

게르마늄 처리 토양에서 미나리 생육 특성과 게르마늄 흡수

이성태* · 이영한 · 허재영 · 홍광표 · Randy A. Dahlgren¹⁾ · 허종수²⁾

경상남도농업기술원 식물환경연구과, ¹⁾Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis,

²⁾경상대학교 응용생명과학부

(2008년 4월 8일 접수, 2008년 6월 23일 수리)

The Growth Characteristics and Germanium Uptake by Water Celery in Soil Treated with Germanium

Seong-Tae Lee*, Young-Han Lee, Jae-Young Heo, Kwang-Pyo Hong, Randy A. Dahlgren¹⁾, and Jong-Soo Heo²⁾
(Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-951, Korea, ¹⁾Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, CA 95616, U.S.A., ²⁾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 the germanium uptake by water celery were investigated at different concentration of germanium in soil. This experiment was carried out in the Wagner pot (1 5,000⁻¹a). Germanium concentrations in soil for water celery cultivation were maintained at 0.26, 25.0, 62.5, and 125.0 mg kg⁻¹, respectively. The treatment of over Ge 25.0 mg kg⁻¹ in the soil led to germanium phytotoxicity such as reduction of plant height and fresh weight. The contents of germanium in water celery were increased with the increase of germanium concentration in the soil. When water celery was cultivated from soil maintained with Ge 25.0 and 62.5 mg kg⁻¹, its germanium contents in plant were 89.9 and 371.6 mg kg⁻¹, respectively. Then, the efficiency of germanium uptake of water celery in Ge 25.0 and 62.5 mg kg⁻¹ maintained plots was 1.7 and 2.4%, respectively. When water celery was cultivated from soil maintained with Ge 25.0, 62.5 and 125.0 mg kg⁻¹, its content of amino acid was found to be 89.8, 198.4, and 318.2 mg g⁻¹, respectively. To investigate the effect of N fertilizer application in uptake of germanium by water celery, these were treated with nontreatment, 1.0, 1.5 and 2.0 times of N application based on soil testing for cultivation of water celery. However, the amount of the N fertilizer application did not affect the contents of germanium in the water celery. When water celery was cultivated from soil maintained with two kinds of inorganic and organic germanium 50 mg kg⁻¹, respectively, the content of germanium were 24.2 mg kg⁻¹ in the Ge-132 treatment and 11.8 mg kg⁻¹ in the GeO₂ treatment.

Key Words: germanium, water celery, absorption, phytotoxicity

서 론

게르마늄(Germanium)은 무기게르마늄과 유기게르마늄으로 분류할 수 있는데, 무기게르마늄(GeO₂)은 인체내 유입시 빈혈, 신기능장해, 근 장애를 유발하는 것으로 알려져 있으나^{1,2)}, 유기게르마늄은 항종양 효과^{3,4)}, 항돌연변이 효과⁵⁾, natural killer 세포 및 macrophages의 활성화를 포함하는 면역강화 작용⁶⁾과 virus 감염의 치료⁷⁾, 관절염 치료 효과와

같은 항염증 작용^{8,9)}, 해열·진통 작용¹⁰⁾, 중금속 해독작용¹¹⁾ 및 운동성 증가¹²⁾ 등의 다양한 약리작용을 가지는 것으로 보고되고 있다.

게르마늄은 지각중에 보통 1.0~1.7 mg kg⁻¹ 범위 정도인 것으로 알려져 있다¹³⁾. 일반 농경지 토양중에는 게르마늄 함량이 낮아 무기게르마늄을 이용하여 유기게르마늄화 하기 위한 효과적인 농축의 수단으로 다양한 연구들이 수행되었다. 무기게르마늄을 유기게르마늄화하기 위한 수단으로는 미생물, 효모¹⁴⁻¹⁶⁾를 이용하기도 하였으며, 몇몇 연구자는 유기게르마늄 함유 식물체를 개발하기 위하여 벼¹⁷⁾, 상추¹⁸⁾, 일당귀와 인삼¹⁹⁾, 강활²⁰⁾을 대상으로 시도하였다. 벼의 경우 Dakley

*연락처:

