

## *Aspergillus* 속 균주를 이용한 마 품종별 고체발효시 Monacolin K 생산과 항산화 활성

이준걸

안동과학대학교 의약품질분석과

### Antioxidant Activities and Monacolin K Production on Solid-State Fermentation of Diverse Yam by *Aspergillus* Species Strain

Joon-Geol Lee

Department of Medicine Quality Analysis, Andong Science College, Andong 760-709, Republic of Korea

(Received January 16, 2014 / Accepted February 25, 2014)

This study was conducted to investigate the characteristics between non-fermented chinese yam and rice (non-FCYR) and fermented chinese yam and rice (FCYR). 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, total polyphenol, flavonoid contents and reducing power were investigated to evaluate the anti-oxidation activities of FCYR. Also, productivity of monacolin K, major medicinal ingredient of FCYR, was investigated, using *Aspergillus terreus* KCCM 12225. In case of non-FCYR, DPPH radical scavenging activities for three kinds of yam (*Dioscorea japonica*, *Dioscorea batatas*, *Dioscorea opposita*) and rice were estimated about 51.8, 66.4, 42.2 and 7.5%, while in case of FCYR, those for three kinds of yam and rice were estimated to increase about 64.7, 74.7, 52.8, and 32.3%, respectively. Total polyphenol contents of non-FCYR were estimated to 196.9, 265.7, 160.1, and 91.6 mg/kg, while total polyphenol contents of FCYR were estimated to increase about 530.7, 708.3, 427.2, and 265.9 mg/kg, respectively. Total flavonoid contents of FCYR increased to 2.8-3.3 times higher than those of non-FCYR. Reducing power of non-FCYR was about 0.97, 1.28, 0.64, and 0.17 (OD at 700 nm), while, that of FCYR increased about 1.75, 2.38, 1.24, and 0.46. Remarkable increase in monacolin K productivity of FCYR was observed. Monacolin K productivity of FCYR was estimated to 467.1, 514.8, 339.2, and 272.5 mg/kg, respectively. In this study, fermented chinese yam (*Dioscorea batatas*) was estimated to be effective biological activity material.

**Keywords:** *Aspergillus* sp., antioxidant activities, monacolin K, solid-state fermentation

최근 서구화에 따른 식습관의 다양한 변화와 생체 내에서 발생하는 활성산소 중에 의한 산화적 대사 부산물은 노화나 성인병의 원인으로 알려져 있고(Seo *et al.*, 2010), 이를 예방 또는 치료하기 위한 자연식품과 기능성 식품에 대한 수요가 증가함에 따라, 기능성 식품의 생리활성과 관련한 연구가 집중되고 있다(Lee *et al.*, 2011).

경북 북부지역에서 약 70% 정도가 생산되고 있는 마(*Dioscorea* sp.)는 다년생 덩굴성 초본으로 전세계의 열대 및 아열대지방에서 널리 분포하는 식량 작물로서(Purseglove, 1972), 예로부터 한방에서는 자양, 강장, 강장, 폐결핵 등에 유효하고 소염, 해독, 진해, 거담, 이뇨, 신경통, 류마티즘에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Jung, 2007). 마(*Dioscorea batatas* Dence)의 성분은 전분이 생체중의 8-24%, 점질물이 0.6-2.4%를 차지하며, 약용성

분으로는 amylose, cholin, saponin 등이 포함되어 있다(Kim *et al.*, 1991). 한편 마의 주요 약용성분으로 알려진 steroidal saponin은 다양한 생리활성에 관여하는 것으로 알려져 있는데, 세포의 DNA 돌연변이를 방지하는 항 돌연변이성작용, 항암 및 항염증 작용(Baek *et al.*, 1994) 등이 알려져 있다. 예로부터 마는 한약재로 사용되고 있을 뿐 아니라 최근에는 중요한 기능성 식품소재로 인식되어 건강식품 또는 기능성 식품 제조에 첨가되면서 그 사용량이 증가하고 있다. 마의 기능성에 관한 연구로 마 점질물이 중금속 제거능과 Angiotensin Converting Enzyme (ACE) 저해효과를 나타낸다는 보고(Ha *et al.*, 1998)와, 콜레스테롤 저하효과, 지질 분해효소 저해활성 및 항돌연변이 활성 등이 보고되어 있다(Kwon *et al.*, 1999, 2003; Lee *et al.*, 2006). 그러나 마를 이용한 발효식품에 관한 연구는 미미한 실정으로, Lee 등(1999)이 보고한 마 첨가에 의한 유산균의 생육에 미치는 효과에 대한 연구와 Lee 등(2011)이 보고한 마 추출물 첨가가 요구르트에 대한 연구와 Lee 등(2011)이 보고한 마 추출물 첨가가 요구르트의 저장에 미치는 효과에 대한 연구 등이 있다. 이처럼 이들의

\*For correspondence. E-mail: [adljg@asc.ac.kr](mailto:adljg@asc.ac.kr); Tel.: +82-54-851-3564; Fax: +82-54-851-3563

연구에서는 단일종의 마를 이용한 유산균 발효 특성에 대한 연구로서 본 연구에서의 마 품종별 발효에 따른 그 대사산물의 생리학적 특성을 비교한 것과는 차이가 있다.

