

유색미로 제조한 식혜의 이화학적 특성 및 항산화 활성에 관한 연구

양지원¹ · 김영언¹ · 이경희^{2*}

¹한국식품연구원 기능성식품연구본부 바이오공정연구단, ²경희대학교 외식경영학과

Physicochemical Characteristics and Antioxidant activities of *Sikhye* Made with Pigmented Rice

Ji-won Yang¹, Young Eon Kim¹ and Kyung Hee Lee^{2*}

¹Korea Food Research Institute, Division of Functional Food Research, Research Group of Bioprocess Engineering, Seongnam 13539, Korea

²Dept. of Food Service Management, Kyunghee University, Seoul 12447, Korea

ABSTRACT

This study compared the physicochemical characteristics, proximate composition, taste compound and antioxidant properties of *Sikhye* prepared with pigmented rice. Proximate composition showed a significant difference depending on the type of pigmented rice except crude fat contents and pH, color was a significant difference depending on the type of pigmented rice. The highest brix degree was 15.07 °Brix in red and black rice *Sikhye*. Each highest value of reducing sugar and free sugar content showed milled rice and brown rice *Sikhye*. Titratable acidity and total acidity of the pigmented rice *Sikhye* were highest for black rice *Sikhye*, free sugar content were highest for green rice *Sikhye*. Analysis of their relative antioxidative properties indicated that black rice *Sikhye* had the highest total polyphenol, flavonoid, and anthocyanin content, the highest levels of DPPH radical scavenging ability, and the highest level of reducing power and ferric reducing ability of plasma scores. Principal component analysis suggested that black rice *Sikhye* had a strong association with antioxidant properties, brown and red rice *Sikhye* had the strongest association with the sweetness and unique flavor.

Key words : Quality characteristics, *Sikhye*, pigmented rice, antioxidant

서 론

식품에 관한 연구는 주로 영양 및 기호적 특성에 가치를 두고 중점적으로 연구되어 왔으나, 최근에는 식품의 생체조절 기능에 초점을 두고 기능성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Chang YK *et al* 1994; Joe AR & Ahn SY 1996; Suh HJ *et al* 1999; Kim JH *et al* 2007). 식품 성분이 갖는 생체조절 기능을 충분히 발현하도록 제조한 기능성 식품은 건강증진 및 질병예방에 좋은 역할을 하게 된다. 최근 기능성 식품에 관한 관심이 높아짐에 따라 쌀에 있어서도 현미를 비롯하여 유색미와 같은 특수미의 섭취가 증가하고 있다(Ha TY *et al* 1999). 유색미는 차진 맛과 독특한 향미를 지녔을 뿐 아니라, 일반미(백미)와는 달리 현미 상태로 도정하여 사용하기 때문에 백미에 비하여 식이섬유, 비타민, 무기질 등의 영양소 함량이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한, 유색미는 탄닌과 안토시아닌계 색소를 함유하고 있어(Kim YD

et al 1998a; Park MK *et al* 2002), 항산화 기능(Choi SW *et al* 1994), DNA 손상(Wang H *et al* 1997; Tsuda T *et al* 1998) 및 발암억제 기능(Nam SH & Kang MY 1998) 등이 있는 것으로 보고되고 있어, 건강을 위한 기능성 식품으로서 이용 가치가 매우 높은 식품으로 알려져 있다. 따라서 유색미를 활용하기 위한 많은 연구들이 이루어졌으며, 유색미 혼용 시취반 특성에 관한 연구(Kim DW *et al* 1998b), 호화 특성에 관한 연구(Ha TY *et al* 1999), 색소에 관한 연구(Yun HY *et al* 1995; Oh SK & Choi HC 1996; Yoon JM *et al* 1997), 항산화 및 발암억제 효과에 관한 연구(Nam SH & Kang MY 1997; Nam SH & Kang MY 1998; Kwak TS *et al* 1999) 등이 보고되어 있다. 최근에는 유색미에 관한 관심이 증가하면서 유색미를 재료로 한 식품 가공에 관한 연구가 활발히 진행되어, 유색미를 이용한 떡의 제조(Kim KS & Lee JK 1999; Cho JA & Cho HJ 2000), 유색미를 제빵에 이용한 연구(Jung DS *et al* 2002), 유색미 쌀과자(Kim JD *et al* 2001)에 관한 연구 등이 있다.

최근 경제가 향상되고 국민소득이 높아지면서 음식의 고

* Corresponding author : Kyung Hee Lee, Tel: +82-2-961-0847, E-mail: lkhee@khu.ac.kr

급화와 다양화된 맛과 질을 추구하고 있으며, 식품의 기능성을 음식에 부여하고자 기능성 소재를 이용한 전통음식 제조에 대하여 연구가 활발히 진행되고 있다(Min SH 2009; Cho KM & Joo OS 2010; Jeong SI & Yu HH 2013). 식혜는 우리 고유의 전통 음청류로 정확한 기원과 유래는 알 수 없으나, 고대부터 가정의 행사에 떡과 함께 빼놓을 수 없는 비알코올성 음료였으며, 현재에도 캔이나 PET병 등 다양한 포장 형태로 대량 생산되며, 2014년 전년 대비 13%의 신장률을 보이며 판매되고 있어 평상시 많이 애용되고 있는 음료이다. 단술 또는 감주라고도 불리는 식혜는 엿기름에 의한 아밀라아제 생성과 고두밥을 통한 녹말의 생성으로 적당한 온도에서 당화시켜 제조되는 음료이다(Park SI 2006; Kim KJ *et al* 2008a; Lee JH 2011). 식혜는 백미의 전분을 맥아효소(β -amylase)로 당화시킨 맥아당과 포도당을 많이 함유하고 있기 때문에 식혜 고유의 감미와 풍미를 지니고(Choi MS *et al* 2001) 있으며, 식혜가 갖고 있는 효소는 위에서 소화를 도울 뿐만 아니라, 소장에서도 요구르트와 같은 작용으로 음식이 체내에서 부패하는 것을 막아주는 중요한 역할을 한다(Park EJ *et al* 1997; Ahn DK 1998). 전분식품으로서 식혜 제조 시 주재료로 사용되는 쌀에 관한 연구는 쌀 품종에 따른 연구와 습열처리 변성 쌀 이용 식혜 제조(Yook C & Cho SC 1996), 곡류의 종류를 달리한 식혜의 제조(Cho SH 1990; Kim YS *et al* 2004) 및 특수미를 이용한 식혜 제조(Kim KJ *et al* 2008a) 등이 보고되어 있으며, 기능성 식품으로서 이용 가치가 매우 높은 다양한 종류의 유색미를 재료로 하여 식혜를 제조한 연구는 보고되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 유색미의 활용도를 높이고, 전통음료인 식혜에 기능성을 부여하기 위한 기초 연구로 유색미 종류를 달리한 식혜를 제조하여 유색미 식혜에 함유되어 있는 일반성분, pH, 점미성분, 항산화 성분과 항산화 활성 및 색도를 측정함으로써, 기능성이 부여된 다양한 식혜 제조의 가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료 및 시약

실험에 사용한 유색미는 2013년도 전북 진안에서 친환경 농법으로 재배하여 수확한 녹원미, 홍찰미, 흑미와 현미를 사용하였으며, 백미는 현미를 도정하여 실험에 사용하였다. 엿기름은 100% 국산 길보리를 이용하여 제조된 두레원 엿기름(2014년)을 이마트에서 구입하여 사용하였다.

