



유기 게르마늄 농축수로 재배한 농산물의 항염 및 항암효과

이명선*

청주대학교 바이오메디컬학과

Anti-inflammatory and Anti-cancer Effects of Agricultural Produce Grown with
Organic Germanium-enriched Water

Myeong-Seon Lee*

Department of Biomedical Science, Cheongju University

Abstract

The study was conducted to identify the anti-inflammatory and anti-cancer effects in sprouts of mouse-eyed bean (*Rhynchosia nulubilis*), ginseng (*Panax ginseng*), perilla (*Perilla frutescens*), broccoli (*Brassica oleracea var. italica*), and lettuce (*Lactuca sativa*) grown with organic germanium concentrate. Western blot analysis was performed to assess the anti-inflammatory activity of the extract. All extracts exhibited noticeable anti-oxidant activity, indicating a significant correlation between the germanium content and anti-oxidant activity ($p<0.05$). In particular, rat-eyed bean sprouts with the highest germanium content showed significant anti-inflammatory activity ($p<0.05$) by significantly inhibiting the expression of the inflammatory complexes, NLRP3, cytokines IL-1 β and caspase-1. Ginseng and broccoli sprouts showed strong anti-cancer properties and had high anti-oxidant effects ($p<0.001$). Germanium-concentrated water allows the mass production of agricultural products containing high concentrations of organic germanium. Agricultural produce grown with germanium concentrate add organic germanium to various physiological active ingredients, increasing the anti-oxidant and anti-cancer effects. These results strongly suggest that agricultural products containing high germanium concentrations can be used as novel health supplements to improve health.

Key Words : Organic germanium, anti-inflammatory, anti-cancer, anti-oxidant, novel health supplements

I. 서 론

Covid-19으로 인한 팬데믹으로 전세계가 이제까지 경험하지 못한 새로운 뉴노말 시대로 전환되면서 많은 변화를 겪고 있다. 이러한 시기에 무엇보다 건강이 최고의 관심사가 되면서 질병 예방과 건강유지를 위한 항산화 및 항암작용의 식재료 성분에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

게르마늄은 생리적으로 면역증강, 항산화, 항암활성 등의 약리효과가 있는 것으로 알려져 왔으며, 게르마늄의 의학적 효능이 처음 알려진 것은 1930년 프랑스와 스페인 국경지방인 Lourdes의 샘물이 함유하고 있는 게르마늄 성분이 암을 비롯한 여러 가지의 질병 치료에 큰 효과가 있다고 밝혀지면서부터이다. 게르마늄(Germanium dioxide, GeO₂)은 원소 기호 Ge, 원자번호 32, 원자량 72.61, 비중 7-8인 아금속 반도체 물질로 1886년 독일의 화학자 Clemen Winkler가 최초로 발견하였고, 자연계에는 동식물, 흙, 암석 등에 분포되어

있으며, 산업적으로는 전자산업, 의료용품, 섬유, 식품 등의 분야에서 유용물질로 활용되고 있다(Lee et al. 2004). 자연계에 분포하고 있는 게르마늄은 산소, 염소, 암모니아 등과 결합한 무기 게르마늄과 탄소와 결합되어 있는 유기 게르마늄으로 분류할 수 있다. 유기 게르마늄에는 무기 게르마늄을 효소로 발효시킨 생합성 유기 게르마늄(Wei 1992)이 있고, 산삼, 인삼, 마늘 등 식물체가 토양중의 무기 게르마늄을 흡수하여 생체에 함유시킨 천연 유기게르마늄(Chang & Oh 2005)과 일본에서 발명한 Ge-132를 포함하여 약 100 여종의 화학합성 유기 게르마늄이 있다(Sugiyama et al. 1986). 무기 게르마늄인 GeO₂는 장기 복용시 빈혈, 신장 기능장애, 근육장애, 신경병증 등을 유발(Iijima et al. 1990; Obra et al. 1991)하는 반면에 유기 게르마늄은 항종양 효과(Ikemoto 1996), 항돌연변이 효과(Mochizuki & Kada 1982; Jang et al. 1991), 면역 강화작용(Suzuki et al. 1986)과 바이러스 감염의 치료효과(Aso et al. 1985), 해열 진통작용(Suzuki &

*Corresponding author: Myeong-Seon Lee, Department of Biomedical Science, Cheongju University, 194-31 Osongsaeengmyeong 1-ro, Osong-eup, Heungdeok-gu, Cheongju, Chungbuk, Korea Tel: +82-43-229-8564 Fax: +82-43-232-8799 E-mail: mslee@cju.ac.kr

Taguchi 1983), 중금속 배출작용(Lee & Chung 1991) 및 운동성 증가(Ho et al. 1990) 등의 다양한 약리작용을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다. 특히 식물중에 함유되어있는 유기 게르마늄은 체내에 잔류하지 않고 약리작용을 하기 때문에 천연 유기 게르마늄 형태인 식품으로 섭취하는 것이 체내에서 보다 안전하다(Gerber & Leonard 1997). 몇몇 연구자들은 유기 게르마늄을 함유하는 기능성 농산물을 개발하기 위하여 무기 게르마늄을 비료로 사용하여 재배한 미나리(Lee et al. 2008), 벼(Seo et al. 2010) 등을 이용하였고, 천연의 게르마늄 원천수(게르마늄 함량: 18.3 ppb)와 농축한 게르마늄수 (게르마늄 함량: 51.8 ppb)로 미나리, 상추 등을 재배하였다(Lee 2016).