Tel: +82-55-771-6414 Fax: +82-55-771-6419

E-mail: LST08@gsnd.net

and Volcani²¹⁾은 게르마늄 처리시 식물독성으로 인해 벼의 생육이 억제되고 황화현상이 나타난다고 하였다. 또 Lee 등²²⁾은 토양중 게르마늄 농도를 달리하여 벼를 재배하였을 때 게르마늄 5.0 mg kg⁻¹ 이상에서는 게르마늄 독성으로 잎에 황색반점이 발생하고 간장, 수장, 수수 및 수량이 급격히 감소하였으며, 벼의 부위별 게르마늄 함량은 벧짚 > 왕겨 > 현미 순으로 높았다고 하였다. 반면 상추의 경우 토양중 게르마늄 농도를 0.26~8.0 mg kg⁻¹으로 달리하여 재배하였을 때 상추 식물체내 게르마늄 함량은 게르마늄 처리농도에 비례하여 많았으나 상추의 생육량은 차이가 없는 것으로 조사되었다¹⁸⁾. 게르마늄은 최근 한방, 키토산, 인삼, 갈슘, 녹차, 목초액, 참숯, 맥반석 등의 농자재와 함께 기능성 농산물 생산을 위한 자재로 널리 사용되고 있으나 게르마늄 처리에 따른 작물체내 게르마늄 흡수량과 생육특성 변화에 대한 기본 연구는 미흡한 실정이다.

최근 게르마늄 함유 기능성농산물 생산을 위해 벼, 딸기, 토마토, 배, 미나리 등이 이용되고 있는데, 본 연구는 이중에서 수생식물인 미나리에 게르마늄 농도를 달리하여 토양에 처리하고 재배하였을 때 미나리의 생육 특성 및 게르마늄 흡수 이행성을 분석하였다. 그리고 게르마늄을 같은 농도로 토양에 처리한 후 질소공급량 및 게르마늄 종류를 달리하였을 때 미나리의 게르마늄 흡수량을 분석하여 게르마늄의 농업적 이용에 대한 자료를 제공하고자 시험하였다.

재료 및 방법

시험토양 분석

시험에 사용된 토양은 sand 2.9%, silt 86.8% 그리고 clay 10.3%인 미사질양토를 사용하였다. pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 초자전극법으로 측정하였으며, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온 Ca, Mg, K는 1N-NH₄OAc(pH 7.0)으로 침출하여 원자흡광분광광도계로 분석하였다²³⁾. 게르마늄은 0.1N-HCl 침출액을 사용하여 30°C에서 1시간 동안 진탕침출하여 여과한 후 ICP-MS(HP 4500, USA)를 사용하여 분석하였으며, 유효규산은 1N-NaOAc(pH 4.0)으로 침출하여 분광광도계로 분석하였다.

게르마늄 처리농도별 미나리 재배

토양중 게르마늄 처리농도별 미나리의 생육특성과 게르마늄 흡수량 시험을 위해 사용한 게르마늄은 무기게르마늄으로서 이산화게르마늄(GeO₂, Kanto Chemical Co. Inc., Japan)을 사용하였다. 처리는 게르마늄 무처리(실제 Ge 0.26 mg kg⁻¹

함유), 25.0, 62.5 및 125.0 mg kg⁻¹으로 각각 조절된 4 kg의 토양을 1 5,000⁻¹ a(Wagner pot)에 충전하여 미나리를 이식하였다. 시험에 사용된 미나리는 경상남도 의령군 가례면에 소재한 농가가 재배하고 있는 미나리 묘를 채취하여 영양번식 시켜가면서 실험할 시기에 줄기 시작 부위로 부터 위로 3마디를 잘라 pot에 이식하여 재배하였다. 시비량은 밭미나리 표준시비량에 따라 N-P₂O₅-K₂O 시비를 62-65-48 kg ha⁻¹의 비율로 시비하였다. 밀거름과 웃거름의 분시비율은 질소와 칼리를 각각 50 : 50으로 하였고, 인산은 전량 밀거름으로 공급하였으며 관수 및 기타재배는 관행재배법에 준하였다. 시험구는 완전임의배치법으로 5반복 실시하였다.