2. 시료의 제조

유색미 식혜는 윤숙자(2004)의 전통제조방법을 약간 변형

하여 Fig. 1의 공정으로 제조하였다. 고두밥은 쌀, 현미 및 유색미를 5회 세척한 후 10배 해당하는 증류수를 넣고, 30°C에서 2시간 동안 침지한 후 다시 30분 동안 탈수를 시킨 다음, autoclave(DS-60, Dosung Scientific, Korea)에서 1 kg/cm² 압력으로 10분간 증자하여 제조하였다. 엿기름 추출액은 엿기름 가루에 10배의 증류수를 넣고, 25°C를 유지하면서 2시간 동안 100 rpm으로 교반한 후 부직포로 여과하여 고형분은 버리고 여과액은 4°C, 7,500 rpm에서 10분간 원심분리(centrifuge 5810f, Eppendorf, Hamburg, Germany)한 후 여과지(Whatman No. 41)를 이용하여 여과한 여과액이다. 식힌 고두밥에 10배의 엿기름 추출액을 골고루 혼합하여 55°C의 water bath(BW-B, Lab Companion, Korea)에서 4시간 동안 당화하였다. 당화액은 4°C, 7,500 rpm에서 10분간 원심분리한 후 여과지(Whatman No. 41)를 이용하여 여과하였다. 여과액은 끓는 물에서 10분간 중탕한 후 급냉하여 효소를 불활성화 시켜 식혜를 완성하여(Lee & Kim 1998) 당도, pH, 적정산도, 총산도 및 환원당 실험에 사용하였다.

식혜를 분말화 하기 위하여 완성된 유색미 식혜는 4,000 rpm에서 10분간 원심분리(centrifuge 5810f)하여 상등액을

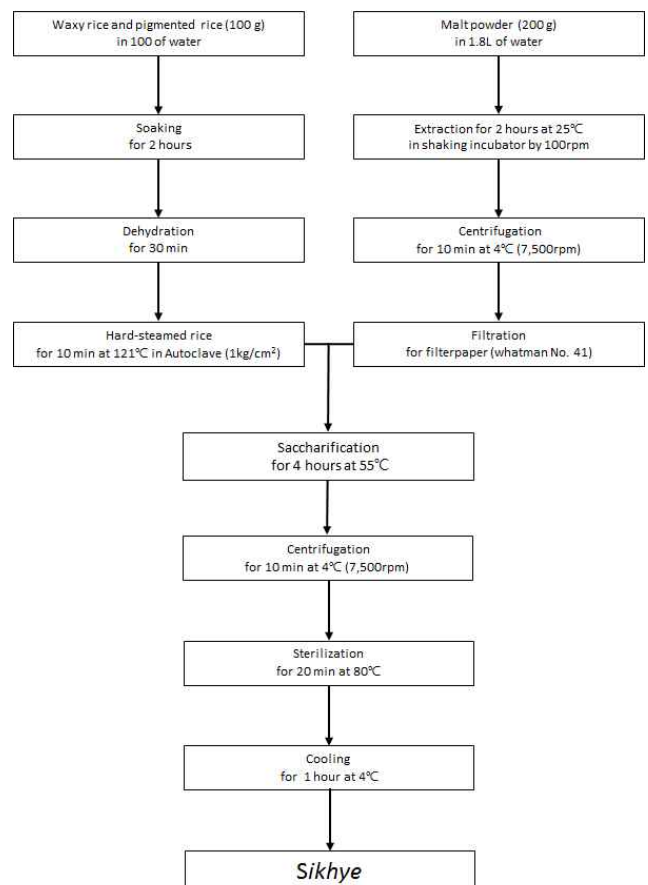


Fig. 1. The manufacturing process of Sikhye.

-80°C에 동결시킨 후 동결 건조(PVTFD 100R, Ilshin, Korea) 하여 일반성분, 유리당, 유기산 및 향산화 특성 실험에 사용하였다.

3. 일반성분과 pH 측정

일반성분은 AOAC법(2000)에 준하여 수분은 105°C 상압 가열건조법, 조회분은 600°C 건식회화법, 조단백은 Auto-Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet 추출법으로 측정하였다.

pH는 pH meter(Model 320, Thermo Orion, Beverly, MA, USA)를 이용하여 측정하였으며, 3회 반복 실험하여 평균값을 구하였다.

4. 정미성분 분석

당도는 시료 10 mL를 4,000 rpm에서 5분간 원심분리(centrifuge 5810f, Eppendorf, Germany)하여 얻은 상등액을 당도계(ATAGO, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 3회 반복 실험하여 평균값을 구하였다.

환원당은 dinitrosalicylic acid (DNS)법(2000)에 의해 측정하였다. 시료 1 mL을 test tube에 넣고 DNS reagent 1 mL를 혼합한 후 끓는 물에서 15분 동안 중탕시켰다. 상온에서 충분히 냉각한 후 증류수 3 mL를 넣어 희석한 후 546 nm에서 흡광도(Epoch, Bioteck, VT, USA)를 측정하였으며 glucose (Sigma-Aldrich)를 표준물질로 사용하였다.

유리당은 분말시료 5 g에 증류수를 가하고, homogenizer (Ultra-turrax T8, IKA, Staufen, Germany)로 마쇄하여 교반 후 침출시켜 100 mL로 정용한 다음 3,000 rpm에서 30분 원심분리(centrifuge 5810f)하였다. 원심분리한 상등액을 취하여 Sep-pak C₁₈으로 정제시켜 0.45 µm membrane filter(Millipore Co.)로 여과한 여액을 HPLC를 이용하여 분석하였다. HPLC 분석 조건은 Table 1과 같다.

적정산도는 시료 10 mL를 pH 8.03까지 중화시키는데 소

요되는 0.1 N 수산화나트륨의 양으로 측정하여 3회 반복 실험하여 평균값을 구하였다.

총산도는 시료 5 mL를 취하여 증류수 45 mL를 가한 후 30분간 진탕하고, 4,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 상등액 10 mL에 0.1 N NaOH로 pH 8.03까지 적정하고, 그 측정량을 용액 1 mL에 함유되어 있는 citric acid의 양으로 표시하였다.

유기산은 시료 5 g에 증류수를 가하고 homogenizer(Ultra-turrax T8)로 마쇄하여 교반 후 침출시켜 100 mL로 정용한 다음 3,000 rpm에서 30분 원심분리(centrifuge 5810f)하였다. 원심분리한 상등액을 취하여 Sep-pak C₁₈으로 정제시켜 0.45 µm membrane filter(Millipore Co.)로 여과한 여액을 HPLC를 이용하여 분석하였다. HPLC 조건은 Table 2와 같다.

5. 향산화 활성 측정

1) Total Polyphenol 함량

총 페놀 함량은 Folin-Denis법(Swain T & Hills WE 1959)에 따라 측정하였다. 시료 0.2 mL에 Folin-Ciocalteu's phenol reagent 0.1 mL와 증류수 1.4 mL를 첨가하여 혼합한 후 20% sodium carbonate 0.3 mL를 가하여 암소에서 20분간 방치한 후 765 nm에서 흡광도(Epoch)를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid를 이용하여 함량을 표시하였다.

2) Total Flavonoid 함량

총 플라보노이드 함량은 Shen Y 등(2009)의 방법으로 측정하였다. 시료 0.5 mL에 5% sodium nitrite 0.15 mL를 가하여 5분간 방치한 후 10% AlCl₃ · 6H₂O 0.3 mL와 1 M sodium hydroxide 1 mL를 가하여 혼합한 후 암소에서 15분 방치한 후 415 nm에서 흡광도(Epoch)를 측정하였다. 표준물질로는 catechin을 이용하여 함량을 표시하였다.

