

게르마늄 토양처리시 토성이 벼의 생육 및 게르마늄 흡수에 미치는 영향

임종서^{1)†} · 서동철^{2)†} · 박우영¹⁾ · 천영석¹⁾ · 이성태³⁾ · 조주식^{4)**} · 허종수^{1,5)*}

¹⁾경상대학교 응용생명과학부, ²⁾루이지애나주립대 습지생물지구화학연구소, ³⁾경상남도 농업기술원,
⁴⁾순천대학교 생명환경과학부, ⁵⁾경상대학교 농업생명과학원
(2008년 6월 18일 접수, 2008년 9월 5일 수리)

Effects of Soil Texture on Germanium Uptake and Growth in Rice Plant by Soil Application with Germanium

Jong-Sir Lim^{1)†}, Dong-Cheol Seo^{2)†}, Woo-Young Park¹⁾, Yeong-Seok Cheon¹⁾, Seong-Tae Lee⁴⁾, Ju-Sik Cho^{3)**}, and Jong-Soo Heo^{1,5)*}
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⁾Division of Applied Life and Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon, 540-742, Korea, ⁵⁾Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea)

ABSTRACT: The growth characteristics and the Germanium (Ge) uptake of rice plant (Hopyungbyeo) in soil with Ge were investigated under different soil textures to obtain the basic information for agricultural utilization of Ge. This study was carried out in the Wagner pot (1 5,000⁻¹a). Ge concentration in soils such as clay loam, silt loam, loam and sandy loam for rice plant cultivation was treated at 8 mg kg⁻¹. The growth status of rice plant was almost similar in all soil texture, and rice yield was higher in the order of silt loam > clay loam > loam > sandy loam. In rice bran, the Ge uptakes in silt loam, clay loam, loam and sandy loam were 980, 868, 754 and 803 µg pot⁻¹, respectively. The Ge uptakes of brown rice and polish rice were greater in the order of silt loam > sandy loam > clay loam > loam. In silt loam, the Ge uptake rates in leaf, stem, root, rice bran and brown rice were 19.7, 2.3, 0.03, 3.1 and 0.44%, respectively. Therefore, under the given experimental condition the optimum soil texture for production of functional rice with Ge is a silt loam.

Key Words: Germanium(Ge), rice, GeO₂, soil texture, soil application, clay loam, silt loam, loam, sandy loam

서 론

게르마늄은 한방, 키토산, 인삼, 칼슘, 녹차, 목초액, 참숯 및 맥반석 등은 기능성 농산물 생산을 위한 농자재로 사용되어지고 있다. 현재 게르마늄은 벼, 사과, 참외, 고추 및 옥수수 등 약 30개 품목에서 농자재로 사용되고 있으며, 이들의 재배면적은 667 ha(200만평)에 달하는 것으로 보고되고 있

다¹⁾. 특히 게르마늄 함유 기능성 농산물은 고품질 친환경브랜드 농업 육성을 통해 일반농작물에 비해 20~30%정도 높은 가격에 거래되고 있는 실정이다¹⁾. 하지만 대부분의 유통 중인 게르마늄 관련 농자재는 체계적인 연구를 통해 개발되지 않아 실제 게르마늄의 흡수량이나 재배법 등에서 많은 문제점을 가지고 있다.

게르마늄은 무기게르마늄과 유기게르마늄으로 분류할 수 있는데, 무기게르마늄은 Ge 및 GeO₂가 대표적이며, 유기게르마늄은 Ge-132, spirogermanium 및 proxi-germanium 이 대표적이다. 무기게르마늄인 GeO₂는 장기 복용한 환자에서 빈혈, 신기능장애, 신경병증 및 근장애를 유발하는 것으로 알려져 있으나^{2,3)}, 유기게르마늄인 Ge-132는 항종양 효과⁴⁾, 항돌연변이 효과⁵⁾, natural killer 세포 및 macrophages의 활성화를 포함하는 면역강화 작용⁶⁾과 virus 감염 치료⁷⁾, 관

