

토종효모를 이용한 블루베리 발효주의 발효 특성 및 항산화 활성

윤해훈 · 채규서 · 손락호 · 정지혜

(재)베리 & 바이오식품연구소

Antioxidant Activity and Fermentation Characteristics of Blueberry Wine Using Traditional Yeast

Hae Hoon Yoon, Kyu Seo Chae, Rak Ho Son, and Ji Hye Jung

Berry & Biofood Research Institute

ABSTRACT We investigated blueberry wine made using traditional yeast (*Saccharomyces cerevisiae* M-5) and *Saccharomyces cerevisiae* Fermivin which is widely used in wine manufacturing, and measured its fermentative characteristics and antioxidant activity. *S. cerevisiae* M-5 is a traditional yeast isolated from domestically grown Black raspberry (*Rubus occidentalis*). Both *S. cerevisiae* M-5 and Fermivin were inoculated into blueberry juice (BBJ) up to 1×10^9 CFU/kg, followed by incubation at 25°C for 39 days. Final fermentation products of blueberry fermented with *S. cerevisiae* M-5 (BBM) presented 13.10% alcohol, 8.42°Bx of sugar, and 1.183% acidity, and final fermentation products of blueberry fermented with Fermivin (BBF) presented 14.20% alcohol, 8.2°Bx of sugar, and 1.153% acidity. The contents of total polyphenol and flavonoid compounds of BBM were higher than those of BBF and BBJ. DPPH and ABTS radical scavenging activities and reducing power of BBM were higher than those of BBF. The sensory evaluation revealed that BBM showed excellent flavor, taste, and overall acceptability compared with BBF. Based on these results, the possibility of industrial utilization of *S. cerevisiae* M-5 as traditional yeast was confirmed by sensory evaluation and antioxidant activity. Fermentation rate of *S. cerevisiae* M-5 was similar to Fermivin, which is used in the food industry.

Key words: blueberry, traditional yeast, wine, fermentation characteristics, antioxidant activity

서 론

블루베리(*Vaccinium corymbosum*)는 진달래과(Ericaceae) 산앵도나무속(*Vaccinium*)에 속하는 북아메리카 원산의 낙엽성 또는 상록성의 과수로 약 400여 종이 있으며 주로 동남아시아에 분포하고 있다. 열매는 거의 둥글고 1개가 1.0~1.5 g이며 짙은 하늘색, 붉은빛을 띤 갈색, 검은색이고 겉에 흰 가루가 묻어 있다. 블루베리는 2002년 미국 타임지의 세계 10대 슈퍼푸드에 선정되어 건강기능식품으로 인정받고 그 수요가 늘고 있다(1). 블루베리 성숙 과실에는 기능성물질인 안토시아닌과 카로티노이드 색소와 같은 플라보노이드(flavonoids) 및 페놀류(phenolic compounds) 등의 물질들이 다량 함유되어 있어 항산화 효과가 뛰어나 질병 예방 및 노화 방지 효능이 있으며(2-5), 항당뇨(6), 항균 효과 및 항암 작용(7)이 뛰어나다는 보고가 있다. 또한 로돕신(rhodopsin) 재합성 작용의 활성화를 촉진하여 눈의 피로를 풀어주고 시야를 맑아지게 한다는 보고가 있다(8). 최근 건

강에 대한 관심이 증대됨에 따라 다양한 영양분의 섭취와 질병 예방에 효과가 있는 각종 과실에 대한 연구 및 이를 이용한 제품 개발 연구가 활발히 진행되고 있다(9,10). 블루베리 또한 항산화 작용 등과 같은 다양한 기능성을 지닌 과실로 이를 이용하여 잼(11), 머핀(12), 쿠키(13), 떡(14) 제조 등 식품으로 가공한 연구가 보고되고 있다.

와인 시장은 건강에 대한 관심 증대, 생활수준의 향상 등으로 성장하고 있으며 와인전문점, 대형할인마트 등 구입 경로가 다양해져 대중적인 술로 자리 잡고 있다(15). 와인은 과실주로서 포도뿐만 아니라 다양한 과실이나 열매의 즙을 발효한 것으로 발효과정을 통하여 새로운 맛과 향이 생성되어 기호도가 증가하며, 과실 자체가 지니고 있는 고분자물질이 저분자물질로 분해되어 생리활성이 더욱 증가하게 된다(16). 이처럼 와인 시장의 성장과 함께 다양한 기능성에 대한 효과가 있음이 밝혀지면서 국내에서도 과실을 이용한 와인 개발이 다양하게 이루어지고 있다. 복분자, 오디, 머루, 오미자, 감 등 각종 과실을 이용한 와인의 개발과 더불어 생리적 효능에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다(17-20). 그러나 블루베리 와인에 관한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이므로 본 연구에서는 블루베리를 이용하여 국내 복분자로부터 분리된 토종효모인 *Saccharomyces cer-*

