ISSN 0367-6315
Korean J. Soil Sci. Fert. 45(4), 649-656 (2012)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.4.649

보문

게르마늄 엽면살포가 벼의 생육과 게르마늄 흡수에 미치는 영향

박종환† · 서동철[1]† · 김성헌 · 이충헌 · 이성태[2] · 최정호[3] · 김홍출[4] · 하영래 · 조주식[1]** · 허종수*

경상대학교 응용생명과학부 (Bk21 농생명산업 글로벌 인재 육성 사업단) & 농업생명과학원, [1]순천대학교 생물환경학과, [2]경상남도농업기술원, [3]한국환경공단 환경분석처, [4]경남과학기술대학교 제약공학과

Effect of Germanium Foliar Spray Application on Growth Characteristics and Germanium Absorption in Rice

Jong-Hwan Park†, Dong-Cheol Seo[1]†, Seong-Heon Kim, Choong-Heon Lee, Seong-Tea Lee[2], Jeong-Ho Choi[3], Hong-Chul Kim[4], Yeong Rae Ha, Ju-Sik Cho[1], and Jong-Soo Heo***

Divison of Applied Life Science (BK21 Program) & Institute of Agriculture and Life Science, GyeongSang National University, Jinju, 660-701, Korea

[1]Department of Bio-Environmental Sciences, Sunchon National University, Sunchon, 540-742, Korea

[2]Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju, 660-370, Korea

[3]Division of Environmental Analysis, Korea Environment corporation, Incheon, 404-708, Korea

[4]Department of Pharmaceutical Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 660-758, Korea

To obtain the basic information for agricultural utilization of germanium (Ge), the growth characteristics and Ge absorption in rice plant were investigated under different Ge concentrations by foliar spray application. The Ge concentrations were treated with 0 (control), 10, 20, 40 and 80 mg L^{-1} in pot (1 5000^{-1} a), respectively. The Ge absorption rate in rice by foliar spray application with 80 mg L^{-1} in pot was higher in the order of leaf (5.75%) > stem (4.52%) > root (<0.01%). By foliar spray application, the Ge content in rice was higher in the order of 80 mg L^{-1} > 40 mg L^{-1} > 20 mg L^{-1} > 10 mg L^{-1}. When rice was treated with 80 mg L^{-1} of Ge, the Ge content in rice grain was higher in the order of rice bran (0.21 mg pot^{-1}) >> brown rice (0.04 mg pot^{-1}) ≥ polished rice (0.03 mg pot^{-1}). By foliar spray application, the Ge uptake in rice bran was higher than that in other parts. Therefore, optimum Ge concentration by foliar spray application was 80 mg L^{-1} in pot based on the results from the Ge treatments.

Key words: Foliar spray, Germanium, Rice bran, Brown rice, Polished rice

서 언

게르마늄(Germanium)은 1986년 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 (Merian, E., 1991; Bernstein, L, R., 1985). 지표의 풍화과정에서 게르마늄은 어느 정도의 이동성을 가지지만, $Ge(OH)_4$, 점토광물, Fe oxide, 유기물질, coal 등에 흡착하여 재결정을 이루며 존재하고 있다. 지표에서 게르마늄은 4^+, 2^+로 존재하지만 $HGeO_2^-$, $HGeO_3^-$, GeO_3^{2-} 및 GeS^{2-}와 같은 형태로 존재한다. 또한 게르마늄은 이온 자체로 존재하기 보다는 대부분 sulfosalt 형태로 존재한다 (Cheon, 2010). 게르마늄은 무기게르마늄과 유기게르마늄으로 분류할 수 있는데, 무기게르마늄 (GeO_2)은 인체 내 유입시 빈혈, 신기능장해, 근육 장애를 유발하는 것으로 알려져 있으나 (Obara et al., 1991), 유기게르마늄은 항종양 효과 (Jang et al., 1991), 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 해독작용 (Lee and Chung, 1991) 및 운동성 증가 (Ho et al., 1990) 등의 다양한 약리작용을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 최근 게르마늄은 한방약

접수 : 2012. 7. 19 수리 : 2012. 8. 10
†공동 제1저자
*연락저자 : Phone: +82557515470
E-mail: jsheo@gnu.ac.kr
**공동연락저자 : Phone: +82617503297
E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

재, 키토산, 인삼, 칼슘, 녹차, 목초액, 참숯, 맥반석 등의 농자재와 함께 유기게르마늄이 약리효과를 가지고 있는 것으로 보고된 바 있다 (Lee et al., 2005a).

특히, 게르마늄 농자재의 경우 토양 중 게르마늄 함량이 낮기 때문에 식물체중 게르마늄 함량이 낮아 무기게르마늄을 농자재로 사용하여 유기게르마늄화 하기 위한 효과적인 농축의 수단으로 다양한 연구들이 그 동안 수행되었다. 무기게르마늄을 유기게르마늄화하기 위한 수단으로는 미생물, 효모류 (Kehlbeck, 1983; Nobohiro et al., 1980; Wei, 1992) 및 규조류를 이용하기도 하였으며, 몇몇 연구자는 유기게르마늄함유 식물체를 개발하기 위하여 일당귀와 인삼 (Lee et al., 1995), 강활 (Park et al., 1996)을 이용하기도 하였다.

