연 구 속 보

원적외선 처리가 왕겨의 항산화 활성에 미치는 효과

이 승 철
경남대학교

Ⅰ. 서론

쌀은 아시아, 아프리카 및 라틴 아메리카 지역의 주식으로 이용되고 있는 중요한 곡물로서 우리나라에서도 연간 약 530만톤 이상 생산되고 있다. 쌀은 도정도에 따라 현미, 5분도, 7분도, 백미(10분도)로 나누어지며, 이러한 쌀의 도정시 발생하는 부산물로 미강과 왕겨 등이 있다. 특히 왕겨는 쌀 생산량의 18-20%를 차지하며 연간 100 만톤 이상 발생하는 것으로 추정된다.

최근에, 농산 가공 부산물과 같은 미이용 자원들은 천연 항산화제의 중요한 소재로서 주목받고 있는데(1), 이에 대한 연구로서 외피, 종자, 과일 껍질 등에 대한 보고가 있었다(2). 또한, 일반적인 외피부위는 외부의 산화적 스트레스 등으로부터 내부를 보호하기 위해서 페놀계 화합물과 같은 항산화물질이 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(3).

왕겨는 주로 실리카로 구성되어 있어서 오랜 기간의 저장 중에 곤충이나 곰팡이의 공격으로부터 내부를 물리적으로 보호하는 능력을 가지고 있을 뿐 아니라, 산화에 대항하기 위하여 항산화 방어 시스템을 보유하고 있다(4). Ramarathnam 등(5)은 왕겨의 주된 항산화 성분이 C-glycosyl flavonoid인 isovitexin으로서, 지질 과산화에 대해 α-tocopherol과 동등한 활성을 보였다고 했으며, 또한 Wu 등(6)은 왕겨에 존재하는 phytic acid가 금속이온에 대하여 강한 킬레이팅 능력을 보임으로써 강한 항산화 활성을 가진다고 보고하였다. 이 밖에 왕겨에 함유된 항산화 성분으로는 anisole, vanilline, syringaldehyde 등이 알려졌다(7).

한편, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) 등의 효소와 같이 고분자를 취하는 물질들은 경구 투여시 위산에 의한 분해로 활성 소실, 주사를 통한 직접 투여 시 알레르기 반응 등의 부작용을 초래하기 때문에 그 이용이 제한적이다(8). 이들 물질을 대체하기 위하여 천연 기원의 저분자 항산화 물질이 주목받고 있으며, 이들 물질에는 flavonoid류, carotenoid류, polyphonol류 및 α-tocopherol, ascorbic acid와 같은 비타민

류 등이 있다. 그러나 이들 저분자 항산화 물질들은 식물에서 반복적인 중합체의 상태로 존재하거나 또는 고분자 물질에 결합되어 있기 때문에 제 효력을 발휘할 수 없다고 한다. 이들 식물속에 존재하는 저분자 항산화 물질의 가용화 시키는 시도로서 원적외선과 발효 (8), microwave처리 (9), 감마선 처리 (10) 등의 여러 가공 처리가 보고되었다.

원적외선을 통한 열처리는 물질 표면에 성분의 손실없이 내부에 직접 열을 이동시키는 방법으로서 이들 저분자 물질의 유리 활성화시키기 위한 최적의 가공 방법일 것으로 판단되며, 이를 통하여 우리나라에서 다량으로 발생하는 왕겨를 항산화성 소재로 이용하므로서 미활용 소재의 이용률을 높이며, 천연물의 새로운 가공 방법을 개발하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 원적외선 처리와 왕겨 추출물의 제조

본 연구에 사용된 왕겨는 경상북도 김천시의 정미소에서 구입한 것으로 2001년도에 수확된 자포니카 계통의 쌀을 도정 후 회수한 것으로 분쇄하여 48-mesh체를 통과한 것을 시료로 사용하였다. 원적외선 처리를 위해 최대 출력 300W의 원적외선 히터를 사용하였다. 원적외선을 처리한 왕겨와 처리하지 않은 왕겨 300g을 5배 가량의 메탄올(1.5L)로 상온에서 24시간 동안 3회 반복 추출하고 Whatman No.1 filter paper와 Nylone membrane filter (0.2㎛)로 필터 후, 그 추출물을 감압 농축하여 활성 검정용 시료로 사용하였다.