Received 6 February 2015; Accepted 3 April 2015

Corresponding author: Ji Hye Jung, Berry & Biofood Research Institute, Gochang-gun, Jeonbuk 585-943, Korea
E-mail: 5011402@hanmail.net, Phone: +82-63-560-5160

erevisiae M-5(KCCM11416P)와 대조군으로 와인 제조에 주로 사용되는 수입 시판건조효모 *Saccharomyces cerevisiae* Fermivin을 이용하여 발효주를 제조한 후 이에 대한 품질 특성 확인 및 항산화 활성을 비교하여 토종효모를 이용한 블루베리 발효주의 개발 가능성을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용된 블루베리는 전라북도 고창군에서 2013년에 수확한 것을 구입해서 -40°C 에서 냉동 보관하여 사용하였다. 보당에 사용된 설탕은 (주)삼양사(Seoul, Korea)에서 구입하였다. 발효에 사용된 토종효모는 국내산 복분자로부터 분리된 *Saccharomyces cerevisiae* M-5(KCCM11416P)로 발효미생물산업진흥원(Microbial Institute for Fermentation Industry, Sunchang, Korea)으로부터 받아 실험에 사용하였고, 수입 시판건조효모는 *Saccharomyces cerevisiae* Fermivin(DSM Food Specialties, B.V., Delft, Netherlands)을 구입하여 사용하였다.

블루베리 발효 조건

블루베리는 해동하여 hand blender(MQ535, Braun, Frankfurt, Germany)로 분쇄한 후 과실 무게(kg)에 대한 16%의 설탕을 첨가하여 약 31°Bx 로 조정하였다. *S. cerevisiae* M-5 및 Fermivin을 1×10^9 CFU/kg이 되도록 접종하여 교반해준 다음 25°C 에서 39일 동안 발효하였다. 발효가 끝난 후 블루베리 발효주는 유압압착기(Stainless 70L, Tomotech Ltd., Seoul, Korea)를 사용하여 착즙하였고 그 다음 -5°C 에서 2일 동안 냉동 보관하여 pore size 1.2 μm membrane filter로 여과하였다.

발효에 사용한 효모 *S. cerevisiae* M-5는 YPD(1% bacto yeast extract, 2% bacto peptone, 2% dextrose) 배지(Difco, Sparks, MD, USA)를 사용하여 25°C 에서 48시간 동안 진탕 배양한 후 $10,000 \times g$ 에서 10분간 원심분리 하여 얻은 균체를 사용하였다. 또한 Fermivin은 계량하여 15% 설탕용액에 20°C 에서 10~15분간 배양하여 활성화시켜 발효에 사용하였다.

발효 특성

알코올 함량은 알코올 분석기 세트(Alcoholizer wine, Anton Paar, Graz, Austria)를 이용하여 측정하였으며, 당도는 상온에서 당도계(PAL-1 Pocket Refractometer, ATAGO, WA, USA)를 이용하여 측정하였다. pH는 pH meter(S20, Mettler Toledo, Schwerzenbach, Switzerland)로 측정하였으며, 산도는 AOAC 방법(21)에 의해 블루베리 발효주 10 mL를 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.3까지 중화시키는 데 소비된 0.1 N NaOH의 소비량으로 정의하였으며 tarta-

ric acid(% , w/w)로 표시하였다.

총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 건강기능식품공전 방법(22)을 응용하여 측정하였다. 본 실험에 사용된 시료는 블루베리 착즙액과 효모의 종류를 달리하여 제조된 블루베리 발효주를 여과하여 사용하였다. 각각의 시료 1 mL에 증류수 7.5 mL와 Folin-Ciocalteu's phenol reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 0.5 mL, 35% Na_2CO_3 1 mL를 순서대로 가한 다음 암실에서 1시간 동안 반응시킨 후 UV/VIS spectrophotometer(UV-2450, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 tannic acid(Sigma-Aldrich Co.)를 표준물질로 사용하여 검량곡선을 작성하고 이로부터 총 폴리페놀 함량을 구하였다.

총 플라보노이드 함량 또한 건강기능식품공전 방법(23)을 이용하여 측정하였다. 각각의 시료 0.5 mL에 ethanol 1.5 mL, 10% aluminium nitrate nonahydrate 0.1 mL, 1 M calcium acetate 0.1 mL, 증류수 2.8 mL를 순서대로 가하고 vortex mixer로 혼합하여 상온에서 40분간 반응시킨 후 UV/VIS spectrophotometer를 사용하여 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 quercetin(Sigma-Aldrich Co.)을 표준물질로 사용하여 검량곡선을 작성하고 이로부터 총 플라보노이드 함량을 구하였다.

DPPH 라디칼 소거 활성 측정

DPPH(2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl) 라디칼 소거 활성은 Choi 등(24)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 즉 농도별로 조제한 시료액 0.1 mL에 ethanol 0.2 mL를 가하고 2×10^{-4} M DPPH 용액 0.3 mL를 5초간 vortex mixer로 혼합하여 실온에서 30분간 반응시키고 ELISA(Synergy HT, Biotec, Washington, DC, USA)를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신에 ethanol을 첨가하여 실험하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 시료를 각각 7가지 이상의 농도로 희석하여 농도별로 다음의 식으로 소거 활성을 구한 후 IC_{50} 으로 나타내었다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100$$

A: Absorbance of sample

B: Absorbance of blank

ABTS 라디칼 소거 활성 측정

ABTS[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)] assay는 Arts 등(25)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉 농도별로 조제한 시료액 5 μL 에 ABTS 라디칼 용액 195 μL 를 첨가하여 7분간 반응시킨 후 ELISA를 사용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신에 ethanol을 첨가하여 실험하였다. ABTS 라디칼 소거

활성은 시료를 각각 7가지 이상의 농도로 희석하여 농도별로 다음의 식으로 소거 활성을 구한 후 IC_{50} 으로 나타내었다.

