

## 전통 누룩을 이용한 발효황기의 성분 변화

강민혜 · 이은숙\* · 지윤정\*\* · 김형돈 · 김금숙\*\*\* · 최수지\*\*\* · †장귀영

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구사, \*농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 공무직연구원,  
\*\*농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 박사전문연구원, \*\*\*농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구관

### Changes in the Components of *Astragalus membranaceus* Fermented by Korean Traditional *Nuruk*

Min Hye Kang, Eun Suk Lee\*, Yun-jeong Jee\*\*, Hyung Don Kim,  
Geum Soog Kim\*\*\*, Su Ji Choi\*\*\* and †Gwi Yeong Jang

Researcher, Dept. of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

\*Research Assistant, Dept. of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

\*\*Post-Doctor, Dept. of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

\*\*\*Senior Researcher, Dept. of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

#### Abstract

The major active components of *Astragalus membranaceus* (AM) are isoflavones, which exist in the form of various glycosides. *Nuruk* is a traditional fermentation starter in Korea, and is suitable for the biotransformation of isoflavone glycosides because it contains various microorganisms and enzymes. This study was performed to determine changes in the isoflavones and antioxidant properties of AM fermented (AF) with *nuruk* over 24 hours. AF was sampled after 0, 2, 4, 6, 12, 18, and 24 h of fermentation, and calycosin 7-glucoside, ononin, calycosin, and formononetin content, and the antioxidant properties of AF were analyzed. The total phenolic content increased with fermentation time, and the ABTS radical scavenging activity increased until 6 h of fermentation and then decreased. During fermentation, the isoflavone glycosides decreased significantly as fermentation time increased. The contents of calycosin and formononetin, which are aglycons of calycosin-7-glucoside and ononin, increased from 100.54 µg/g to 276.84 µg/g and from 56.29 µg/g to 123.04 µg/g, respectively, at 18 h of fermentation. Significant correlations were observed between fermentation time, isoflavone content, and antioxidant properties. The results of this study showed that fermentation with *nuruk* is suitable for the biotransformation of isoflavones in AM.

Key words: *Astragalus membranaceus*, antioxidant properties, fermentation, isoflavone, *nuruk*

#### 서 론

황기(*Astragalus membranaceus*)는 콩과에 속하는 다년생 초본식물로 박피한 뿌리를 건조하여 한약재나 식품원료로 사용한다(Jung 등 2008). 황기는 한방에서 강장, 지한, 이뇨에 효과가 있어 십전대보탕, 보주익기탕, 옥병풍산 등의 처방에 사용되며 인삼과 함께 많이 사용되는 보기약 중 하나이다(Kim 등 2007; Lee 등 2008).

황기는 다양한 triterpene saponin, 페놀성 화합물 및 다당체

를 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(Subarnas 등 1991; Hirotani 등 1994). 다른 콩과 식물과 같이 황기에는 페놀성 화합물 중 아이소플라본(isoflavone)이 다량 존재하며, calycosin 7-glucoside, ononin, calycosin 및 formononetin이 대표적이다(Song 등 1997; Li 등 2019). 황기의 주요 아이소플라본인 calycosin 7-glucoside, ononin, calycosin 및 formononetin에 대한 생리활성 연구는 다양하게 이루어졌다. 황기에 존재하는 아이소플라본은 항당뇨(Tang 등 2011), 항염증(Huh 등 2010), 항산화(Yu 등 2005) 효과, 심혈관계 질환의 개선(Luk'yanchikov

† Corresponding author: Gwi Yeong Jang, Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea. Tel: +82-43-871-5768, Fax: +82-43-871-5759, E-mail: janggy@korea.kr

MS 1984) 등 다양한 활성을 갖는 것으로 보고되었다. 아이소플라본의 당 결합 유무에 따른 연구로 황기 아이소플라본의 항염증 활성 연구에서 아글리콘이 배당체의 절반의 농도에서 동일한 효과를 나타내었으며(Luo 등 2019), 콩 유래 아이소플라본 배당체와 아글리콘의 지질대사 촉진 효과에 대한 연구에서도 아글리콘이 더 빠른 체내 흡수와 높은 지질대사 촉진 효과를 나타내어 배당체보다는 아글리콘 형태의 이용에 대한 필요성을 나타내었다(Kawakami 등 2005).

식품 중에 존재하는 우수한 흡수율과 기능성을 갖는 아글리콘 형태의 아이소플라본 함량을 높이기 위한 방법으로 증속과 같은 이화학적인 방법(Chen 등 2020)과 미생물이나 효소를 이용한 생물학적인 전환 방법(Gu 등 2019; Park 등 2021)에 대한 연구가 보고되었다. 생물학적인 전환 방법은 이화학적인 방법 대비 낮은 온도에서 목적인 성분을 특이적으로 전환시킬 수 있다는 장점이 있다. 누룩은 우리나라의 전통적인 발효제로 다양한 미생물과 당화효소를 높은 농도로 포함하고 있다(So MH 1993; So MH 1999). 높은 농도의 미생물과 당화효소를 포함하는 누룩은 배당체의 아글리콘 전환에 적합한 발효제이며 식품원료로 사용이 가능하여 활용성이 높다.