Table 1. The operating condition of HPLC for free sugar analysis

Item	Condition
Instrument	Waters associates M 510
Detector	M 410 RI detector
Column	Sugar-pak column (300 × 0.8 mm)
Column temperature	90°C
Solvent	H ₂ O
Flow rate	0.5 mL/min
Injection volume	30 µL

Table 2. The operating condition of HPLC for organic acid analysis

Item	Condition
Instrument	Waters associates M 510
Detector	UV 486 detector 220 nm
Column	Rspak KC-811 column (300 × 0.8 mm)
Column temperature	30°C
Solvent	0.2 mM KH ₂ PO ₄
Flow rate	1.0 mL/min
Injection volume	20 µL

3) Total Anthocyanin 함량

총 안토시아닌 함량은 pH differential method(AOAC 2005. 02)에 따라 측정하였다. 각 추출물 0.5 mL에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer (pH 4.5)를 가하여 최종 부피를 5 mL로 한 다음, 510 및 700 nm에서 반응액의 흡광도(Epoch)를 각각 측정하여 아래의 식으로 결과를 얻었다.

Anthocyanin pigment(cyaniding-3-glucoside equivalents, mg/L)

$$= \frac{A \times MW \times DF \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

$$A(\text{absorbance value}) = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH 1.0}} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH 4.5}}$$

$$MW(\text{molecular weight of cyanidin-3-glucoside}) = 449.2 \text{ g/mol}$$

$$DF(\text{dilution factor}) = \text{dilution ratio of sample}$$

$$\epsilon(\text{cyanidin-3-glucoside molar absorbance}) = 26,900 \text{ molar extinction coefficient, in } L \times \text{mol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$$

$$l = \text{pathlength in cm}$$

4) DPPH Radical 소거능

DPPH(2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate) radical에 대한 소거활성은 Brand-Williams W 등(1995)의 방법을 변형하여 측정하였다. 70% 에탄올에 녹인 0.2 mM DPPH용액 1 mL에 시료 0.2 mL를 넣어 잘 혼합한 후, 실온인 암소에서 30분간 방치한 다음 517 nm에서 흡광도(Epoch)를 측정하였다. 소거활성은 아래식에 따라 계산하여 백분율로 나타냈다.

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

A : Absorbance of the control

B : Absorbance of the sample

5) Reducing Power

환원력은 Oyaizu M(1986)의 방법에 따라 측정하였다. 0.2 M sodium phosphate buffer (pH 6.6) 1 mL, 시료 1 mL 및 1% potassium ferricyanide 1 mL를 가하고, 이 혼합물을 50°C에서 20분간 반응시킨 후 10% trichloroacetic acid 1 mL를 넣었다. 반응이 끝난 혼합물을 1,000 rpm에서 10분간 원심분리 (centrifuge 5430R)하여 얻은 상등액 2 mL와 메탄올 2 mL를 넣고 0.1% iron chloride 용액 0.1 mL를 넣은 후 700 nm에서 흡광도(Epoch)를 측정하였다. 표준물질로는 비타민 C를 이용

하여 그램당 함량을 표시하였다.

6) FRAP Assay

FRAP(Ferric Reducing Ability of Plasma) assay는 Benzie IFF & Strain JJ(1996)에 의한 방법을 일부 변형하여 측정하였다. pH 3.6 300 mM acetate buffer(3.1 g C₂H₃NaO₂ · 3H₂O, C₂H₄O₂ 16 mL per liter)와 40 mM HCl에 용해된 10 mM TPTZ(2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine), 20 mM FeCl₃ · 6H₂O를 10 : 1 : 1 비율로 혼합하여 FRAP reagent를 만들었다(사용시 37°C로 가열). 시료 0.1 mL에 증류수 0.3 mL와 FRAP reagent 3 mL를 혼합한 후 암소(실온)에서 30분간 방치시킨 다음, 593 nm에서 흡광도(Epoch, Biotech, USA)를 측정하였다. 표준물질로는 비타민 C를 이용하여 그램당 함량을 표시하였다.

6. 색도

색도는 색차계(Color-Eye 3100, Macbeth, New Windsor, NY, USA)를 이용하여 시료를 측정하여 Hunter's value인 명암도를 나타내는 L값(lightness), 적색도를 정도를 나타내는 a값(redness), 황색도의 정도를 나타내는 b값(yellowness)으로 나타냈다. 이때 사용된 표준백판의 L값은 98.75, a값은 -1.02, b값은 1.10이었다.

7. 통계처리

시료에 대한 실험결과는 SPSS Program(version 20.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 실험군의 평균과 표준편차를 구하고, 시료간의 차이검증은 일원배치분산분석(ANOVA)을 사용하였으며, Duncan's multiple range test에 의해 p=0.05 수준에서 유의성을 검증하였다. 시료에 따른 여러 특성을 요약하고, 특성에 따라 시료들을 구분하기 위해서 XLSTAT(XLSTAT version 2015, Addinsoft, New York, NY, USA) 프로그램을 이용하여 주성분 분석(Principal Component Analysis; PCA)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 일반성분과 pH

식혜의 일반성분은 Table 3과 같다. 백미 식혜의 수분함량은 3.60%로 나타났으며, 유색미 식혜의 수분 함량은 4.43~7.20%로, 흑미 식혜가 유의적으로 가장 높게, 녹미 식혜는 가장 낮게 나타났다. 조단백 함량은 6.40~11.50%로 쌀 종류에 따라 유의적으로 함유량의 차이가 컸으며, 현미와 흑미 식혜는 녹미와 적미 식혜보다 조단백 함량이 높았고, 대조군인 백미 식혜의 조단백 함량은 중간 정도를 나타냈다. 조지방 함량은 0.10~0.23%로 흑미 식혜가 가장 높았으나, 시료 간 유

Table 3. Yield, proximate composition and pH of *Sikhye* of four cultivars of pigmented rice

Sample ¹⁾	Yield (%)	Proximate composition (%)				pH
		Moisture	Crude protein	Crude fat	Ash	
MIS	20.36±1.49 ^{2)a3)}	3.60±0.10 ^c	8.67±0.25 ^c	0.13±0.06 ^{ab}	1.60±0.10 ^c	5.94±0.01 ^a
BRS	13.85±0.70 ^b	5.43±0.15 ^c	11.50±0.20 ^a	0.10±0.00 ^b	2.90±0.10 ^c	5.75±0.00 ^c
GRS	15.80±3.24 ^b	4.43±0.06 ^d	7.00±0.00 ^d	0.17±0.06 ^{ab}	2.30±0.00 ^d	5.81±0.01 ^b
RES	13.37±1.02 ^b	6.30±0.20 ^b	6.40±0.10 ^e	0.17±0.06 ^{ab}	3.30±0.10 ^b	5.65±0.01 ^d
BLS	13.21±1.03 ^b	7.20±0.30 ^a	10.10±0.10 ^b	0.23±0.06 ^a	3.70±0.10 ^a	5.58±0.01 ^c

¹⁾ MIS : This *Sikhye* was made by milled rice, BRS : This *Sikhye* was made by brown rice, GRS : This *Sikhye* was made by green rice, RES : This *Sikhye* was made by red rice, BLS : This *Sikhye* was made by black rice.

²⁾ Data are mean±S.D. of triplicate determinations.

³⁾ Values with the different superscript letter in each column are significantly different at $p=0.05$.

의적인 차이를 나타내지 않았다. 유색미 식혜의 회분 함량은 2.30~3.70%로 백미 식혜보다 모두 2배 이상 높게 나타났으며, 이는 백미보다 유색미에 껍질 층이 더 남아있기 때문인 것으로 생각된다. 유색미 식혜는 조지방을 제외한 일반성분에서 종류에 따라 유의적인 차이를 보였으며($p<0.05$), 조단백질 함량은 현미 식혜가 가장 높게, 수분, 조지방 및 회분의 함량은 흑미 식혜가 가장 높게 나타났다.

