

수원 511호와 일품쌀의 항산화성분 및 70% 에탄올 추출물의 항산화활성

우관식¹ · 정응기¹ · 서세정² · 양창인¹ · 정현상³ · 김기종^{1*}

¹농촌진흥청 국립식량과학원
²농촌진흥청 바이오에너지작물센터
³충북대학교 식품공학과

Antioxidant Components and Antioxidant Activities of 70% Ethanol Extracts on *Suweon-511* and *Ilpum* Rice

Koan Sik Woo¹, Eung Gi Jeong¹, Sae Jung Suh², Chang Ihn Yang¹,
Heon Sang Jeong³, and Kee Jong Kim^{1*}

¹National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Gyeonggi 441-857, Korea

²Bioenergy Crop Research Center, Rural Development Administration, Jeonnam 534-833, Korea

³Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract

To evaluate the potential of a new breed, *Suweon-511*, antioxidant components and antioxidant activities of the 70% ethanol extracts of *Suweon-511* (SWE) and *Ilpum* (IPE) were measured. Total polyphenol and flavonoid contents were 318.17 and 167.21 µg/g for SWE, which were higher than that of IPE (222.16 and 100.89 µg/g). Both α- and γ-tocopherol contents were higher in SWE as well. The total tocopherol contents of SWE (1.31 mg/100 g) was higher than that of IPE (0.86 mg/100 g). The α-, γ- and δ-tocotrienol contents of SWE (0.10, 0.43, and 0.02 mg/100 g) that of IPE (0.09, 0.43, and 0.03 mg/100 g) showed little difference. For γ-oryzanol, *Suweon-511*, which contained 76.58 µg/g, contained ten times as much as *Ilpum* (7.77 µg/g). The total antioxidant activity of SWE and IPE were 16.00 and 9.73 mg AA eq/g, respectively. For reducing power, at 5 mg/mL, both extracts were 0.18, but at 20 mg/mL, SWE showed 0.61 and that of IPE was 0.58. The DPPH radical, hydroxyl radical, superoxide radical and hydrogen peroxide scavenging activity of SWE were 42.00, 21.59, 23.27, and 17.13% at 5 mg/mL, and for IPE, they were 30.10, 22.37, 25.18, and 18.08%, respectively. These data, as well, did not show big difference between the two breeds. As indicated in the data above, the newly-bred *Suweon-511* had higher content of antioxidant components compared to *Ilpum*, but similar or a little higher antioxidant activity.

Key words: rice, *Suweon-511*, *Ilpum*, antioxidant component, antioxidant activity

서 론

쌀은 우리나라 식문화에서 없어서는 안 되는 작물 중에 하나로 대부분은 밥의 형태로 소비되고 있으나 최근 식생활의 서구화로 인하여 1979년 1인당 연간 135.6 kg을 최고로 2002년 87.0 kg, 2003년 83.2 kg, 2004년 82.0 kg, 2005년 80.7 kg으로 해마다 감소하고 있는 추세이며(1), 2007년 우리 국민 한 사람당 쌀 소비량은 76.9 kg으로 2006년의 78.8 kg보다 2.4% 감소한 것으로 나타났다(2). 이는 우리의 식생활이 서구화 되어감에 따라 주식인 밥에서 수입밀가루 제품인 패스트푸드나 육류 등의 소비가 증가되었기 때문이다. 통계청에 따르면 쌀 소비가 줄어든 것은 맞벌이 부부 증가 등으로 인해 채소, 육류, 어류, 식빵, 떡, 국수, 라면 등 쌀 대체 식품

소비가 늘어났기 때문이라고 분석했다. 실제 2006년 기준 육류 소비량은 10년 전과 비교해 14.7% 증가한 33.6 kg이었으며 과일류는 7.2% 증가한 62.2 kg, 채소류는 3.7% 증가한 154.0 kg으로 집계됐다(3). 사회 전반에 걸쳐 일어나고 있는 well-being 붐을 타고 천연 유래의 건강 기능성식품에 대한 소비자의 기호성의 증대로 보다 영양성과 기능이 강화된 새로운 쌀 품종의 개발이 요구되고 있다(4).

쌀의 지방은 대부분 산화되기 쉬운 불포화지방산으로 구성되어 있으나 현미 중에 포함된 ferulic acid 같은 강한 항산화제가 다량 함유되어 있어 쉽게 산화되지 않는 것으로 알려져 있다(2). 최근 들어 쌀의 기능적 우수성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 쌀의 항산화활성에 대한 연구로는 시판 쌀의 메탄올 추출물에 대해 항혈전과 항산화활성을 측

*Corresponding author. E-mail: kkj737@rda.go.kr
Phone: 82-31-290-6783, Fax: 82-31-290-6782

정한 결과 우수한 활성을 가지는 것으로 보고하였으며(5), 거대배아미의 에탄올 추출물에 대한 항산화활성과 항변이원성을 측정한 결과 일반미에 비해 거대배아미의 항산화활성과 항변이원성이 높은 것으로 보고하였다(6). 또한 도정분획별 쌀의 항돌연변이 및 항산화활성을 측정된 연구에서 미강부분이 백미보다 항산화활성이 강하고 도정도가 낮을수록 항산화활성이 큰 것으로 보고하였다(7). 또한 국내에서 소비되는 몇몇 작물에 대한 메탄올 추출물의 항산화활성을 측정된 결과 백미에 비해 유색미의 항산화활성이 강한 것으로 보고하였다(8).

