

경남지역의 토양 및 농작물중 게르마늄 함량

이성태* · 이영한 · 이홍재¹⁾ · 조주식²⁾ · 허종수³⁾

경상남도농업기술원 식물환경연구과, ¹⁾진주산업대학교 수질분석센터, ²⁾순천대학교 생명환경과학부, ³⁾경상대학교 응용생명과학부
(2005년 3월 7일 접수, 2005년 3월 18일 수리)

Germanium Contents of Soil and Crops in Gyeongnam Province

Seong-Tae Lee, Young-Han Lee, Hong-Jae Lee¹⁾, Ju-Sik Cho²⁾ and Jong-Soo Heo³⁾(Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea, ¹⁾Water Quality Analysis Center, Jinju National Univ., Jinju 660-758, Korea, ²⁾Division of Applied Life and Environmental Sciences, Suncheon 540-742, Korea, ³⁾Division of Applied Life Science, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea)

ABSTRACT : To investigate the germanium content in paddy soil in Gyeongnam province, 310 paddy soil samples were collected at 19 areas in Gyeongnam, Ulsan and Busan. Contents of germanium in paddy soils were analyzed in different topographies, soil types and soil textures. Average content of germanium in Gyeongnam was 0.24 mg/kg, those of Masan, Jinju and Hadong were above 0.30 mg/kg. Germanium content with different topographies were no difference. Germanium contents in different soil types were 0.27 mg/kg in well adapted soil and 0.23 mg/kg in poorly drained soil. Germanium contents in different soil textures were 0.27 mg/kg in silt loam and 0.23 mg/kg in sandy loam.

To determine germanium content on agricultural product in the field, content of germanium in cereals, vegetables and fruits were analyzed. Germanium content of agricultural product was high in the order of cereals > vegetables > fruits. In case of vegetables, germanium contents were high in the order of leaf vegetables > root vegetables > fruit vegetables. Germanium contents were high with 62 and 65 µg/kg in lettuce and young radish, respectively. To analyze the germanium content in medicinal plant, samples were collected from 19 medicinal plants at Hamyang areas. Germanium contents in *Angelica keiskei*, *Ligusticum chuanxiong*, *Panax ginseng* and *Atractylodes macrocephala* were relatively high with 100 µg/kg above.

Key words: germanium, soil, crop, medicinal plant.

서 론

게르마늄은 1886년 Clemens Winkler가 argyrodite라는 광석에서 최초로 발견한 원소로 원소주기율표에 C, Si, Sn, Pb와 함께 4A족에 속하며 연성과 전성이 없는 비금속 물질로서 반도체, 컴퓨터 및 전기공학 분야에 널리 사용되어 왔다. 게르마늄의 지각중 자연함유량은 보통 1.0~1.7 mg/kg인데 평균적으로 7.0 mg/kg을 함유하고 있다^{1, 2)}.

게르마늄은 무기게르마늄과 유기게르마늄으로 분류할 수 있는데 무기게르마늄은 Ge, GeO₂ 형태가 있고 유기게르마늄은 2-carboxyethylgermanium sesquioxide [Ge-132(GeCH₂CH₂COOH)₂]₂, spirogermanium [(N,N-dimethyl-aminopropyl)-2-aza-8,8-diethyl-8-germaspiro(4,5)decane], proxigermanium(3-

Oxy-germylpropionic acid polymer)이 있다. 합성원료인 무기 게르마늄(GeO₂)을 장기 복용하였을 때 빈혈, 신기능장애, 신경병증, 근 장애를 유발하는 것으로 알려져 있으나^{3,4)}, 유기게르마늄인 Ge-132는 1967년 Asai Germanium Research Institute에서 무기물인 이산화게르마늄으로부터 합성된 carboxyethylgermanium sesquioxide [O₂(GeCH₂COOH)₂]₂이다^{5,6)}. Ge-132는 항종양 효과^{7,8)}, 항돌연변이 효과⁹⁾, natural killer 세포 및 macrophages의 활성화를 포함하는 면역강화 작용¹⁰⁾과 virus 감염의 치료¹¹⁾, 관절염 치료 효과와 같은 항염증 작용^{12,13)}, 해열·진통 작용^{14,15,16)}, 중금속 해독작용¹⁷⁾ 및 운동성 증가¹⁸⁾ 등의 다양한 약리작용을 가지는 것으로 보고되고 있다.

