

여러 가지 특수미의 항산화 활성 및 항산화 성분

서선정 · 최용민 · 이선미 · 공수현 · 이준수*

충북대학교 식품공학과

Antioxidant Activities and Antioxidant Compounds of Some Specialty Rices

Sun Jung Seo, Youngmin Choi, Seon-Mi Lee, Suhyun Kong, and Junsoo Lee*

Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract

The objectives of this study were to determine antioxidant activity of the methanolic extracts from some specialty rices and to investigate relationships between antioxidant activities and antioxidant contents in the extracts. ABTS (2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)) radical cation scavenging activity, inhibitory effect on lipid peroxidation, chelating activity, reducing power and inhibitory effect on xanthine oxidase have been used to investigate the relative antioxidant activity of the extracts from specialty rices. The concentrations of total polyphenolics, phytic acid, and anthocyanin in the extracts were measured by spectrophotometric methods and vitamin E analysis was carried out by HPLC. The methanolic extracts prepared from black and red rices showed higher antioxidant activities and contained higher antioxidant compounds compared with other rices, apparently due to their intense red-purple color. The correlation coefficient between total polyphenolic content of methanolic extracts and ABTS radical cation scavenging activity, reducing power, and inhibitory effect of xanthine oxidase were 0.9921, 0.9856, and 0.8032, respectively.

Key words: rice, antioxidant activity, antioxidant compound, correlation

서 론

식생활의 다양화와 고급화로 매년 쌀 소비량이 감소하여 쌀의 소비중대가 절실히 요구되고 있는 실정이며, 또한 쌀 시장 개방으로 인한 농촌의 사회적·경제적 문제점을 해결하기 위해서는 쌀의 1차 기능인 에너지 공급원으로서 뿐만 아니라 생리활성이 풍부한 쌀 품종이 개발되어야 할 필요성이 대두되었다. 이와 같은 필요성에 부응하여 유색미, 거대배아미, 고아미 등 다양한 종류의 특수미가 개발되었다. 유색미는 DNA 손상억제, 발암억제 및 높은 항산화 활성을 나타내는 탄닌계 및 안토시아닌계 색소를 상당량 함유하는 것으로 보고되고 있다(1-3). 거대배아미는 배아의 크기가 큰 만큼 양질의 단백질과 비타민 그리고 필수지방산이 종실의 어느 부분보다도 다량 집적되어 있어 항산화 성분 등 생리활성 물질의 함량이 일반미에 비하여 상대적으로 높다(4). 고아미는 난소화성 다당류의 함량이 일반미에 비해 2배 이상 높은 육성 품종으로 in vivo에서 체중 및 중성지방과 혈당 감소효과를 나타내는 것으로 보고되었다(5,6).

쌀에는 식이섬유, phytic acid, ferulic acid, polyphenolics, vitamins, γ -oryzanol 등 기능성 성분들을 함유하고 있으며

이 성분들이 생체 내 우수한 기능을 나타낸다는 것이 최근 연구결과에 의해 증명되었다(7). 쌀에 존재하는 폴리페놀 화합물은 저분자 항산화 물질로 caffeic, ferulic, p -coumaric, sinapic acid 등이 대표적이다(8). 비타민 E는 식물로부터 합성되어지는 천연 항산화제로 쌀의 배아 및 미강층에 상당히 함유되어 있다. 비타민 E는 세포막내 불포화지방산의 산화를 방지하고 혈중 콜레스테롤을 저하시켜 만성질환의 예방에 효과적인 것으로 밝혀지고 있다(9). 또한 흑자색 유색미의 색소 성분인 안토시아닌계 화합물은 항산화 효과가 가지고 있으며 노화억제, 망막장애의 치료 및 시력개선 효과 등 다양한 생리활성을 갖는 것으로 보고됨에 따라 인체에 무해한 천연색소 및 기능성 소재로서 각광받고 있다(10).

지금까지 쌀의 생리활성에 대한 연구가 활발히 진행되었는데 Chun 등(11)은 현미 methanol 추출물이 농도 의존적으로 항돌연변이 활성을 나타내는 것을 보고하였고 Shon 등(12)은 시판 쌀의 항혈전 활성과 항산화 활성을 연구하였다. 또한 Choi 등(13)은 유색미 겨 추출물이 일반미에 비해 항염증 활성이 약 5배 높음을 보고하였으며 Abdel-Aal 등(14)은 유색미 중 흑미가 적색미에 비해 우수한 항산화력을 나타내는 것으로 보고하였다.

