

열처리와 발아에 따른 왕겨(*Oryza sativa* L.)의 Tricin과 Tricin 4'-O-(Threo- β -Guaiacylglyceryl) Ether 함량

윤나라¹ · 장귀영¹ · 이윤정¹ · Meishan Li¹ · 김민영¹ · 김현영² · 이준수¹ · 정현상¹

¹충북대학교 식품생명공학과

²농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과

Tricin and Tricin 4'-O-(Threo- β -Guaiacylglyceryl) Ether Contents of Rice Hull (*Oryza sativa* L.) with Heat Treatment and Germination

Nara Yoon¹, Gwi Yeong Jang¹, Yoon Jeong Lee¹, Meishan Li¹, Min Young Kim¹,
Hyun Young Kim², Junsoo Lee¹, and Heon Sang Jeong¹

¹Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University

²Division of Rice and Winter Cereal Crop, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

ABSTRACT This study was conducted to evaluate the effects of heat treatment and germination on tricin and tricin 4'-O-(threo- β -guaiacylglyceryl) ether (TTGE) formation from rice hull (*Oryza sativa* L.). Heat treatments were conducted at 80~140°C for 1~5 h. Germination periods were 1~6 days at 37°C. Germinated rough rice extracts were classified as non-filtrated, filtrated, and residue after filtration. For heat treatment, the highest contents of tricin and TTGE were 253.12 and 208.39 $\mu\text{g/g}$ at 130°C after 1 h, respectively. For germination, the highest contents of tricin and TTGE in rice hull were 118.20 and 95.37 $\mu\text{g/g}$ after 2 days, respectively. In the germinated rough rice extract treatment, the highest contents of tricin and TTGE were 361.76 and 308.08 $\mu\text{g/g}$, respectively, in residue after filtration of germinated rice extract for 6 days. Therefore, the optimum conditions for tricin and TTGE formation were heat treatment at 130°C for 1 h, germination for 2 days, and addition of residue after filtration of germinated rough rice extract for 6 days.

Key words: rice hull, tricin, tricin 4'-O-(threo- β -guaiacylglyceryl) ether, heat treatment, germination

서 론

한국을 비롯한 아시아, 남미, 아프리카의 국가들은 쌀을 주식으로 하고 있으며, 벼를 쌀로 가공하는 과정에서 왕겨, 벃질, 미강 등이 부산물로 생산된다(1,2). 우리나라에서는 연간 100만 톤 이상의 왕겨가 생산되고 벼의 약 18~20%를 차지하며, 썩지 않는 특성 때문에 부산물이 아닌 폐기물로 분류해서 관리되고 있어 매년 45만 톤 정도가 소각 또는 폐기되고 있다(3-5). 왕겨에 함유된 천연 항산화 성분으로는 flavonoid, cyanidin, phytic acid, ferulic acid, vanillin 및 syringaldehyde 등이 있다고 알려졌다(6,7). 그중 대표적인 생리활성물질로 flavonoid인 tricin과 flavonolignan인 tricin 4'-O-(threo- β -guaiacylglyceryl) ether(TTGE)는 벼과 식물인 *Oryza sativa* L.로부터 분리 동정된 물질로 강력한 항암, 항염 및 항산화 활성 등을 가지고 있다(8).

Tricin은 미강뿐만 아니라 밀, 보리, 옥수수과 같은 초종에서 배당체 형태로 존재하는데 안정성이 높아 암 예방제로써 임상적 개발을 고려하고 있으며, 잠재적 암 예방제의 역할에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(9). 또한 TTGE는 예로부터 고대 인도 의학(Ayurveda)에서 추천된 많은 약효 성분 중 하나로 특별한 쌀 품종인 Njavara로부터 분리되었다(10). Njavara는 관절염, 신경계 질환, 마비, 결핵, 피부 질환 등의 치료제로써 사용됐으며, 최근 연구에서도 항염 활성, 활성산소종 및 NO 생성 억제 등의 다양한 생리활성을 나타내는 연구들이 진행되고 있다(10,11).

