

## 게르마늄 종류별 양액재배시 갖의 생육특성 및 게르마늄 흡수

강세원<sup>†</sup> · 서동철<sup>†</sup> · 전원태<sup>1</sup> · 강석진<sup>2</sup> · 이성태<sup>3</sup> · 성환후<sup>2</sup> · 최익원<sup>4</sup> · 강위금<sup>1</sup>  
김현욱<sup>4</sup> · 허종수<sup>5</sup> · 조주식<sup>\*</sup>

순천대학교 생물환경학과, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원, <sup>2</sup>농촌진흥청 축산과학원, <sup>3</sup>경상남도 농업기술원,  
<sup>4</sup>서울시립대학교 환경공학부, <sup>5</sup>경상대학교 응용생명과학부

### Growth Characteristics and Germanium Absorption of *Brasica juncea* C. with Different Types of Germanium Compounds in Hydroponic Cultivation

Se-Won Kang<sup>†</sup>, Dong-Cheol Seo<sup>†</sup>, Weon-Tai Jeon<sup>1</sup>, Seok-Jin Kang<sup>2</sup>, Seong-Tae Lee<sup>3</sup>, Hwan-Hoo Sung<sup>2</sup>,  
Ik-Won Choi<sup>4</sup>, Ui-Gum Kang<sup>1</sup>, Hyunook Kim<sup>4</sup>, Jong-Soo Heo<sup>5</sup>, and Ju-Sik Cho<sup>\*</sup>

Department of Bio-Environmental Sciences, Sunchon National University, <sup>1</sup>National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, <sup>2</sup>National Institute of Animal Science, Rural Development Administration,  
<sup>3</sup>Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, <sup>4</sup>Division of Environmental Engineering,  
University of Seoul, <sup>5</sup>Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University

To investigate the effect of inorganic (GeO<sub>2</sub>) and organic (Ge-132) germanium treatment on *Brasica juncea* C. plant, growth characteristics and Ge contents were examined with various inorganic or organic germanium treatments (0, 5, 10, 25, 50, 75 and 100 mg L<sup>-1</sup>), respectively. *Brasica juncea* C. growth did not much inhibited until Ge 10 mg L<sup>-1</sup> concentration under both Ge-132 and GeO<sub>2</sub> treatments as compared to control. On the other hand, at Ge concentration higher than 25 mg L<sup>-1</sup> concentration, *Brasica juncea* C. growth was inhibited under both Ge-132 and GeO<sub>2</sub> treatments. Under treatment of GeO<sub>2</sub>, length of root and shoot slightly increased until 5 mg L<sup>-1</sup> concentration and dry weight slightly increased until 10 mg L<sup>-1</sup> concentration. Under treatment of Ge-132, length of root and shoot slightly increased until 10 mg L<sup>-1</sup> concentration and dry weight slightly increased until 25 mg L<sup>-1</sup> concentration. Total Ge contents in *Brasica juncea* C. early seedlings with GeO<sub>2</sub> treatment were a bit higher than those with Ge-132 treatment. Germanium was primarily accumulated in the roots (77%) with organic Ge (Ge-132) treatments, whereas Ge was primarily accumulated in the leaf (70%, respectively) with GeO<sub>2</sub> treatments. The Ge uptake rates in inorganic Ge treatments were slightly high than those in organic Ge treatments. Under inorganic Ge treatment with 2.5 mg L<sup>-1</sup>, about 3% of Ge was accumulated into plant and distribution in leaf and root was 84.8% and 15.2%, respectively. Under organic Ge treatment with 2.5 mg L<sup>-1</sup>, about 2.6% of Ge was accumulated into plant and distribution in leaf and root was 66.4% and 33.6%, respectively.

**Key words:** GeO<sub>2</sub>, Ge-132, *Brasica juncea* C., Germanium absorption, Hydroponic cultivation

## 서 언

게르마늄 (Germanium)은 무기게르마늄과 유기게르마늄으로 분류할 수 있는데, 무기게르마늄 (GeO<sub>2</sub>)은 인체내 유입시 빈혈, 신기능장애, 근육 장애를 유발하는 것으로 알려져 있으나 (Obara et al., 1991), 유기게르마늄은 항종양 효과, 항돌연변이 효과 (Mochizuki and Kada, 1982), natural

killer 세포 및 macrophages의 활성화를 포함하는 면역강화 작용 (Suzuki et al., 1986)과 virus 감염의 치료 (Aso et al., 1985) 관절염 치료 효과와 같은 항염증 작용 (Dimartino, 1986), 해열·진통 작용 (Suzuki and Taguchi, 1983), 중금속 해독 작용 (Lee and Chung, 1991) 및 운동성 증가 (Ho et al., 1990) 등의 다양한 약리작용을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 최근 게르마늄은 한방약재, 키토산, 인삼, 칼슘, 녹차, 목초액, 참숯 및 맥반석 등의 농자재와 함께 유기게르마늄이 약리효과를 가진다는 보고로 기능성 농산물 생산을 위한 농자재에 사용되고 있는 실정이다 (Lee et al., 2005a).