2. 총 페놀함량 측정

총 페놀함량은 Gutfinger (11)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 상기 추출물 1mL에 2% (W/V) Na_2CO_3용액 1mL를 가하여 3분간 방치한 후 50% Folin-Ciocalteau 시약 0.2mL를 가하여 30분간 상온에서 방치하였다. 12,000rpm에서 10분간 원심분리 후 750nm에서 흡광도를 측정하였고, 표준물질로는 tannic acid를 이용하여 표준검량곡선을 작성하여 tannic acid의 동량(mM)으로 표시하였다.

3. DPPH 라디칼 소거활성 측정

라디칼 소거활성은 Blois (12)의 방법에 준하여 상기 추출물 0.2mL에 4.1×10^{-5}M의 DPPH 용액 (99.9% 에탄올 용해) 0.8mL를 가한 후 10초 동안 진탕하고, 10분간 반응시켜 525nm에서 흡광도를 측정하였다. 라디칼 소거활성은 [1-(시료 첨가구의 흡광도/무첨가구의 흡광도)]×100로 계산하여 백분율로 표시하였다.

4. Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) 분석

TBARS분석은 Buege와 Aust (13)의 방법에 준하였다. Oil emulsion은 0.1 M maleic acid buffer (pH 6.5) 8mL에 유화제(Tween-20) 0.5mL, fish oil 0.5mL를 섞고 총량이 100mL이 되게 증류수를 첨가하여 15분간 교반하여 조제하였다. Oil emulsion 0.5mL에 50ppm $FeCl_2$ 0.1mL와 상기 추출물 0.1mL를 가하여 증류수로 전체가 1mL가 되게 첨가하였고, 대조구는 추출물 0.1mL 대신에 증류수를 첨가하여 사용하였다. 1mL 반응혼합물이 채워진 시험관을 37℃ water bath에서 1시간 동안 반응시키고 7.2% BHT 50μL를 시료에 첨가하여 산화반응을 정지시켰다. 여기에 TCA/TBA 시약 2mL를 가하여 끓는 물에서 15분간 가열시킨 후, 찬물에서 식히고 12,000rpm에서 15분간 원심분리하여 532nm에서 상징액의 흡광도를 측정하였다. 지질의 과산화 평가는 활성 산소에 의해 유발되는

지질의 과산화를 대조군과 비교하여 왕겨추출물이 억제하는 비율로서 %inhibition으로 나타내었다.

5. 칠면조 패티의 제조

16 마리의 서로 다른 칠면조로부터 가슴육을 얻고 4그룹으로 분류해서 3mm plate의 쵸퍼를 이용하여 분쇄하였다. 6 종류의 처리구는 다음과 같이 다양한 조건의 첨가물을 함유하여 제조되었다. 1) 대조구 : 첨가물 없음, 2) sesamol 0.01% 첨가 3) IRH-0.1% 첨가, 4) IHE-0.2% 첨가, 5) FRH-0.1% 첨가, 6) FRH-0.2% 첨가. 여기에서 IRH는 자연왕겨의 메탄올 추출물 (intact rice hull extract)를, FRH는 원적외선 처리된 왕겨의 메탄올 추출물 (far infrared treated rice hull extract)를 의미한다. 각 추출물은 에탄올(200mg/mL)에 현탁시킨 후 분쇄한 칠면조육에 첨가하여 균질화시켰다. 칠면조 패티는 100g의 육을 성형해서 제조하고, 조리 후, 70℃의 오븐에서 산화를 촉진시키기 위해 가열조리하였다. 처리 후, 패티는 진공 포장해서, 찬물로 10분 동안 냉각시키고, 산소 투과성이 있는 polyethylene 포장 필름에 담아 4℃에 저장하면서, 지질 산화, 색도, 휘발성 화합물의 분석용 시료로 사용하였다.