본 연구에서는 황기의 아이소플라본 배당체를 아글리콘으로 전환시키기 위한 발효제로서 전통누룩을 사용하고 항산화 특성과 아이소플라본 함량 변화를 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료 및 시약

박피한 건조황기는 제천 소재의 영농조합법인으로부터 구입하여 분쇄 후 발효를 위한 원료로 사용하였다. 황국균을 주요 미생물로 사용하는 전통 누룩은 부산에 위치한 금정산성 누룩으로부터 구입하여 분쇄 후 사용하였다. 황기의 isoflavone 분석을 위한 표준품으로 calycosin 7-glucoside, calycosin, ononin 및 formononetin은 시그마-알드리치(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였다. 분석에 사용한 물과 acetonitrile (ACN)은 Fisher Scientific(Pittsburgh, PA, USA)에서 구입하였다. 그 외에 모든 시약은 특급시약을 사용하였다.

### 2. 발효 황기의 제조

발효황기의 제조는 황기, 누룩 및 물을 5:5:100의 중량비가 되도록 각각 40 g, 40 g 및 800 g을 3 L baffled erlenmeyer flask에 넣고 혼합하여 40±2°C에서 150 rpm으로 24시간 동안 발효시켰다. 발효액은 0, 2, 4, 6, 12, 18 및 24시간을 각각 발효하여 2배의 99% 에탄올을 가하여 반응을 정지시킨 후 상온에서 2시간 동안 초음파 추출 후 여과하여 분석용 시료로 사용

하였다.

## 3. 발효황기의 항산화 특성

### 1) 총 페놀 함량

발효시간에 따른 황기의 총 페놀 함량을 확인하기 위하여 Dewanto 등(2002)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 페놀성 화합물에 의해 환원되어 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 측정하였다. 즉, 각 추출물에 2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>용액을 가한 후 1 N Folin-Ciocalteu reagent를 가하였다. 30분간 방치 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm로 microplate reader로 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma Chemical Co., USA)를 사용하였으며 총 폴리페놀 함량은 생시료 mL 중의 µg gallic acid로 나타내었다.

### 2) ABTS 라디칼 소거능

발효시간에 따른 황기의 ABTS 라디칼 소거능을 확인하기 위하여 Re 등(1999)의 방법으로 측정하였다. 7.4 mM 2,2-Azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS, Sigma Chemical Co., USA)과 potassium persulfate 2.6 mM을 12시간 이상 암소에 방치하여 ABTS<sup>•+</sup> 양이온을 형성시킨 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4가 되도록 물 흡광계수( $\epsilon = 3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS<sup>•+</sup> 용액 190 µL에 추출액 10 µL를 가하여 흡광도의 변화를 30분 후에 microplate reader로 측정하였다. 표준물질로 L-ascorbic acid(Sigma Chemical Co., USA)를 사용하였다.

### 4. 발효시간에 따른 황기의 isoflavone 함량 변화

발효 황기의 isoflavone 함량을 확인하기 위하여 발효 여과액을 0.2 µm syringe filter(GHP membrane, PALL, New York, USA)로 여과 후 claycosin 7-glucoside( $y = 38.128x + 1.5057$ ,  $R^2 = 0.9993$ ), ononin( $y = 46.472x + 0.2983$ ,  $R^2 = 0.999$ ), calycosin( $y = 54.998x + 2.2287$ ,  $R^2 = 0.9991$ ) 및 formononetin( $y = 68.757x + 1.6707$ ,  $R^2 = 0.9992$ ) 표준품을 사용하여 시료 중 함량을 분석하였다. 표준물질은 50 µg/mL의 농도로 제조 후 희석하여 사용하였다. Isoflavone 함량은 Park 등(2019)의 방법을 변형하여 사용하였다. 분석에는 HPLC-UV(1200 series, Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)와 YMC triart C18 컬럼(100 mm×4.6 mm, 3.0 µm, YMC Co., Kyoto, Japan)을 사용하였다. 분석 조건은 이동상은 0.1% formic acid/water(A), 0.1% formic acid/acetonitrile(B) 기울기 조건(0~5 min: 0~0% B, 5~7 min: 0~10% B, 7~12 min: 10~20% B, 12~16 min: 20~26% B, 16~17 min: 26~26% B, 17~22 min: 26~33% B, 22~32 min: 33~60% B), 컬럼 온도 30°C, 유속 1.0 mL/min, 주입량 10 µL, 검출과

장 250 nm로 분석하였다. 정량은 검량선의 검량 계수 값을 구하여 각 화합물의 함량을 계산하여 발효액 제조에 사용된 황기 건조물 중  $\mu\text{g/g}$ 으로, 발효 중 isoflavone의 전환속도는 각 isoflavone의 함량이 발효시간의 증가에 따라 직선성을 보이는 범위에서 단위 시간당 함량 변화량으로서 황기 건조물 중  $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$ 로 나타내었다.

