

무증자 발아현미를 이용한 단양주와 이양주의 이화학적 특성

류지수¹ · 신지은¹ · 조민아¹ · 신장호¹ · 최현선^{1,*}
¹상명대학교 식품영양학과

Physicochemical properties of danyangju and iyangju prepared using uncooked germinated brown rice

Ji Soo Ryu¹, Jee Eun Shin¹, Min A Cho¹, Jang ho Shin¹, and Hyeon-Son Choi^{1,*}
¹Department of Food Nutrition, Sangmyung University

Abstract This study analyzed the physicochemical properties of Danyangju and Iyangju fermented using uncooked germinated brown rice. Total bacteria and yeast from Danyangju and Iyangju showed the maximal value on day 1 of fermentation, but their numbers decreased by the seventh day. On the seventh day, the total bacteria were higher in Iyangju than in Danyangju, but yeast was the lowest in Iyangju. Both Danyangju and Iyangju showed decreased whiteness in color, whereas redness and yellowness increased with fermentation. Sugar contents, reducing sugar, acidity, alcohol, and polyphenol contents increased during fermentation in both Danyangju and Iyangju; this increase was higher in Iyangju than in Danyangju. Iyangju and Danyangju showed gradual increases in α -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity until day 5. The γ -aminobutyric acid (GABA) content increased with fermentation in Iyangju and Danyangju, and Iyangju showed over 10-fold increase after fermentation.

Keywords: Uncooked germinated brown rice, danyangju, iyangju, γ -Aminobutyric acid, physicochemical property

서 론

막걸리는 지금 바로 걸러낸 술이라는 의미를 가진 말로 최초의 한글 기록은 1800년대 전후 조선시대 백과사전인 『광재물보』에 처음 등장하였다. 1920년대 『조선어사전』에는 막걸리가 호린 술이라는 탁주의 의미로 해석되며 청주와 반대의 개념을 갖게 된다(Ryoo, 2018).

막걸리는 술을 빚는 횟수에 따라 분류하기도 한다. 단양주는 술빚기를 한 번으로 끝내는 것을 의미하며 이양주는 단양주를 빚을 때와 같은 방법으로 덧술을 하거나, 고두밥과 물, 아니면 고두밥만으로 덧술을 하여 빚고 발효 숙성시킨 것을 말한다. 단양주는 비교적 도수가 낮고 장기간 저장이 어렵다는 단점이 있지만 이양주는 이 점을 보완한 술이다(Park, 2005).

막걸리에는 단백질, 식이섬유, 당질이 풍부하게 들어 있고, 미량의 비타민과 생리활성물질을 비롯하여 상당량의 젖산균 등이 함유되어 있어 영양적으로, 기능적으로 가치가 높은 식품이라고 할 수 있다. 특히, 비타민 B군과 lysine, leucine 등의 필수아미노산, 항산화 물질인 glutathione을 포함하여 일반 주류와 차별화된 특징을 갖는다. 보통 막걸리의 주질은 알코올 농도, 총산, 향미성분 등에 의해 결정된다. 알코올 농도는 발효 정도에 따라 다르지만 보통 6-8% 정도로 제성하여 막걸리로 제조된다(Kim, 1963).

탁주의 수요는 2008년 막걸리 열풍으로 2011년까지 폭발적으로 증가하였으나 2017년까지 지속적인 감소세를 나타내었다. 하지만 프리미엄 시장 형성, 전통주 전문점 증가, 인터넷 통신판매 활성화 등으로 다시 증가 추세를 보였으며 특히 2018년에는 130억 이상의 매출액을 기록하기도 하였다(KOSTAT, 2020). 최근 막걸리의 트렌드는 다양성을 중요시하면서 국산 재료와 무감미료, 누룩을 사용하는 시장이 형성되고 있다(Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, 2019). 일반적으로 전통 막걸리는 주로 잡쌀, 멥쌀, 소맥분 등을 주원료로 사용하지만 경우에 따라서는 고구마, 옥수수, 보리쌀 등을 전부 또는 일부 원료로 사용하기도 한다. 이러한 재료의 변화와 대체 등으로 막걸리의 주질은 다소 개선된다. 이와 관련하여 영양학적, 관능적으로 우수하고 건강에도 유익한 곡류인 현미나 발아현미를 막걸리 제조의 원료로 사용하는 시도가 있어 왔다. 그러나 담금과정에서의 변화나 주질 개선에 기여하지 못하는 특성으로 실제 제품화로 성공한 사례는 찾아보기 힘든 실정이다(Song 과 Park, 2003). 최근에는 다양한 원료를 이용하여 제조한 막걸리의 이화학적 특성 및 관능적 특성을 평가하는 연구와 이의 기능성을 조사하는 연구가 활발하게 진행되고 있다(Cheon 등, 2013; Jeon 과 Lee, 2011).

