

Research Article



CrossMark

Open Access

벼 생육단계별 유기 또는 무기 셀레늄(Selenium)과 게르마늄(Germanium)의 처리효과

김연수, 천진혁, 전영지, 우현녕, 김선주*

충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Effect of Organic or Inorganic Selenium and Germanium on Growth Stage of Rice

Yeon-Su Kim, Jin-Hyuk Chun, Young-Ji Jeon, Hyun-Nyung Woo and Sun-Ju Kim*

(Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

Received: 13 June 2019/ Revised: 20 June 2019/ Accepted: 26 June 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Sun-Ju Kim

<https://orcid.org/0000-0003-4872-9637>

Abstract

BACKGROUND: This study was conducted to develop selenium (Se)- and germanium (Ge)-enriched rice by foliar spray application of organic or inorganic Se and Ge.

METHODS AND RESULTS: The time and frequency of organic or inorganic Se and Ge treatment were performed at the five main growth stages as followings: effective tillering stage (E), maximum tillering stage (M), booting stage (B), heading stage (H), grain filling stage (G). The main treatment plots were consisted of ① ‘once’ treatment (at each E, M, B, H, G stage, Se/Ge single apply), ② ‘twice I’ (at H+G stages, organic or inorganic Se/Ge apply), ③ ‘twice II’ (at H+G stages, mixture apply of Se+Ge+pesticide). The organic or inorganic Se treatment concentration was 20 and 40 ppm, and the Ge was 50 and 100 ppm. The Se and Ge contents in rice grain (brown rice and polished rice) were analyzed by inductively coupled plasma (ICP). The highest Se content was noted in brown rice ‘twice I’ with Se 40 ppm (1394.06) at H+G stages, but the lowest was in ‘once’ with Se 40 ppm (367.79 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at B stage. The highest of Se content in polished rice was found in ‘twice I’ of Se 40 ppm (1090.25)

at H+G stages, but the lowest was in ‘once’ with Se 40 ppm (403.53 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at E stage. On the other hand, The highest of Ge content in brown rice was found in ‘twice I’ with Ge 100 ppm (398.66) at H+G stages, but the lowest was in ‘once’ with Ge 100 ppm (139.64 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at B stage. The highest of Ge content in polished rice was found in ‘twice I’ of Ge 100 ppm (300.29) at H+G stages, but the lowest was in ‘once’ with Ge 100 ppm (142.24 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at B stage.

CONCLUSION: Se and Ge contents both in brown rice and polished rice treated with organic Se and Ge forms were higher than those of inorganic Se and Ge. Overall results concluded that the supplementation of organic Se and Ge contents in brown and polished rice contents were comparatively higher than the inorganic Se and Ge. This is results also proved that the foliar spray application of organic Se and Ge has positive nutritive effect on the rice for regular consumption.

Key words: Brown rice, Foliar Spray, Germanium, Polished rice, Selenium

서 론

벼(*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*)는 밀, 옥수수과 함께 세계 3대 곡물에 속하며, 아시아에서 전체의 90% 이상이 생산되며 대부분 소비된다. 쌀의 영양성분은 도정 상태에 따라

*Corresponding author: Sun-Ju Kim

Phone: +82-42-821-6738; Fax: +82-42-821-7142;

E-mail: kimsunju@cnu.ac.kr

다소 차이가 있으나 수분 15.5%일 때 백미의 경우 탄수화물 75.5%, 단백질 6.8%, 지질 1.3% 등으로 구성되며, 그 외에 무기질 성분 인, 칼슘, 철분 등과 인체에 중요한 비타민 성분 B, B₂, E, 나이아신 등으로 구성 되어있다. 특히 단백질의 주 공급원인 아미노산 중 필수아미노산인 라이신과 단백질을 밀가루, 옥수수에 비해 많이 함유하고 있다. 최근에 쌀의 영양학적 우수성이 부각 되면서 쌀의 기호성 뿐만 아니라 기능적 우수성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Park *et al.*, 2010). 그러나 최근에는 서구화된 식습관으로 국내 쌀 소비시장은 점차 감소되고 있으며, 무역시장 개방으로 쌀 가격 경쟁력이 약화 되고 있어 기능성 쌀 개발을 통하여 쌀의 이용에 다각화가 필요하다.