게르마늄 농자재가 사용되어지고 있는 작물로는 벼, 참외, 단감, 고추, 딸기, 토마토, 부추 등 30여개 품목에 재배면적도 667 ha에 이르며, 일반농산물 보다는 20-30% 높은 가격에 거래되고 있는 실정이다 (Hwang, 2008). 하지만 현재 생산되고 있는 기능성 농산물은 기능성 성분이 얼마나 함유되어 있는지 불확실하며, 또한 기능성이 과학적으로 검증되지 않은 상태에서 유통되고 있는 것이 대부분이고 단순히 한방영양제, 키토산, 게르마늄 등 특이한 농자재를 작물에 처리하여 생산한 농산물을 브랜드화 하여 소비자들에게 혼란을 야기하고 있는 실정이다.

최근 게르마늄에 대한 연구는 Kang et al. (2011)이 보고한 갓에 대한 흡수특성 및 Kim et al. (2009)에 의한 상추에 대한 흡수특성 및 독성에 대한 연구 등으로 다양한 작물에 대한 연구가 진행중에 있으며, 또한 Lee et al. (2005b)와 Seo et al. (2010)은 게르마늄 토양 시비에 따른 벼의 생육생황 및 게르마늄 흡수특성에 관한 연구결과를 보고한 바 있으나, 벼 재배시 게르마늄 엽면시비에 관한 체계적인 연구는 기초수준에 머물러 있는 실정이다. 엽면시비는 뿌리에 의한 특정 양분의 흡수가 제한되어 생리적인 장해가 유발될 가능성이 있을 때 빠른 시일내에 작물의 생육을 정상적으로 회복시키는 데 능률적이며, 효과적인 방법으로 알려져 있으며 (Song et al., 2006), 특히 토양시비에 대한 게르마늄의 이행성이나 독성 문제를 보완하기 위해 엽면시비를 통해 효율적인 게르마늄 흡수와 유기화 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 게르마늄 엽면살포시 벼의 생육특성과 벼의 게르마늄 흡수특성을 조사하기 위해 게르마늄을 엽면에 수준별로 처리한 후 벼 생육특성, 벼 및 쌀의 부위별 게르마늄 함량을 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료　본 시험은 경남 진주시 초전동에 위치한 경상남도농업기술원 시설하우스에서 실시하였다. 공시토양의 화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 pH는 5.8이었고, 유기물 함량은 23.1 g kg^{-1}이었으며, 유효인산은 361 mg kg^{-1}로 Lee et al. (2005b)의 게르마늄 벼 재배를 위해 사용했던 경남지역 논토양과 유사하였다. 또한 본 시험에 사용한 공시토양은 Lee et al. (2012)이 보고한 경남지역 논토양 평균과도 유사하였다. 공시 토양의 토성은 Table 2에서 보는 바와 같이 모래, 미사 및 점토가 각각 2.9, 83.8 및 13.3%로 미농무성법 분류기준에 의해 미사질양토였다. 공시 작물은 중만생종인 동진벼를 사용하였으며, 벼는 초장 10 cm인 어린모를 6월 초순에 pot에 이앙하여 10월 말에 수확하였다. 실험에 사용된 공시 게르마늄은 무기게르마늄 [GeO_2, Sigma]를 사용하였으며, 5000 mg L^{-1}의 stock solution을 조제하여 시험 목적에 따라 일정농도로 희석하여 사용하였다.

실험방법 및 조사시기　GeO_2의 엽면처리 수준별 게르마늄 흡수 특성조사는 게르마늄 엽면처리 농도를 무처리, 10, 20, 40 및 80 mg L^{-1} (25, 50, 100 및 200 g $10a^{-1}$)로 구분하여 최고분얼기, 수잉기 및 출수기에 각각 50 mL씩 분무기로 분무하여 게르마늄 엽면처리 농도별 벼 생육특성, 벼 부위별 게르마늄 흡수량 및 쌀 부위별 게르마늄 함량을 조사하였다.

우선 벼를 pot에 이앙하기 전에 건조된 토양 4 kg을 1 $5,000^{-1}$ a 와그너 pot에 넣고 모든 처리구에서 동일한 양의 물을 가하여 토양과 골고루 혼합 조제하였다. 각 pot (1

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment.

pH	EC	O.M.	Av.P_2O_5	Av.SiO_2	Exch. Cation		
					K	Ca	Mg
(1:5)	(dS m^{-1})	(g kg^{-1})	(mg kg^{-1})	(mg kg^{-1})	(cmol+ kg^{-1})		
5.8±0.4	0.52±0.06	23.1±2.7	361±11	100±4.8	0.33±0.08	5.9±0.4	1.5±0.2

Table 2. Texture of the soil before experiment.