발아현미의 생리활성 물질들은 혈압 강하, 체중 감소, 항비만, 콜레스테롤 저해 등의 효과를 가지고 있다(Oh 등, 2012). 생리활성 물질들 중 GABA (γ -aminobutyric acid)는 발아현미에서 가장 주목받고 있는 물질 중 하나로 현미의 발아 기간 동안 함량이 크게 증가하는 것으로 알려져 있다. 또한, 현미의 발아 과정에서 α -amylase와 β -amylase의 함량이 증가함으로써 전분 소화율을 높인다. 이는 발아 과정 중 급성 소화성 전분(RDS, rapidly digestible starch)의 증가와 저항전분(RS, resistant starch)의 감소와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Oh 등, 2012). 발아현미는 조직이 연화

*Corresponding author: Hyeon-Son Choi, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea
Tel: +82-2-2287-6155
Fax: +82-2-2287-0104
E-mail: hsc1970@smu.ac.kr
Received July 16, 2021; revised August 26, 2021;
accepted August 26, 2021

되어 질감 개선 및 관능성 향상은 물론 식이섬유, ferulic acid, tocotrienols, 마그네슘, 아연, γ -oryzanol, γ -aminobutyric acid (GABA), 및 β -sitosterol 등 각종 영양·기능성 성분을 함유하고 있어 건강 기능성이 주목받아왔다(Oh 등, 2012).

일반적으로 발아현미를 증자하여 이용할 경우 담금 과정이나 발효산물은 주질 개선에 기여하지 못하며 발아현미의 새싹의 영양분이 파괴되는 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서는 발아현미 유래 생리활성물질의 변성 및 파괴를 최소화하기 위해 무증자 전용누룩을 이용하여 단양주와 이양주를 제조하고 이화학적 특성을 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 발아현미는 막걸리 제조용 쌀로 삼광 발아현미(Elpeace, Daegu, Korea)를 사용하였다. 누룩은 무증자용 개량누룩(Korea Fermentation Co., Ltd., Hwaseong, Korea), 효모는 건조효모로 인스턴트 드라이이스트(Jeonwon Food Co., S.L. Lesaffre, France)를 구매하여 사용하였다.

막걸리 제조

본 연구에 사용된 막걸리 중 단양주의 제조방법은 Bae (1984)와 Bae (1988)에 준하여 담금하였으며 Fig. 1과 같다. 발아현미 1.2 kg을 세척하고 3시간 동안 물에 침지하여 불린 후, 체에 받쳐 40분 동안 물기를 제거하였다. 물기를 제거한 발아현미를 핸드블렌더(BRAUN, MQ775, Poland)로 이용하여 곱게 분쇄하였다. 발아현미를 침지하는 동안, 개량누룩 24 g과 효모 8.4 g을 26°C의 물 1.8 L에 3시간 정도 불려 체에 걸러 물(수꼭)만 사용하고 분쇄된 발아현미가루와 골고루 섞어주어 밀술을 제조하였다. 이양주는 1/2분량의 발아현미, 누룩, 효모로 밀술을 제조한 후 24시간 뒤에 덧술(단양주 1회 분량)을 혼합하여 제조하였다. 제조된 밀술은 잘 혼합하여 250 mL의 비커에 7개로 소분하고 26°C의 항온배양기(Vision Biotech., Kimpo, South Korea)에서 발효시켰으며, 이양주는 담금 용기로 400 mL의 비커를 사용해 동일하게 발효를 진행하였다. 이양주의 제조방법은 Fig. 2와 같다. 이양주는 덧술 추가를 한 날부터 0일차로 표기하였다.