식혜의 pH는 5.58~5.94로 약산성을 나타냈으며, 유색미 종류에 따른 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). 백미 식혜의 pH는 5.94로 유색미 식혜의 pH보다 높았으며, Jeong MS 등(2014)의 연구에서 찹쌀 백옥찰로 제조한 식혜의 pH 5.99와 유사하였다. 그러나 Kim KJ 등(2008a)의 연구에서 일품미로 제조한 식혜의 pH 5.52로 본 연구의 가장 낮은 pH를 나타낸 흑미 식혜의 pH 5.58보다 낮았는데, 이는 식혜 제조 시 제조

조건의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

2. 정미성분

1) 식혜의 당도, 환원당 및 유리당 함량

식혜의 당도, 환원당 및 유리당 함량은 Table 4와 같았다. 식혜의 당도는 백미 식혜가 13.93 °Bx, 현미 식혜 14.31 °Bx, 녹미 식혜 13.47 °Bx, 적미 식혜 15.07 °Bx 및 흑미 식혜 15.07 °Bx로, 적미와 흑미 식혜가 유의적으로 가장 높은 값을 나타냈다. Kim KJ 등(2008a)의 연구에서 특수미 식혜는 8.43~10.00 °Bx를, Jeong MS 등(2014)의 연구에서 잡곡 식혜는 5.67~12.50 °Bx를 보고하였으며, 이는 본 연구의 유색미 식혜 당도인 13.93~15.07 °Bx보다 낮은 값을 나타냈다. 당도는 식혜 제조 시 당화과정에 관여하는 여러 가지 요인과 곡

Table 4. Taste compounds of *Sikhye* of four cultivars of pigmented rice

Sample ¹⁾	SC ²⁾ (°Bx)	Reducing sugar (%)	Free sugar (µg/mL)			
			Glucose	Fructose	Maltose	Total free sugar ³⁾
MIS	13.93± ⁴⁾ 0.22 ^{b5)}	4.12±0.09 ^a	0.49±0.45 ^a	5.60±0.30 ^a	1.97±0.13 ^a	8.05±0.83 ^a
BRS	14.31±0.22 ^b	3.65±0.11 ^b	0.97±0.26 ^a	6.12±0.14 ^a	2.20±0.17 ^a	9.29±0.55 ^a
GRS	13.17±0.22 ^c	3.11±0.13 ^c	0.79±1.05 ^a	5.67±1.17 ^a	2.19±0.76 ^a	8.65±2.94 ^a
RES	15.07±0.22 ^a	3.67±0.23 ^b	0.80±0.11 ^a	5.96±0.10 ^a	2.13±0.30 ^a	8.88±0.49 ^a
BLS	15.07±0.22 ^a	3.63±0.27 ^b	0.70±0.25 ^a	5.77±0.16 ^a	1.93±0.15 ^a	8.41±0.46 ^a

¹⁾ MIS : This *Sikhye* was made by milled rice, BRS : This *Sikhye* was made by brown rice, GRS : This *Sikhye* was made by green rice, RES : This *Sikhye* was made by red rice, BLS : This *Sikhye* was made by black rice.

²⁾ SC : Sugar contents.

³⁾ Total free sugar = glucose + fructose + maltose + sucrose + lactose

⁴⁾ Data are mean±S.D. of triplicate determinations.

⁵⁾ Values with the different superscript letter in each column are significantly different at $p=0.05$.

류 자체에 함유되어 있는 전분 함량이 크게 영향을 미칠 수 있으므로, 이런 영향에 의해 본 연구의 유색미 식혜보다 당 생성이 적게 이루어진 것으로 생각된다(Nam SJ & Kim KO 1989; Jeon ER *et al* 1998; Kim SK *et al* 2000).

식혜의 환원당은 백미 식혜 4.12%, 현미 식혜 3.65%, 녹미 식혜 3.11%, 적미 식혜 3.67% 및 흑미 식혜 3.63%로 백미 식혜가 가장 높은 값을 나타냈으며, Kang MJ 등(2013)의 연구에서 백미 식혜를 60°C에서 3시간 당화시킨 시료의 환원당 4.33%와 유사하였다. 환원당은 쌀 중의 전분질이 맥아의 amylase 작용으로 분해되어 생성된 당분이 용출된 것으로 보고되어 있다(Suh HJ *et al* 1997). 본 연구 결과에서 백미가 유색미에 비해 약간 높은 환원당을 함유한 것은 백미의 경우 표피를 완전히 제거하여 amylase에 노출되기 쉽고, 분해가 더 잘 되어 식혜 속에 많이 용출되었기 때문인 것으로 추측된다.

식혜의 유리당은 포도당, 과당, 맥아당 중에서 과당이 가장 많이 함유되어 있었으며(5.60~6.12 µg/mL), 유의적인 차이는 없었으나 현미 식혜(6.12 µg/mL)에 가장 많았다. 포도당은 0.49~0.97 µg/mL로 유의적인 차이는 없었으나, 백미 식혜보다 모든 유색미 식혜에 더 많이 함유되어 있었으며, 현미 식혜(0.97 µg/mL)에 가장 많이 함유되어 있었다. 맥아당은 1.93~2.20 µg/mL로 유의적인 차이는 없었으나, 현미, 녹미, 적미 식혜가 백미나 흑미 식혜보다 더 많이 함유되어 있었다. 식혜의 총 유리당은 8.05~9.29 µg/mL로 나타났으며, 쌀 종류에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 유색미 식혜는 백미 식혜보다 모두 총 유리당 함량이 높았으며, 그 중 현미 식혜(9.28 µg/mL)가 가장 높게 나타났다. Kim KJ 등(2008a)의 연구에서 백미인 백진주벼로 제조한 식혜의 총 유리당 함량은 7.408로 보고하였으며, 이는 본 연구의 백미 식혜의 총 유리당 함량(8.05 µg/mL)과 유사하였다.

쌀 종류를 달리하여 제조한 백미와 유색미 식혜에서 백미 식혜는 동일 중량당 유색미에 비하여 표피가 완전히 제거되었으므로 전분함량이 높을 것으로 생각되며, 이런 이유로 전분에서 환원당으로의 전환이 가장 많이 이루어진 것으로 생각된다. 그러나 유리당 함량과 단맛을 강하게 나타내는 과당과 포도당 함량은 백미보다 유색미 식혜에서 더 높게 나타났고, 특히 현미 식혜가 유색미 식혜 중 가장 높게 나타났으며, 유의적인 차이는 없었으나 백미 식혜보다 당도가 높았다. 또한 맥아당은 식혜 특유의 풍미를 더해 주어 기호성을 높일 수 있는 당으로 현미 식혜에서 가장 높았으며, 유의적인 차이는 없었으나 백미와 흑미 식혜는 현미, 녹미, 적미 식혜에 비하여 적게 함유되어 있었다.

2) 식혜의 적정산도, 총산도 및 유기산의 함량

식혜의 적정산도, 총산도 및 유기산의 함량은 Table 5와 같았다. 적정산도와 총산도는 백미 식혜(10.97 mL, 4.24%)에 비하여 유색미 식혜(14.55~26.49 mL, 6.54~11.93%)가 유의적으로 높았고, 유색미 종류에 따라 유의적인 차이를 나타냈다($p<0.05$). 특히 흑미 식혜의 경우 가장 높은 적정산도와 총산도(26.49 mL, 11.93%)를 나타냈다. 적정산도와 총산도가 낮은 백미 식혜의 경우 유색미 식혜보다 pH가 가장 높았으며, 적정산도와 총산도가 높았던 흑미 식혜는 pH가 가장 낮은 결과를 나타냈다.