작물체내에서 Se은 식물체에서 무기성 Se (selenate, selenite) 과 유기성 Se (selenocysteine, selenomethionine)으로 존재 한다. 사람 등의 동물체 내에서는 주로 셀레노시스테인(Selenocysteine) 과 셀레노메티오닌(selenomethionine) 등의 유기성 셀레늄인 셀레노 아미노산 형태로 존재한다. 많은 연구에서 Se은 중앙질환을 억제하는 효과가 있는 것으로 알려져 있으며, 암환자에게 혈청 내 Se 농도가 비정상적으로 낮게 나타나는 것과 연관이 있다. 또한 Se은 암세포의 성장을 억제하면서 암세포의 자살을 유도해서 여러 발암물질의 활성화를 막고, 각종 바이러스성 질병에도 상당한 방지효과가 있다(Choi *et al.*, 2010). 다양한 역학조사에서 특정 암, 충혈성 심장증 및 혈관 장애와 같은 특수 질병과 Se 결핍 간에 관련성이 지적되면서 Se은 세계보건기구(WHO)는 1978년 Se을 동물 필수 영양소로 인정하고 인간이 반드시 섭취해야 할 필수 영양소로 공식 인정받게 되었으며, 이후, 1일 권장량을 50~200 μg 으로 결정하였다. 우리나라에서는 2010년부터 필수영양소로 정하고 WHO와 동일한 일일 섭취 권장량을 적용하고 있다. Se은 유기 결합된 Se이 무기 결합된 Se에 비해 인체 이용률 및 지속성이 더 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 Se의 약리효과를 농업분야에 응용하여 Se을 함유한 농작물을 재배하여 생산자는 기능성 농산물로 차별화 하여 고소득을 올리고, 소비자는 Se의 약리효과를 가장 안전한 식물성 유기 Se으로 식품을 통해 섭취하고자 하는 시도가 이루어지고 있다.

Ge은 탄소를 포함하지 않은 무기 Ge과 탄소를 포함하는 유기 Ge으로 분류할 수 있으며 무기 Ge은 Ge 및 GeO₂, 유기 Ge은 Ge-132, spirogermanium, proxi-germanium이 대표적이다. 무기 Ge은 장기적으로 복용할 시 빈혈, 신기능장애, 신경병증, 근장애를 유발하는 것으로 알려져 있으나(Obara *et al.*, 1991), 유기 Ge인 Ge-132는 항종양 효과, 항돌연변이 효과, 면역강화 작용, 해열·진통 작용, 중금속 해독작용(Jang *et al.*, 1991) 등의 다양한 약리작용을 가지고 있다. 벼는 Ge을 약 1% 정도까지 Ge이 함유된 것도 있는 것으로 보아 쉽게 축적하는 농작물로 Ge 강화 기능성 작물로 적합하다고 판단된다. 또한 시중에 유통중인 게르마늄 함유 쌀의 게르마늄 함량은 일반 쌀의 자연 함유량과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2005).

엽면시비는 토양관주나 뿌리 흡수처럼 특정 무기물이나

양분의 흡수가 제한적이지가 않고 빠른 시일 내에 작물의 생육을 정상적으로 회복시키는데 능률적이며, 효과적인 방법으로 알려져 있다(Song *et al.*, 2006). 유기 Se 엽면처리에 의한 셀레늄 강화 쌀 개발(Won *et al.*, 2019)에서는 처리 횟수가 높을수록 유기 Se 함량이 높게 나왔고, 농약 처리구와 무처리구의 유의적 차이가 나타나지 않았다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 Se는 유기성과 무기성으로 존재하기 때문에 무기 Se에 대한 실험과 함양 효과가 높다고 알려져 있는 유사한 성분인 Ge을 추가하여 실험하였다. 또한, 실험 결과를 실제 농업에 적용하기 위해 유기 또는 무기 Se와 Ge를 엽면처리하여 처리 횟수별 및 Se와 Ge 단독 처리구와 농약 혼합 처리구의 Se와 Ge 함량 변화를 조사하였다. 따라서 본 실험은 유기 또는 무기 Se과 Ge 을 벼의 생장단계에 따라 농도 및 처리 횟수별로 엽면시비하여 Se과 Ge 강화 쌀을 개발하는 것이다. 또한 이 연구결과를 통하여 Se과 Ge 함유량 비교 및 최적의 기능성 쌀을 개발하기 위한 벼에 대한 Se과 Ge의 처리 횟수와 시기를 특정 짓는 것이다.

