

토양중 게르마늄 농도에 따른 벼의 생육 특성 및 게르마늄 흡수

이성태* · 이영한 · 최용조 · 이상대 · 이춘희 · 허종수¹⁾

경상남도농업기술원 식물환경연구과, ¹⁾경상대학교 응용생명과학부

(2005년 3월 7일 접수, 2005년 3월 18일 수리)

Growth Characteristics and Germanium Absorption of Rice Plant with Different Germanium Concentrations in Soil

Seong-Tae Lee, Young-Han Lee, Yong-Jo Choi, Sang-Dae Lee, Chun-Hee Lee and Jong-Soo Heo¹⁾(Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea, ¹⁾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 Ge absorption of rice plant were investigated with different Ge concentration in soil. Ge concentrations were treated with 0, 2.5, 5.0 7.5 and 10.0 mg/kg in pot(1/5,000a), respectively. As higher the Ge concentration in soil, the Ge absorption amount in straw, husk and brown rice were increased. But the yields were decreased with the increase of Ge phytotoxicity. When rice plant was grown more than 2.5 mg/kg Ge(as GeO₂) in the soil, growth was inhibited by germanium phytotoxicity and necrosis spots were observed in the rice leaf blades. Therefore the optimum concentration of Ge was less than 2.5 mg/kg in rice plant. When rice plant was cultivated on soil supplemented with 2.5 mg/kg Ge, Ge content in straw, husk and brown rice was 103.4, 30.2 and 3.02 mg/kg, respectively. The Ge content in plant was high in the order of straw > husk > brown rice. Most of the amino acids in rice were increased with the increase of Ge treatment, besides, total amino acid contents also increased.

Key words: germanium, absorption, rice plant, phytotoxicity.

서 론

게르마늄(Germanium)은 무기게르마늄과 유기게르마늄으로 분류할 수 있는데, 무기게르마늄(GeO₂)은 인체내 유입시 빈혈, 신기능장애, 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 작용^{10, 11)}, 중금속 해독작용¹²⁾ 및 운동성 증가¹³⁾ 등의 다양한 약리작용을 가지는 것으로 보고되고 있다. 게르마늄의 지각중 자연함유량은 보통 1.0~1.7 mg/kg 정도의 낮은 농도로 존재¹⁴⁾하기 때문에 무기게르마늄을 이용하여 유기게르마늄화 하기위한 효과적인 농축의 수단으로 다양한 연구들이 수행되었다. 무기게르마늄을 유기게르마늄화하기 위한 수단으로는 미생물, 효모^{15, 16, 17)}, 녹조류 및 규조류를

이용하기도 하였으며, 몇몇 연구자는 유기게르마늄함유 식물체를 개발하기 위하여 벼¹⁸⁾, 일당귀와 인삼¹⁹⁾, 강황²⁰⁾을 이용하기도 하였다. Ma와 Takahashi²¹⁾는 몇 가지 작물을 47 mg/L 규산 과 1~10 mg/L 게르마늄산을 함유하는 양액에서 재배하였을 때 모든 식물은 게르마늄 처리에 의해 생육저해를 받았고 저해 정도는 벼>옥수수, 오이, 완두콩>토마토>나팔꽃 순이었다고 하였다. 벼의 경우 게르마늄에 의한 생육저해가 심했는데 벼 잎에 황색반점이 발생하였다. 게르마늄에 의한 식물독성은 규산공급으로 완화시킬수 있으며, 규산공급량 증가로 식물체내 게르마늄 흡수량은 감소한다고 하였다. 최근 게르마늄은 한방, 키토산, 인삼, 갈슘, 녹차, 목초액, 참숯, 맥반석 등의 농자재와 함께 유기게르마늄이 약리효과를 가진다는 보고로 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 기본연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 기능성 농산물 생산을 위하여 농업에 다양하게 이용되고 있는 게르마늄을 토양에 농도별로 처리하여 벼를 재배하였을 때 벼의 생육 특성 및 게르마늄 흡수량

*연락처:

