

도정분획별 쌀의 항돌연변이 및 항산화 활성

진향숙·유정은·김인호·조정순*
한국식품개발연구원 식품생물공학이화학연구본부
*명지대학교 식품영양학과,

Comparative Antimutagenic and Antioxidative Activities of Rice with Different Milling Fractions

Hyang-Sook Chun, Jung-Eun You, In-Ho Kim and Jung-Soon Cho*
Food Chemistry and Biotechnology Division, Korea Food Research Institute
*Department of Food and Nutrition, Myong-Ji University

Abstract

Antimutagenic and antioxidative activities in the different milling fraction of rice (*Oryza sativa* L., ilpumbyeo) were investigated. Twelve milling fractions including embryo, bran (I, II, III, IV and all) and milled rice (I, II, III, IV and V) were obtained by abrasive milling. Antimutagenic effects of milling fractions against Trp-P-2-induced mutagenicity were shown as $\approx 0\%$ for embryo fraction, 27~86% for bran fractions and 64~95% for milled rice fractions in *Salmonella typhimurium* reversion assay. Milled rice V, inner fraction with 80.9% milling yields, showed the highest antimutagenic activity among milling fractions. Antioxidative activity, measured by peroxide value (POV) of different milling fractions was higher in embryo (28%) and bran fractions (25~34%) than milled rice fractions (6~22%). In terms of thiobarbituric acid (TBA), embryo, bran and milled rice fractions exhibited 14, 5~21 and 6~20% antioxidative activity, respectively. Antioxidative activity, measured by electron donating ability (EDA), was 45% for embryo fraction, 35~40% for bran fractions and 41~65% for milled rice fractions. Antimutagenic activity of milling fractions was correlated with POV ($r = -0.471$, $p < 0.01$) and EDA ($r = 0.609$, $p < 0.001$) but not correlated with TBA. Contents of total phenolic acid and SH were higher in bran and embryo fractions than in milled rice fractions, and were reversely correlated with antimutagenic activity ($r = -0.523$ and -0.451 , respectively, $p < 0.05$).

Key words : rice, milling fractions, antimutagenicity, antioxidative activity

서 론

우리가 주식으로 먹고 있는 쌀 (*Oryza sativa* L., Japonica type)은 당질급원으로만 인식되었으나 최근 들어 쌀의 생리적 기능에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 쌀의 외피를 구성하는 미강은 혈중 콜레스테롤 저하 효과⁽¹⁾, 항산화 효과⁽²⁾, 혈압상승 억제능⁽³⁾ 등의 생리적 기능을 갖고 있음이 밝혀졌다. 쌀전분은 타 전분에 비해 혈당과 인슐린 반응이 낮은 특성을 나타내기 때문에 당뇨병 및 비만 예방에 효과적임이 시사되고 있다⁽⁴⁾. 또한 현미는 미국 국립 암연구소(NCI)의

designer food program에서 암예방에 부분적으로 효과가 있는 식품소재 40개 품목의 하나로 선정되어 있다⁽⁵⁾.

쌀은 도정도에 따라 현미, 5분도미, 7분도미, 백미 (10분도미)로 나누어지는데 백미의 경우 품종에 따라 차이는 있으나 주성분은 당질로 약 77%(이의 78%는 전분)이다⁽⁶⁾. 단백질, 지방, 회분, 펜토산(pentosan) 및 식이섬유와 같은 비전분 구성인자들은 백미보다 현미에 더 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 특히 항산화력을 비롯한 다른 생리활성이 있는 것으로 알려진 비타민 E, 페놀산(phenolic acid), 피틴산(phytic acid) 및 오리자놀(oryzanols; ferulic acid ester of triterpene alcohols) 등은 미강과 배아 부분에 주로 함유되어 있다⁽⁷⁾. 쌀의 배아 및 미강에는 렉틴(lectin) 및 렉틴과 유사한 당단백질이 존재하며⁽⁸⁾, 특성 부위는 알려지지 않았지만 항산화능, 수면효과, 사람의 기분상태를

Corresponding author: Hyang-Sook Chun, Food Chemistry and Biotechnology Division, Korea Food Research Institute, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Songnam-si, Kyonggi-do 463-420, Korea

변화시키는 등 여러 생리활성을 나타내는 것으로 알려진 melatonin(N-acetoxy-5-methoxytryptamine)도 함유되어 있는 것으로 보고되고 있다⁽⁹⁾. 이와 같이 쌀에서 생리적 기능을 나타낼 가능성이 높은 물질은 대부분 배아 및 미강 부분에 집중되어 있으며 이는 미강의 생리적 효과와 잘 일치되는 것으로 보인다.