재료 및 방법

시약

Chelate-Se (이하 유기 Se, 2,000 mg · L⁻¹)과 Chelate-Ge (이하 유기 Ge 2000 mg · L⁻¹)은 펩타이드와 유기 Se과 Ge을 결합한 미량요소복합비료로 Bionel Co., Ltd. (Nonsan, Korea) 에서 제공되었다. Se (이하 무기 Se, 997 mg · L⁻¹)과 Ge (이하 무기 Ge 999 mg · L⁻¹)은 KRIAT Co., Ltd. (Deajeon, Korea) 것을 사용하였다. Nitric acid (HNO₃)은 Samchun Pure Chemical Co., Ltd. (Pyeongtaek, Korea) 것을 사용하였다. 농약은 제초제인 론스타는 Kyung nong Co., Ltd. (Seoul, Korea) 것을 사용하였다.

벼 재배 및 제제 처리

벼(*Oryza. sativa* L. ssp. *japonica*)는 농업 기술원에서 보급하는 법씨(벼 '삼광')를 비닐하우스(충남대학교 농업생명과학대학교)에서 2017년 4월 28일 모판(30 × 50 × 10 cm³)에 파종하였다. 파종 후 27일(day after sowing, DAS)에 어린모를 가로 15cm, 세로 30cm의 재식간격으로 부속농장 실험 포장에 이앙기로 이앙하였다. 벼의 생장 단계는 유효분얼기(effective tillering stage, 75 DAS, 6월 11일), 최고분얼기(maximum tillering stage, 97 DAS, 8월 2일), 수잉기(booting stage, 120 DAS, 8월 25일), 출수기(heading stage, 145 DAS, 9월 19일), 등숙기(grain filling stage, 155 DAS, 9월 29일)로 구분하였다. 이에 따라 유기 또는 무기 Se 과 Ge의 처리 시기 및 횟수는 생장 단계(유효분얼기, E; 최고분얼기, M; 수잉기, B; 출수기, H; 등숙기, G)에 따라 ① 1회 처리구(E, M, B, H, G), ② 2회 처리구 I (Se과 Ge 단독처리) (H+G), ③ 2회 처리구 II (Se + Ge + 농약 4 ppm 혼합처리) (H+G)로 나누어 처리하였다(Scheme 1). 각 시험구의 유기 또는 무기 Se 처리 농도는 20, 40 ppm 이고, 유기

용액을 필요한 농도(0.1, 0.2, 0.5, 1 ppm)로 희석하여 농도와 흡광도의 검정선을 작성하고 분석 결과를 대입하여 정량화(mg · kg⁻¹ dry wt.)하였다. 쌀 내 Se와 Ge 분석 ICP의 기기분석 조건은 다음과 같다: power 1.20 kW, plasma gas flow 15.00 L · min⁻¹, auxiliary gas flow 1.50 L · min⁻¹, nebulizer gas flow 0.70 L · min⁻¹, replicated read time 5.00 s, instrument stabilization delay 25.00 s, sample uptake delay 50.00 s, pump rate 15.00 rpm, element wavelength Se 196.03 nm and Ge 206.42 nm.

통계분석

ICP분석 결과($n=3$)는 Microsoft Office Excel 2016을 이용하여 Se와 Ge 함량에 대한 평균값과 반복($n=3$)의 표준편차(SD, standard deviation)를 구하였다. 통계프로그램은 IBM SPSS[®] version 21 프로그램을 사용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)과 반복측정 다변량 분산분석(repeated measures ANOVA)을 실시하였고, 유의수준(P)은 0.05 이하로 설정하여 사후분석(post-hoc analysis)은 Tukey 검정법을 사용하였다.

