

## *Monascus* sp. MK805 균주를 이용한 발효마의 Monacolin K 생산과 항산화 활성

전춘표

안동과학대학교 의약품질분석과

### Antioxidant Activities and Monacolin K Production of Fermented Chinese Yam by *Monascus* sp. MK805

Chun-Pyo Jeon

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

(Received January 16, 2014 / Accepted February 18, 2014)

This study was carried out to investigate the characteristics of fermented chinese yam and rice (*Dioscorea japonica*, *Dioscorea batatas*, *Dioscorea opposita*, Rice, FCYR) using *Monascus* sp. MK805. The extracts from FCYR were measured to examine pigments, antioxidant activities were investigated through DPPH radical scavenging activity, total polyphenol and flavonoid contents, reducing power. Also it was investigated monacolin K productivity by FCYR. Pigments productivity (yellow, orange and red) were 26.2, 13.9, 17.3 at *Dioscorea japonica*, 41.9, 22.6, 53.2 at *Dioscorea batatas*, 12.5, 7.5, 9.7 at *Dioscorea opposita* and 10.1, 7.7, 10.2 at rice, respectively. DPPH radical scavenging activity of FCYR was about 69.7, 79.6, 57.8, and 42.3%, total polyphenol contents of FCYR was about 480.6, 658.7, 379.3, and 212.9 mg/kg, total flavonoid contents of FCYR was about 342.5, 448.4, 235.2, and 168.7 mg/kg, reducing power of FCYR was about 1.57, 2.14, 1.14, and 0.35 (OD at 700 nm), respectively. And then monacolin K productivity of FCYR was about 453.8, 509.5, 332.2, and 263.2 mg/kg, respectively.

**Keywords:** biological activities, fermented chinese yam, monacolin K

홍국(紅麴)은 한국, 중국, 대만, 일본 및 말레이시아 등 비 제배 지역에서 오래 전부터 착색, 양조, 방부 등을 목적으로 주류, 두부, 육류 등 식품 뿐 만이 아니라 한약재로도 사용되어 온 국(*koji*)으로 붉은색을 띄는 곰팡이인 홍국균(*Monascus* sp.)을 주로 쌀에 배양 시켜 건조시킨 것을 말한다(Wild *et al.*, 2002). 이러한 홍국균은 *Monascus* 속의 곰팡이로서 분류학상 Ascomycotina 강, Plectomycetes 아강, Plectrascales 목, Hemiascomycetaceae 과 (반자낭균과), Aspergillaceae 과, Monascaceae 족에 속하며, 자웅동체(homothallic)이고, 무성생식기간에는 분생포자를 형성하고 유성생식기간에는 폐자기를 만들며, 격벽을 가지고 있는 *Monascus* sp.로써 현재 약 20종, 균주로는 약 70여 종이 분리·동정되어 있다(Ainsworth *et al.*, 1973; Su, 1975).

*Monascus* 속은  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase, glucoamylase, lipase 등의 가수분해효소를 생성하는 것으로 알려져 있으며, 홍국적색소를 이용한 중국의 홍주(Kaoliang liquor, Shaohsing wine), 홍두부, red-rice 등의 착색에 이용되어 왔다(Hwang and Hseu,

1980). 또한 홍국으로부터 monacolin A, J, K 및 그 유도체, GABA ( $\gamma$ -aminobutyric acid), dimerumic acid, 색소와 미지의 성분 등을 유도할 수 있으며, 이들은 혈당 강하, 혈압 강하, 항산화, 항생, 항혈전, 착색 및 방부작용이 있는 것으로 알려져 있다(Sweny *et al.*, 1981).

마(*Dioscorea* sp.)는 다년생 덩굴성 초본으로 전세계의 열대 및 아열대지방에서 널리 분포하는 식량 작물로서(Purseglove, 1972), 예로부터 한방에서는 마의 껍질을 벗겨 말린 것을 산약이라 칭하며 전세계적으로 널리 사용되고 있으며 자양, 강장, 강장, 폐결핵 등에 유효하고 소염, 해독, 진해, 거담, 이뇨, 신경통, 류마티즘에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Jung, 2007). 최근 제약산업에서도 산약을 이용하여 제품개발에 응용되고 있으며 특히, 관절염 치료제 cortisone은 야생마에서 뽑아낸 corticosteroid가 주원료이다(Tanaka, 1990).