식품의 열처리 가공은 식품의 저장수명을 연장하고 품질을 향상하기 위하여 사용되는데, 다양한 변화로 생리활성물질이 증가(12)한다고 보고되면서 이와 관련된 다양한 연구가 진행되고 있다(13). 발아는 식물 종자의 씨눈과 배젖에 있는 비활성 상태의 DNA 유전 정보와 각종 효소 및 영양소 등이 외적 환경 여건이 좋아지면 활성화되어 싹이 트는 것으로(14), 일반적으로 발아가 진행됨에 따라 생리활성이 증대되고 많은 성분의 변화가 일어나 다양한 종자에 대한 유용성분 및 생리활성의 변화를 극대화하려는 연구가 많이 이루어

Received 6 January 2016; Accepted 5 February 2016

Corresponding author: Heon Sang Jeong, Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

E-mail: hsjjeong@chungbuk.ac.kr, Phone: +82-43-261-2570

지고 있다.

왕겨에 함유된 tricin과 TTGE의 함량은 미량으로 이를 활용하기 위해서는 함량을 증가시키는 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 폐기되는 왕겨를 활용하여 왕겨의 유용 성분인 tricin과 TTGE를 기능성 소재로 사용하기 위해 tricin과 TTGE가 가장 많이 생성되는 처리 조건을 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 벼는 2014년에 충북 증평군에서 재배된 벼 품종 중 일품벼(*Oryza sativa* L. var Ilpumbyeo)를 구매하여 사용하였으며, 현미기(FC2K, Kett Inc., Tokyo, Japan)를 사용하여 왕겨 층을 분리하였다. 분리된 왕겨는 분쇄기(Micro hammer cutter mill type-3, Culatti AG, Zurich, Switzerland)를 이용하여 80 mesh의 크기로 분쇄한 후 사용하였다.

열처리 왕겨 추출물 제조

열처리 장치는 10 kg/cm² 이상의 압력에서도 견딜 수 있도록 고안, 제작된 장치(Jisico, Seoul, Korea)를 사용하였으며, 각 처리 온도와 시간에 따라 가열됨으로써 직접적인 열전달에 의한 시료의 탄화를 방지하도록 설계되었다(15, 16). 시료 1 g에 증류수를 10배수 가하여 190 mL 유리용기에 담은 후 뚜껑을 밀봉한 상태로 처리하였으며, 열처리 온도와 시간은 예비실험을 통하여 80, 100, 120, 130, 140°C와 1, 3, 5시간으로 설정하였다. 열처리하지 않은 시료를 대조구로 하였으며, 모든 실험은 3회 반복하였다. 처리된 시료에 70% 에탄올을 20배량 첨가하고 1시간 동안 3회 초음파 추출하였다. 추출물은 여과 및 농축한 후 5 mL로 정용하여 헥산으로 탈지하고, 클로로포름으로 분획한 다음 농축하여 HPLC로 분석하였다.

발아일수별 왕겨 추출물 제조

발아는 Kim 등(17)의 방법에 따라 일품벼를 20°C의 물로 수세하고 3일간 침지시킨 다음 발아기(TP-CB 400, EZIONE Inc., Beijing, China)로 발아시켰다. 발아 온도는 37°C, 습도는 85%로 유지하였으며, 발아기간은 1, 2, 3, 4, 5, 6일로 하였다. 발아기간별 발아된 벼는 50°C의 건조기(WFO-459PD, EYELA, Tokyo, Japan)에서 2일 동안 건조시킨 후 왕겨를 분리하여 80 mesh로 분쇄한 다음 시료로 사용하였다. 처리된 시료에 70% 에탄올을 20배량 첨가하고 1시간 동안 3회 초음파 추출하였다. 추출물은 여과 및 농축한 후 5 mL로 정용하여 헥산으로 탈지하고, 클로로포름으로 분획한 다음 농축하여 HPLC로 분석하였다.

발아 벼 추출액을 처리한 왕겨 추출물 제조

왕겨에 발아 벼 추출액을 처리하기 위하여 추출액을 제조하였다. 즉 발아시킨 벼를 동결 건조하고 80 mesh로 분쇄한 후 0.05 M phosphate buffer를 4배량 가한 다음 homogenizer(Ultra-turrax T25, Janke and Kunkel, IKA Labor-technik, Staufen, Germany)로 10분간 균질화시킨 후 37°C shaking incubator(VS-8480, Vision Scientific Co., Ltd., Daejeon, Korea)에서 1시간 동안 150 rpm으로 추출하였다. 발아일수별 추출액, 0.2 µm 필터로 여과한 추출액 및 여과 후 남은 잔여물을 증류수로 희석한 다음 살균한 왕겨에 각각 4 mL 첨가하고 37°C incubator(VS-1203P3V, Vision Scientific Co., Ltd.)에서 24시간 동안 반응시켰다. 처리된 시료에 70% 에탄올을 20배량 첨가하고 1시간 동안 3회 초음파 추출하였다. 추출물은 여과 및 농축한 후 5 mL로 정용하여 헥산으로 탈지하고, 클로로포름으로 분획한 다음 농축하여 HPLC로 분석하였다.