토양 중 게르마늄 함량이 낮기 때문에 작물체중 게르마

접수 : 2011. 5. 25 수리 : 2011. 6. 21

\*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

<sup>†</sup>공동 제1저자

늄 함량이 낮아 무기게르마늄을 농자재로 사용하여 유기 게르마늄화 하기위한 효과적인 농축의 수단으로 다양한 연구들이 그 동안 수행되었으며, 무기게르마늄을 유기게르마늄화하기 위한 수단으로는 미생물, 효모 (Kehlbeck, 1983; Nobohiro et al., 1980; Wei, 1992)류 및 구조류를 이용하기도 하였으며, 몇몇 연구자는 유기게르마늄함유 식물체를 개발하기 위하여 일당귀, 인삼 및 강활 (Park et al., 1996)을 이용하기도 하였다.

게르마늄 농자재가 사용되어지고 있는 작물로는 벼, 참외, 단감, 고추, 딸기, 토마토, 부추 등 30여개 품목에 재배 면적도 667 ha에 이르며, 일반농산물 보다는 20~30% 높은 가격에 거래되고 있는 실정이다 (Seo et al., 2010). 하지만 현재 생산되고 있는 기능성농산물은 기능성 성분이 얼마나 함유되어 있는지 불확실하며, 또한, 기능성이 과학적으로 검증되지 않은 상태에서 유통되고 있는 것이 대부분이고 단순히 한방영양제, 키토산 및 게르마늄 등 특이한 농자재를 작물에 처리하여 생산한 농산물이면 기능성이 있는 것처럼 브랜드화 하여 소비자들에게 많은 혼란을 야기하고 있는 실정이다 (Seo et al., 2010). 또한, 다양한 종류의 게르마늄 관련 농자재가 농업에 사용되고 있으나 농자재와 게르마늄함유 농산물에 대한 게르마늄 함량이 얼마인지 불분명한 상태에서 농산물이 유통되고 있으며, 기능성을 목적으로 게르마늄을 사용하고 있지만 게르마늄함유 농산물의 기능성 검증에 대한 연구가 거의 없는 실정이다 (Lee et al., 2005b; Seo et al., 2010).

따라서 게르마늄함유 농자재와 농산물 중 게르마늄 함량을 분석하여 문제점을 파악하고 농작물의 게르마늄 흡수 효율을 높이기 위해 흡수 전이가 쉬운 게르마늄 농자재 개발이 필요하며, 작물에 있어 게르마늄 적정 처리농도 설정과 게르마늄 흡수특성 구명, 생산된 게르마늄함유 농산물이 유기게르마늄화 되었는지에 대한 증명, 기능성 검증에 의한 게르마늄 농산물의 안전성 연구를 통한 게르마늄함유 기능성 농산물 생산기술 개발이 절실히 필요할 것이다.

이에 본 연구는 게르마늄 종류별 양액재배시 갖의 생육 특성 및 게르마늄 흡수 특성을 조사하기 위해 갖 재배시 무기게르마늄 ( $\text{GeO}_2$ )과 유기게르마늄 (Ge-132)을 농도별로 각각 처리하여 게르마늄 독성발생 범위, 생장반응, 갖 부위별 게르마늄 함량 그리고 갖의 게르마늄 흡수량 및 흡수율을 조사하였다.

## 재료 및 방법

**시험 작물** 공시 갖은 다끼이종묘 (주)의 아카오바타나 나 갖 (Leaf mustard : *Brassica juncea* C.)을 사용하였으며, 갖 종자를 육묘용 포트에 파종하여 시험목적에 따라 일정

**Table 1. Prescription of standard culture solution by Horticultural Experiment Station in Japan.**

Components	Concentration	
	1.0×	0.5×
	----- mg L <sup>-1</sup> -----	
KNO <sub>3</sub>	810	405
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	950	475
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	500	250
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	155	77.5
Fe-EDTA	20	20
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	3	3
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2	2
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.22	0.22
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.05	0.05
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.02	0.02
EC (dS m <sup>-1</sup> )	2.2	1.7
pH	6.2	6.8

기간 키운 후 사용하였다.

**게르마늄 처리** 공시 게르마늄은 무기게르마늄 [ $\text{GeO}_2$ , Sigma]과 유기게르마늄 [Ge-132, carboxyethyl germanium sesquioxide 3 ( $\text{GeCH}_2\text{COOH}$ )<sub>2</sub>, Sigma] 2종류를 각각 5,000 mg L<sup>-1</sup>의 stock solution을 조제하여 시험 목적에 따라 일정농도로 희석 조제하여 사용하였다.

**양액조성** 공시 양액은 독성발생 농도범위 등을 구명하기 위해 Table 1과 같이 온실에서의 단기재배용 양액은 일본원예시험장 표준 양액을 1/2배액으로 사용하였다.

**실험방법** 갖 생육에 대한 게르마늄 독성발생 농도 범위 및 최적 게르마늄 처리 농도를 구명하기 위하여 게르마늄 처리 농도별 생육특성, 식물체 내 게르마늄 흡수특성, 양액 내 게르마늄 및 일반성분 함량 변화 등을 조사하였다. 갖 정식은 원형으로 된 유리칼럼 (24 × 200 mm tube)에 무기게르마늄 ( $\text{GeO}_2$ )과 유기게르마늄 (Ge-132) 각각을 농도별 (0, 2.5, 5, 10, 25, 50, 75 및 100 mg L<sup>-1</sup>)로 조정하여 1/2배액 양액 100 mL를 각각의 칼럼에 주입하여 파종 12일 된 갖 육묘를 정식하였다. 뿌리 부분의 빛을 차단하기 위하여 칼럼을 알루미늄 호일로 감싼 후 식물생장상 (23 ± 0.5°C)에서 12일간 생육하였다. 생육기간 동안 증산과 증발에 의한 수분 손실량은 2일 간격으로 3차 증류수로 총 양액 부피가 100 mL가 되도록 조정하였다. 생육 조사는 정식 12일 후의 표본식물 10개체를 선별하여 갖의 생육상황 (잎 및 뿌리 길이, 생체중, 뿌리의 표면적, 부피 및 직경 등)을 조사하였고, 갖의 부위별 게르마늄 함량 및 흡수량,

