한국토양비료학회지 43권 2호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 43, No. 2, 166-173 (2010)

보문

게르마늄 종류별 토양처리시 벼의 생육특성 및 게르마늄 흡수에 미치는 영향

서동철† · 천영석[1†] · 박성규[1] · 박종환[1] · 김아름[1] · 이원규[2] · 이성태[3] · 이영한[3] · 조주식[4**] · 허종수[1,5*]

루이지애나주립대 해양연안과학과, [1]경상대학교 응용생명과학부, [2]경상남도 도청 기업지원과,
[3]경남농업기술원, [4]순천대학교 생명환경과학부, [5]경상대학교 농업생명과학원

Applications of Different Types of Germanium Compounds on Rice Plant Growth and its Ge Uptake

Dong-Cheol Seo†, Yeong-Seok Cheon[1†], Seong-Kyu Park[1], Jong-Hwan Park[1], Ah-Reum Kim[1], Won-Gyu Lee[2], Seong-Tae Lee[3], Young-Han Lee[3], Ju-Sik Cho[4], and Jong-Soo Heo[1,5*]**

Department of Oceanography and Coastal Sciences, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70802, USA,

[1]Division of Applied Life Science, GyeongSang National University, Jinju, 660-701, Korea,

[2]Department of Business Supprot, GyeongSangnamdo Provincial Government Building, Changwon, 641-702, Korea,

[3]Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea,

[4]Division of Applied Life and Environmental Sciences, Sunchon National University, Sunchon, 540-742, Korea,

[5]Institute of Agriculture and Life Sciences, GyeongSang National University, Jinju, 660-701, Korea

In order to obtain the basic information for agricultural utilization of germanium (Ge), the growth characteristics, Ge uptake, and grain quality of rice plant (Hopyungbyeo) were investigated under different germanium (GeO_2, and commercial Ge) treatments in paddy field. Phytotoxicity was detected in GeO_2 treatment but not in commercial Ge treatment. The grain yield was greater in the order of control treatment > commercial Ge treatment > GeO_2 treatment. The dry weight was greater in order of control treatment > GeO_2 treatment ≥ commercial Ge treatment. The Ge content of leaf in GeO_2 treatment was 6 times (177 mg m^{-2}) higher than that in commercial Ge treatment. The Ge content in rice bran was not different in GeO_2, and commercial Ge treatments. The Ge contents of brown rice in GeO_2, and commercial treatments were 40.9, and 31.1 mg kg^{-1}, respectively. The Ge uptake rates in rice plant was higher in the order of leaf > rice bran > brown rice > stem > root. Under GeO_2, 15.56% of Ge absorbed into plant with 11.1% in leaf, 1.6% in stem, 0.03% in root, 2.2% in rice bran and 0.73% in brown rice. Under commercial Ge treatment, 5.19% of Ge absorbed into plant with 1.8% in leaf, 0.46% in stem, 0,01% in root, 2.2% in rice bran, and 0.71% in brown rice. Based on these results, the Ge contents in polished rice in commercial Ge treatment were higher than those in GeO_2 treatment. However, the Ge contents of rice grain (containing rice bran and polished rice) in GeO_2 treatment were higher than those in commercial Ge treatment.

Key words: Germanium, GeO_2, Commercial Ge, Hopyungbyeo, Rice bran, Polished rice, Brown rice

서 언

게르마늄 (Germanium)은 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

접수 : 2010. 4. 14 수리 : 2010. 4. 16
*연락저자 : Phone: +82557515470
E-mail: jsheo@gsnu.ac.kr
**공동연락저자 : Phone: +82617503297
E-mail: chojs@sunchon.ac.kr
†공동 제1저자

있는 것으로 알려져 있다. 최근 게르마늄은 한방약재, 키토산, 인삼, 칼슘, 녹차, 목초액, 참숯, 맥반석 등의 농자재와 함께 유기게르마늄이 약리효과를 가진다는 보고로 기능성 농산물 생산을 위한 농자재에 사용되고 있는 실정이다. 특히, 게르마늄 농자재의 경우 토양 중 게르마늄 함량이 낮기 때문에 작물체 중 게르마늄 함량이 낮아 무기게르마늄을 농자재로 사용하여 유기게르마늄화하기 위한 효과적인 농축의 수단으로 다양한 연구들이 그 동안 수행되었으며, 무기게르마늄을 유기게르마늄화하기 위한 수단으로는 미생물, 효모 (Kehlbeck, 1983; Wei, 1992)류 및 규조류를 이용하기도 하였으며, 몇몇 연구자는 유기게르마늄 함유 식물체를 개발하기 위하여 일당귀와 인삼 (Lee et al., 1995), 강활 (Park et al., 1996)을 이용하기도 하였다.

