

게르마늄 수용액으로 재배한 콩나물의 항돌연변이 효과

김은정¹ · 이경임² · 박건영^{1*}

¹부산대학교 식품영양학과 및 김치연구소
²양산대학 호텔조리과

Antimutagenicity of Soybean Sprouts Cultured with Germanium

Eun-Jeong Kim¹, Kyeoung-Im Lee² and Kun-Young Park^{1*}

¹Dept. of Food Science and Nutrition, and Kimchi Research Institute,
Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Dept. of Hotel Culinary Arts, Yangsan College, Yangsan 626-800, Korea

Abstract

This study was carried out to determine the antimutagenic effect of soybean sprouts cultured in water containing germanium by Ames test and SOS chromotest. Germanium significantly inhibited the mutagenicity induced by aflatoxin B₁ (AFB₁) in *Salmonella typhimurium* TA100 by Ames test, and 4-nitroquinoline-N-oxide (4-NQO) in SOS chromotest. Juice from germanium treated soybean sprouts (GTS) inhibited 57~75% mutagenicity induced by AFB₁, N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine (MNNG) and 4-NQO compared with 20~48% inhibition rate of control soybean sprouts (germanium non-treated soybean sprouts, GNTS) in the Ames test. Also, methanol extracts from GTS inhibited 65% mutagenicity induced by AFB₁ in *Salmonella typhimurium* TA100, and 51% mutagenicity by 4-NQO in SOS chromotest. Therefore, it suggests that GTS has strong potential antimutagenic effect.

Key words: antimutagenic effect, germanium, soybean sprouts, Ames test, SOS chromotest

서 론

콩나물은 우리나라 고유의 전통식품으로 널리 이용되어 왔으며 양질의 단백질, 무기질 및 비타민 C가 풍부한 중요한 식품이다(1). 최근 연구에서 콩나물을 재배할 때 게르마늄 용해수를 이용하게 되면 일반 콩나물보다 성장이 촉진되고 외관과 맛이 향상되며(2) 식이섬유소, 페놀화합물, 비타민 및 무기질 등의 영양소의 함량이 높은 기능성 콩나물을 제조할 수 있다(3)고 보고하였다.

유기 게르마늄은 무기물인 이산화게르마늄으로부터 유기염제제인 carboxyethyl germanium sesquioxide[O₃(GeCH₂-COOH)₂]로 합성되어 Ge-132로 불리게 되었다. 이러한 유기 게르마늄은 *in vivo* 및 *in vitro* 실험을 통하여 다양한 생리작용과 질병의 치료효과를 가지고 있는 것이 입증되었다. 특히 Ge-132는 항돌연변이 작용(4)과 항종양효과를 나타내어 생명을 연장할 수 있다고 보고되고 있으며(5), 마우스에서 methylcholathrene에 대해 발생하는 종양을 억제하는 효과를 나타내는데 이것은 인터페론의 생성을 유도함으로써 이루어진다고 하였다(6-8). 또한 Ge-132는 natural killer(NK) 세포의 활성화와 macrophages, T-suppressor cell의 활성화

를 포함하여 면역강화작용을 가지고 있으며(9-11), 바이러스 감염의 치료와 류마치스성 질환 및 노인성 골다공증의 치료에도 효과가 있는 것으로 알려져 있다(12-15).

이와 같이 여러 가지 약리 작용을 가지고 있는 게르마늄을 식품에 이용하여 섭취하게 되면 각종 질병의 예방과 치료에 효과가 있으며 생체기능을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 게르마늄을 물에 용해하여 콩나물 재배에 사용하였으며 이렇게 제조한 게르마늄 콩나물에서 Ames test와 SOS chromotest를 행하여 항돌연변이 작용을 살펴보았으므로 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시료

콩나물의 재배: 콩나물은 전보(2)와 같이 제조하여 실험에 사용하였다. 콩나물 제조에 사용된 콩의 품종은 은하콩, 서목태와 수박태의 3종류였다. 선별한 콩을 3회 세척하고 1시간 동안 물을 뺀 후, 처음 24시간 동안은 5시간 간격으로 15분간씩 살수하였으며 다음에 3시간 간격으로 15분간씩 살수하면서 17~20°C에서 5일간 재배하였다. 이때 수돗물, 지

*Corresponding author. E-mail: kunypark@pusan.ac.kr
Phone: 82-51-510-2839, Fax: 82-51-514-3138

하수 및 2.5%의 게르마늄 가루를 첨가한 물을 사용하여 콩나물을 재배하였다.

