

게르마늄 함유 기능성 쌀 생산을 위한 최적 품종 및 게르마늄 시비 방법 선정

임종서^{1)†} · 서동철^{2)†} · 박우영¹⁾ · 천영석¹⁾ · 박성규¹⁾ · 이성태³⁾ · 박종환⁴⁾ · 김상돈⁴⁾ · 조주식^{5)**} · 허중수^{1,6)*}

¹⁾경상대학교 응용생명과학부, ²⁾루이지애나주립대 습지생물지구화학연구소, ³⁾경상남도 농업기술원,
⁴⁾국립환경과학원 영산강물환경연구소, ⁵⁾순천대학교 생명환경과학부, ⁶⁾경상대학교 농업생명과학원
(2008년 12월 4일 접수, 2008년 12월 23일 수리)

The Selection of Optimum Rice Species and Germanium Application Method for Production of Functional Rice with Germanium

Jong-Sir Lim^{1)†}, Dong-Cheol Seo^{2)†}, Woo-Young Park¹⁾, Yeong-Seok Cheon¹⁾, Seong-Kyu Park¹⁾, Seong-Tae Lee³⁾, Jong-Hwan Park⁴⁾, Sang-Don Kim⁴⁾, Ju-Sik Cho^{5)**}, and Jong-Soo Heo^{1,6)*} (¹⁾Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea, ²⁾Wetland Biogeochemistry Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, 70803, USA, ³⁾Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea, ⁴⁾Yeongsan River Environmental Research Center, Gwangju 500-480, Korea, ⁵⁾Division of Applied Life and Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon, 540-742, Korea, ⁶⁾Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea)

ABSTRACT: To select of optimum rice species and germanium (Ge) application method for production of functional rice with Ge, the growth characteristics, Ge absorption and grain quality of rice plant were investigated under different rice species (Hopyungbyeo, Junambyeo, Ilmeebyeo and Dongjinbyeo) and Ge application method (soil application and foliar spray). The rice yield by soil application was higher in the order of Hopyungbyeo = Junambyeo > Ilmeebyeo >> Dongjinbyeo. On the other hand, the rice yield by foliar spray was higher in the order of Junambyeo >> Ilmeebyeo > Dongjinbyeo > Hopyungbyeo. The rice yield by soil application was higher than that by foliar spray regardless of rice species. For soil application, the Ge absorption in various parts of the rice was higher in the other of rice bran > brown rice > polished rice regardless of rice species. The Ge absorption of brown rice in Hopyungbyeo, Ilmeebyeo, Dongjinbyeo and Junambyeo by soil application was 14.5, 8.0, 11.6 and 10.4 mg kg⁻¹, respectively. In leaf, stem and root, the Ge absorption by foliar spray was higher than that by soil application, whereas, in rice bran, brown rice and polished rice, the Ge absorption by soil application was higher than that by foliar spray. The optimum rice species and Ge application method were demonstrated to be Hopyungbyeo and soil application, respectively, which provided suitable conditions for production of functional rice with Ge.

Key Words: Germanium, Soil application, Foliar spray, Hopyungbyeo, Junambyeo, Ilmeebyeo, Dongjinbyeo

서 론

게르마늄은 탄소를 포함하지 않은 무기게르마늄과 탄소를

함유한 유기게르마늄으로 분류할 수 있다. 무기게르마늄은 장기 복용한 환자에서 빈혈, 신기능장해, 신경병증 및 근장애를 유발하는 것으로 알려져 있으며^{1,2)}, 유기게르마늄은 항종양 효과³⁾, 항돌연변이 효과⁴⁾, natural killer 세포 및 macrophages의 활성화를 포함하는 면역강화 작용⁵⁾, virus 감염의 치료⁶⁾, 관절염 치료 효과와 같은 항염증 작용^{7,8)}, 해열·진통 작용⁹⁾, 중금속 해독작용¹⁰⁾ 및 운동성 증가¹¹⁾ 등의 다양한 약리작용을 가지는 것으로 보고되고 있다. 유기게르마늄은 다양한 약리효과를 가지고 있어 무기게르마늄을 이용하여 유기화하기 위한 다양한 연구들이 그 동안 수행되어 왔다. 몇몇 연구자

*연락처:

Tel: +82-55-751-5470 Fax: +82-55-757-0178

E-mail: jsheo@gsnu.ac.kr

**공동연락처:

Tel: +82-61-750-3297 Fax: +82-61-750-3890

E-mail: chojs@suncheon.ac.kr

† 공동 제1저자

들은 유기화하기 위한 수단으로 미생물, 효모¹²⁾ 및 녹조류¹³⁾를 이용하기도 하였으며, 일부 연구자들은 유기게르마늄 함유 식물체를 개발하기 위하여 벼, 명일엽, 일당귀 및 인삼을 이용하기도 하였다. 게르마늄은 유기게르마늄의 약리효과가 보고된 이후 우리나라에서도 기능성 농산물 생산을 위한 농자재로 등록되어 사용되고 있다. 게르마늄을 사용하고 있는 작물로는 벼, 참외, 단감, 고추 및 옥수수 등 30개 품목에 재배면적도 667ha에 달하며, 일반농작물에 비해 20~30% 높은 가격에 거래되고 있다¹⁴⁾. 하지만 여러 가지 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 보고되었다¹⁵⁾. 무기게르마늄(GeO_2)의 토양 사용시 일미벼($\text{Ge } 7.5 \text{ mg kg}^{-1}$ 토양사용)의 경우 2.26 mg kg^{-1} 의 게르마늄이 흡수된 것으로 Lee 등¹⁶⁾은 보고하였으나, 동진벼($\text{Ge } 8 \text{ mg kg}^{-1}$ 토양사용)의 경우 2.51 mg kg^{-1} 의 게르마늄이 흡수된 것으로 Hwang 등¹⁷⁾은 보고하였다. 이들 결과에 의하면 벼의 게르마늄 흡수량은 품종별로 매우 상이한 것으로 판단된다. 따라서 게르마늄 함유 기능성 쌀 생산을 위해서는 벼 품종별 게르마늄의 흡수특성을 파악하여 최적 품종을 선정해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 게르마늄 함유 기능성 쌀 생산을 위한 최적 품종 및 게르마늄 시비방법을 선정하기 위해 토양처리와 엽면처리로 게르마늄 시비방법을 달리하여 호평, 주남, 일미 및 동진벼 등 총 4개 품종을 각각 이식한 후 벼 품종에 따른 벼의 생육특성, 부위별 게르마늄 흡수 특성 및 쌀 품질특성을 각각 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험은 경남 진주시 가좌동에 위치한 경상대학교 부속 농장 유리온실에서 실시하였으며, 공시토양의 이화학적 특성(Table 1)은 다음과 같다. 공시토양은 모래, 미사 및 점토가 각각 15.4, 82.2 및 2.4%인 미사질양토를 사용하였다. 공시벼(Table 2)는 중만생종인 호평, 주남, 일미 및 동진벼를 사용하였으며, 경남 진주시 초전동에 위치한 경남농업기술원에서 각각 분양 받아 사용하였다.