본 연구에 사용한 *Aspergillus terreus* 균주는 전통누룩미생물로서 한국 고유의 식품과 발효공업 등에 중요한 역할을 하며, amylase와 protease 등의 효소활성이 강하여 예로부터 주류, 발효등의 양조, 효소제 및 의약품의 생산에 이용되고 있다(Kim *et al.*, 2008). 특히 대표적인 statin 제제인 monacolin K (lovastatin), 즉 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA inhibitor는 macrolide 계열의 이차대사산물로 *A. terreus* 균주가 주된 생산균주(Slater *et al.*, 1988)이고, 이러한 monacolin K는 현재까지 보편적인 cholesterol 합성 저해물질로 사용되고 있으며, 부작용도 적어서 고콜레스테롤 환자나 고지혈증 환자의 치료제로 선호되고 있다(Slater *et al.*, 1988; Hubert, 2001; Michael, 2002).

본 연구에서는 HMG-CoA inhibitor로서 대표적인 statin 제제인 monacolin K의 생산 균주인 *A. terreus* 를 이용하여 다양한 약리적인 효과가 인정되고 있는 마를 기질로 하여 발효를 유도함으로써 마 자체로의 기능성 뿐만 아니라 발효를 통한 기능성 마 발효물의 에탄올 추출물이 *in vitro*에서 우수한 DPPH radical 소거활성, 총 polyphenol, flavonoid 함량, 환원력(reducing power)의 항산화활성 및 monacolin K 생산 등의 생리활성 효과를 조사하였기에 보고하는 바이다.

## 재료 및 방법

### 사용 균주 및 배양

본 실험에 사용한 균주는 한국미생물보존센터에서 분양받은 표준균주로서 *A. terreus* KCCM 12225 균주를 발효마 제조를 위한 실험균주로 선발하여 본 실험에 사용하였다. 그리고 발효마의 제조를 위해 중균 배양 배지로는 PDB (Potato dextrose broth, Difco, USA) 배지를 사용하였으며, 초기 pH 6.0, 배양온도 30°C에서 130 rpm으로 5일간 진탕 배양하여, 발효마의 제조를 위한 종균으로 사용하였다.

### 발효마의 제조

본 실험에 사용한 마 시료는 2013년 경북 안동에서 재배한 장마, 병마, 둥근마를 구입하여 사용하였으며, 구입 직후 4°C에 냉장 보관하면서 실험에 사용하였다. 이때 마의 대조구로는 *koji*의 제조에 널리 이용되는 쌀을 사용하였다. 발효마를 제조하기 위하여 마는 흐르는 물에 세척하여 뿌리 표면에 부착된 이물질이 없게 말단 부분과 껍질을 제거한 후, 약 3 mm 정도로 절단하고 60°C에서 향량 건조하여 냉동보관 하면서 사용하였다. 발효마의 제조는 건조된 마를 물에 침지한 후 불림을 행하였으며, 침지 후 물빼기를 실시한 다음 100 g씩 배양통에 분취하였다. 이후 121°C에서 15분간 가압 멸균하고 실온으로 냉각시킨 다음 *A. terreus* KCCM 12225 배양액을 5% (v/w)로 접종 한 후 30°C에서 7일간 발효를 하였으며, 배양체의 덩어리 형성을 방지하고자 하루에 3회 규칙적으로 흔들어 주었다. 발효가 완료된 후에는 60°C에서 수분함량 10% 이하로 건조한 후 분쇄하여 냉동보관

하면서 실험에 필요한 시료로 사용하였다.

### DPPH radical 소거활성

DPPH는 화학적으로 안정화 된 free radical을 가지고 있는 수용성 물질로서 515 nm-525 nm 부근에서 최대 흡광도를 가지는 보라색의 화합물로 ascorbic acid, Butylated Hydroxy Anisole (BHA) 토크페롤, 방향족 아민류 등에 의해 환원되어 짙은 보라색이 탈색됨으로서 항산화 물질의 전자공여능을 측정할 때 사용되는데, 발효마 에탄올 추출물의 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical 소거활성은 Blois 등(1958)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 즉, 농도별 시료 200 µl에 DPPH 용액을 800 µl를 가하여 혼합한 다음 실온에서 10분간 반응시킨 후 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 DPPH radical 소거활성은 시료첨가구와 무첨가구의 흡광도 차이를 비교하여 나타내었으며, 양성대조군으로 ascorbic acid를 사용하였다.