시료의 제조 : 위와 같이 재배한 콩나물을 녹즙기로 갈아 9000 rpm에서 20분간 원심 분리하였으며 그 상등액을 millipore filter(0.45 μm pore size, Sartorius AG, Goettingen, Germany)로 여과하여 콩나물 즙액으로 사용하였다.

또한 콩나물의 methanol 추출물을 얻기 위해 먼저 콩나물을 동결 건조한 후 마쇄하여 분말을 만들었다. 분말시료 1 g에 20배의 methanol을 첨가하여 12시간씩 3회 교반한 후 여과하여(whatman No. 42) 회전식진공농축기(Buchi labor-technik AG, Germany)로 농축하였다.

게르마늄

실험에 사용한 유기게르마늄 Ge-132(carboxyethyl germanium sesquioxide, O₃(GeCH₂COOH)₂)는 (주)단학바이오텍(한국)에서 합성한 것이었다. 콩나물 재배에 사용한 게르마늄 가루는 강원도 태백소재의 광산에서 채취하여 가공한 게르마늄 함유 암석분말로 한국 프리벤션사로부터 구입하였다. Ge-132와 게르마늄 가루는 멸균한 증류수에 희석하여 실험에 사용하였다.

항돌연변이 실험

Ames test : 실험에 사용한 균주는 *Salmonella typhimurium* TA100으로 미국 캘리포니아 대학의 Ames 박사로부터 제공받았으며 실험하기 전 histidine 요구성, deep rough (*rfa*) 돌연변이, *uvrB* 돌연변이, R factor 등의 유전형질을 확인하였다.

Aflatoxin B₁(AFB₁)은 미국 Sigma 회사에서 구입하여 dimethyl sulfoxide(DMSO)에 녹여 실험에 사용하였고, N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine(MNNG)는 미국 Aldrich 회사로부터 구입하여 증류수에 녹여서 사용하였으며 4-nitroquinoline-N-oxide(4-NQO)는 Sigmag 회사(USA)에서 구입하여 95% 에탄올에 녹여서 실험에 사용하였다.

Maron과 Ames(16)의 방법에 따라 Sprague-Dawley rat의 간을 적출하여 S9를 만들었으며 이 S9 fraction(10%)에 MgCl-KC salts(2%), 1 M glucose-6-phosphate(0.5%), 1 M NADP(4%), 0.2 M phosphate buffer(pH 7.4) 및 멸균수를 혼합하여 S9 mixture를 조제하였다.

항돌연변이 실험을 하기 전에 시료의 독성 실험을 행하여 독성이 나타나지 않는 범위 내에서 시료의 농도를 결정하였다.

S9 mix 0.5 mL(간접 돌연변이인 경우) 혹은 인산 완충액 0.5 mL(직접 돌연변이인 경우), 하룻밤 배양된 균주(1~2×10⁹ cells/mL) 0.1 mL, 시료 50 μL와 돌연변이원 50 μL를 ice bath에 담긴 cap tube에 넣고 가볍게 vortex한 후 37°C에서 30분간 예비 배양하였다. 45°C의 top agar 2 mL씩을 각 tube에 붓고 3초간 vortex하여 minimal glucose agar plate에 도말하고 37°C에서 48시간 동안 배양한 후 복귀돌연변이의 숫

자를 계수하였다(17).

SOS chromotest : 사용된 균주는 *Escherichia coli* GC-4436에서 유래된 *E. coli* PQ37/plasmid pKM101(PQ37)로 90% glycerol과 L 배양액에서 하룻밤 배양한 균액을 1:1로 혼합하여 -20°C에 보관하였다. 6개월마다 균주를 새로 준비하였으며 그때마다 *uvrB* 돌연변이, *rfa* 돌연변이와 PHO^C 유전자의 constitutivity 및 *sfiA::lacZ* fusion의 inducibility를 검사하였다.