저자 등⁽¹⁰⁾은 현미의 암예방 효과를 살펴보는 일환으로 현미추출물이 화학적 변이원에 의해 유발된 돌연변이에 대해 억제효과를 나타냄을 보고하였다. 현미 메탄올 추출물을 실리카겔 칼럼 크로마토그래피에 의해 부분 정제한 다음 GC-MS로 분석한 결과, *o*-hydroxy benzyl alcohol, octanoic acid, hexadecanoic acid, 1H-indole-2-carboxylic acid, 1,2-benzenedicarboxylic acid 및 1~2종의 미지물질들로 구성되어 있음을 확인하였다⁽¹¹⁾. 그러나 일상적으로 섭취하는 쌀의 형태인 백미추출물도 트립토판 열분해산물에 의해 유발된 돌연변이에 대해 억제활성을 나타내었으며 현미와 비교할 때 유의적인 차이가 없었다⁽¹²⁾. 이와 같은 차이는 백미의 돌연변이 억제 활성물질이 현미와 다른 성분이거나 또는 동일성분이지만 활성을 저해하거나 상승시키는 제물질들의 분포 및 양적인 차이에서 비롯될 수 있을 것이다. 또한 돌연변이 억제 활성 물질의 동정을 위해 활성물질을 분리, 정제하고자 할 때 여러 성분이 혼합된 분획보다 활성의 정도는 낮아도 방해물질이 상대적으로 적어 간섭효과를 배제할 수 있는 분획으로부터 활성물질을 분리, 정제하는 것이 더 효과적일 수 있다.

따라서 본고에서는 쌀의 돌연변이 억제 활성 물질의 분포를 파악하고 활성물질의 분리 및 정제를 위한 기초단계로서 쌀의 여러 가지 도정분획(milling fractions)별 돌연변이 억제 활성을 측정, 비교하였다. 또한 돌연변이 억제 활성을 나타내는 작용양식의 하나로서 세포외 작용기작에 속하는 항산화 활성을 측정하고 돌연변이 활성과의 상관성을 살펴보았다.

재료 및 방법

재료 및 시약

쌀은 농촌진흥청 작물시험장에서 재배된 1995년도 산 장려품종으로서 일반계의 일품벼를 사용하였다. 돌연변이원으로서 Trp-P-2는 Sigma Chemical Co. (U.S.A.)로부터 구입하였으며, 기타 모든 시약은 특급품 이상을 사용하였다.

도정분획(milling fraction)별 백미 시료의 제조

냉장 보관한 벼의 왕겨를 제현기(Satake rice machine, Japan)로 분리하여 현미를 만들고(도정율 100%), 현미를 다시 도정기(Satake grain testing mill, Japan)로 도정하여 배아, 미강 및 백미 시료를 제조하였다. 배아의 경우 현미를 도정하여 미강을 얻은 다음 미강을 18 mesh 체를 통과시켜 배아와 씨라기를 얻고 14 mesh 체로 배아를 분리하였다. 미강의 경우는 도정율 90.5%의 백미까지 도정하였을 때 소요 시간을 측정하여 이를 4 등분한 시간 간격으로 도정하고 외층으로부터 얻어진 순서대로 미강 I(도정율 97.8%시 생산된 미강), II(도정율 96.2%), III(도정율 93.0%), IV(도정율 90.5%) 시료를 분획하였다. 백미의 경우 도정율을 기준으로 백미 I(90.5%), II(88.1%), III(85.7%), IV(83.3%) 및 V(80.9%)의 시료를 제조하였다. 활성 측정을 위한 도정 분획별 시료추출물의 제조는 전보⁽¹⁰⁾에서와 같이 제조되었다. 제조된 추출물은 dimethyl sulfoxide(DMSO)를 사용하여 시험농도로 조정하여 membrane filter(0.22 µm)로 여과한 다음, -20°C에 저장하면서 사용하였다.