하지만 다양한 종류의 게르마늄 관련 농자재가 농업에 이용되고 있지만 이들이 작물체내로 얼마나 흡수 이행되고 작물에 어떤 영향을 미치는지 아직 정확히 알려져 있지 않은 실정이다. 또한 시중에 유통중인 게르마늄 함유 쌀의 게르마늄 함량은 일반 쌀의 자연 함유량과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보고되었다 (Lee et al., 2005). 무기게르마늄 (GeO_2)의 토양 시용시 일미벼 (Ge 7.5 mg kg^{-1} 토양시용)의 경우 2.26 mg kg^{-1}의 게르마늄이 흡수되었으나, 유기게르마늄을 토양에 시용한 경우 무기게르마늄 처리에 비해 쌀의 게르마늄 흡수량이 낮은 것으로 보고되었다 (Lee, 2004). Lee et al. (2005)은 동진벼를 이용한 게르마늄의 종류 및 농도에 따른 캘러스내 Ge 함량을 조사하였는데 Ge 시용량이 100 mg L^{-1} 이하에서는 무기게르마늄 (GeO_2) 처리가 유기게르마늄 (Ge-132) 처리보다 캘러스내 Ge 함량이 높았으나, 그 이상의 농도에서는 유기게르마늄 처리가 무기게르마늄처리 보다 캘러스 내 Ge 함량이 높았고 캘러스 활력도 좋았다고 하였다. 이들 결과에 의하면 벼의 게르마늄 흡수량은 게르마늄 종류별로 매우 상이한 것으로 판단된다. 더욱이 현재 다양한 수도작용 액상 게르마늄이 제대로 검증되지 않고 시중에 유통 중에 있어 이들 농자재의 검증이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 게르마늄 함유 기능성 쌀 생산을 위해서는 게르마늄 종류별 게르마늄의 흡수특성을 파악하여 게르마늄 농자재의 적합성을 조사해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 게르마늄 토양처리시 게르마늄 종류가 벼의 생육특성 및 부위별 게르마늄 흡수에 미치는 영향을 조사하기 위해 선행연구 (Lim et al., 2008a; 2008b)의 최적조건하에서 무기게르마늄 (GeO_2)과 수도작용 액상게르마늄으로 시비를 달리하여 게르마늄 종류에 따른 벼의 생육특성 및 벼 부위별 게르마늄 흡수 특성을 각각 조사하였다.

재료 및 방법

시험 재료 벼 재배 시험은 경남 진주시 초전동에 위치한 경상남도 농업기술원 내의 벼 시험 포장에서 실시하였으며, 벼 시험 포장내의 시험 토양은 국제토양학회 분류기준에 의해 분석한 결과 모래, 미사 및 점토가 각각 2.9, 83.8 및 13.3%인 미사질양토이었다. 시험 토양의 화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 시험 벼는 선행연구결과 (Lim et al., 2008b)에서 최적품종인 호평벼를 사용하였으며, 초장 약 12 cm 정도인 어린모를 2008년 6월 20일에 경상남도 농업기술원내 벼 시험 포장에 이앙하여 2008년 10월 20일에 수확하였다. 시험 게르마늄은 GeO_2 및 수도작용 액상게르마늄을 각각 사용하였다. 벼 재배시험에 사용된 GeO_2는 물에 녹여 액상으로 조제한 후 사용하였고, 수도작용 액상게르마늄은 6,000 mg kg^{-1}으로 조제된 것을 희석한 후 사용하였다.

실험 방법 게르마늄 종류에 따른 벼의 게르마늄 흡수 특성은 농업기술원내 벼 재배포장을 각 구획마다 가로 3 m × 세로 4 m로서 12 m^2의 면적을 1구획으로 하여 총 9개 시험구로 구분하였으며, 각 시험구는 각 처리구간에 영향이 최대한 적도록 분할구배치법으로 3반복하였다. 게르마늄은 수도작용 게르마늄과 GeO_2를 적당한 농도로 희석하여 벼 이앙 직전의 토양에 최종농도가 8 mg kg^{-1}되게 주입한 후 혼합하였다. 각 시험구에 호평벼를 300주씩 모내기 하였다. 시비는 농업과학기술원 작물별 시비처방 기준에 따른 표준시비량으로 N-P_2O_5-K_2O = 11-3-3 kg $10a^{-1}$ (N-P_2O_5-K_2O = 1.32-0.36-0.36 kg m^{-2})되게 시비하였다. N, P_2O_5 및 K_2O의 시비에는 각각 요소, 용과린 및 염화칼리 비료를 사용하였다. 질소와 칼리의 분시비율은 밑거름, 분얼비,

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment.

pH	EC	O.M.	Av. P_2O_5	SiO_2	Ex. Cation			
					K	Ca	Mg	Na
1:5 H_2O	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------			
5.9	0.49	3.7	299.8	204.5	0.11	6.29	0.64	0.08

수비 및 실비를 각각 50, 20, 20 및 10%되게 하였으며, 관수 및 기타재배는 관행재배법에 준하였다.