미생물 생균수 측정

총 균, 효모 수는 식품공전의 방법을 이용하였다(MFDS, 2021).

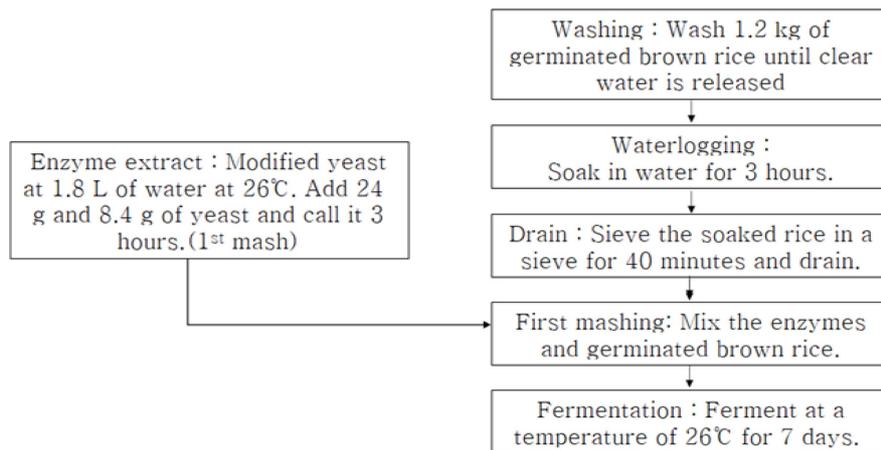


Fig. 1. Preparation of Danyangju using uncooked germinated brown rice.

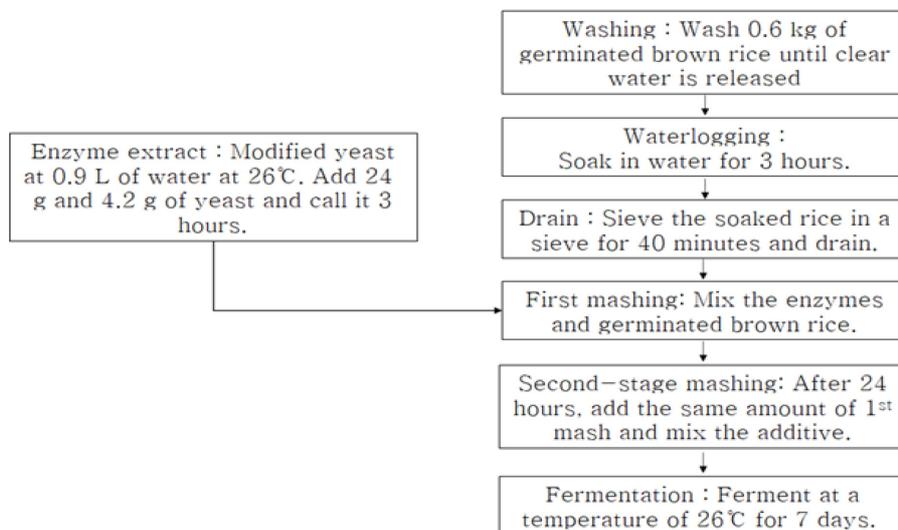


Fig. 2. Preparation of Iyangju using uncooked germinated brown rice.