결과 및 고찰

유기 또는 무기 Se 엽면처리 시기 및 횃수에 따른 쌀 내 Se 함량

선행 연구에서(Won *et al.*, 2019) 현미와 백미 모두 유기 Se 처리 농도가 높을수록 유기 Se 함량이 증가 하였다. 또한, 현미 내 Se 함량은 4회 처리구 I (E + M + B +H)가 가장 높았고, 백미 내 Se 함량은 4회 처리구 II (M+B+H+G)가 가장 높았다. 이를 통해 생장 단계 중 등숙기에 가까울수록, 처리 농도가 높을수록, 처리 횃수가 증가 할 수록 Se 함량이 높아진다는 결과를 도출하였다. 본 실험에서도 각 생장단계에서 유기 또는 무기 Se을 1회 처리한 시험구(1회 처리구)에서 현미 내 Se 함량은 등숙기(1186.24) > 출수기(1140.06) > 수잉기(599.48) > 유효분얼기(398.83) > 최고분얼기(367.79 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 벼의 생육 후반에 처리한 처리구(출수기, 등숙기)에서 높았다(Table 1). 출수기와 등숙기에 2회 처리한 시험구(2회 처리구 I, Se와 Ge 단독처리)의 현미 내 Se 함량은 유기 Se 40 ppm (1394.06) > 무기 Se 40 ppm (1165.65) > 유기 Se 20 ppm (565.04) > 무기 Se 20 ppm (373.79 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. 출수기와 등숙기에 2회처리한 시험구(2회 처리구 II, Se + Ge + 농약의 혼합처리)의 현미 내 함량은 무기 Se 40 ppm (734.85) > 유기 Se 40 ppm (702.24) > 유기 Se 20 ppm (663.77) > 무기 Se 20 ppm (560.81 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. 1회 처리구의 백미 내 Se 함량은 출수기(861.85) > 등숙기(819.88) > 수잉기(688.88) > 최고분얼기(533.79) > 유효분얼기(403.53 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 백미 또한 벼의 생육 후반에 처리한 처리구(출수기, 등숙기)에서 높았다. 2회 처리구 I 의 백미 내 Se 함량은 유기 Se 40 ppm (1090.25) > 무기 Se 40 ppm (989.90) > 유기 Se 20 ppm (715.62)

> 무기 Se 20 ppm (573.69 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. 2회 처리구 II 의 백미 내 함량은 유기 Se 40 ppm (454.88) > 무기 Se 40 ppm (435.01) > 무기 Se 20 ppm (416.84) > 유기 Se 20 ppm (306.99 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. 같은 처리농도, 시기 및 횃수 일 때 현미가 백미에 비해 Se 함량이 높았고 처리농도가 높을수록 횃수가 증가할수록 Se 함량은 증가하였다.

유기 또는 무기 Ge 엽면처리 시기 및 횃수에 따른 쌀 내 Ge 함량

1회 처리구의 현미 내 Ge 함량은 등숙기(258.11) > 출수기(252.87) > 유효분얼기(196.78) > 최고분얼기(179.34) > 수잉기(139.64 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 벼의 생육 후반에 처리한 처리구(출수기, 등숙기)에서 높았다(Table 2). 2회 처리구 I 의 현미 내 Ge 함량은 유기 Ge 100 ppm (398.66) > 무기 Ge 100 ppm (336.72) > 유기 Ge 50 ppm (278.69) > 무기 Ge 50 ppm (199.35 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. 2회 처리구 II 의 현미 내 함량은 유기 Ge 100 ppm (420.79) > 무기 Ge 100 ppm (399.96) > 무기 Ge 50 ppm (343.19) > 유기 Ge 50 ppm (325.11 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. 1회 처리구의 백미 내 Ge 함량은 등숙기(294.07) > 출수기(222.47) > 유효분얼기(149.97) > 최고분얼기(148.05) > 수잉기(142.24 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 백미 또한 벼의 생육 후반에 처리한 처리구(출수기, 등숙기)에서 높았다. 2회 처리구 I 의 백미 내 Ge 함량은 유기 Ge 100 ppm (300.29) > 무기 Ge 100 ppm (215.85) > 무기 Ge 50 ppm (152.61) > 유기 Ge 50 ppm (150.31 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. 2회 처리구 II 백미 내 함량은 유기 Ge 100 ppm (270.58) > 무기 Ge 100 ppm (217.69) > 유기 Ge 50 ppm (167.05) > 무기 Ge 50 ppm (138.74 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 순으로 높았다. Seo (2010)는 흡수된 Ge 이 대부분 쌀겨에 분포되어 있고, 현미의 Ge 함량이 전반적으로 백미에 비해 높다고 보고하였다. 또한, 동일한 처리농도, 처리시기 및 처리횃수 일 때 현미가 백미에 비해 Ge 함량이 높다고 보고하였다. 또한 Ge을 토양 처리한 실험에서도 처리 횃수가 증가함에 따라 Ge 함량이 증가하였고(Cheon *et al.*, 2008), 엽면 처리 한 벼의 Ge 함량과 유사한 결과를 보였다. 이에 따라 생육 후반기를 포함한 생장과정에 따라 처리 횃수와 처리농도를 높여 Ge 고함유 쌀을 생산할 수 있다.

