농도가 증가함에 따라 쌀중의 아미노산 함량은 Asx., Thr., Ser. 등 대부분이 증가하고 총 아

Table 5. Germanium contents by different parts of lettuce cultivated in the soil treated with Ge 8.0 mg kg<sup>-1</sup>

Inner leaf (mg kg <sup>-1</sup> )	Outer leaf (mg kg <sup>-1</sup> )
0.65	1.59

**Table 6. Amino acid compositions of lettuce by different germanium concentrations in the soil (Unit : mg g<sup>-1</sup>)**

Amino acid	Concentration of Ge treated in the soil (mg kg <sup>-1</sup> )			
	0.26	2.0	4.0	8.0
Asx. <sup>1)</sup>	15.6	16.2	15.3	15.3
Thr.	11.5	12.5	11.3	11.7
Ser.	7.8	8.0	7.1	7.9
Glx. <sup>2)</sup>	21.1	22.4	20.4	23.2
Pro.	13.1	14.4	13.4	13.3
Gly.	6.7	8.5	7.2	7.3
Ala.	17.5	18.0	17.5	17.4
Val.	15.5	16.4	15.6	15.2
Cys.	0.2	0.2	0.3	0.2
Met.	1.8	1.2	1.4	1.6
Ile.	11.7	12.4	11.4	11.4
Leu.	18.7	20.1	18.2	18.5
Tyr.	5.1	4.4	4.1	4.6
Phe.	8.7	9.5	8.4	8.8
Lys.	6.4	8.4	7.0	7.2
His.	2.9	3.3	3.0	3.1
Arg.	12.3	12.9	11.9	11.9
Total	176.9	190.8	177.5	186.6

<sup>1)</sup> Asx : Asp.+Asn., <sup>2)</sup> Glx. : Glu.+ Gln.

미노산 함량도 증가 된다고 하였다<sup>21)</sup>. 반면, 상추의 경우는 Table 6에서 보는 바와 같이 게르마늄 처리농도에 따라 대부분 아미노산이 약간 증가하거나 차이가 없었으며, 총 아미노산 함량에도 차이가 없는 것으로 나타났다. 토양중 게르마늄 2.0, 4.0 및 8.0 mg kg<sup>-1</sup> 처리하였을 때 상추의 총 아미노산 함량은 각각 190.8, 177.5 및 186.6 mg g<sup>-1</sup> 이었다.

### 요 약

게르마늄의 약리효능이 알려짐에 따라 게르마늄이 강화된 기능성 농산물의 요구도가 높아지는 추세이다. 본 연구는 게르마늄의 농업적 이용에 대한 자료를 제공하고자 실시하였으며, 상추의 생육 및 게르마늄 흡수에 미치는 게르마늄 처리효과를 다음과 같다.

상추 포트 시험으로 토양내 게르마늄 함량을 0.26(Ge 무처리), 2.0, 4.0, 6.0 및 8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 각각 조절하여 상추를 포트시험 재배한 후 상추중의 게르마늄 함량을 분석한 결과, 게르마늄 처리농도가 증가할수록 게르마늄 함량이 증가하였으나 게르마늄 처리농도가 증가할수록 흡수율은 증가하지 않았다. 게르마늄 처리농도 8.0 mg kg<sup>-1</sup> 이상에서도 초장, 엽수, 생체중 감소 등의 게르마늄 독성은 나타나지 않았다.

게르마늄을 4.0과 8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하였을 때 게르마늄 함량은 각각 0.75 와 1.27 mg kg<sup>-1</sup> 이었다. 게르마늄을 2.0, 4.0 및 8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하였을 때 게르마늄 흡수율은 각각 0.05, 0.04 및 0.03% 로서 게르마늄 처리농도에 따른 게르마늄 흡수율의 차이는 나타나지 않았다. 게르마늄을 8.0 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하였을 때 내부엽과 외부엽의 게르마늄 함량은 각각 0.65 및 1.59 mg kg<sup>-1</sup>으로 외부엽에서 함량이 높았다. 게르마늄 처리농도 증가에 따라 상추내 대부분의 아미노산 함량은 약간 증가하거나 차이가 없었으며, 총 아미노산 함량에도 차이가 없는 것으로 나타났다. 토양중 게르마늄 2.0, 4.0 및 8.0 mg kg<sup>-1</sup> 처리하였을 때 상추의 총 아미노산 함량은 각각 190.8, 177.5 및 186.6 mg g<sup>-1</sup> 이었다.