최근 게르마늄은 한방, 키토산, 인삼, 칼슘, 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 아직까지 우리나라 토양과 농작물중 게르마늄 분석에 관한 연구 자료는 거의 없는 실정이다.

*연락처:

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

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

따라서 본 연구는 양질의 기능성 농산물 생산을 위하여 게르마늄의 농업적 이용에 대한 기초 자료를 제공하고자 경남지역 토양을 중심으로 지역, 지형, 토양유형 및 토성별 게르마늄 함량을 조사하였고 경남지역에서 재배한 농작물별 게르마늄 함량을 조사하여 그 분포특성을 검토하였다.

재료 및 방법

토양시료 채취 및 게르마늄 분석

토양중 게르마늄 분석을 위해 경상남도 19개 시군, 울산광역시 및 부산광역시의 논토양 310점을 채취하였으며, 채취한 시료는 지역, 지형, 토양유형별로 구분하여 게르마늄 함량을 정량하였다.

지역별로는 경남 19개 시군, 울산 및 부산광역시로 구분하였으며, 지형별로는 한국토양총설¹⁹⁾의 토양분류 기준에 따라 하해혼성평탄지(Flumarine P.), 하성평탄지(Alluvial P.), 홍적대지(Dilluvial T.), 곡간·산상지(Valleys & Fans), 산록경사지(Mt.foot S.)의 5개 지형으로 구분하였다. 토양유형별로는 미숙담(Newly reclaimed), 보통담(Well adapted), 사질담(Sandy texture), 습담(Poorly drained), 염해담(Saline) 및 특이산성담(Acid sulfate)의 6개 유형별로 구분하였다. 토성별로는 식양토(Clay loam), 미사식양토(Silty clay loam), 양토(Loam), 미사질양토(Silt loam), 사양토(Sandy loam)의 5개 토성으로 구분하였다.

우리나라에서 토양중 게르마늄 분석을 위해 전²⁰⁾은 토양을 왕수추출법(Aqua regia extraction)으로 분석한 바 있으나 아직 표준화된 분석법은 없다. 토양중 게르마늄 함량분석을 위해 본 시험에서는 중금속 가용성 침출액으로 사용하는 0.1 N-HCl을 사용하였다. 토양 10g을 플라스크에 넣고 0.1N-HCl 50 ml을 가하여 30℃에서 1시간 동안 항온진탕 침출하고 여과한 후 Inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS, HP 4500, USA)를 사용하여 정량하였다.

농작물 시료 채취 및 게르마늄 분석

일반 재배된 농작물중 게르마늄 함량 분석을 위해서 곡류, 채소류, 과일류 및 약용작물을 사용하였다. 곡류는 쌀과 보리, 채소류는 엽채류, 과채류 및 근채류로 구분하였고, 과일은 단감과 배를 분석하였으며, 시료는 경남 산청군, 함양군, 진주시 지역에서 채취하였다. 약용작물은 경남 함양군 안의면 소재 경상남도농업기술원 약초사업장에서 재배하고 있는 신선초, 토천궁, 인삼, 삼주, 백지 등 19개 작물을 채취하여 약용으로 사용하는 부위의 게르마늄을 분석하였다.

식물체 게르마늄 분석 위하여 시료를 80℃에서 건조후 40 mesh로 분쇄한 시료 2g에 Kim 등이²¹⁾ 인삼의 게르마늄 분석을 위해 사용한 혼합분해액(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 함량

을 정량하였다.

결과 및 고찰

토양중 게르마늄 함량

지역별 토양중 게르마늄 함량

지역별 토양중 게르마늄 함량 분석을 위해서 경상남도 19개 시군, 울산광역시 및 부산광역시에서 310개 지점 논토양의 표토를 채취하여 분석하였다.

지역별 토양중 게르마늄 함량은 Table 1에서 보는 바와 같이 지역별로 큰 차이는 없었지만 마산시, 진주시, 하동군지역에서 0.30 mg/kg 이상으로 높았으며, 경남지역 게르마늄 평균 함량은 0.24 mg/kg 이었다. 우리나라 논토양을 0.1N-HCl로 침출하였을 때 중금속 함량은 카드뮴이 0.13 mg/kg, 크롬이 0.36 mg/kg 이었는데²²⁾ 경남지역 토양중 게르마늄 평균 함량은 카드뮴보다는 높고 크롬보다는 낮은 수준이었다.