## 5. 통계분석

모든 실험은 3회 반복하였으며, 통계분석은 SPSS(Statistical package for the social science, Ver. 23.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 각 시료군의 평균과 표준편차를 산출하고, 처리 간 차이 유무를 one-way ANOVA(Analysis of variation)로 분석한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 검정하였다( $p < 0.05$ ). 또한 요인간의 상관분석은 Pearson's correlation analysis를 통하여 분석하였다.

## 결과 및 고찰

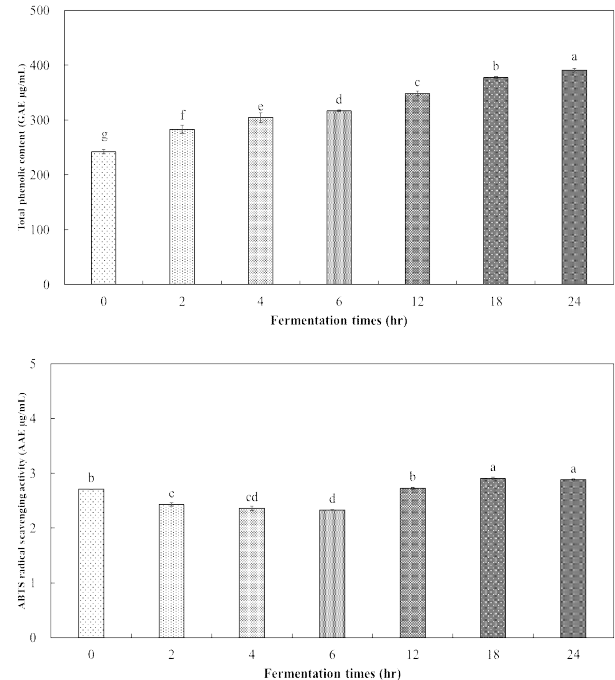
### 1. 발효황기의 항산화 특성

발효시간을 달리하여 제조한 발효황기의 항산화 특성 변화는 Fig. 1과 같다. 총 페놀성분 함량은 발효시간이 증가함에 따라 증가하였다. 발효 전  $242.22 \mu\text{g/mL}$ 에서 발효시간에 의존적으로 증가하여 24시간에서는  $390.67 \mu\text{g/mL}$ 로 발효 전과 비교하여 61% 증가하였다( $p < 0.05$ ). 총 페놀성분 함량이 발효시간에 비례하여 증가하는데 반하여 ABTS 라디칼 소거능은 큰 변화를 나타내지 않았다. 발효 시작 후 6시간까지 감소 후 12시간부터 소폭 증가하여 발효 시작 전  $2.71 \mu\text{g/mL}$ 에서 24시간 후에  $2.88 \mu\text{g/mL}$ 를 나타내었다.

발효시간 황기의 항산화 특성에 대한 연구로 황기 잎 추출물을 유산균으로 발효하였을 때 총 페놀성분 함량과 항산화 효과가 증가되었으며, 페놀성분 함량 증가율 대비 항산화 효과의 증가율이 낮았다(Song 등 2020). Lee 등(2022)의 유산균을 이용한 발효황기에서도 산화스트레스로부터 간세포를 보호하고, 항산화 효과와 관련된 단백질의 발현 촉진 효과를 증가시켰다. 발효에 의한 페놀성 화합물과 항산화 활성의 증가는 방향족 고리가 포함된 중합체의 분해에 의해 일어날 수 있으며, 방향족 고리가 포함된 성분도 항산화 활성을 나타내지 않는 경우도 있어 총 페놀 함량이 모든 항산화 활성을 갖는 페놀 함량과 일치하지 않을 수 있다(Haslam 등 2003; Chu & Chen 2006).