*Corresponding author. E-mail: junsoo@chungbuk.ac.kr
Phone: 82-43-261-2566, Fax: 82-43-271-4412

본 연구에서는 적색미, 거대배아미, 흑미, 녹미, 고아미, 현미, 백미의 항산화 활성과 항산화 성분을 분석하고 항산화력과 항산화 성분 간의 상관성을 비교·분석하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 실험에 사용된 일반미, 즉 백미(milled rice), 현미(brown rice)와 현미 상태인 특수미, 즉 적색미(적진주벼, Jeogjinjubyeo), 거대배아미(큰눈벼, Keunnunbyeo), 흑미(흑진주벼, Heugjinjubyeo), 녹미(green rice), 고아미(고아미2호, Goami2)는 수원 농촌진흥청에서 제공받아 사용하였다. 항산화 성분 분석과 활성측정에 사용된 ABTS(2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)), xanthine oxidase, linoleic acid, ferrozine, gallic acid 및 phytic acid는 Sigma(St. Louis, MO, USA)에서 vitamin E는 Merck사(Darmstadt, Germany)에서 구입하여 사용하였다. 그 밖에 사용된 추출용매 및 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

Methanol 추출물의 제조

마쇄된 시료 10 g에 methanol 200 mL을 가한 뒤 상온에서 24시간 추출하였다. 추출 후 고형분은 Toyo No.2 여과지를 이용하여 분리하였고 상정액은 감압농축기(EYELA, Tokyo, Japan)를 사용하여 40°C 이하에서 감압 농축하여 용매를 완전히 제거하였다. 건조함량법을 이용하여 수율을 측정 후 추출물은 methanol로 재 용해하였다. 각 추출물은 질소 충전 후 -20°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 polyphenol 함량 측정

총 polyphenol의 함량은 각 추출액 100 μ L에 2% Na_2CO_3 용액 2 mL를 가하고 3분 방치한 후 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 μ L를 가하였다. 30분 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고 표준물질로 gallic acid를 사용하였다(15).

비타민 E 분석

추출물의 비타민 E 분석은 methanol 추출물 일정량을 질소가스를 이용하여 증발시킨 후 다시 동량의 이동상으로 재 용해하여 순상 HPLC에 주입하였다(16). HPLC 장치로는 solvent delivery pump M930(Young Lin Instrument Inc, Korea)과 형광검출기(LC305, Thermo Separation Products Inc, CA, USA)를 이용하였으며, 분석 컬럼은 Merck사로부터 LiChrosphere[®] Diol 100 column(250 \times 4 mm, i.d. 5 μ m, Hibar Fertigsäube RT, Darmstadt, Germany)을 구입하여 사용하였다. 형광검출기의 excitation wavelength는 290 nm, emission wavelength는 330 nm를 이용하였고 이동상은 1.3% isopropanol을 함유한 *n*-hexane을 사용하였으며 유

속은 1.0 mL/min이었다.

Phytic acid 분석

Phytic acid 함량은 phytic acid와 반응하고 남은 Fe^{3+} 과 2,2'-bipyridine과의 반응정도를 측정하는 방법이다(17). 일정량의 시료에 0.2 N HCl 20 mL을 가해 3000 rpm에서 20분 동안 원심분리한 뒤 분리된 상정액 500 μ L에 ferric solution 1 mL를 가하고 100°C water bath에서 30분간 가열한 후 냉각시켰다. 위 반응액을 5분 동안 10000 rpm에서 원심 분리하여 상정액 1 mL을 취해 1.5 mL의 2,2'-bipyridine solution과 정확히 1분 동안 반응시킨 후 흡광도 519 nm에서 측정하였다. 표준물질로는 phytic acid를 사용하였다.

Anthocyanin 분석

일반미와 특수미 메탄올 추출물의 총 안토시아닌 함량은 Türker와 Erdoğan(18)의 방법을 사용하였다. 시료에 0.1% HCl이 포함된 methanol 10 mL을 가하여 2시간 동안 혼합하여 4500 rpm에서 20분 동안 원심분리한 후 상정액을 취해 anthocyanin 분석 시료로 사용하였다. 위 추출물 1 mL에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0) 1 mL 혹은 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5) 1 mL를 각각 혼합하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm와 700 nm에서 측정하였다. 일반미와 특수미의 총 안토시아닌 함량(mg/L)은 cyanidin-3-glucoside의 몰흡광계수($\epsilon=26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 아래의 식에 의해 산출하였다.

$$\text{Anthocyanin content (mg/L)} = \frac{A \times \text{MW} \times 1,000}{\epsilon \times V}$$

A (Absorbance) = $(A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$

MW (Molecular weight of cyanidine-3-glucoside) = 449.2

$\epsilon = 26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$

V = 추출물의 부피

ABTS radical을 이용한 총 항산화력의 측정

총 항산화력의 측정은 Re 등(19)의 방법에 의해서 측정하였다. ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소 방치하여 $\text{ABTS} \cdot^+$ 을 형성시킨 후 이 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 1.5가 되도록 몰 흡광계수($\epsilon = 1.6 \times 10^4 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 methanol로 희석하였다. 희석된 $\text{ABTS} \cdot^+$ 용액 1 mL에 추출액 20 μ L를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. 0.1 mM ascorbic acid를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 시료의 항산화력(AEAC, ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)을 계산하였다.