*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

절염 치료 효과와 같은 항염증 작용^{8,9)}, 해열·진통 작용¹⁰⁻¹²⁾, 중금속 해독작용¹³⁾ 및 운동성 증가¹⁴⁾ 등의 다양한 약리작용을 가지는 것으로 보고되고 있다. 최근에는 식물의 생육에 미치는 게르마늄의 영향에 대한 연구와 유기게르마늄 함유 농산물을 생산기술을 개발하기 위하여 벼¹⁵⁾, 상추^{16,17)}, 콩나물¹⁸⁾ 및 인삼¹⁹⁾ 등을 이용한 연구들이 보고되고 있다. 하지만 생산된 기능성농산물은 게르마늄 흡수량이 극히 적으며, 게르마늄 처리시기, 횟수, 토성 및 농작물별 게르마늄 흡수특성, 생육변화 및 독성에 대한 기본 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히 현재 유통 중인 게르마늄 함유 쌀의 게르마늄 함량은 일반 쌀의 자연 함유량과 큰 차이를 보이지 않았고, 또한 이들 유통 중인 게르마늄 함유 쌀의 경우 게르마늄 함유량이 지역별 및 토성별에 따라 많은 차이를 보였다²⁰⁾. 따라서 벼 재배지의 다양한 토성별 게르마늄 흡수특성은 향후 게르마늄 함유 기능성 쌀 생산기술 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

이에 본 연구는 게르마늄 토양처리시 토성이 벼의 생육 및 게르마늄 흡수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 서부경남지역의 벼 재배지에서 식양토, 미사질양토, 양토 및 사양토로 토성을 구분하여 토양을 채취하였다. 채취된 각각의 토양에 Ge 함량을 동일하게 처리한 후 호평벼를 이식하여 토성에 따른 벼의 생육특성, 부위별 게르마늄 흡수 특성 및 쌀 품질특성을 각각 비교 분석하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험은 경남 진주시 가좌동에 위치한 경상대학교 부속 농장 유리온실에서 실시하였으며, 실험에 사용한 공시토양은 총 4 종류로서 국제토양학회 분류기준에 의해 식양토(Clay loam), 미사질양토(Silt loam), 양토(Loam) 및 사양토(Sandy loam)로 구분하여 사용하였다. 공시토양의 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 공시토양 중 식양토는 모래, 미사 및 점토가 각각 50.4, 23.3 및 21.4%이었으며, 미사질양토는 모래, 미사 및 점토가 각각 15.4, 82.2 및 2.4%이었고, 양토는 모래, 미사 및 점토가 각각 61.8, 29.8 및 8.4%이었고, 사양토는 모래, 미사 및 점토가 각각 83.1, 11.6 및 5.4%이었다. 식양토는 사천시 송포동에 소재한 논(34°58'N, 128°

03'E)에서 채취하였으며, 미사질양토는 진주시 내동면에 소재한 논(35°09'N, 128°06'E)에서 채취하였고, 양토 및 사양토는 경상대학교 부속농장(35°08'N, 128°05'E)에 위치한 시험용 재배포에서 각각 채취하였다.

토성별 벼 포트실험

게르마늄 토양처리시 토성이 벼의 생육 및 게르마늄 흡수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 4 kg의 식양토, 미사질양토, 양토 및 사양토에 GeO₂(Kanto Chemical CO. Inc., Japan) 함량을 각각 8 mg kg⁻¹되게 동일하게 처리한 후 토양을 15,000⁻¹a Wagner pot에 충전하였다. 각 포트내 토양표면에는 초장 12 cm인 어린 호평벼를 2007년 6월 21일에 pot당 7주씩 이양하였다. 토양검정에 의한 시비량은 농업과학기술원 작물별 시비처방 기준인 표준시비량에 따라 N-P₂O₅-K₂O 시비를 12-3-3 kg 10a⁻¹(0.4-0.10-0.10 g pot⁻¹)로 시비하였다. 질소, 인산 및 칼리의 시비에는 각각 요소, 용과린 및 염화칼리 비료를 사용하였다. 질소와 칼리의 분시비율은 밀거름, 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 토양분석법²¹⁾에 준하여 pH는 pH meter(Delta 340, U.K), EC는 EC meter(Orion 150, 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 기준²²⁾에

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	Av.SiO ₂	Ex.Cat (cmol ⁺ kg ⁻¹)			
			----- (%)	-----	----- (mg kg ⁻¹)	-----	K	Ca	Mg	Na
Clay loam	6.1	0.85	10.2	0.23	1812.9	222.6	0.95	11.51	1.53	0.26
Silt loam	5.8	0.52	3.4	0.06	346.9	192.0	0.08	5.42	0.50	0.04
Loam	6.3	0.64	9.4	0.15	1355.6	185.7	0.46	9.09	1.37	0.26
Sandy loam	5.7	0.58	3.4	0.06	503.7	125.8	0.14	4.66	0.33	0.07

*T-N: total nitrogen, Av.P₂O₅: available P₂O₅, Av.SiO₂: available SiO₂, Ex. Cat: exchangeable cations.