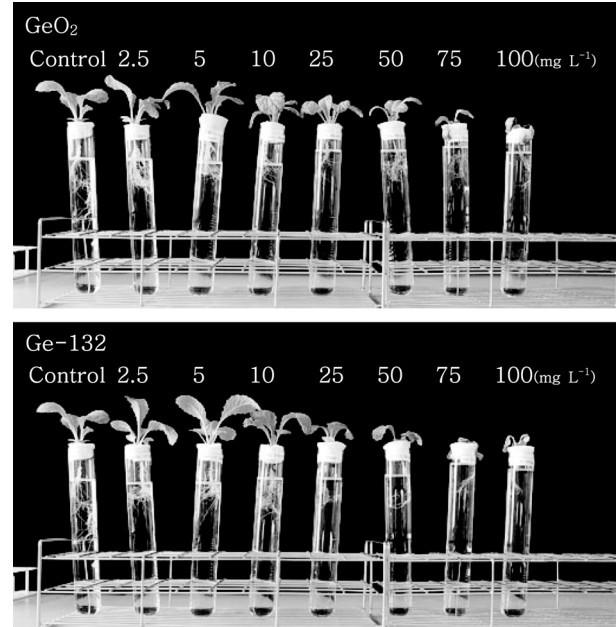
그리고 배양 양액 내 일반 무기성분 함량을 조사하였다.

**분석방법** 식물체 및 배양 양액 내 게르마늄과 일반성분 분석은 Heo (2009)의 연구에서 구명된 최적 분석조건을 토대로 건조시료 0.2 g을 teflon bomb에 넣은 후 HNO<sub>3</sub> (Merck, Suprapur) 5 mL을 첨가하여 4시간 방치한 후 50°C로 over night시키고 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0.5 mL (Merk, Suprapur)을 첨가하여 80°C로 2시간 가열하여 유기물을 완전히 분해시켜 3차 증류수를 가하여 10 mL로 정용하여 ICP-MS 또는 ICP로 분석하였다.

**결과 및 고찰**

**게르마늄 농도별 갖의 생장반응특성** 게르마늄 농도에 따른 갖의 생육특성을 조사한 결과는 Fig. 1 및 Table 2~3에서 보는 바와 같다. 게르마늄 처리에 따른 갖의 초기생육 (Fig. 1)은 전반적으로 큰 차이 없이 무기 및 유기 게르마늄 처리구에서 비슷하였다. 무기 및 유기게르마늄 모두 10 mg L<sup>-1</sup>까지는 생육저해 현상이 거의 없었으나 25 mg L<sup>-1</sup> 이상부터는 심한 생육저해 현상을 보였다. 게르마늄 처리에 의한 생육저해 현상은 무기 및 유기게르마늄 모두 처리농도 25 mg L<sup>-1</sup> 이상 처리구에서 2일 후부터 잎의 황백

화 현상이 나타나고, 잎이 시드는 현상 등의 외형적인 저해현상이 나타났으며, 특히 75 및 100 mg L<sup>-1</sup> 처리에서는 신초가 거의 형성되지 않았으며 처리 6~7일 이후부터 고



**Fig. 1. Growth status of *Brassica juncea C.* on early seedling growth under different types of Ge compounds and Ge concentrations.**

**Table 2. Growth characteristics of *Brassica juncea C.* under different types of Ge compounds and Ge concentrations.**

Types of germanium	Ge conc. mg L <sup>-1</sup>	Part	Fresh Weight g plant <sup>-1</sup>	Length cm	Growth rate %	
					Growth rate	Length growth rate
Control	0	Shoot	0.9 (± 0.21)	8.7 (± 1.0)	100*	100*
		Root	0.2 (± 0.03)	12.8 (± 2.1)		
GeO <sub>2</sub>	2.5	Shoot	1.0 (± 0.09)	9.1 (± 0.6)	111	105
		Root	0.2 (± 0.04)	11.8 (± 4.0)	112	92
	5	Shoot	0.9 (± 0.19)	8.3 (± 0.8)	103	95
		Root	0.2 (± 0.07)	11.5 (± 4.7)	105	90
Ge-132	10	Shoot	0.9 (± 0.12)	8.3 (± 0.7)	98	96
		Root	0.2 (± 0.06)	10.6 (± 0.8)	95	82
	25	Shoot	0.5 (± 0.15)	7.5 (± 1.0)	59	70
		Root	0.1 (± 0.01)	11.4 (± 2.4)	48	62
GeO <sub>2</sub>	50	Shoot	0.4 (± 0.12)	6.0 (± 0.8)	41	61
		Root	0.1 (± 0.03)	9.5 (± 3.3)	40	55
	2.5	Shoot	1.0 (± 0.14)	8.6 (± 0.9)	109	99
		Root	0.1 (± 0.05)	13.5 (± 1.0)	79	105
	5	Shoot	1.1 (± 0.17)	8.9 (± 0.8)	119	103
		Root	0.1 (± 0.04)	12.0 (± 1.8)	86	94
Ge-132	10	Shoot	0.9 (± 0.10)	8.5 (± 0.9)	104	98
		Root	0.1 (± 0.03)	10.0 (± 1.6)	63	78
	25	Shoot	0.8 (± 0.17)	7.5 (± 0.5)	87	87
		Root	0.1 (± 0.03)	10.2 (± 2.6)	40	80
	50	Shoot	0.4 (± 0.04)	6.4 (± 0.6)	48	74
		Root	0.1 (± 0.01)	9.2 (± 1.3)	40	72