6. 지방 산화도 평가

칠면조 패티의 지질 산화를 평가하기 위해 Ahn 등(14)의 방법에 따라 TBARS를 측정하였다. 패티 5g을 잘게 썰어 시험관에 넣고 증류수 15mL를 첨가하여 균질화시킨 후, 이 균질물 1mL에 50μL의 BHA(7.2% in ethanol)와 TBA/TCA 용액 (20 mM TBA in 15% TCA) 2mL을 첨가하여 혼합하였다. 발색을 위해 90℃ 수욕조에서 15분간 배양 후에 찬물로 10분간 냉각시키고, 3000×g에서 15분간 원심분리하여 상징액을 531nm에서 흡광도를 측정하였다.

7. 휘발성 알데히드의 분석

휘발성 알데히드의 분석은 Solatek 72 multimatrix vial autosampler와 purge and trap concentrator 3000 (Tekmar-Dohrmann, Cincinnati, OH)를 GC-MS (Hewlett-Packard C., Wilmington, DE)에 연결하여 Dynamic headspace 농축법을 사용하였다. 잘게 세절된 sample 1g을 40mL의 vial에 담고 helium 가스를 충진하고 밀봉하였다. Headspace의 휘발성분은 포집하여 GC/MS(Hewlett-Packard Co., Wilmington, DE)에 연결하여 Ahn 등 (15)의 방법에 준하여 분석하였다.

8. 왕겨 추출물의 동정

IRH 또는 FRH를 에탄올(200mg/mL)에 녹인 후 4배의 BSA [N,O-bis(trimethylsilyl) acetamide]를 첨가하여 70℃ 수욕조에서 15분간 유도체화를 시켜 GC-MS를 이용하여 분석하였다. 분석조건은 HP-5 column (30m, 0.32mm i.d., 0.25m film; Hewlett-Packard Co., Wilmington, DE), HP-35 column (7.5m, 0.32mm i.d., 0.2 5um film; Hewlett-Packard Co., Wilmington, DE)를 연결하여 장착하였고, oven 온도는 100℃에서 2분간 유지 후 10℃/min 조건으로 270℃까지 승온하였으며, 검출기 주입기의 온도는 250℃로 조절하여 분석하였다. Carrier gas는 helium을 사용하였으며, flow 1.5/min로 하여 split ratio 1:100으로 조절하여 사용하였다. 또한, MS조건은 ionization voltage 70ev, scan rage m/z 19.1-400으로 조절하여 사용하였다. 검출된 화합물은 Wiley library (Hewlett-Packard Co.)의 샘플의 데이터와 비교 분석에 의해 동정하였다.

9. 통계분석

실험결과의 통계처리는 SAS software (16)를 이용하여 평균 및 표준오차를 구하였으며, Student-Newman-Keuls 다중분석법으로 $P < 0.05$에서의 유의차를 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 원적외선 처리에 의한 왕겨 추출물의 항산화 활성

왕겨에 원적외선 처리는 총페놀함량을 현저하게 증가시켰다(Fig. 1A). 원적외선 50분 처리동안 총페놀함량은 0.12mM에서 0.20mM로 증가하였다. 총페놀함량은 처리시간과 비례하여 증가하였고 처리 30분 후에 최고치에 도달하였다(17). 일반적으로 식물의 가장 외측부위는 내부 물질을 보호하기 위하여 페놀성 합합물을 많이 함유하고 있다. 왕겨 또한 isovitexin, phytic acid, vanillic acid, syringic acid, ferulic acid와 같은 페놀성 화합물을 함유하고 있다고 보고 되었다(4-7). 원적외선 조사는 열을 수반함으로써 반응을 가속시킬 수 있다. 그러나, 드라이 오븐에서의 일반 열처리는 총페놀함량을 증가시키지 못했다(Fig. 1A). 귀리의 경우 건조공정 동안 열로 인하여 많은 양의 항산화물질이 소실되었다고 보고되었지만(18), 본 경우에는 이러한 현상을 찾아 볼 수 없었다. 원적외선에 대한 NMR 연구에서 물분자 집단이 원적외선에 의해 점점 더 작아짐으로써(19), 물분자의 운동성을 증가시켜 물분자를 활성화 시킨다고 보고하였다. Niwa 등(20) 또한 일본전통 도자기를 이용한 원적외선 열처리가 천연 약용 물질의 페놀함량을 더욱더 증가시켰다고 보고하였다. 왕겨에서도 원적외선 조사가 페놀성 화합물을 유리시키는 것을 확인하였다(17).