2006년 새롭게 육성된 계통명 수원 511호는 진미벼와 계화벼의 교잡으로 함황 아미노산 영양미로 육성된 것으로 메티오닌 및 시스테인의 함량이 높다. 본 연구에서는 새롭게 육성된 계통명 수원 511호에 대한 이용가능성을 살펴보고자 총 폴리페놀, 플라보노이드, tocopherol, tocotrienol, γ -oryzanol 등의 항산화성분의 함량과 시료를 에탄올로 추출하여 추출물에 대한 항산화활성을 측정하여 새롭게 육성된 벼의 이용 증진을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 추출수율 측정

본 연구에 사용된 시료는 2007년에 농촌진흥청 국립식량과학원에서 재배, 수확된 수원 511호 및 일품을 동일조건으로 도정하여 쌀 상태로 사용하였다. 시료를 분쇄기(Micro hammer-cutter mill, Type-3, MHK Trading Co., Bucheon, Korea)로 분쇄하여 50 mesh의 체에 통과시키고 걸리는 것은 다시 분쇄하여 체에 완전히 통과시킨 후 시료로 사용하였다. 본 실험에 사용한 Folin-Ciocalteu reagent, garlic acid, (+)-catechin hydrate, PG(propyl gallate), BHT(butylated hydroxytoluene), ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), potassium persulfate, L-ascorbic acid, DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), EDTA(ethylenediaminetetraacetic acid), 2-deoxyribose, xanthine oxidase, hydrogen peroxide, potassium ferricyanide, TCA(trichloroacetic acid) 등은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA) 제품을, HPLC 분석을 위한 methanol, acetonitrile, DW, n-hexane, isopropanol, MTBE(methyl-tert-butyl ether), triethylamine 등은 J. T. Baker(Phillipsburg, NJ, USA) 제품을 사용하였으며, 모든 시약은 특급시약을 사용하였다. 시료의 추출은 70% 에탄올을 이용하여 환류추출방법으로 70°C에서 3회 반복 실시하였으며, 3회 추출한 추출물을 모아 회전진공농축기(Eyela N-1000, Tokyo, Japan)로 40°C에서 농축한 후 감압건조(Townson Mercer Ltd., Manchester, UK) 및 냉동건조(Modulyod-115, Thermo Electron Co., Waltham, MA, USA)하여 추출수율을 측정하였으며, -20°C 냉동고에 보관하면서 시료로 사용하였다.

총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 분석

시료의 총 폴리페놀 함량은 Dewanto 등(9)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다. 추출물 100 μ L에 2% Na_2CO_3 용액 2 mL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 μ L를 가하였다. Na_2CO_3 용액을 가한 30분 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 garlic acid를 사용하였으며, 총 폴리페놀 함량은 검량선을 작성한 후 시료 g 중의 μ g garlic acid로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 Jia 등(10)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 250 μ L에 증류수 1 mL를 넣어 희석한 다음 5% NaNO_2 75 μ L를 넣고 5분간 방치하고 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 150 μ L를 넣고 6분간 다시 방치한 다음 1 M NaOH 500 μ L를 가하였다. 11분 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 (+)-catechin hydrate를 사용하여 검량선 작성하였으며, 총 플라보노이드 함량은 시료 g 중의 μ g (+)-catechin hydrate로 나타내었으며, 모든 분석은 3회 반복 측정하였다.

Tocopherol 및 tocotrienol 함량 분석

시료의 tocopherol 및 tocotrienol 함량은 Lee 등(11)의 방법으로 분석하였다. 약 3~5 g의 시료를 test tube에 취한 후 6% PG(in ethanol) 10 mL를 넣고 질소가스로 충전하여 5분간 균질화시킨다. 여기에 60% KOH 8 mL를 첨가하고 질소가스로 재충전하여 70°C 수욕 상에서 50분간 반응시킨 후 냉각시키고 2% NaCl 38 mL를 넣었다. 이를 0.01% BHT-hexane으로 3번 추출하고 MgSO_4 를 울린 여과지로 상등액을 여과하여 50 mL로 정용하였다. 2 mL를 취한 후 질소가스로 완전농축하고, 1 mL의 n-hexane으로 녹인 다음 0.22 μ m nylon membrane filter(MSI Inc., Westboro, MA, USA)로 여과한 다음 순상 HPLC(Younglin Inc., Seoul, Korea)로 분석하였다. Column은 LiChrosphere Diol 100(Merck, Darmstadt, Germany)을 사용하였고 검출기는 fluorescence detector(Linear instruments, Thermo Separation Products Inc., San Jose, CA, USA)로 파장은 $E_x\lambda$ 290 nm, $E_m\lambda$ 330 nm에서 검출하였으며, 이동상은 n-hexane과 isopropanol을 99:1(v/v)로 혼합하였고 유속은 1 mL/min으로 하고 시료용액 20 μ L를 주입하여 분석하였다. 각각의 유도체를 분리·정량하여 mg/100 g으로 나타내었다.

γ -Oryzanol 함량 측정

시료의 γ -oryzanol 함량은 Rogers 등(12)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 10 g을 80°C 이상의 증류수 8 mL를 첨가하고 isopropanol 20 mL를 첨가하여 무수 MgSO_4 를 첨가하여 탈수시킨 후 0.01% BHT를 첨가한 추출용매(hexane:ethylacetate, 85:15, v/v) 50 mL를 넣어 13,000 rpm에서 homogenizer(Brinkmann, Westbury, NY, USA)로 1

분간 균질화시킨 후 여과하고 추출박에 다시 용매를 가하여 3회 반복 추출하였다. 추출물을 농축하여 HPLC(Thermo Separation Products Inc., San Jose, CA, USA)로 분석하였다. 컬럼은 C₁₈(250×3.9 mm, Phenomenex, Torrance, CA, USA)을 사용하였으며, 이동상은 9:1(v/v)의 acetonitrile 및 methanol을 1.5 mL/min으로 흘려주었다. 주입량은 20 µL로 하였고 검출기는 UV(325 nm) 검출기를 사용하였다. 표준물질은 Wako Pure Chemical Ind.(Osaka, Japan)의 γ -oryzanol을 이용하여 총 함량에 대한 검량선을 작성한 후 정량하였으며, 각각의 peak에 대한 함량은 전체 함량에 대한 면적 비로 표현하였다.