### 2. 발효시간에 따른 황기의 isoflavone 변화 및 전환속도

발효시간에 따른 황기의 isoflavone 변화는 Fig. 2(Guo 등 2020), Fig. 3 및 Fig. 4와 같이, 황기에 존재하는 주요



**Fig. 1. Antioxidant properties of *Astragalus membranaceus* fermented by *nuruk* with different fermentation times.** Different small letters on the bars indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ). GAE; gallic acid equivalent. AAE; ascorbic acid equivalent.

isoflavone 배당체인 calycosin 7-glucoside와 ononin이 가수분해되어 아글리콘인 calycosin과 formononetin으로 전환되었다. Calycosin 7-glucoside는 발효액에 포함된 황기의 증량을 기준으로 발효 전에는  $38.95 \mu\text{g/g}$ 에서 발효시간이 증가함에 따라 빠르게 감소하였다. 발효 시작 6, 12 및 18시간에 각각 59.08, 87.27 및 96.96%가 감소하였으며, 18시간 후 수렴하였다. Ononin도 calycosin 7-glucoside와 유사하였다. 발효 전  $14.09 \mu\text{g/g}$ 에서 발효 6시간 후 72.90%가 감소하여  $3.82 \mu\text{g/g}$ 을 나타내었으며, 12시간부터는 검출되지 않았다. 배당체가 아글리콘으로 전환됨에 따라 calycosin과 formononetin 함량이 증가하였다. Calycosin과 formononetin 함량 증가는 발효 18시간까지 증가 후 수렴하였으며, calycosin과 formononetin 증가율은 발효 18시간을 기준으로 각각 175.35%와 118.57%이었다. 발효 전 calycosin과 formononetin 함량은  $100.54 \mu\text{g/g}$ 과  $56.29 \mu\text{g/g}$ 이었으며, 가장 많은 함량을 나타낸 발효 18시간에서는  $175.35 \mu\text{g/g}$ 과  $123.04 \mu\text{g/g}$ 이었다.

Jiao 등(2017)의 연구에서 흑국균(*Aspergillus niger*)과 황국균(*Aspergillus oryzae*)을 고정화하여 황기 모상근과 같이 배양한 연구에서 isoflavone 아글리콘인 calycosin과 formononetin 함량이 크게 증가하였다. Isoflavone 아글리콘은 흑국균과 황

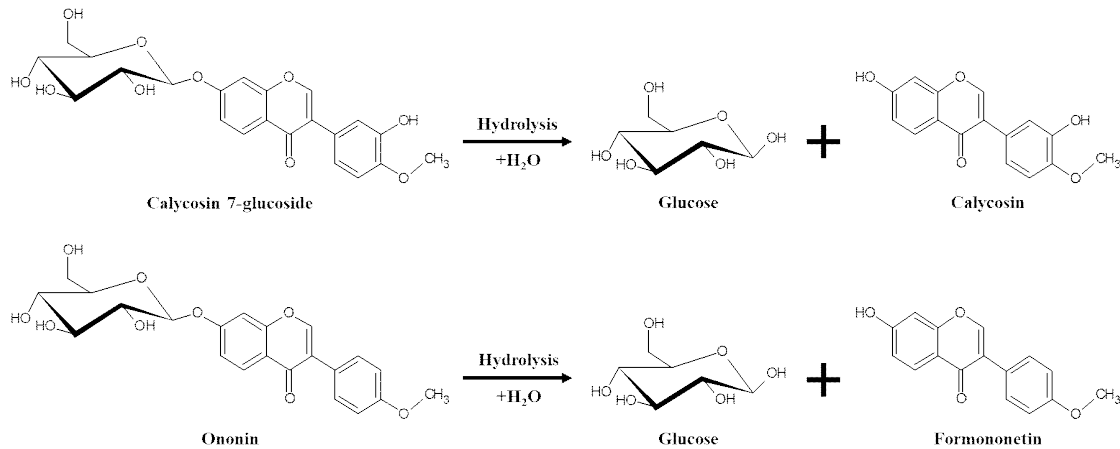


Fig. 2. Bioconversion of isoflavones from *Astragalus membranaceus* by enzymatic hydrolysis (Guo et al., 2020).

국균의 세포 외로 분비된  $\beta$ -glucosidase에 의해 배당체의 당 결합이 가수분해되어 증가하였으며, 전구체에 해당하는 배당체들은 지속적으로 감소하였다(Cao 등 2015). 본 연구에서 사용한 누룩도 주요 미생물인 황국균에 의해 생성된  $\beta$ -glucosidase에 의해 동일한 전환효과를 나타내는 것으로 판단된다.