품종별 벼 포트실험

게르마늄 함유 기능성 쌀 생산을 위한 최적 품종 및 게르마늄 시비 방법을 선정하기 위하여 호평, 주남, 일미 및 동진벼 등 총 4개 품종에 토양처리와 엽면처리로 게르마늄 시비방법을 달리하여 시험하였다. 게르마늄 토양 처리는 4 kg 의 미사질양토에 GeO_2 (Kanto Chemical CO. Inc., Japan) 함량을 각각 8 mg kg^{-1} 되게 동일하게 처리한 후 토양을 $1 \text{ 5,000}^{-1}\text{a}$ Wagner pot에 충전하였다. 각 포트내 토양표면에는 초장 12 cm 인 어린 호평, 동진, 주남 및 일미벼를 2007년 6월 21일에 pot당 7주씩 이양하였다.

게르마늄 엽면처리는 4 kg 의 미사질양토를 $1 \text{ 5,000}^{-1}\text{a}$ Wagner pot에 충전한 후 벼를 토양처리와 동일한 조건으로 이식하였다. 게르마늄(GeO_2) 용액은 214 mg L^{-1} 인 GeO_2 용액을 최고분얼기, 수잉기 및 출수기에 각각 50 mL 씩 분무기로 분무하여 최종 Ge 함량을 토양처리와 같은 8 mg kg^{-1} 되게 처리하였다. 토양검정에 의한 시비량은 농업과학기술원 작물별 시비처방 기준인 표준시비량에 따라 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 시비를 $12\text{-}3\text{-}3 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ($0.4\text{-}0.10\text{-}0.10 \text{ g pot}^{-1}$)로 시비하였다. 질소, 인산 및 칼리의 시비에는 각각 요소, 용과린 및 엽화칼

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment

Soil texture	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	O.M T-N		Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cat (cmol ⁺ kg ⁻¹)			
			-----(%)-				K	Ca	Mg	Na
Silt loam	5.8	0.52	3.4	0.06	346.9	192.0	0.08	5.42	0.50	0.04

Table 2. Characteristic of the used rice species

Rice	Breeding year	Breeding combination	Development station	Disease tolerance
Dongjinbyeo	1992	Hwayang/HR12800-AC21	National Honam Agricultural Experiment Station	Leaf blast, Bacterial Leaf Blight
Hopyungbyeo	1988/1989	Hidomeborae/Hwajin	National Honam Agricultural Experiment Station	Leaf blast, Bacterial Leaf Blight
Ilmeebyeo	1988/1989	Milyang96/Milyang95/Sunjin	National Yeongnam Agricultural Experiment Station	Bacterial Leaf Blight, Stripe Virus
Junambyeo	1993	Hwayang/Sangju/Illpum	National Yeongnam Agricultural Experiment Station	Bacterial Leaf Blight

리 비료를 사용하였다. 질소와 칼리의 분시비율은 밀겨름, 분얼비, 수비 및 실비를 각각 50, 20, 20 및 10%로 하였으며, 관수 및 기타재배는 관행재배법에 준하였다.

분석방법

토성분석은 비중계법을 이용하여 토양 무기질 입자 중 모래·미사·점토의 백분율을 산출하여 국제토양학회에서 제작한 삼각도표법을 이용하여 조사하였고, 토양의 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원의 토양분석법¹⁸⁾에 준하여 pH는 초자전극법, EC는 EC meter(Orion, Model 160, Germany)로 분석하였으며, 유기물은 Tyurin법, T-N은 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법, 유효규산은 NaOAc법, 치환성 양이온은 1N Ammonium acetate(pH 7.0) 침출법으로 각각 분석하였다.

게르마늄 분석을 위한 시료는 벼를 열풍건조기로 80°C에서 건조하여 40 mesh 이하로 분쇄한 후 70°C dry oven에서 36시간동안 건조 시킨 후 사용하였다. 벼의 게르마늄 분석은 시료 0.5 g에 HNO₃ 5 mL을 가하여 45°C에서 overnight 시킨 후 95°C에서 5시간 분해하였고, 분해액은 정용한 후 No. 6 여과지로 여과하여 OPTIMA 5300DV(Perkin Elmer)를 이용하여 분석하였다.