총 균수는 균일하게 혼합된 시료를 200 µm 체반에 걸러 액체만 시료로 사용하였다. 희석시료 1 mL를 채취하여 멸균 생리 식염수로 10진 희석법에 따라 희석한 후 10¹⁰만큼 희석된 시료 1 mL을 건조 필름(3M Petrifilm Aerobic Count Plate 6406, 1000 per case/3M Petrifilm Yeast and Mold Count Plates)에 접종하였다. 총 균수를 일반 세균 측정용 필름에 35°C에서 24시간 동안 배양하였고, 효모/곰팡이용 필름은 25°C에서 72시간 동안 배양하여 생성된 콜로니를 계수하였다. 배양 후 집락 수를 산정하고 희석배수를 곱하여 총 균수 및 진균수를 산출하였다.

색도 측정

색도 측정은 색차계(Minolta, CR-300, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 발효된 시료를 200 µm 체반에 걸러 액체만 사용하였다. 색도는 백색도(L-value, whiteness), 적색도(a-value redness), 및 황색도(b-value, yellowness) 값으로 나타내었으며 3번 반복으로 측정하여 평균값을 구해 산정하였다.

당도 측정

당도는 시료를 5,000 rpm에 20분 원심분리한 후 상층액 1 mL를 취해 기계식 굴절 당도계(HANNA Instrument, HI-96801, Romaina)를 이용하여 3번 반복하여 측정하였다. 측정값은 °Bx로 나타내었다.

환원당 측정

시험관에 증류수 0.2, 0.4, 0.6 mg/mL D-(+)-Glucose 표준 용액(Showa Chemical Industry Co., Tokyo, Japan)을 1 mL씩 옮기고 각각의 시험관에 DNS(3, 5-dinitrosalicylic acid) 시약(Alfa-Aesar Co., MA, USA) 1 mL를 가하여 끓는 물에 10분간 증탕해 반응시켰다. 반응이 완료된 시료를 얼음물로 냉각하여 반응을 중지시켰다. 냉각된 시료에 증류수 3 mL를 첨가하고 흡광광도계(DU730, Beckman Coulter, USA)를 이용해 546 nm에서 흡광도를 측정한 후 검량곡선을 작성하였다. 시료는 5,000 rpm에서 20분 원심분리한 상층액을 100배 희석하여 사용하였다. 위와 같은 방법으로 실험을 진행하여 흡광도를 구하였다. 구해진 흡광도를 검량곡선에 대입하여 시료 중 환원당 함량(mg glucose/mL)을 측정하였다.

고형분 함량

고형분 함량은 5,000 rpm에서 20분 원심분리한 시료의 상층액 1 g을 취하여 -70°C에서 Deep freezer (Nihon CLN-51UW, Japan)를 이용하여 1시간 동결한 후, 동결건조기(PVTFD 10R, Ilshin Lab, Co., Ltd., Dongducheon, Korea)를 이용하여 24시간 동안 동결건조하여, 건조 전과 건조 후 시료의 무게를 이용해 백분율로 나타내었다.

pH 측정

pH 측정은 시료를 3,000 rpm에 15분 원심분리한 후 상층액을 1-20 mL 취해 비커에 magnetic bar와 담는다. 볼텍싱 기계로 속도를 조절하며 pH meter (D-51, Horiba, Ltd, Kyoto, Japan)를 이용해 측정한다. 이때 pH meter의 전극과 magnetic bar가 닿지 않도록 주의하며 3번 측정하였다.

산도 측정

발효된 시료를 3,000 rpm으로 15분 원심분리한 후 상층액 5 mL를 취하고 멸균 생리식염수 15 mL에 희석하였다. 4배 희석액을 혼합하여 pH meter (D-51, Horiba, Ltd, Kyoto, Japan)를 이용

한다. 초기 pH값을 측정한 후 pH 6.8을 종말점으로 하여 0.1 N NaOH (Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Seoul, Korea)로 적정하였으며, 소비된 0.1 N NaOH의 양과 초산 계수를 이용해 산출하였다.

$$\text{Acidity (\%)} = \frac{V \times F \times 0.006 \times D \times 100 \times 1}{S}$$

V: 0.1 N NaOH의 적정량

F: 0.1 N NaOH의 역가(1.002)