본 연구는 국민의 질병 예방과 건강에 도움을 주는 식생활문화에 기여하고자 하는 목적으로 이온화 기기를 사용하여 고함량 게르마늄 농축수를 제작(게르마늄 함량: 1,683 ppm)하고, 이 농축수를 다량 희석하여 재배한 농산물들에서 게르마늄의 함량 분석과 효능 분석을 함으로써 고농도 유기 게르마늄 함유 농산물의 항염 및 항암 효과를 확인하고 웰니스 보조식품 신소재로 개발하고자 한다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 게르마늄 농축수 제작

수돗물 100 L에 순도 99.9999%의 게르마늄 1 kg을 넣어 이온화 기기<Figure 1>에 연결한후 10일 동안 전기분해 공법으로 게르마늄 농축수를 제작하였다.

2. 게르마늄 농축수에 의한 농산물 재배 및 시료 준비

청산영농조합법인에서 쥐눈이콩(Mouse-eyed bean), 인삼(Ginseng) 씨앗, 들깨(Perilla) 씨앗, 브로콜리(Broccoli) 씨앗, 상추(Lettuce) 씨앗을 22-25°C, 습도 60-70%에서 10 ppm의 게르마늄 농축수로 10일간 수경재배 한 것을 건조시킨 후 분쇄한 분말을 제공 받아서 70% ethanol 추출하여 시료를 준비하였다.

3. 게르마늄 함량 분석

게르마늄 농축수를 사용하여 재배한 농산물의 건조분말은 한국기초과학지원연구원에 의뢰하여 게르마늄의 함량을 분석하였다. 쥐눈이콩나물(A)에서 210.9 ppm, 인삼새싹(B)에서 92.6 ppm, 들깨 새싹(C)에서 12.5 ppm, 브로콜리 새싹(D)에서 82.2 ppm, 상추 새싹(E)에서 11.7 ppm의 게르마늄이 각각 검출되었다<Table 1>.

4. 세포 배양

전립선 암세포주, PC-3는 한국생명공학연구원에서, 대식세포인 Raw264.7은 한국 세포주은행(KCLB; seoul, Korea)에서 분양 받은 것을 사용하였다. 전립선 암세포주, PC-3는



<Figure 1> Ionization equipment for making germanium enriched water.

<Table 1> Ge (Germanium) contents of each agricultural product

Products (dry powder)	Ge (ppm)
(A) Mouse-eyed bean sprout	210.9
(B) Ginseng sprout	92.6
(C) Perilla sprout	12.5
(D) Broccoli sprout	82.2
(E) Lettuce sprout	11.7

RPMI-1640, Raw264.7은 DMEM배지에 10% fetal bovine serum (FBS)과 100 units/mL의 Penicillin-streptomycin (GIBCO, Grand Island, NY, USA)을 넣어 37°C의 5% 항온기에서 배양하였다.

5. MTT assay

PC-3세포를 3×10^5 개씩 세어서 100 mm culture dish에 넣고 쥐눈이 콩나물(A), 인삼 새싹(B), 들깨 새싹(C), 브로콜리 새싹(D), 상추 새싹(E) 추출물 각각 0, 0.1, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 농도로 처리한 후 96 well에서 MTT용액 (0.5%, 3-(4,5-dimethyl thiazol-2-yl)-2,5diphenyl-2H-tetrazolium bromide 액)을 각 well에 20 μL 씩 넣고, 37°C, 5% CO₂ incubator에서 4시간 동안 배양하였다. 2,000 rpm에서 10분 동안 원심 분리하여 상층액을 제거한 다음, 각 well당 Dimethyl sulfoxide (DMSO)를 150 μL 첨가 하여 30분 동안 교반한 후 ELISA reader를 사용하여 540 nm의 흡광도를 측정하였다.

6. 항산화 활성 분석

DPPH radical 소거 활성에 사용된 DPPH (1,1-Diphenyl-2-icrylhydrazyl)와 DMSO (Dime thyl sulfoxide)는 Sigma

에서 구입하였다. DPPH용액(0.1 mM, ethanol)을 900 μ L, DMSO를 50 μ L, 각각의 분말 추출물을 50 μ L을 첨가하여 실온에서 20분 동안 반응시킨 후 ethanol에 의해 생긴 불순물을 10,000 $\times g$ 에서 5분 동안 원심분리하여 제거한 후 spectrophotometer를 통해 517 nm에서 흡광도를 측정하여 DPPH radical 소거 활성을 확인하였다.