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100$$

A: Absorbance of sample

B: Absorbance of blank

환원력

환원력은 Oyaizu(26)의 방법을 변형하여 측정하였다. 농도별로 조제한 시료액 1 mL에 0.2 M phosphate buffer(pH 6.6) 2.5 mL와 1% $K_2Fe(CN)_6$ 2.5 mL를 첨가하고 water bath(50°C, 20 min)에서 반응시켰다. 반응액에 10% trichloroacetic acid 2.5 mL를 첨가하여 원심분리(3,000×g, 5 min) 한 다음 상등액 2.5 mL를 취한 후 증류수 2.5 mL와 0.1% $FeCl_3$ 0.5 mL를 첨가하여 UV/VIS spectrophotometer를 사용하여 700 nm에서 측정하였다.

관능검사

관능검사는 효모의 종류에 따른 블루베리 발효주의 관능도를 평가하기 위하여 토종효모인 *S. cerevisiae* M-5와 수입 시판건조효모 Fermivin으로 제조한 블루베리 발효주를 이용하여 색상(color), 향미(flavor), 맛(taste), 종합적 기호도(overall acceptability)에 대한 평가를 진행하였다. 관능검사에 잘 훈련된 베리&바이오식품연구소 연구원 총 15명(남자 7명, 여자 8명; 40~50대 7명, 20~30대 8명)을 선발하여 9점 척도법(1점, 매우 좋지 않음; 5점, 보통; 9, 매우 좋음)으로 관능검사를 실시하였다. 각각의 시료는 70 mL씩 와인잔에 담아 세 자리 난수표로 코드화하여 관능검사 요원에게 제공하였으며 블라인드 테스트로 진행되었다.

통계처리

본 연구는 각 시험항목별로 3회 반복하여 분석하였으며, 분석 결과에 평균과 표준편차는 SPSS program 12.0(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하여 계산하였고, 최소 유의차 검정(LSD)에 의해 평균 간의 유의차를 95% 유의수준($P < 0.05$)에서 Duncan's multiple range test에 의해 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

알코올 함량과 당도

토종효모 *S. cerevisiae* M-5와 수입 시판건조효모 Fermivin을 이용한 블루베리 발효 과정 중의 알코올 함량을 살펴본 결과는 Fig. 1과 같다. Fermivin의 경우 발효 1일에 0.6%로 알코올이 생성되기 시작하였으며, 발효 3일에 2.44%로 알코올 함량이 완만히 증가하였고 발효 37일째부터는 당도나 알코올 생성량에 큰 변화가 없어 발효가 정지된 것으로 보이며 최종 14.20%의 알코올 함량을 나타내었다. *S.*

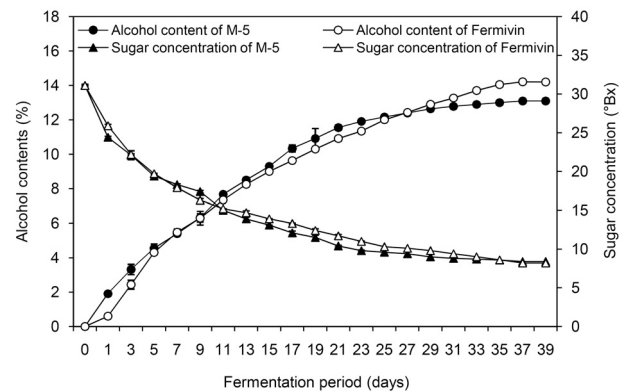


Fig. 1. Changes in alcohol content and sugar concentration of blueberry wines fermented using two yeast (*S. cerevisiae* M-5, Fermivin) during alcohol fermentation period.

cerevisiae M-5는 Fermivin과 비교하였을 때 발효 1일에 1.91%의 알코올을 생성하여 발효 초기 알코올 생성량이 높았고 발효 9일까지는 거의 비슷한 알코올 함량을 나타내며 발효가 진행되었다. 발효 11~25일까지는 Fermivin보다 약 0.01~0.71% 정도 높은 알코올 생성량을 보이며 발효가 진행되었고 이후 약 33일째부터 발효가 정지하여 최종 13.10%의 알코올 함량을 나타내었다.