유기 또는 무기 Se 엽면처리 농도와 시기 및 횃수에 따른 Se 섭취량 계산

식품의약품안전처(2010)에서 공시한 사람의 일일 Se 권장 섭취량은 50~200 μg 이며 상한 섭취량은 400 μg 으로 정해져 있다. 950 μg 이상 섭취 할 경우, 중추신경계, 간, 심장, 폐 등에 독성을 나타내게 된다고 명시되어 있다. 따라서 밥 한 공기 당 함유된 Se 함량을 추산하는 것은 매우 중요하다. 한 국식품영양학회에 따른 밥 한 공기의 용량은 보통 210 g이고, 이는 쌀 70 g이므로 Se 정량 단위 $\mu\text{g} \cdot 70\text{g}^{-1}$ 을 이용하여 계산하면 실제 섭취 가능한 밥 한 공기 당 Se 섭취량을 알 수

있다(Table 3). 일반적으로 우리나라 국민의 Se 섭취량은 68.6 μg 이므로 1일 3공기의 밥을 먹는다고 가정할 때 일반적으로 현미는 1: 3 비율로 혼합하므로 권장량을 초과하지 않지

만, 1회 처리구(E, M, B) (28.25, 38.77, 46.82 $\mu\text{g} \cdot 70 \text{ g}^{-1}$) 보다 Se을 많이 함유한 처리구의 백미는 일반 쌀과 1: 3 비율로 혼합하여 섭취하는 것이 적합하다.

Table 1. Se contents ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) in brown rice and polished rice and treated by foliar spray application with different Se and Ge concentrations and growth stages

Part of rice	The number of foliar application	Se or/and Ge treatment concentration (ppm)	Se contents ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
Brown rice	Once ¹⁾	Control	117.87±8.59a ^{2) 3)}
		Organic Se 40 (E)	398.83±53.34ab
		Organic Se 40 (M)	367.79±49.28ab
		Organic Se 40 (B)	599.49±117.12b
		Organic Se 40 (H)	1140.06±93.35c
		Organic Se 40 (G)	1186.24±266.40c
	Twice I (Se single apply)	Organic Se 20 (H+G)	565.04±56.39B
		Organic Se 40 (H+G)	1394.06±125.60cC
		Inorganic Se 20 (H+G)	373.79±10.17A
		Inorganic Se 40 (H+G)	1165.65±152.97C
	Twice II (mixture apply of Se + Ge + *Pesticide)	Organic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	663.77±115.73B
		Organic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	702.24±52.54cB
		Inorganic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	560.81±65.67B
		Inorganic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	734.85±131.53B
Polished rice	Once	Control	132.30±7.83aA
		Organic Se 40 (E)	403.53±52.44ab
		Organic Se 40 (M)	553.79±115.88bc
		Organic Se 40 (B)	668.88±56.53bcd
		Organic Se 40 (H)	861.85±115.09de
		Organic Se 40 (G)	819.88±112.98cde
	Twice I (Se single apply)	Organic Se 20 (H+G)	715.62±69.50C
		Organic Se 40 (H+G)	1090.25±92.92eD
		Inorganic Se 20 (H+G)	573.69±129.31BC
		Inorganic Se 40 (H+G)	989.90±47.37D
	Twice II (mixture apply of Se + Ge + *Pesticide)	Organic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	306.99±51.73AB
		Organic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	454.88±26.50eBC
		Inorganic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	416.84±113.04B
		Inorganic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	435.01±77.41B

¹⁾Those treatments are referred to Scheme 1.

²⁾Within the same concentrations range at different treatment times, values follow by the same small letters are not significantly different at $P < 0.05$, using Tukey's multiple-range test ($n=3$).