Tricin 및 TTGE 함량 측정

추출방법별 시료를 HPLC용 메탄올에 용해한 다음 0.2 µm syringe filter(Millipore, Billerica, MA, USA)로 여과하여 HPLC(ACME 9000 system, Younglin, Anyang, Korea)로 분석하였다. 칼럼은 Mightysil RP-18 GP column(4.6×250 mm, 5 µm, Kanto Chemical Co., Tokyo, Japan)을 사용하였다. Tricin 분석 조건으로 이동상은 아세토니트릴(A)과 1% 초산(B)을 gradient 조건으로 흘려주었고, gradient 조건은 A:B를 초기 15:85(% v/v)에서 25분에 40:60, 60분에 15:85로 설정하였으며, 유속은 1 mL/min으로 하였고 주입량은 20 µL로 설정하였으며, 검출기는 UV 330 nm에서 검출하였다(9). 또한 TTGE 분석 조건으로 이동상은 아세토니트릴(A)과 물(B)을 gradient 조건으로 흘려주었고, gradient 조건은 A:B를 초기 70:30(% v/v)에서 30분에 50:50, 40분에 0:100, 50분에 70:30으로 설정하였으며, 유속은 0.6 mL/min으로 하였고, 주입량은 20 µL로 설정하였다. 검출기는 UV 206 nm에서 검출하였으며, 칼럼은 Mightysil RP-18 GP column(4.6×250 mm, 5 µm, Kanto Chemical Co.)을 사용하였다(17).

발아 벼 추출액의 생균수 측정

발아 벼 추출액 처리가 왕겨의 tricin 및 TTGE 함량 변화에 미치는 영향이 조효소액 또는 미생물인지를 알아보기 위하여 6일간 발아시킨 벼 추출물의 여과액과 여과물에 대한 생균수를 측정하였다. 대조구로는 왕겨와 살균한 왕겨를 발아 벼 추출액과 같은 조건으로 추출하여 사용하였다. 각각의 시료를 멸균한 tryptic soy broth(TSB, Difco, Detroit, MI, USA) 배지에 계대 배양한 후 적당하게 희석한 다음 tryptic soy agar(TSA, Difco) 평판 배지에 0.1 mL씩 도말하여 37°C에서 24시간 배양한 후 형성된 colony 수를 계측하였다.

통계처리

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다. 또한 요인들 간의 상관관계는 Person's correlation analysis를 통하여 분석하였다.

결과 및 고찰

열처리에 따른 왕겨의 tricin과 TTGE 함량

열처리 온도와 시간에 따른 왕겨의 tricin과 TTGE 함량을 측정된 결과는 Fig. 1 및 2와 같다. 열처리하지 않은 왕겨의 tricin과 TTGE 함량은 각각 62.56 및 38.14 µg/g이었으며, 열처리에 따른 함량 변화를 보면 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하여 130°C에서 1시간 처리 시 각각 253.12 및 208.39 µg/g까지 증가하였으나 140°C에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 열처리 시간에 따른 영향을 살펴보면 100°C까지는 3시간 처리하였을 때까지 증가하다가 5시

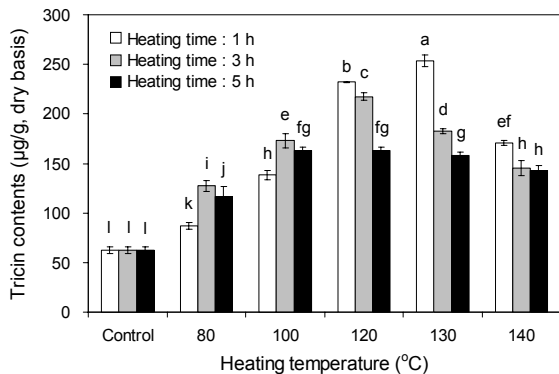


Fig. 1. Changes in tricin contents of rice hull with different heating temperature and time. Different letters (a-l) above the bars indicate significant difference ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