분석방법 식물체 분석을 위한 시료는 열풍건조기로 80℃에서 건조하여 40 mesh 이하로 분쇄한 후 사용하였다. 식물체 분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 1998)에 준하여 시료를 습식분해액으로 분해시킨 여액을 필요에 따라 희석하여 T-N은 Kjeldahl 법, P_2O_5는 Vanado-molybdate법으로 분석하였으며, 무기성분은 Atomic absorption spectrophotometer (AA-SCAN8)로 분석하였으며, 게르마늄은 Inductively coupled plasma (ICP) spectrometer [Atomscan25 (TJA), OPTIMA 5300DV (PerkinElmer)] 및 ICP-MS로 분석하였다.

쌀 미질조사는 농촌진흥청 농사시험 연구조사 기준 (RDA, 1995)에 준하여 벼를 수확하여 탈곡한 후 실험실용 현미기를 이용하여 도정하였으며, 도정된 백미는 Cyclone sample mill을 이용하여 쌀가루로 분쇄한 후 100 mesh 체에 통과시켜 분석시료로 사용하였다. 아밀로스 함량은 요오드비색 정량법으로 분석하였고, 단백질 함량은 쌀가루 0.4 g을 H_2SO_4 용액으로 습식분해시켜 Kjeldahl 증류법에 의해 조단백질 함량을 구한 후 단백질 환산계수 5.95를 곱하여 구하였으며, 심복백은 관능검사를 9단계로 나누어 분석하였고, 알카리붕괴도는 KOH 1.4%에서 24시간 침지 후 관능검사를 7단계로 나누어 분석하였으며, 질소 함량은 분해 후 Kjeldahl 증류법으로 하였고, 인 함량은 분해 후 Vanadate molybdate법으로 하였으며, Mg 함량은 분해 후 Atomic absorption spectrophotometer (AA-SCAN8)로 분석하였다.

결과 및 고찰

게르마늄 종류별 벼의 생육특성 게르마늄 종류에 따른 벼의 생육특성을 조사한 결과 GeO_2 처리구의 출수기에서 잎 표면에 갈색 반점이 약간 나타났으나, 수도작용 액상게르마늄과 무처리구에서는 거의 나타나지 않았는데, 이는 게르마늄의 독성에 의한 효과로 판단된다. Lee et al. (2005)은 일미벼를 이용한 농도별 실험에서 GeO_2를 2.5 mg kg^{-1}이상 처리시 게르마늄이 벼의 생육을 저하 시킨다고 하였으며, Hwang (2008)은 동진벼에 GeO_2 12 mg kg^{-1}이상 처리시 게르마늄이 벼의 생육저하와 함께 생산량을 감소시키는 것으로 보고하였다. Datnoff et al. (2001)은 게르마늄 처리시 식물독성으로 인해 벼에 황화현상이 나타나며 생육이 억제된다고 보고하였다.

수확 후 게르마늄 종류에 따른 벼의 생육특성은 Table 2와 같이 GeO_2와 수도작용 액상게르마늄 처리구의 간장, 수장, 수수 및 천립중은 무처리구에 비해 약간 낮은 편으로 전반적으로 생육이 약간 저조하였다. 수도작용 액상게르마늄 처리구의 경우 벼에 게르마늄에 의한 독성이 거의 나타나지 않은 반면에 GeO_2 처리구에서는 일부 벼에서 게르마늄의 독성이 나타났다. 이는 수도작용 액상게르마늄의 경우 게르마늄 독성을 저해시키기 위해 SiO_2를 미량으로 첨가하였기 때문으로 사료된다. Lee (2004)

Table 2. Growth characteristics of rice plant under different germaniums.