Tel: +82-55-750-6257 Fax: +82-55-750-6229

E-mail: LST08@mail.kurda.go.kr

을 분석하여 게르마늄의 농업적 이용에 대한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

게르마늄 처리농도별 벼 포트시험

게르마늄에 대한 벼의 생육반응을 조사하기 위하여 토양내 게르마늄 함량을 0(Ge 무처리), 2.5, 5.0, 7.5 및 10.0 mg/kg으로 각각 조절된 4 kg의 토양을 1/5,000a wagner pot에 충전한 후, 초장 18cm인 일미벼의 어린 묘를 6월 7일 포트당 5주씩 이양하였다. 토양내 게르마늄 농도별 처리를 위해 이산화게르마늄인 GeO₂(Kanto Chemical Co. Inc., Japan)를 물에 녹여 사용하였다. 벼 재배를 위한 N-P₂O₅-K₂O 시비는 11.0:4.5-5.7 kg/10a의 비율로 처리하였고 질소와 칼리의 분비 비율은 밀거름, 분얼비, 수비, 실비를 각각 50, 20, 20, 10%로 하였다. 관수 및 기타재배는 관행재배법에 준하였다. 시험에 사용된 토양의 토성은 미사질양토(Table 1)이고 실험은 5반복 완전임의배치법으로 수행하였다.

게르마늄 및 일반성분 분석

벼의 게르마늄 분석은 시료를 80℃에서 건조후 40 mesh로 분쇄한 시료 2g에 Kim 등이²²⁾ 인삼의 게르마늄 분석을 위해 사용한 혼합산용액(HNO₃:HClO₄: H₂SO₄=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 분석은 열풍건조기로 80℃에서 건조하여 40 mesh로 분쇄한 시료 0.5 g을 습식분해액(HClO₄ : H₂SO₄ = 2 : 1) 10ml로 분해시킨 여액을 희석하여 분석하였다. 총 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadomolybdate법으로 발색시켜 Spectrophotometer(Genesys 5, USA)를 사용하여 분석하였고, K, Ca, Mg, Fe, Mn 및 중금속은 Atomic Absorption Spectrophotometer(Perkin elmer, Analyst 300, USA)를 이용하여 분석하였다.

쌀 아미노산 분석

쌀의 아미노산 분석을 위하여 Sparkman 등의 방법²³⁾에 따라 시료를 전처리한 후, 아미노산자동분석기(Amino acid auto-analyzer, LKB-4150, England)로 분석하였으며, 간단한 전처리 순서는 다음과 같다. 건조한 시료를 막자사발로 아주 미세하게 분말화 한 다음 건조시료 50mg을 분해용 시험관에 넣고 6N-HCl용액 3ml을 가하여 질소가스로 10분간 충전하여 산소

를 제거한 후, 밀봉하여 110℃±1℃에서 24시간 가수 분해시킨 다음 여과하여 진공농축기로 50℃에서 HCl과 물을 완전히 증발 건조시켰다. 이를 loading buffer(0.2M sodium citrate buffer, pH 2.2) 5ml에 녹여 0.22 μm 필터로 여과하여 분석하였다.

결과 및 고찰

게르마늄 처리농도별 벼 생육 및 게르마늄 흡수량

게르마늄 처리농도별 벼의 생육 및 게르마늄 흡수량을 알아보기 위하여 토양중 게르마늄을 0, 2.5, 5.0, 7.5 및 10.0 mg/kg으로 포트에 처리하여 생육, 수량 및 식물체내게르마늄 함량을 분석하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 게르마늄 처리농도가 증가할수록 게르마늄 독성의 증가로 초장, 수장 및 수수가 급격히 감소하였다. 이는 게르마늄 독성에 기인하는 현상으로 판단되며, Dakley 등²⁴⁾은 게르마늄 처리시 식물독성으로 인해 벼의 생육이 억제되고 황화현상이 나타난다고 하였다. 수량도 게르마늄 무처리에서는 포트당 18.4g 이었으나 게르마늄 7.5 mg/kg에서는 5.2g으로 급격히 감소되었으며 벼의 생육을 저해하는 게르마늄의 피해 초기 농도는 2.5 mg/kg 수준이었다. 벼에 대한 게르마늄의 전형적인 식물독성 현상은 생육저해(Fig. 1) 및 엽의 갈색 반점형성(Fig. 2)이며 10.0 mg/kg 수준의 게르마늄 처리시에는 수확기에 이삭이 검게 변하며 결실을 이루지 못하였다.