우리나라 토양중 게르마늄 함량을 조사한 기존의 연구보고로 전²⁰⁾은 충남 금산군 반암과 화강암지역 암석과 인삼밭토양, 산토양을 왕수추출법으로 침출하여 게르마늄 함량을 분석한 결과 암석, 인삼밭토양 및 산토양의 게르마늄 함량은 반

Table 1. Germanium contents of paddy soil in Gyeongnam province area

Areas	No. of samples	Mean Ge ± SD (mg/kg)	Range Ge (mg/kg)
Changwon	14	0.26±0.10 ^{¶)}	0.09~0.42
Masan	17	0.34±0.02	0.31~0.40
Jinju	18	0.32±0.13	0.10~0.71
Tongyeong	6	0.23±0.00	0.23~0.24
Sacheon	21	0.29±0.01	0.27~0.33
Gimhae	10	0.25±0.01	0.23~0.27
Miryang	20	0.21±0.05	0.07~0.24
Geoje	14	0.25±0.01	0.24~0.28
Yangsan	9	0.23±0.00	0.22~0.23
Uiryeong	14	0.24±0.08	0.11~0.39
Haman	19	0.27±0.04	0.23~0.37
Changnyeong	22	0.28±0.07	0.19~0.42
Goseong	17	0.28±0.08	0.17~0.56
Namhae	11	0.22±0.04	0.17~0.30
Hadong	19	0.32±0.09	0.15~0.45
Sancheong	18	0.21±0.05	0.11~0.31
Hamyang	16	0.19±0.06	0.11~0.33
Geochang	17	0.16±0.06	0.08~0.31
Hapcheon	18	0.22±0.05	0.12~0.32
Busan	5	0.24±0.00	0.23~0.24
Ulsan	5	0.23±0.00	0.23~0.23
Mean	-	0.24	-

¶) Mean±Standard deviation

암지역이 각각 0.10, 0.54 및 0.58 mg/kg 이었고 화강암 지역은 각각 0.30, 0.59 및 0.76 mg/kg 이라고 보고하였다. 경남지역 논 토양을 0.1N-HCl로 침출하여 분석한 게르마늄 함량은 평균 함량이 0.24 mg/kg으로 침출방법의 차이로 충남 금산군의 인삼밭 토양이나 산토양에 비해 낮은 수준이었다.

지형별 게르마늄 함량

지형별 구분은 한국토양총설의 토양분류 기준에 따라 하해혼성평탄지(Flumarine P.), 하성평탄지(Alluvial P.), 홍적대지(Dilluvial T.), 곡간·선상지(Valleys & Fans), 산록경사지(Mt.foot S.)의 5개 지형으로 구분하여 논토양 게르마늄 함량을 분석하였다. 경남지역 논 토양 지형별 게르마늄 함량은 Table 2에서 보는 바와 같이 하해혼성평탄지, 하성평탄지, 홍적대지가 각각 0.25, 0.25, 0.26 mg/kg 이었고, 산록경사지는 0.22 mg/kg으로 조금 낮았으나 지형에 따라 크게 차이는 없는 것으로 나타났다.

토양유형별 게르마늄 함량

토양유형별로는 미숙답(Newly reclaimed), 보통답(Well adapted), 사질답(Sandy texture), 습답(Poorly drained), 염해답(Saline) 및 특이산성답(Acid sulfate)의 6개 유형별로 구분하여 토양중 게르마늄 함량을 정량하였다.

토양유형별 게르마늄 함량은 Table 3에서 보는 바와 같이 지형별 게르마늄 함량과 마찬가지로 토양유형에 따른 함량의 차이는 크게 나타나지 않았다. 토양 유형별 게르마늄 함량은

Table 2. Germanium contents of paddy soil in different topographies

Topography	No. of sample	Mean Ge ± SD (mg/kg)	Range Ge (mg/kg)
Flu-marine plain	8	0.25±0.07 ^{¶)}	0.15~0.36
Alluvial plain	94	0.25±0.09	0.08~0.71
Dilluvial plain	15	0.26±0.07	0.12~0.40
Valleys & Fans	171	0.23±0.07	0.07~0.41
Mt. - foot slope	7	0.22±0.02	0.19~0.24

¶) Mean±Standard deviation

Table 3. Germanium contents of paddy soil in different soil types

Soil type	No. of sample	Mean Ge ± SD (mg/kg)	Range Ge (mg/kg)
Newly reclaimed	137	0.25±0.06 ^{¶)}	0.07~0.42
Well adapted	114	0.27±0.07	0.12~0.56
Sandy texture	41	0.23±0.12	0.08~0.71
Poorly drained	12	0.23±0.06	0.15~0.38
Saline	3	0.22±0.05	0.17~0.26
Acid sulfate	3	0.24±0.01	0.22~0.24

¶) Mean±Standard deviation

전반적으로 경남의 평균 함량인 0.24 mg/kg 수준을 함유하고 있었으며, 보통답이 0.27 mg/kg으로 비교적 높았으며, 사질답이나 습답에서는 모두 0.23 mg/kg으로 낮은 수준이었다.