마의 일반성분으로는 수분함량이 약 70-85%, 단백질 2.2-3%, 지질 0.2-2%, 탄수화물 20-25%, 회분 1.1-1.6% 정도가 함유되어 있으며, 주요 성분으로는 전분이 생체중의 8-24%, 점질물이 0.6-2.4%를 차지하며, 주성분인 amylose 이외에도 인체의 소화 기능 향상과 자양 및 거사작용 등의 약리효능을 가지는 약용성

\*For correspondence. E-mail: cpjeon@asc.ac.kr; Tel.: +82-54-851-3730; Fax: +82-54-851-3563

분으로 cholin, saponin, mucin, arginine 등을 포함하고 있다(Ige and Akintunde, 1981). 또한 yamogenin, kryptogenin 및 diosgenin 등의 배당체가 함유되어 있고, 그 밖에 vitamin B<sub>1</sub>, vitamin C 등의 영양성분을 함유하고 있다(Kim *et al.*, 1993).

마의 기능성에 관한 연구로는 마 점질물이 중금속 제거능과 Angiotensin Converting Enzyme (ACE) 저해효과를 나타낸다는 보고(Ha *et al.*, 1998)와, 생약학적 약효연구(Asper and Coursey, 1967), 마의 항균, 항산화 및 항혈전 활성 연구(Kim *et al.*, 2009), 콜레스테롤 저하효과, 지질 분해효소 저해활성 및 항 돌연변이 활성(Kwon *et al.*, 1999, 2003; Lee *et al.*, 2006) 등이 보고되어 있다.

그러나 마를 이용한 발효식품에 관한 연구로 더욱이 *Monascus* sp. 균주를 활용한 마 발효에 대한 연구는 부족한 실정으로 마의 활용적인 측면에 관한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 다양한 약리적 효과가 인정되고 있는 홍국균(*Monascus* sp.)을 이용하여 안동지역에서 주로 재배되어 생산되는 장마, 병마, 둥근마의 발효를 유도함으로써 마 자체로의 기능성 뿐만 아니라 홍국균의 발효를 통한 기능성 마 발효물이 우수한 항산화활성과 monacolin K 생산 등의 생리활성 효과를 확인하였기에 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 사용 균주 및 배양

본 실험에 사용한 균주는 한국식품연구원과 한국미생물보존센터에서 분양받은 표준균주 및 본 연구실에서 신규 분리한 균주들 중에서, monacolin K 생산능이 우수한 것으로 조사된 *Monascus* sp. MK805 균주를 발효마 제조에 필요한 실험균주로 선발하여 본 실험에 사용하였다. 그리고 발효마의 제조를 위해 *Monascus* sp. MK805의 전배양 기본배지로 3% rice powder, 0.15% NaNO<sub>3</sub>, 0.1% MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 및 0.25% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, pH 6.0로 구성된 Lin's 배지(Lin, 1973)를 사용하였으며, 본 배양은 전배양과 동일한 Lin's 배지에 *Monascus* sp. MK805 전 배양액을 5% (v/v)로 접종한 후 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 구입하였으며, 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 이물질을 없애고 말단 부분과 껍질을 제거한 후, 약 3 mm 정도로 절단하고 60°C에서 항량 건조하여 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 *Monascus* sp. MK805 배양액을 5% (v/w)로 접종한 후 30°C에서 7일간 발효를 하였으며, 배

양체의 덩어리 형성을 방지하고자 하루에 3회 규칙적으로 흔들어 주었다. 발효가 완료된 후에는 60°C에서 수분함량 10% 이하로 건조한 후 분쇄하여 실험에 필요한 시료로 사용하였다.

### 발효마의 색소 측정

발효마로부터 색소의 측정은 75% 에탄올을 용매로 사용하여 각각 추출한 다음 추출액을 6,000 × g에서 10분간 원심 분리하여 얻은 상등액을 적정배수까지 희석하여 UV-VIS spectrophotometer (Hewlett Packard 8453, Germany)를 사용하여 yellow 색소는 400 nm, orange 색소는 470 nm 및 red 색소는 500 nm에서 측정된 흡광도 값을 각각의 홍국색소 값으로 나타내었다.

### DPPH radical 소거활성

발효마 에탄올 추출물의 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical 소거활성은 Blois 등(1958)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 즉, 각각의 추출물(1 mg/ml) 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

발효마 에탄올 추출물의 총 polyphenol 함량 측정은 Folin-Denis 법(Swain *et al.*, 1959)을 일부 변형하여 측정하였다. 원심분리한 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(Jia *et al.*, 1999)을 일부 변형하여 측정하였다. 즉, 원심분리한 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 방치후 1 M NaOH를 500 µl를 가하고 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 rutin (Sigma)를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 작성한 검량선으로부터 총 flavonoid 함량을 계산하였다.