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 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 분석하였다. 또한 질소 함량은 시료를 분해 후 Kjeldahl 증류법으로 분석하였고, 인 함량은 시료를 분해 후 Vanadate molybdate 법으로 분석하였으며, 마그네슘 함량은 분해 후 Atomic absorption spectrophotometer(AA-SCAN8)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

토성별 벼의 생육특성

토성에 따른 벼의 생육특성은 모든 토성의 출수기에서 게르마늄 독성으로 인해 잎 표면에 갈색 반점이 약간 나타났으나 심하지 않았다. 토성별 벼의 생육특성은 전반적으로 모든 처리구에서 생육이 약간 저조하였는데, 이는 게르마늄 독성에 의한 효과로 판단된다. Datnoff 등²³⁾은 게르마늄 처리시 식물독성으로 인해 벼의 생육이 억제되고 황화현상이 나타난다고 보고하였고, Lee 등¹⁶⁾은 일미벼에 무기게르마늄(GeO₂)을 2.5 mg kg⁻¹ 이상 처리시 게르마늄 독성이 심한 것으로

보고하였다. 각 토성별 간장, 수장, 수수 및 천립중 등의 생육 특성은 토성에 따른 유의성이 없었다. 수확 후 토성별 낱알 생산량은 미사질양토 처리구가 11.8 g pot⁻¹로 실험에 사용한 다른 토성에 비해 가장 높은 결과를 보였다(Table 2). 하지만 본 실험은 실제 벼 재배지에서 채취한 토양을 이용하였기 때문에 토양내 이화학적 특성이 달라 토성별 정확한 결과의 비교는 힘들 것으로 판단된다. 그러나 이들 자료는 서부경남지역내의 실제 벼 재배지 토양을 이용하였기 때문에 실제 게르마늄을 벼 재배지에 적용시 그 효과를 미리 예측할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

토성별 벼의 게르마늄 흡수 특성

토성에 따른 벼 부위별 건물중량은 Table 3과 같이 전반적으로 잎 > 줄기 > 뿌리 순으로 높았고, 미사질양토 처리구는 잎, 줄기 및 뿌리 모두에서 다른 처리구에 비해 유의성 있게 적은 건물중량을 보였다. 하지만 식양토, 양토 및 사양토 처리구들의 건물중량은 토성에 따른 유의성이 없었다. 토성에 따른 잎, 줄기 및 뿌리의 게르마늄 함량(Table 3)은 잎 ≫ 줄기 ≫ 뿌리 순으로 잎에서 가장 높았다. 이 결과와 상기 벼의 생육상황을 고려해 볼 때 게르마늄 독성은 다른 부위에 비해 잎에서 쉽게 관찰될 수 있을 것으로 판단된다. 게르마늄 처리시 잎에서 일어나는 황백화 현상은 Matsumoto 등²⁴⁾에 의해 보고되었다. 이들에 의하면 황백화 현상은 Ge-Si와 Ge-C 결합이 Si-Si와 Si-C 결합보다 약하기 때문에 나타나는 세포벽의 손상이 원인이라고, 특히 황백화가 일어나는 식

Table 2. Growth characteristics of rice plant under different soil texture

Soil texture	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. panicle per hill (pot ⁻¹)	No. grain per panicle (pot ⁻¹)	1,000 grain (g)	Yield (g pot ⁻¹)	T/R ratio
Clay loam	49.9a*	14.7a	15.1b	32.7a	21.6a	10.7ab	4.5
Silt loam	51.7a	13.3ab	16.3ab	36.5a	20.5b	11.8a	3.4
Loam	48.2a	12.5b	20.1a	34.0a	20.8b	10.0b	3.1
Sandy loam	51.3a	13.1ab	14.8b	35.3a	20.3b	9.7b	2.8

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

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

Soil texture	Dry weight (g pot ⁻¹)			Ge content (mg kg ⁻¹)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Clay loam	11.71a*	7.53a	4.88ab	796.2b	118.6b	2.1a
Silt loam	7.46b	5.38c	3.85b	841.6a	137.4a	2.3a
Loam	13.00a	7.31ab	6.63a	604.4d	107.3c	1.9a
Sandy loam	9.25b	6.00b	5.50ab	627.2c	114.8a	2.2a

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

물체 부위에 Ge의 축적이 많은 것으로 보고되었다.