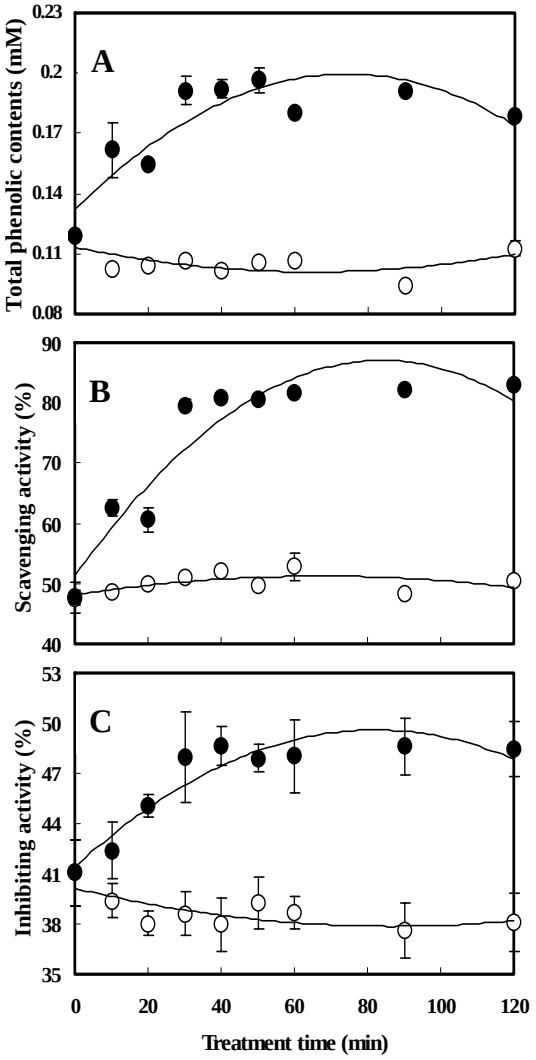


Fig. 1. Effect of FIR treatment on (A) total phenolic contents, (B) DPPH radical scavenging activity, and (C) lipid peroxidation of rice hull extracts. Symbols (●) indicate irradiated with FIR, and (○) dried at 100℃ instead of FIR-radiation. Error bars represent standard deviation of mean values. All values were compared by Student's t-test ($p < 0.05$).

왕겨추출물의 DPPH 라디컬 소거활성 또한 원적외선처리와 비례하여 증가하였다 (Fig. 1B). 원적외선 처리 60분동안 DPPH 라디컬 소거활성은

Table 1. TBARS values of cooked turkey breast meat with the addition of intact rice hull extract (IRH) and far-infrared treated rice hull extract (FRH) during refrigerated

Storage	Control	Sesamol	IRH		FRH		SEM
		0.01%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	
0 day	1.35^{az}	0.52^{dz}	0.94^{bz}	0.78^{cz}	0.76^{cz}	0.71^{cz}	0.04
1 day	3.35^{ay}	0.96^{ey}	2.43^{by}	1.86^{cy}	1.92^{cy}	1.38^{dy}	0.07
3day	6.56^{ax}	2.21^{ex}	6.01^{bx}	4.50^{cx}	4.16^{dx}	2.04^{ex}	0.10
SEM	0.07	0.05	0.02	0.10	0.10	0.07	

$^{a-d}$Different letters within a row are significantly different ($P<0.05$), n = 4.
$^{x-z}$Different letters within a column with same meat are significantly different ($P<0.05$).

47.74에서 81.60%으로 급격히 증가시켰으나, 일반 열처리는 영향을 주지 못하였다. 이러한 사실은 라디컬 소거활성이 일반 열처리에 의해서가 아니라 원적외선에 의해서 증가되는 것임을 입증하는 것이다. DPPH 라디컬 소거활성의 증가패턴 또한 총페놀 함량과 거의 밀접하게 관련되어진다.