쌀 품질분석은 농촌진흥청 농사시험 연구조사 기준¹⁹⁾에 준하여 벼를 수확하여 탈곡한 후 실험실용 현미기를 이용하여 도정하였으며, 도정된 백미는 Cyclone sample mill을 이용하여 쌀가루로 분쇄한 후 100 mesh 체에 통과시켜 분석 시료로 사용하였다. 아밀로스 함량은 요오드비색 정량법으로 분석하였고, 단백질 함량은 쌀가루 0.4 g을 H₂SO₄ 용액으로 습식분해시켜 Kjeldahl 중류법에 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 분석하였다. 또한 질소 함량은 시료를 분해 후 Kjeldahl 중류법

으로 분석하였고, 인 함량은 시료를 분해 후 Vanadate molybdate법으로 분석하였으며, 마그네슘 함량은 분해 후 Atomic absorption spectrophotometer(AA-SCAN8)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

품종별 벼의 생육 특성

품종에 따른 처리방법별 벼의 생육특성은 모든 품종의 출수기에서 잎 표면에 갈색 반점이 약간 나타났으며, 특히 엽면처리의 경우 토양처리에 비해 약간 심하였다. 이와 같은 결과는 게르마늄 독성에 의한 효과로 판단되며, 게르마늄의 엽면처리가 토양처리에 비해 게르마늄 독성이 약간 심한 것은 엽면처리의 경우 잎에 게르마늄을 3회로 나누어 분무하여 일시적으로 벼에 고농도의 게르마늄이 분무되었기 때문으로 판단되며, 반면에 토양처리의 경우 벼 이앙전 토양에 게르마늄을 처리하여 벼 생육 기간동안 뿌리를 통해 엽면처리에 비해 상대적으로 낮은 농도의 게르마늄이 꾸준히 흡수전이 되었기 때문으로 판단된다. Lee 등¹⁵⁾은 일미벼를 이용한 농도별 실험에서 GeO₂를 2.5 mg kg⁻¹이상 처리시 벼의 생육을 저하시킨다고 하였으며, Hwang 등¹⁷⁾은 동진벼에 GeO₂ 12 mg kg⁻¹이상 처리시 벼의 생육 저하와 함께 생산량 또한 감소시키는 것으로 보고되었다. Datnoff 등²⁰⁾은 게르마늄 처리시 식물독성으로 인해 벼에 황화현상이 나타나며 생육이 억제된다고 보고되었다. 수확 후 품종별 벼의 간장, 수장, 수수 및 천립중은(Table 3) 토양 및 엽면처리 모두에서 전반적으로 품종에 따른 유의성이 없었다. 수확 후 품종별 벼의 생육특성은 전반적으로 품종별 게르마늄 엽면처리의 경우 토양처리구에 비해 비슷하거나 약간 적은 경향으로 게르마늄의 독성이 큰 영향을 미치지 못하였다. 하지만 엽면처리는 게르마늄 무처리나 토양처리에 비해 간장, 수장, 수수 및 천립중이 떨어져 수량이 감소되었다. 벼의 품종에 따른 쌀 생산량은 게르마

Table 3. Growth characteristics of rice plant under different rice species

Rice	Treatment	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. panicle per hill	No. grain per panicle	1,000 grain (g)	Yield (g pot ⁻¹)	T/R ratio
Hopyungbyeo	SA [†]	51.7a [*]	13.3a	16.3ab	36.8a	20.5b	11.8a	3.4
	FS [‡]	43.1b	11.4b	6.8c	37.9a	19.7b	7.7d	2.5
Junambyeo	SA	43.2b	12.3ab	13.8b	34.5ab	21.1a	11.5a	2.2
	FS	40.5b	12.4ab	12.3b	32.5ab	21.2a	10.3b	2.1
Ilmeebyeo	SA	49.2a	11.7b	20.2a	29.1bc	21.0a	9.7b	2.8
	FS	43.5b	11.6b	14.8b	31.2b	21.5a	8.1c	2.4
Dongjinbyeo	SA	48.3a	13.5a	15.5b	38.0a	22.4a	8.8bc	3.9
	FS	43.4b	12.8a	12.3b	35.0ab	20.2b	7.8d	3.7

[†]SA : Soil application, [‡]FS : Foliar spray, ^{*}Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05, T/R ratio : Tree/Root ratio.

늪 토양처리의 경우 호평 ≒ 주남 > 일미 >> 동진벼 순이었으며, 엽면처리의 경우 주남 >> 일미 > 동진 > 호평벼 순이었다. 또한 낱알 생산량은 전반적으로 토양처리가 엽면처리에 비해 유의성 있게 높았다.

품종별 게르마늄 함량 및 흡수량

품종에 따른 벼 부위별 건물중량(Table 4)은 주남벼가 다른 품종에 비해 잎, 줄기 및 뿌리 모두에서 약간 낮은 경향이었고, 모든 품종에서 전반적으로 잎 > 줄기 > 뿌리 순으로 높았으며, 토양처리구가 엽면처리구에 비해 유의성 있게 높았다. 벼의 부위별 게르마늄 함량은 모든 품종에서 잎 ≫ 줄기 ≫ 뿌리 순으로 잎에서 가장 높은 결과를 보였는데, 이는 Hwang¹⁷⁾의 결과와 일치 하였다. 게르마늄 처리시 잎에서 일어나는 황백화 현상은 Ge-Si와 Ge-C 결합이 Si-Si와 Si-C 결합보다 약하기 때문에 나타나는 세포벽의 손상이 원인이었다고, 특히 황백화가 일어나는 잎에는 다른부위에 비해 많은 함량의 게르마늄이 축적되는 것으로 보고되었다²¹⁾.

벼 부위별 게르마늄 함량은 모든 품종에서 전반적으로 엽면처리가 토양처리에 비해 유의성 있게 높은 결과를 나타냈으며, 호평벼를 이용한 토양처리구의 게르마늄 함량이 다른 처리구에 비해 유의성이 있게 높았다. 호평벼에서 잎의 게르마늄 함량은 토양처리 및 엽면처리의 경우 각각 841.6 및 1586.9 mg kg⁻¹로 타 품종에 비해 유의성 있게 높았다. 줄기의 게르마늄 함량은 잎과 유사한 경향으로 호평벼가 다른 품종에 비해 유의성 있게 높은 결과를 보였다. 하지만 뿌리의 게르마늄 함량은 잎과 줄기와 달리 품종 및 처리방법에 따라 별 차이 없이 1.9~2.3 mg kg⁻¹범위이었다.