7. Western blot analysis

Raw264.7 세포를 1*E6개씩 세어서 TC-dish에 넣고 24시간 배양한 후에 각 실험군의 시료를 100 μ g/mL씩 24시간 동안 처리하였다. RIPA lysis buffer를 이용하여 단백질을 추출한 다음 BCA assay로 정량하고 추출한 단백질 각 20 μ g씩 well에 loading하여 running한 후 nitrocellulose membrane에 transfer하였다. 1% BCA로 15분간 Blocking한 다음 membrane에 NLRP3, IL1- β , β -actin 1차 항체(1:1,000)를 넣고 4°C에서 overnight 하였다. 2차 항체(anti-rabbit)를 1시간동안 처리한 후 LAS-4000으로 밴드를 관찰하고, Image-J로 밴드의 intensity를 측정하였다.

8. 통계처리

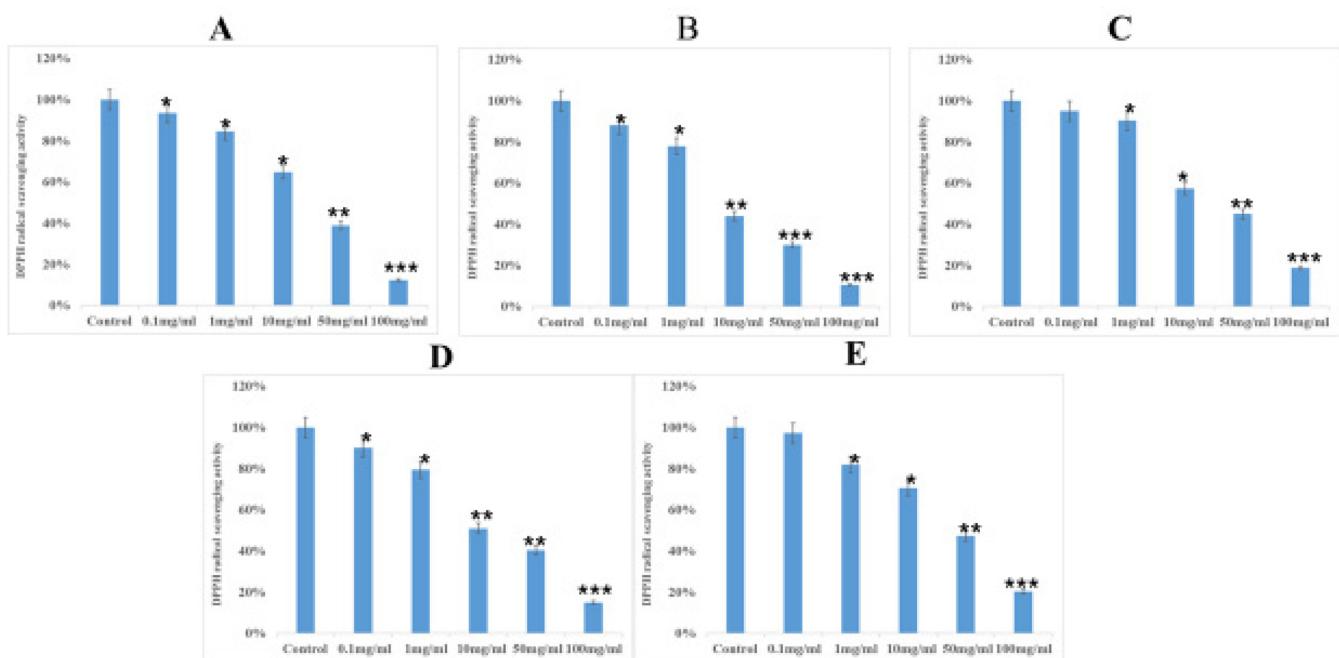
모든 실험은 3회 반복 시행하였다. 각 실험군간의 통계적 유의성 검정에 따른 통계분석은 ANOVA (one way analysis of variance test)로 실시하고, Duncan's multiple range test를 이용하여 $p<0.05$ 일 경우에 유의한것으로 판정하였다 (SPSSV12, SPSS Inc, Chicago, IL, USA).