Salmonella typhimurium reversion assay

Maron과 Ames의 방법⁽¹³⁾에 따라 preincubation test를 이용하여 쌀 추출물의 돌연변이 억제 효과를 조사하였다. 멸균된 cap tube에 4% S-9 mix 0.5 mL와 쌀 추출물 0.1 mL, 돌연변이원 0.1 mL, nutrient broth에서 하룻밤 배양된 균주 0.1 mL ($1 \sim 2 \times 10^9$ cells/mL)를 넣고 가볍게 vortex 한 후 37°C에서 20분간 예비 배양하였다. 그런 다음 45°C의 top agar를 2 mL씩 첨가하고 vortex한 후 미리 제조된 글루코스 한천 평판 배지(minimal glucose agar plate) 위에 골고루 도말하여 37°C에서 48시간 배양후 복귀콜로니(revertant)의 수를 측정하였다. 이때 첨가된 Trp-P-2의 농도는 사용한 균주에 대하여 독성을 나타내지 않는 농도로써 0.1 µg/plate로 하였다. 각 실험마다 3개의 평판을 사용하였고 본 실험에 사용한 농도의 쌀 추출물은 돌연변이를 유발하지 않았다. 이때 쌀 추출물의 돌연변이 억제 효과(inhibition rate)는 $[(a-b)/(a-c) \times 100]$ 으로 나타내었는데 여기서 a는 돌연변이원만 있을 때 복귀콜로니수, b는 쌀 추출물과 돌연변이원을 동시에 첨가하였을 때 복귀콜로니수, c는 돌연변이원 및 쌀 추출물 모두 없는 경우의 복귀콜로니의 수이다.

전자공여능(electron donating ability)

Blois 방법⁽¹⁴⁾에 따라 추출물 0.1 mL에 에탄올 0.4 mL를 가한 후 DPPH 용액(4×10^{-4} M) 0.5 mL를 가하여 vortex mixer로 혼합한 다음 517 nm에서 흡광도를

측정하였다. 전자공여능은 대조구에 대한 흡광도의 감소 차로써 나타내었다.

과산화물가(POV)

클로로포름 200 µL에 쌀 추출물을 녹인 다음 0.13 mL의 linoleic acid를 함유한 99% ethanol 10 mL를 가한 후 0.2 M phosphate buffer(pH 7.0) 10 mL를 넣고 증류수로 채워 25 mL로 하였다. 상기액을 cap test tube에 넣고 40 °C에 배양하면서 항산화 활성을 측정하였다. 과산화물가는 시료액 0.1 mL에 75% ethanol 4.7 mL를 넣고 30% thiocyanate액 0.1 mL와 0.02 M 염화제1철(ferrous chloride)의 3.5% 염산 용액 0.1 mL를 가한 다음 3분 후 500 nm에서 흡광도로 측정하였다⁽¹⁵⁾. 항산화 활성은 대조군(쌀 추출물 대신 phosphate buffer 용액 사용군)을 기준으로 하여 얻은 과산화물가와 도정분획별 쌀 추출물이 과산화지질 생성을 억제하여 나타내는 과산화물가와의 차이를 대조군과 비교하여 % inhibition로 나타내었다.

TBA (thiobarbituric acid)가

시료액을 과산화물가 측정시와 같은 방법으로 처리하여 40에서 배양하였다. 즉, 시료액 2 mL를 원심분리관에 넣고 1 mL의 35% trichloroacetic acid와 0.75% TBA 2 mL를 가하여 혼합한 후 100°C 물에 교반하면서 15분간 처리하였다. 흐르는 물에 냉각시킨 후 70% trichloroacetic acid 2 mL를 가한 다음 20분후 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하고 상정액을 532 nm에서 측정하여 TBA가로 나타내었다⁽¹⁶⁾. 항산화 활성은 대조군을 기준으로 하여 얻은 TBA치와 쌀 추출물이 과산화지질의 생성을 억제하여 나타내는 TBA치와의 차이를 대조군과 비교하여 % inhibition으로 나타내었다.

총페놀산 및 SH 농도

총 페놀산함량은 A.O.A.C.법⁽¹⁷⁾을 이용하여 측정하였다. 즉, 시료를 시료 중량 10배의 메탄올로 추출한 다음 3,000 rpm에서 20분간 원심분리하였다. 이 상정액 1 mL에 Folin-Denis시약 5 mL, 포화 Na₂CO₃ 용액 10 mL를 첨가하여 Vortex한 후에 30분간 정치한 다음 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 페놀 화합물의 표준 물질로는 tannic acid를 사용하였다.

SH 농도 측정은 2 M tris buffer(pH 8.2) 1 mL, 0.01 M DTNB(5,5-dithiobis-2-nitro benzoic acid) 0.1 mL 및 메탄올 4 mL에 시료 추출액 0.1 mL를 넣고 24°C에서 15분간 정치하였다. 이것을 600×g에서 30분간 원심분리한 후 상등액을 214 nm에서 흡광도를 측

정하여 SH 농도를 측정하였다⁽¹⁸⁾. 표준 용액으로서 125 mM glutathione 용액을 사용하였다.