Treatment	Repetition	Culm length	Panicle length	No. panicle per hill	No. grain per panicle	1,000 grain	T/R ratio
		cm	cm			g	
Control	Ⅰ	61.9a*	17.2b	23.8ab	78.7ab	22.3a	2.4a
	Ⅱ	60.9a	17.4ab	23.2ab	76.0b	22.4a	2.4a
	Ⅲ	61.6a	17.2b	24.7a	86.3a	22.4a	2.3a
	Average	61.5a	17.6a	23.9ab	80.3ab	22.4a	2.4a
GeO_2	Ⅰ	54.9b	16.9b	17.8c	77.0ab	21.6b	2.3a
	Ⅱ	55.1b	17.4ab	18.8bc	85.0a	21.3b	2.3a
	Ⅲ	55.1b	16.9b	21.2b	82.3ab	21.8b	2.2a
	Average	55.0b	17.0b	19.3bc	81.4ab	21.6b	2.2a
Commercial Ge	Ⅰ	56.6b	17.8a	18.0c	70.7c	21.7b	2.4a
	Ⅱ	57.4ab	17.4ab	16.5d	72.8bc	20.3c	2.3a
	Ⅲ	56.7b	17.0b	18.3c	76.3b	21.1b	2.3a
	Average	56.9b	17.4ab	17.6cd	73.3bc	21.0b	2.4a

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

에 의하면, 벼에 게르마늄과 규산질 비료를 함께 처리하였을 때 규산질 비료의 양이 증가할수록 쌀 중의 게르마늄 함량은 조금 낮았지만, 초장, 수장 및 수량이 증가하였고, 고농도에서 게르마늄에 의한 벼의 생육저해는 크게 줄어든 것으로 보고되었다.

게르마늄 종류별 쌀 생산량은 Fig. 3과 같이 전반적으로 게르마늄을 처리하지 않은 무처리구가 게르마늄 처리구에 비해 약간 높은 결과를 보였다. 또한 GeO_2 처리구의 쌀 생산량은 수도작용 액상게르마늄 처리구에 비해 약간 저조하였는데, 이는 게르마늄의 독성에 의한 것으로 판단된다. 게르마늄 종류별 쌀 생산량 (Fig. 3)은 무처리구 > 수도작용 액상게르마늄 처리구 > GeO_2처리구 순이었다.

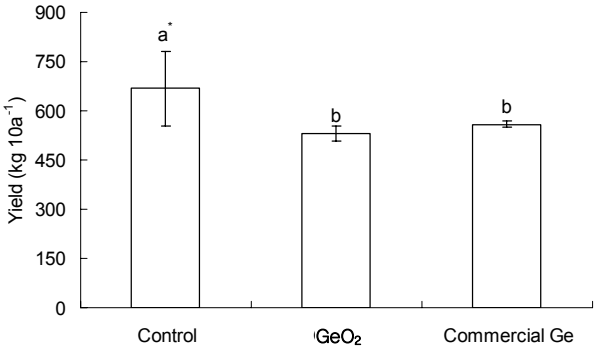

Fig. 1. Yield of rice plant under different germaniums. *Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

벼 부위별 게르마늄 함량 및 흡수량 게르마늄 종류별 벼의 건물중량 및 게르마늄 함량은 Table 3에서 보는 바와 같다. 벼의 건물중량은 게르마늄 종류에 따라 다소 차이는 있으나 전반적으로 무처리구 > GeO_2 처리구 ≥ 수도작용 액상게르마늄 처리구 순이었다.

게르마늄 종류별 잎과 줄기의 게르마늄 함량은 GeO_2 처리구의 경우 각각 평균 807.3 및 143.4 mg kg^{-1} 정도로 수도작용 액상게르마늄 처리구에 비해 월등히 많았고, 뿌리의 게르마늄 함량은 GeO_2 및 수도작용 액상게르마늄 처리구의 경우 각각 평균 2.3 및 1.3 mg kg^{-1}로 게르마늄 종류에 따라 큰 차이는 없었으며, 잎과 줄기에 비해서도 게르마늄 함량이 매우 적은 편이었다.

벼의 부위별 게르마늄 함량은 모든 처리에서 잎 > 줄기 > 뿌리 순으로 잎에서 가장 높은 결과를 보였는데, 이는 Hwang (2008)과 Lim et al. (2008a)의 연구결과와도 유사한 경향이었다. 게르마늄 처리시 잎에서 일어나는 황백화 현상은 Ge-Si와 Ge-C 결합이 Si-Si와 Si-C 결합보다 약하기 때문에 나타나는 세포벽의 손상이 원인이었고, 특히 황백화가 일어나는 잎에는 다른 부위에 비해 많은 함량의 게르마늄이 축적되었기 때문이다 (Matsumoto et al., 1975).

게르마늄 종류에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수량을 조사한 결과 잎의 게르마늄 흡수량은 GeO_2 처리구에서 평균 177.0 μg m^{-2}로 수도작용 액상게르마늄 처리구보다 약 6배 정도 높았다 (Fig. 2). 벼 줄기의 게르마늄 흡수량은 게르마늄 종류에 따라 전반적으로 큰 차이는 없었으나 GeO_2 처리구의 경우 평균 24.8 μg m^{-2}로 수도작용 액상게르마늄 처리구보다 약간 높았다. 벼 뿌리의 게르

Table 3. Dry weight and germanium contents in various parts of the rice plant under different germaniums.