III. 결과 및 고찰

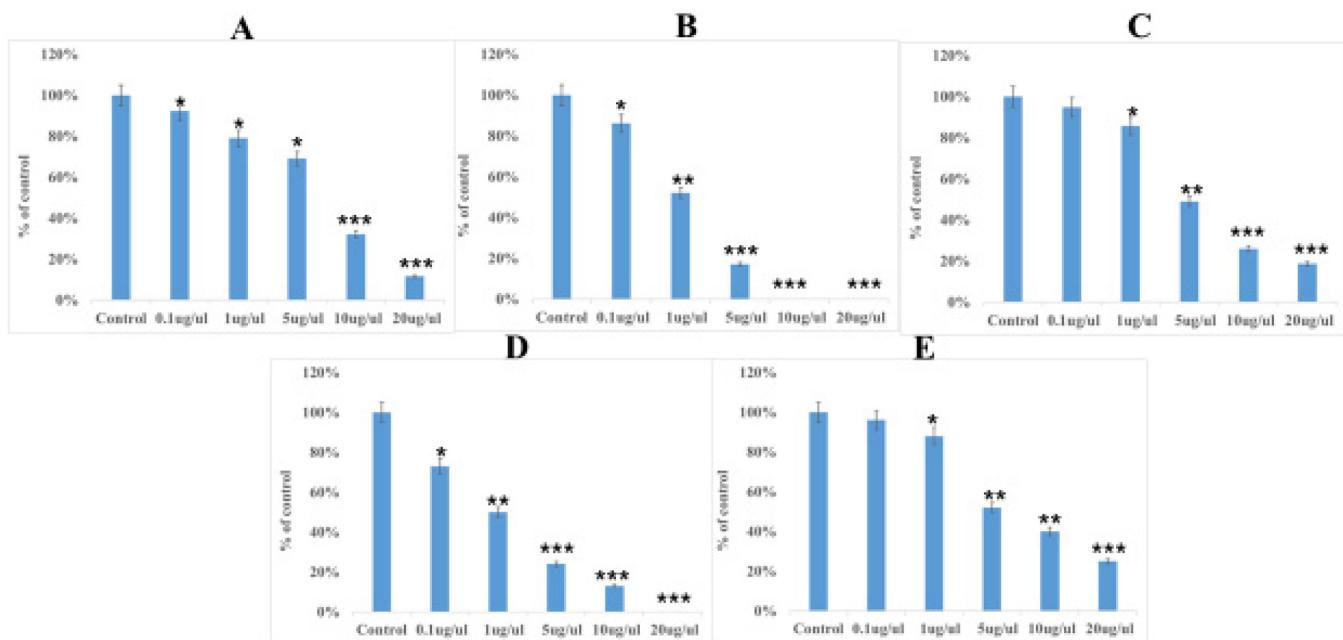
1. 계르마늄 함유 농산물의 항산화 효과

여러가지 다양한 식물 영양소들에서 항산화 기능을 밝힘으로서 건강 식품 및 식품 신소재로 개발하고자 하는 연구들이 활발히 진행되어왔다(Kim et al. 2003; Kim et al. 2006; Jeong 2008). 특히 새싹채소의 기능성에 대한 관심이 증가하면서 새싹채소류에 대한 소비량이 증가하고, 이용도도 다양하게 증가하고 있다(Kim et al. 2013).

DPPH radical 소거능으로 항산화 활성을 분석한 결과 농산물 A, B, C, D, E 모두 10 mg/mL의 농도에서 대조군에 비하여 유의적으로 DPPH radical을 소거하였으며($p<0.05$), 낮은 농도에서 다소 차이를 보였지만 100 mg/mL의 농도에서는 각각 $87.6\%\pm0.45$, $89.5\%\pm0.33$, $81.3\%\pm1.67$, $85.1\%\pm0.98$, $79.6\%\pm2.01$ 의 DPPH 소거율을 나타내어 높은 항산화 활성을 확인하였다. 상추 새싹은 계르마늄 함량이 상대적으로 낮음에도 불구하고 50 mg/mL의 농도 ($52.7\%\pm1.05$)부터 비교적 높은 DPPH 소거능을 나타내었다<Figure 3>. 100 mg/mL에서 확인한 DPPH소거능은 B, A, D, C, E 순서로 실험군 모두 높은 소거능을 보였으며, 이러한 항산화 활성을 대체적으로 식물에서 검출된 계르마늄의 함량에 비례하였다. 일반 수돗물로 재배한 쥐눈이 콩나물, 들깨 새싹, 상추 새싹에서는 계르마늄이 불검출되었고, 인삼 새싹에서는 0.2 ppm, 브로콜리 새싹에서는 0.1 ppm의 계르마늄이 검출되었으며, 이들 중에서 수돗물로 재배한 상추와 들깨 새싹의 항산화 효



<Figure 2> DPPH radical scavenging activity of extract in ethanol of (A) mouse-eyed bean sprout, (B) ginseng sprout, (C) perilla sprout, (D) broccoli sprout, (E) lettuce sprout containing germanium. Statistical analysis was performed using the Duncan's multiple range test. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$ compared with control



<Figure 3> The inhibitory effect of (A) mouse-eyed bean sprout, (B) ginseng sprout, (C) perilla sprout, (D) broccoli sprout, (E) lettuce sprout containing germanium on the growth of human prostate cancer cell line, PC-3 after 24 hr of incubation at 37°C. Statistical analysis was performed using the Duncan's multiple range test. *p<0.05, **p<0.01, ***p <0.001 compared with control

과를 계르마늄 농축수로 재배한 것과 비교한 결과 계르마늄 함량이 높은 상추(12.5 ppm)와 들깨 새싹(11.7 ppm)의 항산화 효과가 100 mg/mL의 농도에서 3배 이상 높은 것을 확인한 바 있다.

Kim et al. (2013)은 브로콜리 새싹 재배의 광원과 수확 후 가공조건에 따른 브로콜리 영양소 및 항산화 활성 특성이 달라짐을 보고하였다(Kim et al. 2013).