Matsumoto 등²⁵⁾은 엽에서 일어나는 황백화 현상은 Ge-Si와 Ge-C 결합이 Si-Si와 Si-C 결합보다 약하기 때문에 나타나는 세포벽의 손상 때문이라 하였으며, 황백화가 일어나는 식물체 부위에 Ge의 축적이 많았다고 하였다. Datnoff²⁶⁾등은 Si와 Ge은 식물체 흡수에 유사성이 많으며, 규소함량이 많은 작물이 게르마늄 함량도 높았다고 하였다. 또한 게르마늄은 규조류에 있어서는 Si의 대사를 방해하고, 규소를 필요로 하는

Table 2. Growth characteristics of rice plant with different germanium concentrations in soil

Treatment (mg/kg)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. panicle per hill	No. grain per panicle	1,000 grain (g)	Yield (g/pot)	Ge phytotoxicity ^{†)}
Ge 0	66	17.2	14.8	83	24.6	18.4a ^{¶)}	0
Ge 2.5	67	16.3	14.2	77	24.6	14.2b	1
Ge 5.0	57	14.2	10.4	73	23.2	10.5c	2
Ge 7.5	43	11.5	7.8	47	21.9	5.2d	3

¶) The same letters are not significantly different at 5% level by Duncan's Multiple Range Test.

†) Phytotoxicity : 0 - Non damage
 1 - Slightly damage
 2 - Low damage
 3 - Medium damage
 4 - Highly damage
 5 - Completely damage

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment

pH (1:5)	EC (dS/m)	O.M. (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.cat (cmol _c /kg)			Ge (mg/kg)
				K	Ca	Mg	
6.0	0.26	26.9	235	0.26	5.1	1.8	0.26

증식기에 세포의 증식을 늦추는 결과를 나타내었다²⁴⁾. 이러한 이유로 규소를 많이 흡수하는 벼의 경우 본 시험에서도 게르마늄 처리농도가 높을수록 황백화 현상은 심하게 나타났던 것으로 생각된다.

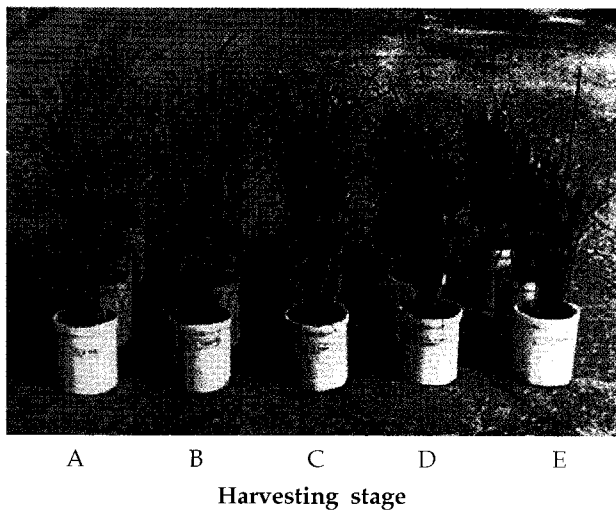
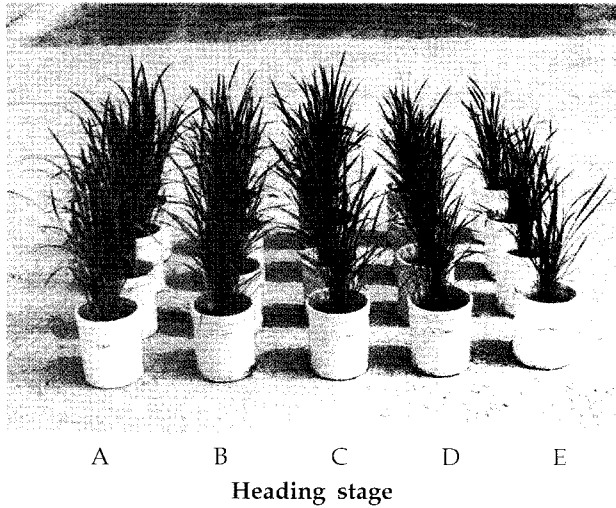
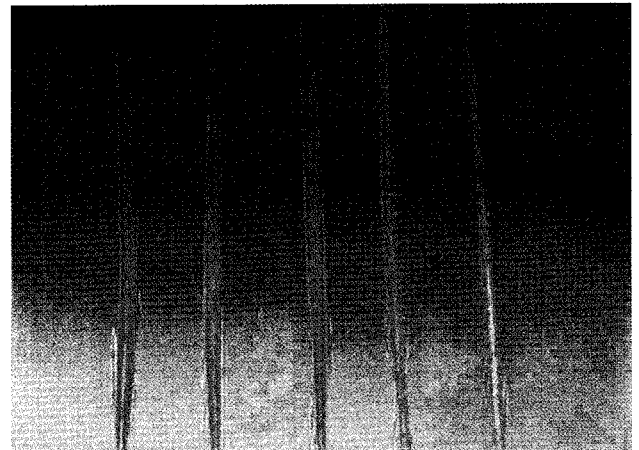