### 총 polyphenol 및 flavonoid 함량

식물계에 널리 분포되어 있는 총 페놀성 화합물은 다양한 구조와 분자량을 가진 이차대사산물로 free radical을 제거함으로써 산화를 억제하여 활성산소의 소거 및 산화적 스트레스를 막아 항암, 항균, 노화방지 및 심장질환을 예방하는 등의 생리활성 물질로 려져 있으며 식품, 의약품, 화장품 등 많은 분야에 활용되고 있다(Hertog *et al.*, 1992; Ferreres *et al.*, 2009). 발효마 에탄올 추출물의 총 polyphenol 함량 측정은 Folin-Denis법(Swain *et al.*, 1959)을 일부 변형하여 측정하였으며, 원심분리 한 각각의 시료 50 µl에 2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 용액 1 ml를 가하고, Folin & Ciocalteu's phenol reagents 50 µl를 혼합한 다음 실온에서 30분간 반응시킨 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 tannic acid (Sigma Co., USA)를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 작성한 검량선으로부터 총 polyphenol 함량을 계산하였다. 총 flavonoid 함량 측정은 Jia 법(1999)을 일부 변형하여 측정하였으며, 원심분리 한 각각의 시료 150 µl에 증류수 600 µl, 5% NaNO<sub>2</sub> 45 µl를 가한 후 6분간 방치하고, 10% AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 150 µl를 가하였다. 11분간 방치 후 1 M NaOH를 500 µl를 가하고 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 rutin (Sigma Co., USA)를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 작성한 검량선으로부터 총 flavonoid 함량을 계산하였다.

### 환원력(Reducing power)

환원력은 Fe<sup>3+</sup> 이온을 Fe<sup>2+</sup> 이온으로 환원시키는 능력을 측정하는 것으로 환원력이 클수록 강력한 항산화제가 되는데 이러한 환원력의 정도는 항산화활성과 관련이 있는 것으로 알려져 있으며 높은 환원력을 가지는 물질은 흡광도수치가 높게 나타나게 된다(Gordon, 1990). 발효마 에탄올 추출물의 환원력 측정은 Ferreira 등(2009)의 방법을 응용하여 측정하였으며, 원심분리 한 각각의 시료 1 ml에 200 mM 인산완충용액(pH 6.6) 및 1% potassium ferricyanide 1 ml를 차례로 가한 다음 50°C에서 30분간 반응하였다. 여기에 10% Trichloroacetic acid (TCA) 용액 1 ml를 가하여 반응을 정지시킨 다음 5,000 × g에서 5분간 원심분

리한 후 얻은 상등액 1 ml에 증류수 및 ferric chloride 용액을 각 1 ml씩 혼합한 후 700 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 시료의 환원력을 흡광도 값으로 나타내었다.

### Monacolin K의 정량

Monacolin K (lovastatin, mevlinolin)는 고지혈증 치료제로 사용되고 있는 것으로 1979년 일본의 Endo 교수가 처음 발견한 물질로서 cholesterol 생합성 경로에서 HMG-CoA reductase를 특이적으로 억제함으로써 강력한 cholesterol 생합성 저해작용을 하는 것으로 보고되었다(Endo, 1979; Bilheimer *et al.*, 1983). 발효마로부터 monacolin K의 정량은 75% 에탄올로 각각 추출한 후 추출액을 6,000 × g 에서 10분간 원심 분리하여 얻은 상등액을 사용하였다. 즉, monacolin K의 추출은 발효마 1 g에 75% 에탄올 20 ml을 첨가하여 30°C, 150 rpm으로 3시간 동안 교반하고 정치시킨 후 6,000 × g 에서 10분간 원심 분리하여 얻은 상등액을 membrane filter (0.45 μm, Millipore, USA)로 여과하여 시료로 사용하였으며, 이때 사용한 HPLC 분석조건은 다음과 같다.

Monacolin K의 정량은 Luna 5 μ Phenyl-Hexyl column (250 × 4.6 mm, Phenomenex Inc., USA)이 장착된 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Sykam, Germany)를 이용하여 flow rate : 1.0 ml/min, UV 237 nm에서 검출하면서 injection volume 20 μl로 하여 acetonitrile : 0.1% Phosphoric acid = 55 : 45의 비율로 용출시킨 후 표준 monacolin K (Sigma Co.), USA를 이용하여 peak의 면적비로써 비교 정량분석 하였다.

## 결과 및 고찰

### 발효마 추출물의 DPPH radical 소거활성

본 실험에서는 마 품종에 따른 DPPH radical 소거활성을 측정

하기 위하여 마 시료로는 장마, 병마, 둥근마를 사용하였으며 이때 마의 대조구로는 *koji*의 제조에 널리 이용되는 쌀을 사용하였다.