³⁾Within the range of (organic or inorganic Se 20 ppm, organic or inorganic Se 40 ppm), values follow by the same capital letters are not significantly different at $P < 0.05$, using Tukey's multiple-range test ($n=3$).

*P: Se and Ge solutions were mixed with pesticide 4 ppm.

Abbreviations: E, effective tillering stage; M, maximum tillering stage; B, booting stage; H, heading stage; G, grain filling stage.

Table 2. Ge contents ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) in brown rice and polished rice and treated by foliar spray application with different Ge and Se concentrations and growth stages

Part of rice	The number of foliar application	Se or/and Ge treatment concentration (ppm)	Ge contents ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
Brown rice	Once ¹⁾	Control	96.78±14.38a ^{2)A} ³⁾	
		Organic Ge 100 (E)	196.78±14.32ab	
		Organic Ge 100 (M)	179.34±28.85b	
		Organic Ge 100 (B)	139.64±34.52c	
		Organic Ge 100 (H)	252.87±14.32c	
		Organic Ge 100 (G)	258.11±9.01c	
	Twice I (Ge single apply)	Organic Ge 50 (H+G)	278.69±23.01BC	
		Organic Ge 100 (H+G)	398.66±15.26D	
		Inorganic Ge 50 (H+G)	199.35±32.55AB	
		Inorganic Ge 100 (H+G)	336.72±28.06CD	
		Twice II (mixture apply of Se + Ge + *Pesticide)	Organic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	325.11±11.14CD
			Organic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	420.79±50.31dD
			Inorganic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	343.19±18.56CD
			Inorganic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	377.96±49.96CD
Polished rice	Once	Control	122.86±38.62aA	
		Organic Ge 100 (E)	149.97±15.83a	
		Organic Ge 100 (M)	148.05±13.55a	
		Organic Ge 100 (B)	142.24±26.77a	
		Organic Ge 100 (H)	222.47±33.46ab	
		Organic Ge 100 (G)	294.07±59.82b	
	Twice I (Ge single apply)	Organic Ge 50 (H+G)	150.31±17.56AB	
		Organic Ge 100 (H+G)	300.29±15.81bD	
		Inorganic Ge 50 (H+G)	152.61±11.70AB	
		Inorganic Ge 100 (H+G)	215.85±3.10BC	
		Twice II (mixture apply of Se + Ge + *Pesticide)	Organic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	167.05±16.07AB
			Organic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	270.58±21.96bCD
			Inorganic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	138.74±23.99AB
			Inorganic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	217.69±39.33BCD

¹⁾Those treatments are referred to Scheme 1.

²⁾Within the same concentrations range at different treatment times, values follow by the same small letters are not significantly different at $P < 0.05$, using Tukey's multiple-range test ($n=3$).

³⁾Within the range of (organic or inorganic Ge 50 ppm, organic or inorganic Ge 100 ppm), values follow by the same capital letters are not significantly different at $P < 0.05$, using Tukey's multiple-range test ($n=3$).

*P: Se and Ge solutions were mixed with pesticide 4 ppm.

Abbreviations: E, effective tillering stage; M, maximum tillering stage; B, booting stage; H, heading stage; G, grain filling stage.

유기 Se 또는 유기 Ge의 1회 처리구(G)와 2회 처리구 I (Se과 Ge 단독처리) (H+G)의 비교를 통한 실제 농업에서의 적용

유기 Se 40 ppm 양액을 처리한 1회 처리구(G)와 2회 처리구 I (H+G)를 비교 했을 때 현미는 1회 처리구(G) (1186.24)의 Se 함량이 2회 처리구 I (H+G) (1394.06 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Se 함량보다 약 20% 낮았고, 백미는 1회 처리구(G)

(819.88)의 Se 함량이 2회 처리구 I (H+G) (1090.25 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Se 함량보다 약 15% 낮았다(Table 1). 유기 Ge 100 ppm 양액을 처리한 1회 처리구(G)와 2회 처리구 I (H+G)를 비교 했을 때 현미는 1회 처리구(G) (258.11)의 Ge 함량이 2회 처리구 I (H+G) (398.66 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Ge 함량보다 약 35% 낮았고, 백미는 1회 처리구(G) (294.07)의 Ge 함량이 2회 처리구 I (H+G) (300.29 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Ge 함량보다