품종에 따른 벼 부위별 낱알 생산량은 Table 5와 같이 모든 품종에서 현미 ≧ 백미 ≧ 쌀겨 순으로 높았고, 토양처리가 엽면처리에 비해 유의성 있게 높았다. 특히 호평벼의 경우 벼 부위별 낱알 생산량은 토양처리구가 쌀겨, 현미 및 백미에서 각각 2.6, 11.7 및 11.5 g pot⁻¹로 다른 품종에 비해 유의성 있게 높았다.

벼 부위별 낱알의 게르마늄 함량은 모든 품종에서 쌀겨

Table 4. Dry weight and germanium contents in various parts of the rice under different rice species

Rice	Treatment	Dry weight (g pot ⁻¹)			Ge content (mg kg ⁻¹)		
		Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Hopyungbyeo	SA [†]	7.46bc*	5.38b	3.85ab	841.6bc	137.4a	2.3a
	FS [‡]	6.02c	2.34d	3.28b	1343.2a	159.0a	1.2a
Junambyeo	SA	6.85bc	3.91c	4.93ab	549.2c	64.5b	2.3a
	FS	6.37bc	3.22cd	4.66ab	1586.9a	122.1ab	2.2a
Ilmeebyeo	SA	9.75a	6.84a	5.35a	721.3bc	118.0ab	1.9a
	FS	8.08ab	4.33bc	5.40a	913.8b	106.7ab	2.3a
Dongjinbyeo	SA	8.64ab	6.98a	5.36a	693.6bc	103.3ab	2.1a
	FS	8.21ab	4.35bc	4.91ab	721.5bc	99.6ab	1.9a

[†]SA : Soil application, [‡]FS : Foliar spray. *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. Rice yield and germanium contents in various parts of the rice under different rice species

Rice	Treatment	Yield (g pot ⁻¹)			Ge content (mg kg ⁻¹)		
		Rice bran	Brown rice	Polished rice	Rice bran	Brown rice	Polished rice
Hopyungbyeo	SA [†]	2.59a*	11.69a	11.54a	457.1b	14.5a	8.2b
	FS [‡]	1.64c	7.38c	7.28c	548.2a	14.5a	11.6a
Junambyeo	SA	1.90bc	8.59bc	8.47bc	366.4d	8.0c	6.4bc
	FS	2.14ab	9.65ab	9.52ab	421.0c	6.6c	6.8bc
Ilmeebyeo	SA	1.85bc	8.34bc	8.23bc	349.8d	11.6b	5.6c
	FS	1.71bc	7.71bc	7.61bc	281.5e	11.7b	3.5d
Dongjinbyeo	SA	1.85bc	8.34bc	8.23bc	381.5d	10.4b	7.5b
	FS	1.78bc	8.02bc	7.91bc	402.6c	12.9b	9.3b

[†]SA : Soil application, [‡]FS : Foliar spray. *Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

» 현미 > 백미 순으로 높았고, 호평, 주남 및 동진벼의 경우 엽면처리가 토양처리에 비해 높았으며, 반면에 일미벼의 경우 토양처리가 엽면처리에 비해 약간 높았다. 낱알생산량이 가장 많았던 호평벼의 게르마늄 함량은 엽면처리의 경우 쌀겨, 현미 및 백미가 각각 548.2, 14.5 및 11.6 mg kg⁻¹이었고, 토양처리의 경우 쌀겨, 현미, 백미가 각각 457.1, 14.5 및 8.2 mg kg⁻¹이었다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 벼 낱알에 흡수된 게르마늄은 대부분 쌀겨에 분포되어 있었고, 현미의 게르마늄 함량은 전반적으로 백미에 비해 약간 높았으며, 이들 결과는 Lim²²⁾의 결과와도 유사한 경향이었다. Park과 Jang²³⁾에 따르면 스트론튬은 벼의 잎, 줄기, 뿌리 및 쌀겨에 대부분 축적되었고, 현미로 전이된 스트론튬의 함량은 전체흡수량의 약 1.3% 정도로 매우 적은 것으로 보고되었는데, 본 시험결과 벼의 게르마늄 흡수도 스트론튬의 흡수와 동일한 결과를 보여 이들은 유사한 흡수 및 전이특성을 가지는 것으로 판단된다.

게르마늄 토양처리시 벼 품종에 따른 부위별 게르마늄 흡수량(Fig. 1)은 잎의 경우 호평벼가 6,295 µg pot⁻¹로 다른 품종에 비해 유의성 있게 높았으며, 줄기의 경우 일미벼가 807 µg pot⁻¹로 다른 품종에 비해 유의성 있게 높았다. 하지만 뿌리의 게르마늄 흡수량은 모든 품종에서 8.8~16.7 µg pot⁻¹ 범위로 큰 차이 없었다. 이와 같은 결과는 Lim²⁴⁾의 결과와 유사한 경향이었다. 또한 호평벼의 낱알 부위별 게르마늄 흡수량은 쌀겨, 현미 및 백미의 경우 980, 140 및 79 µg pot⁻¹

로 타품종에 비해 유의성 있게 가장 높았고, 현미의 게르마늄 흡수량이 백미에 비해 높았으며, 이는 Hwang¹⁷⁾의 결과와 유사 하였다. 따라서 쌀을 이용하여 게르마늄을 효과적으로 섭취하기 위해서는 도정을 줄인 현미가 좋을 것으로 판단된다.