미나리 게르마늄 분석

게르마늄 분석을 위한 미나리 시료는 80°C에서 10시간 건조 후 분쇄하여 40 mesh 체를 통과시킨 것을 사용하였다. 식물체 분해 및 분석방법은 Kim 등이²⁴⁾ 인삼의 게르마늄 함량 분석을 위하여 사용한 방법에 준하였다. 분쇄한 시료 2 g을 평량하여 혼합산용액(HNO₃:HClO₄: H₂SO₄=10:4:1) 25 ml을 가하고 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.

미나리 아미노산 분석

미나리의 아미노산 분석은 Sparkman 등의 방법²⁵⁾에 따라 시료를 전처리하였다. 즉, 건조한 시료를 막자사발로 아주 미세하게 분말화 한 다음 건조시료 50 mg을 분해용 시험관에 넣고 6N-HCl 용액 3 ml을 가하여 질소가스로 10분간 충전하여 산소를 제거한 후, 밀봉하여 110±1°C에서 24시간 가수 분해시킨 다음 여과하여 진공농축기로 50°C에서 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.

질소시비량별 미나리 게르마늄 흡수

질소시비량별 미나리의 게르마늄 흡수량 시험을 위해 사용한 게르마늄은 무기게르마늄인 이산화게르마늄(GeO₂)을 사용하였으며, 게르마늄 농도가 50 mg kg⁻¹으로 각각 조절된 4 kg의 토양을 1 5,000⁻¹ a(Wagner pot)에 충전하여 미나리를 이식하였다. 이 시험에서 질소비료 이외의 인산과 칼리 성분들은 pot에 같은 조건으로 사용하고 질소시비량만 달

Table 1. The physico-chemical properties of the soil before experiment

pH (1:5)	O.M. (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cat.(cmolc kg ⁻¹)			Ge (mg kg ⁻¹)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Particle distribution(%)			Soil texture
			K	Ca	Mg			Sand	Silt	Clay	
6.1	24.7	254	0.35	6.5	1.9	0.26	112	2.9	86.8	10.3	Silt loam

리하여 처리하였다. 미나리 재배를 위한 질소시비량별 처리는 무질소, 토양검정에 의한 질소시비량, 토양검정에 의한 질소시비량의 1.5 및 2.0배 처리구로 하였다. 토양검정에 의한 시비량의 경우 N-P₂O₅-K₂O 시비를 57-60-47 kg ha⁻¹으로 시비하였다. 밀거름과 웃거름의 분시비율은 질소와 칼리를 각각 50 : 50으로 하였고, 인산은 전량 밀거름으로 공급하였으며, 재배조건은 일반재배법에 준하였다.

게르마늄 종류별 미나리 게르마늄 흡수

게르마늄 종류별 미나리의 게르마늄 흡수량을 위해 2종의 무기게르마늄과 1종의 유기게르마늄을 사용하였다. 무기게르마늄으로서는 이산화게르마늄인 GeO₂(Kanto Chemical Co. Inc., Japan)와 Ge 표준용액으로 사용하는 Ge(Kanto Chemical Co. Inc., Japan)를 사용하였으며, 유기게르마늄은 Ge-132[2-Carboxyethylgermanium sesquioxide(GeCH₂CH₂COOH)₂O₃, (Sigma Chemical Co., USA)]를 사용하였다. 각 처리별 게르마늄 농도는 질소시비량별 미나리 게르마늄 흡수 시험에서와 같이 토양에 게르마늄을 각각 50 mg kg⁻¹으로 처리하였으며, 재배조건은 일반재배법에 준하였다.

결과 및 고찰

게르마늄 처리농도별 미나리 생육특성 및 게르마늄 흡수량

수생식물인 미나리를 대상으로 하여 토양중 게르마늄 처리농도를 0.26(Ge 무처리), 25.0, 62.5 및 125.0 mg kg⁻¹으로 처리하여 미나리의 생육 및 게르마늄 흡수특성을 조사하였다. 게르마늄 처리농도가 높을수록 미나리의 초장이 짧아졌으며, pot당 미나리의 생체중을 조사한 결과 게르마늄 무