0.006: 0.1 N NaOH 1 mL에 해당하는 초산의 양

D: 희석배수

S: 시료 채취량

알코올 함량 측정

시험관에 증류수, 0.1, 2, 6, 10% 에탄올 용액(Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Seoul, Korea)을 0.5 mL씩 옮기고 1 M Cr₂O₃ 용액(Samchun Pure Chemical Co.) 4.5 mL를 가하여 혼합한 후 암소에서 15분간 반응시켰다. 반응이 완료된 시험용액 0.5 mL를 취하여 시험관에 옮긴 후 증류수 4.5 mL를 가하여 혼합하고 시험용액을 흡광광도계(DU730, Beckman Coulter, CA, USA)를 이용해 600 nm에서 흡광도를 측정하였다. 위의 실험 결과로 표준 검량곡선을 작성하였다. 시료는 5,000 rpm에서 20분 원심분리한 상층액을 10배 희석하여 사용하였으며, 표준검량곡선에 대입하여 시료 중 알코올 함량(%)을 측정하였다.

α-Diphenyl-β-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거능

시료는 5,000 rpm에 20분 원심분리한 상층액을 10배 희석하여 사용하였다. 시험관에 시료 0.5 mL를 옮긴 후 0.1 mM DPPH 용액(Sigma-Aldrich Co., MO, USA) 1 mL를 가하여 혼합한 후 암소에서 20분간 반응시켰다. 동시에 시험관에 증류수 0.5 mL를 옮긴 후 위와 같은 방법으로 공시험을 진행하였다. 반응이 완료된 용액을 흡광광도계(DU730, Beckman Coulter)를 이용해 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군 비타민 C도 동일한 방법으로 진행하였다. 아래의 계산식을 이용해 DPPH 라디칼 소거능을 산출하였다.

$$\text{DPPH 라디칼소거능(\%)} = \frac{\text{흡광도}_{(\text{공시험})} - \text{흡광도}_{(\text{시료})}}{\text{흡광도}_{(\text{공시험})}} \times 100$$

총 폴리페놀 함량

시험관에 농도별로 gallic acid 표준 용액(Samchun Pure Chemical Co.) 0.2 mL를 옮긴 후 2% Na₂CO₃ 용액(Samchun Pure Chemical Co.) 2 mL를 가해 혼합한 후 3분간 반응시켰다. 위의 용액에 50% Folin-ciocalteu 시약(Sigma-Aldrich Co., MO, USA) 0.2 mL를 가해 혼합한 후 암소에서 20분간 반응시켰다. 반응이 완료된 시험용액을 흡광광도계와 큐벳을 이용해 750 nm에서 흡광도를 측정한 후 표준검량곡선을 작성하였다. 시료는 5,000 rpm에 20분 원심분리한 상층액을 10배 희석하여 사용하였다. 희석된 시료 0.2 mL를 시험관에 옮긴 후 위와 같은 방법으로 실험을 진행하여 흡광도를 구하고 검량곡선에 대입하여 시료 중 총 폴리페놀 함량(mg GAE/mL)을 측정하였다.

GABA 함량 분석

단양주와 이양주의 GABA 함량은 HPLC 분석을 통해 측정되었다. 컬럼은 Waters AccQ-Tag column (3.9×150 mm, Waters

Co., MA, USA)을 사용하였으며 형광검출은 여기파장 250 nm, 측정파장 395 nm로 설정하였다. 이동상 A는 AccQ-Tag Eluent A를 증류수로 10배 희석하여 사용하였으며, 이동상 B는 Acetonitrile (60%, 증류수:Acetonitrile=40:60, v/v)을 사용하였고 분석은 gradient 방식으로 이루어졌다. 유속은 1 mL/분, 주입량은 10 mL 이었다. GABA 함량 분석에 사용된 표준물질은 Sigma-Aldrich로부터 구입하여 사용하였다.

통계처리

실험결과는 평균±표준편차로 나타내었으며, IBM SPSS statistics 26을 이용하여 일원배치 분산분석을 한 후 유의한 차이가 있는 경우 Duncan 법을 이용해 p<0.05 수준에서 차이에 대한 유의성을 검증하였다.