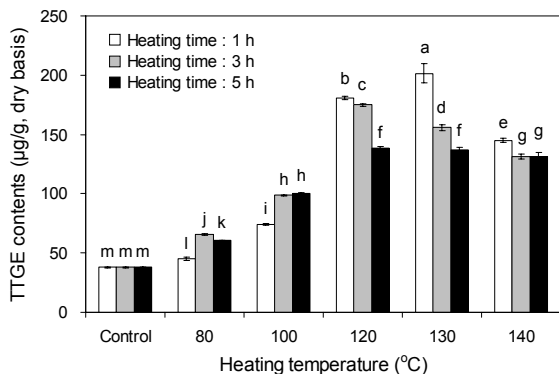


Fig. 2. Changes in tricin 4'-O-(threo-β-guaiacylglyceryl) ether (TTGE) contents of rice hull with different heating temperature and time. Different letters (a-m) above the bars indicate significant difference ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

간 처리에서는 감소하였으며, 120°C 이상의 온도에서는 열처리 시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 가장 많은 tricin 및 TTGE의 함량을 나타낸 처리구는 130°C, 1시간이었다. 이러한 결과는 쌀(18), 미강(19), 버섯(12), 토마토(20), 오미자(21) 등 식물체의 기능성분이 가열 방법과 온도 및 시간이 증가함에 따라 증가한다는 결과와 유사하게 나타났으며, 가열온도 및 시간이 증가할수록 결합형 화합물을 유리형으로 전환시켜 용출을 용이하게 하거나 고분자 화합물로부터 저분자로 분해시켜 시료에서 추출되는 화합물의 함량이 증가한 것으로 생각된다(22).

발아기간에 따른 왕겨의 tricin과 TTGE 함량

발아과정 중에는 화학성분의 변화뿐만 아니라 유용성분들이 증가하거나 생성되며 그에 따라 다양한 생리활성에 증가하는 경향이 있는 것으로 알려졌다. 발아에 따른 일품벼 왕겨 층의 tricin 및 TTGE 함량을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 발아시키지 않은 대조구의 경우 tricin과 TTGE 함량은 각각 62.56 및 38.14 µg/g으로 적은 양이 존재하지만 발아 2일 차에는 118.20 및 95.37 µg/g으로 증가하였으나 발아 3일 차에는 각각 103.14 및 77.92 µg/g으로 다소 감소하였고 그 이후에도 감소하는 경향을 나타내었다. 발아 벼로부터 TTGE를 분리 및 동정한 Kim 등(23)의 연구에 따르면 발아가 진행됨에 따라 왕겨 층의 플라보노이드 함량이 증가하며 플라보노이드계열의 물질인 TTGE 함량 또한 발아일수에 따라 증가하다가 감소하였다는 결과로 미루어 볼 때 본 연구에서 나타난 결과와 유사하였다.

발아 벼 추출액 처리에 의한 왕겨의 tricin과 TTGE 함량 및 생균수

발아 벼 추출액 추출물 처리가 왕겨의 tricin 및 TTGE에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 0~6일간 발아시킨 벼의 추출액을 살균한 왕겨에 처리한 후 분석한 결과는 Fig. 4 및 5와 같다. 추출액을 처리한 결과 tricin 및 TTGE의 함량은 대조구(62.56 및 38.14 µg/g)보다 약 1.5~2배 증가하였으

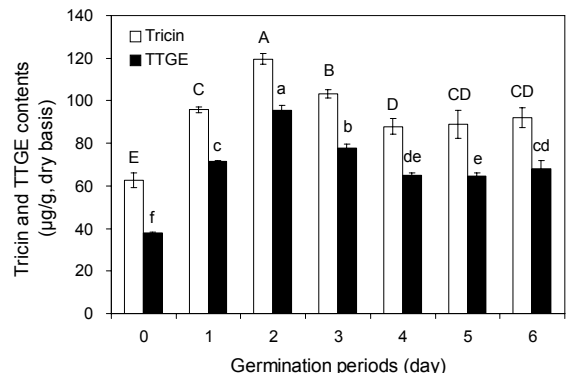


Fig. 3. Changes in tricin and TTGE contents of rice hull on germination period. Different letters (A-E, a-f) above the bars of same items indicate significant difference ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