Soil texture	Sand	Silt	Clay
	----------	%	----------
Silt loam	2.9	83.8	13.3

$5,000^{-1}$ a)당 동진벼 5주씩 이앙하였으며, 시험구는 6반복 완전임의배치법으로 하였다. 시비는 농업과학기술원 작물별 시비처방 기준에 따라 표준시비량으로 $N-P_2O_5-K_2O$ = 9.0-4.5-5.7 kg $10a^{-1}$ ($N-P_2O_5-K_2O$ = 0.18-0.09-0.12 g pot^{-1})되게 시비하였다. N, P_2O_5 및 K_2O의 시비에는 각각 요소, 용과린 및 염화칼리 비료를 사용하였다. 질소의 분시비율은 기비, 분얼비 및 수비를 각각 50, 20 및 30%로 하였으며, 칼리의 분시비율은 기비 및 수비를 70 및 30%로 하였다 (NAAS, 2006). 관수 및 기타재배는 관행재배법에 준하였다. 또한 엽면살포시 처리용액이 흘러내리지 않게 살포하였으며, 주위의 다른 pot에 영향이 미치지 않게 독립적으로 분무하였다.

분석방법 토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 표준분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양의 pH는 초자전극법, EC는 EC meter (Orion, Model 160, Germany)로 분석하였으며, 유기물은 Tyurin법, 총질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법, 유효규산은 NaOAc법, 치환성 양이온은 1N-Ammonium acetate (pH 7.0)침출법으로 각각 분석하였다.

식물체 중 게르마늄 분석을 위한 시료는 열풍건조기로 80℃에서 건조하여 40 mesh 이하로 분쇄한 후 사용하였으며, 식물체 중 게르마늄 분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체분석법에 준하여 시료를 습식분해액으로 분해시킨 여액을 필요에 따라 희석하여 Inductively coupled plasma (ICP) spectrometer [Atomscan25 (TJA), OPTIMA 4300DV (Perkin elmer)] 및 ICP-MS로 분석하였다.

통계 분석방법 통계분석은 SPSS 19버전 (2011)을 사용하여 벼의 생육특성, 수량 및 게르마늄 흡수량 결과를 5% 유의수준에서 Duncan's multiple rage test를 수행하였다.

결과 및 고찰

게르마늄 엽면처리 수준별 벼 생육 특성 GeO_2 엽면처리 농도별 벼 생육특성은 Fig. 1, 2 및 Table 3, 4에서 보는 바와 같다. 게르마늄 처리에 따른 벼의 생육시기별 초장은 생육 전시기 동안 GeO_2 엽면처리 농도에 따라 유의적인 차이는 없었다. 또한 게르마늄 처리에 따른 벼의 잎수도 초

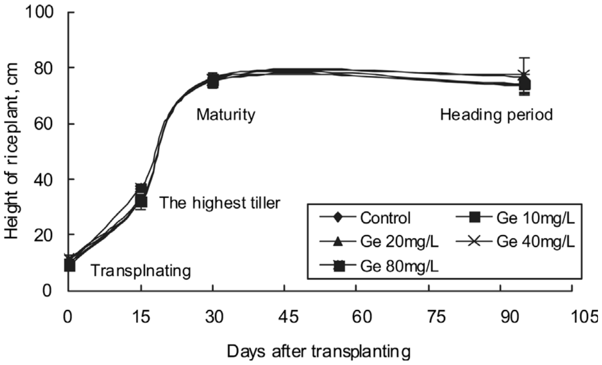

Fig. 1. Variation of plant length in rice plant under different Ge concentrations by foliar spray application.