TBARS 방법에 의해 왕겨 추출물의 지질 산화 억제력을 검정하였다(Fig. 1C). 왕겨 추출물의 TBARS 패턴 역시 원적외선 처리 후에 DPPH 라디컬 소거활성과 같은 경향을 보여주었다. 반면에 일반 열처리는 아무런 변화를 발견하지 못했으며, 마이크로웨이브나 감마선 등의 전자파 처리도 농산가공물의 항산화활성에 큰 영향을 주지 못하였다(9,10).

2. 칠면조육에서의 원적외선 처리에 의한 왕겨추출물의 항산화 특성

왕겨 추출물은 칠면조육에 첨가되어, 저장의 초기에 IRH와 FRH 모두 대조구에 비하여 낮은 TBARS값을 가짐으로써 높은 항산화 활성을 보여주었다 (Table 1). 저장 기간이 증가함에 따라 호기조건과 가열조리에 의한 근육의 변성으로 인해 지질 산화가 급격히 가속되었고 처리구 모두 TBARS값이 급격히 증가하였다. 왕겨의 원적외선 처리 및 첨가된 농도는 저장 기간이 늘어남에 따라 확연하게 차이가 났다. 저장 3일째, IRH와 FRH가 0.2%의 농도로 칠면조육에 첨가되었을 때, TBARS값은 control의 75%와 31%까지 감소시켰으며, 또한 원적외선 처리는 무처리구보다 항산화 활성을 약 2배 이상 향상시켰다. 반면, IRH의 항산화 효과는 지속되지 못하고 3일째 0.1% IRH는 control과 거의 동등한 값을 가졌다. FRH의 TBARS값은 첨가 농도에 의존적인 경향을 띄며, 저장 3일째의 칠면조 육에서 0.1% FRH는 0.2% FRH의 절반정도의 TBARS값을 가졌다. 0.2% FRH 처리구는 0.01% sesamol과 거의 동등한 수준이었다.

가열조리된 칠면조육에서 휘발성 이취의 생성은 심각한 문제이며 이를 방지하기 위한 항산화제의 역할은 아주 중요하다. 왕겨 추출물은 가열조리된 칠면조육에서 휘발성 이취성분을 효과적으로 감소시켰다. 지질 산화와 관련된 알데이드(propanal, pentanal, hexanal, and heptanal)는 control과 비교

Table 2. Volatiles profile of cooked turkey breast meat with the addition of intact rice hull extract (IRH) and far-infrared treated rice hull extract (FRH)

Coumpound	Control	Sesamol	IRH		FRH		SEM
		0.01%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	
0 day (total ion counts × 10^4)							
Propanal	13470^{a}	0^{d}	7096^{b}	2578^{cd}	3878^{c}	2578^{cd}	870
Pentanal	16890^{a}	1872^{d}	9994^{b}	4188^{c}	6640^{c}	4465^{cd}	1102
Hexanal	88609^{a}	7799^{c}	39969^{b}	14997^{c}	25322^{c}	16149^{c}	4863
Heptanal	1170^{a}	337^{b}	816^{ab}	629^{b}	724^{ab}	666^{b}	124
1 day (total ion counts×10^4)							
Propanal	36564^{a}	6394^{c}	19585^{b}	11276^{bc}	10933^{bc}	4096^{c}	2416
Pentanal	37244^{a}	6852^{d}	27325^{b}	17333^{c}	11597^{cd}	4375^{d}	2518
Hexanal	226269^{a}	43804^{cd}	132153^{b}	81432^{c}	73389^{c}	23761^{d}	13541
Heptanal	4067^{a}	1293^{b}	3015^{ab}	2643^{ab}	908^{b}	395^{b}	631
3 day (total ion counts×10^4)							
Propanal	45531^{a}	11432^{c}	37261^{ab}	28819^{b}	26478^{b}	14601^{c}	3090
Pentanal	41385^{a}	11991^{c}	42139^{a}	40052^{a}	26717^{b}	15207^{c}	2186
Hexanal	247075^{a}	72834^{c}	223960^{ab}	200817^{b}	159509^{c}	114317^{d}	11568
Heptanal	3586	1668	3364	3450	3193	1885	469

$^{a-d}$Different letters within a row are significantly different ($P < 0.05$), n = 4.