\* Index

사되었다. 지하부의 경우에는 무기 및 유기게르마늄 모두 농도가 증가할수록 성장반응이 저해되는 경향이었으며, 특히 무기게르마늄의 경우에 뿌리털이 짧고 두꺼워지는 경향이였다. 이와 같은 결과는 Chang and Oh (2005)가 무기게르마늄의 첨가가 액체 배양 중 인삼 부정근의 생장에 미치는 영향을 조사하였을 때 10 mg L<sup>-1</sup>까지는 생육에 영향을 미치지 않았지만 높은 농도 (100 mg L<sup>-1</sup>) 처리시에는 생장이 약 50% 정도 저해가 된다고 보고한 결과와 유사한 경향이였다. 또한, Lee et al. (2005a)은 토양 pot 시험으로 상추 재배시 낮은 농도의 무기게르마늄 처리에서 생육저해는 없었다고 보고하였는데, 본 실험에서 갖을 수경재배로 게르마늄을 고농도로 처리하였을 때는 생육에 저해가 있는 것으로 나타났다. 본 실험대상인 갖과 종류는 다르지만 같은 채소종자로서 비교해 볼 때 비슷한 결과가 나온 것을 확인할 수 있었다. 또한, Han et al. (2007)의 보고에 의하면 채소종자 발아에 높은 농도 (100 mg L<sup>-1</sup>)를 제외하고는 거의 저해를 받지 않는다고 한 반면에 본 실험에서는 배양조건이 다소 차이가 있지만 게르마늄 농도가 25 mg L<sup>-1</sup> 이상부터는 저해가 오기 시작하여 농도가 75 mg L<sup>-1</sup>에서는 거의 자라지 않았다.

게르마늄 처리농도별 갖의 생체중은 무기게르마늄 처리구에서 2.5 mg L<sup>-1</sup>에서는 대조구에 비해 약간 증가되었고, Ge 5 및 10 mg L<sup>-1</sup>에서는 대조구와 유사한 생체중을 보였으며, Ge 25 mg L<sup>-1</sup>부터는 크게 감소되었다. 유기게르마늄 처리구의 지상부 생체중은 Ge 2.5~10 mg L<sup>-1</sup>의 경우 대조구에 비해 약간 증가되었으며, Ge 25 mg L<sup>-1</sup>부터 감소하였으나 무기게르마늄 처리구에 비하여 감소폭이 적었다. 이러한 현상은 지하부의 생체중을 조사한 결과와 지상부 및 지하부의 식물체 길이를 조사한 결과에서도 유사하게 나타났다. Lee et al. (2005b)이 보고한 게르마늄 처

리농도별 벼 생육 및 게르마늄 흡수량에서는 벼의 생육을 저해하는 게르마늄의 피해 초기 농도는 2.5 mg kg<sup>-1</sup> 수준인 반면에 본 연구에서 갖은 벼에 비해 약간 높은 게르마늄농도에서도 생육이 가능하였다.

그리고 무기 및 유기게르마늄 처리농도별 지상부 및 지하부의 생체중과 길이의 성장율을 비교 검토한 결과, 게르마늄 처리농도에 따른 생체중 변화는 무기게르마늄 (GeO<sub>2</sub>) 2.5 mg L<sup>-1</sup> 처리에서는 지상부 및 지하부 생체중 모두 대조구에 비하여 약 11~12% 증가되었고, Ge 5 mg L<sup>-1</sup> 처리에서는 대조구에 비하여 약 3~5% 증가되었으며, Ge 10 mg L<sup>-1</sup> 이상의 처리에서는 감소되었다. 유기게르마늄 처리구에서는 지상부 생체중은 Ge 5 mg L<sup>-1</sup> 처리까지는 대조구에 비하여 약 4~19% 정도 증가되었고 Ge 25 mg L<sup>-1</sup> 이상의 처리농도에서는 감소되었다. 그리고 지하부인 뿌리의 생체중은 무기게르마늄 처리구와는 달리 전체적으로 대조구에 비하여 크게 감소되었다. 이는 게르마늄 처리시 뿌리의 외형적인 성장형태는 무기게르마늄 처리구의 경우 전반적으로 뿌리생장이 길이가 짧아지면서 두꺼워지는 경향이고, 유기게르마늄 처리구의 경우 뿌리가 매우 가늘고 길게 성장하는 것으로 알려져 있는데 (Heo, 2009), 이러한 결과는 본 연구의 뿌리 길이를 측정된 결과에서도 동일하게 나타났다.

그리고 갖에서 지하부 뿌리의 표면적, 부피 및 직경을 조사한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 뿌리 전체의 표면적 및 부피는 무기게르마늄 처리에서는 전체적으로 전 농도에서 대조구에 비하여 감소되었으며, 유기게르마늄 처리에서는 전체적으로 대조구와 거의 비슷하였으나 유기게르마늄 처리에서는 Ge 25 mg L<sup>-1</sup> 처리 이후부터는 크게 감소되었다.