Treatment	Repetition	Dry weight			Ge content		
		Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
		g m^{-2}			mg kg^{-1}		
Control	Ⅰ	241.7a*	181.7a	175.0ab	0.8c	1.0c	0.4c
	Ⅱ	249.6a	179.2a	176.7ab	0.8c	1.1c	0.4c
	Ⅲ	251.7a	167.1b	180.4a	0.7c	1.1c	0.3c
	Average	247.6a	176.0a	177.4a	0.8c	1.0c	0.4c
GeO_2	Ⅰ	217.1b	174.2ab	172.5b	796.7a	142.6a	2.1a
	Ⅱ	227.9ab	172.1ab	177.1a	826.0a	137.4a	2.4a
	Ⅲ	214.6b	172.5ab	178.3a	799.2a	150.1a	2.3a
	Average	219.9b	172.9ab	176.0ab	807.3a	143.4a	2.3a
Commercial Ge	Ⅰ	232.9ab	170.0b	170.8b	126.8b	41.2b	1.2b
	Ⅱ	229.6ab	174.2ab	176.7ab	125.7b	44.9b	1.7ab
	Ⅲ	224.6ab	173.8ab	168.8b	127.8b	43.2b	1.1b
	Average	229.0ab	172.6ab	172.1b	126.8b	43.1b	1.3b

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

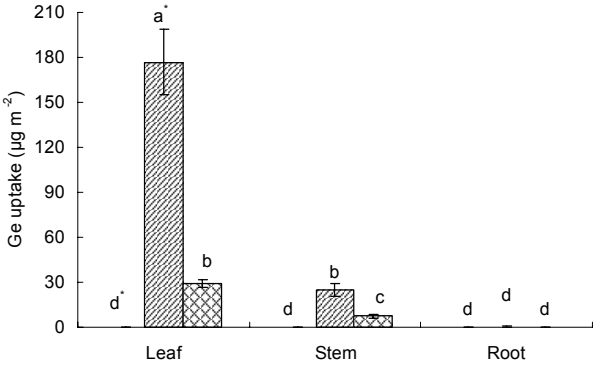

Fig. 2. Ge uptake in various parts of the rice plant under different germaniums. Error bars represent SD (n =6), *Means within a column followed by same Letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05. (□ : Control, ▨ : GeO_2, ▩ : Commercial Ge).

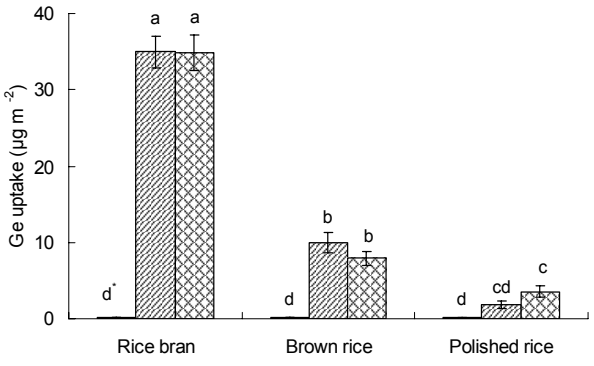

Fig. 3. Ge uptake in various parts of the rice under different germaniums. *Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05. (□ : Control, ▨ : GeO_2, ▩ : Commercial Ge).

Table 4. Rice yield and germanium contents in various parts of the rice under different germaniums.

Treatment	Repetition	Yield			Ge content		
		Rice bran	Brown rice	Polished rice	Rice bran	Brown rice	Polished rice
		---------- g m^{-2} ----------			---------- mg kg^{-1} ----------		
Control	Ⅰ	79.2a*	335.4a	306.7a	2.0b	0.5c	0.3c
	Ⅱ	76.3a	325.4a	300.4a	2.4b	0.5c	0.3c
	Ⅲ	75.4a	331.3a	301.3a	2.2b	0.5c	0.3c
	Average	76.9a	330.7a	302.8a	2.2b	0.5c	0.3c
GeO_2	Ⅰ	67.1bc	241.3b	232.1c	525.5a	40.4a	8.5b
	Ⅱ	66.7c	251.3b	231.7c	522.8a	38.0a	7.6b
	Ⅲ	65.4c	238.3b	226.7c	530.2a	44.3a	7.5b
	Average	66.4c	243.6b	230.1c	526.1a	40.9a	7.9b
Commercial Ge	Ⅰ	70.4b	256.7b	246.7b	514.5a	30.1b	14.3a
	Ⅱ	67.5bc	257.5b	249.2b	494.0a	30.4b	13.9a
	Ⅲ	68.3b	251.3b	245.8b	511.5a	32.7b	14.6a
	Average	68.8b	255.1b	247.2b	506.7a	31.1b	14.3a

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

마늄 흡수량은 GeO_2 처리구의 경우 평균 0.4 μg m^{-2}정도이었고, 수도작용 액상게르마늄 처리구와 비슷한 경향이었다.