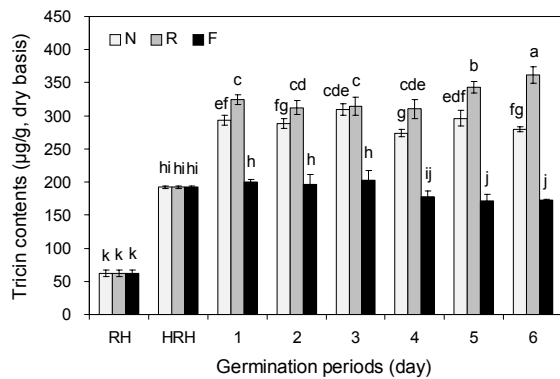


Fig. 4. Changes in tricin contents with germinated rough rice extract treatment. Different letters (a-k) above the bars indicate significant difference ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test. RH, raw rice hull; HRH, heated rice hull at 121°C for 15 min; N, rice hull treated by germinated rough rice extract; R, rice hull treated by filter residue of germinated rough rice extract; F, rice hull treated by filtrate of germinated rough rice extract.

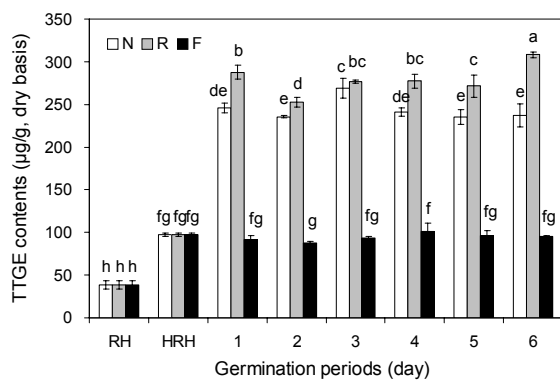


Fig. 5. Changes in TTGE contents with germinated rough rice extract treatment. Different letters (a-h) above the bars indicate significant difference ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test. RH, raw rice hull; HRH, heated rice hull at 121°C for 15 min; N, rice hull treated by germinated rough rice extract; R, rice hull treated by filter residue of germinated rough rice extract; F, rice hull treated by filtrate of germinated rough rice extract.

며, 발아 3일 차 비 추출액 처리구가 각각 309.69 및 269.02 µg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 추출액의 영향에서 조효소액 또는 미생물에 의한 원인인지 확인하기 위하여 발아일수별 추출액을 0.22 µm 필터로 여과한 조효소액 및 여

과잔여물을 처리한 결과 여과한 조효소액을 접종한 왕겨에서의 tricin 및 TTGE 함량은 무처리군과 유의적인 차이가 없었으며, 여과잔여물을 첨가한 처리구에서는 6일 차 발아 비 추출액 처리 시 각각 361.76 및 308.08 µg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었다.

발아 비 추출액 처리 시 tricin과 TTGE 함량이 가장 높게 나타난 발아 비 6일 차 추출액에 대한 생균수 측정 결과 및 상관관계를 분석한 결과는 Table 1 및 2와 같다. 왕겨 추출액에서의 생균수는 4.20E+06으로 나타났고 살균한 왕겨 추출액에서는 1,000 미만의 생균수가 측정되었으며, 여과한 발아 비 추출액과 여과 잔여물에서의 생균수는 각각 1,000 미만과 2.02E+09로 측정되었다. 또한 tricin과 TTGE 함량은 발아 비 추출물과 높은 상관관계가 존재하는 것으로 나타났으며, tricin과 TTGE 또한 양의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 발아 비 추출액에 의한 tricin 및 TTGE의 증대는 여과 잔여물에 생육하는 미생물에 의한 것으로 추정되며, 유용성분을 증대시키는 미생물의 작용 메커니즘에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 판단된다. *Escherichia coli*의 플라보노이드 이중 생산에 관한 광범위한 연구들이 최근 보고되고 있으며(24-27), 전구체인 아미노산을 공급하지 않으면서 포도당으로부터 플라보노이드의 전구물질인 naringenin을 직접 생성하는 미생물의 메커니즘이 밝혀졌다(28). 그러므로 발아 비 추출물에 대한 미생물학적 연구가 더 진행되어야 할 것으로 판단되며 발아 비로부터 추출된 미생물에 의한 tricin과 TTGE의 증대는 비의 발아에 의한 물질의 저분자화로 생성된 포도당과 발아 비 내의 미생물의 작용으로 인한 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합해 보면 발아, 열처리, 발아 비 추출액을 처리한 왕겨 순으로 tricin 및 TTGE의 함량이 많이 증대되어 발아 비 추출액에 의한 함량 증대가 가장 컸으며, 발아

Table 2. Correlation coefficients among tricin, TTGE contents, and viable cell counts in rice hull with extract of germinated rough rice for 6 days treatment

Factors	Tricin	TTGE	Viable cell counts
Tricin	1	0.996***	0.760*
TTGE		1	0.764*
Viable cell counts			1

* $P<0.05$, *** $P<0.001$.