70% 에탄올 추출물의 총 항산화력 및 환원력 측정

시료의 70% 에탄올 추출물의 총 항산화력은 ABTS cation decolorization assay(13)의 방법으로 측정하였다. 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulfate 용액을 혼합하여 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 희석된 시료 50 µL를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid를 동량 첨가하였다. 총 항산화력은 mg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity(AEAC)로 나타내었다. 환원력은 Oyaizu(14)의 방법으로 측정하였다. 1 mL의 인산염 완충용액(0.2 M, pH 6.6)에 1 mL의 시료와 1%(w/v) potassium ferricyanide 용액 1 mL를 가하고 이 혼합물을 50°C에서 20분간 반응시킨 후 10%(w/v) TCA 용액 1 mL를 넣어 반응을 종결시켰다. 반응이 끝난 혼합물을 15,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 상정액 1 mL과 증류수 1 mL을 넣고 0.1% 염화철 용액 0.1 mL를 넣고 700 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 모든 실험은 3회 반복 측정하였다.

70% 에탄올 추출물의 radical 소거활성 측정

DPPH radical 소거활성은 Blois(15)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 0.2 mL에 0.2 mM DPPH 용액(99.9% ethanol에 용해) 0.8 mL를 가한 후, vortex mixer로 10초간 진탕하고 30분 후에 분광광도계(UV-1650PC, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도를 측정할 때 셀에 분주되는 각 시료에 의한 흡광도의 차이는 ethanol만의 흡광도를 측정하여 보정해 주었고, 이때 전자공여능은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 구하였다. Hydroxyl radical 소거활성은 Halliwell 등(16)의 방법에 의거하여 10 nM FeSO₄·EDTA 200 µL, 10 mM 2-deoxyribose 200 µL, 0.1 M 인산완충액 1.39 mL에 추출물 10 µL를 넣고 200 µL의 10 mM H₂O₂ 용액으로 라디칼 생성을 유도하여 37°C에서 4시간 반응하였다. 2.8% TCA로 반응을 정지시키고 0.8% TBA용액을 첨가하

여 10분간 끓여 발색한 뒤 반응액을 냉각하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. Superoxide radical 소거활성(17)은 시험관에 추출물 100 µL와 0.1 mM NBT 혼합액 900 µL를 넣고 xanthine oxidase(0.05 unit/mL)를 0.05 mM EDTA가 포함된 50 mM potassium phosphate(pH 7.4) 100 µL를 첨가하여 37°C에서 20분 동안 반응시켰다. 2 N HCl을 400 µL를 첨가하여 반응을 중지시키고 560 nm에서 흡광도를 측정하였다. Hydrogen peroxide 소거활성은 Müller 방법(18)에 의해 10 mM H₂O₂ 20 µL, 0.1 M phosphate buffer 100 µL에 추출물을 첨가하고 37°C에서 5분간 반응시켜 1.25 mM ABTS 30 µL, peroxidase(1 unit/mL)을 첨가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 405 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 모든 실험은 3회 반복 측정하였다.

결과 및 고찰

추출수율, 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

수원 511호와 일품쌀을 70% 에탄올로 추출하여 용매를 완전히 제거하고 추출수율을 측정된 결과 수원 511호는 1.16%로 나타났으며, 일품은 1.02%로 나타났다. Lee 등(19)의 보고에 의하면 고아미 2호벼, 큰눈벼 및 흑광벼를 70% 에탄올로 추출하여 추출수율을 측정된 결과 각각 3.42, 3.50 및 3.02%로 보고하였는데, 본 연구에서 크게 차이를 보이는 것은 벼 상태가 아닌 쌀의 상태로 시료로 사용하였기 때문에 추출수율이 낮게 나타난 것으로 보인다. 시료의 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석한 결과 Fig. 1에서 보듯이 수원 511호의 총 폴리페놀 함량은 318.17 µg/g으로 나타났으며, 일품은 222.16 µg/g으로 나타났다. 또한 시료의 총 플라보노이드 함량은 수원 511호에서 167.21 µg/g으로 나타났으며, 일품은 100.89 µg/g으로 나타났다. 새롭게 육성된 수원 511호가 일품에 비해

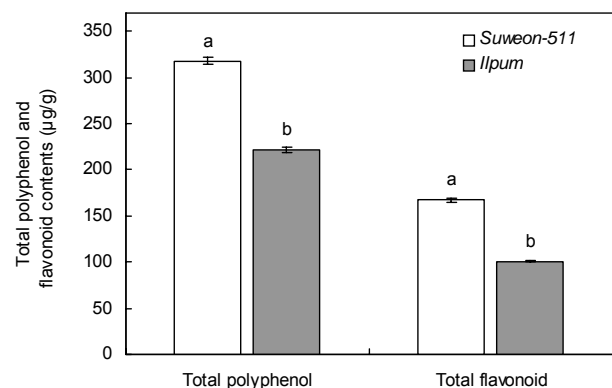


Fig. 1. The total polyphenol and flavonoid contents of Suweon-511 and Ilpum rice. Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