게르마늄 엽면처리시 벼 품종에 따른 부위별 게르마늄 흡수량(Fig. 1)은 전반적으로 토양처리와 비슷한 경향이었으나, 잎, 줄기 및 뿌리의 게르마늄 함량은 토양처리에 비해 상대적으로 높은 반면 쌀겨, 현미 및 백미 중 게르마늄 함량은 토양처리에 비해 상대적으로 낮은 함량을 보였다. 이와 같은 결과는 토양처리의 경우 벼 이앙전 토양에 게르마늄을 처리하여 벼 생육 전기간동안 뿌리를 통해 엽면처리에 비해 상대적으로 저농도의 게르마늄이 꾸준히 흡수되었기 때문에 쌀겨, 현미 및 백미로의 게르마늄 전이가 용이하였기 때문으로 판단된다. 반면에 엽면처리는 잎에 게르마늄을 3회로 나누어 분무하여 일시적으로 벼에 고농도의 게르마늄이 분무되게 되어 벼 생육기간동안 일정량의 게르마늄이 흡수 전이되지 못하고, 오히려 고농도의 게르마늄으로 인한 독성으로 벼의 생육저해가 일어났기 때문으로 판단된다. 이와 같은 이유로 엽면처리는 토양처리에 비해 잎과 줄기 표면에 갈색 반점이 상대적으로 심했던 것으로 판단된다.

따라서 게르마늄 쌀 생산을 위한 품종은 실험에 사용한 품종 중 호평벼가 가장 좋을 것으로 판단되며, 호평벼에서 쌀 중 게르마늄 함량을 증가시키기 위해서는 게르마늄 엽면처리보다 토양처리가 바람직할 것으로 사료된다.

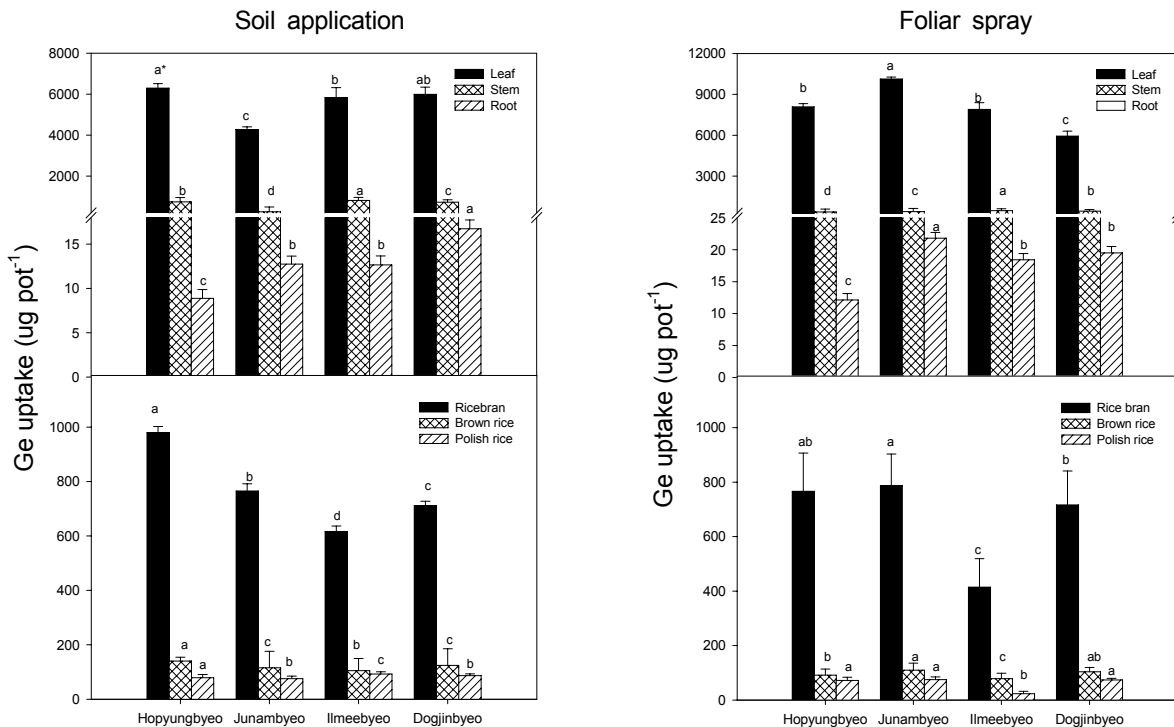


Fig. 1. Ge uptake in various parts of the rice under different rice species. Error bars represent SD (n = 6), * Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

품종별 게르마늄 흡수율

벼 품종에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수율을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 호평벼에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 토양처리의 경우 잎이 19.7%, 줄기가 3.1%, 뿌리가 0.006%, 쌀겨가 2.3% 및 현미가 0.43%(백미 0.25%)로서 전체 게르마늄의 총 25.5%가 흡수되고 토양내에 74.5%의 게르마늄이 잔류하였으며, 엽면처리의 경우 잎이 25.3%, 줄기가 1.2%, 뿌리가 0.006%, 쌀겨가 2.4% 현미가 0.29%(백미 0.23%)로서 전체 게르마늄의 총 29.2%가 흡수되고 토양 내에 70.8%의 게르마늄이 잔류하여 벼 전체의 게르마늄의 흡수율은 엽면처리가 토양처리에 비해 높았다. 하지만 벼 재배 후 실제 섭취하게 되는 현미나 백미 중의 게르마늄 함량은 토양처리가 엽면처리에 비해 높았다.

주남벼에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 토양처리의 경우 잎이 13.3%, 줄기가 0.8%, 뿌리가 0.004%, 쌀겨가 2.4% 현미가 0.23%(백미 0.19%)로서 전체 게르마늄의 총 16.8%가 흡수되고 토양내에 83.2%의 게르마늄이 잔류하였으며, 엽면처리의 경우 잎이 31.7%, 줄기가 1.2%, 뿌리가 0.007%, 쌀겨가 2.5% 현미가 0.44%(백미 0.31%)로서 전체 게르마늄의 총 35.7%가 흡수되고 토양내에 64.3%의 게르마늄이 잔류하였다.