통계처리

본 실험의 결과는 평균과 표준 편차로 나타내었고 SAS program을 이용하여 평균값의 유의성 검증은 Duncan's multiple range test로, 변수간의 상관 관계는 Pearson correlation을 이용하여 살펴보았다.

결과 및 고찰

도정분획별 항돌연변이 활성

쌀을 배아와 미강 I, II, III, IV로 나누고 백미를 도정율에 따라 I(90.5%), II(88.1%), III(85.7%), IV(83.3%), V(80.9%)로 제조한 시료를 메탄올로 추출하여 각각의 추출수율을 알아본 결과는 Table 1과 같다. 배아가 15.8%로 추출수율이 가장 높았으며 미강이 7.0~10.4%, 백미는 0.7~1.1%로 가장 낮았다. 백미는 도정율에 따라 추출 수율이 감소하는 경향을 보였다.

쌀의 돌연변이 억제활성 물질 분포를 조사하기 위하여 도정분획별 쌀 추출물의 돌연변이 억제활성을 Salmonella typhimurium reversion assay에 의해 살펴본 결과는 Fig. 1과 같다. Trp-P-2로 유도된 변이원성에 대해 도정분획별 억제활성을 살펴본 결과, 배아는 돌연변이 억제 활성이 거의 없었으며, 미강은 외층인 분획 I 및 II가 억제활성 51.1~65.0%로 내층인 분획 III 및

Table 1. Yields of methanol extract from rice with different milling fractions

Milling fractions	Extraction yield ¹⁾ (%)
Bran	
I	7.0
II	10.4
III	10.4
IV	9.3
all	9.2
Milled rice	
I	1.1
II	1.0
III	1.0
IV	0.9
V	0.7
Embryo	15.8

¹⁾Amount of extracts (g)/100 g rice×100
 bran I (2.2% bran removal from brown rice), bran II (3.8% bran removal from brown rice), bran III (7.0% bran removal from brown rice), bran IV (9.5% bran removal from brown rice), bran all (I+II+III+IV), milled rice I (90.5% milling yields), milled rice II (88.1% milling yields), milled rice III (85.7% milling yields), milled rice IV (83.3% milling yields), milled rice V (80.9% milling yields).

IV의 27.4~46.8% 보다 높았다. 백미는 64.4~94.8%의 억제활성을 나타내었으며, 내층으로 갈수록 활성은 증가하여 분획 V의 억제활성이 94.8%로 가장 높았다. 미강과 백미를 비교해 볼 때, 미강의 외층보다는 백미의 내층으로 갈수록 유의적으로 더 강한 활성을 보였다.

이상의 결과를 살펴보면 추출물당 비활성(specific activity)은 미강, 배아, 현미보다 백미가 높은 것으로 나타났다. 그러나 실생활에서 섭취하는 양을 기준으로 생각해보면 현미, 미강 및 배아의 추출수율이 약 7~10 배 높기 때문 단위 조리가공품당 활성은 현미, 미강 및 배아가 더 높을 수 있다고 본다. 또한 미강을 모두 합친 부분의 억제 활성이 미강 각각의 도정분획 보다 더 높은 활성을 나타낸 것으로 보아 공존하고 있는 물질들 간의 상호 작용이 전체 활성에 미치는 영향도 클 것으로 생각된다.

도정분획별 항산화 활성

돌연변이의 시작 및 발전 단계에 있어서 산화 과정 유래의 활성 free radical, 활성산소 및 carbonyl com-

pounds들의 작용기작은 명확히 구명되지는 않았지만 역할을 하는 것으로 알려져있다⁽¹⁹⁾. 특히 활성 free radical은 DNA의 화학적 변환과 손상에 직접 관여하며, 막지질의 과산화 산물인 aldehydes (malondialdehyde, 2-hexanal, 4-hydroxy-2-pentanal, 2,4-hexadienal, 4-hydroxy-2-nonenal)는 돌연변이성 물질로 알려져 있다⁽²⁰⁾. 이에 대해 많은 종류의 항산화 물질들은 돌연변이를 효과적으로 억제하는 것으로 보고되고 있다⁽¹⁹⁾. 항산화 물질들은 산화 작용을 억제하면서 돌연변이원성 물질의 생성을 저지하거나 돌연변이원성을 억제 또는 불활성화 시키는 desmutagen으로서 역할을 하는 것으로 알려져 있으므로 도정분획별 항산화 활성을 조사하였다(Table 2).