토성별 게르마늄 함량

토성별로는 식양토(Clay loam), 미사식양토(Silty clay loam), 양토(Loam), 미사질양토(Silt loam), 사양토(Sandy loam)의 5개 토성으로 구분하여 게르마늄 함량을 정량하였다.

Table 4에서 보는 바와 같이 토성별 게르마늄 함량 역시 토성에 따른 큰 차이는 나타나지 않았다. 게르마늄 함량은 전반적으로 경남의 평균 함량인 0.24 mg/kg 수준을 함유하고 있었으며, 미사질양토가 0.27 mg/kg으로 비교적 높았으며, 양토와 사양토는 각각 0.24와 0.23 mg/kg 이었다.

농경지 토양의 중금속 함량은 양질토양보다 사질토양에서 낮고 점토 함량이 증가할수록 중금속함량이 높은 것으로 보고되고 있다²³⁾. 또한 토양중 Cu와 Zn 함량은 점토 및 미사 함량과 정의상관, 모래함량과는 부의 상관을 보인다고 보고²⁴⁾ 하였는데, 본 실험결과 중금속에 속하는 게르마늄 함량 또한 사양토보다는 점토와 미사가 많은 미사질양토에서 높았다.

Table 4. Germanium contents of paddy soil in different soil textures

Soil texture	No. of sample	Mean Ge ± SD (mg/kg)	Range Ge (mg/kg)
Clay loam	2	0.23±0.00 ^{¶)}	0.23~0.23
Silty clay loam	5	0.26±0.05	0.23~0.35
Loam	121	0.24±0.07	0.07~0.45
Silt loam	148	0.27±0.06	0.12~0.56
Sandy loam	34	0.23±0.12	0.08~0.71

¶) Mean±Standard deviation

Table 5. Germanium contents in cereals, vegetables and fruits

Classification	Crop	Ge (µg/kg) ± SD
Cereals	Brown rice	68±10 ^{¶)}
	Barley	48±5
Leaf vegetables	Perilla leaf	36±6
	Lettuce	62±12
	Water celery	58±12
	Cabbage	52±13
Fruit vegetables	Red pepper	37±13
	Cucumber	28±4
	Tomato	29±5
Root vegetables	Potato	43±13
	Young radish	65±6
	Sweet potato	46±12
Fruits	Sweet persimon	11±4
	Pear	23±5

¶) Mean±Standard deviation

농작물중 게르마늄 함량

게르마늄을 인위적으로 처리하지 않고 자연상태에서 재배된 작물중의 게르마늄 함량을 분석하였다. 일반 농작물로서는 곡류, 채소류, 과일류로 구분하였으며, 곡류는 쌀과 보리, 채소류는 다시 엽채류, 과채류 및 근채류로 구분하였고, 과일은 단감과 배로 구분하여 분석하였다. 일반농작물의 게르마늄 함량을 분석한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 전반적으로 곡류 > 채소류 > 과일류 순으로 높았다. 쌀과 보리는 각각 68±10 및 48±5 µg/kg의 게르마늄을 함유하고 있었으며, 단감과 배는 각각 11±4 및 23±5 µg/kg을 함유하고 있어 과수에서 게르마늄 함량은 낮은 수준이었다. 채소류의 경우는 전반적으로 엽채류 > 근채류 > 과채류 순으로 게르마늄 함량이 높았다. 게르마늄 함량이 높았던 작물은 상추와 열무로서 각각 62±12 및 65±6 µg/kg을 함유하였으며, 함량이 낮은 작물로 오이와 토마토 과실은 각각 28±4 및 29±5 µg/kg을 함유하고 있었다.

작물의 게르마늄 함량에 대한 연구로 Conner와 Shacklette²⁵⁾는 plant ash에 평균 20 mg/kg 정도의 높은 게르마늄이 함유되어 있다고 보고했다. 식물에 들어있는 게르마늄의 함량은 0.1~1.0 mg/kg 이나 약용으로 쓰이는 작물은 게르마늄 함량이 높다고 하였다¹⁾. Yang과 Zhang²⁶⁾이 식물체중의 게르마늄을 정량한 결과, 벼는 88 µg/kg, 인삼 82 µg/kg, 국화 75 µg/kg, 은행잎에는 84 µg/kg을 함유하고 있다고 하였다.