시 왕겨 추출물의 첨가에 의해 급격히 감소되었다 (Table 2). Hexanal은 지질 산화에서 가장 중요한 표지물질로서 왕겨 추출물 0.2% 수준의 첨가에 의해 control의 17-18%까지 감소시킬 수 있었다(22,23). 0.1%의 수준으로 FRH와 IRH를 첨가했을 때, FRH가 첨가된 칠면조육에서 IRH보다 적은 양의 알데히드가 검출됨으로서 FRH의 항산화 활성이 IRH보다 더 우수하였다. 휘발성 화합물에 대한 왕겨 추출물의 효과는 농도 의존적이며, 0.1% 첨가하는 것보다 0.2%로 첨가하는 것이 IRH와 FRH에서 더 뚜렷한 알데히드 감소효과를 보여주었다.

FRH의 항산화 특성은 호기상태의 저장 1일 후에 더욱 뚜렷하게 나타났다. 지질 산화가 상당한 정도 진행되었고, 모든 처리구에서 휘발성 알데히드의 양이 급격히 증가되었으며, 저장의 시작과 비교해서 약 2.5배가 높은 hexanal의 양이 대조구에서 발견되었다. 0.01% sesamol은 여전히 강한 항산화 효과를 나타내었으며, 0.2% FRH 처리 경우가 sesamol의 경우와 비슷한 효과를 나타내었다.

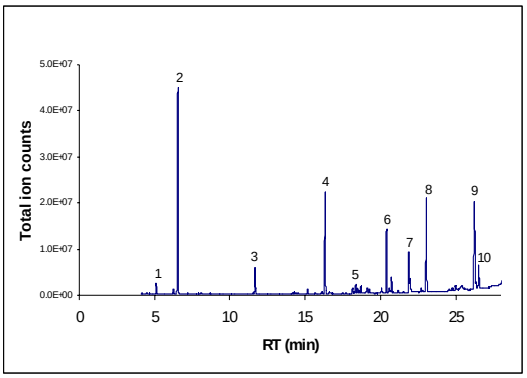
저장 3일 후 항산화 효과는 0.01%의 세사몰 처리구와 0.2%의 FRH 처리구에서만 주로 발견되었다. 왕겨 추출물의 항산화 특성은 세사몰보다 길게 연장시키지 못하였으나, 그럼에도 불구하고 FRH 처리구가 IRH보다 여전히 강한 항산화 활성을 보여 주었다.

왕겨의 항산화 성분들은 GC-MS에 의해 분석되었다. IRH의 경우, 소수의 페놀성 화합물(o-methoxy cinnamic acid, p-coumaric acid, N-

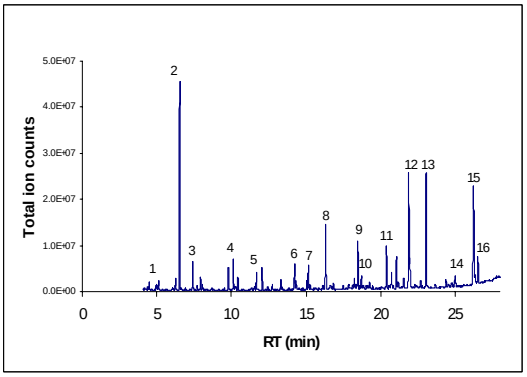
indolyl acetate)만이 발견되었으며, p-coumaric acid가 주된 물질이었다(Fig. 2A). 한편, FRH에서는 3-vinyl-1-oxy benzene, p-hydroxy benzaldehyde, vanillin, p-hydroxy benzoic acid, 4,7-dihydroxy vanillic acid, isoferulic acid과 같은 새로운 페놀성 화합물이 부가적으로 검출되었다(Fig. 2B). 그러므로, 왕겨에 원적외선 조사는 페놀성 화합물을 유리시켜 더욱더 생성시키고, 항산화성을 증가시키는데 기여할 수 있을 것을 추측된다. IRH의 p-coumaric acid(4-hydroxy cinnamic acid) 또한 FRH에서의 주된 페놀성 화합물이다. 왕겨추출물의 항산화 활성과 관련된 다양한 페놀성 화합물이 보고되어졌는데, 이중에서 cinnamic acid 유도체, o-methyl cinnamic acid, p-coumaric acid의 항산화 활성은 이미 잘 알려져 있다(24). Ramarathnam 등(5)의 보고에 따르면 왕겨 메탄올 추출물(MeOH :H_2O, 50:50)에서 C-glycosyl flavonoid인 isovitexin을 분리 동정하였으며, Asamarai 등(7)은 왕겨 메탄올(MeOH:H2O, 75:25)에서 cinnamic acid와 benzoic acid derivatives 등과 같은 몇몇 페놀성화합물을 GC-MS에 의해 동정하였다. 소수의 당알콜(erythritol, xylitol, and mannitol)과 지방산(palmitic and stearic acid)도 FRH의 크로마토그램에서 보여주고 있다.