Figure 1에 나타낸 바와 같이 발효 전·후의 결과를 비교하였을 때, 발효하지 않은 장마, 병마, 둥근마의 경우 DPPH radical 소거활성이 각각 51.8, 66.4 및 42.2%로 나타났으며 쌀의 경우에는 7.5%의 DPPH radical 소거활성을 나타내었고, 발효 후에는 장마, 병마, 둥근마의 경우 DPPH radical 소거활성이 각각 64.7, 74.7 및 52.8%로 나타났으며 쌀의 경우에는 32.3%의 DPPH radical 소거활성을 나타내었다. 이로써 DPPH radical 소거활성은 병마를 사용할 때 가장 높은 것으로 조사되었다. 이때 실험에서의 대조군으로 사용된 Vitamin C 0.01%의 경우 DPPH radical 소거활성은 84.2%으로 조사되었다. 이러한 결과는 Yen 등(2003)은 *A. candidus*를 이용한 rice *koji*의 발효시 ethyl acetate 추출물의 DPPH radical 소거활성을 측정할 결과 800 μg/ml의 농도에서 78.0%의 소거활성을 나타낸다고 보고와 유사한 결과를 나타내었다.

### 발효마 추출물의 총 polyphenol 및 flavonoid 함량

Figure 2에 나타낸 바와 같이 발효 전·후의 결과를 비교하였을 때, 발효하지 않은 장마, 병마, 둥근마의 경우 총 polyphenol 함량이 각각 196.9, 265.7 및 160.1 mg/kg으로 나타났으며, 쌀의 경우에는 91.6 mg/kg의 총 polyphenol 함량을 나타내었고, 발효 후에는 장마, 병마, 둥근마의 경우 총 polyphenol 함량이 각각 530.7, 708.3 및 427.2 mg/kg으로 나타났으며, 쌀의 경우에는 265.9 mg/kg의 총 polyphenol 함량을 나타내었다. 이로써 총 polyphenol 함량은 병마를 사용할 때 가장 높은 것으로 조사되었다.

총 flavonoid 함량을 측정할 결과는, Figure 3과 같으며 발효 전·후의 결과를 비교하였을 때, 발효하지 않은 장마, 병마, 둥근

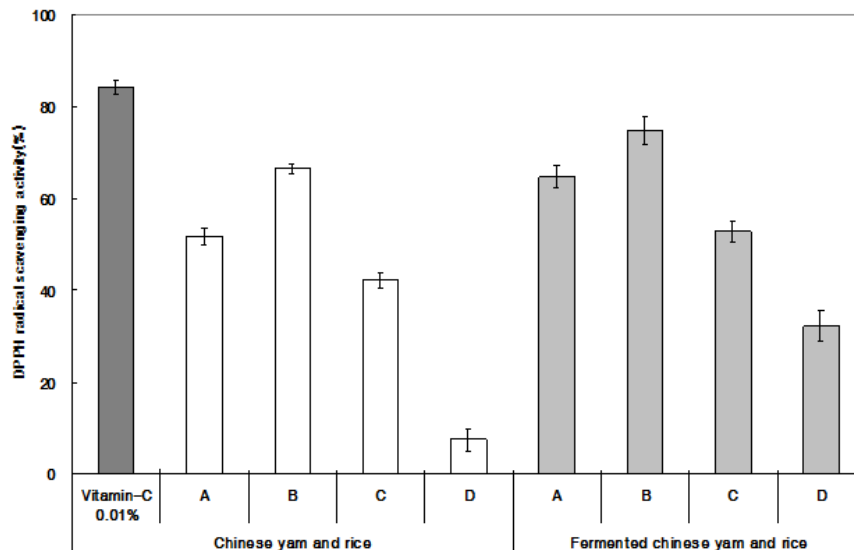
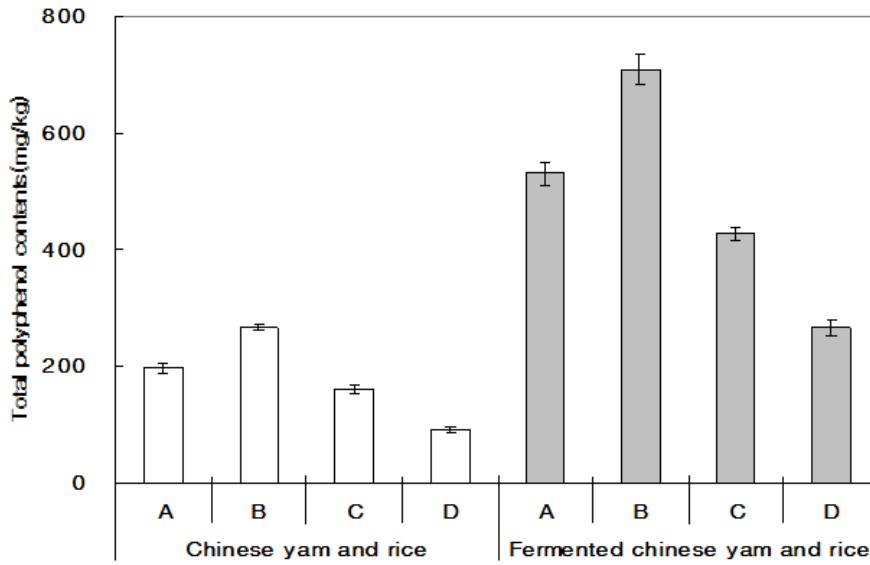