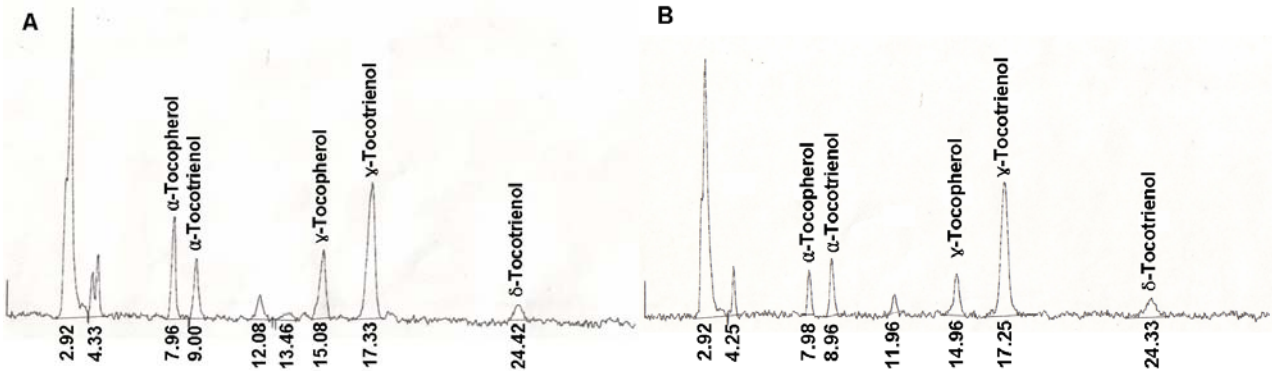


Fig. 2. The chromatograms of the tocols (tocopherol and tocotrienol) compounds found in *Suweon-511* (A) and *Ilpum* rice (B).

총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 높은 것을 확인할 수 있었다. Lee 등(19)의 보고에 의하면 고아미 2호벼, 큰눈벼 및 흑광벼의 경우 2.6, 2.1 및 4.9 mg/g으로 보고하였는데 이렇게 많은 차이를 보이는 것은 Lee 등(19)의 연구는 벼를 추출하였기 때문에 왕겨층이나 호분층에 많이 포함되어 있는 페놀성 성분에 의해 본 연구와 많은 차이를 보이는 것으로 보인다. 페놀성 화합물은 식물체에 널리 분포되어 있는 물질로 다양한 구조와 분자량을 가지며 페놀성 화합물의 phenolic hydroxyl기가 단백질과 같은 거대분자와의 결합을 통해 항산화, 항암 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있다(20). 이러한 페놀성 화합물이 쌀에 함유되어 있는 양이 소량이라는 하나 주식으로 매일 섭취하기 때문에 페놀성 화합물의 항산화 및 항암효과에 대한 효능을 볼 수 있을 것으로 생각된다.

Tocopherol 및 tocotrienol 함량

수원 511호 및 일품쌀에 대한 tocopherol 및 tocotrienol 함량을 검화법으로 추출하여 HPLC로 각각의 유도체를 분리·정량하여 mg/100 g으로 측정된 결과 Fig. 2 및 3과 같이 나타났다. 두 시료 모두 α- 및 γ-tocopherol은 검출이 되었으나 β- 및 δ-tocopherol은 검출이 되지 않았으며, α-, γ- 및 δ-tocotrienol은 검출되었으나 β-tocotrienol은 검출이 되지 않았다. α- 및 γ-tocopherol의 함량은 수원 511호의 경우 0.14 및 1.17 mg/100 g을 나타낸 반면 일품은 각각 0.06 및 0.80 mg/100 g으로 수원 511호에서 높게 나타났으며, 총 tocopherol 함량 또한 수원 511호가 1.31 mg/100 g으로 일품 (0.86 mg/100 g)에 비해 높았다. α-, γ- 및 δ-tocotrienol의 함량은 수원 511호의 경우 0.10, 0.43 및 0.02 mg/100 g을 나타냈으며, 일품은 각각 0.09, 0.43 및 0.03 mg/100 g으로 두 시료 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. Duncan 검정 결과 수원 511호와 일품쌀 두 시료 간의 α- 및 γ-tocopherol이 수원 511호에서 유의적으로 높은 것으로 나타났다. Vitamin E에 대한 기존의 연구에서는 α-tocopherol이 가장 활성이 강한 것으로 보고되고 있으며(21), Lee 등(22)의 연구 보고에서 벼 상태의 일품에 α-, β- 및 γ-tocopherol의 함량

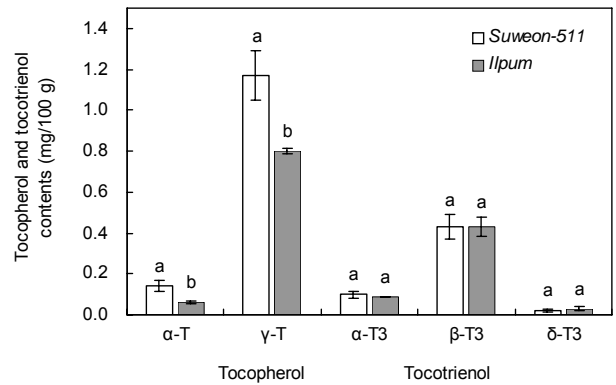


Fig. 3. Total tocopherol and tocotrienol contents of *Suweon-511* and *Ilpum* rice. Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

이 0.14, 0.05 및 3.19 mg/100 g이 포함되어 있는 것으로 보고하였는데 본 연구에서 차이를 보이는 것은 도정에 의해 미강이 없는 쌀을 이용하였기 때문에 차이를 보이는 것으로 보인다. 또한 α- 및 γ-tocotrienol의 함량이 0.13 및 0.03 mg/100 g이 포함되어 있고 δ-tocotrienol은 검출이 되지 않는 것으로 보고하였는데 이는 재배시기와 장소의 차이로 생각된다.