복분자, 오디와 같은 베리류를 이용한 알코올 주발효의 적정 일수는 일반적으로 약 4~10일이 적절하다고 하였으며(27,28) 이후부터는 알코올 함량이 감소하는 경향을 보인다고 하였으나, 블루베리는 10일이 지난 이후에도 지속적으로 발효가 진행되어 약 39일 정도의 발효일수가 소요되었다. Jeon과 Lee(29)는 블루베리를 첨가한 막걸리 발효 특성 확인 결과, 블루베리를 10% 이상 첨가할수록 알코올 함량이 감소한다고 보고하여 본 실험과 비슷한 결과를 나타내었다. 블루베리는 알코올 발효 시 발효 속도가 느리고 불규칙적으로 발효가 멈추는 현상이 발생하여 문제가 되고 있다고 보고되었는데(30,31), 이는 발효 효모의 영양분으로 질소원, 비타민, 미네랄 등을 필요로 하나 블루베리가 알코올 발효에 적합한 영양분이 부족하다고 생각되며 이와 관련된 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

발효 기간에 따른 당도의 변화는 발효 초기 31.15°Bx에서 발효가 진행됨에 따라 당도는 완만한 감소를 보였으며 발효 종료 시 8.2~8.4°Bx로 *S. cerevisiae* M-5 및 Fermivin 모두 비슷한 당도로 발효가 완료되었다(Fig. 1). Yook과 Jang(32)은 포도 와인의 경우 발효가 종료된 후 당도가 약 7.2°Bx를 나타낸다고 보고하였으며, Kim 등(28)은 오디 와인의 발효 종료 후 당도가 8.5~8.7°Bx의 값을 보인다고 하여 과실을 이용한 발효주의 최종 당도는 대체적으로 7.0~9.0°Bx 값을 보인다는 결과와 비슷한 값을 나타내었다.

토종효모 *S. cerevisiae* M-5는 수입 시판건조효모 Fermivin보다 초기 발효 속도가 빠른 경향을 보였으나 최종 알코올 생성량은 약 1% 정도 낮았으며, 발효 완료 후 당도는 8.2~8.4°Bx로 두 효모 간에 비슷한 당도로 발효가 완료되

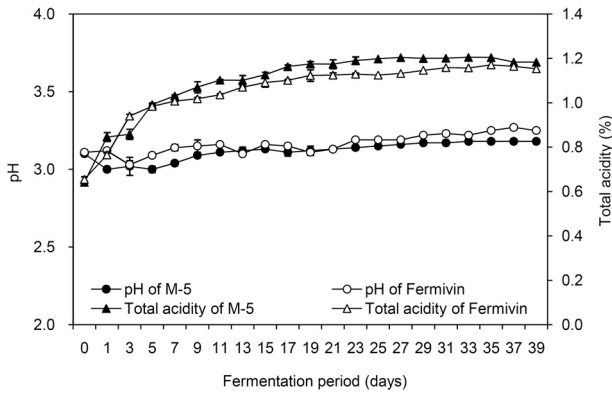


Fig. 2. Changes in pH and total acidity of blueberry wines fermented using two yeast (*S. cerevisiae* M-5, Fermivin) during alcohol fermentation period.

었다.

pH 및 산도

발효 기간 동안 블루베리를 이용한 pH 및 산도의 변화는 Fig. 2와 같다. 발효 전 블루베리 착즙액은 pH 3.08, 총산도 0.81%를 보였다. 발효가 진행됨에 따라 *S. cerevisiae* M-5 및 Fermivin 두 시료 모두 pH는 조금 증가하여 발효 종료 시 3.18~3.25로 나타났다. 산도는 보당 및 효모를 접종한 발효 0일째에 0.642~0.655%로 블루베리 착즙액보다 감소하였다가 이후 발효 1일째부터 산도가 증가하여 발효 완료 시 최종 1.153~1.183%였다.

Margalit(33)은 보통 레드 와인의 적정 산도가 0.6~0.8%이며 산도가 너무 높을 경우에는 신맛이 관능적으로 와인의 품질에 부정적 영향을 미치므로 산도 조절이 필요하다고 보고하였다. 그러나 과일 원주의 신맛은 dry type의 와인을 제조할 경우에는 영향을 미치고 부정적일 수 있지만 sweet type의 와인의 경우에는 당도와 산도의 비율을 조절하면 관능적 측면에서 우수한 와인을 제조할 수 있다고 보고하였다(34). 토종효모 *S. cerevisiae* M-5와 수입 시판건조효모 Fermivin을 이용한 블루베리 발효 시 pH 및 산도의 변화는 효모 간에 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였다.

총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

블루베리 착즙액(BBJ; blueberry juice)과 토종효모 *S. cerevisiae* M-5로 발효한 발효주(BBM; blueberry wine fermented with *S. cerevisiae* M-5) 및 수입 시판건조효모 Fermivin으로 발효한 발효주(BBF; blueberry wine fermented with Fermivin)에 대한 총 폴리페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량을 비교한 결과는 Table 1과 같다. BBJ의 총 폴리페놀 함량은 0.74±0.07 TAE mg/mL를 나타내었고, BBM은 1.34±0.20 TAE mg/mL, BBF는 1.09±0.01 TAE mg/mL로 BBM과 BBF는 BBJ와 비교 시 유의적으로 증가하였으며, BBM은 BBF보다 약 1.2배 높은 함량을 나타내었다. 블루베리 착즙액 발효 시 총 폴리페놀 함량이 증가

Table 1. The total polyphenol and total flavonoid contents of blueberry juice and blueberry wines