### 환원력(Reducing power)

발효마 에탄올 추출물의 환원력 측정은 Ferreira 등(2009)의 방법을 응용하여 측정하였다. 원심분리한 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% TCA 용액 1 ml를 가하여 반응을 정지시킨 다음 5,000 × g에서 5분간 원심분리한 후 얻은 상등액 1 ml에 증류수 및 ferric chloride 용액을 각 1 ml씩 혼합한 후 700 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 시료의 환원력을 흡광도 값으로 나타내었다.

### 발효마에서의 Monacolin K 정량

발효마로부터 monacolin K의 정량은 75% 에탄올로 각각 추

출한 후 추출액을  $6,000 \times g$  에서 10분간 원심 분리하여 얻은 상등액을 사용하였다. 즉, monacolin K의 추출은 발효마 1 g에 75% 에탄올 20 ml를 첨가하여  $30^\circ C$ , 150 rpm으로 3시간 동안 교반하고 정지시킨 후  $6,000 \times g$  에서 10분간 원심 분리하여 얻은 상등액을 membrane filter (0.45  $\mu m$ , Millipore)로 여과하여 시료로 사용하였으며, 이때 사용한 HPLC 분석조건은 다음과 같다. Monacolin K의 정량은 Luna 5  $\mu$  Phenyl-Hexyl column (250  $\times$  4.6 mm, Phenomenex Inc., USA)이 장착된 HPLC (Sykam, Germany)를 이용하여 flow rate : 1.0 ml/min, UV 237 nm에서 검출하면서 injection volume 20  $\mu$ l로 하여 acetonitrile : 0.1% Phosphoric acid = 55 : 45의 비율로 용출시킨 후 표준 monacolin K (Sigma)를 이용하여 peak의 면적비로써 비교 정량분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 발효마의 색소 측정

식품공업에서 가장 많이 사용되어 온 색소는 대부분 타르계 합성색소로서 그 발암성 등 안전성에 문제가 발생함에 따라 천연색소에 대한 소비자의 요구가 증대됨으로서 식품에서의 천연색소 사용량이 계속적으로 증가되고 있다(Judie, 1987).

본 연구에서는 *Monascus* sp. MK805 균주를 이용하여 마 품종에 따른 yellow, orange 및 red 색소의 생산성을 측정하기 위하여 발효를 실시하였을 때 발효마에서의 색소 생산량은 Fig. 1과 같으며, 이때 마의 대조구로는 *koji*의 제조에 널리 사용되는 쌀을 사용하였다.

Figure 1과 같이 장마, 병마, 둥근마의 경우 yellow, orange 및 red 색소의 흡광도 값이 각각 장마는 26.2, 13.9 및 17.3, 병마는 41.9, 22.6 및 53.2, 둥근마는 12.5, 7.5 및 9.7로 조사되었으며, 대조군으로 사용된 쌀의 경우에는 yellow, orange 및 red 색소의 흡광도 값이 10.1, 7.7 및 10.2로써 병마를 이용할 때 가장 높은 색소의 생성능을 나타내는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 에탄올 농도에 따른 발효 홍국마 추출물의 색소 생산능을 보았

을 때 에탄올 농도가 50%일 때 yellow, orange 및 red 색소가 각각 12.77, 11.66 및 13.48의 추출 효율을 보였다는 Jeon 등(2011)의 보고와, *Monascus* 균주를 이용한 마의 1단 발효에서 황색, 옐렌지색 및 적색 색소의 생산능이 각각 14.03, 13.88 및 15.71이었다는 Jeon 등(2012)의 결과와 비교시 높은 색소 생산능을 보이는 것으로 나타났으며, 기질의 종류에 따른 색소생산에 대한 실험에서, 마를 이용한 고체발효 시 red 색소 생산능의 경우 흡광도 값이 30이었다는 Lee 등(2006)의 보고와, jackfruit seed를 이용한 발효 시 red 색소의 생산능이 12.1이었다는 Babitha 등(2007)의 결과 보다 높은 색소 생산능을 보이는 것으로 조사되었다.

### 발효마의 DPPH radical 소거활성

DPPH는 화학적으로 안정화 된 free radical을 가지고 있는 수용성 물질로서 515-525 nm 부근에서 최대 흡광도를 가지는 보라색의 화합물로 ascorbic acid, BHA, 토코페롤, 방향족 아민류 등에 의해 환원되어 짙은 보라색이 탈색됨으로서 항산화 물질의 전자공여능을 측정할 때 사용된다(Blois, 1958).

본 연구에서는 마 품종에 따른 발효를 실시하였을 때 발효마에서의 DPPH radical 소거활성은 Fig. 2와 같으며, 이때 마의 대조구로는 *koji*의 제조에 널리 사용되는 쌀을 사용하였다.