쌀 부위별 게르마늄 함량 및 흡수량 게르마늄 종류에 따른 쌀 생산량과 쌀 부위별 게르마늄 함량은 Table 4에서 보는 바와 같다. 쌀겨 중 게르마늄 함량은 GeO_2 처리구 및 수도작용 액상게르마늄 처리구에서 각각 평균 526.1 및 506.7 mg kg^{-1}으로 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없이 비슷한 경향이었다. 현미 중 게르마늄 함량은 GeO_2 처리구에서 평균 40.9 mg kg^{-1}으로 수도작용 액상게르마늄 처리구의 평균 31.1 mg kg^{-1}보다 유의성 있게 높았다. 하지만 무처리구에서 현미 중 게르마늄 함량은 평균 0.5 mg kg^{-1}으로 거의 자연함유량 수준으로 검출되어 게르마늄 처리구들에 비해 매우 적은 함량을 보였다. 백미 중 게르마늄 함량은 GeO_2 처리구에서 평균 7.9 mg kg^{-1}으로 수도작용 액상게르마늄 처리구의 평균 14.3 mg kg^{-1}보다 유의성 있게 낮았다.

게르마늄 종류별 쌀겨의 게르마늄 흡수량 (Fig. 3)은 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없이 GeO_2 및 수도작용 액상게르마늄 처리구 모두에서 약 34.9 μg m^{-2}정도 이었다. 현미의 게르마늄 흡수량은 GeO_2 처리구의 경우 평균 9.9 μg m^{-2}로 수도작용 액상게르마늄 처리구보다 약간 높은 경향을 보였다. 백미의 게르마늄 흡수량은 GeO_2

처리구의 경우 평균 1.8 μg m^{-2}정도로 수도작용 액상게르마늄 처리구의 평균 3.5 μg m^{-2} 보다 약간 낮은 경향이었다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 벼 낟알에 흡수된 게르마늄은 대부분 쌀겨에 분포되어 있었고, 현미의 게르마늄 함량은 전반적으로 백미에 비해 약간 높았으며, 이들 결과는 Lim et al. (2008a)의 결과와도 유사한 경향이었다. 일반적으로 게르마늄과 유사한 특성을 가지는 스트론튬은 벼의 잎, 줄기, 뿌리 및 쌀겨에 대부분 축적되고, 현미로 전이된 스트론튬의 함량은 전체흡수량의 약 1.3%정도로 매우 적은 것으로 보고되었는데 (Jang and Park, 1997), 본 시험결과 벼의 게르마늄 흡수도 스트론튬의 흡수와 동일한 결과를 보여 이들은 유사한 흡수 및 전이특성을 가지는 것으로 판단된다.

게르마늄 종류에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수율 비교 게르마늄 종류에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수율 (Fig. 4)은 전반적으로 잎 > 쌀겨 > 현미(백미) > 줄기 > 뿌리 순으로 잎에서 가장 높았다. 게르마늄 종류에 따른 게르마늄 흡수율은 GeO_2 처리구의 경우 잎이 11.1%, 줄기가 1.6%, 뿌리가 0.03%, 쌀겨가 2.2% 및 현미가 0.73% (백미 0.11%)로서 총 게르마늄의 15.56%가 흡수되고 84.4%의 게르마늄이 토양 내에 잔류하거나 유실되었다.

수도작용 액상게르마늄 처리구의 경우 잎이 1.8%, 줄기가 0.46%, 뿌리가 0.01%, 쌀겨가 2.2% 및 현미가 0.71% (백미 0.22%)로서 총 게르마늄의 5.19%가 흡수되고 94.8%의 게르마늄이 토양 내에 잔류하거나 유실되는 경향으로 전반적으로 게르마늄 종류에 따른 게르마늄 흡수율은 GeO_2 처리구가 수도작용 액상게르마늄 처리구에 비해 약간 높았다.