Table 1. Changes in tricin, TTGE contents, and viable cell counts in rice hull with extract of germinated rough rice for 6 days treatment

Sample ¹⁾	Tricin (µg/g, dry basis)	TTGE (µg/g, dry basis)	Viable cell counts
RH	62.56±3.58 ^{d2)3)}	38.14±4.81 ^c	4.20E+06 ^b
HRH	192.30±2.04 ^b	175.65±5.12 ^b	<1,000 ^b
HRH_FRE	361.76±11.40 ^a	308.08±11.54 ^a	2.02E+09 ^a
HRH_FE	173.01±3.42 ^c	104.16±10.94 ^b	<1,000 ^b

¹⁾RH: raw rice husk, HRH: heated rice hull at 121°C for 15 min, FRE: filter residue of germinated rough rice extract, FE: filtrate of germinated rough rice extract.

²⁾Values are mean±SD of 3 replicate.

³⁾Different letters in the same column indicate a significant difference ($P<0.05$) among different treatment.

벼 추출액이 왕겨의 tricetin과 TTGE에 미치는 영향은 추출액 속의 미생물에 의한 영향으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 열처리 및 발아와 발아 벼로부터 추출한 조효소액에 의한 왕겨의 tricetin과 4'-O-(threo- β -guaiacylglycerol) ether(TTGE)의 함량 변화에 대해 살펴보았다. 열처리에 의한 왕겨의 tricetin과 TTGE의 함량은 온도 및 시간이 증가함에 따라 증가하였고 130°C에서 1시간 처리하였을 때 각각 253.12 및 208.39 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높게 나타났으며, 발아 2일차에서 각각 118.20 및 95.37 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높게 나타났다. 발아일수별 벼의 조효소액을 여과한 조효소액 및 여과 후 남은 잔여물을 접종한 결과 여과한 조효소액의 처리구에서는 뚜렷한 함량 차이가 없었으나 잔여물을 처리하였을 때 tricetin 및 TTGE의 함량이 유의적으로 증가하였다. 특히 발아 벼 6일 차에서 각각 361.76 및 308.08 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 많은 함량을 나타내었다. 이상의 결과로부터 tricetin과 TTGE의 함량을 가장 많이 증대시킬 수 있는 조건은 발아 6일차 벼로부터 추출한 조효소액 여과 잔여물을 처리한 경우로 나타났다.