이상과 같은 결과로 미루어, 영양성분의 종류와 양이 모두 다른 농산물이지만, 계르마늄수로 재배한 농산물이 보유하고 있는 고농도의 유기 계르마늄은 항산화작용을 활성화시키는데 도움을 주는 유용한 소재가 될 것으로 사료된다.

2. 전립선 암세포주(PC-3)에서 계르마늄 함유 농산물의 세포증식 억제 효과

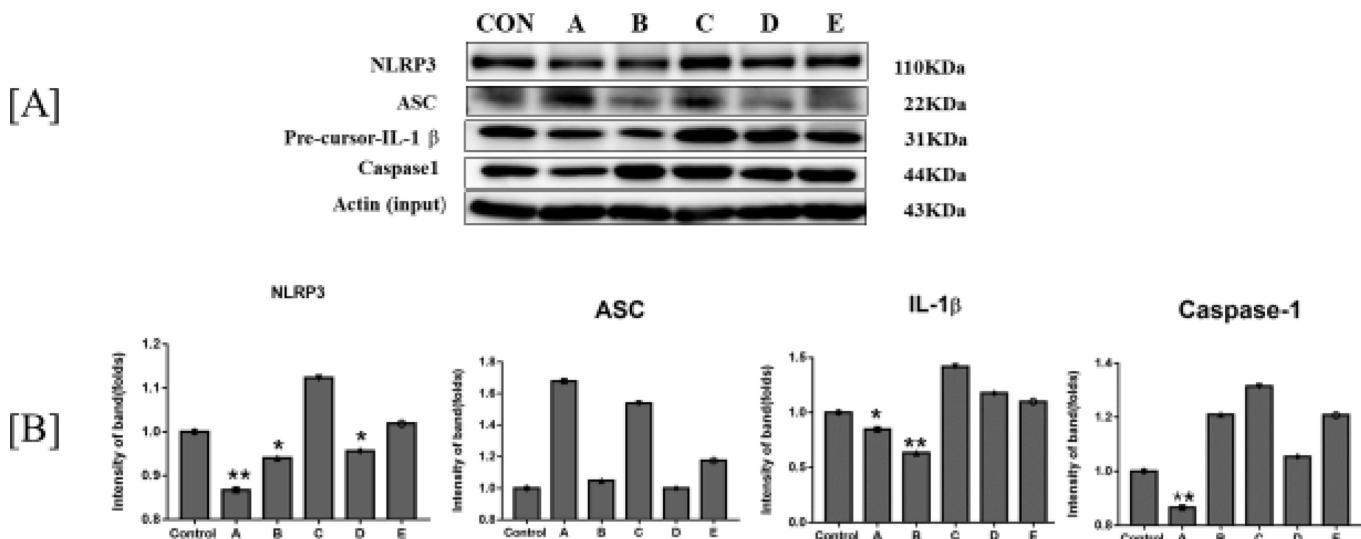
암과 같은 난치성 질환을 가진 환자를 치료하기 위한 약물 중 절반 정도가 천연물로부터 유래되었을 정도로 이미 자연 속 천연물들은 인류에 의해 광범위하게 활용되고 있다(Clardy & Walsh 2004; Newman & Cragg 2012). 고농도 계르마늄을 함유하고 있는 천연물의 항암 활성을 확인하기 위하여 사람의 전립선 암세포 주인 PC-3에 쥐눈이 콩나물(A), 인삼 새싹(B), 들깨 새싹(C), 브로콜리 새싹(D), 상추 새싹(E) 추출물을 0, 0.1, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0 µg/mL 농도로 24시간 투여하여 세포의 성장을 분석하였다. A-E 실험군 모두 농도에 의존하여 세포의 성장이 현저히 억제되었으며, 이중에서 특히 B는 10 µg/mL의 저농도에서 24시간 투여하였을 때 100% 세포 사멸의 효과를 나타내었고, D는 20 µg/mL

의 농도에서 암세포의 성장을 100% 억제하여 강력한 항암 활성을 보여주었다(p<0.001)<Figure 2>.

저자는 이전 연구(Lee 2016)에서 천연 계르마늄 원천수 (Ge: 18.3 ppb)와 이를 농축한 농축수(Ge: 51.8 ppb)를 이용하여 계르마늄을 함유하고 있는 토양에서 재배한 미나리와 상추의 계르마늄 함량을 분석하고, 계르마늄 함량에 따른 생리활성 효과를 관찰한 결과 천연 계르마늄 원천수로 재배한 미나리(7.96 ppb), 상추(5.6 ppb)보다는 농축수로 재배한 미나리(99.8 ppb), 상추(76.9 ppb)의 계르마늄 함량이 더 높게 나타났고, 항산화 및 항암 효과 역시 계르마늄 함량에 비례하여 농도의존적으로 높게 나타난 것을 보고한 바 있다.