γ-Oryzanol 함량

γ-Oryzanol은 단일성분으로 여겨졌으나 최근 들어 적어도 10개 이상의 phytosteryl ferulate의 혼합물로 밝혀졌으며, γ-oryzanol의 약 80% 정도는 cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartanyl ferulate 및 campesteryl ferulate 등이 차지하는 것으로 알려져 있다(23,24). γ-Oryzanol은 plasma lipid 패턴의 개선, plasma-cholesterol 감소, HDL-cholesterol의 증가 및 혈소판 응집 억제 등과 같은 인체에 유익한 영향을 주는 것으로 보고하였다(25). γ-Oryzanol 표준품을 HPLC로 측정된 결과 5개의 peak를 확인할 수 있었으며, 수원 511호와 일품쌀의 γ-oryzanol을 HPLC로 측정된 결과 Fig. 4와 같이 peak patten을 확인할 수 있었고 각각의 peak에 대한 검량선을 작성하여 정량한 결과 Fig. 5와 같이 나타났다. 수원 511호의 1에서 5까지 peak의 함량

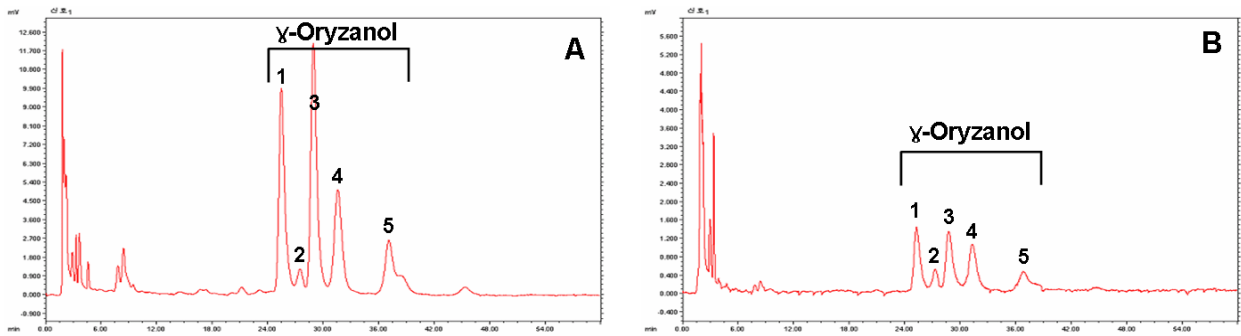


Fig. 4. The chromatograms of γ -oryzanol on *Suweon-511* (A) and *Ilpum* rice (B).

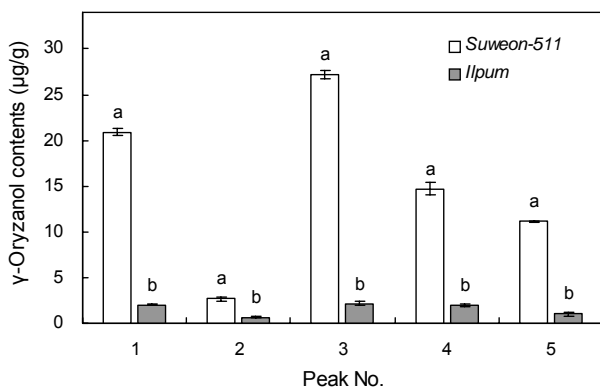


Fig. 5. The γ -oryzanol contents of *Suweon-511* and *Ilpum* rice. Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

은 각각 20.92, 2.65, 27.18, 14.70 및 11.13 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타났으며, 일품의 경우 각각 1.99, 0.63, 2.16, 1.99 및 0.99 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타나 총 함량이 수원 511호는 76.58 $\mu\text{g/g}$, 일품은 7.77 $\mu\text{g/g}$ 으로 수원 511호가 약 10배정도 높은 것으로 나타났다. Xu 등(23)의 보고에 의하면 쌀에 함유되어 있는 γ -oryzanol 중에 80% 정도는 cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartenyl ferulate 및 campesteryl ferulate 등이 차지한다고 하였는데 본 연구결과 peak 1, 3 및 4가 이들 성분으로 생각되며, 각각의 peak 성분에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 Lee 등(22)의 연구보고에서 벼 상태의 일품에 γ -oryzanol의 함량은 4.81 mg/g이 포함되어 있는 것으로 보고하였는데 본 연구에서 차이를 보이는 것은 도정에 의해 미강이 없는 백미 상태의 쌀을 사용하였기 때문에 많은 차이를 나타냈지만 일품에 비해 수원 511호의 γ -oryzanol이 쌀의 상태에 많이 남아 있는 것으로 보인다.

70% 에탄올 추출물의 총 항산화력 및 환원력

ABTS cation decolorization assay방법에 의해 총 항산화력(AEAC, ascorbic acid equivalent antioxidant activity)을 측정한 결과 수원 511호와 일품쌀 70% 에탄올 추출물의 총 항산화력은 각각 16.00 및 9.73 mg AA eq/g으로 나타내어

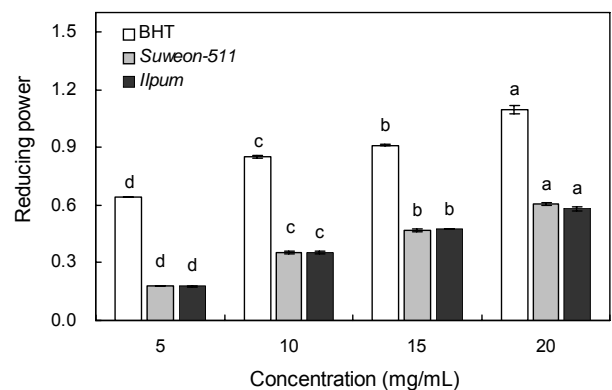


Fig. 6. Reducing power on 70% ethanol extraction of *Suweon-511* and *Ilpum* rice. Values represent the mean \pm SD of three replications. Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