식혜의 유기산은 oxalic acid(0.18~0.68 µg/mL)와 succinic acid(0.34~0.49 µg/mL)가 acetic acid와 citric acid보다 많이 함유되어 있었으며, citric acid에서는 쌀 종류에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 그 밖의 산에서는 쌀 종류에 따른 유의적인 차이가 나타났다. 백미 식혜는 유색미 식혜보다 oxalic acid(0.68 µg/mL)와 acetic acid(0.22 µg/mL) 함량이

Table 5. Taste compounds of *Sikhye* of four cultivars of pigmented rice

Sample ¹⁾	Titratable acidity (mL)	Total acidity (%)	Organic acids (mg/mL)			
			Oxalic acid	Acetic acid	Citric acid	Succinic acid
MIS	10.97± ³⁾ 0.58 ^{e4)}	4.24±0.01 ^e	0.68±0.01 ^a	0.22±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.45±0.00 ^a
BRS	19.78±0.01 ^c	8.91±0.00 ^c	0.18±0.00 ^c	0.18±0.00 ^{ab}	0.08±0.03 ^a	0.49±0.03 ^a
GRS	14.55±0.01 ^d	6.54±0.01 ^d	0.61±0.02 ^b	0.17±0.01 ^b	0.09±0.00 ^a	0.34±0.01 ^c
RES	23.86±0.01 ^b	10.73±0.01 ^b	0.23±0.00 ^c	0.16±0.00 ^b	0.05±0.01 ^a	0.36±0.03 ^{bc}
BLS	26.49±0.02 ^a	11.93±0.01 ^a	0.20±0.03 ^{cd}	0.16±0.02 ^b	0.09±0.03 ^a	0.40±0.02 ^b

¹⁾ MIS : This *Sikhye* was made by milled rice, BRS : This *Sikhye* was made by brown rice, GRS : This *Sikhye* was made by green rice, RES : This *Sikhye* was made by red rice, BLS : This *Sikhye* was made by black rice.

²⁾ SSC : Soluble solids contents.

³⁾ Data are mean±S.D. of triplicate determinations.

⁴⁾ Values with the different superscript letter in each column are significantly different at $p=0.05$.

유의적으로 가장 높았고, 구수한 맛을 나타내는 succinic acid는 백미 식혜(0.45 µg/mL)와 현미 식혜(0.49 µg/mL)에서 다른 종류의 식혜보다 유의적으로 높은 함량을 나타냈으며, 현미 식혜가 가장 높았다. Choi C 등(1995)의 연구에서는 식혜 제조 0일의 전통 안동식혜의 succinic acid 함량이 0.41로 흑미 식혜 0.40와 유사한 값을 보였으며, 본 연구의 백미와 현미 식혜보다 낮았다.

3. 항산화 특성

1) 식혜의 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 총 안토시아닌 함량

식혜의 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 총 안토시아닌 함량은 Table 6과 같았다. 총 폴리페놀 함량은 백미 식혜(2.78 mg GAE/g)보다 유색미 식혜(3.61~7.12 mg GAE/g)에서 유의적으로 더 높았고, 유색미 중에서도 흑미 식혜가 7.12 mg GAE/g으로 가장 높았다($p<0.05$). Jeong 등(2014)의 연구에서 수수인 동안메로 제조한 식혜의 총 폴리페놀함량이 258 µg GAE/mL로 보고하였으나, 본 연구의 백미 식혜 2.78 mg GAE/g에 비하면 9배 정도 낮은 함량이었다. 총 플라보노이드 함량은 쌀 종류에 따라 유의적으로 차이가 크게 나타났으며, 흑미 식혜가 2.32 mg CAE/g으로 가장 높았고, 적미 식혜가 0.98 mg CAE/g, 현미 식혜 0.44 mg CAE/g, 녹미 식혜 0.31 mg CAE/g의 순으로 낮게 함유하고 있었다($p<0.05$). 백미 식

혜의 플라보노이드 함량은 0.09 mg CAE/g으로 모든 식혜 중 가장 낮게 함유하고 있었다($p<0.05$). Jeong MS 등(2014)의 동안메 식혜에 함유되어 있는 총 플라보노이드 함량은 54.30 µg CAE/mL로 본 연구의 백미 식혜에 함유되어 있는 0.09 mg GAE/g보다 1.6배 정도 낮은 수치를 보였다. 총 안토시아닌 함량은 흑미 식혜가 현저하게 높아 142.94 mg CGE/g으로 다른 유색미 식혜에 비해 약 30배 이상 높았으며, 적미 식혜(4.01 mg CGE/g)와 현미 식혜(3.56 mg CGE/g)는 백미 식혜(2.17 mg CGE/g)와 녹미 식혜(2.06 mg CGE/g)보다 총 안토시아닌 함량이 높았으나 유의적인 차이를 보이지 않았다. Seo SJ 등(2007)와 Seo SJ 등(2008)은 흑미를 제외한 다른 유색미에서 안토시아닌이 검출되지 않았다고 보고하였으며, 흑미에 존재하는 다량의 anthocyanin계 색소는 cyanidin-3-glucoside와 peonidin-3-glucoside가 대표적인 성분으로 알려져 있다(Abdel-Aal el-SM *et al* 2006).

2) 식혜의 DPPH Radical 소거능, 환원력 및 FRAP 법에 의한 항산화력

식혜의 DPPH radical 소거능, 환원력 및 FRAP assay 결과는 Table 7과 같았다. DPPH radical 소거능은 흑미 식혜가 84.25%로 가장 높았고, 적미 식혜(41.46%), 현미 식혜(25.44%), 녹미 식혜(11.90%)의 순이었으며, 백미 식혜는 3.41%로 가장 낮은 DPPH radical 소거능을 나타냈다($p<0.05$). 이와 같은 결과는 유색미의 항산화력에 관한 연구(Kang MY *et al* 2003; Kim EO *et al* 2008) 결과와 일치되며, 본 연구에서 흑미 식혜의 DPPH radical 소거능이 가장 높게 나타난 것은 흑미 자체의 항산화력이 높기 때문인 것으로 생각된다. 환원력은 시료가 항산화제로서 사용될 수 있음을 나타내는 지표이며(Meir *et al* 1995), 흑미 식혜가 8.75 mg AAE/g으로 가장 높았고, 적미 식혜(5.84 mg AAE/g), 현미 식혜(4.40 mg AAE/g), 녹미 식혜(3.44 mg AAE/g)의 순으로 낮았으며, 백미 식혜는 2.63 mg AAE/g으로 가장 낮았다($p<0.05$). Seo SJ 등(2008)의 연구에서 유색미의 항산화 측정 결과, 흑미의 환원력이 가장 높은 것으로 보고되었으며, 본 연구에서도 흑미 식혜가 가장 높은 환원력을 나타낸 것은 흑미 자체의 환원력이 높기 때문인 것으로 생각된다. FRAP 법을 이용한 유색미 식혜의 항산화력도 흑미 식혜가 7.32 mg AAE/g으로 가장 높았고, 적미 식혜(4.57 mg AAE/g), 현미 식혜(3.48 mg AAE/g), 녹미 식혜(2.86 mg AAE/g)의 순이었으며, 백미 식혜는 2.23 mg AAE/g으로 가장 낮았다($p<0.05$). Cho KM & Joo OS(2010)는 FRAP 법을 이용한 옥수수 수염 추출액 식혜의 항산화력을 측정한 결과, 당화시간에 따라 차이가 있었으며, 당화시간이 증가할수록 항산화력도 증가하였다고 보고하였다.

본 연구에서 실시한 유색미 식혜의 항산화 특성은 백미 식

Table 6. Total phenolics, total flavonoids, and total anthocyanins of *Sikhye* of four cultivars of pigmented rice

Sample ¹⁾	Total phenolics (mg GAE ²⁾ /g)	Total flavonoids (mg CAE ³⁾ /g)	Total anthocyanins (mg CGE ⁴⁾ /g)
MIS	2.78± ⁵⁾ 0.03 ⁶⁾	0.09±0.02 ^c	2.17±1.74 ^b
BRS	4.66±0.48 ^c	0.44±0.01 ^c	3.56±0.84 ^b
GRS	3.61±0.12 ^d	0.31±0.03 ^d	2.06±2.56 ^b
RES	5.77±0.15 ^b	0.98±0.03 ^b	4.01±2.26 ^b
BLS	7.12±0.15 ^a	2.32±0.04 ^a	142.94±8.16 ^a

¹⁾ MIS : This *Sikhye* was made by milled rice, BRS : This *Sikhye* was made by brown rice, GRS : This *Sikhye* was made by green rice, RES : This *Sikhye* was made by red rice, BLS : This *Sikhye* was made by black rice.