토성에 따른 벼 부위별 게르마늄 함량은 미사질양토 처리구의 게르마늄 함량이 다른 처리구에 비해 유의성이 있게 높았다. 잎의 게르마늄 함량은 식양토, 미사질양토, 양토 및 사양토 처리구가 각각 796, 841, 604 및 627 mg kg⁻¹로 미사질양토 > 식양토 > 사양토 > 양토 순이었으며, 줄기의 게르마늄 함량은 잎과 유사한 경향으로 식양토, 미사질양토, 양토 및 사양토 처리구가 각각 118, 137, 107 및 114 mg kg⁻¹이었다. 하지만 뿌리의 게르마늄 함량은 잎과 줄기와 달리 토성에 따라 별 차이 없이 1.9~2.3 mg kg⁻¹범위이었다. 이와 같은 결과는 미사질양토 처리구의 경우 유기물, T-N, P₂O₅, 및 치환성 양이온의 함량이 다른 토양에 비해 낮아 시용한 게르마늄이 토양에 많이 흡착되어 생육기간동안 게르마늄이 벼에 많이 흡수되었기 때문으로 추측된다. 하지만 식양토, 양토 및 사양토 처리구의 경우 다소차이는 있으나, 유기물, P₂O₅ 및 치환성 양이온의 함량이 미사질양토에 비해 높아 토양입자 표면이 이미 다른 양이온들에 의해 흡착되어 있어 시용된 게르마늄이 토양에 쉽게 흡착되지 못하고 일부가 유실되었기 때문으로 추측된다. 또한 Datnoff²³⁾ 등은 Si와 Ge는 식물체 흡수에 유사성이 많으며, 규소함량이 많은 작물이 게르마늄 함량도 높다고 하였는데, 이러한 이유 때문에 본 실험에 사용한 토성 중 규소를 다량 함유하고 있는 미사질양토와 식양토가 다른 토성에 비해 게르마늄 함량이 높은 것으로 추측된다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 벼에 게르마늄을 효과적으로 흡수시키기 위해서는 토성별 이화학적 특성을 우선적으로 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한 향후 벼 재배시 토성별 게르마늄의 정확한 흡수 특성 비교를 위해서는 이화학적 특성이 동일한 토양에서 모래, 미사 및 점토 비율을 조정하여 토성별 처리효과를 비교 검토해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

토성에 따른 벼 낱알 부위별 생산량은 벼 부위별 건물중량과 달리 미사질양토 처리구가 쌀겨, 현미 및 백미에서 각각 2.1, 9.7 및 9.5 g pot⁻¹로 다른 처리구에 비해 약간 높았으며, pot당 낱알 부위별 생산량은 토성에 따른 유의성이 있었다. 또한 낱알 부위별 생산량은 현미 ≥ 백미 ≫ 쌀겨 순으로 높았다(Table 4).

토성에 따른 낱알 부위별 게르마늄 함량은 쌀겨의 경우 식양토 처리구가 476 mg kg⁻¹로 다른 처리구에 비해 유의성

있게 높았으며, 현미와 백미의 경우 미사질양토 처리구의 게르마늄 함량이 각각 14.5 및 8.3 mg kg⁻¹로 다른 처리구에 비해 유의성 있게 높았다. 벼 낱알에 흡수된 게르마늄은 대부분 쌀겨에 분포되어 있었고, 쌀겨와 쌀눈 등이 포함된 현미의 게르마늄 함량은 전반적으로 백미에 비해 약간 높았으며, 이와 같은 결과는 Lee¹⁶⁾의 결과와도 일치하였다. 벼에서 스트론튬의 흡수 및 전이에 관한 연구결과는 Jang과 Park²⁵⁾에 의해 보고되었다. 이들 연구결과에 따르면 스트론튬은 벼(잎, 줄기 및 뿌리)와 쌀겨에 대부분 축적되었고, 현미로 전이된 스트론튬의 함량은 전체흡수량의 약 1.3%정도로 매우 적은 것으로 보고되었다. 본 시험에서 벼의 게르마늄 흡수도 스트론튬 흡수와 동일한 결과를 보여 이들은 유사한 흡수 및 전이특성을 가지는 것으로 판단된다.