Figure 2에 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 조사되었으며 쌀의 경우에는 7.5%의 DPPH radical 소거활성을 나타내었고, 발효 후에는 장마, 병마, 둥근마의 경우 DPPH radical 소거활성이 각각 69.7, 79.6 및 57.8%로 조사되었으며 쌀의 경우에는 42.3%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 에탄올 농도에 따른 발효 홍국마 추출물의 DPPH radical 소거활성을

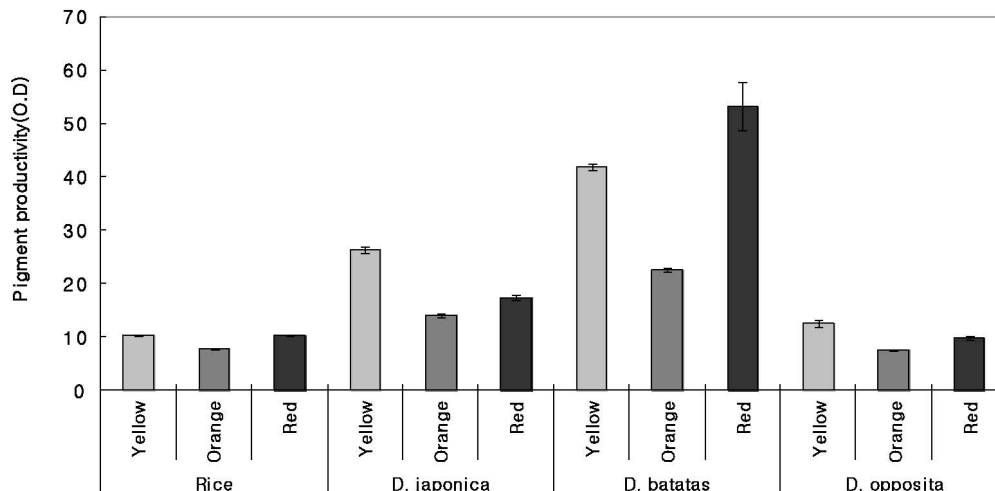


Fig. 1. Pigment productivity of chinese yam and rice extracts fermented with *Monascus* sp. MK805. Data are expressed as Mean $\pm$ SE.

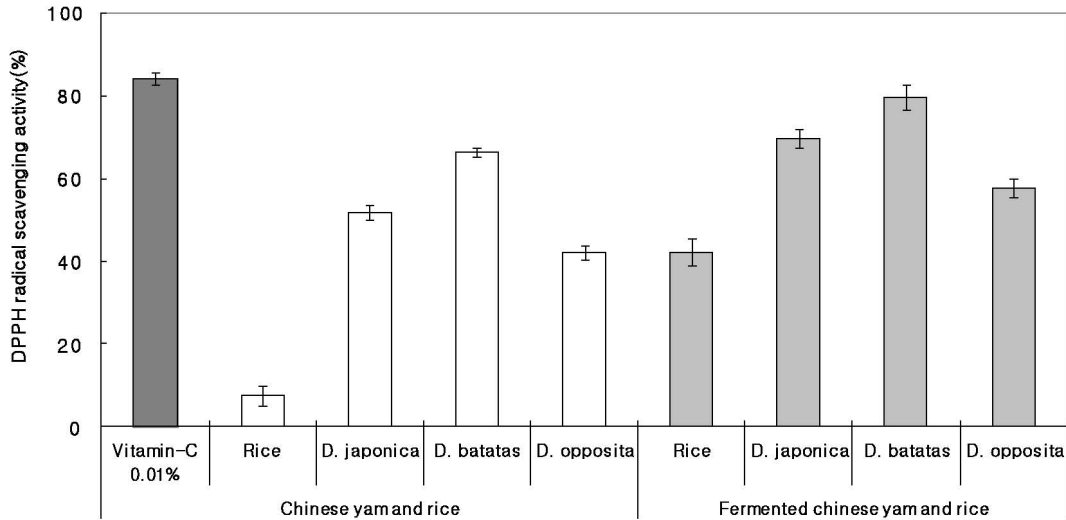


Fig. 2. DPPH radical scavenging activity of chinese yam and rice extracts fermented with *Monascus* sp. MK805. Data are expressed as Mean±SE.