환원력의 측정

환원력은 Mau 등(20)의 방법에 의해 측정하였다. Methanol 추출물 250 μ L에 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.6) 250 μ L, 1% potassium ferricyanide($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) 250 μ L를

각각 혼합하여 50°C에서 20분 동안 반응시킨 후 1% tri-chloroacetic acid(CCl₃COOH, w/v)를 가하였다. 위 반응액을 1000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상정액 500 µL에 증류수 500 µL를 혼합하고, 0.1% ferric chloride(FeCl₃ · 6H₂O) 100 µL를 가하여 반응액의 흡광도 값을 700 nm에서 측정하였다.

지질과산화 억제능 측정

쌀 methanol 추출물에 의한 linoleic acid 에멀전 기질에서의 과산화물 생성 억제효과를 측정하였다. 먼저 linoleic acid 에멀전 기질을 제조하는 방법으로는 linoleic acid 2.51 g을 99.5% ethanol 100 mL에 용해시킨 후 2.05 mL씩 취하여 conical tube에 넣고 각각의 쌀 추출물 2 mL을 첨가한 후, 0.05 M phosphate buffer(pH 7.0) 4 mL, 증류수 1.95 mL를 가하여 40°C 항온기에 저장하면서 일정시간 동안 생성된 지질과산화 정도를 thiocyanate법에 의해서 측정하였다(21). 측정방법으로는 75% ethanol 4.7 mL에 각 시료 0.1 mL과 30% ammonium thiocyanate 0.1 mL을 넣고, 정확히 3분 후 0.02 M ferrous chloride 함유한 3.5% HCl 용액 0.1 mL를 첨가하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였으며 계산식은 다음과 같다.

$$\text{지질과산화 억제력 (\%)} = 1 - \frac{\text{OD sample}}{\text{OD control}} \times 100$$

금속이온 제거능 측정

금속이온 제거능은 Yena 등(22)의 방법을 변형하여 측정하였다. 각 추출물 1 mL에 2 mM ferrous chloride와 5 mM ferrozine을 각각 100 µL씩 가하여 흡광도 값의 조정을 위해 methanol을 일정량 혼합하였다. 10분간 상온에서 방치한 후 562 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하여 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차를 백분율로 표시하여 금속이온 제거능으로 나타내었다.

Xanthine oxidase 억제능 측정

Xanthine oxidase의 억제능은 Duke 등(23)의 방법에 따라 측정하였다. Phosphate buffer(0.1 M, pH 7.4)에 0.4

unit/mL의 xanthine oxidase와 쌀 추출물을 첨가하여 37°C에서 20분간 pre-incubation을 실시하였다. 이 용액에 1 mM xanthine을 첨가하여 30°C에서 20분간 반응시킴으로써 생성되는 uric acid의 양을 흡광도 295 nm에서 측정하였다.

결과 및 고찰

곡류 메탄올 추출물의 항산화 성분

일반미와 특수미의 methanol 추출물의 수율은 Table 1에 나타내었다. 각 시료의 수율은 고아미 5.55%를 비롯하여 거대배아미 4.80, 녹미 4.37, 흑미 3.70, 적색미 3.40, 현미 3.39를 나타냈으며, 백미가 1.40%로 가장 낮은 값을 보였다. Zieliński 등(24)은 methanol을 추출용매로 사용하였을 경우 그 추출물의 높은 항산화 활성과 항산화 성분 함량을 보고하였다. 그 외의 여러 연구 결과에 의하면 추출에 사용된 용매의 극성이 증가할수록 유용 성분의 추출률이 높아지며 물 추출물보다는 aqueous methanol과 ethanol을 사용하였을 경우 추출물의 활성이 증가하는 것으로 보고되었다(25,26). 따라서 본 연구에서는 methanol을 추출용매로 택하여 다양한 활성 성분을 추출하고 식물에 존재하는 산화 혹은 가수분해 효소를 불활성화시킴으로써 특수미에 존재하는 생리활성물질의 손실을 최소화하고자 하였다.