토성에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수량(Fig. 1)은 잎의

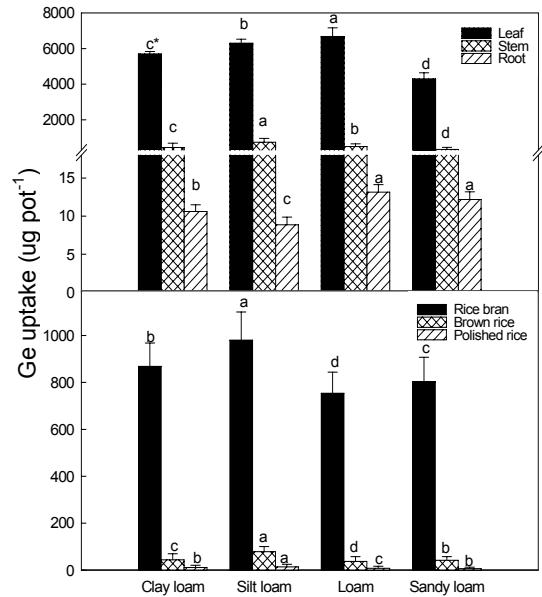


Fig. 1. Germanium uptake in various parts of rice plant under different soil texture. Error bars represent SD (n = 6). *Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

Table 4. Rice yield and germanium contents in various parts of rice under different soil texture

Soil texture	Yield (g pot ⁻¹)			Ge content (mg kg ⁻¹)		
	Rice bran	Brown rice	Polished rice	Rice bran	Brown rice	Polished rice
Clay loam	1.9ab*	8.8b	8.6b	476.6a	13.2b	5.1b
Silt loam	2.1a	9.7a	9.5a	457.2b	14.5a	8.3a
Loam	1.8b	8.2c	8.1c	415.3c	12.8c	4.7c
Sandy loam	1.8b	8.0c	7.9c	451.0b	14.1ab	5.3b

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

경우 양토와 미사질양토 처리구가 각각 6665 및 6295 $\mu\text{g pot}^{-1}$ 로 다른 토성에 비해 유의성 있게 높았으며, 줄기의 경우 미사질양토 처리구가 742 $\mu\text{g pot}^{-1}$ 로 다른 토성에 비해 유의성 있게 높았다. 하지만 뿌리의 게르마늄 흡수량은 모든 토성에서 별 차이 없이 8.9~13.1 $\mu\text{g pot}^{-1}$ 범위이었다. 또한 낱알 부위별 게르마늄 흡수량은 쌀겨의 경우 식양토, 미사질양토, 양토 및 사양토 처리구가 각각 868, 980, 754 및 803 $\mu\text{g pot}^{-1}$ 로 미사질양토 처리구가 다른 토성에 비해 가장 높았으며, 현미의 경우 전반적으로 식양토, 미사질양토, 양토 및 사양토 처리구가 각각 116, 140, 105 및 124 $\mu\text{g pot}^{-1}$ 로 미사질양토 처리구가 가장 높았으며, 백미의 경우 현미와 유사한 경향이였다. Lee¹⁶⁾에 의하면 미사질양토에 GeO_2 를 7.5 mg kg^{-1} 처리시 일미벼의 현미 중 게르마늄 흡수량은 90 $\mu\text{g pot}^{-1}$ 로 보고되었다. 하지만 본 시험 중 미사질양토에 GeO_2 를 8 mg kg^{-1} 처리시 호평벼의 현미 중 게르마늄 흡수량은 140 $\mu\text{g pot}^{-1}$ 로 일미벼에 비해 높은 결과를 보였다.