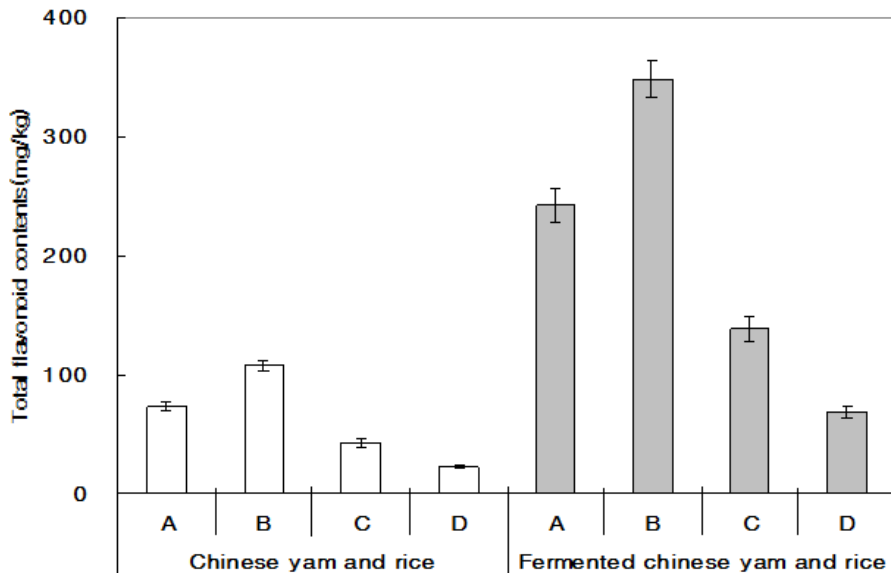
Fig. 1. DPPH radical scavenging activity of chinese yam and rice extracts fermented with *A. terreus* KCCM 12225 (A, *Dioscorea japonica*; B, *Dioscorea batatas*; C, *Dioscorea opposita*; D, Rice; Data are expressed as mean±SE)



**Fig. 2.** Total polyphenol contents of chinese yam and rice extracts fermented with *A. terreus* KCCM 12225 (A, *Dioscorea japonica*; B, *Dioscorea batatas*; C, *Dioscorea opposita*; D, Rice; Data are expressed as mean±SE)

마의 경우 총 flavonoid 함량이 각각 73.3, 107.9 및 42.6 mg/kg 으로 조사되었으며, 쌀의 경우에는 22.6 mg/kg의 총 flavonoid 함량을 나타내었고, 발효 후에는 장마, 병마, 둥근마의 경우 총 flavonoid 함량이 각각 242.0, 347.7 및 139.1 mg/kg으로 조사되었으며, 쌀의 경우에는 63.3 mg/kg의 총 flavonoid 함량을 나타내었다. 이로써 총 flavonoid 함량은 병마를 사용할 때 가장 높은 것으로 조사되었다. 그러나 총 polyphenol 함량과 비교하였을 때 그 함량은 현저히 낮은 것으로 조사되었으며 발효마에서 항산화 활성에 관여하는 물질은 polyphenol 계열의 물질이 주로

영향을 미친다고 생각된다. 한편 Kim 등(2010)의 보고에서는 더덕 70% 에탄올 추출물은 총 phenol 함량이 3.1 mg/g이었으며, ethyl acetate 분획물의 경우 22.7 mg/g으로 높은 총 phenol 함량이 조사되었고, 물 분획물은 2.1 mg/g으로 낮은 총 phenol 함량이 조사되었다고 보고하였다. 이는 본 실험결과와 비교하였을 때 높은 총 phenol 함량을 나타내었으며, 본 실험에서의 발효마 또한 용매별로 분획을 실시한다면 특정 용매 분획물에서의 총 polyphenol 및 flavonoid 함량은 높아지리라 생각된다.



**Fig. 3.** Total flavonoid contents of chinese yam and rice extracts fermented with *A. terreus* KCCM 12225 (A, *Dioscorea japonica*; B, *Dioscorea batatas*; C, *Dioscorea opposita*; D, Rice; Data are expressed as mean±SE)