결론 및 고찰

미생물 생균수

일반적으로 막걸리 속에는 누룩과 주모를 비롯한 다양한 미생물이 발견되며 이들 미생물의 변동이 주질 변화에 관여하는 것으로 알려져 있다(Song 등, 2006). 발효 기간에 따른 미생물 생균수인 세균수와 효모수의 변화를 측정한 결과는 Table 1과 같다. 단양주의 세균수는 제조 직후 9.6×10⁶ CFU/mL이었으며 발효 1일차에 2.6×10⁸ CFU/mL로 최대치를 나타내었고 이후 계속 감소하여 발효가 완료된 7일차에는 4.5×10⁶ CFU/mL로 최소치를 나타내었다. 이양주의 세균수는 제조 직후 2.3×10⁸ CFU/mL에서 발효 1일차에 5.0×10⁸ CFU/mL로 증가하였으며 이후 발효가 진행됨에 따라 감소하여 7일차에는 9.4×10⁶ CFU/mL 가장 낮은 값을

나타내었다. 생균수가 증가하다 7일차에 감소하는 양상은 Cho 등 (2012)에서도 관찰되었다. 발효 1일 이후 단양주와 이양주 모든 시험구에서 세균수의 감소는 알코올 함량이 약 10% 가까이 높아짐에 따라 젖산균의 사멸에 의한 것으로 추정된다(So 등, 1999). 단양주의 발효 직후 생균수는 9.6×10⁶ CFU/mL이나 이양주의 경우 2.3×10⁸ CFU/mL이다. 단양주와 이양주의 발효 직후 생균수 차이가 큰 원인으로는 술 제조 시 첨가된 이양주의 밑술 때문인 것으로 판단된다.

단양주의 효모수는 제조 직후 2.4×10⁷ CFU/mL에서 발효 1일차에 2.5×10⁸ CFU/mL로 최대치를 나타내었다. 이후 발효가 진행됨에 따라 감소하여 7일차에 2.2×10⁶ CFU/mL로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이양주의 효모수는 제조 직후 1.4×10⁸ CFU/mL에서 발효 1일차에 2.7×10⁸ CFU/mL로 최대치를 나타내었으며 발효가 진행됨에 따라 감소하여 발효 7일차에는 1.1×10⁴ CFU/mL로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 저장 초기에 존재하는 잔당에 의하여 효모가 생육한 후 후발효가 발생하여 효모의 수가 감소한 것으로 사료된다(Kwon 등, 2012).

색도

단양주와 이양주를 발효 기간에 따라 측정한 결과는 Table 2와 같다. 발효가 진행됨에 따라 단양주의 백색도(L)는 제조 직후 95.60±0.29에서 7일차 85.01±0.81로 점차 감소하는 경향을 보였다. 단양주 4일차에는 93.98±0.51로 약간 증가하는 값을 나타냈지만, 다시 감소하여 일정 수준을 유지하는 경향을 보였다. 이양주의 백색도(L) 역시 제조 직후 96.83±0.54에서 7일차 87.18±0.30로 감소하는 경향을 보인다. 막걸리의 밝은 정도를 나타내는 L값은 발효기간이 경과될수록 감소하는 경향을 보였다. 단양주의 적색도

Table 1. Total bacteria and yeast in danyangju and iyangju during fermentation

Sample	Microorganism	Fermentation period (day, CFU/mL)				
		0	1	3	5	7
Danyangju	Total viable cells	9.6×10 ⁶	2.6×10 ⁸	2.1×10 ⁷	1.6×10 ⁷	4.5×10 ⁶
	Yeast	2.4×10 ⁷	2.5×10 ⁸	1.6×10 ⁸	1.0×10 ⁷	2.2×10 ⁶
Iyangju	Total viable cells	2.3×10 ⁸	5.0×10 ⁸	1.8×10 ⁷	9.2×10 ⁷	9.4×10 ⁶
	Yeast	1.4×10 ⁸	2.7×10 ⁸	7.1×10 ⁷	3.1×10 ⁵	1.1×10 ⁴