과산화물가 측정에 의한 항산화 활성의 경우 배아는 27.6%, 미강분획 I, II, III 및 IV는 각각 25.9, 31.1, 25.4 및 34.1%이었으며, 백미 분획 I, II, III, IV 및 V는 각각 5.8, 3.1, 9.6, 18.6 및 21.6%로 배아와 미강이 백미보다 활성이 높은 경향이였다. 이는 Osawa 등⁽²¹⁾이 쌀을 쌀겨, 배아와 미강, 백미로 나누어 thiocyanate방법에 의해 항산화능을 측정된 결과 쌀겨와 배아 미강 부분에서 더 강한 활성을 나타내었다는 보고와 일치하였다.

지방산의 자동 산화에 의해 형성되는 malonaldehyde

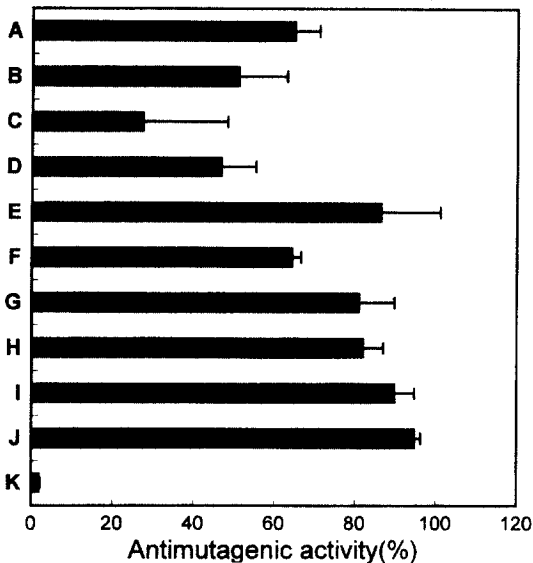


Fig. 1. Inhibitory effect of rice with different milling fractions against Trp-P-2-induced mutagenicity by *S. typhi-murium* reversion assay. A, bran I (2.2% bran removal from brown rice); B, bran II (3.8% bran removal from brown rice); C, bran III (7.0% bran removal from brown rice); D, bran IV (9.5% bran removal from brown rice); E, bran all (I+II+III+IV); F, milled rice I (90.5% milling yields); G, milled rice II (88.1% milling yields); H, milled rice III (85.7% milling yields); I, milled rice IV (83.3% milling yields); J, milled rice V (80.9% milling yields); K: embryo.

Table 2. Antioxidative activities in different milling fractions of rice

Rice milling fractions	Antioxidative activity (%)		
	EDA ¹⁾	POV ²⁾	TBA ³⁾
Bran			
I	41.5 ± 0.74 ^{d)}	25.9 ± 0.38 ^c	12.2 ± 2.38 ^{ab}
II	40.0 ± 0.94 ^{d)}	31.1 ± 3.45 ^{ab}	17.5 ± 3.10 ^a
III	40.6 ± 1.10 ^{d)}	25.4 ± 0.17 ^c	20.5 ± 8.62 ^a
IV	34.4 ± 3.01 ^c	34.1 ± 2.18 ^a	7.5 ± 8.99 ^{abc}
all	40.4 ± 0.75 ^{d)}	14.4 ± 2.91 ^{cd}	4.5 ± 5.69 ^c
Milled rice			
I	41.5 ± 2.05 ^{d)}	5.8 ± 3.49 ^{sh}	6.2 ± 14.63 ^{abc}
II	54.3 ± 0.91 ^{b)}	3.1 ± 3.84 ^h	20.1 ± 5.10 ^{ab}
III	52.8 ± 0.74 ^{b)}	9.6 ± 3.43 ^{yz}	13.8 ± 2.18 ^{ab}
IV	54.1 ± 2.26 ^{b)}	18.6 ± 2.80 ^{de}	6.4 ± 4.09 ^{abc}
V	65.1 ± 0.65 ^{a)}	21.6 ± 3.17 ^{cd}	13.3 ± 2.10 ^{ab}
Embryo	45.9 ± 0.72 ^{c)}	27.6 ± 1.23 ^{b)}	14.0 ± 11.83 ^{bc}

¹⁾Antioxidant activity (%) was expressed as $100 \times$ difference of absorbance between reactant of extracts and control.