Quillardet와 Hofnung(18) 및 Baik과 Ham(19)의 방법을 이용하여 SOS chromotest를 행하였다. 냉동 보관한 PQ37 균액 50 μL를 5 mL의 L 배양액에 접종하여 37°C에서 12~18 시간 진탕 배양하여 다시 5 mL의 L 배양액에 접종한 후 37°C에서 분광광도계(Shimadzu UV-2401PC, Shimadzu Co., Japan)를 사용하여 660 nm에서 흡광도가 0.3~0.4가 될 때까지 2시간 정도 진탕 배양하였다. 이때 얻어진 균액을 L 배양액에 1/10로 희석하여 각 농도별로 준비된 시료와 돌연변이원을 혼합한 시료 20 μL를 미리 분주하여 둔 96 well plate에 100 μL씩 분주하였다. 이것을 90분간 37°C에서 진탕하여 SOS 반응을 유도한 후 한쪽에는 β-galactosidase(β-G)의 활성 측정을 위하여 O-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside(ONPG) 100 μL를, 다른 쪽에는 alkaline phosphatase(AP)의 활성을 측정하기 위하여 P-nitrophenyl phosphate disodium(PNPP) 100 μL를 첨가하였다. 발색 시간은 30분으로 하였으며 β-G는 1.5 M Na₂CO₃ 100 μL로, AP는 1 M HCl 50 μL로 효소에 의한 발색 반응을 정지시켰다. 5분 후 AP쪽에 50 μL의 2 M tris buffer를 첨가하여 HCl을 중화시키고 분광광도계로 420 nm에서 흡광도를 측정하여 Miller의 공식(20)에 의해 enzyme unit(Eu)값을 구하였다.

$$Eu = (1000 \times A_{420}) / t \text{ (min)}$$

결과 및 고찰

Ames test에 의한 항돌연변이 효과

게르마늄의 항돌연변이 효과 : 유기 게르마늄(Ge-132)과 콩나물 재배에 사용한 게르마늄 가루에서 Ames test에 의한 돌연변이 유발 억제작용을 살펴본 결과는 Table 1과 같다. 균주 *Salmonella typhimurium* TA100에서 AFB₁에 의하여 유발된 돌연변이는 Ge-132와 게르마늄 가루를 plate당 0.005~20 mg 첨가하였을 때 농도 증가에 따라 억제율이 증가되었다. 즉 시료 0.1, 1, 10, 20 mg/plate 첨가에 대하여 Ge-132는 각각 39%, 48%, 54% 및 87%의 돌연변이 유발 억제작용을 나타내었고 게르마늄 가루는 36%, 46%, 52% 및 56%의 저해율을 나타내어 두 시료가 비슷한 정도의 항돌연변이 효과를 보였으나 농도 20 mg/plate 첨가시 Ge-132는 게르마늄 가루보다 훨씬 높은 돌연변이 유발억제 작용을 나타내었다. Lee 등(21)의 연구에서 돌연변이원인 benzopyrene에 대하여 Ge-132를 10 mg, 20 mg, 30 mg 첨가하였을 때 각각 25%,

Table 1. Antimutagenic effect of germanium and germanium stone powder on the mutagenicity induced by AFB₁ (0.5 µg/plate) in *Salmonella typhimurium* TA100

Treatments (mg/plate)	Revertants/plate	Inhibition rate (%)
Spontaneous	128 ± 11 ¹⁾	
Control (AFB ₁)	1771 ± 133	
AFB ₁ + Germanium		
0.005	1398 ± 17	23
0.01	1285 ± 50	30
0.1	1131 ± 58	39
0.5	1127 ± 65	39
1	987 ± 57	48
5	984 ± 4	48
10	887 ± 52	54
20	335 ± 58	87
AFB ₁ + Germanium stone powder		
0.005	1301 ± 45	29
0.01	1262 ± 21	31
0.1	1187 ± 74	36
0.5	1156 ± 46	37
1	1018 ± 50	46
5	966 ± 35	49
10	915 ± 3	52
20	853 ± 62	56

¹⁾Each value represents mean ± SD.