²⁾ Gallic acid equivalent.

³⁾ Catechin equivalent.

⁴⁾ Cyanidin-3-glucoside equivalent.

⁵⁾ Data are mean±S.D. of triplicate determinations.

⁶⁾ Values with the different superscript letter in each column are significantly different at $p=0.05$.

Table 7. DPPH radical scavenging activity, reducing power, and FRAP assay of *Sikhye* of four cultivars of pigment rice

Sample ¹⁾	DPPH radical scavenging (%)	Reducing power (mg AAE ²⁾ /g)	FRAP (mg AAE/g)
MIS	3.41± ³⁾ 0.93 ^{cd)}	2.63±0.08 ^c	2.23±0.02 ^c
BRS	25.44±2.16 ^c	4.40±0.09 ^c	3.48±0.06 ^c
GRS	11.90±2.54 ^d	3.44±0.17 ^d	2.86±0.04 ^d
RES	41.46±0.77 ^b	5.84±0.94 ^b	4.57±0.08 ^b
BLS	84.25±0.81 ^a	8.75±0.12 ^a	7.32±0.17 ^a

¹⁾ MIS : This *Sikhye* was made by milled rice, BRS : This *Sikhye* was made by brown rice, GRS : This *Sikhye* was made by green rice, RES : This *Sikhye* was made by red rice, BLS : This *Sikhye* was made by black rice.

²⁾ L-ascorbic acid equivalent.

³⁾ Data are mean±S.D. of triplicate determinations.

⁴⁾ Values with the different superscript letter in each column are significantly different at $p<0.05$.

혜와 큰 차이를 나타냈으며, 특히 유색미 중 흑미로 만든 식혜의 항산화 성분함량과 항산화력이 현저하게 가장 높았다.

4. 색도

식혜의 색도 측정 결과는 Table 8과 같았다. 식혜의 백색도(L)는 61.47~88.47, 적색도(a)는 -0.73~8.43, 황색도(b)는 4.97~12.07로 나타났으며, 쌀의 종류에 따라 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). 백색도는 백미 식혜가 88.47로 가장 높은 값을 나타냈고, 적색도는 흑미 식혜가 8.43으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 황색도는 적미 식혜가 12.07로 가장 높은 값을 나타냈다. 녹미 식혜는 백색도와 적색도, 황색도가 모두 가장 낮은 값을 나타냈다. Jeong MS 등(2014)의 연구에서 수수인 동안메로 제조한 식혜의 L , a 및 b 값이 41.11, 2.52 및 4.71로 나타나, 적미 식혜의 적색도(2.47), 흑미 식혜의 황색도(4.97)와 유사한 값을 나타냈다. 식혜의 색도가 유의적인 차이를 보인 것은 재료 고유의 색이 식혜의 색에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 사료된다.

5. 주성분 분석

유색미 식혜의 이화학적 특성과 항산화 특성을 설명하기 위하여 주성분 분석을 실시한 결과는 Fig. 2와 같았다. 제1 주성분(PC1)과 제2 주성분(PC2)의 각각 총 변동의 59.85%와 18.72%를 설명하여 총 변동의 78.57%를 설명하였다. 제1 주성분의 양의 방향에 부하된 시료들은 흑미 식혜와 적미 식혜로 주로 정미성분의 당도, 총산도, 적정산도, 포도당, 과당과

Table 8. The color value of *Sikhye* of four cultivars of pigmented rice

Sample ¹⁾	L (whiteness)	a (redness)	b (yellowness)
MIS	88.47± ²⁾ 0.06 ^{a3)}	0.97±0.06 ^c	10.97±0.15 ^b
BRS	83.90±0.17 ^b	-0.07±0.06 ^d	9.67±0.06 ^c
GRS	80.53±0.06 ^c	-0.73±0.06 ^c	7.67±0.06 ^d
RES	76.17±0.15 ^d	2.47±0.06 ^b	12.07±0.06 ^a
BLS	61.47±0.06 ^e	8.43±0.06 ^a	4.97±0.06 ^e

¹⁾ MIS : This *Sikhye* was made by milled rice, BRS : This *Sikhye* was made by brown rice, GRS : This *Sikhye* was made by green rice, RES : This *Sikhye* was made by red rice, BLS : This *Sikhye* was made by black rice.

²⁾ Data are mean±S.D. of triplicate determinations.

³⁾ Values with the different superscript letter in each column are significantly different at $p=0.05$.

항산화 특성 및 일반성분, 적색도의 특성이 부하된 것을 알 수 있었고, 음의 방향에 부하된 시료들은 백미 식혜, 현미 식혜, 녹미 식혜로 정미성분의 유기산과 환원당 및 이화학적 특성 중 pH, 백색도, 적색도의 특성이 부하되었음을 알 수 있었다. 제2 주성분의 양의 방향에 부하된 시료들은 현미 식혜, 녹미 식혜, 적미 식혜로 정미성분인 유리당, 총산도, 적정산도와 이화학적 특성 중 백색도, 황색도 및 일반성분 중 수분, 회분 등이 높게 부하된 것을 알 수 있었고, 음의 방향에 부하된 시료들은 흑미 식혜, 백미 식혜로 주로 정미 성분 중 유기산, 환원당과 항산화 특성, 일반성분 중 조지방, 조단백 및 적색도, pH 특성이 높게 부하되었다.

이와 같이 주성분 분석 결과, 백미식혜는 유기산, 환원당, pH 등의 특성과 높은 관련성이 있어 보이며, 녹미, 현미 식혜는 식혜의 밝고 노르스름한 색상과 식혜의 특유의 풍미를 나타내는 맥아당과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한 적미 식혜는 산과 회분, 수분, 총 폴리페놀 함량과 단맛을 나타내는 포도당, 과당과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났고, 흑미 식혜는 항산화 특성과 조지방, 조단백, 당도, 적색도에 밀접한 관련성이 있어 보였으며, 이는 안토시아닌 색소를 다량 함유하고 있기 때문인 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 Koca I & Karadeniz B(2009)의 장과류 과실의 항산화 성분과 항산화 활성과의 관계를 연구한 결과에서도 동일하게 나타났다.

이상의 결과로부터 백미로 만든 전통적인 식혜보다 유색미로 만든 식혜는 흑미 식혜의 경우 항산화 기능이 우수한 식혜로, 현미와 적미 식혜는 단맛과 식혜 특유의 풍미가 더욱 풍부한 식혜로 제조될 가능성이 시사되었다.