따라서 갖에 대한 게르마늄의 생육저해 정도는 유기 및 무기게르마늄 모두 Ge 10 mg L<sup>-1</sup> 처리까지는 나타나지 않

**Table 3. Growth characteristics of the underground parts of *Brasica juncea* C. under different types of Ge compounds and Ge concentrations.**

Types of Germanium	Ge conc. mg L <sup>-1</sup>	Surface area cm <sup>2</sup>	Volume cm <sup>3</sup>	Diameter mm
Control	0	13.04 (± 1.2)	0.11 (± 0.01)	0.36 (± 0.06)
	2.5	9.72 (± 1.0)	0.08 (± 0.02)	0.33 (± 0.03)
	5	5.55 (± 1.2)	0.06 (± 0.01)	0.40 (± 0.05)
GeO <sub>2</sub>	10	6.08 (± 0.6)	0.07 (± 0.01)	0.43 (± 0.02)
	25	2.91 (± 0.1)	0.02 (± 0.00)	0.34 (± 0.04)
	50	2.48 (± 0.1)	0.02 (± 0.00)	0.34 (± 0.06)
Ge-132	2.5	14.24 (± 0.6)	0.12 (± 0.02)	0.34 (± 0.01)
	5	23.08 (± 3.1)	0.21 (± 0.10)	0.36 (± 0.02)
	10	11.03 (± 2.1)	0.11 (± 0.05)	0.42 (± 0.02)
	25	1.52 (± 0.6)	0.01 (± 0.00)	0.28 (± 0.08)
	50	1.23 (± 0.2)	0.01 (± 0.00)	0.24 (± 0.04)

있고, 전체적으로 무기게르마늄은 Ge 5 mg L<sup>-1</sup> 처리까지, 유기게르마늄은 Ge 10 mg L<sup>-1</sup> 처리까지 지상부 및 지하부 생장반응이 대조구에 비하여 약간 증가되는 경향이었는데, 이러한 결과로 볼 때 Heo (2009)가 보고한 연구에서 채소 작물들인 상추와 오이에 비하여 무기 및 유기게르마늄에 대한 내성은 본 실험에 사용된 갖이 더 강한 것으로 판단되었다.

**식물체 부위별 게르마늄 함량 분포** 게르마늄 농도별 처리에 따른 식물체 부위별 건조중량 및 게르마늄 함량을 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 게르마늄 처리농도별 식물체 건조중량은 무기게르마늄은 Ge 10 mg L<sup>-1</sup> 처리농도까지, 유기게르마늄은 Ge 25 mg L<sup>-1</sup> 처리농도까지는 지상부 및 지하부 건조중량 모두 대조구에 비하여 약간 증가되었다. Ge 10 mg L<sup>-1</sup> 처리농도까지의 지상부 및 지하부 건조중량 평균증가율은 무기게르마늄 처리에서는 대조구에 비해 각각 약 32.4 및 66% 증가되었고, 유기게르마늄 처리에서는 대조구에 비해 각각 약 25.6 및 48% 증가되었다. 게르마늄 종류별 식물체내 전체 게르마늄 흡수량은 유기게르마늄 처리구에 비하여 무기게르마늄 처리구에서 약간 높았으나 큰 차이는 없었다. 게르마늄 처리농도별 흡수패턴은 전반적으로 무기 및 유기게르마늄 모두 처리농도가 높을수록 식물체내 흡수량이 증가되었다. 식물체 부위별 게르마늄 흡수 분포 농도는 게르마늄 종류에 따라 다르게 나타났는데, 전반적으로 무기게르마늄 처리에서는 지상부인 잎에 주로 많이 분포되어 있었고 유기게르마늄의 경우에는 지하부인 뿌리에 주로 분포되어 있었다. 유기 및 무기게르마늄 50 mg L<sup>-1</sup>까지의 전체 처리구에서의 지상부 및 지하부 게르마늄 평균함량분포는 무기게르마늄의 경우

총 흡수된 게르마늄 중 지상부인 잎에 약 70%, 지하부인 뿌리에 약 30%가 분포되어 있었다. 유기게르마늄의 경우에는 무기게르마늄과는 반대로 잎에 약 23%, 뿌리에 약 77%로 뿌리에 훨씬 많이 분포되어 있었다 (Table 4). Seo et al. (2010)이 보고한 결과에서는 게르마늄 종류에 상관없이 벼 부위별 게르마늄 흡수량은 잎에서 가장 많은 흡수를 보였으나, 본 실험대상 작물인 갖에서는 무기게르마늄에서만 잎에서 게르마늄이 많이 흡수가 되었다. Lim et al. (2008)이 보고한 토성에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수율 연구에서도 토양처리구에 상관없이 잎에서 가장 많은 게르마늄 흡수를 보였다고 하였다.

**갖의 게르마늄 흡수량 및 흡수율** 갖 부위별 건조중량과 게르마늄 함량을 이용하여 초기배양액내 투입된 총 게르마늄 함량 중 식물체내로 흡수된 양을 조사하여 비교 검토한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다. 초기용액 내 투입된 게르마늄 함량은 각 처리농도별 용액 100 mL 내의 게르마늄 함량이며, 식물체내 게르마늄 흡수량은 갖 육묘 정식 12일 후의 식물체 1개체당 흡수량을 부위별 총 건조중량으로 환산하였다.