특수미의 methanol 추출물의 항산화 성분 함량은 일반 백미 및 현미와 비교하여 Table 1에 나타내었다. 곡류는 다량의 polyphenol을 함유하며 이들이 체내에서 여러 생리활성을 나타내는 것은 널리 알려진 사실이다. 따라서 쌀의 methanol 추출물의 polyphenol 함량을 분석함으로써 항산화 활성과의 상관성을 분석하는 것은 중요하다. 일반 백미와 현미의 총 polyphenol 함량은 각각 15.15와 57.96 mg/100 g으로 상대적으로 도정 비율이 낮은 현미가 높은 함량을 나타내었다. 특수미의 경우 흑미가 444.38 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 나타내었으며 적색미, 거대 배아미, 고아미, 녹미가 각각 239.67, 68.18, 65.02, 56.58 mg/100 g의 함량을 나타내었다. 흑미와 적색미의 경우 다른 곡류에 비해 다량의 polyphenol 함량을 나타내었는데 이는 위 두 유색미에 존재

Table 1. Antioxidant compounds of methanolic extracts obtained from specialty rices and extraction yields

| Source | Polyphenolics ¹⁾ | Vitamin E ²⁾ | Anthocyanin ³⁾ | Phytic acid ⁴⁾ | Yield (%) |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|
| Milled rice | 15.15 | 0.03 | nd ⁵⁾ | 12.95 | 1.40 |
| Brown rice | 57.95 | 0.75 | nd | 23.79 | 3.39 |
| Red rice | 239.67 | 1.62 | nd | 32.91 | 3.40 |
| Giant embryonic rice | 68.18 | 0.57 | nd | 24.35 | 4.80 |
| Black rice | 444.38 | 0.79 | 146.90 | 130.92 | 3.70 |
| Green rice | 56.58 | 0.48 | nd | 40.98 | 4.37 |
| Goami | 65.02 | 1.00 | nd | 31.54 | 5.55 |

¹⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg gallic acid equivalents per 100 g of grain (wet weight basis).
²⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg α-tocopherol equivalents per 100 g of grain (wet weight basis).
³⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg cyanidine-3-glucoside equivalents per 100 g of grain (wet weight basis).
⁴⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg phytic acid per 100 g of grain (wet weight basis).
⁵⁾nd means not detected.

하는 anthocyanin에서 기인되는 것으로 생각한다. 곡류의 항산화 활성을 연구한 Choi 등(27) 역시 다량의 anthocyanin을 함유하고 있는 흑미가 높은 polyphenol 함량을 나타내는 것을 보고하였다.

특수미의 vitamin E 함량은 순상 HPLC를 통해 8가지 유도체를 분리하였으며 그 중 생리활성이 가장 큰 α -tocopherol을 기준으로 그 함량을 α -tocopherol equivalent(α -TE)로 나타내었다(Table 1). 곡류의 배아에 주로 존재하는 vitamin E는 polyphenol 함량과 마찬가지로 상대적으로 고정 비율이 낮은 현미(0.75 mg α -TE/100 g)가 백미(0.03 mg α -TE/100 g)에 비해 높은 vitamin E 함량을 나타내었다. 특수미의 경우 적색미와 고아미가 각각 1.62와 1.00 mg α -TE/100 g의 함량을 나타낸 것을 제외하고 나머지 시료는 0.48~0.79 mg α -TE/100 g의 낮은 vitamin E를 함유하고 있었다. 일반적으로 쌀에는 종실류 및 유지류에 비해 vitamin E 함량이 낮은 것으로 보고되지만 우리나라의 경우 쌀의 섭취빈도가 높아 훌륭한 급원식품이 될 수 있다. 특히 곡류에는 vitamin E 유도체 중 혈중 콜레스테롤의 함량을 낮추는 효과가 가장 큰 tocotrienol의 존재 비율이 다른 식품에 비해 높아 본 연구에 이용된 현미와 특수미는 동맥경화 및 심혈관질환 등의 만성질환 예방에 도움이 될 것으로 생각된다(9).

Phytic acid는 식품 내 무기질의 체내 흡수를 방해하는 항영양소이지만 분자 내에 존재하는 6개의 인산기로 인해 강한 음전하를 띠어 생체막 불포화지방산의 산화에 촉매로 작용하는 전이 금속을 효과적으로 제거하는 대표적인 항산화제이다. Phytic acid는 곡류의 품종에 따라 0.8~6.4% (w/w)정도 함유되어 있는 것으로 보고되었다(28). 일반미와 특수미 methanol 추출물의 phytic acid 함량은 흑미가 130.92 mg/100 g을 나타낸 것을 제외하고 나머지 시료에서 50 mg/100 g 미만의 함량을 나타내었다. Seo 등(29)에 의하면 phytic acid 함량을 백미의 경우 529 mg/100 g, 흑미의 경우 2,163 mg/100 g으로 보고하여 본 연구와는 상당한 차이를 보였다. 이것은 본 연구의 경우 시료 조직으로부터 phytic acid를 직접 추출하지 않고 단지 methanol 추출물에 존재하는 phytic acid만 정량하였기 때문으로 생각한다.