처리시 94 g이었던 것이 게르마늄 125.0 mg kg⁻¹ 처리에서는 64 g으로 생육이 저조하였다(Table 2). 게르마늄 흡수율을 분석한 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 25.0, 62.5 및 125.0 mg kg⁻¹에서 흡수율은 각각 1.7, 2.4 및 1.6%으로 게르마늄 62.5 mg kg⁻¹ 처리시 게르마늄 흡수율은 가장 높았다. 벼의 경우²²⁾ 토양에 처리한 게르마늄의 흡수율은 Ge 7.5 mg kg⁻¹ 처리에서 7.5 %인 반면 미나리의 경우는 게르마늄 처리량이 많은데도 불구하고 흡수율은 낮았다. Datnoff²⁶⁾ 등은 Si와 Ge은 식물체 흡수에 유사성이 많으며, 규소함량이 많은 작물이 게르마늄 함량도 높다고 하였는데 이러한 이유 때문에 규소를 다량 흡수하는 벼가 미나리보다 게르마늄 흡수율이 높은 것으로 추측된다.

게르마늄 처리농도별 미나리 아미노산 함량

Matsumoto 등²⁷⁾은 작물의 게르마늄 흡수량을 증대 시키는데 주로 단백질이 관여한다. 따라서 본 연구에서는 게르마늄 처리농도별 미나리의 아미노산 함량을 분석하여 비교하였다. 게르마늄 25.0, 62.5 및 125.0 mg kg⁻¹ 처리시 총 아미노산 함량은 각각 89.8, 198.4 및 318.2 mg g⁻¹으로 게르마늄 처리에 따라 증가하였고, 특히, Asx.(Asp.+Asn), Ser., Glx.(Glu.+Gln.), Leu.의 함량 증가가 뚜렷하였다(Table 4). 이는 Lee²²⁾ 등이 연구한 벼에서 게르마늄 처리에 따른 아미노산 함량 증가와 같은 경향이였다.

질소이용 수준별 미나리의 게르마늄 흡수

Kim²⁸⁾ 등은 질소와 유황의 사용량이 증가할수록 조단백질 함량 및 황함유아미노산(cystine, methionine) 함량이 증가하였다고 하였다. 따라서 질소비료 사용량을 증가시키면

Table 2. The growth characteristics of water celery from different germanium concentrations in soil

Ge treatment (mg kg ⁻¹)	Plant height (cm)	Fresh weight (g pot ⁻¹)	Yield index
0.26	38.3	94a ^{¶)}	100
25.0	37.0	82b	87
62.5	30.2	71c	76
125.0	27.4	64d	68

^{¶)} The same letters within columns were not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 3. The germanium efficiency and germanium contents of water celery from different germanium concentrations in soil

Ge treatment (mg kg ⁻¹)	Ge treatment (mg pot ⁻¹)	Dry weight (g pot ⁻¹)	Ge content (mg kg ⁻¹)	Ge uptake (mg pot ⁻¹)	Efficiency of Ge uptake (%)
0.26	1.0	21.6	0.05d ^{¶)}	0.001	0.1
25.0	100	18.9	89.9c	1.70	1.7
62.5	250	16.3	371.6b	6.05	2.4
125.0	500	14.7	541.4a	7.96	1.6

^{¶)} The same letters within columns were not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 4. The amino acid compositions of water celery from different germanium concentrations in soil
(Unit : mg g⁻¹)

Amino acid	Concentration of Ge treated(mg kg ⁻¹)			
	0.26	25.0	62.5	125.0
Asx. ^{¶)}	9.4	14.8	33.8	48.6
Thr.	4.4	4.2	7.6	20.2
Ser.	5.0	5.2	16.2	22.2
Glx. ^{†)}	10.6	17.0	57.6	68.0
Pro.	2.4	2.4	2.4	2.4
Gly.	4.8	5.0	11.6	21.0
Ala.	5.6	6.2	9.6	25.0
Cys.	1.0	0.8	1.0	1.8
Val.	5.4	8.0	14.4	19.0
Met.	0.2	0.2	0.4	0.2
Ile.	3.4	3.6	5.6	9.4
Leu.	6.6	6.4	12.8	28.4
Tyr.	2.8	3.2	5.6	8.6
Phe.	3.4	3.2	5.2	9.8
Lys.	1.2	1.2	2.4	3.8
His.	4.2	4.4	6.8	20.4
Arg.	4.0	4.0	5.4	9.4
Total	74.4	89.8	198.4	318.2

¶) Asx : Asp.+Asn., †) Glx. : Glu.+ Gln.