일미벼에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 토양처리의 경우 잎이 18.2%, 줄기가 2.5%, 뿌리가 0.004%, 쌀겨가 1.9% 현미가 2.9%(백미 1.4%)로서 전체 게르마늄의 총 23.0%가 흡수되고 토양내에 77.0%의 게르마늄이 잔류하였으며, 엽면처리의 경우 잎이 24.7%, 줄기가 1.4%, 뿌리가 0.006%, 쌀겨가 1.3% 현미가 0.24%(백미 0.07%)로서 전체 게르마늄의 총 27.7%가 흡수되고 토양내에 72.3%의 게르마늄이 잔류하였다. 게르마늄 토양처리시 일미벼의 게르마늄 흡수 이용율은 Lee¹⁵⁾가 보고한 20.7%(Ge 2.5 mg kg⁻¹)에 비해 약간 높

은 결과를 보였는데, 이는 본 실험에서의 게르마늄 처리농도가 8 mg kg⁻¹으로 약간 높았으며, 그 외에도 토성, 온도 등의 환경조건 등이 달랐기 때문으로 판단된다. 따라서 동일한 벼에서도 효율적인 게르마늄 함유 쌀 생산을 위해서는 다양한 환경인자에서 게르마늄의 흡수이행실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

동진벼에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 토양처리의 경우 잎이 17.7%, 줄기가 2.3%, 뿌리가 0.005%, 쌀겨가 2.2% 현미가 0.27%(백미 0.19%)로서 전체 게르마늄의 총 22.5%가 흡수되고 토양내에 77.5%의 게르마늄이 잔류하였으며, 엽면처리의 경우 잎이 18.6%, 줄기가 1.4%, 뿌리가 0.006%, 쌀겨가 2.2% 현미가 0.31%(백미 0.23%)로서 전체 게르마늄의 22.5%가 흡수되고 토양내에 77.5%의 게르마늄이 잔류하였다. 이상의 결과를 토대로 벼 품종별 게르마늄의 전체 이용율은 토양처리의 경우 호평 > 일미 > 동진 > 주남벼 순이었고, 엽면처리의 경우 호평 > 주남 > 일미 > 동진벼 순으로 두 조건 모두 호평벼가 가장 높았다.

이와 같이 전체 이용율 측면에서 엽면처리의 게르마늄 흡수율이 약간 높은 것은 고농도의 게르마늄 용액을 잎과 줄기에 정기적으로 살포함으로써 벼 표면에 흡착되거나 토양표면에 집적되어 검출되기 때문으로 판단된다. 하지만 벼 재배 후 실제 섭취하게 되는 현미나 백미 중의 게르마늄 흡수율은 토양처리가 엽면처리에 비해 거의 2배정도 높은 것으로 보아 토양처리가 엽면처리에 비해 효과적일 것으로 판단된다. 따라서 게르마늄 함유 기능성 쌀을 생산하기 위해서는 현미나 백미 중 게르마늄 흡수량을 증대시켜야 하므로 게르마늄 토양처리가 엽면처리에 비해 적합할 것으로 판단된다.

품종별 쌀 품질

품종별 쌀의 품질 특성을 분석한 결과는 Table 6에서 보

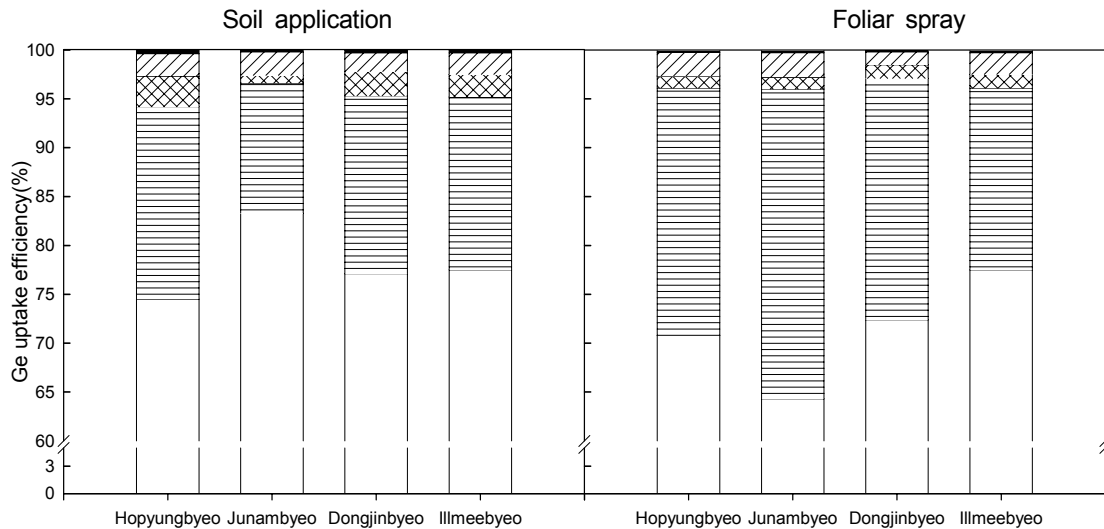


Fig. 2. Germanium uptake ratio in various parts of the rice under different rice species. (□ : Residual in Soil, ▨ : Leaf, ▩ : Stem, ▤ : Root, ▧ : Rice bran, ■ : Brown rice).