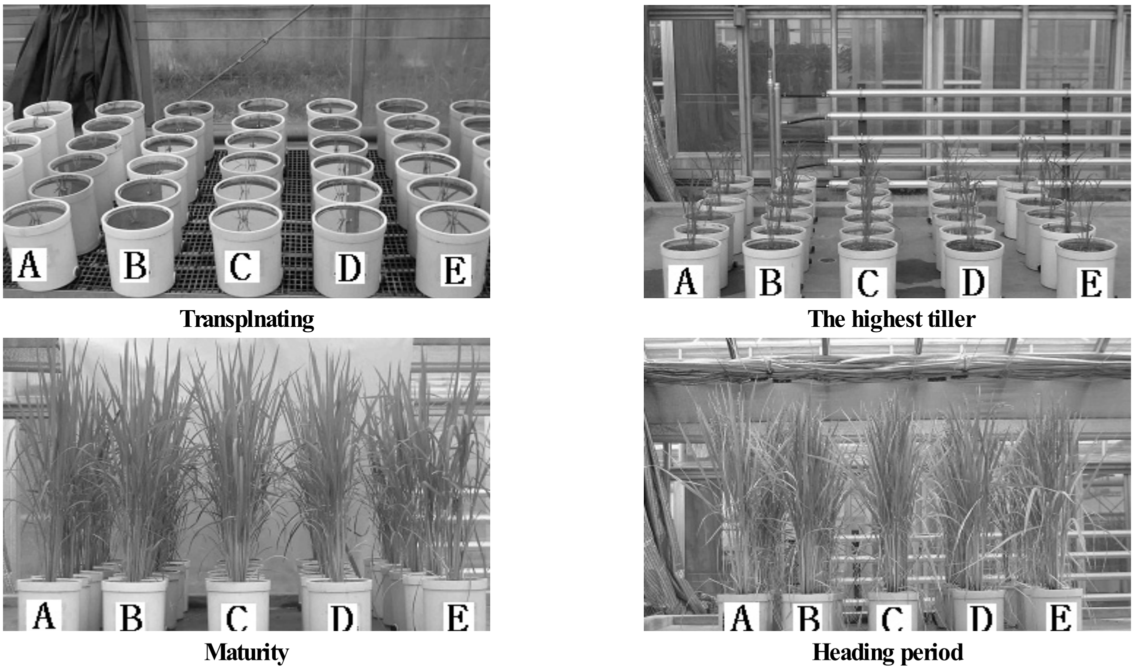

Fig. 2. Growth status of rice under different Ge concentrations by foliar spray application (A, Ge 0 mg L^{-1}; B, Ge 10 mg L^{-1}; C, Ge 20 mg L^{-1}; D, Ge 40 mg L^{-1}; E, Ge 80 mg L^{-1}).

Table 3. Variation of leaf number in rice plant under different Ge concentrations by foliar spray application.

Treatment	Transplanting	The highest tiller	Maturity	Heading period
(mg L^{-1})	----------	---------- ea pot^{-1}	----------	----------
Control	17.2a	25.0a*	58.3a	-
Ge 10	17.4a	25.2a	60.0a	-
Ge 20	18.1a	24.8a	60.0a	-
Ge 40	17.7a	23.7a	61.5a	-
Ge 80	17.2a	26.2a	63.0a	-

*Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

Table 4. Variation of tiller number in rice plant under different Ge concentrations by foliar spray application.

Treatment	Transplanting	The highest tiller	Maturity	Heading period
(mg L^{-1})	----------	---------- ea pot^{-1}	----------	----------
Control	5.2a	5.85b	16.40a*	9.83ab
Ge 10	5.4a	5.83b	17.50a	10.83a
Ge 20	5.7a	5.73b	18.83a	9.67ab
Ge 40	5.5a	5.92a	18.50a	8.17b
Ge 80	5.6a	6.00a	20.00a	10.00ab

*Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

Table 5. Growth characteristics of rice plant under different Ge concentrations by foliar spray application.

Treatment	Culm length	Panicle length	No. panicle per hill	No. grain per panicle	1,000 grain	Yield per pot	T/R ratio
(mg L^{-1})	(cm)	(cm)			(g)	(g pot^{-1})	
Control	54.1c*	18.9a	8.8a	97a	21.8a	12.3a	4.61ab
Ge 10	55.2c	19.2a	9.7a	81c	20.7ab	10.7b	4.88a
Ge 20	58.0bc	18.9a	9.0a	83bc	21.6a	11.1b	4.42b
Ge 40	58.5a	18.9a	8.0a	99a	21.0ab	9.6c	4.47b
Ge 80	55.7bc	18.5a	8.3a	88b	20.3b	9.0c	4.16c

*Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

장과 비슷한 경향으로 GeO_2 엽면처리 농도에 따라 유의적인 차이는 없었다.

게르마늄 엽면처리 농도에 따른 벼의 생육시기별 분얼수는 Table 4에 나타난 바와 같이 생육초기에는 20 mg L^{-1}까지는 별 차이 없었으나 40 mg L^{-1}부터는 약간 증가하는 경향이었으며, 처리간에 유의적인 차이가 있었다. 수잉기에서 Ge 40 mg L^{-1}까지 처리한 pot의 경우 분얼수가 pot당 18.5 ea이었으나, Ge 80 mg L^{-1}으로 처리한 pot의 경우 분얼수가 pot당 20.0 ea로 다른 처리농도에 비해 약간 증가하는 경향이었으나, 유의성의 차이는 없었다.

수확후 게르마늄의 생육특성은 Table 5에서 보는 바와 같이 게르마늄 엽면처리 농도가 증가할수록 대조구에 비해 초장, 수장, 수수, 천립중 및 포트당 생산량이 전반적으로 감소되는 경향이었다. 특히, 쌀의 포트당 생산량은 Ge 10 mg L^{-1}처리에서 10.7 g pot^{-1}인 것이 Ge 80 mg L^{-1}처리에서 9.0 g pot^{-1}으로 감소하였다. Dakley and Vocani (1969)와 Lee et al. (2005b)은 게르마늄 처리시 식물 독성으로 인해 벼의 생육이 억제되고 황화현상이 나타난다고 보고 하였다.