일품쌀에 비해 수원 511호의 활성이 큰 것으로 나타났다. 수원 511호와 일품쌀의 총 항산화력은 다른 과채류 등의 항산화력보다 아주 미약하지만 매일 섭취하는 우리나라 사람에게는 비교적 큰 효과를 줄 것으로 생각된다. 환원력을 5~20 mg/mL의 농도에서 측정한 결과 Fig. 6과 같이 나타났다. 화합물의 환원력은 잠재적인 항산화활성을 척도가 될 수 있으며, 흡광도를 측정하였을 때 더 높은 흡광도는 높은 환원력을 나타낸다(26,27). 수원 511호 및 일품쌀의 70% 에탄올 추출물에 대한 환원력은 5 mg/mL의 농도에서 수원 511호 및 일품쌀 모두 0.18을 나타내었고 10 mg/mL의 농도에서 수원 511호 및 일품쌀 모두 0.35를 나타내었으며, 15 mg/mL의 농도에서 각각 0.47 및 0.48을 나타내었고 20 mg/mL의 농도에서 각각 0.61 및 0.58을 나타내어 농도 의존적으로 증가하는 경향을 관찰할 수 있었으나 두 시료 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 동일 농도에서 합성항산화제인 BHT의 환원력은 0.64, 0.85, 0.91 및 1.10을 나타내어 수원 511호 및 일품쌀의 70% 에탄올 추출물의 경우 20 mg/mL의 농도에서 5 mg/mL의 BHT와 비슷한 활성을 보이는 것으로 나타났다. Lee 등(19)은 고아미 2호벼, 큰눈벼 및 흑광벼의 70% 에탄올 추출물이 5 mg/mL의 농도에서 0.18, 0.12 및 0.28의

활성을 보였고 농도 의존적으로 증가하여 20 mg/mL의 농도에서는 0.56, 0.50 및 0.67의 활성을 보이는 것으로 보고하였으며, 5 mg/mL의 농도에서 비타민 C와 BHT가 0.67 및 0.64의 수치를 보이는 것으로 보고하였다. 본 연구에서 수원 511호 및 일품쌀 추출물 모두 비교적 높은 환원력을 나타내었으며, 매일 섭취하는 쌀의 특성상 장기적으로 인체에 도움을 줄 것으로 판단된다. 일반적으로 체내에서의 산화는 암, 심장병, 염증, 관절염, 면역질환 등을 일으키는 것으로 알려져 있는데 이때 free radical은 지질, 단백질 및 핵산에 산화 손상을 초래하는 것으로 알려져 있다(13). 또한 활성 free radical은 DNA의 화학적 변환과 손상에 직접 관여하며, 막지질의 과산화물은 돌연변이성 물질로 알려져 있다. 이에 대해 많은 종류의 항산화 물질들은 산화작용을 효과적으로 억제하면서 돌연변이원성을 억제 또는 불활성화시키는 desmutagen으로서의 역할을 하는 것으로 알려져 있다(28).

70% 에탄올 추출물의 radical 소거활성

수원 511호 및 일품쌀의 70% 에탄올 추출물에 대한 DPPH radical, hydroxyl radical, superoxide radical 및 hydrogen peroxide 소거활성을 1 mg/mL과 5 mg/mL의 농도에서 측정된 결과 Fig. 7과 같이 나타났다. 두 시료의 항산화성분은 수원 511호가 일품쌀에 비해 높은 것으로 나타났지만 70% 에탄올 추출물의 항산화활성은 전체적으로 두 품종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 조사된 항산화성분 이외의 항산화활성을 나타내는 다른 성분이 일품에 더 많이 함유되어 있어 활성이 유사하게 나타난 것으로 생각되며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. DPPH radical 소거활성은 1 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 14.16%를 나타내었고 일품은 10.92%를 나타내었고 5 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 42.00%를 나타내었고 일품은 30.10%를 나타내어 일품쌀보다 수원 511호 품종의 항산화활성이

조금 높은 것으로 나타났다. Lee 등(19)은 고아미 2호벼, 큰눈벼 및 흑광벼의 70% 에탄올 추출물이 5 mg/mL의 농도에서 22.6, 26.3 및 32.5%의 활성을 가지는 것으로 보고하였는데 수원 511호의 경우 이보다 조금 높은 활성을 가지는 것으로 나타났다. 쌀에서 항산화활성을 내는 성분으로는 오리자놀, 피틴산, 카로테노이드, 폴리페놀 등과 같은 성분으로 쌀의 항산화물질은 대부분 미강층에 존재하거나(19), 유색미에 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(4). 수원 511호와 일품쌀에도 이러한 성분들이 소량 남아 있는 것으로 보이며, 또한 배유에도 항산화활성을 가지는 성분이 결합되어 있다가 추출과정에 용출된 것으로 보인다.

Hydroxyl radical은 생물체에서 형성되는 극히 민감한 free radical로서 세포에 손상을 주어 질병을 일으키는 것으로 알려져 있으며(29), DNA의 파괴, 돌연변이 및 세포독성 등에 영향을 주고 불포화지방산에서 지질과산화의 진행을 촉진하는 물질 중에 하나로 보고하였다(30). Hydroxyl radical 소거활성은 1 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 13.17%를 나타내었고 일품은 13.91%를 나타내어 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 5 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 21.59%를 나타내었고 일품은 22.37%를 나타내어 농도 의존적으로 증가하였으나 두 품종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. Lee 등(19)은 고아미 2호벼, 큰눈벼 및 흑광벼의 70% 에탄올 추출물이 5 mg/mL의 농도에서 38.9, 41.8 및 45.7%의 활성을 가지는 것으로 보고하였는데 수원 511호와 일품쌀의 경우는 이보다 낮은 활성을 가지는 것으로 나타났다.