일반미와 특수미의 anthocyanin 함량을 측정된 결과 흑미(146.90 mg/100 g)를 제외한 나머지 시료의 methanol 추출물에서는 검출되지 않았다. 최근 연구에 의하면 흑미에는 다량의 anthocyanin계 색소를 함유하며 그 중 cyanidin-3-glucoside와 peonidin-3-glucoside가 대표적인 성분으로 보고되었다(14). 적색미의 경우 methanol 추출물이 anthocyanin 특유의 적색을 띠었으나 그 함량이 검출되지 않은 것은 본 연구에 적용된 비색법이 검출한계가 높기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 시료의 정확한 anthocyanin 함량을 얻기 위해서는 HPLC 등과 같은 정확성과 정밀성이 높은 방법이 적용되어야 하겠다.

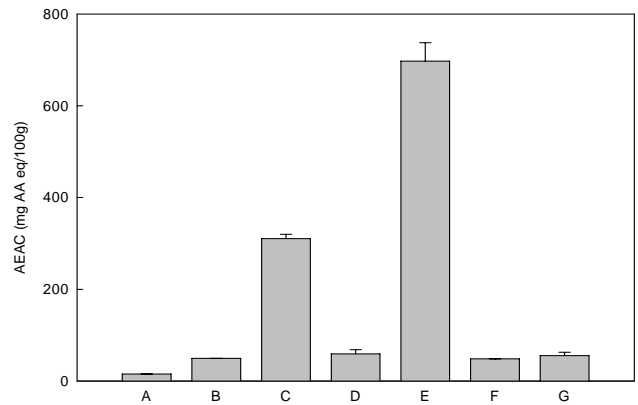


Fig. 1. Scavenging effect of methanol extracts from specialty rices on ABTS radical action.

A: White rice, B: Brown rice, C: Red rice, D: Giant embryonic rice, E: Black rice, F: Green rice, G: Goami.

곡류 메탄올 추출물의 항산화활성

특수미 methanol 추출물의 총 항산화력을 비교한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 총 항산화력은 흑미(697.27 AEAC), 적색미(309.98 AEAC), 거대배아미(59.37 AEAC), 고아미(55.61 AEAC), 현미(49.60 AEAC), 녹미(48.49 AEAC), 백미(15.50 AEAC) 순이었다. AEAC 값이 가장 높은 흑미의 경우 697.27 mg ascorbic acid equivalent per 100 g sample(AEAC)로 표현이 되는데 이것은 흑미 100 g당 ascorbic acid 697.27 mg과 동일한 항산화력을 지니는 것으로 해석할 수 있다. 항산화 성분과의 상관분석결과(Table 2) 총항산화력과 polyphenol 함량과는 양의 상관성이($R^2=0.9921$) 존재하는 것으로 보아 쌀 methanol 추출물의 polyphenol 화합물이 효과적으로 유리라디칼을 제거할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 phytic acid 함량과도 상당히 높은 상관성($R^2=0.8566$)을 나타내는 것으로 보아 methanol 추출물이 체내 지질산화에 촉매 작용을 하는 금속이온들도 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 생각한다.

특수미의 환원력을 측정된 결과 총 항산화력과 마찬가지로 흑미와 적색미가 나머지 특수미에 비해 현저히 높은 환원력을 나타내었다(Fig. 2). 상관관계 분석결과 polyphenol 함량이 증가할수록 환원력도 증가하였는데 이는 흑미와 적색미 methanol 추출에는 수소를 공여함으로써 유리라디칼을 안정화시키고 산화반응을 종결시킬 수 있는 reductone이 함

Table 2. Correlation analysis of antioxidant compounds and antioxidant activities

| | Polyphenolics | Vitamin E | Phytic acid |
|----------------------------------|----------------------|-----------|-------------|
| ABTS | 0.9921 ¹⁾ | 0.1278 | 0.8566 |
| Reducing power | 0.9856 | 0.1458 | 0.7850 |
| Inhibition of lipid peroxidation | 0.1222 | 0.2907 | 0.1577 |
| Chelating effect | 0.1763 | 0.6551 | 0.0365 |
| Inhibition of xanthine oxidase | 0.8032 | 0.3906 | 0.5027 |

¹⁾Correlation coefficient R^2 .