REFERENCES

- Lee YJ, Jung WK, Sung YJ. 2011. Investigation of the effects of environment friendly digestion process on the rice hull. *J Korea TAPPI* 4: 139-150.
- Park JH, Jin JH, Kim HJ, Park HR, Lee SC. 2005. Effect of far-infrared irradiation on the antioxidant activity of extracts from rice hulls. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 131-134.
- Park SJ, Kim MH, Shin HM. 2005. Chemical compositions and thermal characteristics of rice husk and rice husk ash in Korea. *J Biosystems Eng* 30: 235-241.
- Oh SW, Kang CH. 1999. Studies on the physical properties of molded packaging material using rice-straw pulp. *J Korean Wood Sci Technol* 27: 79-87.
- No SY. 1998. Effective utilization methods of rice husk. *J Biosystems Eng* 23: 507-518.
- Ramarathnam N, Osawa T, Namiki M, Kawakishi S. 1989. Chemical studies on novel rice hull antioxidants. 2. Identification of isovitexin, a C-glycosyl flavonoid. *J Agric Food Chem* 37: 316-319.
- Rho YD, Baek NI, Lee MH. 2001. Separation and identification of natural herbicidal substance from rice hull. *Kor J Weed Sci* 21: 49-57.
- Jeong RH, Lee DY, Cho JG, Lee SM, Kang HC, Seo WD, Kang HW, Kim JY, Baek NI. 2011. A new flavonolignan from the aerial parts of *Oryza sativa* L. inhibits nitric oxide production in Raw 264.7 macrophage cells. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 54: 865-870.
- Jiao J, Zhang Y, Liu C, Liu J, Wu X, Zhang Y. 2007. Separation and purification of tricetin from an antioxidant product derived from bamboo leaves. *J Agric Food Chem* 55: 10086-10092.
- Mohanlal S, Parvathy R, Shalini V, Helen A, Jayalekshmy A. 2011. Isolation, characterization and quantification of tricetin and flavonolignans in the medicinal rice Njavara (*Oryza sativa* L.), as compared to staple varieties. *Plant Foods Hum Nutr* 66: 91-96.
- Jung YS, Kim DH, Hwang JY, Yun NY, Lee YH, Han SB, Hwang BY, Lee MS, Jeong HS, Hong JT. 2014. Anti-inflammatory effect of tricetin 4'-O-(threo- β -guaiacylglycerol) ether, a novel flavonolignan compound isolated from Njavara on in RAW264.7 cells and in ear mice edema. *Toxicol Appl Pharmacol* 277: 67-76.
- Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99: 381-387.
- Hwang CR, Oh SH, Kim HY, Lee SH, Hwang IG, Shin YS, Lee JS, Jeong HS. 2011. Chemical composition and antioxidant activity of Deoduk (*Codonopsis lanceolata*) and Doragi (*Platycodon grandiflorum*) according to temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 798-803.
- 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.
- Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Lee YR, Jeong HS. 2008. Effects of heat treatments on the antioxidant activities of fruits and vegetables. *Korean J Food Sci Technol* 40: 166-170.
- Yang SJ, Woo KS, Yoo JS, Kang TS, Noh YH, Lee J, Jeong HS. 2006. Change of Korean ginseng components with high temperature and pressure treatment. *Korean J Food Sci Technol* 38: 521-525.
- Kim MY, Lee SH, Jang GY, Park HJ, Li M, Kim S, Lee YR, Noh YH, Lee J, Jeong HS. 2015. Effects of high hydrostatic pressure treatment on the enhancement of functional components of germinated rough rice (*Oryza sativa* L.). *Food Chem* 166: 86-92.
- Min B, McClung A, Chen MH. 2014. Effects of hydrothermal processes on antioxidants in brown, purple and red bran whole grain rice (*Oryza sativa* L.). *Food Chem* 159: 106-115.
- Lee JH, Oh SK, Kim DJ, Yoon MR, Chun A, Choi IS, Lee JS, Kim YG. 2013. Comparison of antioxidant activities by different extraction temperatures of some commercially available cultivars of rice bran in Korea. *Korean J Food & Nutr* 26: 1-7.
- Thompson KA, Marshall MR, Sims CA, Wei CI, Sargent SA, Scott JW. 2000. Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *J Food Sci* 65: 791-795.
- Park EJ, Ahn JJ, Kwon JH. 2013. Effect of reflux conditions on extraction properties and antioxidant activity of freeze dried-Schisandra chinensis. *Korean J Food Sci Technol* 45: 550-556.
- Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem* 93: 713-718.
- Kim HY, Hwang IG, Kim TM, Woo KS, Park DS, Kim JH, Kim DJ, Lee J, Lee YR, Jeong HS. 2012. Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination. *Food Chem* 134: 288-293.
- Fowler ZL, Gikandi WW, Koffas MAG. 2009. Increased malonyl coenzyme A biosynthesis by tuning the *Escherichia coli* metabolic network and its application to flavanone production. *Appl Environ Microbiol* 75: 5831-5839.
- Leonard E, Chemler J, Lim KH, Koffas MA. 2006. Express-

- sion of a soluble flavone synthase allows the biosynthesis of phytoestrogen derivatives in *Escherichia coli*. *Appl Microbiol Biotechnol* 70: 85-91.
26. Leonard E, Yan Y, Koffas MA. 2006. Functional expression of a P450 flavonoid hydroxylase for the biosynthesis of plant-specific hydroxylated flavonols in *Escherichia coli*. *Metab Eng* 8: 172-181.
 27. Leonard E, Lim KH, Saw PN, Koffas MA. 2007. Engineering central metabolic pathways for high-level flavonoid production in *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol* 73: 3877-3886.
 28. Santos CN, Koffas M, Stephanopoulos G. 2011. Optimization of a heterologous pathway for the production of flavonoids from glucose. *Metab Eng* 13: 392-400.