는 바와 같다. 단백질 및 아밀로스 함량은 모든 품종에서 각각 9.3~10.5% 및 20.4~22.8% 정도로 품종에 따라 별 차이 없었다. 본 시험에서는 쌀의 소화온도는 전반적으로 품종에 따라 별 차이 없이 낮은 값을 유지하였으며, 벼 품종별 쌀의 심복백은 모든 처리에서 거의 없었다. 또한 알칼리 붕괴도는 2~5 범위였으며, 질소 함량은 모든 품종에서 1.59~1.70% 정도로 품종 및 처리방법에 따라 유의성이 없었다. 일반적으로 단백질 함량이 높으면 영양학적 가치는 높아지지만 식미는 떨어지게 하는 요인으로 작용하며, 아밀로스 함량이 높으면 밥의 찰기와 질감을 높이며²⁴⁾, 벼 중 식미가 양호한 품종은 단백질 함량과 소화온도가 낮은 것으로 알려져 있다²⁵⁾. 또한 인의 함량과 마그네슘의 함량이 높을수록 밥맛이 좋다고 알려져 있다²⁶⁾. 쌀 중 인 함량은 호평벼를 이용한 토양처리구가 3,569 mg kg⁻¹로 다른 품종 및 처리방법에 비해 유의성 있게 높았으며, 쌀 중 마그네슘 함량은 791 mg kg⁻¹로

일미벼의 엽면처리구가 가장 높았다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 쌀의 품질은 품종에 따라 큰 차이가 나타나지 않았다. 이 같은 결과는 Lim 등²⁴⁾의 토성이 벼의 생육 및 게르마늄 흡수에 미치는 영향연구와 유사한 결과를 보였다.

최적 품종 선정

벼 품종에 따른 게르마늄 토양처리 및 엽면처리 조건에서 벼의 생육특성, 토양 중 무기성분 함량 변화, 부위별 게르마늄 흡수 특성, 쌀 미질 특성을 각각 비교한 결과 전반적으로 토양처리가 엽면처리에 비해 효율적인 게르마늄 쌀을 생산할 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 게르마늄 토양처리 조건 하에서 최적 품종 및 게르마늄 처리방법을 선정하기 위하여 벼의 생육상황, 생산량, 게르마늄 저항성 및 쌀의 미질 등의 일반적인 특성과 게르마늄 흡수 특성을 전체적으로 비교하였으며, 그 결과(Fig. 3) 게르마늄 토양처리 조건하에서 벼 품

Table 6. Grain quality of rice under different rice species

Race	Treatment	White Core & Velly	Alkiline degree	Gelatinization temperature	Amylose Contents	Protein Contents	N	P	Mg
		(0-9)	(1-7)	Low/High	----- (%) -----	(%) -----	----- (mg kg ⁻¹) -----	----- (mg kg ⁻¹) -----	----- (mg kg ⁻¹) -----
Hopyungbyeo	SA [†]	0/1	5	Low	21.7	9.5	1.59b*	3,569a	510.0c
	FS [‡]	0/1	4	Low	22.7	9.7	1.63ab	3,484a	648.1b
Junambyeo	SA	0/1	4	Low	22.2	9.1	1.52bc	2,643b	429.0d
	FS	0/1	3	Low	24.6	9.9	1.66a	2,558b	528.5c
Ilmeebyeo	SA	0/1	5	Low	23.4	9.5	1.59b	2,053c	853.3a
	FS	0/1	2	Low	22.4	10.1	1.70a	1,984c	791.8ab
Dongjinbyeo	SA	0/1	5	Low	23.4	9.3	1.61ab	2,451b	636.7b
	FS	0/1	5	Low	23.7	9.4	1.65a	2,236b	621.1b

[†]SA : Soil application, [‡]FS : Foliar spray. *Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

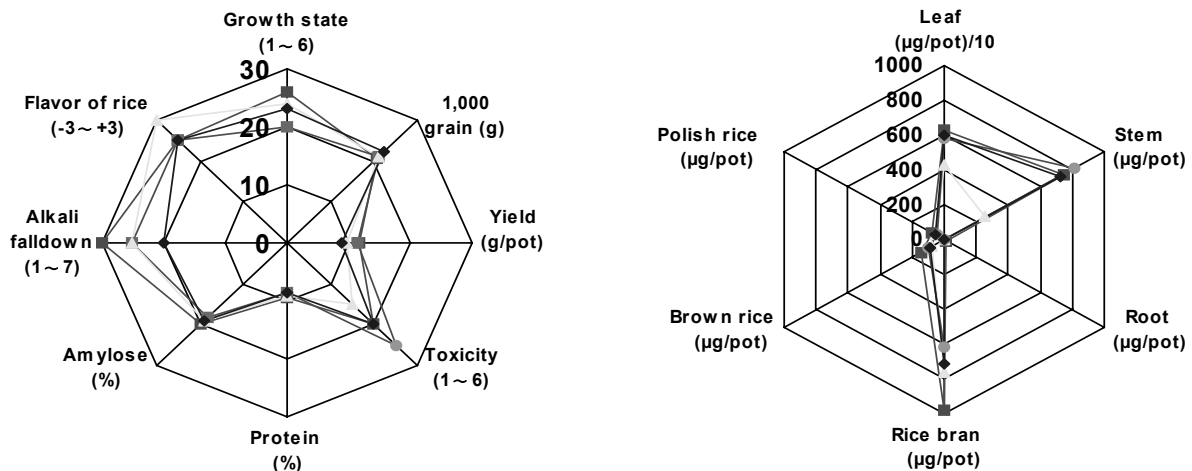


Fig. 3. Selection of optimum rice species under different rice species for production of functional rice with germanium (Ge). (■ : Hopyungbyeo, ▲ : Junambyeo, ● : Ilmeebyeo, ◆ : Dongjinbyeo).

종별 벼의 일반적인 특성을 비교한 결과 모든 품종에서 게르마늄 독성, 단백질, 아밀로스 및 알카리 붕괴도 등은 별 차이 없었으나, 호평벼의 경우 생육상황, 천립중, 생산량 등에서 전반적으로 타 품종에 비해 좋았다. 벼 품종별 게르마늄 흡수 특성을 비교한 결과 호평벼의 경우 쌀겨, 현미, 백미 등에서 전반적으로 타 품종에 비해 높은 게르마늄 함량 및 흡수량을 보였다.