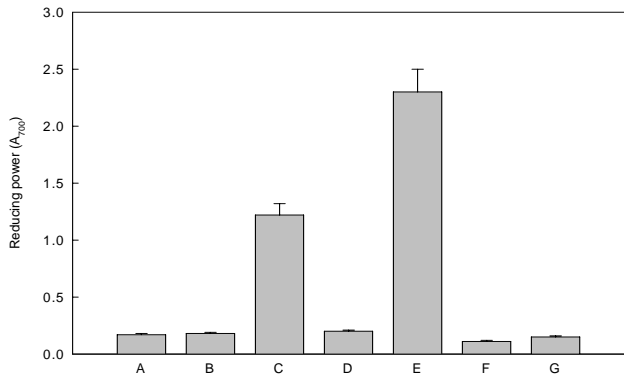


Fig. 2. Reducing power of methanolic extracts from specialty rices. A: White rice, B: Brown rice, C: Red rice, D: Giant embryonic rice, E: Black rice, F: Green rice, G: Goami.

유되어 있는 것으로 생각된다(30).

Linoleic acid의 자동산화시스템을 이용하여 특수미 methanol 추출물의 지질과산화물의 생성 억제효과를 측정하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 흑미가 84.18%로 가장 높은 지질과산화 억제 효과를 나타내었고 그 다음으로 녹미(80.94), 현미(79.80), 거대배아미(70.41), 적색미(70.41), 백미(9.61%) 순이었다. 위의 연구 결과를 토대로 linoleic acid가 생체막 구성 지방산의 하나인 점을 감안할 때 특수미의 methanol 추출물은 생체 내에서 산화적 스트레스에 의해 유발되는 여러 만성질환을 예방에 좋은 소재가 될 수 있음을 시사한다.

특수미 methanol 추출물의 금속이온 제거능을 비교한 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 총항산화력 및 환원력, 지질과산화억제력과는 상이하게 흑미(38.47%)가 아닌 적색미(78.13%)가 가장 높은 금속이온 제거력을 나타내었다. 금속이온 제거능과 본 연구에서 측정된 polyphenol과 vitamin E 등의 항산화 성분 사이에는 상관성이 존재하지 않는 것으로 나타났는데 이것은 금속이온을 제거하는 물질과 유리라디칼을 제거하는 물질간의 작용기작의 차이점에서 비롯된 것으로 생각

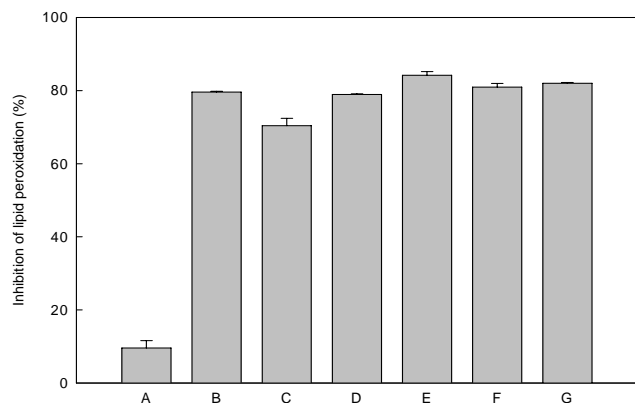


Fig. 3. Inhibition of lipid peroxidation of methanolic extracts from rices. A: White rice, B: Brown rice, C: Red rice, D: Giant embryonic rice, E: Black rice, F: Green rice, G: Goami.

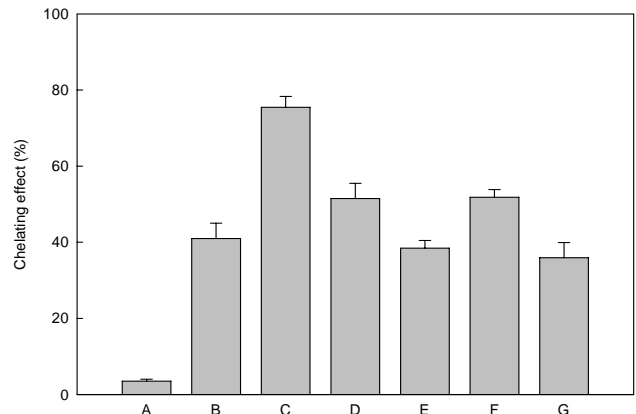


Fig. 4. Ferrous ion chelating effects of methanolic extracts from rices. A: White rice, B: Brown rice, C: Red rice, D: Giant embryonic rice, E: Black rice, F: Green rice, G: Goami.

된다(28). 따라서 본 연구는 곡류에 그 함량이 높으며 전이 금속이온을 효과적으로 제거하는 것으로 알려진 phytic acid를 분석함으로써 금속이온 제거능과의 높은 상관성을 기대하였다. 그러나 낮은 상관계수로 인하여 특수미에는 phytic acid 이외의 물질들이 금속이온을 제거하는 역할을 하는 것으로 생각되며 이 물질들에 대한 보다 정밀한 분석이 수행되어야 하겠다.