우리나라 농작물중 게르마늄 함량에 대한 연구로 충남 금

산군 반암 지역의 경우 인삼 22 µg/kg, 벼 539 µg/kg, 콩잎 29 µg/kg, 깻잎 49 µg/kg, 으로 나타났고, 화강암지역의 경우 인삼 3 µg/kg, 벼 1 µg/kg, 고추 19 µg/kg 함유하고 있다고 하였다²²⁾. 이와 비교해 보면 본 실험결과 깻잎은 36 µg/kg, 고추는 37 µg/kg으로서 콩잎, 깻잎, 고추의 게르마늄 함량은 이러한 연구결과들과 비슷한 수준이었다.

약용작물중 게르마늄 함량 분석을 위한 작물로 신선초, 토천궁, 인삼, 삼주, 백지 등 19개 작물을 수집하였으며, 주로 약용으로 사용하는 부위를 사용하여 게르마늄 함량을 분석한 결과는 Table 6에서 보는 바와 같다. 약용작물별 게르마늄 함량은 신선초(*Angelica keiskei*), 토천궁(*Ligusticum chuanxiong*), 인삼(*Panax ginseng*), 삼주(*Atractylodes macrocephala*), 백지(*Angelica dahurica*), 맥문동(*Liriope platyphylla*) 및 도라지(*Platycodon grandiflorum*)에서 모두 100 µg/kg 이상으로 함량이 높았으며, 선학초(*Agrimonia pilosa*) 및 일당귀(*Angelica acutiloba*)의 게르마늄 함량은 각각 37 및 30 µg/kg으로 낮았다. 전²²⁾은 충남 금산군에서 인삼의 게르마늄 함량을 분석하였는데, 반암 지역의 경우 22 µg/kg 화강암 지역의 경우 3 µg/kg 이라고 하여 지역별로 차이가 있었다. 그러나 이와 비교해 보면 경남농업기술원 약초시험사업장에서 채취한 인삼의 게르마늄 함량은 높은 수준이었다.

요 약

양질의 기능성 농산물 생산을 위하여 게르마늄의 농업적 이용에 대한 기초 자료를 제공하고자 경남지역의 토양을 중심으로 지역, 지형, 토양유형 및 토성별 게르마늄 함량과 자연상태에서 재배한 농작물별 게르마늄 함량을 조사하여 그 분포특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

토양중 게르마늄 함량을 분석한 결과 경남지역 논 토양 평균 함량은 0.24 mg/kg 이었고, 마산시, 진주시 및 하동군 지역이 0.30 mg/kg 이상으로 높았다. 지형별로는 홍적대지가 0.26 mg/kg으로 약간 높았으나 지형에 따른 큰 차이는 없었다. 토양유형별 게르마늄 함량은 보통답이 0.27 mg/kg으로 사질답과 습답에 비하여 높았으며, 토성별로는 미사질양토가 0.27 mg/kg으로 비교적 높았다.

일반농작물중 게르마늄 함량은 곡류>채소류>과일류 순으로 높았고, 쌀과 보리는 각각 약 68 및 48 µg/kg의 게르마늄을 함유하고 있었으며, 단감과 배는 각각 약 11 및 23 µg/kg으로 전반적으로 낮은 수준이었다. 채소류중 게르마늄 함량은 엽채류>근채류>과채류 순으로 높았으며 특히 상추와 열무중 게르마늄 함량이 각각 약 62 및 65 µg/kg으로서 높았다. 약용작물중 게르마늄 함량은 신선초(*Angelica keiskei*), 토천궁(*Ligusticum chuanxiong*), 인삼(*Panax ginseng*), 삼주(*Atractylodes macrocephala*), 백지(*Angelica dahurica*), 맥문동(*Liriope platyphylla*) 및 도라지(*Platycodon grandiflorum*)에서 100 µg/kg 이상으로 게르마늄 함량이 높았으며, 선학초(*Agrimonia pilosa*) 및 일당귀(*Angelica acutiloba*)의 함량은 각각 37 및 30 µg/kg으로

Table 6. Germanium contents of Korean medicinal plants collected from Gyeongnam province