²⁾Antioxidant activity (%) = $(C_m - P_m / C_m) \times 100$, where C_m and P_m are POV mean values measured in the absence and presence of rice extract, respectively.

³⁾Antioxidant activity (%) = $(C_m - T_m / C_m) \times 100$, where C_m and T_m are TBA mean values measured in the absence and presence of rice extract, respectively.

⁴⁾Means with the same letter in the same columns are not significantly different by Duncan's multiple range test.

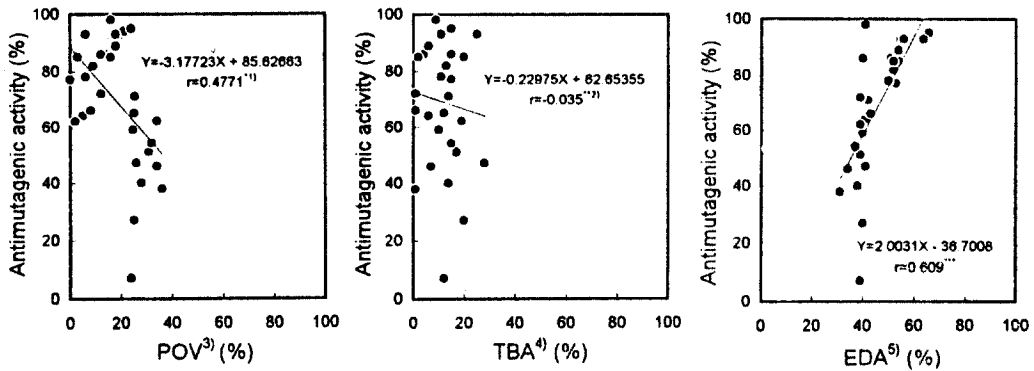


Fig. 2. The correlations between antimutagenic activity and antioxidative activities (POV, TBA, EDA). ¹⁾Pearson's correlation coefficients(* : p<0.01, ** : p<0.001) ²⁾Not significant ³⁾Antioxidant activity (%) = $(C_m - P_m / C_m) \times 100$, where C_m and P_m are mean values of POV measured in the absence and presence of rice extract, respectively. ⁴⁾Antioxidant activity (%) = $(C_m - T_m / C_m) \times 100$, where C_m and T_m are TBA ⁵⁾Antioxidant activity (%) was expressed as $100 \times$ difference of absorbance between reactant of extracts and control.

가 thiobarbituric acid와 착색하여 복합체를 형성하는 원리를 이용한 TBA가 측정에 의한 항산화 활성은 배아 14.0%, 미강분획 I, II, III 및 IV는 각각 12.2, 17.5, 20.5 및 7.5%이었다. 백미분획 I, II, III, IV 및 V는 각각 6.2, 20.1, 13.8, 6.4 및 13.4%로 나타나 배아, 미강, 배유간 억제 활성의 차이가 거의 없었다.

항산화제로 작용하는 물질을 안정한 free radical인 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH)을 hydrazin의 형태로 환원시키는 능력을 측정하는 전자공여능은 배아 45.9%, 미강분획 I, II, III 및 IV가 각각 41.5, 40.0, 40.6 및 34.5%, 백미분획 I, II, III, IV 및 V가 각각 41.5, 54.3, 52.8, 54.1 및 65.1%로 나타났다. 전자공여능에 의한 항산화활성은 배아, 미강보다는 백미 부분에서, 도정율이 낮을수록 더 강한 활성을 나타내었다. 이상으로부터 쌀의 항산화활성은 도정율이 증가할수록 지질의 과산화 산물인 aldehyde와 peroxide의 생성에 대해 활성을 나타내지만, radical 생성에 대한 저해 효과는 도정율이 감소할수록 활성이 증가하는 것으로 보인다.