게르마늄 엽면처리 농도에 따른 벼 부위별 게르마늄 함량 게르마늄 엽면처리 농도에 따른 벼 부위별 건물중량 및 게르마늄 함량은 Table 6에서 보는 바와 같다. 잎, 줄기 및 뿌리의 pot당 건물중량은 게르마늄 엽면처리 농도에 따라 별 차이 없었다. 벼 부위별 게르마늄 함량은 잎 및 줄기에서는 게르마늄 엽면처리 농도가 증가할수록 게르마늄 함량이 급격히 증가하였으나, 뿌리에서는 게르마늄 엽면

Table 6. Dry weight and Ge contents in various part of the rice plant under different Ge concentration by foliar spray application.

Treatment	Dry weight			Ge content		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
(mg L^{-1})	------------------	g pot^{-1}	------------------	------------------	mg kg^{-1}	------------------
Control	5.10c*	8.40b	5.25c	1.3d	0.4d	0.007d
Ge 10	5.44b	8.98b	5.90b	10.4c	5.4c	0.022c
Ge 20	5.47b	9.03b	5.95b	20.2c	12.6bc	0.037c
Ge 40	5.22bc	8.61b	5.33c	56.8b	36.4b	0.069b
Ge 80	5.95a	9.80a	6.42a	116.2a	55.3a	0.097a

*Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

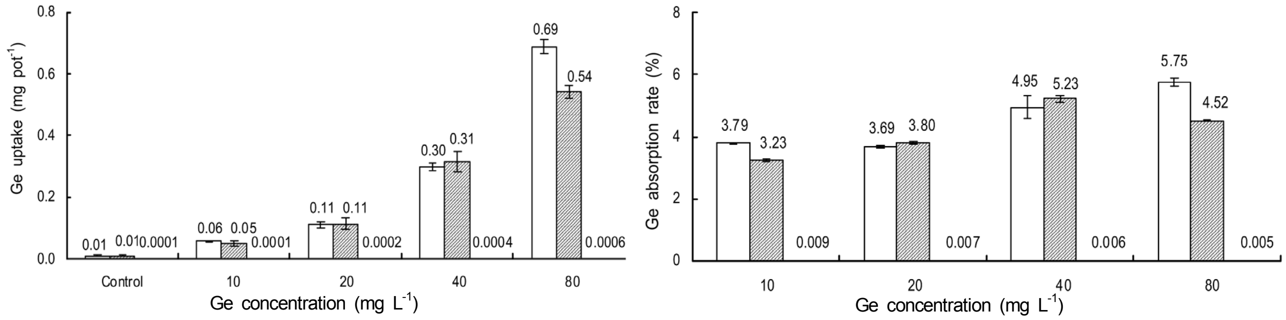

Fig. 3. Ge uptake and Ge absorption rates in various part of the rice plant under different Ge concentrations by foliar spray application (□, Leaf; ▨, Stem; ▩, Root).

처리 농도가 증가할수록 게르마늄 함량이 미미하게 증가하였다.

게르마늄 엽면처리 농도에 따른 벼 부위별 흡수량 및 게르마늄 흡수율은 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 벼 부위별 게르마늄 흡수량은 전반적으로 줄기와 잎은 비슷하였고, 상대적으로 뿌리는 매우 적은 흡수량을 보였다. 특히 10-40 mg L^{-1}으로 처리한 pot에는 줄기가 잎에 비해 미미하지만 약간 높은 게르마늄 흡수량을 보였고, Ge 80 mg L^{-1}으로 처리한 pot에는 잎이 줄기에 비해 약간 높은 흡수량을 보였다. Kang and U (1999)의 온주밀감에 대한 요소의 엽면처리 연구결과에서도 본 연구결과와 동일한 경향으로 뿌리 및 줄기에 비해 잎에서 높은 흡수량을 보인다고 보고하였다. 이와 같이 엽면살포시 다른부위에 비해 잎에서 직접적인 영향을 받는 것으로 사료된다. 또한 Lim et al. (2008)에 의하면 게르마늄 처리시 게르마늄 독성은 다른 부위에 비해 잎에서 쉽게 관찰된다고 보고하였으며, Matsumoto et al. (1975)은 무기게르마늄 과잉처리시 잎에서 황백화 현상에 대해 보고되어진 바 있다. 이들에 의하면 황백화 현상은 Ge-Si와 Ge-C 결합이 Si-Si와 Si-C 결합보다 약하기 때문에 나타나는 세포벽의 손상이 원인이 되었고, 특히 황백화가 일어나는 식물체 부위에 Ge의 축적이 많은 것으로 보고되었다. 또한 무기게르마늄은 식물조직이나 세포와의 결합력 약화로 인해 벼에 게르마늄을 과량처리시 일부는 유기화되지 못하고 무기게르마늄의 독성을 나타낸다고 보고된 바 있다 (Matsumoto et al., 1975; Seo et al., 2010).