Scientific name(Korean name)	Part	Ge(µg/kg)±SD
<i>Angelica keiskei</i> (신선초)	Leaf	126±6 ¹⁾
<i>Ligusticum chuanxiong</i> (토천궁)	Root	126±5
<i>Panax ginseng</i> (인삼)	Root	122±7
<i>Atractylodes macrocephala</i> (삼주)	Root	122±5
<i>Angelica dahurica</i> (백지)	Root	119±4
<i>Liriope platyphylla</i> (맥문동)	Root	110±5
<i>Platycodon grandiflorum</i> (도라지)	Root	108±4
<i>Adenophora triphylla</i> (잔대)	Root	98±6
<i>Ledebouriella divaricata</i> (깻방풍)	Root	89±5
<i>Houttuynia cordata</i> (어성초)	Leaf	80±4
<i>Achyranthes japonica</i> (쇠무릅)	Leaf	77±4
<i>Gastrodia elata</i> (천마)	Root	65±3
<i>Saururus chinensis</i> (삼백초)	Leaf	59±5
<i>Carthamus tinctorius</i> (홍화)	Seed	52±4
<i>Sedum sarmentosum</i> (돌나물)	Leaf, Stem	48±4
<i>Anemarrhena asphodeloides</i> (지모)	Root	46±4
<i>Cnidium officinale</i> (일천궁)	Root	41±3
<i>Angelica acutiloba</i> (일당귀)	Root	37±3
<i>Agrimonia pilosa</i> (선학초)	Leaf	30±2

낮았다.

참고문헌

- Merian, E(ed). (1991) Metals and their compounds in the environment : VCH, Weinheim, 921-929.
- Bernstein, L, R. (1985) Germanium geochemistry and mineralogy, *Geochim. Cosmochim. Acta* 49, 2409-2422.
- Obara, K., Saito, Sato, T., Yamakage, H., Watanabe, K., 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.
- 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.
- Oikawa, H. and Kakimoto, N. (1968) Synthesis of carboxyethyl-germanium sesquioxide compound. p. 1946. Proceedings of the 21st annual meeting of Japan Chemical Society, Japan.
- Kumano, N., Ishikawa, T. and Koinumaru, S. (1985) Antitumor effect of the organicgermanium compound Ge-132 on the Lewis lung carcinoma(34) in C57 BL/6 (B6) mice. *Tohoku J. Exp. Med.* 146, 97-104.
- 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.
- 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.
- Mochizuki, H. and Kada, T. (1982) Antimutagenic effect of Ge-132 on γ -ray-induced mutation in *Escherchia coli* B/rWP2 trp-. *Int. J. Radiat. Biol.*, 42(6), 653-659.
- 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.
- 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.
- Dimartino, M. J. (1986) Antiarthritic and immunoregulatory activity of spirogermanium. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 236(1), 103-110.
- 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.
- 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.
- Harish, G. (1985) Glutathione and glutathione-dependent enzymes of the rat liver after different doses of sanumgerman. In "1st Int. Conf. on germanium" Hanover, Oct. 1984 Lekin & Samochowiec, des, Sennelweis-Verlag.
- Suzuki, Y. and Taguchi, K. (1983) Pharmacological studies of carboxyethyl germanium sesquioxide(Ge-132). *Pharmacometrics*, 26(5), 803-810.
- 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.
- 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.
- 농촌진흥청 농업기술연구소 (1992) 한국토양총설 27-186.
- 전호식. (2000) 암석, 토양, 농작물 시스템에서의 게르마늄(Ge) 및 관련원소들의 지구화학적 분산연구. *한양대학교 대학원 석사학위논문*.
- 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.
- Kim, B. J., Jung, B. K., Choi, J. W., Yun, E. S. and Choi, S. (1995) Heavy metals in paddy soil of Korea. *Korean J. Soil Science & Fertilizer*. 28(4), 295-300.
- Holmgren, G. G. S., Meyer, M. W., Chaney, R. L. and Daniels, R. B. (1983) Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.* 22, 335-348.
- Shuman, L. M. (1985) Fractionation method for soil microelement. *Soil science*. 140(1), 11-22.
- Connor, J. J. and Shacklette, H. T. (1975) Background geochemistry of some rocks, soil, plants and vegetables in the contaminous United States., *U.S. Surv. Prof. Pap.*, 574, 168.
- Yang, L. I. and Zhang, D. (2001) Direct determination of germanium in botanical samples by graphite furnace

atomic absorption spectrometry with palladium-zirconium

as chemical modifier. *Elsevier Science*.