Table 5. The growth characteristics and germanium contents of water celery from different nitrogen fertilizer levels in soil treated with Ge 50 mg kg⁻¹

Nitrogen level	Plant height (cm)	Fresh weight (g pot ⁻¹)	Dry weight (g pot ⁻¹)	Ge content (mg kg ⁻¹)	Ge uptake (mg pot ⁻¹)
0	26.4	43c ^{†)}	7.3	10.8b	0.08b
NAST ^{¶)}	29.3	49b	8.3	11.7a	0.10a
NAST×1.5	30.9	52ab	8.8	11.0b	0.10a
NAST×2.0	32.6	56a	9.5	10.2c	0.10a

¶) NAST : Nitrogen application based on soil testing.

†) The same letters within columns were not significantly different at the 5% level by DMRT.

식물체내 질소 함량이 많게 되고, 질소함량이 많으면 단백질 함량도 증가하여 게르마늄 흡수에 질소시비량이 영향을 미칠 것으로 예측되어 질소시비량에 따른 미나리 생육과 식물체내 게르마늄 함량을 정량하였다. 미나리의 경우 Table 5에서 보는 바와 같이 질소시비량 수준이 증가함에 따라 초장과 생체 중은 증가하였다. 게르마늄 함량은 토양검정에 의한 질소시비량구에서 11.7 mg kg⁻¹으로 가장 높았으나 pot당 게르마늄 흡수량은 질소시비량에 따른 유의성이 없었다. 따라서 미나리의 경우 질소비료 사용량과 게르마늄 흡수량과는 관계가 없는 것으로 나타났다.

게르마늄 종류별 미나리의 게르마늄 흡수

게르마늄 종류별 미나리의 게르마늄 흡수량을 알아보고자 무기게르마늄인 Ge와 GeO₂, 유기게르마늄인 Ge-132를 각각 50 mg kg⁻¹으로 토양에 처리하여 미나리의 게르마늄 함량을 정량하였다. 미나리 생육은 게르마늄 무처리에서 좋았으며, 무기와 유기 게르마늄 종류에 따른 미나리의 생육 차이는 나타나지 않았다. 게르마늄 흡수량은 Ge-132를 처리하였을 때 24.2 mg kg⁻¹으로 가장 높았으며, 다음은 Ge 처리로서 12.9 mg kg⁻¹, GeO₂ 처리에서는 11.8 mg kg⁻¹ 순으로 게르마늄 종류별 미나리의 게르마늄 흡수량에 차이가 있는 것으로 나타났다. Han²⁹⁾ 등은 채소종자의 유묘생장에서 무기와

Table 6. The germanium content and effects of Ge types on growth of water celery

Ge types	Plant height (cm)	Fresh weight (g pot ⁻¹)	Ge content (mg kg ⁻¹)
Non	34.5	64a ^①	0.06d
Ge	29.1	57b	12.9b
GeO ₂	30.2	56b	11.8c
Ge-132	29.4	57b	24.2a

- The concentration of treated Ge : 50 mg kg⁻¹

^① The same letters within columns were not significantly different at the 5% level by DMRT.

유기게르마늄 처리에 의한 게르마늄의 흡수특성을 분석하였는데 유기게르마늄 처리가 무기게르마늄 처리보다 2~4.5배 많이 흡수되었다고 보고하였다. 미나리에서도 유기게르마늄 처리시 2배 정도 높은 흡수량을 보여 엽채류와 비슷한 경향을 보였다.

요 약

게르마늄의 약리효능이 알려짐에 따라 게르마늄이 함유된 기능성 농산물 재배에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다. 본 연구는 게르마늄의 농업적 이용에 대한 기초 자료를 제공하고자 시험하였으며 미나리의 생육 및 게르마늄 흡수 특성을 분석하였다.