벼 부위별 게르마늄 흡수율은 전반적으로 잎과 줄기가 뿌리에 비해 매우 높았고, 상대적으로 뿌리는 아주 낮았다. 게르마늄 흡수율은 게르마늄 함량이 증가 할수록 점점 증가하였고, Ge 80 mg L^{-1}에서 게르마늄 흡수율은 잎과 줄기가 각각 5.7 및 4.5%로 가장 높았다. 따라서 엽면시비의 경우 게르마늄 엽면처리 농도가 증가 할수록 게르마늄 흡수율이 증가함을 알 수 있었다.

게르마늄 엽면처리 농도별 쌀 부위별 게르마늄 함량 게르마늄 엽면처리 농도에 따른 쌀 부위별 생산량 및 게르마늄 함량은 Table 7에서 보는 바와 같다. 쌀겨, 현미 및 백미의 pot당 생산량은 게르마늄 함량 증가와 상관없이 유사하였으나, Ge 80 mg L^{-1}으로 처리한 pot의 경우 약간 적었다. 쌀겨에서는 게르마늄 엽면처리 농도가 증가 할수록 게르마늄 함량이 급격히 증가 하였으나, 현미 및 백미에서는 게르마늄 엽면처리 농도가 증가 할수록 게르마늄 함량이 미미하게 증가하였다. 특히 게르마늄은 쌀의 껍질에 많이 분포되는 것으로 보이며, 쌀겨와 쌀눈 등이 포함된 현미의 게르마늄 함량이 백미에 비해 높았다. Kim et al. (2009)은 게르마늄을 60 mg kg^{-1}을 함유한 상추를 생쥐에게 단일 경구투여를 통하여 독성실험한 결과 어떠한 독성이 일어나지

Table 7. Rice yield and Ge contents in various parts of the rice under different Ge concentrations by foliar spray application.

Treatment	Yield			Ge content		
	Rice bran	Brown rice	Polished rice	Rice bran	Brown rice	Polished rice
(mg L^{-1})	-------------------	g pot^{-1}	-------------------	-------------------	mg kg^{-1}	-------------------
Control	1.81b	8.62c	7.48cd*	0.02d	0.002d	0.001d
Ge 10	1.94a	8.75b	8.63b	3.07c	1.343c	1.182c
Ge 20	2.02a	9.08a	8.96a	57.82b	1.732bc	1.593bc
Ge 40	1.74b	7.85c	7.75c	63.13ab	2.961b	2.191b
Ge 80	1.63c	7.36d	7.26d	129.27a	5.633a	3.802a

*Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05

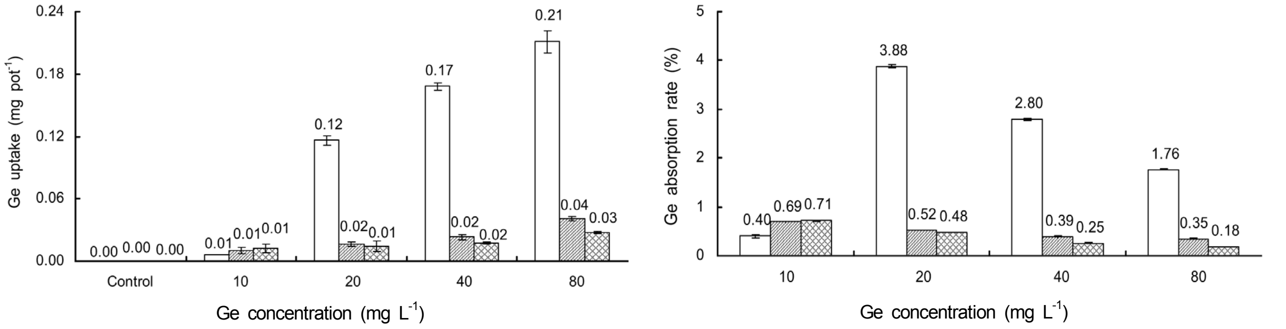

Fig. 4. Ge uptake and Ge absorption rates in various part of the rice under different treatment concentration on Ge foliar spray application (□, Rice bran; ▨, Brown rice; ▩, Polished rice).

않는다는 연구결과가 보고되었으며, 따라서 쌀을 이용하여 게르마늄을 섭취하려면 되도록 도정공정을 줄인 현미가 좋을 것으로 판단되며, Seo et al. (2010)도 유사한 결과를 보고한 바 있다. 또한 Lim et al. (2008)의 게르마늄 토양처리에 따른 백미 및 현미의 게르마늄의 함량은 각각 14.5 및 8.3 mg kg^{-1}으로 보고되었는데, 본 연구의 엽면처리시 백미와 현미 중 게르마늄 함량은 각각 1.3 및 1.2 mg kg^{-1}로 토양처리에 비해 낮은 경향이었다. 따라서 실제로 농가에 적용하기에는 엽면처리보다는 토양처리방법이 좋을 것으로 판단된다. 하지만 게르마늄의 토양처리시 이행성이나 독성으로 인해 재배가 제한되는 경우는 엽면처리에 의한 게르마늄 처리가 필요할 것으로 판단된다.