69%, 100%의 돌연변이 유발억제 작용이 있었다고 보고하여 Ge-132는 여러 가지 변이원에 대한 억제 작용이 있음을 알 수 있다.

게르마늄으로 재배한 콩나물의 항돌연변이 효과: 게르마늄 용해수로 재배한 게르마늄 콩나물과 수돗물로 재배한 일반 콩나물의 즙액을 이용하여 Ames test에 의한 항돌연변이 효과를 살펴보았다(Table 2). 균주 *Salmonella typhimurium* TA100을 사용하고 AFB₁을 돌연변이원으로 사용한 실험에서 수돗물과 지하수로 재배한 일반 콩나물의 즙액 100

Table 2. Antimutagenic effect of juice from soybean sprouts cultured with germanium on the mutagenicity induced by AFB₁ (0.46 µg/plate) in *Salmonella typhimurium* TA100

Treatments	Revertants/plate (Inhibition rate: %)	
	100 µL/plate	200 µL/plate
Spontaneous	132 ± 6 ¹⁾	
Control (AFB ₁)	1024 ± 10 ^{a5)}	
AFB ₁ + Eunhakong H ²⁾	1007 ± 7 ^{ab} (2)	846 ± 9 ^c (20)
Subaktae H ²⁾	1006 ± 8 ^b (2)	765 ± 11 ^d (29)
AFB ₁ + Seomoktae H ²⁾	1008 ± 6 ^{ab} (2)	842 ± 10 ^f (20)
Seomoktae F ³⁾	1008 ± 6 ^{ab} (2)	844 ± 10 ^f (20)
Seomoktae G ⁴⁾	851 ± 9 ^c (19)	516 ± 13 ^e (57)

¹⁾Each value represents mean ± SD.

²⁾H-Cultivated with tap water.

³⁾F-Cultivated with underground water at the factory.

⁴⁾G-Cultivated with tap water containing germanium stone powder.

⁵⁾The different superscripts are significantly different at the p < 0.05 level of significance as determined by Duncan's multiple range test.

µL/plate 첨가하였을 때 2%, 200 µL/plate 첨가하였을 때 20 ~ 29%의 돌연변이 유발 억제작용을 나타내었으며, 사용된 콩의 품종에 따른 차이는 거의 없었다. 그러나 게르마늄을 첨가하여 재배한 콩나물은 똑같은 실험에서 100 µL/plate 처리시 19%, 200 µL/plate를 처리하였을 때 57%의 돌연변이 유발억제 작용을 나타내어 일반 콩나물보다 항돌연변이 효과가 높은 것을 알 수 있었다(p < 0.05).

Table 3은 게르마늄 콩나물의 methanol 추출물에 대한 항돌연변이 효과를 측정된 결과이다. 균주 *Salmonella typhimurium* TA100에서 AFB₁에 대한 돌연변이 유발억제 작용은 3가지 품종의 콩으로 재배된 콩나물의 methanol 추출물에서 17~31%로 나타났으며, 그 중에서 은하콩으로 재배한 콩나물이 약간 낮은 저해율을 보였고 서목태 콩나물은 약간 높게 나타났으며, 콩나물 재배에 사용된 수돗물과 지하수는 항돌연변이 효과에 관계없는 것으로 나타났다. 그러나 게르마늄을 첨가한 콩나물의 methanol 추출물은 65%의 돌연변이 억제작용을 보여 콩나물 즙액과 마찬가지로 일반 콩나물보다 항돌연변이 작용이 우수한 것을 알 수 있었다(p < 0.05).

게르마늄 콩나물이 AFB₁과 같은 간접돌연변이원 뿐만 아니라 직접돌연변이원에 의한 돌연변이 유발을 억제하는지 살펴보기 위하여 MNNG와 4-NQO를 돌연변이원으로 이용하였다. Table 4는 MNNG의 돌연변이 유발에 대한 콩나물 즙액의 항돌연변이 효과를 살펴본 결과로써 3가지 품종의 콩으로 재배한 콩나물의 즙액을 100 µL/plate 처리하였을 때 수돗물과 지하수로 재배한 콩나물은 4~14%, 200 µL/plate 처리시 37~39%의 저해율을 나타내었다. 반면 게르마늄 콩나물의 즙액은 100 µL/plate와 200 µL/plate에서 각각 40%와 75%의 돌연변이 유발억제 작용을 나타내었다(p < 0.05).