이전 연구(Lee 2016)에서 사용한 계르마늄수는 너무 농도가 낮아 다량의 계르마늄 수를 공급할 수 없는 어려움이 있었으나, 이번 연구에서 사용한 계르마늄수는 이와는 달리 이온화 기기를 사용한 새로운 방식으로 고농도의 계르마늄수를 제작하는데(Ge: 1,683 ppm) 성공하여 실제로 농산물 재배에 필요한 많은 양의 계르마늄수를 생산할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 고농도 계르마늄수를 최종농도 10 ppm으로 희석하여 농산물을 재배한 결과, 이전에 보고한 계르마늄 함유 농산물보다 매우 높은 농도의 계르마늄이 검출 되었고 <Table 1>, 계르마늄이 많이 검출된 순서는 A, B, D, C, E였으며 항암활성이 높게 나타난 순서는 B, D, A, C, E로 계르마늄의 함량에 비례하지는 않은 것으로 나타났다.

Kim et al. (2004)은 계르마늄 암석 분말을 첨가한 물을 사용하여 재배한 콩나물 즙액이 일반 콩나물에 비하여 위암 세포의 성장 억제 효과를 강하게 나타내었으며(Kim et al.



<Figure 4> Western blot analysis of NLRP3 inflammasome components NLRP3, ASC, IL-1 and caspase-1 protein expressions in germanium-containing plant products A-E. [A]: Semiquantitative immunoblots reacted with anti-NLRP3, ASC, IL-1 β and Caspase-1 antibodies. [B]: Corresponding densitometric analyses of protein expression levels of NLRP3, ASC, IL-1 β and Caspase-1. CON, control; A, mouse-eyed bean (*Rhynchosia nulubilis*) sprout; B, Ginseng (*Panax ginseng*) sprout; C, perilla (*Perilla frutescens*) sprout; D, broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) sprout; E, lettuce (*Lactuca sativa*) *p<0.05, **p<0.01 compared with control.

2004), 이러한 것은 게르마늄을 비롯하여 무기질, dietary fiber, vitamin C, phenolics 등의 여러 기능성 활성 물질의 함량이 일반 콩나물에 비하여 높기 때문으로 (Kim et al. 2002) 사료된다고 보고하였다.

Hur et al. (2020)은 10년 동안 숙성한 간장을 폐암, 간암, 림프암 세포주에 처리하였을 때 가장 높은 항암 활성을 보였고, 숙성별 간장이 비장세포의 증식에 미치는 영향을 확인한 결과 NK세포 활성에 차이를 나타내었으며 이러한 차이는 숙성되는 과정중에 간장의 유효성분 변화에 따라 효능의 차이를 보일 것으로 예상하였다.

본 연구 결과에서 게르마늄이 가장 많이 함유 되어있는 쥐눈이 콩나물에 비하여 인삼 새싹과 브로콜리 새싹이 상대적으로 매우 높은 항암활성을 보인 것은 인삼 새싹 및 브로콜리 새싹에 들어있는 성분에 게르마늄이 더해지면서 항암활성을 촉진시키는 생리활성 성분의 변화로 인한 것으로 추정되며, 추후 이에 대한 상세한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

3. 게르마늄 함유 농산물의 항염효과

염증 반응은 반응을 준비하는 Priming과 실제로 염증이 진행되는 Triggering의 2가지 과정으로 진행된다. Triggering 과정의 제일 중요한 특징은 염증복합체(inflammasomes)의 활성화이다(Lamkanfi & Dixit 2014; Man et al. 2017). 염증복합체는 PRRs 와 염증성 분자들이 결합한 형태의 단백질 복합체로 NLRP1, NLRP3, NLRP6, NLRP13 ALC NLRC4 및 AIM2와 Caspase 4, 5, 11로 구성되어있다(Lamkanfi & Dixit 2014; Broz & Dixit 2016; Ding &

Shao 2017; Man et al. 2017; Yi 2017; Mathur et al. 2018). 이러한 염증복합체들은 염증질환 및 감염질환의 발병 요인이 되는 염증 반응을 활성화 시키는데, 염증복합체의 활성화는 세포막 천공을 형성하고 염증성 세포사인 pyroptosis를 유도함과 동시에 Caspase-1의 가수분해를 통한 활성화 및 Caspase-1에 의한 염증성 cytokines으로 알려진 IL1- β , IL-18의 성숙과 분비를 촉진한다(Man et al. 2017; Shi et al. 2017).