이상의 여러 요인을 종합적으로 고려한 결과 게르마늄 함유 기능성 쌀 생산을 위한 최적 품종은 호평벼이었다. 특히 호평벼는 쌀의 생산량과 게르마늄 흡수량이 모두 높았다. 따라서 게르마늄 함유 기능성 쌀을 효과적으로 생산하기 위해서는 실험에 사용된 벼 중 호평벼가 적합한 것으로 판단된다.

요 약

게르마늄 함유 기능성 쌀 생산을 위한 최적 품종 및 게르마늄 시비방법을 선정하기 위해 토양처리와 엽면처리로 게르마늄 시비방법을 달리하여 호평, 주남, 일미 및 동진벼 등 총 4개 품종하에서 벼의 생육특성, 게르마늄 흡수 특성 및 쌀 품질특성을 각각 조사한 결과 벼의 생육은 호평벼가 타 품종에 비해 전반적으로 양호하였으며, 게르마늄 무처리와 토양처리 시 벼의 생육은 엽면처리에 비해 양호하였다. 벼의 품종에 따른 쌀 생산량은 게르마늄 토양처리의 경우 호평 ≒ 주남 > 일미 >> 동진벼 순이었으며, 엽면처리의 경우 주남 > 일미 ≒ 호평 >> 동진벼 순이었다. 또한 쌀 생산량은 전반적으로 토양처리 > 엽면처리 순이었다. 벼 품종별 현미 중 게르마늄 함량은 토양처리의 경우 호평, 주남, 일미 및 동진벼가 각각 14.5, 8.0, 11.6 및 10.4 mg kg⁻¹로 호평벼가 가장 높았고, 엽면처리의 경우도 유사한 경향이었다. 게르마늄의 흡수율은 전반적으로 엽면처리가 토양처리에 비해 높았으나 실제 주식으로 사용되는 현미나 백미 중의 게르마늄 흡수율은 토양처리가 엽면처리에 비해 약 2배정도 높았다. 따라서 게르마늄 함유 기능성 쌀을 생산하기 위해서는 현미나 백미 중 게르마늄 흡수량을 증대시켜야 하므로 게르마늄 토양처리가 엽면처리에 비해 적합할 것으로 판단되며, 최적 품종은 호평벼이었다.

감사의 글

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

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 J. 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., 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.
4. Mochizuki, H. and Kada, T. (1982) Antimutagenic effect of Ge-132 on γ -ray-induced mutation in *Escherichia coli* B/rWP2 trp-. *Int. J. Radiat. Biol.* 42(6), 653-659.
5. 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.
6. 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.
7. Dimartino, M. J. (1986) Antiarthritic and immunoregulatory activity of spirogermanium. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 236(1), 103-110.
8. 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.
9. 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.
10. Lee, H. M. and Chung, Y. (1991) Effect of organic germanium on metallothionein inductin in liver and kidney of cadmium and mercury intoxicated rats. *Yakhuak Hoeji* 35(2), 99-110.
11. 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.

12. Higuchi, I., Takahashi, K., Nakahara, K., Izumo, S., Nakagawa, M. and Osame, M. (1991) Experimental germanium myopathy. *Acta Neuropathol (Berl)*, 82(1), 55-59.
13. Sanai, T., Oochi, N. and Okuda, D. (1990) Subacute nephrotoxicity of germanium dioxide in the experiment animal. *Toxicol Appl. Pharmacol.* 103, 345-353.
14. 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.
15. Lee, S. T., Lee, Y. H., Lee, H. J., Cho, J. S. and Heo, J. S. (2005) Germanium Contentsof Soil and Crops in Gyeongnam Province. *Korean J. Environ. Agric.* 24(4), 404-408.
16. Lee, S. T., Lee, Y. H., Bhan, K. N., Seo, D. C. and Heo, J. S. (2005) Growth characteristics and germanium absorption in Lettuce with different concentrations of germanium in soil. *Korean J. Environ. Agric.* 24(4), 404-408.
17. 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.
18. Rural Development Administration. (1988) Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agriculture Science and Technology, Suwon (in korea).
19. Rural Development Administration. (1995) Research of farm in test investigation standard. National Institute of Agriculture Science and Technology, Suwon (in korea).
20. Datnoff, L. E., Snyder, G. H. and Korndörfer, G. H. (2001) Silicon in Agriculture. Elsevier Science, 1 edition.
21. Matsumoto, H., Syo, S. and Takahashi, E. (1975) Translocation and some forms of germanium in rice plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21, 273-279.
22. Lim, J. S., Seo, D. C., Park, W. Y., Cheon, Y. S., Lee, S. T., Cho, J. S. and Heo, J. S. (2008) Effects of Soil Texture on Germanium Uptake and Growth in Rice by Soil Application with Germanium. *Korean J. Environ. Agric.* 24(4), 404-408.
23. 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. *Korea J. Soil science & Fertilizer.* 30(2), 184-188.
24. Lee, J. H., Cho, Y. S., Song, M. T., Yang, S. J., Hwang, H. G., Kim, N. S., Choi, H. C. and Moon, H. P. (2000) Analysis of Quantitative Trait Loci (QTLs) related to Rice Gelatinization. *Korean J. Breeding Sci.* 32(3), 211-217.
25. Kwak, T. S. and Yeo, J. H. (2004) Variation of Grain Quality and Grain Filling Rapidity Milyang 23 / Gihobyeo Recombinant Inbred Lines. *Korean J. Crop Sci.* 49(3), 160-166.
26. Choi, J. C. and Cheon, D. K. (2002) Effect of Harvest Time on Yield and Quality of Rice. *Korean J. Crop Sci.* 47(3), 254-258.