토성에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수율

토성에 따른 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 식양토 처리구에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율

은 잎이 29.1%, 줄기가 2.7%, 뿌리가 0.03%, 쌀겨가 2.7% 현미가 0.36%(백미 0.13%)로서 총 게르마늄의 35.2%가 흡수되고 토양내에 64.8%의 게르마늄이 잔류하였다. 미사질양토 처리구에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 잎이 19.7%, 줄기가 2.3%, 뿌리가 0.03%, 쌀겨가 3.1% 및 현미가 0.44%(백미 0.25%)로서 총 게르마늄의 25.8%가 흡수되고 토양내에 74.2%의 게르마늄이 잔류하였다. Lee¹⁶⁾의 보고에 의하면 일미벼를 이식한 미사질양토 처리구에서 벧짚, 왕겨 및 현미의 게르마늄 흡수율은 GeO_2 2.5 mg kg^{-1} 의 경우 총 게르마늄의 20.7%가 흡수 이용되었으나, GeO_2 7.5 mg kg^{-1} 의 경우 총 게르마늄의 7.5%가 흡수되어 게르마늄 함량이 높아질수록 게르마늄의 흡수이용율이 낮아졌다. 하지만 본 실험의 경우 호평벼를 이식한 미사질양토 처리구에서 게르마늄 8 mg kg^{-1} 처리시 벼의 게르마늄 흡수율이 25.8%로 Lee¹⁶⁾의 7.5%에 비해 높은 흡수율을 보였다.

양토 처리구에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 잎이 24.6%, 줄기가 2.4%, 뿌리가 0.04%, 쌀겨가 2.4% 현미가 0.33%(백미 0.12%)로서 총 게르마늄의 29.8%가 흡수되고 토양내에 70.2%의 게르마늄이 잔류하였다. 사양토 처리구에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 잎이 18.2%, 줄기가 2.2%,