또한 4-NQO를 사용하였을 때도 Table 4와 비슷한 결과를

Table 3. Antimutagenic effect of methanol extracts from soybean sprouts (2.5 mg/plate) cultured with germanium on the mutagenicity induced by AFB₁ (0.46 µg/plate) in *Salmonella typhimurium* TA100

Treatments	Revertants/plate	Inhibition rate (%)
Spontaneous	132 ± 6 ¹⁾	
Control (AFB ₁)	1024 ± 10 ^{a5)}	
AFB ₁ + Eunhakong H ²⁾	871 ± 15 ^b	17
Subaktae H ²⁾	788 ± 6 ^c	26
AFB ₁ + Seomoktae H ²⁾	743 ± 9 ^f	31
Seomoktae F ³⁾	763 ± 8 ^d	29
Seomoktae G ⁴⁾	447 ± 10 ^f	65

¹⁾Each value represents mean ± SD.

²⁾H-Cultivated with tap water.

³⁾F-Cultivated with underground water at the factory.

⁴⁾G-Cultivated with tap water containing germanium stone powder.

⁵⁾The different superscripts are significantly different at the p < 0.05 level of significance as determined by Duncan's multiple range test.

Table 4. Antimutagenic effect of juice from soybean sprouts cultured with germanium on the mutagenicity induced by M-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidin (MNNG, 0.27 µg/plate) in *Salmonella typhimurium* TA100

Treatments	Revertants/plate (Inhibition rate: %)	
	100 µL/plate	200 µL/plate
Spontaneous Control (MNNG)	186 ± 9 ¹⁾ 1264 ± 22 ²⁾⁵⁾	
MNNG + Eunhakong H ²⁾ Subaktae H ²⁾	1109 ± 24 ^b (14) 1210 ± 11 ^{ab} (5)	848 ± 15 ^d (39) 862 ± 32 ^d (37)
MNNG + Seomoktae H ²⁾ Seomoktae F ³⁾ Seomoktae G ⁴⁾	1147 ± 76 ^b (11) 1225 ± 63 ^a (4) 1007 ± 14 ^c (24)	839 ± 25 ^d (39) 850 ± 33 ^d (38) 609 ± 10 ^e (61)

¹⁾Each value represents mean ± SD.
²⁾H-Cultivated with tap water.
³⁾F-Cultivated with underground water at the factory.
⁴⁾G-Cultivated with tap water containing germanium stone powder.
⁵⁾The different superscripts are significantly different at the p < 0.05 level of significance as determined by Duncan's multiple range test.

Table 5. Antimutagenic effect of juice from soybean sprouts cultured with germanium on the mutagenicity induced by 4-nitroquinoline-N-oxide (4-NQO, 0.125 µg/plate) in *Salmonella typhimurium* TA100

Treatments	Revertants/plate (Inhibition rate: %)	
	100 µL/plate	200 µL/plate
Spontaneous Control (4-NQO)	143 ± 6 ¹⁾ 974 ± 13 ²⁾⁵⁾	
4-NQO + Eunhakong H ²⁾ Subaktae H ²⁾	696 ± 14 ^d (33) 782 ± 12 ^b (23)	601 ± 21 ^e (45) 579 ± 38 ^e (48)
4-NQO + Seomoktae H ²⁾ Seomoktae F ³⁾ Seomoktae G ⁴⁾	687 ± 10 ^{de} (34) 731 ± 12 ^c (29) 645 ± 18 ^f (40)	573 ± 8 ^e (48) 661 ± 6 ^{ef} (38) 353 ± 16 ^h (75)

¹⁾Each value represents mean ± SD.
²⁾H-Cultivated with tap water.
³⁾F-Cultivated with underground water at the factory.
⁴⁾G-Cultivated with tap water containing germanium stone powder.
⁵⁾The different superscripts are significantly different at the p < 0.05 level of significance as determined by Duncan's multiple range test.