Xanthine oxidase는 생체 내에서 purine, pyrimidine 및 heterocyclic compound의 대사에 관여하며 xanthine 또는 hypoxanthine으로부터 uric acid와 O₂⁻를 형성하는 효소이다. 비정상적인 purine 대사로 인해 uric acid가 혈장 내에 증가하면 결과적으로는 골절에 축적되어 통풍을 유발하게 된다. 또한 uric acid와 같이 생성된 O₂⁻은 체내 주요 물질의 산화적 손상을 유발하여 노화 및 심혈관계 질환, 암 등과 같은 만성질환의 주요 원인이 된다(31). 따라서 체내 xanthine oxidase의 저해는 통풍의 완화와 만성질환의 예방을

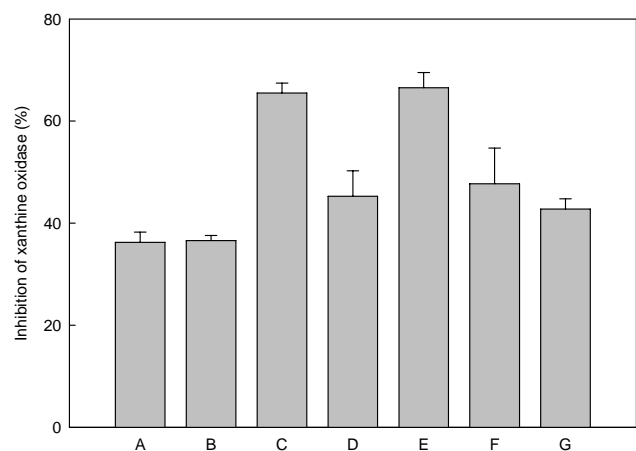


Fig. 5. Inhibition of xanthine oxidase of methanolic extracts from rices. A: White rice, B: Brown rice, C: Red rice, D: Giant embryonic rice, E: Black rice, F: Green rice, G: Goami.

기대할 수 있다. 특수미 methanol 추출물의 xanthine oxidase 억제 효과를 측정된 결과(Fig. 5) 흑미(66.52)와 적색미(65.48)가 높은 활성을 나타내었으며 그 다음으로 녹미(47.73), 거대배아미(45.28), 고아미(42.76), 현미(36.59), 백미(36.28%) 순으로 나타났다. 기존의 연구 보고에 의하면 xanthine oxidase의 대표적인 저해물질은 polyphenol 화합물의 일종인 flavonoid이며 차의 경우 flavan-3-ol 화합물(32)로 확인된 바 있다. 따라서 본 연구에서도 항산화 성분과의 상관분석 결과 polyphenol 함량과 상당한 상관성($R^2=0.8032$)을 나타낸 것으로 생각된다. 본 연구의 결과 특수미는 상당한 xanthine oxidase 저해효과를 가지고 있어 통풍과 xanthine oxidase의 이상 대사에 의해 유발되는 질병의 예방에 효과적일 것으로 기대된다.