게르마늄 종류별 쌀 미질 특성 게르마늄 종류에 따른 쌀의 미질 특성을 조사한 결과 Table 5와 같이 단

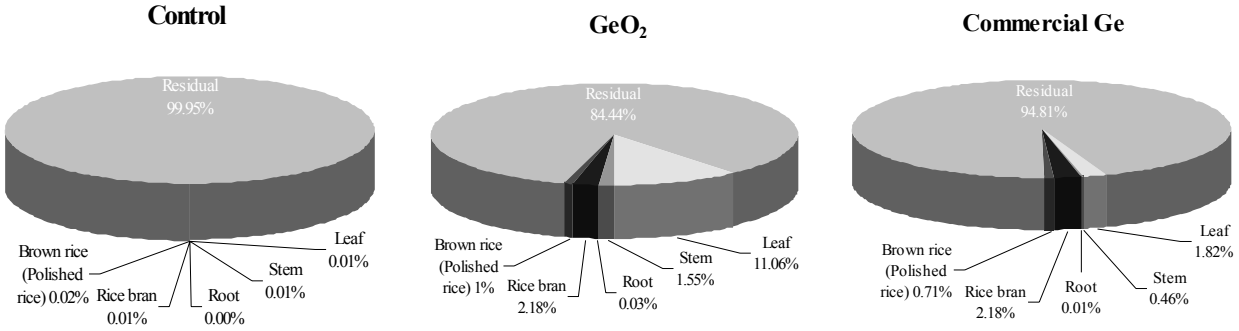

Fig. 4. Comparison of the Ge uptake rate in various parts of the rice under different germaniums.

Table 5. Grain quality of rice under different germaniums.

Treatment	Repetition	White Core & Velly	Alkiline degree	Gelatini-zation temperature	Amylose Contents	Protein Contents	N	P	Mg
		0-9	1-7	Low/High	---------- % ----------			------ mg kg^{-1} ------	
Control	Ⅰ	0/1	4	Low	23.9	10.0	1.5a	3,233a	731a
	Ⅱ	0/1	4	Low	23.9	10.1	1.5a	3,193a	707a
	Ⅲ	0/1	4	Low	22.9	10.0	1.5a	3,205a	729a
	Average	0/1	4	Low	23.6	10.0	1.5a	3,212a	722a
GeO_2	Ⅰ	0/1	4	Low	21.6	8.9	1.3b	3,004b	635b
	Ⅱ	0/1	4	Low	21.0	8.2	1.4ab	2,945b	655ab
	Ⅲ	0/1	3	Low	20.9	8.7	1.2b	3,023b	611b
	Average	0/1	4	Low	21.2	8.6	1.3b	2,992b	634b
Commercial Ge	Ⅰ	0/1	5	Low	15.9	8.7	1.2b	2,781c	552b
	Ⅱ	0/1	4	Low	15.7	8.7	1.2b	2,732c	654ab
	Ⅲ	0/1	4	Low	16.0	8.5	1.1b	2,577c	572b
	Average	0/1	4	Low	15.9	8.6	1.2b	2,694c	593b

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

백질 함량은 GeO_2 및 수도작용 액상게르마늄 처리구가 모두 평균 8.6% 정도로 무처리구의 평균 10.0%에 비해 약간 낮았으나 모든 조건에서 쌀의 단백질 함량 기준인 6.5% 이상으로 단백질 함량으로 쌀의 품질을 비교하는 것은 의미가 없었다. Amylose 함량은 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없이 15.9-22.1%로 무처리구의 평균 23.6%에 비해 약간 낮았다. 또한, 알칼리붕괴도 및 쌀의 호화온도는 모든 처리구에서 전반적으로 별 차이 없었으며, 쌀의 심복백은 모든 처리구에서 거의 없었다. 쌀 중 질소 함량은 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없이 1.2-1.3%로 무처리구의 평균 1.5%에 비해 약간 낮았고, 쌀 중 인 함량 또한 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없이 2,577- 3,023 mg kg^{-1}로 무처리구의 평균 3,212 mg kg^{-1}에 비해 약간 낮았다. 쌀 중 마그네슘 함량은 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없이 552-655 mg kg^{-1}로 무처리구의 평균 722 mg kg^{-1}에 비해 낮았다. 따라서 쌀의 미질은 전반적으로 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없었으나, 무처리구에 비해서는 미질이 떨어지는 것으로 나타났다. 일반적으로 단백질 함량이 높으면 영양학적 가치는 높아지지만 식미는 떨어지게 하는 요인으로 작용하며, 아밀로스 함량이 높으면 밥의 찰기와 질감을 높이며 (Lee et al., 2000), 벼 중 식미가 양호한 품종은 단백질 함량과 호화온도가 낮은 것으로 알려져 있다 (Kwak and Yeo, 2004). 또한 인의 함량과 마그네슘의 함량이 높을수록 밥맛이 좋은 것으로 알려져 있다 (Choi and Cheon, 2002).