Table 3. Se contents in uncooked rice ($\mu\text{g} \cdot 70\text{g}^{-1}$) re-calculated from the original data (Table 1) for one meal (210 g) of bowl

Part of rice	The number of foliar application	Se or/and Ge treatment concentration (ppm)	Se contents ($\mu\text{g} \cdot 70\text{g}^{-1}$) ²⁾ in cooked rice	
Brown rice	Once ¹⁾	Control	8.25±0.60a ^{3) 4)}	
		Organic Se 40 (E)	27.92±3.73ab	
		Organic Se 40 (M)	25.75±3.45ab	
		Organic Se 40 (B)	41.96±8.20b	
		Organic Se 40 (H)	79.80±6.53c	
		Organic Se 40 (G)	83.04±18.65c	
	Twice I (Se single apply)	Organic Se 20 (H+G)	39.55±3.95B	
		Organic Se 40 (H+G)	97.72±8.79cC	
		Inorganic Se 20 (H+G)	26.17±0.71A	
		Inorganic Se 40 (H+G)	81.60±10.71C	
		Twice II (mixture apply of Se + Ge + *Pesticide)	Organic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	46.46±8.10B
			Organic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	49.16±3.68cB
			Inorganic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	39.26±4.60B
			Inorganic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	51.44±9.21B
Polished rice	Once	Control	9.26±0.55aA	
		Organic Se 40 (E)	28.25±3.67ab	
		Organic Se 40 (M)	38.77±8.11bc	
		Organic Se 40 (B)	46.82±3.96bcd	
		Organic Se 40 (H)	60.33±8.06de	
		Organic Se 40 (G)	57.39±8.61cde	
	Twice I (Se single apply)	Organic Se 20 (H+G)	50.09±4.87C	
		Organic Se 40 (H+G)	76.32±6.50eD	
		Inorganic Se 20 (H+G)	40.16±9.05BC	
		Inorganic Se 40 (H+G)	69.29±3.32D	
	Twice II (mixture apply of Se + Ge + *Pesticide)	Organic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	21.49±3.62AB	
		Organic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	31.84±1.86eBC	
		Inorganic Se 20 + Ge 50 + *P (H+G)	29.18±7.91B	
		Inorganic Se 40 + Ge 100 + *P (H+G)	30.45±5.42B	

¹⁾Those treatments are referred to Scheme 1.

²⁾uncooked rice 70 g = cooked rice 210 g in a bowl. Se contents in rice ($\mu\text{g} \cdot 70\text{g}^{-1}$) = $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \times 70 / 1,000$ (Table 1).

³⁾Within the same concentration range at different treatment times, values follow by the same small letters are not significantly different at $P < 0.05$, using Tukey's multiple-range test ($n=3$).

⁴⁾Within the range of (organic or inorganic Se 20 ppm, organic or inorganic Se 40 ppm), values follow by the same capital letters are not significantly different at $P < 0.05$, using Tukey's multiple-range test ($n=3$).

*P: Se and Ge solutions were mixed with pesticide 4 ppm.

Abbreviations: E, effective tillering stage; M, maximum tillering stage; B, booting stage; H, heading stage; G, grain filling stage.

약 10% 낮았다(Table 2). 1회 처리구(G)가 2회 처리구 I (H+G)에 비해 Se, Ge 함량 모두 낮았지만, 실제 농업에서 양액을 처리한다면 규모에 비례하여 비용이 들고 노동력이 요구된다. 이번 실험 결과에서 유기 Se 또는 유기 Ge의 1회 처리(각 생장 단계)와 2회처리(출수기와 등숙기)의 처리구에서 현미와 백미의 평균 Se와 Ge 함량이 약 20%의 차이가 나지만 쌀 가격에 큰 차이가 없다면, 2회 처리를 하는 것보다 시기(등숙기)에 맞춰 1회 처리를 하는 것이 경제적인 방법이 될 수도 있다.