Fig. 1. Comparison of rice plant growth characteristics with different germanium concentrations in soil.

A : Ge 0 mg/kg, B : Ge 2.5 mg/kg, C : Ge 5.0 mg/kg, D : Ge 7.5 mg/kg, E : Ge 10.0 mg/kg



Ge 0 Ge 2.5 Ge 5.0 Ge 7.5 Ge 10.0 mg/kg

Fig. 2. Comparison of rice plant appearance cultivated at the different concentrations of germanium at heading stage.

게르마늄을 무처리, 2.5, 5.0, 7.5 mg/kg으로 처리하였을 때 벼의 부위별 게르마늄 함량을 알아보기 위해 벼짚, 왕겨 및 현미로 구분하여 분석하였다. 게르마늄 처리농도별 부위별 게르마늄 함량은 Table 3에서 보는 바와 같이 게르마늄 처리농도가 증가할수록 벼짚, 왕겨 및 현미 모두 게르마늄 흡수량이 증가하였으며 부위별로는 벼짚>왕겨>현미 순으로 함량이 높았다. Jang과 Park²⁷⁾은 벼에 있어서 Sr-85의 흡수 및 전이에 관한 연구결과, 대부분의 Sr-85는 벼짚과 왕겨에 축적되었고 현미로 전류된량은 약 1.3%에 불과하다고 하였는데, 본 시험에서 흡수된 게르마늄도 대부분 벼짚과 왕겨에 분포하고 현미중 함량은 낮았던 사실을 고려할 때 게르마늄은 스트론튬과 유사한 흡수 및 전이특성을 가지는 것으로 판단되었다. 게르마늄 처리농도가 증가할수록 벼짚, 왕겨 및 현미의 게르마늄 흡수량은 증가하는 경향이었으며, 게르마늄 무처리구의 벼짚, 왕겨, 현미중 게르마늄 함량은 2.9, 3.9, 0.06 mg/kg이었으나 게르마늄 2.5 mg/kg 처리시에는 각각 103.4, 30.2 및 3.02 mg/kg 수준으로 현저히 증가하였다. 토양에 처리한 게르마늄의 벼 이용률은 게르마늄 처리량이 증가할수록 감소하였다. Ge 2.5 mg/kg 처리에서 게르마늄 이용률은 20.7%로서 높았으나, Ge 7.5 mg/kg 처리에서 게르마늄 이용률은 7.5%로서 낮았다.