Samples ¹⁾	Total polyphenol contents (TAE ²⁾ mg/mL	Total flavonoid contents (QUE ³⁾ mg/mL
BBJ	0.74±0.07 ^{c4)5)}	0.22±0.01 ^c
BBM	1.34±0.20 ^a	0.61±0.20 ^a
BBF	1.09±0.01 ^b	0.55±0.08 ^b

¹⁾BBJ, blueberry juice; BBM, blueberry wine fermented with *S. cerevisiae* M-5; BBF, blueberry wine fermented with Fermivin.
²⁾Total polyphenol contents was expressed as mg tannic acid (TAE) per 100 gram.
³⁾Total flavonoid contents was expressed as mg quercetin (QUE) per 100 gram.
⁴⁾Values are the mean±SD (n=3).
⁵⁾Values within a column (different microorganism) followed by different letters are significantly different at P<0.05.

되며 Fermivin보다 *S. cerevisiae* M-5에 의한 블루베리 발효 시 총 폴리페놀 함량이 증가됨을 확인하였다.

블루베리에 함유되어 있는 폴리페놀 물질에는 anthocyanin, catechin, quercetin, chlorogenic acid 등이 있고 이러한 물질은 항산화 활성에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으므로(35) 총 폴리페놀 함량이 높은 *S. cerevisiae* M-5 블루베리 발효주는 항산화 효과가 높을 것으로 예측할 수 있다. Yook 등(36)은 국내산 캠벨 포도주의 품질을 개선하기 위하여 머루, 블루베리, 복분자 등을 첨가한 포도주를 제조하였으며 이 중 블루베리를 첨가한 포도주의 총 폴리페놀 함량이 높다고 보고하였다.

총 플라보노이드 함량 분석 결과 BBJ가 0.22±0.01 QUE mg/mL로 가장 낮게 나타났고 BBM은 0.61±0.20 QUE mg/mL, BBF는 0.55±0.08 QUE mg/mL로 블루베리 착즙액보다 발효주의 총 플라보노이드 함량이 증가하였으며, 균주 간 비교 시 BBM의 총 플라보노이드 함량이 더 높게 나타났다. 이는 총 폴리페놀 함량과 비슷한 경향을 보이며 발효 과정 중에 생성된 알코올에 의해서 총 플라보노이드 물질이 많이 용출된 것으로 사료된다.

DPPH 라디칼 소거 활성 측정

블루베리 착즙액과 토종효모 *S. cerevisiae* M-5 및 수입 시판건조효모 Fermivin으로 제조한 블루베리 발효주의 DPPH 라디칼 소거 활성을 측정한 결과는 Table 2와 같다. BBJ의 IC₅₀ 값은 65.70±0.44 µL/mL, BBM은 31.55±0.40 µL/mL, BBF는 41.94±0.28 µL/mL로 *S. cerevisiae* M-5의 블루베리 발효주가 블루베리 착즙액보다 약 2배의 활성이 증가되어 가장 높은 소거 활성을 보였다. 이는 발효 후 증가된 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 성분이 DPPH 라디칼 소거 활성 증가에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

DPPH 라디칼 소거 활성은 항산화 활성을 갖는 물질로부터 전자나 수소를 받아 환원되면서 탈색되는 원리를 이용하여 다양한 천연 소재의 항산화 활성을 측정하는 데 많이 사

Table 2. Comparison of IC₅₀ values of DPPH and ABTS radical scavenging activity of blueberry juice and blueberry wines

Samples ¹⁾	DPPH radical scavenging activity	ABTS radical scavenging activity
	(IC ₅₀ μL/mL) ²⁾	
BBJ	65.70±0.44 ^{a3)4)}	71.05±0.72 ^a
BBM	31.55±0.40 ^c	59.55±0.56 ^c
BBF	41.94±0.28 ^b	65.33±0.40 ^b

¹⁾Abbreviations for samples are shown in Table 1.

²⁾Inhibitory activity was expressed as the mean of 50% inhibitory concentration of triplicate determines, obtained by interpolation of concentration inhibition curve.

³⁾Values are the mean±SD (n=3).

⁴⁾Values within a column (different microorganism) followed by different letters are significantly different at $P<0.05$.

용되는 방법이다(37,38). Kang 등(39)은 전자공여능이 phenol성 물질에 대한 항산화 작용의 지표라 하였으며 이러한 물질은 환원력이 클수록 전자공여능이 더 높다고 하였다. Joo 등(40)의 연구에서는 대봉감 연시 과즙 원액의 DPPH 라디칼 소거 활성이 50.57%였고 이를 와인으로 제조하였을 시 84.25%로 증가하였다는 결과를 보고하였으며, 이는 과실을 발효하였을 때 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가한다는 결과와 일치하는 경향을 보였다. 결과적으로 발효 과정을 통하여 생성된 대사산물이나 유효성분이 작용하여 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가한 것으로 사료된다.