요 약

게르마늄 토양처리시 게르마늄 종류가 벼의 생육특성 및 부위별 게르마늄 흡수에 미치는 영향을 조사하기 위해 무기게르마늄 (GeO_2)과 수도작용 액상게르마늄으로 시비를 달리하여 게르마늄 종류에 따른 벼의 생육특성, 게르마늄 종류에 따른 부위별 게르마늄 흡수 특성을 각각 조사한 결과 수도작용 액상게르마늄 처리구와 무처리구의 경우 벼에 게르마늄에 의한 독성이 거의 나타나지 않은 반면에 GeO_2 처리구에서는 일부 벼에서 게르마늄의 독성이 나타났다. 게르마늄 종류에 따른 잎의 게르마늄 흡수량은 GeO_2 처리구에서 평균 177.0 μg m^{-2}로 수도작용 액상게르마늄 처리구보다 약 6배 높았으나, 줄기와 뿌리의 게르마늄 흡수량은 게르마늄 종류에 따라 전반적으로 큰 차이는 없었다. 게르마늄 종류에 따른 쌀겨 중 게르마늄 함량은 GeO_2 처리구 및 수도작용 액상게르마늄 처리구 모두 별 차이 없이 비슷한 경향이었고, 현미 중 게르마늄 함량은 GeO_2 처리구에서 평균 40.9 mg kg^{-1}으로 수도작용 액상게르마늄 처리구의 평균 31.1 mg kg^{-1}보다 유의성 있게 높았다. 하지만 백미 중 게르마늄 함량은 GeO_2 처리구에서 평균 7.9 mg kg^{-1}으로 수도작용 액상게르마늄 처리구의 평균 14.3 mg kg^{-1}보다 유의성 있게 낮았다. 게르마늄 종류에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 전반적으로 잎 > 쌀겨 > 현미(백미) > 줄기 > 뿌리 순으로 잎에서 가장 높았다. 쌀의 미질은 전반적으로 게르마늄 종류에 따라 별 차이 없었으나 무처리구에 비해 약간 낮은 경향을 나타내었다.

사 사

본 연구는 2007년도 농림부의 농림기술개발사업과제 "게르마늄함유 친환경 농자재 및 기능성농산물 생산기술 개발"의 연구결과 중 일부임.

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-132, and organic germanium compound. Microbiol. Immunol. 29:65-74.

Choi, J.C., and D.K. Cheon. 2002. Effect of harvest time on yield and quality of rice. Korean J. Crop Sci. 47:254-258.

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

Datnoff. L.E., G.H. Snyder, and G.H. Korndörfer. 2001. Silicon in agriculture. Elsevier Science.

Ho, C.C., Y.F. Chern, 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, B.C., and M.U. Park. 1997. Absorption and accumulation of Sr-85 by rice (Oryza sativa L.) and its transfer factor from soil to plant. Korea J. Soil science & Feritizer 30:184-188.

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

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

Kwak, T.S., and J.H. Yeo. 2004. Variation of grain quality

and grain filling rapidity Milyang 23 / Gihobyeo recombinant inbred lines. Korean J. Crop Sci. 49:160-166.

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

Lee, J.H., Y.S. Cho, M.T. Song, S.J. Yang, H.G. Hwang, N.S. Kim, H.C. Choi, and H.P. Moon. 2000. Analysis of quantitative Trait Loci (QTLs) related to rice gelatinization. Korean J. Breeding Sci. 32:211-217.

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. Medicinal Crop Sci. 3:251-258.

Lee, S.T., Y.H. Lee, H.J. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2005. Germanium contents of soil and crops in Gyeongnam Province. Korean J. Environ. Agric. 24:404-408.

Lee, S.T. 2004. Characteristics of growth response and germanium absorption of crops in soil treated germanium. Doctor Thesis. Gyeongsang National University of Education, Korea.

Lim, J.S., D.C. Seo, W.Y. Park, Y.S. Cheon, S.T. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2008a. Effects of soil texture on germanium uptake and growth in rice by soil application with germanium. Korean J. Environ. Agric. 27:245-252.

Lim, J.S., D.C. Seo, W.Y. Park, Y.S. Cheon, S.K. Park, S.T. Lee, J.S. Cho, and J.S. Heo. 2008b. The selection of optimum rice species and germanium application method for production of functional rice with germanium. Korean J. Environ. Agric. 27:373-381.

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

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.

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. Japanese Jouranal of Medicine 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.

Rural Development Administration (RDA). 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agriculture Science and Technology, Suwon (in Korea).

Rural Development Administration (RDA). 1995. Research of farm in test investigation standard. National Institute of Agriculture Science and Technology, Suwon (in Korea).

Suzuki, F., Brutkiewicz, R.R., and Pollard, R.B., 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.