보았을 때 에탄올 농도가 50%일 경우 92.8%로 가장 높은 DPPH radical 소거활성을 나타내었다는 Jeon 등(2011)의 보고 보다는 낮은 것으로 나타났으며, Lee 등(2008)의 보고에서 *Monascus* 균주를 이용한 콩의 발효 시 냉수 및 열수 추출물의 경우 DPPH radical 소거활성은 각각 36.5%와 76.8%를 나타냄으로써 본 실험의 결과와 유사한 것으로 조사되었다. 또한, 홍국발효홍삼을 이용하여 물, 70% 에탄올, 70% 메탄올로 각각 추출하였을 때 DPPH radical 소거활성은 19.2-29.5%를 보였다는 Park 등(2009)의 결과보다는 우수한 것으로 나타났다.

**발효마의 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 알려져 있으며 식품, 의약품, 화장품 등 많은 분야에 활용되고 있다(Hertog *et al.*, 1992; Ferreres *et al.*, 2009).

본 연구에서는 마 품종에 따른 발효를 실시하였을 때 발효마

추출물의 총 polyphenol 및 flavonoid 함량을 측정된 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 발효 전·후의 결과를 비교하였을 때, 발효하지 않은 장마, 병마, 둥근마의 경우 총 polyphenol 함량(A)을 측정된 결과 각각 196.9, 265.7 및 160.1 mg/kg으로 조사되었으며, 쌀의 경우에는 91.6 mg/kg의 총 polyphenol 함량을 나타내었다. 발효 후에는 장마, 병마, 둥근마의 경우 총 polyphenol 함량을 측정된 결과 각각 480.6, 658.7 및 379.3 mg/kg으로 조사되었으며, 쌀의 경우에는 212.9 mg/kg의 총 polyphenol 함량을 나타내었다. 총 flavonoid 함량(B)의 경우, 발효하지 않은 장마, 병마, 둥근마의 경우 총 flavonoid 함량을 측정된 결과 각각 73.3, 107.9 및 42.6 mg/kg으로 조사되었으며, 쌀의 경우에는 22.6 mg/kg의 총 flavonoid 함량을 나타내었다. 발효 후에는 장마, 병마, 둥근마의 경우 총 flavonoid 함량을 측정된 결과 각각 342.5, 448.4 및 235.2 mg/kg으로 조사되었으며, 쌀의 경우에는 168.7 mg/kg의 총 flavonoid 함량을 나타내었다. 이로써 총 flavonoid 함량은 병마를 사용할 때 가장 높은 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 에탄올 농도에 따른 발효 홍국마 추출물의 총 polyphenol 함량을 측정하였을 때 에탄올 농도가 50%일 경우 655.6 mg/kg

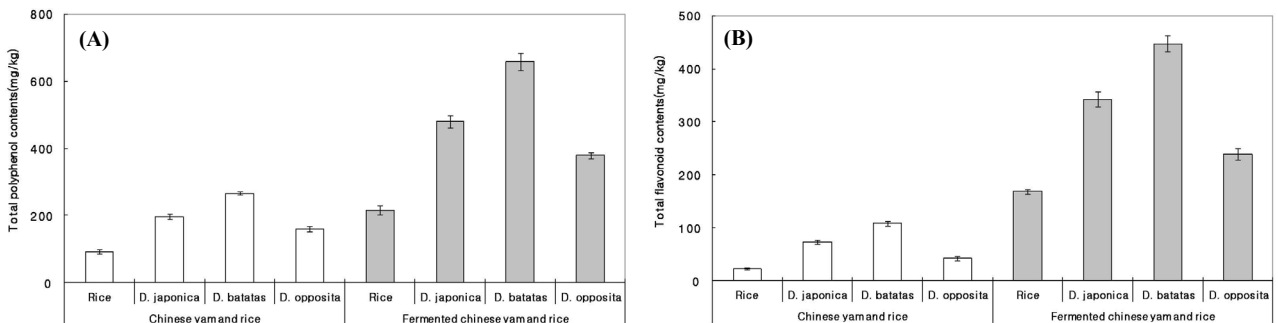


Fig. 3. Total polyphenol and flavonoid contents of chinese yam and rice extracts fermented with *Monascus* sp. MK805. Data are expressed as Mean±SE.

으로 가장 높은 총 polyphenol 함량을 나타내었다는 Jeon 등 (2011)의 보고와, 홍국발효홍삼을 이용한 Park 등(2009)의 보고에서 물, 70% 에탄올, 70% 메탄올로 각각 추출하였을 때 총 polyphenol 함량을 측정된 결과 70% 에탄올 추출물에서 가장 높았다는 결과와 유사한 것으로 나타났다. 또한 Cha 등(2009)은 두릅 잎의 경우 물 추출물 보다 70% 에탄올 및 70% 메탄올 추출물에서 높은 총 polyphenol 함량을 나타내었다고 보고하였다. 이처럼 항산화 성분 함량과 free radical 소거작용과의 상관관계에서 폴리페놀 함량에 비례하여 활성이 증가한다고 Chung (1999)이 보고하였으며, 이는 페놀성 화합물이 항산능에 크게 기여함을 보여준다.