Table 6. SOS response of germanium (Ge-132) against 4-nitroquinoline-N-oxide (4-NQO, 6 µg/assay) in *E. coli* PQ37

Samples (µg/assay)	β-Galactosidase (β)		Alkaline phosphatase (α)		β/α	SOS induction factor	Inhibition rate (%)
	OD 420	Unit	OD 420	Unit			
Spontaneous Control	0.435 ± 0.012 ¹⁾ 1.337 ± 0.008	14.5 44.6	0.343 ± 0.004 0.318 ± 0.001	11.4 10.6	1.27 4.20	1.00 3.31	
Germanium							
1	1.290 ± 0.018	43.0	0.332 ± 0.002	11.1	3.88	3.06	11
5	1.130 ± 0.018	37.7	0.332 ± 0.001	11.1	3.40	2.68	27
10	0.987 ± 0.065	32.9	0.350 ± 0.006	11.7	2.82	2.22	47
25	0.938 ± 0.032	31.3	0.343 ± 0.001	11.4	2.73	2.15	50
50	0.840 ± 0.029	28.0	0.333 ± 0.001	11.1	2.52	1.98	57

¹⁾Each value represents mean ± SD.

나타내었다(Table 5). 사용된 콩의 품종에 따라 약간의 차이는 있었으나 일반 콩나물의 즙액을 100 µL/plate 처리하였을 때 23~34%, 200 µL/plate 처리시 38~48%의 돌연변이 유발 억제작용을 나타내었다. 게르마늄 콩나물의 즙액은 100 µL/plate와 200 µL/plate 처리하였을 때 각각 24%와 61%의 돌연변이 유발 억제작용을 나타내어 일반 콩나물에 비하여 2 배 정도의 항돌연변이 효과가 있음을 알 수 있었다(p < 0.05).

이와 같이 게르마늄 첨가 재배 콩나물이 일반 콩나물에 비하여 항돌연변이 효과가 높은 것은 Kim 등(3)의 연구에서처럼 게르마늄뿐만 아니라 vitamin C, dietary fiber, total phenolics 등과 같은 생리활성 효과가 뛰어난 물질의 함량이 많기 때문인 것으로 사료된다.

SOS chromotest에 의한 항돌연변이 효과

게르마늄의 항돌연변이 효과 : SOS chromotest는 *E. coli* PQ37에 genotoxin이 작용하여 DNA에 손상을 주게 되면 SOS 반응이 유발되면서 생성되는 β-galactosidase의 활성을 비색정량하여 DNA가 변이원에 손상받는 정도를 측정하는 방법이다(22).

항돌연변이 실험을 하기 전에 4-NQO의 dose response를 행했으며 그 결과 ONPG/PNPP의 발색은 30분으로 하였고 dose에 따른 SOS chromotest 결과로부터 최적 농도인 6 µg/assay를 구하였다.

E. coli PQ37 균주를 사용하여 4-NQO의 돌연변이 유발에 대하여 Ge-132를 5 µg/assay, 10 µg/assay, 50 µg/assay 처리하였을 때 각각 27%, 47%, 57%의 억제율을 나타내었다(Table 6). 따라서 앞서 관찰한 Ames test의 결과와 마찬가지로 게르마늄은 농도가 높아질수록 돌연변이 억제 효과가 증가됨을 알 수 있었다.

게르마늄 콩나물의 항돌연변이 효과 : 게르마늄 용해수로 재배한 게르마늄 콩나물을 일반 콩나물과 비교하여 SOS chromotest를 행한 결과는 Table 7과 같다. 4-NQO를 돌연변이원으로 사용하였을 때 수돗물로 재배한 일반 콩나물의 methanol 추출물은 36~49%의 돌연변이 유발 억제효과를 나타내었으며 품종에 따라서 수박태로 재배한 콩나물이 49%로 높은 돌연변이 유발 억제작용을 나타내었다. 한편 서목태

Table 7. SOS response of methanol extracts from soybean sprout cultured with germanium against 4-nitroquinoline-N-oxide (4-NQO, 6 µg/assay) in *E. coli* PQ37