### 참고문헌

1. Obara, K., Saito, T., Sato, H., Yamakage, K., Watanabe, T., Kakizawa, M., Tsukamoto, T., Kobayashi, K., Hongo, M., and Yoshinaga, K. (1991) Germanium poisoning; clinical symptoms and renal damage caused by long-term intake of germanium. *Japanese Journal of Medicin.* 30(1), 67-72.
2. Iijima, M., Mugishima, M., Takeuchi, M., Uchiyama, S., Kobayashi, I., and Maruyama, S. (1990) A case of inorganic germanium poisoning with peripheral and cranial nephropathy. *Myopathy and autonomic dysfunction* 42(9), 851-856.
3. Jang, J. J., Cho, K. J., Lee, Y. S., and Bae, J. H. (1991) Modifying responses of allyl sulfide, indole-3-carbinol and germanium in a rat multi-organ carcinogenesis model. *Carcinogenesis* 12(4), 691-695.
4. Jao, S. W., Lee, W., and Ho, Y. S. (1990) Effect of germanium on 1,2-dimethylhydrazin induced intestinal cancer in rats. *Dis. Colon Rectum.* 33, 99-104.
5. Mochizuki, H. and Kada, T. (1982) Antimutagenic effect of Ge-132 on  $\gamma$ -ray-induced mutation in *Escherchia coli* B/rWP2. *Int. J. Radiat. Biol.*, 42(6), 653-659.
6. Suzuki, F., Brutkiewicz, R. R., and Pollard, R. B. (1986) Cooperation of lymphokine(s) and macrophages in expression of antitumor activity of carboxyethyl-germanium (Ge-132). *Antitumor Res.* 62(2), 177-182.
7. Aso, H., Suzuki, F., Yamaguchi, T., Hayashi, Y., Ebina, T., and Ishida, N. (1985) Induction of interferon and activation of NK cells and macrophages in mice by oral administration of Ge-12, and organic germanium compound. *Microbiol. Immunol.* 29(1), 65-74.
8. Dimartino, M. J. (1986) Antiarthritic and immuno-

- regulatory activity of spirogermanium. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 236(1), 103-110.
9. Sasaki, K., Ishikawa, M., Monma, K., and Takayanagi, G. (1984) Effect of carboxyethylgermanium sesquioxide (Ge-132) on the acute inflammation and CCl<sub>4</sub> induced hepatic damage in mice. *Pharmacometrics* 27(6), 1119-1131.
  10. Kumano, N., Nakai, Y., Ishikawa, T., Koinumaru, S., Suzuki, S., and Konno, K. (1978) Effect of carboxyethylgermanium sesquioxide in the methylcholathrene induced tumorigenesis. *Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ.* 25, 89-95.
  11. Suzuki, Y. and Taguchi, K. (1983) Pharmacological studies of carboxyethyl germanium sesquioxide (Ge-132). *Pharmacometrics* 26(5), 803-810.
  12. Lee, H. M. and Chung, Y. (1991) Effect of organic germanium on metallothionein induction in liver and kidney of cadmium and mercury intoxicated rats. *Kor. Yakhak Hoeji* 35(2), 99-110.
  13. Ho, C. C., Cherm, Y. F., and Lin, M. T. (1990) Effects of organogermanium compound 2-carboxyethylgermanium sesquioxide on cardiovascular function motor activity in rats. *Pharmacology* 41, 286-291.
  14. Lee, S. T., Lee, Y. H., Lee, H. J. Cho, J. S., and Heo, J. S. (2005) Germanium contents of soil and crops in Gyeongnam province. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 24(1), 34-39.
  15. Kehlbeck, H. (1983) New germanium containing yeast for medicinal and veterinary use. *Deutsch Patent DE.* 3345211
  16. Nobohiro, W., Osamu, I., Dakuro, K., and Koichi, Y. (1980) New approaches to using spent brewer's yeast. *ASBC Journal* 38, 5.
  17. Wei, X. S. (1992) Effect of yeast on bioenrichment of germanium. *Food Science* 149, 49-54.
  18. Lee, J. H. and Namkoong, S. B. (1997) Effect of germanium treatment on absorption of mineral element in rice seedling. *J. Life Sci. & Nat. Res. Wonkwang Univ.* 20, 27-34.
  19. Lee, M. S., Lee, J. H., Kwon, T. O., and Namkoong, S. B. (1994) Increment of germanium contents in *Angelica keiskei* Koidz and *Panax ginseng* G.A. Meyer by In Vitro propagation. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 3(3), 251-258.
  20. Park, B. W., Lee, J. H., and Kwon, T. O. (1996) Effects of GeO<sub>2</sub> and citric acid on germanium content of callus and plant in *Angelica koreana* MAX. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 4(2), 101-108.
  21. Lee, S. T., Lee, Y. H., Choi, Y. J., Lee, S. D., Lee C. H., and Heo, J. S. (2005) Growth characteristics and germanium absorption of rice plant with different germanium concentrations in soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 24(1), 40-44.
  22. Kim, S. T., Lee, J. W., Choi, B. S., and Lee, B. J. (1988) Determination of germanium in ginseng radix by hydride generation inductively coupled plasma spectrometry. *J. of Kor. Soc. of Analytical Science* 2(2) : 203-209.
  23. Sparkman, D. H., Stein, W. H., and Moore. S. (1958) Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. *Anal. Chem.* 30, 1190-1197.
  24. Ma. F. J. and Takahashi. E. (2002) *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan.*
  25. Matsumoto, H., Syo, S., and Takahashi, E. (1975) Translocation and some forms of germanium in rice plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21, 273-279.