**발효마의 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 흡광도 수치가 높게 나타나게 된다(Gordon, 1990).

본 연구에서는 마 품종에 따른 발효를 실시하였을 때 발효마 추출물의 환원력을 측정된 결과는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 발효 전후의 결과를 비교하였을 때, 발효하지 않은 장마, 병마, 둥근마의 경우 환원력을 측정된 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 측정된 결과 흡광도 값이 각각 1.57, 2.14 및 1.14로 조사되었으며 쌀의 경우에는 0.35의 낮은 흡광도 값을 나타내었다. 이러한 결과는 Lee 등(2008)의 보고에서 *Monascus* 균주를 이용한 콩의 발효 시 냉수 및 열수 추출물의 경우 환원력은 흡광도 값이 각각 0.54와 0.31을 나타내었으며, 본 실험에서 쌀을 발효했을 경우와 비슷한 결과를 갖는 것으로 조사되었으며, *Monascus* 균주를 이용하여 1단 발효한 발효마 추출물의 경우 흡광도 값이 1.32로 나

타났다는 Jeon 등(2012)의 결과는 본 연구에서 병마를 이용한 발효를 유도하였을 때와 비교시 약 1.6배 낮은 흡광도 값을 보이는 것으로 조사되었다.

**발효 홍국마의 Monacolin K 생산**

Monacolin K (lovastatin, mevinolin)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).

본 연구에서는 마 품종에 따른 발효를 실시하였을 때 발효마의 monacolin K 함량을 측정된 결과 Fig. 5에 나타난 바와 같이 장마, 병마, 둥근마의 경우 각각 453.8, 509.5 및 332.2 mg/kg으로 조사되었으며, 쌀의 경우에는 263.2 mg/kg의 monacolin K 함량을 나타내었다. 이러한 결과는 에탄올 농도에 따른 발효 홍국마의 monacolin K 함량을 측정하였을 때 에탄올 농도가 75% 일 때 462.78 mg/kg으로 가장 높은 monacolin K 함량을 나타내었다는 Jeon 등(2011)의 보고와 유사한 것으로 나타났으며, 기질의 종류에 따른 monacolin K 생산에 대한 실험에서, Lee 등(2006)은 마와 쌀을 이용한 고체발효 시 monacolin K 생산능의 경우 각각 224.0 및 54.0 mg/kg이었다고 보고하였으며 본 실험에서의 결과보다는 낮은 것으로 조사되었다. 한편 Lee 등(2006)은 배양기간이 길어질 경우 monacolin K 생산량이 증가한다고 보고함에 따라, 본 실험에서 사용한 균주 역시 배양기간을 길게 하여 발효에 대한 최적화를 유도할 경우 monacolin K 함량을 증대시킬 수 있으리라 생각된다.

이상의 결과를 종합하였을 때 *Monascus* sp. MK805 균주를 이용하여 장마, 병마, 둥근마 및 쌀의 발효시 병마를 사용하였을 때 DPPH radical 소거활성, 총 polyphenol, flavonoid 함량, 환원력(reducing power)의 항산화 활성 및 monacolin K 생산 등의 가장 높은 생리활성 효과를 나타내는 것을 알 수 있었으며, 이는