Samples	β-Galactosidase (β)		Alkaline phosphatase (α)		β/α	SOS induction factor	Inhibition rate (%)
	OD 420	Unit	OD 420	Unit			
Spontaneous	0.229±0.003 ¹⁾	7.6	0.195±0.001	6.5	1.18	1.00	
Control	1.409±0.019	47.0	0.175±0.005	5.8	8.07	6.84	
Eunha-kong H ²⁾	1.049±0.057	37.0	0.194±0.016	6.5	5.41	4.58	39
Subaktae H ²⁾	0.843±0.078	28.1	0.179±0.022	6.0	4.72	4.00	49
Seomoktae H ²⁾	1.015±0.066	33.8	0.183±0.029	6.1	5.56	4.71	36
Seomoktae F ³⁾	1.038±0.018	34.6	0.159±0.011	5.3	6.52	5.52	23
Seomoktae G ⁴⁾	1.105±0.002	36.8	0.241±0.002	8.0	4.59	3.89	51

¹⁾Each value represents mean±SD.

²⁾H-Cultivated with tap water.

³⁾F-Cultivated with underground water at the factory.

⁴⁾G-Cultivated with tap water containing germanium stone powder.

콩으로 수돗물, 지하수 및 게르마늄 용해수로 재배한 콩나물은 각각 36%, 23% 및 51%의 돌연변이 저해율을 나타내어 게르마늄 콩나물이 가장 높은 항돌연변이 작용을 지니고 있음을 알 수 있었다.

이상의 실험 결과 게르마늄 수용액으로 재배한 콩나물은 게르마늄을 함유하게 되고 이로 인하여 우수한 항돌연변이 작용을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 콩나물이 우리의 식생활에서 큰 비중을 차지하고 있으므로 게르마늄 콩나물의 이용은 국민 건강에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

Ames test와 SOS chromotest를 이용하여 유기 게르마늄과 게르마늄을 첨가하여 재배한 콩나물의 항돌연변이 효과를 검토하였다. 균주 *Salmonella typhimurium* TA100에서 AFB₁에 의하여 유발된 돌연변이는 Ge-132와 게르마늄 가루에 의하여 농도 의존적으로 저해 효과가 높게 나타났으며, 특히 유기 게르마늄을 20 mg/plate 첨가하였을 때 대조군에 비하여 87%의 돌연변이 유발 억제율을 나타내었다. 똑같은 실험계에서 게르마늄을 첨가하여 재배한 콩나물의 즙액과 methanol 추출물은 수돗물로 재배한 콩나물에 비하여 돌연변이 유발억제 작용이 유의적으로 높게 나타났다. 또한 직접 돌연변이원인 MNNG와 4-NQO에 의해 유발된 돌연변이는 일반콩나물의 즙액을 200 µL/plate 첨가하였을 때 각각 37~39%, 38~48%의 저해효과를 나타낸 반면 같은 농도에서 게르마늄 콩나물의 즙액은 61%와 75%의 억제율을 나타내어 게르마늄 첨가 콩나물은 간접 돌연변이원뿐만 아니라 직접 돌연변이원에 의해서 유발된 돌연변이도 억제함을 알 수 있었다. 한편 *E. coli* PQ37 균주를 사용한 SOS chromotest에서 유기 게르마늄은 사용된 농도의 증가에 따라 돌연변이 유발 억제작용이 증가하였으며, 게르마늄 콩나물의 methanol 추출물은 일반 콩나물에 비하여 높은 돌연변이 유발 억제작용을 나타내었다. 따라서 Ames test와 SOS chromotest를 통하여 게르마늄을 첨가하여 재배한 콩나물은 수돗물로 재배한 콩

나물에 비하여 항돌연변이 효과가 우수한 것을 알 수 있었다.