### 발효마 추출물의 환원력(Reducing power)

Figure 4에 나타낸 바와 같이 발효 전·후의 결과를 비교하였을 때, 발효하지 않은 장마, 병마, 둥근마의 경우 환원력을 측정할 결과 흡광도 값이 각각 0.97, 1.28 및 0.64로 조사되었으며 쌀의 경우에는 0.17의 낮은 흡광도 값을 나타내었고, 발효 후에는 장마, 병마, 둥근마의 경우 환원력을 측정할 결과 흡광도 값이 각각 1.75, 2.38 및 1.24로 조사되었으며 쌀의 경우에는 0.46의 낮은 흡광도 값을 나타내었다. 이때 실험에서의 대조군으로 사용된 Vitamin C 0.01%의 경우 환원력은 흡광도 값이 1.08로 나타났다. 이로써 환원력은 병마를 사용할 때 가장 높은 것으로 조사되었다. 한편 Kim 등(2010)의 보고에서 더덕 70% 에탄올 추출물 및 분획물들의 농도가 증가할수록 환원력이 증가한다고 보고하였으며 이는 본 실험에서 병마를 이용한 환원력 측정 시 발효하지 않은 추출물과 비슷한 결과를 보였다.

### 발효마로부터 Monacolin K 함량 측정

Figure 5에 나타낸 바와 같이 장마, 병마, 둥근마의 경우 monacolin K 함량을 측정할 결과 각각 467.1, 514.8 및 339.2 mg/kg으로 나타났으며, 쌀의 경우에는 272.5 mg/kg의 monacolin K 함량을 나타내는 것으로 조사되었다. 한편 다양한 *A. terreus*로부터 type strain인 *A. terreus* ATCC 20542와 비교하여 monacolin K의 생산능이 더 우수한 균주를 선발하고 lactose와 rapeseed meal이 첨가된 배지를 이용하였을 때 400 mg/L의 수율로 monacolin K를 생산하였다는 Szakacs 등(1998)의 보고 보다는 monacolin K 생산능이 높은 것으로 나타났으며, Kumar 등(2000)은 *A. terreus* DRCC122로부터 fed-batch process에 의해 monacolin K가 2,000 mg/L가 생산된다고 보고한 결과 보다는 monacolin K 함량이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 발효 방법과 사용한 기질, 사용균주 등의 차이에 따른 결과로 생각된다.

이상의 결과를 종합하였을 때 *A. terreus* KCCM 12225 균주를 이용하여 장마, 병마, 둥근마 및 쌀을 각각 발효시 병마를 사용하였을 때 DPPH radical 소거활성, 총 polyphenol, flavonoid 함량, 환원력(reducing power) 및 monacolin K 생산 등의 가장 높은 생리활성 효과를 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 서로 다른 마 품종간의 구성성분들의 차이에 따른 결과로 사료되며 추후 관련 연구가 필요하다고 생각된다.

따라서 *A. terreus* KCCM 12225 균주를 이용한 마의 발효는 다양한 생리활성 물질의 생산성 증대에 효과적임을 나타내었으며, 발효 조건의 최적화 방안 등이 이루어지면 향후 기능성 소재로의 개발 가능성이 매우 높을 것으로 사료된다.

### 적요

본 연구에서는 *Aspergillus terreus* KCCM 12225 균주를 이용하여 발효한 마와 쌀(칠보미)의 발효 물질 특성을 조사하였다. 발효한 마와 쌀의 항산화활성을 확인하기 위하여 DPPH radical 소거활성, 총 polyphenol, flavonoid 함량 및 환원력을 조사하였다. 또한 동일 균주를 사용하여 마 및 쌀의 발효시에 주요한 약용 성분인 monacolin K의 생산량을 조사하였다. DPPH radical 소거활성은 장마, 병마, 둥근마 및 쌀의 경우 발효전에는 51.8%, 66.4%, 42.2% 및 7.5%이었으나, 발효 후에는 64.7%, 74.7%, 52.8% 및 32.3%로 각각 증가하는 것으로 나타났다. 총 polyphenol 함량은 발효 전의 경우 196.9, 265.7, 160.1 및 91.6 mg/kg이었으나, 발효 후에는 530.7, 708.3, 427.2 및 265.9 mg/kg으로 각각 증가하는 것으로 나타났다. 총 flavonoid 함량은 발효 전의 경우 73.3, 107.9, 42.6 및 22.6 mg/kg이었으나, 발효 후에는 242.0, 347.7, 139.1 및 63.3 mg/kg으로 각각 증가하는 것으로 나타났다. 환원력은 발효 전의 경우 0.97, 1.28, 0.64 및 0.17 (700 nm에