ABTS 라디칼 소거 활성 측정

블루베리 착즙액과 토종효모 *S. cerevisiae* M-5 및 수입 시판건조효모 Fermivin으로 제조한 블루베리 발효주의 ABTS 라디칼 소거 활성을 측정한 결과는 Table 2와 같다. BBJ의 IC₅₀ 값은 71.05±0.72 μL/mL, BBM은 59.55±0.56 μL/mL, BBF는 65.33±0.40 μL/mL로 발효 후 활성이 증가하는 것을 확인하였으며 BBM이 유의적으로 가장 높은 활성을 보였다. 이는 발효에 의해 항산화 물질이 증가하는 것으로 생각되며 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가하는 경향과 일치하였다.

환원력

환원력은 항산화 작용의 여러 기작 중에서 활성 산소종 및 유리기에 전자를 증여하는 능력을 말하며 환원력은 항산화 활성과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(41). 블루베리 착즙액과 토종효모 *S. cerevisiae* M-5 및 수입 시판

건조효모 Fermivin으로 발효한 발효주를 이용하여 5, 10, 25, 50 μL/mL 농도에서 환원력을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 모든 시료에서 농도 의존적으로 활성이 증가하였으며, 50 μL/mL 농도에서 BBJ는 0.334±0.011 μL/mL, BBM은 0.528±0.033 μL/mL, BBF는 0.388±0.013 μL/mL로 BBM이 가장 높은 환원력을 보였다. DPPH 라디칼 소거 활성 및 ABTS 라디칼 소거 활성 결과와 마찬가지로 *S. cerevisiae* M-5를 이용한 발효주가 Fermivin을 이용하여 만든 발효주보다 높은 환원력을 보였다. Park 등(42)은 복분자 품종별 환원력을 측정한 결과 총 폴리페놀, 비타민 C, DPPH 라디칼 소거 활성이 높게 나타난 품종이 환원력 또한 다른 품종보다 우수하다고 보고한 결과와 일치하는 것으로 보인다.

위의 항산화 활성에 대한 실험 결과, 토종효모 *S. cerevisiae* M-5를 이용하여 제조한 블루베리 발효주가 수입 시판건조효모 Fermivin을 이용하여 만든 발효주보다 DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능 그리고 환원력이 뛰어나 높은 항산화 활성을 보이는 것으로 확인하였다. 이를 통하여 토종효모 *S. cerevisiae* M-5를 이용하여 항산화 활성이 우수한 와인 제조가 가능할 것으로 기대된다.

관능검사

효모를 달리하여 제조한 블루베리 발효주의 색상, 향미, 맛, 전체적인 기호도를 평가하였다(Table 4). 관능검사 결과, 색상 부분에서는 Fermivin을 이용한 발효주가 7.8점으로 높게 평가되었으나 향미, 맛, 전체적인 기호도는 *S. cerevisiae* M-5를 이용한 발효주가 우수하게 나타났다. 맛은 BBM이 8.1점으로 월등히 높은 점수로 평가되었으며, 전체적인 기호도 또한 BBM이 8.0점, BBF가 7.2점으로 *S. cerevisiae* M-5 발효주가 높이 평가되었다.

블루베리는 다른 과실보다 알코올 발효 속도가 느리지만 토종효모 *S. cerevisiae* M-5를 이용하여 블루베리를 발효하였을 시 수입 시판건조효모 Fermivin보다 항산화 활성이

Table 4. Sensory evaluation of blueberry wines

Samples ¹⁾	Color	Flavor	Taste	Overall acceptability
BBM	7.1±0.8 ^{b2)3)}	7.6±1.2 ^a	8.1±0.9 ^a	8.0±0.8 ^a
BBF	7.8±0.7 ^a	7.0±0.9 ^b	7.0±1.0 ^b	7.2±0.7 ^b

¹⁾Abbreviations for samples are shown in Table 1.

²⁾Values are the mean±SD (n=3).

³⁾Values within a column (different microorganism) followed by different letters are significantly different at $P<0.05$.

Table 3. Reducing power of blueberry juice and blueberry wines

Samples ¹⁾	5 μL/mL	10 μL/mL	25 μL/mL	50 μL/mL
BBJ	0.052±0.008 ^{c2)3)}	0.090±0.012 ^b	0.185±0.015 ^c	0.334±0.011 ^c
BBM	0.106±0.003 ^a	0.167±0.025 ^a	0.286±0.010 ^a	0.528±0.033 ^a
BBF	0.088±0.011 ^b	0.151±0.021 ^a	0.228±0.001 ^b	0.388±0.013 ^b

¹⁾Abbreviations for samples are shown in Table 1.

²⁾Values are the mean±SD (n=3).

³⁾Values within a column (different microorganism) followed by different letters are significantly different at $P<0.05$.

증가되는 효과를 얻었으며 향미, 맛 등 관능적 기호도가 높은 제품으로 개발 가능성이 있을 것으로 기대된다.