Table 3. Germanium efficiency and germanium contents of rice plant parts by different germanium concentrations in soil

Treatment (mg/kg)	Yield (g/pot)			Ge content (mg/kg)			Ge absorption (mg/pot)			Ge efficiency (%)
	Rice	Straw	Husk	Rice	Straw	Husk	Rice	Straw	Husk	
Ge 0	18.4a ^{¶)}	21.3a ^{¶)}	4.5a ^{¶)}	0.06d ^{¶)}	2.9d ^{¶)}	3.9d ^{¶)}	-	-	-	-
Ge 2.5	14.2b	18.4b	4.0b	3.02c	103.4c	30.2c	0.043	1.908	0.122	20.7
Ge 5.0	10.5c	15.0c	2.8c	6.15b	141.9b	106.9b	0.064	2.125	0.300	12.5
Ge 7.5	5.2d	8.3d	1.4d	11.48a	230.9a	186.9a	0.090	1.916	0.254	7.5

¶) The same letters are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 4. Amino acid compositions of brown rice with different germanium concentrations in soil (Unit : mg/g)

Amino acid	Concentration of Ge treated (mg/kg)			
	0	2.5	5.0	7.5
Asx. ^{¶)}	7.6	8.6	9.2	9.4
Thr.	3.2	3.8	4.6	4.6
Ser.	4.0	5.0	5.6	5.6
Glx. ^{†)}	10.6	10.8	13.8	14.4
Pro.	3.6	4.0	5.2	5.2
Gly.	3.4	4.4	4.4	4.6
Ala.	5.0	6.0	6.6	6.6
Cys.	1.4	1.6	1.4	1.4
Val.	5.0	5.6	6.2	6.2
Met.	0.4	1.0	0.6	0.4
Ile.	3.4	3.8	4.6	5.0
Leu.	6.6	7.4	8.6	9.2
Tyr.	2.8	3.2	3.8	4.0
Phe.	4.0	3.8	5.4	6.0
Lys.	2.0	2.2	2.8	3.0
His.	3.4	4.0	4.6	4.4
Arg.	6.8	8.2	9.6	9.6
Total	73.2	83.4	97.0	99.6

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

쌀 아미노산 분석

Matsumoto 등²⁵⁾은 벼 줄기에서 게르마늄 흡수는 주로 단백질이 관여한다고 하였으며, 이는 단백질이 단순히 흡착하는 것이 아니라 특이한 흡착단백질이 있을 것으로 추정하였다. 따라서 게르마늄 흡수에 단백질이 관여 한다면 게르마늄 처리농도별 아미노산 함량에 변화가 있을 것으로 추측되어 게르마늄 처리농도별 쌀의 아미노산 함량을 분석한 결과 Table 4에서 보는 바와 같이 게르마늄 5.0 mg/kg 처리 까지는 Asx., Thr., Ser. 등 대부분 종류의 아미노산 함량이 증가 되었고 총 아미노산 함량도 따라서 증가하였다. 게르마늄 5.0 mg/kg 처리 이상에서는 아미노산 함량에 차이가 없었고 특이한 아미노산 함량이 증가하거나 감소하는 결과는 나타나지 않았다.

식물체 무기성분 분석

게르마늄 처리농도 증가에 따라 현미중 T-N 함량은 증가 하였다(Table 5). 이는 현미중 아미노산 함량 증가와 밀접한 상관성이 있는 것으로 생각된다(Table 4). 게르마늄 처리농도 증가에 따라 현미중 Fe 함량은 다소 증가하는 경향이었으나 기타 조사된 원소들은 현저한 변화가 없었다. 게르마늄 처리 농도 증가에 따른 벼짚의 T-N 함량도 현미와 유사하게 증가 하였다. 게르마늄 처리농도 증가로 벼짚의 P, Ca, Zn 함량은 증가하였으나 다른 성분들의 변화는 미미하였다.