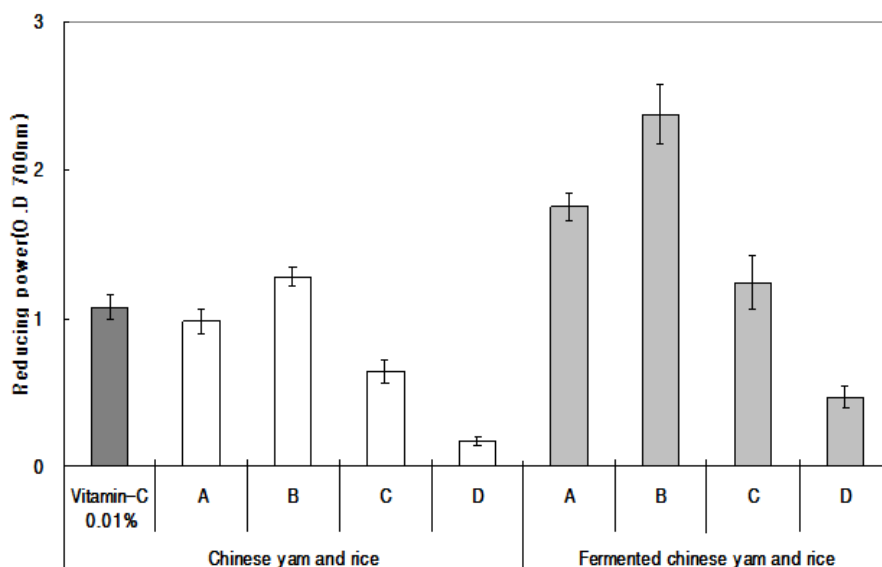


Fig. 4. Reducing power of chinese yam and rice extracts fermented with *A. terreus* KCCM 12225 (A, *Dioscorea japonica*; B, *Dioscorea batatas*; C, *Dioscorea opposita*; D, Rice; Data are expressed as mean±SE)

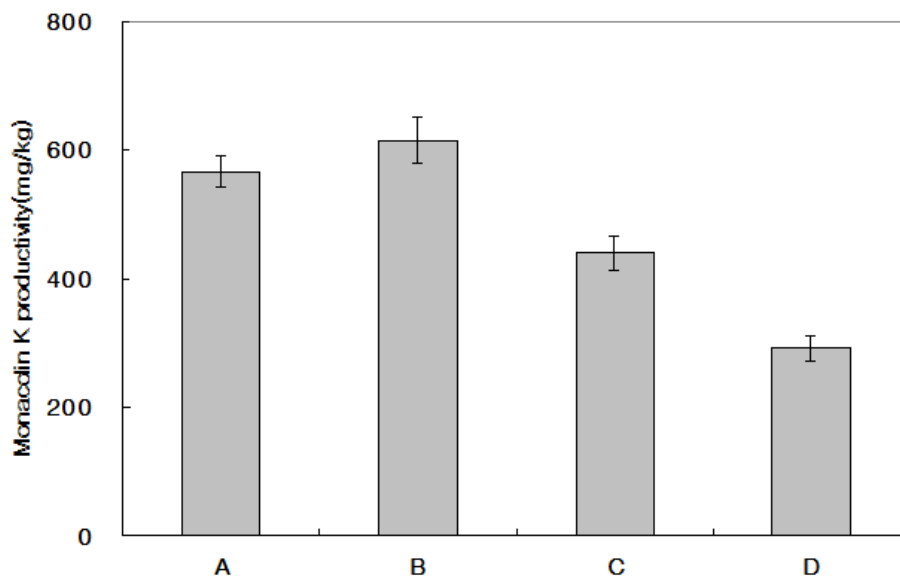


Fig. 5. Monacolin K productivity of chinese yam and rice extracts fermented with *A. terreus* KCCM 12225 (A, *Dioscorea japonica*; B, *Dioscorea batatas*; C, *Dioscorea opposita*; D, Rice; Data are expressed as mean $\pm$ SE)

서의 OD값)이었으나, 발효 후에는 1.75, 2.38, 1.24 및 0.46으로 각각 증가하는 것으로 나타났다. Monacolin K 생산량은 467.1, 514.8, 339.2 및 272.5 mg/kg으로 각각 나타났다. 결과로서, 병마를 이용한 발효 시 가장 높은 생리활성 효과를 보이는 것으로 나타났으며, 이러한 발효마는 항산화 및 항고지혈증 관련 기능성 식품 및 의약품 소재로 이용될 수 있음을 제시한다.