요 약

본 연구에서는 국내 복분자로부터 분리된 토종효모 *Saccharomyces cerevisiae* M-5와 수입 시판건조효모 Fermivin을 이용한 블루베리의 발효 품질 특성을 확인하였고, 항산화 활성을 확인하기 위해 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드, DPPH 라디칼 소거 활성, ABTS 라디칼 소거 활성, 환원력을 측정하였다. *S. cerevisiae* M-5와 Fermivin을 블루베리에 1×10^9 CFU/kg이 되도록 접종하여 25°C에서 39일간 발효를 진행하였다. *S. cerevisiae* M-5를 이용한 블루베리 발효주(BBM)의 최종 품질은 알코올 13.10%, 당도 8.42°Bx, 산도 1.183%였으며, Fermivin을 이용한 블루베리 발효주(BBF)는 알코올 14.20%, 당도 8.2°Bx, 산도 1.153%로 발효가 완료되었다. 발효 특성은 BBM이 BBF와 비교 시 초기 발효 속도가 빠르며 최종 알코올 생성량은 약 1% 낮은 것으로 확인되었다. 총 폴리페놀 함량은 BBF가 0.74 ± 0.07 TAE mg/mL, BBM이 1.34 ± 0.20 TAE mg/mL, BBF가 1.09 ± 0.01 TAE mg/mL로 발효 시 증가되었으며, BBM의 총 폴리페놀 함량이 BBF보다 약 1.2배 높게 확인되었다. 총 플라보노이드 함량은 BBM이 0.61 ± 0.20 QUE mg/mL, BBF가 0.55 ± 0.08 QUE mg/mL로 발효하였을 때 증가하며 BBM의 총 플라보노이드 함량이 높음을 확인하였다. 항산화 활성 확인을 위한 DPPH 라디칼 소거 활성, ABTS 라디칼 소거 활성 그리고 환원력 또한 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량이 높았던 BBM이 더 높은 항산화 활성을 나타내었다. 효모를 달리하여 제조된 블루베리 발효주의 관능검사를 실시한 결과 색상의 경우 BBF가 높았으나 향미, 맛, 전체적인 기호도는 BBM이 우수한 기호도를 보였다. 결과적으로 토종효모 *S. cerevisiae* M-5를 이용한 발효주는 수입 시판건조효모 Fermivin을 이용한 발효주보다 항산화 활성 및 관능적 기호도에서 우수하게 평가되어 토종효모 *S. cerevisiae* M-5는 와인 제조 등과 같은 산업적 활용이 가능하고 이용 가치가 높을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 ‘산업통상자원부’, ‘한국산업기술진흥원’, ‘호남지역사업평가원’의 ‘광역경제권 선도산업 육성사업’으로 수행된 연구 결과의 일부로서 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. Park HM, Yang SJ, Kang EJ, Lee DH, Kim DI, Hong JH. 2012. Quality characteristics and granule manufacture of mulberry and blueberry fruit extracts. *Korean J Food Cook-*

ery Sci 28: 375-382.

2. Su MS, Chien PJ. 2007. Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) fluid products as affected by fermentation. *Food Chem* 104: 182-187.

3. Nacz M, Shahidi F. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *J Pharm Biomed Anal* 41: 1523-1542.

4. Hertog MGL, Feskens EJM, Kromhout D. 1997. Antioxidant flavonols and coronary heart disease risk. *Lancet* 349: 699.

5. Knekt P, Jarvinen R, Reunanen A, Maatela J. 1996. Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. *Br Med J* 312: 478-481.

6. Martineau LC, Couture A, Spoor D, Benhaddou-Andaloussi A, Harris C, Meddah B, Leduc C, Burt A, Vuong T, Le PM, Prentki M, Bennett SA, Arnason JT, Haddad PS. 2006. Anti-diabetes properties of the Canadian lowbush blueberry *Vaccinium angustifolium* Ait. *Phytomedicine* 13: 612-623.

7. Parry J, Su L, Moore J, Cheng Z, Luther M, Rao JN, Wang JY, Yu LL. 2006. Chemical compositions antioxidant capacities, and antiproliferative activities of selected fruit seed flours. *J Agric Food Chem* 54: 3773-3778.

8. Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services. 2009. *Functional characteristics of fruit varieties of blueberries, breeding and cultivation technology research*. Rural Development Administration, Suwon, Korea. p 5-6.

9. Yu OK, Kim JE, Cha YS. 2008. The quality characteristics of jelly added with *Bokbunja* (*Rubus coreanus* Miquel). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 792-797.

10. Lee HR, Jung BR, Park JY, Hwang IW, Kim SK, Choi JU, Lee SH, Chung SK. 2008. Antioxidant activity and total phenolic contents of grape juice products in the Korean market. *Korean J Food Preserv* 15: 445-449.

11. Cho WJ, Song BS, Lee JY, Kim JK, Kim JH, Yoon YH, Choi JI, Kim GS, Lee JW. 2010. Composition analysis of various blueberries produced in Korea and manufacture of blueberry jam by response surface methodology. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 319-323.

12. Hwang SH, Ko SH. 2010. Quality characteristics of muffins containing domestic blueberry (*V. corymbosum*). *J East Asian Soc Dietary Life* 20: 727-734.

13. Ji JR, Yoo SS. 2010. Quality characteristics of cookies with varied concentrations of blueberry powder. *J East Asian Soc Dietary Life* 20: 433-438.

14. Oh JA. 2008. Quality characteristics of blueberrydduk by difference ratio of ingredients. *MS Thesis*. Kyung Hee University, Seoul, Korea. p 1-27.