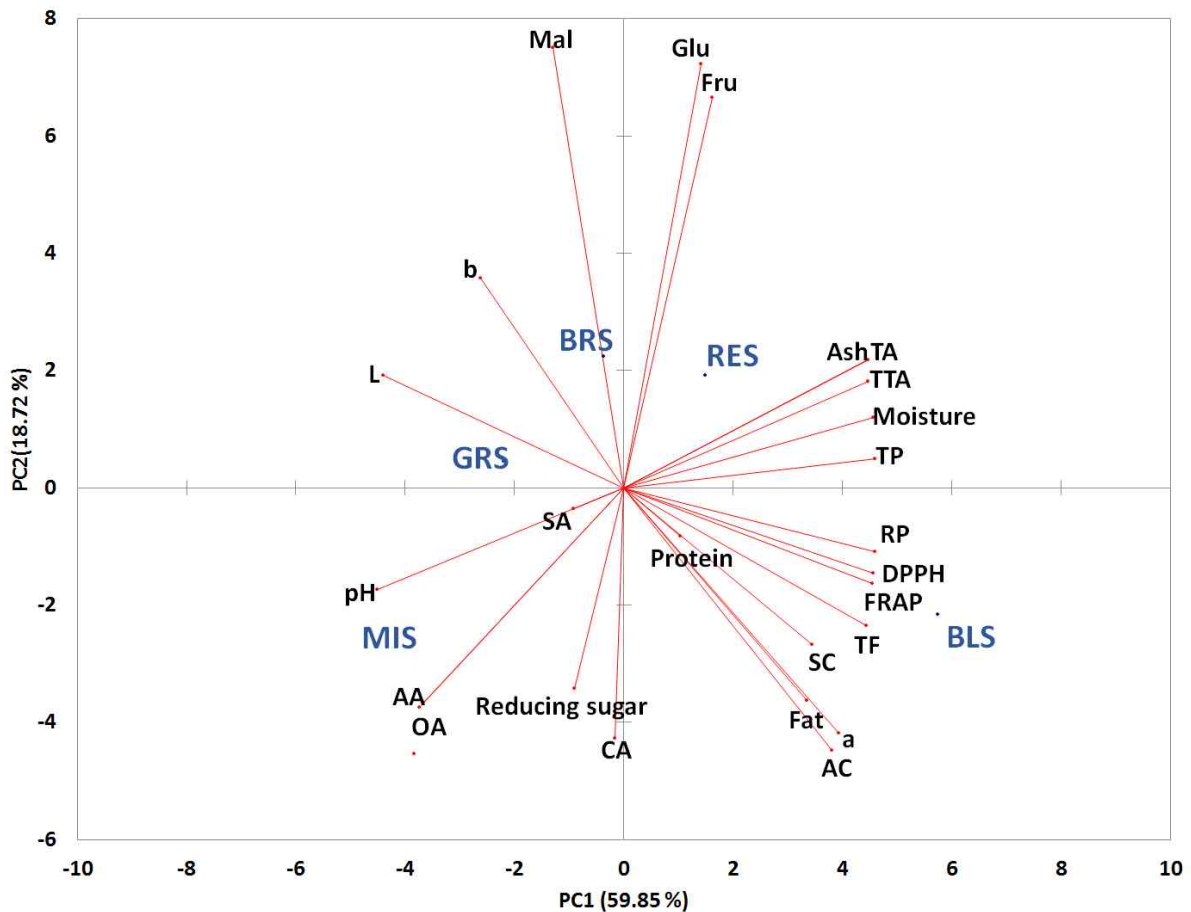


Fig. 2. Principal component analysis (PCA) loading to 4 pigmented rice *Sikhye* and their characteristics.

MIS : This *Sikhye* was made by milled rice, BRS : This *Sikhye* was made by brown rice, GRS : This *Sikhye* was made by green rice, RES : This *Sikhye* was made by red rice, BLS : This *Sikhye* was made by black rice, SC : Sugar contents, L : Whiteness, a : Redness, b : Yellowness, TTA : Titratable acidity, TA : Total acidity, Glu : Glucose, Fru : Fructose, Mal : Maltose, OA : Oxalic acid, AA : Acetic acid, CA : Citric acid, SA : Succinic acid, TP : Total phenolic content, TF : Total flavonoid content, AC : Anthocyanin contents, RP : Reducing power

요 약

본 연구에서는 색이 다른 유색미를 이용한 식혜의 이화학적 특성과 항산화 특성을 평가하기 위하여 백미, 현미, 적미, 녹미, 흑미로 식혜를 제조하고, 식혜의 일반성분, pH, 정미성분, 항산화 특성 및 색상을 비교 검토하였다. 유색미 식혜의 일반성분은 조지방을 제외하고, 유색미 종류에 따라 유의적인 차이를 보였으며, 조단백질 함량은 현미 식혜가 가장 높게, 수분, 조지방 및 회분의 함량은 흑미 식혜가 가장 높게 나타났다. 식혜의 pH는 5.58~5.94로 유색미 종류에 따른 유의적인 차이를 보였고($p < 0.05$), 백미 식혜의 pH가 5.94로 가장 높았다. 정미성분으로 당 함량은 적미 식혜와 흑미 식혜가 가장 높은 15.07 °Bx를 나타냈으며, 환원당은 백미 식혜가, 유리당 함량은 현미 식혜가 가장 높은 값을 나타냈다. 적정산도와 총산도는 흑미 식혜가, 유기산 함량은 백미 식혜에

서 가장 높은 값을 나타냈다. 항산화 성분으로 총 폴리페놀, 총 플라보노이드, 총 안토시아닌 함량은 다른 유색미 식혜에 비해 흑미 식혜가 가장 높은 함량을 보여 각각 7.12 mg GAE/g, 2.32 mg CAE/g, 142.94 mg CGE/g으로 나타났다. 또한 흑미 식혜의 DPPH radical 소거능, 환원력 및 FRAP 법을 이용한 항산화력은 84.25%, 8.78 mg AAE/g, 7.32 mg AAE/g으로 다른 유색미 식혜에 비해 가장 높은 항산화력을 보였으며, 적미 식혜도 상당히 높은 항산화 특성을 나타냈다. 유색미 식혜의 백색도, 적색도 및 황색도는 쌀 자체의 색에 의해 영향을 받아 다른 색상으로 나타났다. 주성분 분석 결과, 백미식혜는 유기산, 환원당, pH 등의 특성과 높은 관련성이, 녹미, 현미 식혜는 식혜의 밝고 노르스름한 색상과 식혜 특유의 풍미를 나타내는 맥아당과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한 적미 식혜는 산과 회분, 수분, 총 폴리페놀 함량과 포도당, 과당 함량, 흑미 식혜는 항산화 성분과 항산화

력, 조지방, 조단백, 당도, 적색도와 밀접한 관련이 있었다.