황기 주요 isoflavone의 전환속도를 확인한 결과는 Fig. 5와 같다. 배당체에서 아글리콘으로 전환됨에 따라 감소되는 calycosin 7-glucoside와 ononin의 전환속도는 각각  $-1.86 \mu\text{g/g} \cdot \text{h}$ 와  $-0.86 \mu\text{g/g} \cdot \text{h}$ 이었으며, 발효 2시간부터 12시간까지의 구간에서 높은 직선성을 나타내었다. 함량 증가를 나타낸 calycosin과 formononetin의 전환속도를 확인한 결과, 발효 시작부터 6시간 구간에서 일정한 전환속도를 나타내었다. Calycosin과 formononetin의 생성속도는 각각  $11.61 \mu\text{g/g} \cdot \text{h}$ 과  $3.73 \mu\text{g/g} \cdot \text{h}$ 이었으며, 6시간 이후 생성속도가 점차 느려져서 18시간 이후에는 0에 가깝게 수렴하였다. 효소적 가수분해에 의해 전환되는 calycosin 7-glucoside와 ononin의 감소속도와 감소된 함량 대비 증가된 calycosin과 formononetin 함량은 많은 차이를 보였다. 분자량을 기준으로  $100 \mu\text{g}$ 의 calycosin 7-glucoside(MW: 446.40)가 가수분해되어 생성되는 calycosin(MW: 284.26)은  $63.7 \mu\text{g}$ 이며,  $100 \mu\text{g}$ 의 ononin(MW: 430.40)에서는  $62.3 \mu\text{g}$ 의 formononetin(MW: 268.26)이 생성될 수 있다. 그러나 본 연구에서 감소된 calycosin 7-glucoside와 ononin의 함량 대비 증가된 calycosin과 formononetin의 함량은 많은 차이를 나타내어, 배당체의 감소량 대비 아글리콘의 높은 증가량을 나타내었다. 이러한 결과는 calycosin 7-glucoside와 ononin 외에 calycosin과 formononetin으로 전환이 가능한 배당체의 존재에 의한 것으로 추정된다.

황국균을 고정화하여 황기 모상근과 같이 배양하며 성분

변화를 확인한 연구에서, isoflavone 배당체의 함량이 최고점에서 배양시간에 따라 일정하게 감소하고, 그에 따라 아글리콘의 함량도 시간에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 감소된 배당체(calycosin 7-glucoside와 ononin)의 함량 대비 생성된 아글리콘의 함량간에 많은 차이를 나타내 본 연구의 결과와 유사하였다(Jiao 등 2017). 이는 calycosin 7-glucoside와 ononin 외에도 acetylcalycosin 7-glucoside, malonylcalycosin 7-glucoside, acetylononin 및 malonylononin과 같은 전구체가 존재하여 발생하는 함량 차이로 추정된다(Wang 등 2023).

### 3. 발효시간과 황기 성분간의 상관성 분석

발효시간, 항산화 특성 및 isoflavone 함량 간의 상관성을 분석한 결과는 Table 1과 같이, 발효시간과 성분 변화간에 높은 상관성을 나타내었다. 총 페놀성분 함량( $0.952, p<0.01$ ), ABTS 라디칼 소거능( $0.724, p<0.01$ ), calycosin( $0.879, p<0.01$ ) 및 formononetin( $0.908, p<0.01$ ) 함량은 발효시간과 정의 상관관계를 나타내었다. 배당체인 calycosin 7-glucoside( $-0.894, p<0.01$ )와 ononin( $-0.834, p<0.01$ )의 함량은 발효시간과 음의 상관관계를 나타내었다. 이는 발효과정에서 효소적 가수분해에 의해 페놀성 화합물의 증가, 배당체의 아글리콘으로의 전환에 의한 것으로 발효시간에 의존적인 변화를 나타내는 것으로 판단된다.

## 요약 및 결론

황기와 누룩을 혼합하여 발효하면서 발효시간에 따른 항산화 특성과 isoflavone(calycosin 7-glucoside, ononin, calycosin 및 formononetin) 함량 변화를 확인하였다. 총 페놀성분 함량과 ABTS 라디칼 소거능은 발효에 의해 증가하였으며, 6시간