Table 5. Content of inorganic components of brown rice with different germanium concentrations in soil

Treatment (mg/kg)	T-N (mg/kg)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Ge 0	1.23	0.29	0.18	0.01	0.10	0.01	0.27	0.11	30.6	trace ^{¶)}
Ge 2.5	1.39	0.31	0.18	0.01	0.13	0.01	0.23	0.10	28.7	trace
Ge 5.0	1.60	0.32	0.19	0.01	0.13	0.01	0.27	0.13	34.6	trace
Ge 7.5	1.64	0.31	0.17	0.01	0.13	0.01	0.36	0.14	33.3	trace

¶) trace : <5 µg/kg

Table 6. Content of inorganic components of straw with different germanium concentrations in soil

Treatment (mg/kg)	T-N (mg/kg)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Ge 0	1.10	0.17	0.91	0.18	0.11	0.03	0.75	9.86	44.2	trace ^{¶)}
Ge 2.5	1.22	0.18	1.10	0.20	0.13	0.02	1.09	10.10	41.6	trace
Ge 5.0	1.34	0.21	1.11	0.22	0.13	0.02	1.75	9.93	50.4	trace
Ge 7.5	1.41	0.23	1.02	0.23	0.14	0.02	0.89	9.80	52.2	trace

¶) trace : <5 µg/kg

요 약

게르마늄의 약리효능이 알려짐에 따라 게르마늄이 강화된 기능성 농산물의 요구도가 높아지는 추세이다. 본 연구는 게르마늄의 농업적 이용에 대한 기초 자료를 제공하고자 실시 하였으며, 벼의 생육 및 게르마늄 흡수에 미치는 게르마늄처리 효과는 다음과 같다.

게르마늄을 0, 2.5, 5.0, 7.5 및 10.0 mg/kg으로 처리한 토양을 와그너포트에 넣어 벼를 재배한 결과, 게르마늄 처리농도가 증가할수록 게르마늄 독성의 증가로 초장, 수장, 수수 및 수량이 급격히 감소하였으며 게르마늄 2.5 mg/kg 이상에서는 게르마늄 독성이 발생하였다. 게르마늄 처리농도가 증가할수록 벼의 게르마늄 흡수량은 증가하였으나 벼의 게르마늄 이용률은 게르마늄 2.5, 5.0, 7.5 mg/kg 처리에서 각각 20.7, 12.5 및 7.5%로서 게르마늄 처리농도가 증가할수록 감소하였다. 벼의 부위별 게르마늄 함량은 벼짚>왕겨>현미 순으로 높았다. 게르마늄 2.5 mg/kg 처리시 벼짚, 왕겨 및 현미의 게르마늄 함량은 각각 103.4, 30.2 및 3.02 mg/kg 이었고, 벼짚과 왕겨에서는 게르마늄 무처리에서도 각각 2.9 및 3.9 mg/kg을 함유하고 있었다. 쌀의 아미노산 함량을 분석한 결과 게르마늄 처리농도가 증가할수록 Asx., Thr., Ser. 등 대부분 종류의 아미노산 함량이 증가하였으며, 그 결과 현미중 질소흡수량도 증가하였다.

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 Medicine*, 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., K. J. Cho, Y. S. Lee, 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 v-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 carboxyethylgermanium(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. 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., Chern, 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. Bernstein, L. R., 1985. germanium geochemistry and mineralogy, *Geochim. Cosmochim. Acta* 49, p. 2409-2422.
 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 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. Ma. F. J. and Takahashi. E. (2002) *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*.
 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) : 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. Dakley, W. M. and Volcani, B. E. (1969). Role of silicon in diatom metabolism. A silicon requirement for deoxyribonucleic acid synthesis in the diatom *cyllindrotheca fusiformis remann and lewin*, *Exptl. Cell. Res.*, 58, 334-339.
 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.
 26. Datnoff. L. E., Snyder, G. H. and Korndorfer, G. H. (2001) *Silicon in Agriculture*.
 27. Jang, B. C. and Park, M. U. (1997) Absorption and accumulation of Sr-85 by rice(*Oryza sativa* L.) and its transfer factor from soil to plant. *Korean J. Soil Science & Fertilizer*. Vol. 30(2), 184-188.