본 연구는 염증복합체인 NLRP3, ASC와 caspase-1, caspase-1에 의한 염증성 cytokine IL1- β 의 세포내 발현양상을 통하여 게르마늄을 함유하고 있는 농산물 A, B, C, D, E의 항염효과를 분석하였다. NLRP3는 대조군에 비하여 쥐눈이 콩나물(A)과 인삼 새싹(B), 브로콜리 새싹(D)에서 발현 억제를 보였고, ASC에서는 인삼 새싹 (B)과 브로콜리 새싹 (D)이 대조군과 비슷한 수준에서 발현되었으며, IL-1 β 에서는 쥐눈이 콩나물(A)과 인삼 새싹(B), caspase-1에서는 쥐눈이 콩나물(A)이 분자의 발현을 가장 많이 억제하는 것으로 나타났다(p<0.05)<Figure 4>. 5가지 실험군중에서 쥐눈이 콩나물(A)은 모든 염증분자에서 낮은 발현율을 보였다. 각 실험군마다 염증반응에 관여하는 분자의 발현율에 차이를 보인 것은 다양한 종류와 양의 영양 성분을 가지고 있는 농산물들이 염증과 관련된 여러가지 분자의 작용경로에 각각 다른 반응을 보이기 때문에 추정되며, 각 게르마늄 함유 농산물에서 게르마늄 함량에 따른 항염 효과에 대해서는 염증관련 분자에 대한 보다 깊은 연구가 필요하다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 이온화 기기를 사용하여 고함량 게르마늄 농축수를 제작하고, 이 농축수를 다양 희석하여 재배한 농산물에서 게르마늄의 함량 분석과 효능분석을 통하여 질병을 예방하고 인체 건강에 도움을 주는 식품 소재를 개발하고자 시도하였다. 천연의 게르마늄 농축수로 재배한 쥐눈이 콩나물, 인삼 새싹, 들깨 새싹, 브로콜리 새싹 및 상추 새싹에서 다양한 게르마늄 성분이 검출되었고, 모든 실험군에서 비교적 높은 항산화 및 항암 활성을 나타내었으며($p<0.05$), 인삼 새싹과 브로콜리 새싹 추출물은 대조군에 비하여 전립선암세포주인 PC-3에 매우 강력한 항암활성을 보였다($p<0.001$). 이 중에서도 특히 게르마늄의 함량이 제일 많은 쥐눈이 콩나물은 염증복합체인 NLRP3와 cytokine분자의 발현을 강하게 억제함으로서 가장 높은 항염 활성을 보여주었다($p<0.01$).

기존의 게르마늄 함유 농산물 생산 방식은 무기 게르마늄을 비료(Lee et al. 2008; Seo et al. 2010)로 사용하거나, 게르마늄 암석 분말을 첨가한 물을 사용(Kim et al. 2002, Kim et al. 2004)하였으나, 본 연구에서는 천연의 고농축 게르마늄수를 제작하여 사용하였고, 이로 인하여 농도 조절이 가능한 게르마늄수의 공급이 가능하게 되었다. 이러한 방식으로 재배한 새싹에서 게르마늄의 함량을 분석하고, 항산화, 항암, 항염 활성과 게르마늄과의 상관관계를 확인하여 세계 최초로 보고하는 바이다. 전립선 암에 강력한 항암효과를 나타낸 인삼 새싹과 브로콜리 새싹은 암을 예방하거나 치료하는 의약품 보조 식품소재로 활용 할 수 있을 것이며, 이러한 결과들은 다양한 게르마늄을 함유하고 있는 농산물들이 국민 건강에 도움을 주는 웰니스 보조 식품의 신소재로서의 사용 가능성을 강력하게 시사하는 것이다. 또한 게르마늄 농축수를 활용하면, 고농도 유기 게르마늄을 함유하는 농산물의 대량생산이 가능하고, 다양한 생리활성 성분에 유기 게르마늄이 더해져 항산화 및 항암 또는 항염효능이 증가한 농산물을 생산할 수 있어 농가의 부가가치를 높이고 국민 건강에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

저자 정보

이명선(청주대학교 바이오메디컬학과, 교수, 0000-0001-6714-1754)

감사의 글

본 논문은 2019-2020 학년도 청주대학교 산업과학연구소에서 지원한 학술연구조성비 (특별연구과제)로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Aso H, Suzuki F, Yamaguchi T, Hayashi Y, Ebina T, Ishida N. 1985. Induction of interferon and activation of NK cells and macrophages in mice by oral administration of Ge-132, and organic germanium compound. *Microbiol. Immunol.*, 29(1): 65-74
- Broz P, Dixit VM. 2016. Inflammasomes: mechanism of assembly, regulation and signalling. *Nat. Rev. Immunol.*, 16(7):407-20
- Chang EJ, Oh H. 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
- Clardy J, Walsh C. 2004. Lessons from natural molecules. *Nature.*, 432:829-837
- Ding J, Shao F. 2017. SnapShot: The Nonca nonical inflammasome. *Cell.*, 168(3): 544-544 e1
- Gerber GB, Leonard A. 1997. Mutagenicity, carcinogenicity and teratogenicity of germanium compounds. *Mutation Research.*, 387:141-146
- Ho CC, Cherm YF, Lin MT. 1990. Effects of organo germanium compound 2-carboxyethyl germanium sesquioxide on cardiovascular function motor activity in rats. *Pharmacology.*, 41:286-291
- Hur JY, Kim MJ, Hong SP, Yang, HJ. 2020. Anticancer effects of Ganjang with different aging periods. *J Korean Soc. Food Cult.*, 35(2): 215-223
- Iijima M, Mugishima M, Takeuchi M, Uchiyama S, Kobayashi I, Maruyama S. 1990. A case of inorganic germanium poisoning with peripheral and cranial nephropathy. *Myopathy and Autonomic Dysfunction.*, 42(9):851-856
- Ikemoto K. 1996. 2-Carboxyethyl germanium compound, as an inducer of contrasuppressor T cells. *Experientia.*, 52(2):159-166
- Jang JJ, Cho KJ, Lee YS, Bae JH. 1991. Modifying responses of allyl sulfide, indole-3-carbinol and germanium in a rat multi-organ carcinogenesis model. *Carcino genesis.*, 12(4): 691-695
- Jeong WS. 2008. Soybean as functional food materials. *Inje Food Sci Forum Collection of Dissertations.*, 15:135-149
- Kim EJ, Kim TS, Kim MH. 2013. Phytochemical and antioxidant properties of broccoli sprouts cultivated in the plant factory system. *Korean J. Food Culture.*, 28(1):57-69
- Kim EJ, Lee KI, Park KY. 2002. Quality analysis of nutrients