일반적으로 쌀의 배아 및 미강에는 오리자놀, 토코페롤 및 피탄산성분이 함유되어 있어 이들 물질이 항산화효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다¹⁹⁾. 또한 쌀의 페놀성물질로 함량이 가장 높은 ferulic acid는 항산화효과뿐만 아니라 산성상태에서 이차성 amine과 nitrite로부터 nitrosamine의 형성을 억제하는 것으로 알려져 있다²¹⁾. 그러나 위의 결과에서 과산화물 측정에 의한 항산화 활성외에는 배아 및 미강분획의 활성이 낮았으며, 오리자놀, 토코페롤, 피탄산 및 ferulic acid 각각의 돌연변이 억제효과는 크지 않았다(결과 미

제시). 이는 이들 성분외에 돌연변이 억제 활성을 나타내는 타성분의 존재를 간접적으로 시사해주는 결과라 할 수 있겠다. 최근에는 24가지 식품을 대상으로 항산화력을 나타내는 물질로 알려진 melatonin의 함량을 radioimmunoassay법으로 분석한 결과, 쌀에 비교적 함량이 높은 것으로 나타났으며 이물질 자체가 강한 돌연변이 억제효과를 나타내는 것으로 보고되고 있어⁹⁾ 향후 이성분과 쌀의 항돌연변이 활성과의 상관성을 밝히는 연구가 요망된다.

항돌연변이 활성과 항산화 활성과의 상관성

돌연변이 억제 활성과 항산화 활성과의 상관 관계를 검토해 본 결과는 Fig. 2와 같다. 쌀의 돌연변이 억제 활성은 전자공여능과는 양의 상관관계($r = 0.609$, $p < 0.001$)를 나타내었고, 과산화물 측정에 의한 항산화 활성은 음의 상관관계($r = -0.471$)를 나타내었으나 TBA가 측정에 의한 항산화 활성은 유의적인 상관성이 없었다.

도정분획별 페놀산과 SH 함량

쌀의 도정분획별 페놀산 함량과 총 SH의 함량을 분석하고, 이들 물질들의 함량과 항돌연변이 활성간의 상관성을 Table 3에 나타내었다. 메탄올 추출물 g당 페놀산은 배아, 미강 및 백미 분획이 각각 13.3, 17.3~25.8 μg 및 0.1~6.8 μg이었고, SH함량은 35.4, 24.0~45.2 및 10.3~19.4 μg으로 나타나 미강 및 배아가 백미보다 높았고, 백미의 경우 도정율이 높을수록 함량이 증가하였다. 이들 물질들의 함량과 돌연변이 억제활성과는 음의 상관성을 보였으며, 과산화물 측정에 의

Table 3. Contents of total phenolics and SH in different milling fractions of rice ($\mu\text{g/g}$ extract)

Milling fractions	Total phenolics ¹⁾	SH ²⁾
Bran		
I	22.3 \pm 1.11 ^a	45.2
II	17.3 \pm 0.23 ^{ba}	40.6
III	20.1 \pm 8.08 ^{ba}	25.8
IV	20.2 \pm 3.39 ^{ba}	24.0
all	25.8 \pm 10.31 ^a	32.3
Milled rice		
I	6.8 \pm 3.39 ^c	10.3
II	4.4 \pm 0.23 ^d	16.3
III	6.3 \pm 2.60 ^{dc}	19.0
IV	5.7 \pm 1.33 ^{dc}	19.4
V	0.1 \pm 0.57 ^d	-
Embryo	13.3 \pm 4.81 ^{b3)}	35.4

¹⁾Tannic acid equivalent

²⁾Glutathione equivalent

³⁾Values within the same column with different superscripts are significantly different at $p < 0.01$, by Duncan's multiple range test.

한 항산화활성과 양의 상관관계를 나타내어 항산화활성을 측정된 결과와 일치하였다.

요 약

본 연구에서는 백미의 돌연변이 억제 활성 물질의 분포 및 정제를 위한 기초자료를 마련하고, 세포외 작용기작의 하나인 항산화활성과의 상관성을 살펴보기 위해 일품벼를 도정분획별로 분획한 다음 돌연변이 억제 활성 및 항산화 활성을 조사하였다. Salmonella typhimurium reversion assay를 이용하여 Trp-P-2로 유도된 변이원성에 대해 도정분획별 돌연변이 억제 활성을 살펴본 결과, 미강에서는 외층으로 갈수록, 백미에서는 내층으로 갈수록 더 강한 돌연변이 억제 활성을 보였다. 과산화물가(POV) 측정에 의한 항산화 활성은 배아와 미강 부분이 백미보다 더 활성이 강한 것으로, TBA치로 측정된 항산화 활성은 백미의 경우 6~20%로 낮았으며 배아, 미강, 배유는 거의 활성이 없었다. 전자공여능(EDA) 측정으로 살펴본 항산화 활성은 배아(45%), 미강(35~40%)보다는 백미(41~65%)에서, 도정율이 낮을수록 더 강한 활성을 나타내었다. 돌연변이 억제 활성은 전자공여작용과는 양의 상관성($r = 0.609$)을 과산화물가와는 음의 상관성($r = -0.471$)을 나타내었고 TBA치 측정에 의한 항산화 활성과는 유의적인 상관성이 없었다. 도정분획별 페놀산 및 SH함량은 미강 및 배아가 백미에 비해 높았고, 백미에서는 내층으로 갈수록 함량이 낮아 돌연변이 억제 활성과 음의 상관성을 보였다.