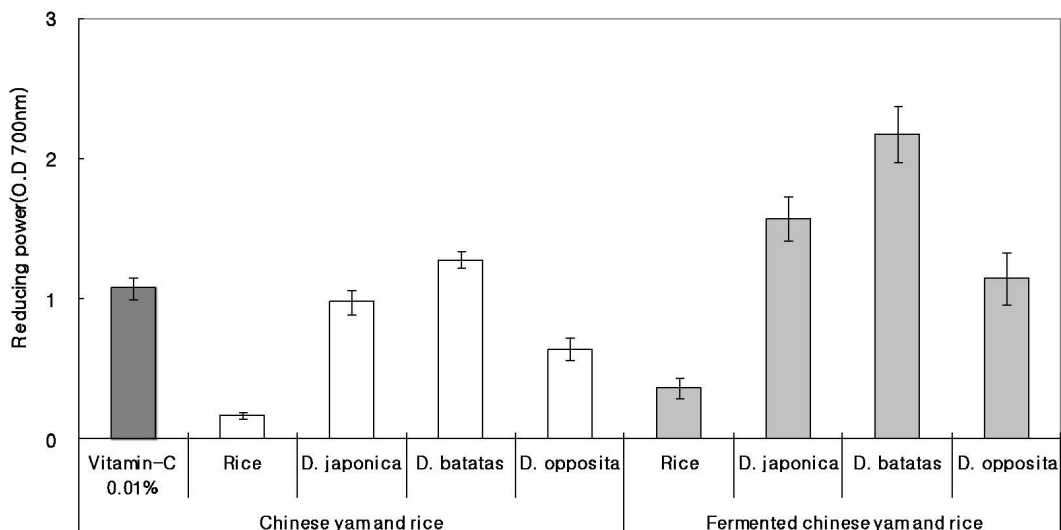


Fig. 4. Reducing power of chinese yam and rice extracts fermented with *Monascus* sp. MK805. Data are expressed as Mean±SE.

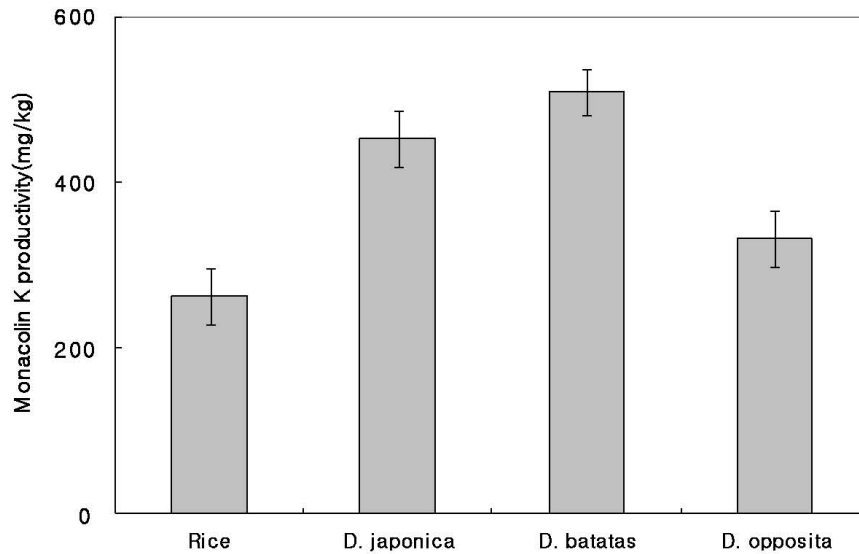


Fig. 5. Monacolin K productivity of chinese yam and rice extracts fermented with *Monascus* sp. MK805. Data are expressed as Mean±SE.

서로 다른 마 품종간의 구성성분들의 차이에 따른 결과로 사료되며 추후 이에 대한 후속 연구가 필요하다고 생각된다. 따라서 *Monascus* sp. MK805 균주를 이용한 마의 발효는 다양한 생리활성 물질의 생산성 증대에 효과적임을 나타내었으며, 마의 초기 수분함량, 발효온도, 발효시간 등 발효 조건의 최적화 방안 등이 이루어지면 향후 기능성 식의약품 소재로의 개발 가능성이 크다고 사료된다.

## 적요

본 연구는 *Monascus* sp. MK805 균주를 이용하여 장마, 병마, 둥근마 및 쌀의 발효 특성을 조사하기 위하여 실시하였다. 발효 마로부터 색소, 항산화활성으로 DPPH radical 소거활성, 총 polyphenol 및 flavonoid 함량, 환원력을 조사하였다. 또한 발효 마로부터 monacolin K 생산성을 조사하였다.

색소생산량은 장마, 병마, 둥근마의 경우 yellow, orange 및 red 색소의 흡광도 값이 장마는 26.2, 13.9 및 17.3, 병마는 41.9, 22.6 및 53.2, 둥근마는 12.5, 7.5 및 9.7로 조사되었으며, 대조군으로 사용된 쌀의 색소의 흡광도 값이 각각 10.1, 7.7 및 10.2로 나타났다. DPPH radical 소거활성은 장마, 병마, 둥근마의 경우 발효 시 각각 69.7, 79.6 및 57.8%로 조사되었고, 쌀의 경우에는 42.3%의 DPPH radical 소거활성을 나타내었다. 총 polyphenol 함량을 측정된 결과 장마, 병마, 둥근마 및 쌀은 각각 480.6, 658.7, 379.3, 212.9 mg/kg으로 조사되었으며, 총 flavonoid 함량은 각각 342.5, 448.4, 235.2, 168.7 mg/kg으로 나타났다. 환원력은 장마, 병마, 둥근마 및 쌀은 각각 1.57, 2.14, 1.14 및 0.35의 흡광도 값을 나타내었으며, monacolin K 함량을 측정된 결과에서는 장마, 병마, 둥근마 및 쌀은 각각 453.8, 509.5, 332.2 및 263.2 mg/kg으로 나타났다.