유기 또는 무기 Se과 Ge 2회 처리구 I (Se과 Ge 단독처리) (H+G)과 2회 처리구 II (Se + Ge + 농약 혼합처리) (H+G)에 대한 비교를 통한 실제 농업에서의 적용

유기 Se 40 ppm 양액을 처리한 현미 내 2회 처리구 II (702.24)의 Se 함량은 2회 처리구 I (1394.06 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Se 함량 보다 50 % 낮았고, 백미 내 2회 처리구 II (454.88)의 Se 함량은 2회 처리구 I (1090.25 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Se 함량 보다 55% 낮았다(Table 1). 유기 Ge 100 ppm 양액을 처리한 현미 내 2회 처리구 II (398.66)의 Ge 함량은 2회 처리구 I

(420.79 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Ge 함량 보다 5% 낮았고, 백미 내 2회 처리구 II (270.58)의 Ge 함량은 2회 처리구 I (300.29 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)의 Ge 함량 보다 10% 낮았다(Table 2). 2회 처리구 II의 Se 함량은 2회 처리구 I의 Se 함량보다 낮았고 2회 처리구 II의 Ge 함량은 2회 처리구 I의 Ge 함량보다 근소한 차이로 낮았다. 실제 농업에서 제초제 등의 농약사용은 필수적인 것이기 때문에 농약 처리시 Se과 Ge을 혼합하여 사용하고 한번 더 처리한다면 경제적인 Se, Ge 강화 쌀 상품을 개발 할 수 있을 것이다. 하지만 반대로 농약의 작용에 미치는 영향은 향후 실험을 통하여 검증이 필요하다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was supported by research fund of Chungnam National University.

References

- Cheong, Y. H., Han, M. J., Sung, S. J., Seo, D. C., Kang, J. G., Sohn, B. G., Heo, J. S., & Cho, J. S. (2009). Effects of selenium supplement on germination, sprout growth and selenium uptake in four vegetables. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 28(2), 179-185.
- Choi, H. S., Kim, W. S., Kim, H. J., Choi, K. J., & Lee, Y. (2010). Variation of soil and leaf in a 'Wonhwang' pear orchard applied by selenium solution. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 18(4), 541-548.
- Choi, I. D. (2010). Physicochemical properties of rice cultivars with different amylose contents. *Korean Journal of Food Science and Nutrition*, 39(9), 1313-1319.
- Jang, B. C. (1997). Absorption and accumulation of Sr-85 by rice (*Oryza sativa* L.) and its transfer factor from soil to plant. *Journal of Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer*, 30(2), 184-188.
- Kang, S. W., Seo, D. C., Jeon, W. T., Kang, S. J., Lee, S. T., Sung, H. H., Choi, I. W., Kang, U. G., Kim, H. O., Heo, J. S., & Cho, J. S. (2011). Growth characteristics and germanium absorption of *Brassica juncea* C. with different types of germanium compounds in hydroponic cultivation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44(3), 465-472.
- Kim, D. K., Chon, S. U., Jung, S. Y., Lee, K. D., Kim, K. S., & Rim, Y. S. (2007). Effects of germanium (Ge) on growth, yield and Ge content of Mungbean. *Korean Journal of Crop Science*, 52(4), 380-386.
- Lee, S. T., Lee, Y. H., Lee, H. J., Cho, J. S., & Heo, J. S. (2005). Germanium contents of soil and crops in Gyeongnam Province. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 24(1), 34-39.
- Obara, K., Saito, T., Sato, H., Yamakage, K., Watanabe, T., Kakizawa, M., Tsukamoto, T., Kobayashi, K., Hongo, M., & Yoshinaga, K. (1991). Germanium poisoning; clinical symptoms and renal damage caused by long-term intake of germanium. *Japanese Journal of Medicine*, 30, 67-72.
- Park, J. H., Seo, D. C., Kim, S. H., Lee, C. H., & Lee, S. T. (2012). Effect of Germanium foliar spray application on growth characteristics and germanium absorption in rice. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 45(4), 649-656.
- Seo, D. C., Cheon, Y. S., Park, S. K., Park, J. H., Kim, A. R., Lee, W. G., Lee, S. T., Lee, Y. H., Cho, J. S., & Heo, J. S. (2010). Applications of different types of Germanium compounds on rice plant growth and its Ge uptake. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(2), 166-173.
- Song, S. J., Kim, Y. R., Han, S. G., & Kang, Y. G. (2006). Foliar absorption rates of ^{45}Ca -labeled calcium compounds applied on tomato and citrus leaves. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 39, 80-85.
- Won, D. W., & Kim, S. J. (2019). Development of selenium value-added rice by organic selenium foliar spray application. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 38(1), 47-53.