초기 용액 내 투입된 게르마늄의 식물체 개체당 흡수 이용효율은 유기게르마늄에 비하여 무기게르마늄이 약간 높았다. 그리고 전체적으로 무기게르마늄 형태 처리시 게르마늄은 지상부인 잎에 주로 분포되어 있었고 유기게르마늄 형태 처리시 게르마늄은 지하부인 뿌리에 많이 분포되어 있었다. 식물체내 흡수된 게르마늄 흡수량은 무기게르마늄 처리구의 경우 처리농도 2.5 mg L<sup>-1</sup> (투입 게르마늄 함량 254 µg)에서는 전체 투입 게르마늄 중 약 3%에 해당하는 약 7.49 µg (지상부 6.34 µg, 지하부 1.14 µg)이

**Table 4. Germanium contents and dry weights of *Brassica juncea* C. under different types of Ge compounds and Ge concentrations.**

Treatment	mg L <sup>-1</sup>	Dry weight		Ge content	
		Shoot	Root	Shoot	Root
		g plant <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	
Control	0	0.0508	0.0056	3.8	4.0
	2.5	0.0697	0.0091	90.9	125.9
	5	0.0693	0.0104	217.1	342.1
GeO <sub>2</sub>	10	0.0629	0.0085	346.1	398.1
	25	0.0410	0.0047	1629.6	933.1
	50	0.0357	0.0050	5852.0	1860.6
Ge-132	2.5	0.0636	0.0088	66.3	243.7
	5	0.0671	0.0082	139.3	477.3
	10	0.0608	0.0079	336.6	1018.0
	25	0.0556	0.0080	676.9	2847.0
	50	0.0412	0.0052	1460.4	4477.2

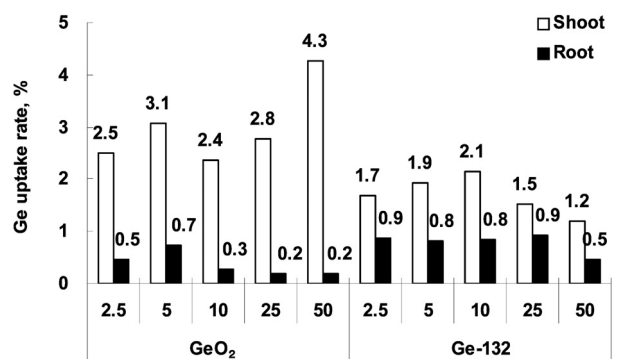
**Table 5.** The total amounts of Germanium uptake in *Brasica juncea* C. under different types of Ge compounds and Ge concentrations.

Treatment	Ge conc. mg L <sup>-1</sup>	Ge content in initial solution μg 100 mL <sup>-1</sup>	Ge uptake		
			Shoot	Root	Total
			----- μg plant <sup>-1</sup> -----		
Control	0	3	0.19	0.02	0.22
	2.5	254	6.34	1.14	7.49
	5	491	15.05	3.54	18.59
	10	915	21.75	2.53	24.28
	25	2400	66.79	4.35	71.15
GeO <sub>2</sub>	50	4890	208.79	9.26	218.05
	2.5	249	4.22	2.14	6.36
	5	481	9.34	3.92	13.26
	10	957	20.47	8.08	28.55
	25	2460	37.66	22.90	60.56
Ge-132	50	4990	60.15	23.47	83.62

식물체내로 흡수되었고 흡수된 게르마늄 중 지상부인 잎에 약 84.8%, 지하부인 뿌리에 약 15.2%가 분포되어 있었다. 이러한 경향은 무기게르마늄 농도별 모든 처리구에서 비슷한 경향을 보였으며, 처리농도가 증가할수록 게르마늄 흡수량도 증가하였지만 흡수율은 일정한 경향을 보였다. 그리고 유기게르마늄 처리구의 경우에는 처리농도 2.5 mg L<sup>-1</sup> (투입 게르마늄 함량 249 μg)에서는 전체 투입 게르마늄 249 μg 중 약 2.6%에 해당하는 약 6.36 μg (지상부 4.22 μg, 지하부 2.14 μg)이 식물체내로 흡수되어 무기게르마늄에 비하여 식물체 흡수율이 약간 낮았다. 전체 흡수된 게르마늄 중 잎에 약 66.4%, 뿌리에 약 33.6%로 무기게르마늄과 같이 지상부에 게르마늄 흡수율이 높았지만 무기게르마늄에 비해 지상부로 이동되는 양이 적은 것으로 보였다.

무기게르마늄 및 유기게르마늄 농도별 처리구의 식물체내 부위별 흡수율을 종합 검토한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 초기 용액 내 투입된 게르마늄에 대한 식물체내 흡수율을 부위별로 살펴보면 무기게르마늄의 경우 지상부에서 2.4~4.3% 범위로 평균 약 3.0%이고, 지하부에서 0.2~0.7% 범위로 평균 약 0.4%이었다. 유기게르마늄의 경우에는 지상부에서 1.2~2.1% 범위로 평균 약 1.7%, 지하부에서는 0.5~0.9% 범위로 평균 약 0.8%이었다. 무기 게르마늄 처리구의 흡수율은 지상부가 지하부에 비해 약 7.5배 높았으며, 유기게르마늄의 경우에는 지상부가 지하부에 비해 약 2.1배 높았다. 무기게르마늄 및 유기게르마늄 모두 지상부의 흡수율이 높았지만 유기게르마늄의 경우 지하부의 흡수율이 무기게르마늄에 비해 높았다.