게르마늄 처리농도가 증가할수록 초장과 생체중이 감소하여 게르마늄 독성이 나타났다. 게르마늄 25.0 mg kg⁻¹ 이상에서는 생육이 저하됨에 따라 미나리의 정상적인 생육을 위해서는 그 이하 농도로 게르마늄을 처리하여야 할 것으로 생각된다. 게르마늄 농도를 25.0 및 62.5 mg kg⁻¹ 으로 처리하였을 때 게르마늄 함량은 각각 89.9와 371.6 mg kg⁻¹ 이었으며, 흡수율은 각각 1.7 및 2.4 %으로 나타났다. 토양에 게르마늄을 25.0, 62.5 및 125.0 mg kg⁻¹ 으로 처리하였을 때 총 아미노산 함량은 각각 89.8, 198.4 및 318.2 mg g⁻¹ 으로 게르마늄 농도가 높을수록 아미노산 함량이 증가하였고, 특히 Asx.(Asp.+Asn.), Ser., Glx.(Glu.+ Gln.), Leu. 등의 함량 증가가 뚜렷하였다. 토양에 무기게르마늄을 50 mg kg⁻¹ 으로 처리하고 질소시비량을 달리하여 미나리를 재배하였을 때 토양검정에 의한 질소시비량구에서 게르마늄 함량은 11.7 mg kg⁻¹ 으로 가장 높았으나 pot당 흡수량은 질소시비량에 따른 유의성이 없어 질소비료 시용량과 게르마늄 흡수량과는 관계가 없는 것으로 나타났다. 게르마늄 종류를 달리하여 무기와 유기게르마늄을 각각 50 mg kg⁻¹ 으로 토양에 처리하였을 때 게르마늄 흡수량은 유기게르마늄인 Ge-132 처리에서 24.2 mg kg⁻¹ 으로 가장 높았으며, 무기게르마늄인 Ge와 GeO₂ 처리에서는 각각 12.9 및 11.8 mg kg⁻¹ 이었다.

참고문헌

1. Obara, K., Saito, T., Sato, H., Yamakage, K., Wa-

tanabe, 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 γ -ray-induced mutation in *Escherichia 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 interferone 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 immunoregulatory 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 CCl₄ 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. 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.
12. 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.
13. Bernstein, L. R., 1985. Germanium geochemistry and mineralogy, *Geochim. Comochim. Acta* 49, p. 2409-2422.
14. Kehlbeck, H. (1983) New geramanium containing yeast for medicinal and veterinary use. *Deutsch Patent DE.* 3345211.
15. Nobohiro, W., Osamu, I., Dakuro, K. and Koichi, Y. (1980) New approaches to using spent brewer's yeast. *ASBC Journal* 38, 5.
16. Wei, X. S. (1992) Effect of yeast on bioenrichment of germanium. *Food Science* 149, 49-54.
17. 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.
18. Lee, S. T., Lee, Y. H., Bhan, K. N., Seo, D. C. and Heo, J. S. (2005) Growth characteristics and germanium absorption in lettuce with different germanium concentrations of germanium in soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 24(4), 404-408.
19. Lee, M. S., Lee, J. H., Kwon, T. O. and Namkoong, S. B. (1994) Increment of germanium contents in *Angelica keiskie 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 GeO₂ and citric acid on germanium content of callus and plant in *Angelica koreana* MAX. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 4(2), 101-108.
21. Dakley, W. M. and Volcani, B. E. (1969). Role of silicon in diatom metabolism. A silicon requirement for deoxyr- ibonucleic acid synthesis in the diatom *cylindrotheca fusiformis* remann and lewin, *Exptl. Cell. Res.*, 58, 334-339.
22. 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.
23. NIAST. (2000) Methods of soil and crop plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea.
24. 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.
25. 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.
26. Datnoff. L. E., Snyder, G. H. and Korndöref, G. H. (2001) *Silicon in Agriculture.*
27. Matsumoto, H., Syo, S. and Takahashi, E. (1975) Translocation and some forms of germanium in rice plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21, 273-279.
28. Kim, B. J., J. H. Baek and H. Choi. 1997. Effect of nitrogen and sulfur applicantion on yield and concents of amino acid containing sulfur of rice. *Korean J. Soil Science & Fertilizer.* Vol. 30(2) : 122-128.
29. Han, M. J., Kim, S. U., Seo, D. C., Cheong, Y. H., Lee D. J., Park, M. S., Rim, Y S., Sohn, B. K., Heo, J. S. and Cho, J. S. (2007) Uptake properties of germanium to vegetable plants and its effect on seed germination and on early stage growth. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 26(3), 217-222.