Ⅳ. 요약

왕겨에 대한 원적외선 처리는 페놀성 화합물의 추출을 향상시켰으며, 이로 인하여 항산화력이 증가하였다. 칠면조육에 원적외선 처리한 왕겨 추출물을 첨가함으로써 지질산화생성물을 효과적으로 억제하였다. 따라서 원적외선 처리는 왕겨로부터 유래되는 항산화 물질 추출에 효과적인 방법이었으며, 이로 인해 우리나라에서 다량으로 발생하는 왕겨의 이용성 다변화에 기여할 수 있음을 확인하였다.



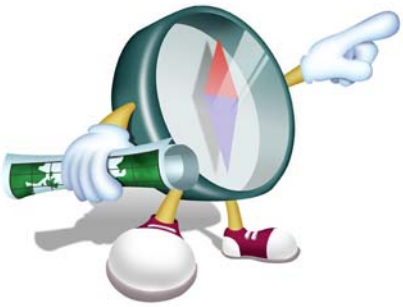
(A)



(B)

Fig. 2. Typical gas chromatography of (A) IRH(intact rice hull extract). 1. o-Methyl cinnamic acid; 2. Glycol; 3. Erythritol; 4.Xylitol; 5. Azelaic acid; 6. Mannitol; 7. p-Coumaric acid; 8. Palmitic acid; 9. N-indolyl acetate; 10. Stearic acid. (B) FRH (far infrared treated rice hull extract). 1. o-Methoxy cinnamic acid; 2. Glycerol; 3. 3-Vinyl-1-oxy benzene; 4. p- Hydroxy benzal dehyde; 5. Erythritol; 6. Vanillin; 7. p-Hydroxy benzoic acid; 8. Xylitol; 9. 4,7-Dihydr oxy vanillic acid; 10. Azelaic acid; 11. Mannitol; 12. p-Coumaric acid (4-Hydroxy cinnamic acid); 13. Palmitic acid; 14. Isoferulic acid; 15. N-indolyl acetate; 16. Stearic acid.