요 약

본 연구에서는 쌀 섭취의 중요성에 착안하여 건강 기능성 쌀로 개발된 특수미의 항산화 활성과 항산화 성분을 분석하고 항산화력과 항산화 성분 간의 상관성을 비교·분석하고자 하였다. 특수미 시료 중 흑미의 polyphenol, vitamin E, phytic acid, anthocyanin 함량은 각각 444.38, 0.79, 130.92, 146.90 mg/100 g으로 vitamin E를 제외하고 다른 특수미에 비해 가장 높은 항산화 성분 함량을 나타내었다. 또한 흑미 methanol 추출물의 총 항산화력(697.27 AEAC), 환원력(2.32 A_{700}), 지질과산화 억제력(84.18%), 금속이온 제거능(38.47%), xanthine oxidase 억제활성(66.52%)은 금속이온 제거능을 제외하고 다른 시료에 비해 높은 활성을 나타내었다. 특수미의 항산화 성분과 항산화 활성간의 상관분석 결과 polyphenol 함량이 높을수록 총 항산화력($R^2=9921$), 환원력($R^2=9856$) xanthine oxidase 억제 활성($R^2=8032$)이 증가하는 것으로 나타났다. 흑미와 더불어 적색미도 상당한 항산화 성분을 함유하고 있었으며 그에 따른 우수한 항산화 활성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 본 연구 결과는 쌀의 항산화 성분과 항산화 활성연구에 있어 기초 자료로서 활용될 것으로 예상되며, 건강증진 식품으로서 쌀을 인식시켜 나아가 쌀의 소비 촉진에 영향을 끼칠 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Esdribano-Bailon MT, Stos-Buelga C, Rivas-Gonzalo JC. 2004. Anthocyanins in cereals. *J Chromatogr A* 1054: 129-141.
2. Hu C, Zawistowski J, Ling W, Kitts DD. 2003. Black rice (*Oryza sativa* L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *J Agric Food Chem* 51: 5271-5277.
3. Morimitsu Y, Kubota K, Tashiro T, Kamiya T, Osawa T. 2002. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses. *Int Cong Ser* 1245: 503-508.
4. Kang M, Lee Y, Koh HJ, Nam SH. 2004. Antioxidative and antimutagenic activity of ethanolic extracts from giant embryonic rices. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47: 61-66.
5. Lee SH, Park HJ, Cho SY, Jung IK, Cho YS, Kin TY, Hwang HG, Lee YS. 2004. Supplementary effect of the high dietary fiber rice on blood glucose in diabetic KK mice. *Korean J Nutr* 37: 75-80.
6. Lee SH, Park HJ, Cho SY, Han GJ, Chun HK, Hwang HG, Choe HC. 2004. Supplementary effect of the high dietary fiber rice on lipid metabolism in diabetic KK mice. *Korean J Nutr* 37: 81-87.
7. Slavin JL, Martini MC, Jacobs DR, Marquart L. 1999. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *Am J Clin Nutr* 70: 459S-463S.
8. Baublis AJ, Lu C, Clydesdale FM, Decker EA. 2000. Potential of wheat-based breakfast cereals as a source of dietary antioxidants. *J Am Coll Nutr* 19: 308S-311S.
9. Qureshi AA, Mo H, Packer L, Peterson DM. 2000. Isolation and identification of novel tocotrienols from rice bran with hypocholesterolemic, antioxidant, and antitumor properties. *J Agric Food Chem* 48: 3130-3140.
10. Hong W, Guohua C, Ronald LP. 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J Agric Food Chem* 45: 304-309.
11. 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.
12. Shon HY, Kwon CS, Son KH, Kwon GS, Kwon YS, Ryu HY, Kum EJ. 2005. Antithrombosis and antioxidant activity of methanol extract from different brands of rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 593-598.
13. Choi SP, Kang MY, Nam SH. 2004. Inhibitory activity of the extracts from the pigmented rice brans on inflammatory reactions. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47: 222-227.
14. Abdel-Aal el-SM, Young JC, Rabalski I. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, purple, and red cereal grains. *J Agric Food Chem* 54: 4696-4704.
15. Velioglu YS, Mazza G, Cao L, Oomah BD. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruit, vegetables, and grain products. *J Agric Food Chem* 46: 4113-4117.
16. Lee SM, Lee HB, Lee J. 2006. Comparison of extraction methods for the determination of vitamin E in some grains. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 248-253.
17. Haug W, Lantzsch H. 1983. Sensitive methods for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. *J Sci Food Agric* 34: 1423-1426.
18. Türker N, Erdoğan F. 2006. Effects of pH and temperature of extraction medium on effective diffusion coefficient of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* var. L.). *J Food Eng* 76: 579-583.
19. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Rad Biol Med* 26: 1231-1237.
20. Mau JL, Lin HC, Song SF. 2002. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int* 35: 519-526.
21. Kikuzak H, Nakatani N. 1993. Antioxidant effect of some

- ginger constituents. *J Food Sci* 58: 1407-1410.
22. Yena GC, Duh PD, Tsai L. 2002. Antioxidant and pro-oxidant properties of ascorbic acid and gallic acid. *Food Chem* 79: 307-313.
23. Duke EJ, Joyce PP, Ryan JP. 1973. Characterization of alternative molecular forms of xanthine oxidase in the mouse. *Biochem J* 131: 187-189.
24. Zieliński H, Kozłowska, H. 2000. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *J Agric Food Chem* 48: 2008-2016.
25. Duh PD, Yeh DB, Yen GC. 1992. Extraction and identification of an antioxidant component from peanut hull. *JAOCS* 69: 818-819.
26. Balasinska B, Troszynska A. 1998. Total antioxidative activity of evening primrose (*Oenothera paradoxa*) cake extract measured in vitro by liposome model and murine L1210 cells. *J Agric Food Chem* 46: 3558-3563.
27. Choi Y, Jung HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 103: 130-138.
28. Graf E, Eaton JW. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Rad Biol Med* 8: 61-69.
29. Seo SJ, Choi Y, Lee SM, Lee J. 2007. Determination of selected antioxidant compounds in specialty rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 499-502.
30. Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T. 1992. Antioxidant properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J Agric Food Chem* 40: 945-948.
31. Pacher P, Nivorozhkin A, Szabó C. 2006. Therapeutic effects of xanthine oxidase inhibitors: Renaissance half a century after the discovery of allopurinol. *Pharmacol Rev* 58: 87-114.
32. An BJ. 1997. Inhibition effect of polyphenols isolated from green tea on the xanthine oxidase. *Korean J Biotechnol Bioeng* 12: 582-585.

(2007년 11월 19일 접수; 2007년 12월 21일 채택)