Superoxide radical은 hydroxyl radical보다 강한 작용을 하는 것은 아니지만 생체거대분자에 직간접적으로 영향을 줄 수 있다(31). Superoxide anion은 미토콘드리아 전자 수송계에서 형성된 유리기로서, hydrogen peroxide, hydroxyl radical 또는 일중항산소 등의 생성에 매우 중요하다(32). Superoxide radical은 간접적으로 superoxide와 hydrogen peroxide가 일중항산소와 hydroxyl radical에 전구체로 작용하여 지질산화를 일으킨다(4). Superoxide radical 소거활성은 xanthine-xanthine oxidase system에 의해 발생하는 superoxide radical을 항산화제가 제거시키는 정도를 확인하는 실험으로서 nitro blue tetrazolium(NBT)의 감소 정도를 통하여 항산화활성을 측정하는 것이다(17). Superoxide radical 소거활성은 1 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 18.55%를 나타내었고 일품은 21.64%를 나타내어 수원 511호에 비해 일품이 약간 높은 것을 알 수 있었다. 5 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 23.27%를 나타내었고 일품은 25.18%를 나타내어 농도 의존적으로 활성이 증가하였고 수원 511호에 비해 일품이 약간 높은 것을 알 수 있었다. Lee 등(19)은 고아미 2호벼, 큰눈벼 및 흑광벼의 70% 에탄올 추출물이 5 mg/mL의 농도에서 25.4, 29.0 및 32.9%의 활성을 가지는 것으로 보고하였는데 수원 511호와 일품쌀의 경우는 이보다 낮은 활성을 가지는 것으로 나타났다.

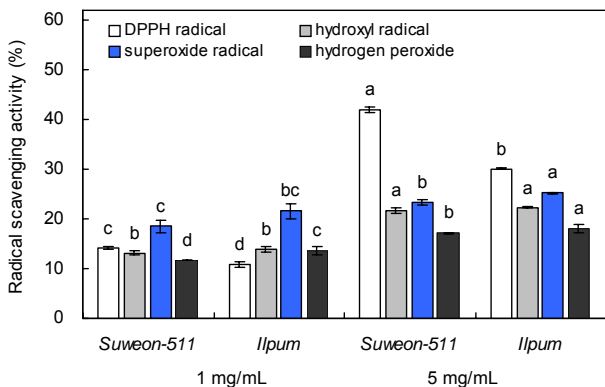


Fig. 7. DPPH radical, hydroxyl radical, superoxide radical, and hydrogen peroxide scavenging activity on 70% ethanol extraction of Suweon-511 and Ilpum rice. Values represent the mean±SD of three replications. Any means in the same column followed by the same letter are not significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

활성산소종과 superoxide radical과 hydroxyl radical과 같은 free radical, H₂O₂와 일중항산소와 같은 non-free radical 등은 많은 만성질환의 원인이 되는 것으로 알려져 있다 (33). Hydrogen peroxide 소거활성은 1 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 11.69%를 나타내었고 일품은 13.65%를 나타내어 수원 511호에 비해 일품이 약간 높은 것을 알 수 있었다. 5 mg/mL의 농도에서 수원 511호는 17.13%를 나타내었고 일품은 18.08%를 나타내어 농도 의존적으로 약간의 증가는 관찰할 수 있었으나 두 품종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

요 약

2006년 새롭게 육성된 계통명 수원 511호 품종에 대한 이용가능성을 살펴보고자 항산화성분과 항산화활성을 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 수원 511호에서 318.17 µg/g으로 나타나 일품쌀(222.16 µg/g)보다 높았으며, 총 플라보노이드 함량 또한 수원 511호에서 167.21 µg/g으로 나타나 일품쌀(100.89 µg/g)보다 높은 함량을 보였다. α- 및 γ-tocopherol의 함량은 수원 511호의 경우 0.14 및 1.17 mg/100 g을 나타낸 반면 일품은 각각 0.06 및 0.80 mg/100 g으로 수원 511호에서 높게 나타났으며, 총 tocopherol 함량 또한 수원 511호가 1.31 mg/100 g으로 일품(0.86 mg/100 g)에 비해 높았다. α-, γ- 및 δ-tocotrienol의 함량은 수원 511호의 경우 0.10, 0.43 및 0.02 mg/100 g을 나타냈으며, 일품은 각각 0.09, 0.43 및 0.03 mg/100 g으로 두 품종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 수원 511호 및 일품쌀의 γ-oryzanol 함량을 측정 한 결과 각각 76.58 및 7.77 µg/g으로 수원 511호가 약 10배정도 높은 것으로 나타났다. 총 항산화력은 수원 511호와 일품쌀 70% 에탄올 추출물의 총 항산화력은 각각 16.00 및 9.73 mg AA eq/g으로 나타났으며, 환원력은 5 mg/mL의 농도에서 수원 511호 및 일품쌀 모두 0.18을 나타내었고 20 mg/mL의 농도에서 각각 0.61 및 0.58을 나타내어 농도 의존적으로 증가하는 경향을 관찰할 수 있었으나 두 품종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 수원 511호의 DPPH radical, hydroxyl radical, superoxide radical 및 hydrogen peroxide 소거활성은 5 mg/mL의 농도에서 각각 42.00, 21.59, 23.27 및 17.13%로 나타났으며, 일품은 30.10, 22.37, 25.18 및 18.08%로 두 품종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 새롭게 육성된 수원 511호 쌀은 일품쌀에 비해 항산화성분이 더 많이 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 항산화활성 또한 약간 높은 활성을 가지는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 농촌진흥청 작물과학원 박사후연수 과정지원사업에 의해 이루어진 것임.