게르마늄 엽면처리 농도에 따른 쌀 부위별 게르마늄 흡수량과 및 게르마늄 흡수율은 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 쌀 부위별 게르마늄 흡수량은 전반적으로 쌀겨 ≫ 현미 〉 백미 순이었으며, 특히 쌀 부위별 게르마늄 흡수량은 Ge 80 mg L^{-1}으로 처리한 pot에서 쌀겨의 경우 0.21 mg pot^{-1}이었으며, 현미 및 백미의 경우는 각각 0.04 및 0.03 mg pot^{-1}으로 가장 많은 흡수량을 보였다. 쌀 부위별 게르마늄 흡수율은 전반적으로 쌀겨에서 가장 높았고, 현미와 백미는 쌀겨에 비해 약간 낮았다. 이와 같은 결과는 Lim et al. (2008)의 게르마늄 토양처리에 따른 연구결과와 동일한 경향이었다. 게르마늄 흡수율은 게르마늄 처리 함량이 Ge 20 mg L^{-1}까지는 게르마늄 함량이 증가할수록 점점 증가하여 Ge 20 mg L^{-1}에서 게르마늄 흡수율이 3.88%로 가장 높았다. 게르마늄 엽면시비량 대비 게르마늄 흡수량의 비율은 20 mg L^{-1}에서 3.88%로 가장 높았으며, Ge 처리농도가 높아질수록 엽면시비량 대비 게르마늄 흡수량은 상대적으로 적어 흡수율이 낮게 나타났다. 이상의 결과는 벼 부위와 상반된 결과를 보였는데, 이는 벼의 Ge 흡수량은 생육초기부터 생육 전기간 동안 흡수된 반면에 쌀의 Ge 흡수량은 유수형성기부터 시작되어 상대적으로 흡수량이 적은 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 엽면처리 농도에 따른 토양내 게르마늄 함량은 평균 0.08 mg kg^{-1}정도로 모든 처리구에서 자연함유량 수준을 보였으며, 처리간에 유의적인 차이는 없었다. Lee et al. (2005a)에 의하면 경남지역 토양내 게르마늄의 자연함유량은 0.09–0.40 mg kg^{-1} 수준으로 본 시험에 사용된 토양도 자연함유량 범위내에 포함되었다.

요 약

본 연구는 게르마늄의 엽면살포가 벼의 생육과 게르마늄 흡수에 미치는 영향을 조사하기 위해 게르마늄을 엽면에 수준별로 처리하여 벼를 재배하였을 때 벼의 생육 특성 및 부위별 게르마늄 흡수량을 조사하였다. 벼에 엽면처리한 게르

마늄(GeO_2)액은 0(무처리), 10, 20, 40 및 80 mg L^{-1} (25, 50, 100 및 200 g $10a^{-1}$)되게 조제한 후 최고분얼기, 수잉기 및 출수기에 각각 50 mL씩 분무기로 분무하였다. 게르마늄 엽면처리 농도에 따른 벼의 생육시기별 초장 및 잎수는 GeO_2 수준별로 큰 차이 없이 비슷하였다. 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 전반적으로 잎과 줄기가 매우 높았고, 상대적으로 뿌리는 아주 낮았다. 게르마늄 흡수율은 게르마늄 엽면처리 농도가 증가 할수록 점점 증가 하였고, Ge 80 mg L^{-1}에서 게르마늄 흡수율은 잎과 줄기가 각각 5.75 및 4.52%로 가장 높았다. 쌀 부위별 게르마늄 흡수량은 Ge 80 mg L^{-1}으로 처리한 pot에서 쌀겨의 경우 0.21 mg pot^{-1}이었으며, 현미 및 백미의 경우는 각각 0.04 및 0.03 mg pot^{-1}으로 가장 많은 흡수량을 보였다. 또한 쌀 부위별 게르마늄 흡수율은 쌀겨 〉〉 현미 ≥ 백미 순이었으며, 20 mg L^{-1}으로 처리한 pot에서 가장 높은 흡수율을 보였다. 이상의 결과의 미루어 볼 때 본 게르마늄 엽면처리 조건하에서 최적 엽면처리 농도는 게르마늄의 독성이 나타나지 않으면서 부위별로 게르마늄을 가장 많이 흡수한 80 mg L^{-1}이었으나, 게르마늄 독성범위와 게르마늄의 이행성을 고려한 최적 엽면처리 농도는 추후에 체계적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업 (과제번호: 20060377) 및 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

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.