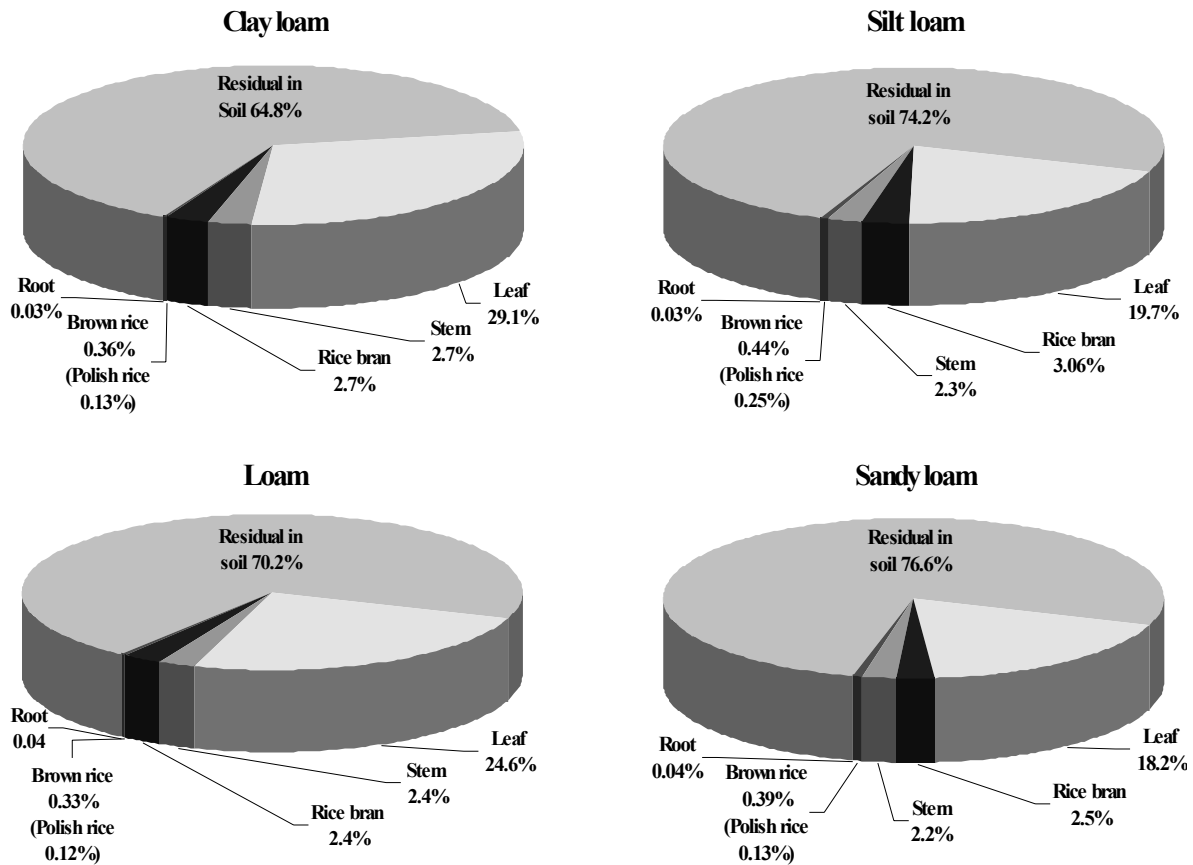


Fig. 2. Germanium uptake ratio of rice plant under different soil texture.

Table 5. Grain quality of rice under different soil texture

Soil texture	White Core & Velly (0-9)	Alkiline degree (1-7)	Gelatinization temperature Low/High	Amylose Contents	Protein Contents (%)	N	P	Mg
							(mg kg ⁻¹)	
Clay loam	0/1	5	Low	20.4	10.5	1.77a*	2,727b	750a
Silt loam	0/1	5	Low	21.6	9.5	1.59b	3,569a	510c
Loam	0/1	6	Low	22.8	10.5	1.77a	2,053c	638b
Sandy loam	0/1	3	Low	21.2	9.3	1.56b	3,148ab	717ab

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

뿌리가 0.04%, 쌀겨가 2.5% 현미가 0.39%(백미 0.13%)로서 총 게르마늄의 23.4%가 흡수되고 토양내에 76.6%의 게르마늄이 잔류하였다.

이상의 결과를 토대로 토성에 따른 벼의 게르마늄 총 이용율은 전반적으로 식양토 > 양토 > 미사질양토 > 사양토 순으로 식양토 처리구에서 가장 높았다. 하지만 벼 재배 후 실제 섭취하게 되는 현미나 백미 중의 게르마늄 흡수율은 미사질양토 처리구가 다른 토성에 비해 가장 높았다.

토성별 쌀 품질

토성별 쌀의 품질 특성을 분석한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 단백질 및 아밀로스 함량은 모든 토성에서 각각 9.3~10.5 및 20.4~22.8% 정도로 토성에 따라 별 차이 없었다. 식미가 양호한 벼 품종은 전반적으로 단백질 함량과 호화온도가 낮은 것으로 알려져 있다²⁶⁾. 일반적으로 단백질 함량이 높으면 영양학적 가치는 높아지지만 식미는 떨어지게 하는 요인으로 작용하며, 아밀로스 함량이 높으면 밥의 찰기를 높여 질감을 높이는 것으로 알려져 있다²⁷⁾. 또한 인과 마그네슘의 함량이 높을수록 밥맛 좋다고 알려져 있다²⁸⁾. 본 시험에서는 쌀의 호화온도는 전반적으로 토성에 따라 별 차이 없이 낮은 값을 유지하였으며, 벼 토성별 쌀의 심복백은 모든 처리구에서 거의 없었다. 또한 알칼리 붕괴도는 양토 ≒ 미사질양토 ≒ 식양토 ≫ 사양토 순이었고, 쌀 중 질소 함량은 모든 토성에서 1.56~1.77% 정도로 토성에 따라 별 차이 없었다. 쌀 중 인 함량은 미사질양토 처리구가 3569 mg kg⁻¹로 다른 토성에 비해 유의성 있게 높았으며, 쌀 중 마그네슘 함량은 750 mg kg⁻¹로 식양토 처리구가 가장 높았다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 쌀의 품질은 토성에 따른 유의성이 없었다.