#### 배양액 및 식물체내 무기성분 함량 변화 식물체 생

**Fig. 2.** Germanium uptake rates of *Brasica juncea* C. under different types of Ge compounds and Ge concentrations.

육 전후 배양액 및 식물체내 K, Ca, Mg 및 Na 함량 변화를 조사한 결과는 Table 6 및 7에서 보는 바와 같다. 식물체 생육전과 생육후의 배양액내 K, Ca, Mg 및 Na 함량 변화 (Table 6)는 전체적으로 무기게르마늄 및 유기게르마늄 처리구 모두에서 게르마늄에 대한 저해를 받지 않은 Ge 5 mg L<sup>-1</sup> 이내의 농도에서는 무처리에 비하여 배양액내 잔존량이 적었으며, Ge 10 mg L<sup>-1</sup> 이상의 농도에서는 배양액내 잔존량이 게르마늄 처리농도가 높을수록 많았다. 그리고 식물체내 K, Ca, Mg 및 Na 함량을 조사한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같이, 식물체내 주요 양이온 함량은 무기 및 유기게르마늄 처리에서 다르게 나타났으며, 전체적으로 보았을 때 무기게르마늄 처리구에 비하여 유기게르마늄 처리구에서 높았다. 성장저해를 비교적 받지 않는 정상적인 생육 처리농도인 10 mg L<sup>-1</sup> 처리농도까지의 각 양이온의 함량은 무기게르마늄 처리구에서는 지상부인 잎에서는 K와 Na함량은 대조구에 비하여 감소되었고 Ca 및 Mg 함량은 차이가 없었다. 지하부인 뿌리의 경우에는

**Table 6. Inorganic elements contents of nutrients solution in *Brasica juncea* C. cultivation under different types of Ge compounds and Ge concentrations.**

Types of germanium	Ge conc. mg L <sup>-1</sup>	K		Ca		Mg		Na	
		Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Control	0	143	110.7	80.7	63.8	26.5	22.7	3.03	0.90
	2.5	142	103.6	80.3	58.0	26.2	21.0	3.32	1.31
	5	143	109.0	81.3	61.1	26.5	21.6	2.96	0.75
	10	145	112.5	81.2	62.7	26.6	22.2	3.11	1.37
	25	143	117.0	80.6	67.9	26.3	23.3	3.37	2.23
	50	141	119.4	80.9	70.0	26.1	23.3	3.36	2.95
GeO <sub>2</sub>	2.5	142	107.7	80.7	59.6	26.2	21.3	3.00	0.79
	5	144	106.6	80.8	58.9	26.4	21.2	3.19	0.92
	10	142	107.9	81.2	62.5	26.2	21.6	3.25	1.16
	25	144	112.8	81.3	66.4	26.6	22.1	3.00	1.56
	50	143	121.3	81.2	72.2	26.2	23.3	3.22	1.82

**Table 7. Inorganic elements contents in the different parts of *Brasica juncea* C. under different types of Ge compounds and Ge concentrations.**

Types of germanium	Ge conc. mg L <sup>-1</sup>	Shoot				Root			
		K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na
Control	0	514.0	273.3	61.6	34.5	34.7	13.2	2.6	0.237
	2.5	443.7	260.0	60.7	23.5	39.9	13.1	2.9	0.266
	5	435.7	257.0	62.8	27.9	51.7	13.8	4.3	0.440
	10	480.5	269.5	62.6	23.4	54.0	9.2	4.0	0.329
	25	382.0	190.0	44.5	17.0	27.0	7.2	1.4	0.265
	50	313.0	159.0	40.4	20.1	32.5	6.8	2.3	0.118
GeO <sub>2</sub>	2.5	511.3	313.7	72.7	32.8	49.8	16.8	4.4	0.452
	5	556.3	328.3	78.2	34.3	51.7	16.5	4.1	0.866
	10	503.3	277.0	67.7	30.9	42.2	9.4	3.2	0.263
	25	355.0	171.3	51.0	29.0	30.1	7.3	2.3	0.096
	50	249.7	104.6	33.2	16.5	24.8	4.6	2.4	0.048

Ca 함량은 대조구와 대조구와 차이가 없었으나 K, Mg 및 Na 이온은 증가되었다. 유기게르마늄 처리구에서는 지상부인 잎에서는 K 및 Na 함량은 차이가 없었으나 Ca 및 Mg 함량이 증가되었고 뿌리에서는 K, Ca, Mg 및 Na 함량 모두 증가되었다. 이와는 대조적으로 Lee et al. (2005b)가 보고한 게르마늄 처리농도 증가에 따른 현미의 무기이온 함량 변화에서는 증가하지 않고 일정한 경향이였다.

### 요 약

게르마늄 종류별 양액재배시 갖의 생육특성 및 게르마늄 흡수 특성을 조사하기 위해 갖 재배시 무기게르마늄 (GeO<sub>2</sub>) 과 유기게르마늄 (Ge-132)을 농도별로 각각 처리하여 게

르마늄 독성발생 범위, 성장반응, 갖 부위별 게르마늄 함량 그리고 갖의 게르마늄 흡수량 및 흡수율을 조사하였다. 무기 및 유기게르마늄 모두 10 mg L<sup>-1</sup>까지는 생육저해 현상이 거의 없었으나, Ge 25 mg L<sup>-1</sup> 이상부터는 심한 생육저해 현상을 보여 Ge 75 및 100 mg L<sup>-1</sup>에서는 새싹생성이 거의 되지 않을 정도로 저해현상이 나타났다. 대조구와 비교 하였을 때, 무기게르마늄은 Ge 5 mg L<sup>-1</sup> 처리까지, 유기게르마늄은 Ge 10 mg L<sup>-1</sup> 처리까지 지상부 및 지하부 성장반응이 대조구에 비하여 약간 증가되는 경향이였다. 게르마늄의 흡수량을 살펴보면 무기게르마늄의 경우 총 흡수된 게르마늄 중 지상부인 잎에 약 70%, 지하부인 뿌리에 약 30%가 분포되어 있었다. 유기게르마늄의 경우에는 무기게르마늄과는 반대로 잎에 약 23%, 뿌리에 약 77%로