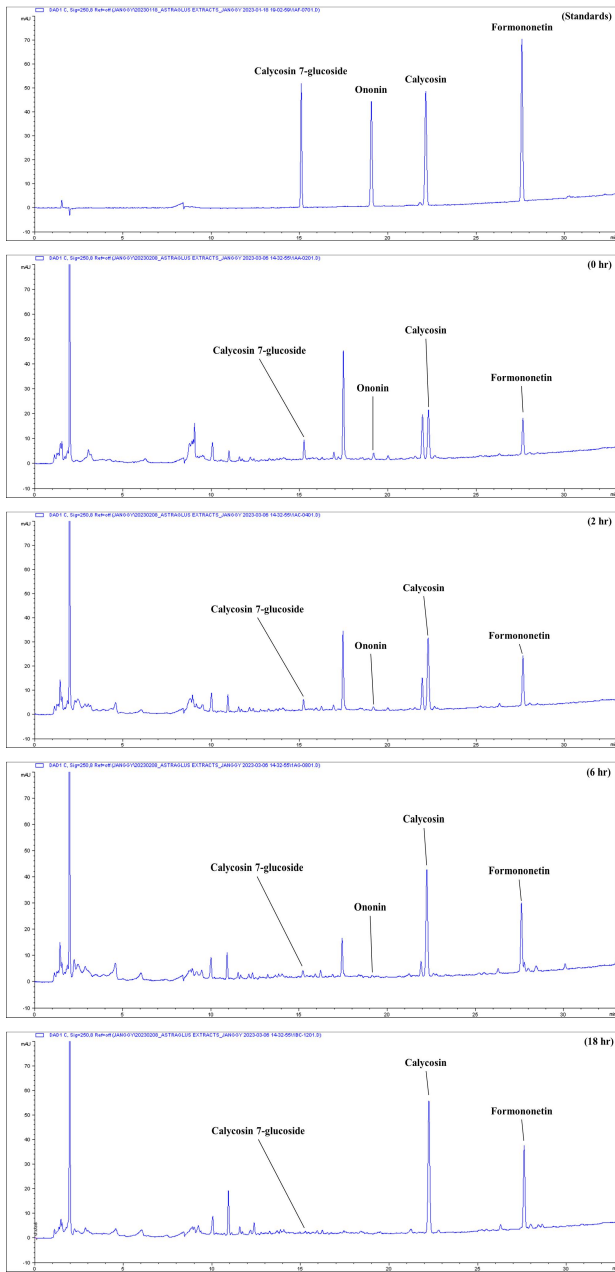


Fig. 3. Typical chromatograms of *Astragalus membranaceus* fermented by *nuruk* with different fermentation times.

발효에서 가장 우수하였다. Isoflavone 함량은 발효시간이 증가함에 따라 배당체인 calycosin 7-glucoside와 ononin 함량은 감소하였다. 아글리콘인 calycosin과 formononetin 함량은 각각 100.54 µg/g과 56.29 µg/g에서 276.84 µg/g과 123.04 µg/g으로 크게 증가하였다. 발효시간과 항산화 특성 및 isoflavone 함량 간에 높은 상관성을 나타내었다. 발효시간과 isoflavone 배당체는 음의 상관관계, 아글리콘은 양의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 누룩을 이용한 발효가 단시간에 황기

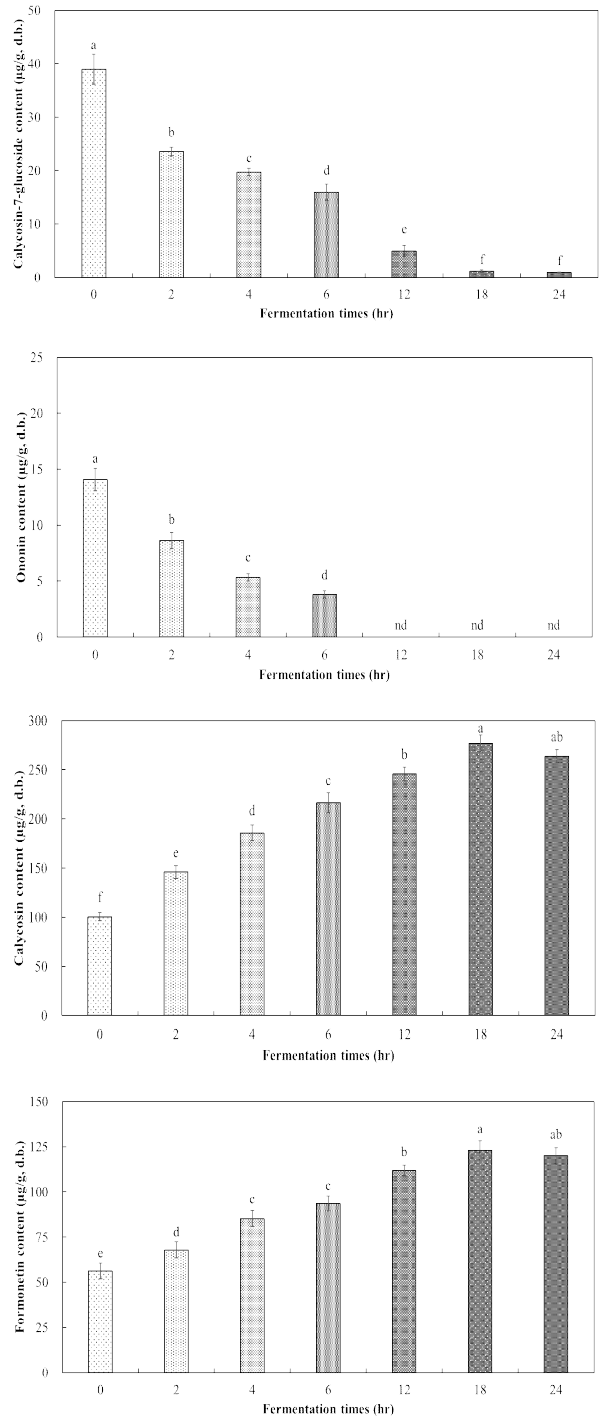
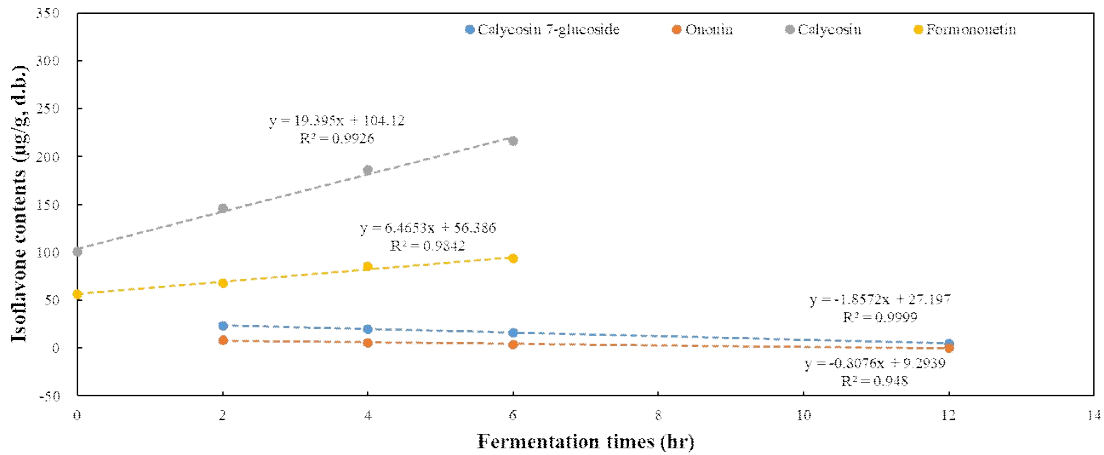