요 약

게르마늄 토양처리시 토성이 벼의 생육 및 게르마늄 흡수에 미치는 영향을 조사한 결과 토성별 벼의 간장, 수장, 수수 및 천립중은 토성에 따른 유의성이 없이 비슷하였다. 벼 부위

별 건물중량은 모든 토성에서 전반적으로 잎 > 줄기 > 뿌리 순으로 높았고, 벼 낱알 부위별 생산량은 현미 ≥ 백미 ≫ 쌀겨 순 이었다. 벼 부위별 게르마늄 함량은 미사질양토 처리구의 게르마늄 함량이 잎, 줄기 및 뿌리에서 각각 841, 137 및 2.3 mg kg⁻¹로 다른 처리구에 비해 유의성이 있게 높았다. 낱알 부위별 게르마늄 함량은 현미와 백미의 경우 미사질양토 처리구의 게르마늄 함량이 각각 14.5 및 8.3 mg kg⁻¹로 다른 처리구에 비해 높았다. 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 현미의 경우 전반적으로 미사질양토 > 사양토 > 식양토 > 양토 순으로 미사질양토 처리구가 140 µg pot⁻¹로 가장 높았다. 미사질양토 처리구에서 벼 부위별 게르마늄 흡수율은 잎이 19.7%, 줄기가 2.3%, 뿌리가 0.03%, 쌀겨가 3.1% 및 현미가 0.44%(백미 0.25%)로서 총 게르마늄의 25.8%가 흡수되고 토양내에 74.2%의 게르마늄이 잔류하였다. 토성에 따른 쌀의 품질은 토성에 따라 별 차이 없었다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 게르마늄 함유 쌀을 효과적으로 생산을 위해서는 시험에 사용된 토성 중 미사질양토가 적합한 것으로 판단되었다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
 4. 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.
 5. 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.
 6. 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.
 7. 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.
 8. Dimartino, M. J. (1986) Antiarthritic and immuno regulatory activity of spirogermanium. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 236(1), 103-110.
 9. 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.
 10. Kumano, N., Nakai, Y., Ishikawa, T., Koinumaru, S., Suzuki, S. and Konno, K. (1978) Effect of carboxyethylgermanium sesquioxide in the methylcholanthrene induced tumorigenesis. *Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ.* 25, 89-95.
 11. 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 Lekan & Samochowiec, des, Semmelweis-Verlag.
 12. Suzuki, Y. and Taguchi, K. (1983) Pharmacological studies of carboxyethyl germanium sesquioxide (Ge-132). *Pharmacometrics* 26(5), 803-810.
 13. Lee, H. M. and Chung, Y. (1991) Effect of organic germanium on metallothionein inductin in liver and kidney of cadmium and mercury intoxicated rats. *Yakhak Hoeji* 35(2), 99-110.
 14. Ho, C. C., Cherm, Y. F. and Lin, M. T. (1990) Effects of organogermanium compound 2-carboxy ethylgermanium sesquioxide on cardiovascular function motor activity in rats. *Pharmacology* 41, 286-291.
 15. Lee, S. T., Lee, Y. H., Choi, Y. J., Lee, S. D., Lee, C. H. and Heo, J. S. (2005) Growth characteristics and germanium absorption of rice plant with different germanium concentration in soil. *Korean J. Environ. Agric.* 24(1), 40-44.
 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. Lee, G. P., Park, H. S., Won, J. H. and Park, K. W. (2005) Effect of GeO₂ concentration on hydroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa*). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 46(2), 113-118.
 18. Han, S. S., Rim, Y. S. and Jeong, J. H. (1996) Growth characteristics and germanium absorption of soybean sprout cultured with aqueous solution of organogermanium. *Agric. Chem. Biotech.* 39(1), 39-43.
 19. Chang, E. J. and Oh, H. I. (2005) Effects of addition of inorganic germanium, GeO₂ on the growth, germanium and saponin contents of ginseng adventitious root in submerged culture. *J. Ginseng Res.* 29(3), 145-151.
 20. Lee, S. T., Lee, Y. H., Choi, Y. J., Lee, S. D., Lee, C. H. and Heo, J. S. (2005) Growth Contents of Soil and Crops in Gyeongnam Province. *Korean J. Environ. Agric.* 24(1), 34-39.
 21. Rural Development Administration(RDA) (1988) Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agriculture Science and Technology. RDA, Suwon.
 22. Rural Development Administration(RDA) (1995) Research of farm in test investigation standard. RDA, Suwon.
 23. Datnoff, L. E., Snyder, G. H. and Korndörfer, G. H. (2001) Silicon in Agriculture. Elsevier Science.
 24. Matsumoto, H., Syo, S. and Takahashi, E. (1975) Translocation and some forms of germanium in

- rice plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21, 273-279.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
-