뿌리에 훨씬 많이 분포되어 있었다. 초기 용액 내 투여된 게르마늄에 대한 식물체내 흡수율을 부위별로 살펴보면, 무기계르마늄의 경우 지상부에서 2.4~4.3% 범위로 평균 약 3.0%이고, 지하부에서 0.2~0.7% 범위로 평균 약 0.4%이었다. 유기계르마늄의 경우에는 지상부에서 1.2~2.1% 범위로 평균 약 1.7%, 지하부에서는 0.5~0.9% 범위로 평균 약 0.8%이었다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 [NRF-2010-0025548, NRF-2010-359-F00003] 과 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술 개발사업 [10037331, 지능형 BT-NT-IT 융합 플랫폼 기반 수처리 핵심기술 개발]의 일환으로 수행하였음.

## 인용 문헌

- Aso, H., F. Suzuki, T. Yamaguchi, Y. Hayashi, T. Ebina, and N. Ishida. 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.* 29:65-74.
- Chang, E.J. and H.I. Oh, 2005. Effect of addition of inorganic germanium, GeO<sub>2</sub> on the growth, germanium and saponin contents of ginseng adventitious root in submerged culture. *Journal of ginseng research* 29:145-151.
- Dimartino, M.J. 1986. Antiarthritic and immunoregulatory activity of spirogermanium. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 236: 103-110.
- Han, M.J., S.U. Kim, D.C. Seo, Y.H. Cheong, D.J. Lee, M.S. Park, Y.S. Rim, B.K. Sohn, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2007. Uptake properties of germanium to vegetable plants and its effect on seed germination and on early stage growth. *Korean J. Environ. Agric.* 26:217-222.
- Heo, J.S. 2009. Development of production techniques for environment-friendly agricultural materials and functional agricultural products with germanium. Ministry for Food, Agricultural, Forestry and Fisheries.
- Ho, C.C., Y.F. Cherm, and M.T. Lin, 1990. Effects of organogermanium compound 2-carboxyethylgermanium sesquioxide on cardiovascular function motor activity in rats. *Pharmacology*, 41:286-291.
- Kehlbeck, H. 1983. New geramanium conaning yeast for medicinal and veterinary use. *Deutsch Patent DE.* 3345211.
- Lee, H.M. and Y. Chung, 1991. Effect of organic germanium on metallothionnein inductin in liver and kindey of cadmium and mercury intoxicated rats. *Yakhak Hoeji*, 35:99-110.
- Lee, S.T., Y.H. Lee, K.N. Bhan, D.C. Seo, and J.S. Heo, 2005a. Growth characteristics and germanium absorption in Lettuce with different concentrations of germanium in soil. *Korean J. Environ. Agric.* 24:404-408.
- Lee, S.T., Y.H. Lee, Y.J. Choi, S.D. Lee, C.H. Lee, and J.S. Heo. 2005b. Growth characteristics and germanium absorption in Rice plant with different germanium concentrations in soil. *Korean J. Environ. Agric.* 24:40-44.
- Lim, J.S., D.C. Seo, W.Y. Park, Y.S. Cheon, S.T. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2008. Effects of soil texture on germanium uptake and growth in rice plant by soil application with germanium. *Korean J. Environ. Agric.* 27:245-252.
- Mochizuki, H. and T. Kada, 1982. Antimutagenic effect of Ge-132 on  $\gamma$ -ray-induced mutation in *Escherchia coli* B/rWP2 trp-. *Int. J. Radiat. Biol.*, 42:653-659.
- Nobohiro, W., I. Osamu, K. Dakuro, and Y. Koichi. 1980. New approaches to using spent brewer's yeast, *ASBC Journal*, 38, 5.
- Obara, K., T. Saito, H. Sato, K. Yamakage, T. Watanabe, M. Kakizawa, T. Tsukamoto, K. Kobayashi, M. Hongo, and K. Yoshinaga. 1991. Germanium poisoning; clinical symptoms and renal damage caused by long-term intake of germanium. *Jpn. J. Med.* 30:67-72.
- Park, B.W., J.H. Lee, and T.O. Kwon. 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.* 4:101-108.
- Seo, D.C., Y.S. Cheon, S.K. Park, J.H. Park, A.R. Kim, W.K. Lee, S.T. Lee, Y.H. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2010. Applications of different types of germanium pompounds on rice plant growth and its Ge uptake. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:166-173.
- Suzuki, F., R.R. Brutkiewicz, and R.B. Pollard. 1986. Cooperation of lymphokine (s) and marcophages in expression of antitumor activity of carboxyethylgermanium (Ge-132). *Antitumor Res.* 62:177-182.
- Suzuki, Y. and K. Taguchi. 1983. Pharmacological studies of carboxyethylgermanium sesquioxide (Ge-132). *Pharmacometrics*, 26:803-810.
- Wei, X.S. 1992. Effect of yeast on bioenrichment of germanium. *Food Science.* 149:49-54.