15. Jeon HM. 2009. A study on wine selection attributes and behavioral intention by segmentation based on purchase and drinking motive - focused on wine retail shop customers in Seoul -. *J Foodservice Management Soc Korea* 12: 29-50.

16. Teissedre PL, Landrault N. 2000. Wine phenolics: contribution to dietary intake and bioavailability. *Food Res Int* 33: 461-467.

17. Lee SJ, Lee JE, Kim SS. 2004. Development of Korean red wines using various grape varieties and preference measurement. *Korean J Food Sci Technol* 36: 911-916.

18. Cho KM, Lee JB, Kahng GG, Seo WT. 2006. A study on the making of sweet persimmon (*Diospyros kaki*, T) wine. *Korean J Food Sci Technol* 38: 785-792.

19. Kim SJ, Lee HJ, Park KH, Rhee CO, Lim IJ, Chung HJ, Moon JH. 2008. Isolation and identification of low molecular phenolic antioxidants from ethylacetate layer of Korean

- black raspberry (*Rubus coreanus* Miquel) wine. *Korean J Food Sci Technol* 40: 129-134.
20. Lee S, Kim M. 2009. Comparison of physicochemical and organoleptic characteristics of *omija* wines made by different methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 182-187.
 21. AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 32-35.
 22. Korea Food and Drug Administration. 2012. *Korea health supplements food standard codex*. Korea Health Supplements Association, Seoul, Korea. p 529.
 23. Korea Food and Drug Administration. 2012. *Korea health supplements food standard codex*. Korea Health Supplements Association, Seoul, Korea. p 463.
 24. Choi JS, Lee JH, Park HJ, Kim HG, Young HS, Mun SI. 1993. Screening for antioxidant activity of plants and marine algae and its active principles from *Prunus davidiana*. *Kor J Pharmacogn* 24: 299-303.
 25. Arts MJ, Haenen GR, Voss HP, Bast A. 2004. Antioxidant capacity of reaction products limits the applicability of the Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) assay. *Food Chem Toxicol* 42: 45-49.
 26. Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reaction: antioxidant activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jpn J Nutr* 44: 307-315.
 27. Choi HS, Kim MK, Park HS, Shin DH. 2005. Changes in physicochemical characteristics of bokbunja (*Rubus coreanus* Miq.) wine during fermentation. *Korean J Food Sci Technol* 37: 574-578.
 28. Kim YS, Jeong DY, Shin DH. 2008. Optimum fermentation conditions and fermentation characteristics of mulberry (*Morus alba*) wine. *Korean J Food Sci Technol* 40: 63-69.
 29. Jeon MH, Lee WJ. 2011. Characteristics of blueberry added *makgeolli*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 444-449.
 30. Maisonnave P, Sanchez I, Moine V, Dequin S, Galeote V. 2013. Stuck fermentation: development of a synthetic stuck wine and study of a restart procedure. *Int J Food Microbiol* 163: 239-247.
 31. Mo HW, Jeong JS, Choi SW, Choi KH. 2012. Preparation of wine using wild yeast from dried *Omija* and optimal nutritional requirements for alcoholic fermentation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 254-260.
 32. Yook C, Jang EM. 2009. Quality improvement of wines made from domestic grapes by the elimination or addition of grape skins. *Korean J Food Sci Technol* 41: 528-535.
 33. Margalit Y. 2005. *Winery technology and operations*. Wine Appreciation Guild, San Francisco, CA, USA. p 1-12.
 34. Kim JS, Kim SH, Lee WK, Pyun JY, Yook C. 1999. Effects of heat treatment on yield and quality of grape juice. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1397-1400.
 35. Giovanelli G, Buratti S. 2008. Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild Italian blueberries and some cultivated varieties. *Food Chem* 112: 903-908.
 36. Yook C, Seo MH, Kim DH, Kim JS. 2007. Quality improvement of campbell early wine by mixing with different fruits. *Korean J Food Sci Technol* 39: 390-399.
 37. AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 31-32.
 38. Jeong HS, Han JG, Ha JH, Kim S, Oh SH, Kim SS, Jeong MH, Choi GP, Park UY, Lee HY. 2009. Antioxidant activities and skin-whitening effects of nano-encapsulated water extract from *Rubus coreanus* Miquel. *Korean J Medicinal Crop Sci* 17: 83-89.
 39. Kang YH, Park YK, Lee GD. 1996. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J Food Sci Technol* 28: 232-239.
 40. Joo OS, Kang ST, Jeong CH, Lim JW, Park YG, Cho KM. 2011. Manufacturing of the enhances antioxidative wine using a ripe Daebong persimmon (*Dispyros kaki* L.). *J Appl Biol Chem* 54: 126-134.
 41. Sa YJ, Kim JS, Kim MO, Jeong HJ, Yu CY, Park DS, Kim MJ. 2010. Comparative study of electron donating ability, reducing power, antimicrobial activity and inhibition of α -glucosidase by *Sorghum bicolor* extracts. *Korean J Food Sci Technol* 42: 598-604.
 42. Park Y, Choi S, Kim SH, Jang YS, Han JY, Jung HK. 2008. Functional composition and antioxidant activity from the fruits *Rubus coreanus* according to cultivars. *Mokchae Konghak* 36: 102-109.