Bernstein, L.R. 1985. Germanium geochemisry and mineralogy. Geochim. Comochim. Acta 49:2409-2422.

Cheon, Y.S. 2010. Development of rice cultivation methods in paddy field for production of functional rice with germanium. Master Thesis. Gyeongsang National University of Education. Korea.

Dakley, W.M. and B.E. Volcani. 1969. Role of silicon in diatom metabolism. A silicon requirement for deoxyribonucleic remann and lewin. Exptl. Cell. Res. 58:334-339.

Dimartino, M.J. 1986. Antiarthritic and immunoregulatory activity of spirogermanium. J. Pharmacol. Exp. Ther. 236:103-110.

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.

Hwang, S.H. 2008. Effect of organic and inorganic germanium on growth and its uptake of rice in paddy soil condition. Master Thesis. Gyeongsang National University of Education. Korea.

Jang, J,J., K.J. Cho, Y.S. Lee, and J.H. Bae. 1991. Modifying responses of allyl surfide, indole-3-carbinol and germanium in a rat multi-organ carcinogenesis model. Carcinogenesis 12:691-695.

Kang, S.W., D.C. Seo, W.T Jeon, S.J. Kang, S.T Lee, H.H. Sung, I.W. Choi, U.G. Kang, H.O. Kim, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2011. Growth characteristics and germanium absorption of *brasica juncea* C. with different types of germanium compounds in hydroponic cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:465-472.

Kang, Y.K. and Z.K. U. 1999. Nitrogen recovery of foliar applied urea by satsuma mandarins. Korean J. Soil Sci. Fert. 32:132-139.

Kehlbeck, H. 1983. New germanium containing yeast for medicinal and veterinary use. Deutsch Patent DE. 3345211.

Kim, J.J., J.N. Kim, J.S. Cho, J.S. Heo, and S.T. Yee. 2009. Oral single-dose toxicity studies on germanium-fortified lettuce, in mouse. Korean J. Environ. Agric. 28:59-68.

Lee, H.M. and Y. Chung. 1991. Effect of organic germanium on metallothionein induction in liver and kidney of cadmium and mercury intoxicated rats. Yakhak Hoeji. 35:99-110.

Lee, M.S., J.H. Lee, T.O. Kwon, and S.B. Namkoong. 1995. Increment of germanium of concents in Angelica Keiskei Koidz and Panax ginseng C.A Meyer by in vitro propagation. Korean J. Environ. Agric. 24:404-408.

Lee, S.T., Y.H. Lee, H.J. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2005a. Germanium contents of soil and crops in gyeongnam province. Korean J. Environ. Agric. 24:34-39.

Lee, S.T., Y.H. Lee, Y.J. Choi, S.D. Lee, C.H. Lee, and J.S. Heo. 2005b. Growth characteristics and germanium absorptionin rice plant with different germanium concentrations in soil. Korean J. Environ. Agric. 24:40-44.

Lee, Y.H., Y.H. Shon, S.T. Lee, J.Y. Heo, M.K. Kim, E.S. Kim, W.D. Song, Y.S. Zhang, W.T. Jeon, and Y.S. Ok. 2012. Topographical chemical properties of paddy soils in gyeongnam province. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:143-148.

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.

Matsumoto. H., S. Syo, and E. Takahashi. 1975. Translocation and some forms ofn germanium in rice plants. Soil Sci. Plnat Nutr. 21:273-279.

Merian, E. 1991. Metal and their compounds in the environ-

ment: VCH. Weinheim. 921-929.

Mochizuki, H. and T. Kada, 1982. Antimutagenic effect of Ge-132 on γ-ray-induced mutation in *Escherchia coli* B/rWP2 trp-. Int. J. Radiat. Biol.42:653-659.

NAAS. 2006. Fertilizer application recommendations for crop plant. National Academy of Agricultural Science. RDA. Suwon. Korea.

NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA. Suwon. Korea.

Nobohiro, W., I. Osamu, K. Dakuro, and Y. Koichi. 1980. New approaches to using spent brewer' 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_2 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 compounds on rice plant growth and its Ge uptake. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:166-173.

Song, S.J., Y.R. Kim, S.G. Han, and Y.G. Kang. 2006. Foliar absorption rates of 45Ca-labeled calcium compounds applied on tomato and citrus leaves. Korean J. Soil Sci. Fert. 39:80-85.

Suzuki, F., R.R. Brutkiewicz, and R.B. Pollard. 1986. Cooperation of lymphokine (s) and marcophages in expression of antitumor activity of carboxyethyl germanium (Ge-132). Antitumor Res. 62:177-182.

Suzuki, Y. and K. Taguchi. 1983. Pharmacological studies of carboxyethyl germanium sesquioxide (Ge-132). Pharmacometrics 26:803-810.

Wei, X.S. 1992. Effect of yeast on bioenrichment of germanium. Food Science 149:49-54.