- in soybean sprouts cultures with Germanium. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 31:1150
- Kim EJ, Lee KI, Park KY. 2004. The growth inhibition against gastric cancer cell in germanium or soybean sprouts cultured with germanium. *Korean J. Soc. Food Cookery Sci.* 20(3):287-291
- Kim KT, Kim SS, Lee SH, Kim DM. 2003. The functionally of barley leaf and its application on functional foods. *Food Science and Industry*, 36:45-49
- Kim MJ, Kim IJ, Nam SY, Lee CH, Yun T, Song BH. 2006. Effects of drying methods on content of active components, antioxidant activity and color values of Saururus chinensis bail. *Korean J. Medicinal Crop Sci.*, 14:8-13
- Lamkanfi M, Dixit VM. 2014. Mechanisms and functions of inflammasomes. *Cell*, 277(1):61-75
- Lee HM, Chung Y. 1991. Effect of organic germanium on metallothionein induction in liver and kidney of cadmium and mercury intoxicated rats. *Yakhak Hoeji*, 35(2):99-110
- Lee JS, Park JL, Kim SH, Park SH, Kang SK, Park CB, Sohn TU, Kang JK, Kim YB. 2004. Oral single and repeated-dose toxicity studies on Geranti Bio-Ge yeast, organic germanium fortified yeasts, in rats. *J. Toxicol. Sci.* 29:541-553
- Lee MS. 2016. Study on efficacy of agricultural products containing germanium. *J. of The Korea Industry Association*, 10(6): 451-459
- Lee ST, Lee YH, Heo JY, Hong KP, Dahlgren RA, Heo JS. 2008. The growth characteristics and germanium uptake by water celery in soil treated with germanium. *Korean J. of Environmental Agriculture*, 27(2):185-190
- Man SM, Karki R, Kannegan TD. 2017. Molecular mechanisms and functions of pyroptosis, inflammatory caspases and inflammasomes in infectious diseases. *Immunol Rev.*, 157(5):1013-22
- Mathur A, Hayward JA, Man SM. 2018. Molecular mechanisms of inflammasome signaling. *J. Leukoc Biol.*, 103(2): 233
- Mochizuki H, Kada K. 1982. Antimutagenic effect of Ge-132 on γ -ray-induced mutation in *Escherichia coli* B/rWP2 trp-. *Int. J. Radiat. Bio.*, 42(6): 653-659
- Newman DJ, Cragg GM. 2012. Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010. *J. Nat. Prod.* 75:311-355
- Obra 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 J. of Medicine*, 30(1): 67-72
- Seo DC, Cheon YS, Park SK, Park JH, Kim AR, Lee WG, Lee ST, Lee YH, Cho JS, Heo JS. 2010. Applications of different types of germanium compounds on rice plant growth and its Ge uptake. *Korean J. of soil Science Fertilizer*, 43(2):166-173
- Shi J, Gao W, Shao F. 2017. Pyroptosis: Gasdermin-mediated programmed necrotic cell death. *Trends Biochem Sci.*, 42(4): 245-254
- Sugiyama S, Sakamaki T, Sugita Y, Abo H, Satoh 1986. Subacute oral toxicity of carboxyethylgermanium sesquioxide (Ge-132) in rats. *Pharmacometrics*, 31(6):1181-1190
- Suzuki F, Brukiewicz RR, Pollard RB. 1986. Cooperation of lymphokine(s) and macrophages in expression of antitumor activity of carboxyethylgermanium (Ge-132). *Anti tumor Res.*, 62(2):177-182
- Suzuki Y, Taguchi K. 1983. Pharmacological studies of carboxyethylgermanium sesquioxide (Ge-132). *Pharmacometrics*, 26(5): 803-810
- Wei XS. 1992. Effect of yeast on bioenrichment of germanium. *Food Science*, 149:49-54
- Yi YS. 2017. Caspase-11 non-canonical inflammasome: a critical sensor of intracellular lipopolysaccharide in macrophage-mediated inflammatory responses. *Immunology*, 152(2):207-217

Received February 1, 2021; revised February 15, 2021;
accepted February 18, 2021