Ⅴ. 참고문헌

1. Moure, A.; Franco, D.; Sineiro, J.; Dominguez, H.; Nunez, M. J.; Lema, J. M. Evaluation of extracts from Gevuina avellana hulls as antioxidants. J. Agric. Food Chem. 2000, 48, 3890-3897.
2. Moure, A.; Cruz, J. M.; Franco, D.; Dominguez, J. M.; Sineiro, J.; Dominguez, H.; Nunez, M. J.; Parajo, J. C. Natural antioxidants from residual sources. Food chem. 2001, 72, 145-171.
3. Tsuda, T.; Osawa, T.; Ohshima, K.; Kawakishi, S. Antioxidative pigments isolatedfrom the seeds of Phaseolus vulgaris L. J. Agric. Food Chem. 1994, 42, 248-251.
4. Osawa, T.; Narasimhan, R.; Kawakishi, S.; Namiki, M.; Tashiro, T. Antioxidant defense system in rice hull against damage caused by oxygen radicals. Agric. Biol. Chem. 1985, 10, 3085-3087.
5. Ramarathnam, N.; Osawa, T.; Namiki, M.; Kawakishi, S. Chemical studies on novel rice hull antioxidants. 2. Identification, A c-glycosyl flavonoid. J. Agric. Food Chem. 1989, 37, 316-319.
6. Wu, K.; Zhang, W.; Addis, P. B.; Epley, R. J.; Salih, A. M.; Lehrfeld J. Antioxidant properties of wild rice. J. Agric. Food Chem. 1994, 42, 34-37.
7. Asamarai, A. M.; Addis, P. B.; Epley, R. J; Krick, T. P. Wild rice hull antioxidants. J. Agric. Food Chem. 1996, 44, 126-130.
8. Niwa, Y.; Kanoh, T.; Kasama, T.; Neigishi, M. Activation of antioxidant activity in natural medicinal products by heating, brewing and lipophilization. A new drug delivery system. Drugs Exptl. Clin. Res. 1988, 14, 361-372.
9. Bae, S. M.; Kim, J. H.; Cho, C.W.; Jeong, T. J.; Kim, J. M.; Lee, S. C. Effect of microwave on the antioxidant activity of barley bran. J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 2001, 44, 235-239.
10. Bae, S. M.; Kim, J. H.; Cho, C.W.; Jeong, T. J.; Yook, H. S.; Byun, M. W.; Lee, S. C. Effect of γ- irradiation on the antioxidant activity of rice hull, rice bran and barley bran. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 2002, 31, 246-250.
11. Gutfinger, T. Polyphenols in olive oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 1981, 58, 966-968.
12. Blois, M. S. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature 1958, 181, 1199-1200.
13. Buege, J. A.; Aust, S. D.: Microsomal lipid peroxidation. Methods in Enzymology 1978, 52, 302-310.
14. Ahn, D. U.; Olson, D. G.; Jo, C.; Chen, X.; Wu, C.; Lee, J. I. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. Meat Sci. 1998, 47, 27-39.
15. Ahn, D. U.; Nam, K, C.; Du, M., Jo, C. Volatile production in irradiated normal, pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) pork under different packaging and storage conditions. Meat Sci. 2001, 57, 419-426.
16. SAS Institute. SAS/STAT User's Guide;

SAS Institute Inc.: Cary, NC, 1995.
17. Lee, S. C.; Kim, J. H.; Jeong, S. M.; Kim, D. R.; Ha, J. U.; Nam, K. C.; Ahn, D. U. Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of rice hulls. J. Agric. Food Chem. 2003, 51, 4400-4403.
18. Bryngelsson, S.; Dimberg, L. H.; Kamal-Eldin, K. Effect of commercial processing on levels of antioxidants in oats (Avena sativa L.). J. Agric. Food Chem. 2002, 50, 1890-1896.
19. Matsushita, K.; Evaluation of the state of water by NMR spectrometry (in Japanese). FIR Joho 1988, 5, 6-10.
20. Niwa, Y.; Kanoh, T.; Kasama, T.; Neigishi, M. Activation of antioxidant activity in natural medicinal products by heating, brewing and lipophilization. A new drug delivery system. Drugs Exptl. Clin. Res. 1988, 14, 361-372.
21. Foti, M.; Piattelli, M.; Baratta, M. T.; Ruberto, G. Flavonoids, coumarins, and cinnamic acids as antioxidants in a micellar system, structure-activity relationship. J. Agric. Food Chem. 1996. 44, 497-501.
22. Shahidi, F.; Yun, J.; Rubin, L. J., Wood, D. F. The hexanal content as an indicator of oxidative stability and flavor acceptability in cooked ground pork. J. Can. Inst. Food Sci. Technol. 1987, 20, 104-106.
23. Ahn, D. U.; Jo, C.; Du, M.; Olson, D. G.; Nam, K. C. Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions. Meat Sci. 2000, 56, 203-209.
24. Natella, F.; Nardini, M.; Di Felice, M.; Scaccini, C. Benzoic and cinnamic acid derivatives as antioxidants: Structure- activity relation. J. Agric. Food Chem. 1999, 47,1453-1459.