문 헌

- Park WK. 1991. *Encyclopedia of foods and food science*. Shin-kwang Publishing Corporation, Seoul. p 403-404.
- Kim EJ, Lee KI, Park KY. 2002. Effects of germanium treatment during cultivation of soybean sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 615-620.
- Kim EJ, Lee KI, Park KY. 2002. Quantity analysis of nutrients in soybean sprouts cultures with germanium. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 1150-1154.
- Mochizuki H, Kada T. 1982. Antimutagenic effect of Ge-132 on γ-ray-induced mutation in *Escherichia coli* B/r WP2 trp⁻. *Int J Radiat Biol Relat Stud Phys Chem Med* 42: 653-659.
- Satoh H, Iwaguchi T. 1979. Antitumor activity of new novel organogermanium compound, Ge-132. *Jap J Cancer Chemother* 6: 79-83.
- Kumano N, Nakai Y, Ishilawa T, Koinumaru S, Suzuki S, Konno K. 1978. Effects of carboxyethylgermanium sesquioxide on the methylcholanthrene-induced tumorigenesis in mice. *Sci Rep Res Inst Tohoku Univ* 25: 89-95.
- Kakefuda T, Yamamoto H. 1978. Modification of DNA by benzo(a)pyrene diol epoxide I. In *Polycyclic Hydrocarbons and Cancer*. Gelboin HV, Tso POP, eds. Academic Press, New York. Vol 2, p 293-304.
- Ishida N, Suzuki F, Hayashi Y. 1979. Antitumor effects of organogermanium compound (Ge-132) in mouse tumors. *Proc Jpn Cancer Assoc* II, Annual Meeting. p 193-201.
- Suzuki F, Brutkiewicz RR, Pollard RB. 1985. Importance of T-cell and macrophages in the antitumor activity of carboxyethyl germanium sesquioxide (Ge-132). *Anticancer Res* 5: 479-483.
- 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, an organic germanium compound. *Microbiol Immunol* 29: 65-74.
- Suzuki F, Brutkiewicz RR, Pollard RB. 1986. Cooperation of lymphokine(s) and macrophages in expression of antitumor activity of carboxyethylgermanium sesquioxide (Ge-132). *Anticancer Res* 6: 177-182.
- DiMartino MJ, Lee JC, Badger AM, Muirhead KA, Mirabelli CK, Hanna N. 1986. Antiarthritic and immunoregulatory activity of spirogermanium. *J Pharmacol Exp Ther* 236:

- 103-110.
13. Aso F, Suzuki F, Ebina T, Ishida N. 1989. Antiviral activity of carboxyethylgermanium sesquioxide (Ge-132) in mice infected with influenza virus. *J Biol Response Mod* 8: 180-189.
 14. Mizushima M, Satoh H, Miyao K. 1985. Some pharmacological and clinical aspects of a novel organic germanium compound Ge-132. 1st Int. Conf. On Germanium. Hanover, Oct. 1984. Lekin Samochowiec, ed. Semmelweis-Verlag.
 15. Suzuki F, Pollard RB. 1984. Prevention of suppressed interferon gamma production in thermally injured mice by administration of a novel organogermanium compound, Ge-132. *J Interferon Res* 4: 223-233.
 16. Maron DM, Ames BN. 1983. Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. *Mutat Res* 113: 173-215.
 17. Ames BN, McCann J, Yamasaki E. 1975. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella* mammalian-microsome mutagenicity test. *Mutat Res* 31: 347-364.
 18. Quillardet P, Hofnung M. 1985. The SOS chromotest, a colorimetric bacterial assay for genotoxins: procedures. *Mutat Res* 147: 65-78.
 19. Baik CW, Ham SS. 1990. Antimutagenic effects of browning products reacted with polyphenol oxidase extracted from apple by using SOS chromotest. *Korean J Food Sci Technol* 22: 618-624.
 20. Miller J. 1972. *Experiments in molecular genetics*. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, New York.
 21. Lee HM, Chung Y, Jung KW, Kim JW, Kwon SK. 1993. Antimutagenic effect of organic germanium (Ge-132) on the mutagenicity of benzo(a)pyrene. *Yakhak Hoeji* 37: 18-29.
 22. Chun HS, Kim IH, Kim YJ, Kim KH. 1994. Inhibitory effect of rice extract on the chemically induced mutagenesis. *Korean J Food Sci Technol* 26: 188-194.

(2004년 3월 16일 접수; 2004년 7월 2일 채택)