문 헌

- Kahlon, T.S., Saunders, R.M., Chow, F.I., Chiu, M.C. and Betschart, A.A. Effect of rice bran and oat bran on plasma cholesterol in hamsters. *Cereal Foods World* 34: 768 (1989)
- Osawa, T., Narasimha, R., Kawakishi, S., Namaki, M. and Tashiro, T. Antioxidative defense systems in rice hull against damage caused by oxygen radicals. *Agric. Biol. Chem.* 49: 3085-3087 (1985)
- Muramoto, G. and Kawamura, S. Rice protein and anti-hypertensive peptide(angiotensin converting enzyme inhibitor) from rice. *Nippon Shokuhin Kogyo* 34: 18-26 (1991)
- Capro, P.A., Reaven, G. and Olefsky, J. Postprandial plasma-glucose and -insulin responses to different complex carbohydrate. *Diabetes* 26: 1178-1183 (1977)
- Caragay, A.B. Cancer-preventive foods and ingredients. *Food Technol.* 47: 65-68 (1992)
- Anderson, M.A., Cook, J.A. and Stone, B.A. Enzymatic determination of 1, 3; 1,4- β -glucans in barley grain and other cereals. *J. Inst. Brew* 84: 233-239 (1978)
- Stinissen, H.M., Peumans, W.J. and Carlier, A.R. Occurrence and immunological relationships of lectins in gramineous species. *Planta* 159: 105-111 (1983)
- Juliano, B.O. and Bechtel, D.B. The gross composition of rice grain and its milling fractions. p. 37. In: *Rice chemistry and technology*, 2nd ed., Juliano, B. O. (Ed.) The American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA (1985)
- Hattori, A., Migitaka, H., Iigo, M., Itoh, M., Yamamoto, K., Ohtani-Kaneko, R., Hara, M., Suzuki, T. and Reiter, R.J. Identification of melatonin in plants and its effects on plasma melatonin levels and binding to melatonin receptors in vertebrates. *Biochem. Mol. Biol. Int.* 35: 627-634 (1995)
- Chun, H.S., Kim, I.H., Kim, Y.J. and Kim, G.W. Inhibitory effect of rice extract on the chemically induced mutagenesis. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26: 188-194 (1994)
- Kim, I.H., Chun, H.S. and Moon, T.W. Constituents of antimutagenic factor from brown rice. *Agric. Chem. Biotech.* 38: 478-483 (1995)
- You, J.E., Chun, H.S. and Cho, J.S. A comparison of inhibitory effects in brown and white rice(*Oryza sativa* L.) against mutagenicity induced by tryptophane pyrolysis. *J. Korean Dietetic Association* 3: 105-111 (1997)
- Maron, D.M. and Ames, B.N. Revised methods for the salmonella mutagenicity test. *Mutat. Res.* 113: 173-215 (1983)
- Blois, M. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200 (1958)
- Mitsuda, H., Yasumoto, K. and Iwami, K. Antioxidative action of indole compounds during the autoxidation of linoleic acid. *Eiyu to Shokuryu* 19: 210-215 (1966)
- Ottolenghi, A. Interaction of ascorbic acid and mitochondrial lipids. *Arch. Biochem. Biophys.* 79: 355-363

- (1959)
17. A.O.A.C. Official Methods of Analysis, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. USA (1990)
 18. Sedlak, J. and Lindsay, R.H. Estimation of total protein-bound and non protein-bound sulfhydryl groups in tissue with Ellman's reagent. *Anal. Biochem.* 25: 192-205 (1968)
 19. Namiki, M. Antioxidants/antimutagens in foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutrition* 29: 273-295 (1990)
 20. Yamaguchi, T. and Yamaguchi, Y. Mutagenic activity of autoxidized linoleic and linolenic acid. *Agric. Biol. Chem.* 43: 2225-2226 (1979)
 21. Johnson, I.T., Williamson, G. and Musk, S.R.R. Anticarcinogenic factors in plant foods: a new class of nutrient? *Nutr. Res. Rev.* 7: 175-204 (1994)
-
- (1999년 3월 5일 접수)