## 감사의 말

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

## 참고문헌

- Ainsworth, G.C., Sparrow, F.K., and Sassman, A.S. 1973. The fungi, p. 35. Academic press, New York, USA.
- Asper, V. and Coursey, D.G. 1967. Properties of starches of some west african yams. *J. Sci. Food Agric.* **18**, 240.
- Babitha, S., Soccol, C.R., and Pandey, A. 2007. Solid-state fermentation for the production of *Monascus* pigments from jackfruit seed. *Bioresour. Technol.* **98**, 1554-1560.
- 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.
- Cha, J.Y., Ahn, H.Y., Eom, K.E., Park, B.K., Jun, B.S., and Cho, Y.S. 2009. Antioxidative activity of *Aralia elata* shoot and leaf extracts. *J. Life Sci.* **19**, 652-658.
- Chung, H.J. 1999. Antioxidative effect of ethanolic extracts of some tea materials on red pepper seed oil. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* **28**, 1316-1320.
- Endo, A. 1979. Monacolin K, a new hypocholesterolemic agent produced by a *Monascus* species. *J. Antibiot.* **32**, 852-854.
- Ferreeres, 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*, pp. 1-8. Food antioxidants. 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.
- Hwang, J. and Hseu, T.H.** 1980. Specificity of the acid protease from *Monascus kaoliang* toward the B-chain of oxidized insulin. *Biochem. Biophys. Acta* **614**, 607–612.
- Ige, M.T. and Akintunde, F.O.** 1981. Studies on the local techniques for yam flour production. *J. Food Technol.* **16**, 303–311.
- Jeon, C.P., Lee, J.B., Choi, C.S., and Kwon, G.S.** 2011. Biological activities of ethanol extracts from monascus-fermented chinese yam. *J. Life Sci.* **21**, 1142–1148.
- Jeon, C.P., Lee, J.G., Lee, J.B., Park, S.C., Choi, C.S., Kim, J.E., and Kwon, G.S.** 2012. Biological activities of fermented *Dioscorea batatas* Dence by two stage fermentation. *Kor. J. Microbiol.* **48**, 29–36.
- 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.
- Judie, D.D.** 1987. Applications and colorants. *Food Technol.* **23**, 78–88.
- Jung, D.H.** 2007. Encyclopedia of Health and Functional Foods, pp. 191–192. Shinil Books Publishing Co., Seoul, Korea.
- Kim, J.I., Jang, H.S., Kim, J.S., and Shon, H.Y.** 2009. Evaluation of antimicrobial, antithrombin and antioxidant activity of *Dioscorea batatas* Dence. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* **37**, 133–139.
- Kim, H.K., Lee, B.Y., and Kim, Y.E.** 1993. Development of functional new materials from some Korea plants (in Korea). *Korea Food Research Institute Report*. E1218–0420.
- 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, 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.
- Lee, Y.L., Yang, J.H., and Mau, J.L.** 2008. Antioxidant properties of water extracts from *Monascus* fermented soybeans. *Food Chem.* **106**, 1128–1137.
- Lin, C.F.** 1973. Isolation and cultural conditions of *Monascus* sp. for the production of pigment in a submerged culture. *J. Ferment. Technol.* **51**, 107–114.
- Park, J.C., Cha, J.Y., Lee, C.H., Doh, E.S., Kang, I.H., and Cho, Y.S.** 2009. Biological activities and chemical characteristics of Monascus-fermented Korean red ginseng. *J. Life Sci.* **19**, 1553–1561.
- Purseglove, J.W.** 1972. Dioscoreaceae, p. 97. Tropical crops monocotyledons. In Longman, I. (ed.). London, UK.
- Su, Y.C.** 1975. Properties of *Monascus anka* and its utilization. *J. Ferment. Assoc.* **33**, 28–34.
- 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.
- Sweny, J.G., Estrada-Valdes, M.C., Iacobucci, G.A., Sato, H., and Sakamura, S.** 1981. Photoprotection of the red pigments of *Monascus anka* in aqueous media by 1,4,6-trihydroxynaphthalene. *J. Agric. Food Chem.* **29**, 1189–1193.
- Tanaka, O.** 1990. Recent studies on glycosides from plant drugs of himalaya and south western china: Chemogeographical correlation of panax species. *Pure Appl. Chem.* **62**, 1281–1284.
- Wild, D., Tech, G., and Humpf, H.U.** 2002. New *Monascus* metabolite isolated from red yeast rice (*ang-kak*, red *koji*). *J. Agric. Food Chem.* **50**, 3999–4002.