Fig. 4. Isoflavone contents of *Astragalus membranaceus* fermented by *nuruk* with different fermentation times. Different small letters on the bars indicate a significant difference ( $p < 0.05$ ).

의 isoflavone 배당체를 아글리콘으로 전환시킬 수 있어 생물학적 전환기술로 활용할 가치가 있음을 보여준다.



Isoflavones	Conversion rate (µg/g · h, d.b.)
Calycosin 7-glucoside	- 1.86±0.02
Calycosin	11.61±0.95
Ononin	- 0.86±0.07
Formononetin	3.73±0.69

Fig. 5. Conversion rate of isoflavone from *Astragalus membranaceus* fermented by *nuruk*.

Table 1. Correlation among fermentation time, antioxidant properties, and isoflavone contents of *Astragalus membranaceus* fermented by *nuruk*

Factors	FT	TPC	ABTS	C7G	O	C	F
FT	1.000	0.952**	0.724**	-0.894**	-0.834**	0.879**	0.908**
TPC		1.000	0.550**	-0.981**	-0.953**	0.965**	0.967**
ABTS			1.000	-0.472*	-0.365	0.460*	0.549*
C7G				1.000	0.982**	-0.972**	-0.965**
C					1.000	-0.975**	-0.956**
O						1.000	0.978**
F							1.000

Factors: FT; fermentation time, TPC; total phenolic content, ABTS; ABTS radical scavenging activity, C7G; calycosin 7-glucoside, O; ononin, C; calycosin, F; formononetin.

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 원예특작시험연구사업의 지원에 의해 수행된 연구과제(과제번호: PJ01669401)의 일부 결과이며, 이에 감사드립니다.

### References

Cao H, Chen X, Jassbi AR, Xiao J. 2015. Microbial

biotransformation of bioactive flavonoids. *Biotechnol Adv* 33:214-223  
 Chen Y, Shan S, Cao D, Tang D. 2020. Steam flash explosion pretreatment enhances soybean seed coat phenolic profiles and antioxidant activity. *Food Chem* 319:126552  
 Chu SC, Chen C. 2006. Effects of origins and fermentation time on the antioxidant activities of kombucha. *Food Chem* 98:502-507  
 Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. 2002. Thermal

- processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:3010-3014
- Gu Q, Duan G, Yu X. 2019. Bioconversion of flavonoid glycosides from *Hippophae rhamnoides* leaves into flavonoid aglycones by *Eurotium amstelodami*. *Microorganisms* 7:122
- Guo R, Guo S, Gao X, Wang H, Hu W, Duan R, Dong TTX, Tsim KWK. 2020. Fermentation of Danggui Buxue Tang, an ancient Chinese herbal mixture, together with *Lactobacillus plantarum* enhances the anti-diabetic functions of herbal product. *Chin Med* 15:98
- Haslam E. 2003. Thoughts on thearubigins. *Phytochemistry* 64:61-73
- Hirofani M, Zhou Y, Furuya HR. 1994. Cycloartane triterpene glycosides from the hairy root cultures of *Astragalus membranaceus*. *Phytochemistry* 37:1403-1407
- Huh JE, Seo DM, Baek YH, Choi DY, Park DS, Lee JD. 2010. Biphasic positive effect of formononetin on metabolic activity of human normal and osteoarthritic subchondral osteoblasts. *Int Immunopharmacol* 10:500-507
- Jiao J, Gai QY, Niu LL, Wang XQ, Guo N, Zang YP, Fu YJ. 2017. Enhanced production of two bioactive isoflavone aglycones in *Astragalus membranaceus* hairy root cultures by combining deglycosylation and elicitation of immobilized edible *Aspergillus niger*. *J Agric Food Chem* 65:9078-9086
- Jung HS, Lee EJ, Lee JH, Kim JS, Kang SS. 2008. Phytochemical studies on *Astragalus* root (3): Triterpenoids and sterols. *Korean J Pharmacogn* 39:186-193
- Kawakami Y, Tsurugasaki W, Nakamura S, Osada K. 2005. Comparison of regulative functions between dietary soy isoflavones aglycone and glucoside on lipid metabolism in rats fed cholesterol. *J Nutr Biochem* 16:205-212
- Kim MJ, Lim KR, Jung TK, Yoon KS. 2007. Anti-aging effect of *Astragalus membranaceus* root extract. *J Soc Cosmet Sci Korea* 33:33-40
- Lee HY, Ha HK, Jung DY, Choi JY, Lee NH, Ma JY, Yu YB, Shin HK. 2008. Study on pharmacological activity of *sipjeondaebotang* by difference in component ratio between *Astragali radix* and *Cinnamomi cortex*. *J Korean Oriental Med* 29:156-166
- Lee JY, Park HM, Kang CH. 2022. Antioxidant effect via bioconversion of isoflavonoid in *Astragalus membranaceus* fermented by *Lactiplantibacillus plantarum* MG5276 *in vitro* and *in vivo*. *Fermentation* 8:34
- Li Y, Guo S, Zhu Y, Yan H, Qian DW, Wang HQ, Yu JQ, Duan JA. 2019. Comparative analysis of twenty-five compounds in different parts of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* and *Astragalus membranaceus* by UPLC-MS/MS. *J Pharm Anal* 9:392-399
- Luk'yanchikov MS. 1984. Quantitative determination of flavonoids in some representatives of the family Fabaceae. *Chem Nat Compd* 20:40-41
- Luo L, Zhou J, Zhao H, Fan M, Gao W. 2019. The anti-inflammatory effects of formononetin and ononin on lipopolysaccharide-induced zebrafish models based on lipidomics and targeted transcriptomics. *Metabolomics* 15:153
- Park HM, Lee JY, Kim MY, Kang CH, Hwang HS. 2021. Anti-oxidative and anti-inflammatory activities of *Astragalus membranaceus* fermented by *Lactiplantibacillus plantarum* on LPS-induced RAW 264.7 cells. *Fermentation* 7:252
- Park JY, Lee JY, Kim HD, Jang GY, Seo KH. 2019. Changes in the constituents and UV-photoprotective activity of *Astragalus membranaceus* caused by roasting. *J Nutr Health* 52:413-421
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evance C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26:1231-1237
- So MH. 1993. Conditions for the production of amylase and protease in making wheat flour *nuruk* by *Aspergillus oryzae* L2. *Korean J Food Nutr* 6:89-95
- So MH. 1999. Characteristics of a modified *nuruk* made by inoculation of traditional *nuruk* microorganisms. *Korean J Food Nutr* 12:219-225
- Song BN, Lee DB, Lee SH, Park BR, Choi JH, Kim YS, Park SY. 2020. Physicochemical properties and antioxidant activity of extract from *Astragalus membranaceus* Bunge leaf fermented with lactic acid bacteria. *Korean J Med Crop Sci* 28:428-434
- Song CQ, Zheng ZR, Liu D, Hu ZB. 1997. Isoflavones from *Astragalus membranaceus*. *Acta Bot Sin*. 39:764-768
- Subarnas A, Oshima Y, Hikino H. 1991. Isoflavans and a pterocarpan from *Astragalus mongholicus*. *Phytochemistry* 30:2777-2780
- Tang D, He B, Zheng ZG, Wang RS, Gu F, Duan TT, Cheng HQ, Zhu Q. 2011. Inhibitory effects of two major isoflavonoids in radix *Astragali* on high glucose-induced

mesangial cells proliferation and AGEs-induced endothelial cells apoptosis. *Planta Med* 77:729-732

Wang Y, Gong Y, Xiao Y, Jiang Y, Chen J, Zhao H, Qi M, Chen H, Fan J, Wang J. 2023. Study on the dynamic metabolic characteristic of main active ingredients in Danggui Buxue Decoction by liquid chromatography-tandem mass spectrometry based on *in situ* sequential

metabolism strategy. *J Sep Sci* 46:2200941

Yu D, Duan Y, Bao Y, Wei C, An L. 2005. Isoflavonoids from *Astragalus mongholicus* protect PC12 cells from toxicity induced by L-glutamate. *J Ethnopharmacol* 98:89-94

---

Received 01 September, 2023

Revised 06 September, 2023

Accepted 19 September, 2023