### 감사의 말

본 연구는 2013년 안동과학대학교 교육역량강화사업의 교원 R&D 지원에 의한 연구결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- Baek, S.H., Kim, S.H., Son, K.H., Chung, K.C., and Chang, H.W. 1994. Inactivation of human pleural fluid phospholipase A2 by dioscin. *Arch. Pharm. Res.* **17**, 218-222.
- Bilheimer, D.W., Grundy, S.M., Brown, M.S., and Goldstein, J.L. 1983. Mevinolin and colestipol stimulate receptor mediated clearance of low density lipoprotein from plasma in familial hypercholesterolemia heterozygotes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **80**, 4124-4128.
- Blois, M.S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* **181**, 1199-1200.
- Endo, A. 1979. Monacolin K, a new hypocholesterolemic agent produced by a *Monascus* species. *J. Antibiotics* **32**, 852-854.
- Ferreres, F., Gomes, D., Valentão, P., Gonçalves, R., Pio, R., Chagas, E.A., Seabra, R.M., and Andrade, P.B. 2009. Improved loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars: Variation of phenolics and antioxidative potential. *Food Chem.* **114**, 1019-1027.
- Gordon, M.H. 1990. The mechanism of antioxidant action *in vitro*. Food antioxidants, pp. 1-8. In Hudson, B.J.F. (ed.). Elsevier Applied science, London, UK.
- Ha, Y.D., Lee, S.P., and Kwak, Y.G. 1998. Removal of heavy metal and ACE inhibition of yam mucilage. *Kor. J. Soc. Food Sci. Nutr.* **27**, 751-755.
- Hertog, M.G.L., Hollman, P.C.H., and Katan, M.B. 1992. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. *J. Agric. Food Chem.* **40**, 2379-2383.
- Hubert, S. 2001. Effect of atorvastatin, simvastatin and lovastatin on the metabolism of cholesterol and triacylglycerides in HepG2 cells. *Biochem. Pharma.* **62**, 1545-1555.
- Jia, Z., Tang, M., and Wu, J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and they scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem.* **64**, 555-559.
- Jung, D.H. 2007. Encyclopedia of health and functional foods, pp. 191-192. Shinil Books Publishing Co., Seoul.
- Kim, S.H., Chung, M.J., Jang, H.D., and Ham, S.S. 2010. Antioxidative activities of the *Codonopsis lanceolata* extract in *in vitro* and *in vivo*. *Kor. J. Soc. Food Sci. Nutr.* **39**, 193-202.
- Kim, S.J., Ko, H.S., and Kim, H.S. 2008. Development of seed culture using soybean for mass production of lovastatin with *Aspergillus terreus* ATCC 20542 mutant. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **37**, 666-670.
- Kim, C.M., Son, K.H., Kim, S.H., and Kim, H.P. 1991. Steroidal saponin contents in some domestic plants. *Arch. Pharm.* **14**, 305-310.
- Kumar, M.S., Jana, S.K., Senthil, V., Shashanka, V., Kumar, S.V., and Sadhukhan, A.K. 2000. Repeated fed-batch process for improving lovastatin production. *Process Biochem.* **36**, 363-368.
- Kwon, C.S., Shon, H.Y., Kim, S.H., Kim, J.H., Son, G.H., Lee, J.S., Lim, J.K., and Kim, J.S. 2003. Anti-obesity effect of *Dioscorea nipponica* Makino with lipase-inhibitory activity in rodents. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **67**, 1451-1456.
- Kwon, C.S., Son, I.S., Shim, H.Y., Kwon, I.S., and Chung, K.M. 1999. Effects of yam on lowering cholesterol level and its mechanism. *Kor. J. Food Nutr.* **32**, 637-643.
- Lee, S.Y., Ahn, J.J., and Kwak, H.S. 2011. Effects of the extract yam

- powder addition on yogurt properties during storage. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **31**, 66-73.
- Lee, K.S., Gim, J.C., Son, S.M., and Lee, K.Y.** 2011. Antioxidative effect of *Suaeda japonica* ethanol extract and solvent partitioned fractions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **40**, 804-808.
- Lee, S.P., Ha, Y.D., and Kim, H.I.** 1999. Effect of yam on the growth of lactic acid bacteria. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **28**, 805-809.
- Lee, C.L., Wang, J.J., Kuo, S.L., and Pan, T.M.** 2006. Monascus fermentation of dioscorea for increasing the production of cholesterol-lowering agent-monacolin K and antiinflammation agent-monascin. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **72**, 1254-1262.
- Michael, H.** 2002. A multiple-dise pharmacodynamic, safety and pharmacokinetic comparison of extended and immediate-release formulations of lovastatin. *Clin. Ther.* **24**, 112-125.
- Purseglove, J.W.** 1972. Dioscoreaceae. Tropical crops monocotyledons, p. 97. In Longman, I. (ed.). London, UK.
- Seo, J.K., Kang, M.J., Shin, J.H., Lee, S.J., Jeong, H.G., Sung, N.J., and Chung, Y.C.** 2010. Antibacterial and antioxidant activities of solvent extracts from different parts of Hagocho (*Prunella vulgaris*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **39**, 1425-1432.
- Slater, E., Macdinald, E., and James, S.** 1988. Mechanism of action and biological profile of HMG-CoA reductase inhibitors. *Drugs* **36**, 72-82.
- Szakacs, G., Morovjan, G., and Tengerty, R.P.** 1998. Production of lovastatin by wild strain of *Aspergillus terreus*. *Biotechnol. Lett.* **20**, 411-415.
- Swain, T., Hillis, W.E., and Oritega, M.** 1959. Phenolic constituents of *Prunus domestica*. 1. Quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric.* **10**, 83-88.
- Yen, G.C., Chang, Y.C., and Su, S.W.** 2003. Antioxidant activity and active compounds of rice koji fermented with *Aspergillus candidus*. *Food Chem.* **83**, 49-54.