이상으로 유색미를 이용하여 식혜를 제조할 경우, 백미로 만들어진 전통적인 식혜보다 다양한 색상의 식혜 제조가 가능하고, 흑미에 의한 항산화 기능이 우수한 식혜와 현미나 적미에 의한 단맛과 식혜 특유의 풍미가 풍부한 식혜 제조가 가능할 것으로 생각되어, 건강 지향적이며 맛이 더욱 향상된 식혜가 만들어질 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 이러한 결과는 유색미 활용도나 식혜의 소비 촉진에 상당한 영향을 미칠 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Abdel-Aal el-SM, Young JC, Rabalski I (2006) Anthocyanin composition in black, blue, purple, and red cereal grains. *J Agric Food Chem* 54: 696-4704.
- Ahn DK (1998) Illustrated Book of Korean Medicinal Herbs. pp. 496-630. Kyohak Publishers Co., Ltd., Seoul, Korea.
- AOAC (2000) Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C, USA.
- AOAC (2005) Official Methods of Analysis, Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C, USA. Vol. 02.
- Benzie IFF, Strain JJ (1996) The ferric reducing ability of plasma(FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal Biochem* 239: 70-76.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebenson Wiss Technol* 28: 25-30.
- Chang YK, Kim EM, Kim SY (1994) Effect of guar gum levels in *Backsulgies* on plasma glucose and insulin in healthy men. *Korean J Home Economics* 32: 207-216.
- Cho JA, Cho HJ (2000) Quality properties of *Injulmi* made with black rice. *Korean J Soc Food Sci* 16: 226-231.
- Cho KM, Joo OS (2010) Manufacture of *Sikhe*(a traditional Korean baverage) using corn silk extracts. *Korean J Food Preserv* 17: 644-651.
- Cho SH (1990) A study on the production of malt and *Sikhae*. *Korean J Food Cook Sci* 6: 77-83.
- Choi C, Woo HS, An BJ, Cho YJ, Kim S (1995) Change of organic acids and volatile flavor compounds of traditional *Andong Sikhe*. *Korean J Dietary Culture* 10: 11-17.
- Choi MS, Jung EH, Hyun TS (2002) Perception and preference of Korean traditional foods by elementary school students in *Chungbuk* province. *J Korean Soc of Food Cult* 17: 399-410.
- Choi SW, Nam SH, Choi HC (1994) Antioxidative acticity of ethanolic extracts of rice bran. *Foods and Biotech* 5: 305-309.
- Ha TY, Park SH, Lee SH, Kim DC (1999) Gelatinization properties of pigmented rice varieties. *Korean J Food Sci Technol* 31: 564-567.
- Jeon ER, Kim KA, Jung LH (1998) Morphological changes of cooked rice kernel during saccharification for *Sikhe*. *Korean J Soc Food Sci* 14: 91-96.
- Jeong MS, Ko JY, Song SB, Lee JS, Jung TW, Yoon YH, Oh IS, Woo KS (2014) Physicochemical characteristics of *Sikhye*(Korean traditional rice beverage) using foxtail millet, proso millet, and sorghum. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1785-1790.
- Jeong SI, Yu HH (2013) Quality characteristics of *Sikhe* prepared with the roots powder of *Doraji*(*Platycodon grandiflorum* A. DE. Candolle). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 759-765.
- Joe AR, Ahn SY (1996) Effect of addition of enzyme-resistant starch on texture characteristics of corn bread. *Korean J Soc Food Sci* 12: 207-213.
- Jung DS, Lee FZ, Eun JB (2002) Quality properties of bread made of wheat flour and black rice flour. *Korean J Food Sci Technol* 34: 232-237.
- Kang MJ, Ju JC, Shin JH (2013) Quality characteristics of *Sikhye* prepared wit garlic powder and steamed garlic powder. *J Agric Life Sci* 47: 247-255.
- Kang MY, Shin SY, Nam SH (2003) Correlation of antioxidant and antimutagenic activity with content of pigments and phenolic compounds of colored rice seeds. *Korean J Food Sci Technol* 35: 968-974.
- Kim DW, Eun JB, Rhee CO (1998) Cooking conditions and textural changes of cooked rice added with black rice. *Korean J Food Sci Technol* 30: 562-568.
- Kim EO, Oh JH, Lee KT, Im JG, Kim SS, Suh HS, Choi SW (2008) Chemical compositions and antioxidant activity of the colored rice cultivars. *Korean J Food Preserv* 15: 118-124.
- Kim JD, Lee JC, Hsieh FH, Eun JB (2001) Rice cake production using black rice and medium-grain brown rice. *Food*

- Sci Biotechnol* 10: 315-322.
- Kim JH, Nam SH, Kim MH, Sohn JK, Kang MY (2007) Cooking properties of rice with pigmented rice bran extract. *Korean J Crop Sci* 52: 60-68.
- Kim KJ, Woo KS, Lee JS, Chun A, Choi YH, Song J, Suh SJ, Kim SL Jeong HS (2008) Physicochemical characteristics of *Sikhye*(Korean traditional rice beverage) with specialty rice varieties. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1523-1528.
- Kim KS, Lee JK (1999) Effect of addition ratio of pigmented rice on the quality characteristics of *Seolgiddeok*. *Korean J Soc Food Sci* 15: 507-511.
- Kim SK, Kim JM, Choi YB (2000) Effect of *Sikhye* manufacturing conditions on the rice shape. *Korean J Dietary Culture* 15: 1-8.
- Kim YD, Ha KY, Lee KB, Shin HT, Cho SY (1998) Varietal variation of anthocyanin content and physicochemical properties in colored rice. *Korean J Breed* 30: 305-308.
- Kim YS, Kim JH, Oh SD (2004) Sensory evaluation for *Sikhye*, a Korean traditional rice beverage, using glutinous rice, non-glutinous rice, or black rice. *J Health Sci & Med Technol* 30: 75-83.
- Koca I, Karadeniz B (2009) Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the black sea region of Turkey. *Sci Horti* 121: 447-450.
- Kwak TS, Park HJ, Jung WT, Choi JW (1999) Antioxidative and hepatoprotective activity of coloured-scented and Korean native rice varieties based on different layers. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 191-198.
- Lee JH (2011) Quality of *Sikhe* incorporated with hot eater extract of *Omija*(*Schisandra chinensis* Baillon) fruit. *Food Engineering Progress* 15: 80-84.
- Min SH (2009) Quality characteristics of *Sikhe* prepared with *Astragalus membranaceus* water extracts. *J East Asian Soc Dietary Life* 19: 216-223.
- Nam SH, Kang MY (1997) *In vitro* inhibitory effect of colored rice bran extracts carcinogenicity. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 40: 307-312.
- Nam SH, Kang MY (1998) Comparison of inhibitory effect of rice bran-extracts of the colored rice cultivars on carcinogenesis. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 41: 78-83.
- Nam SJ, Kim KO (1989) Characteristics of *Sikhye*(Korean traditional drink) made with different amount of cooked rice and malt and with different sweeteners. *Korean J Food Sci Technol* 21: 197-202.
- Oh SK, Choi HC (1996) Extraction method of anthocyanin and tannin pigments in colored rice. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 39: 327-331.
- Oyaizu, M. (1986) Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jpn J Nutr* 44: 307-315.
- Park EJ, Kim HJ, Kim JM, Chun HS (1997) Antiulcerative effect of *Sikhe* on stomach ulcer induced by ethanol. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 98-102.
- Park MK, Lee JM, Park CH (2002) Comparisons on the quality characteristics of pigmented rice *Cholpyon* with those of brown and white rice. *Korean J Food Cook Sci* 18: 471-475.
- Park SI (2006) Application of green tea powder for *Sikhe* preparation. *Korean J Food Nutr* 19: 227-233.
- Seo SJ, Choi Y, Lee SM, Kim KJ, Son JR, Lee J (2007) Determination of selected antioxidant compounds in specialty rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 499-502.
- Seo SJ, Choi Y, Lee SM, Kong S, Lee J (2008) Antioxidant activities and antioxidant compounds of some specialty rices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 129-135.
- Shen Y, Jin L, Xiao P, Lu Y, Bao J (2009) Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *J Cereal Sci* 49: 106-111.
- Suh HJ, Chung SH, Whang JH (1997) Characteristics of *Sikhye* produced with malt of naked barley, covered barley and wheat. *Korean J Food Sci Technol* 29: 716-721.
- Suh HJ, Lee JM, Cho JS, Kim YS, Chung SH (1999) Radical scavenging compounds in onion skin. *Food Res Int* 32: 659-664.
- Swain T, Hillis WE (1959) The phenolic constituents of *Prunus domestica* I-the quantitative analysis of phenolic constituents. *J Sci Food Agric* 10: 63-68.
- Tsuda T, Horio F, Osawa T (1998) Dietary cyanidine-3-O- β -D-glucoside increases *ex vivo* oxidation resistance of serum in rats. *Lipids* 33: 523-528.
- Wang H, Cao G, Prior RL (1997) Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J Agric Food Chem* 45: 304-309.
- Yook C and Cho SC (1996) Application of heat/moisture-treated rices for *Sikhe* preparation. *Korean J Food Sci Technol* 28: 1119-1125.
- Yoon JM, Cho MH, Hahn TR, Paik YS, Yoon HH (1997) Physicochemical stability of anthocyanins from a Korean

- pigmented rice variety as natural food colorants. *Korean J Food Sci Technol* 29: 211-217.
- Yoon SJ (2004) The Rice Cake, Cookie, Drink in Korean Traditional Food. Jigu publishing Co., Seoul. pp. 288-291, 318-319.
- Yun HY, Paik YS, Kim JB, Hahn TR (1995) Identification of anthocyanins from Korean pigmented rice. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 38: 581-583.
-
- | | |
|---------------|---------------|
| Date Received | Jul. 24, 2015 |
| Date Revised | Oct. 1, 2015 |
| Date Accepted | Oct. 5, 2015 |