문 헌

- Chae JC. 2004. Present situation, research and prospect rice quality and bioactivity in Korea. *Food Sci Indus* 37: 47-54.
- Na GS, Lee SK, Kim SY. 2007. Antioxidative effects and quality characteristics of the rice cultivated by organic farming and ordinary farming. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 50: 36-41.
- Ha TY. 2002. Nutritional and functional properties of rice. Proceedings of the Korean Society of Postharvest Science and Technology of Agriculture Products Conference. p 64-71.
- Kim EO, Oh JH, Lee KT, Im JG, Kim SS, Suh HS, Choi SW. 2008. Chemical compositions and antioxidant activity of the colored rice cultivars. *Korean J Food Preserv* 15: 118-124.
- Sohn 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.
- Kang MY, Lee YL, Go HJ, Nam SH. 2004. Antioxidative and antimutagenic activity of ethanolic extracts from giant embryonic rices. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47: 61-66.
- Chun HS, You JE, Kim IH, Cho JS. 1999. Comparative anti-mutagenic and antioxidative activity of rice with different milling fractions. *J Korean Food Sci Technol* 31: 1371-1377.
- Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 103: 130-138.
- Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
- Jia Z, Tang M, Wu J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
- Lee J, Suknark K, Kluvitse Y, Phillips RD, Eitenmiller RR. 1998. Rapid liquid chromatographic assay of vitamin E and retinyl palmitate in extruded weaning foods. *J Food Sci* 64: 968-972.
- Rogers EJ, Rice SM, Nicolosi RJ, Carpenter DR, McClelland CA, Romanczyk Jr LJ. 1993. Identification and quantitation of γ-oryzanol components and simultaneous assessment of tocopherols in rice bran oil. *J Am Oil Chem Soc* 70: 301-307.
- Leong LP, Shui G. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chem* 76: 69-75.
- Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reactions: Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese J Nutr* 44: 307-315.
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1203.
- Halliwell B, Gutteridge JMC, Aruoma OI. 1987. The deoxyribose method: a simple test tube assay for determination of rate constants for reaction of hydroxyl radicals. *Anal Biochem* 165: 215-219.
- Aruoma OI, Halliwell B, Dizdaroglu M. 1989. Iron independent modification of bases in DNA by the superoxide radical generating system hypoxanthine/xanthine oxidase. *J Biol Chem* 264: 13024-13030.
- Müller HE. 1985. Detection of hydrogen peroxide produced by microorganism on an ABTS peroxidase medium. *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg A* 259: 151-154.
- Lee YR, Woo KS, Kim KJ, Son JR, Jeong HS. 2007.

- Antioxidant activities of ethanol extracts from germinated specialty rough rice. *Food Sci Biotechnol* 16: 765-770.
20. Choi Y, Kim MH, Shin JJ, Park JM, Lee J. 2003. The anti-oxidant activities of the some commercial teas. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 723-727.
 21. Lee DJ, Lee JY. 2003. Tocopherol and tocotrienol in cereal grains. *Korean J Crop Sci* 48: 1-12.
 22. Lee YR, Kim JY, Woo KS, Hwang IG, Kim KH, Kim KJ, Kim JH, Jeong HS. 2007. Changes in the chemical and functional components of Korean rough rice before and after germination. *Food Sci Biotechnol* 16: 1006-1010.
 23. Xu Z, Hua N, Godber JS. 2001. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and γ -oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride. *J Agric Food Chem* 49: 2077-2081.
 24. Chien JT, Wang HC, Chen BH. 1998. Kinetic model of the cholesterol oxidation during heating. *J Agric Food Chem* 46: 2572-2577.
 25. Wennermark B, Ahlmen H, Jagerstad M. 1994. Improved vitamin E retention by using freshly milled whole-meal wheat flour during drying. *J Agric Food Chem* 43: 1348-1351.
 26. Meir S, Kanner J, Akiri B, Hadas SP. 1995. Determination and involvement of aqueous reducing compounds in oxidative defense systems of various senescing leaves. *J Agric Food Chem* 43: 1813-1815.
 27. Shimada K, Fijikawa K, Yahara K, Nakamura T. 1992. Antioxidative properties of xanthin on autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsions. *J Agric Food Chem* 40: 945-948.
 28. Namiki M. 1990. Antioxidants/antimutagens in food. *Crit Rev Food Sci Nutr* 29: 273-295.
 29. Bloknina O, Virolainen E, Fagerstedt KV. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress. *Ann Bot* 91: 179-194.
 30. Hochstein P, Atallah AS. 1988. The nature of oxidant and antioxidant systems in the inhibition of mutation and cancer. *Mutat Res* 202: 363-375.
 31. Cotellet N, Bernier JL, Henichart JP, Catteau JP, Gaydou E, Wallet JC. 1992. Scavenger and antioxidant properties of ten synthetic flavones. *Free Radic Biol Med* 13: 211-219.
 32. Lee J, Koo N, Min DB. 2004. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Rev Food Sci Food Safety* 3: 21-33.
 33. Pyo YH, Lee TC, Logendra L, Rosen RT. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard extracts. *Food Chem* 85: 19-26.

(2008년 8월 8일 접수; 2008년 10월 7일 채택)