Table 2. Color value, brix degree, reducing sugar, solid content in Danyangju and Iyangju during fermentation

Sample	Fermentation period (day)	Hunter color values			Brix degree (°Bx)	Reducing sugar (mg/mL)	Solid content (%)
		L (whiteness)	a (Redness)	b (Yellowness)			
Danyangju	0	95.60±0.29 ^{a1-3)}	-0.21±0.02 ^e	5.40±0.19 ^d	1.43±0.06 ^e	3.40±0.06 ^e	1.29±0.03 ^e
	1	95.60±0.38 ^a	-0.09±0.04 ^d	5.31±0.48 ^d	3.63±0.06 ^d	1.86±0.17 ^d	1.84±0.08 ^d
	3	92.91±0.56 ^b	0.10±0.05 ^c	7.93±0.24 ^e	9.30±0.00 ^e	1.97±0.06 ^d	3.37±0.08 ^e
	5	90.73±1.26 ^c	0.43±0.76 ^b	9.36±0.06 ^b	12.30±0.00 ^b	8.53±0.04 ^b	6.65±0.12 ^b
	7	85.0±0.81 ^d	1.30±0.10 ^a	15.57±0.29 ^a	13.40±0.00 ^a	17.57±0.06 ^a	8.31±0.20 ^a
Iyangju	0	96.83±0.54 ^a	-0.01±0.01 ^e	4.73±0.21 ^d	2.87±0.06 ^e	2.60±0.05 ^d	2.08±0.32 ^e
	1	96.76±0.51 ^a	0.07±0.04 ^d	4.80±0.35 ^d	8.10±0.00 ^d	2.01±0.05 ^d	4.23±0.13 ^d
	3	94.05±0.33 ^b	0.38±0.05 ^c	8.64±0.51 ^c	12.60±0.00 ^e	7.20±0.20 ^e	6.65±0.17 ^e
	5	88.63±0.96 ^c	0.72±0.04 ^b	12.84±1.13 ^b	14.73±0.06 ^b	25.63±1.66 ^b	9.68±0.82 ^b
	7	87.18±0.30 ^d	0.77±0.06 ^a	14.87±0.32 ^a	15.43±0.06 ^a	34.01±0.44 ^a	11.43±0.36 ^a

¹⁾Each number is a mean of 3 observations.

²⁾All value represent mean±SD.

³⁾abcde Means within a row not followed by the same letter are significantly different at p<0.05.

(a)는 발효가 진행됨에 따라 0일차 -0.21 ± 0.02 에서 7일차 1.30 ± 0.10 까지 증가하는 경향을 나타내며 특히 6일차에 급격하게 상승하였다. 이양주의 적색도(a)도 0일차에 -0.01 ± 0.01 기준으로 6일차에 최고값인 0.90 ± 0.11 에서 7일차에 0.77 ± 0.06 로 감소하였으나 일정 수준을 유지하는 경향을 보였다. 단양주의 황색도(b)는 0일차에 5.4 ± 0.19 에서 2일차 6.2 ± 0.14 까지 큰 차이가 나타나지 않았지만 7일차에 15.57 ± 0.29 로 2.8배 증가하였다. 이양주의 황색도(b)도 단양주와 비슷하게 0일차 4.73 ± 0.21 에서 1일차 4.80 ± 0.35 로 큰 차이가 없었지만 7일차에 14.87 ± 0.32 로 발효 전 보다 3.14배 증가하였다. 막걸리의 색도는 원료의 종류, 비율 등에 따라 변화가 있다(Kim 등, 2013). 단양주와 이양주 모두 발효기간에 따른 색도의 차이가 나타났으며 이양주의 경우 쌀의 함량이 더 추가되다 보니 적색도(a)와 황색도(b)의 값이 단양주에 비해 조금 더 빨리 증가하는 경향을 보인 것으로 생각된다. 단양주와 이양주 모두 발효가 진행될수록 백색도(L)는 감소하고 적색도(a)와 황색도(b)가 증가하였는데, 이는 Kim 등(2014)와 유사한 경향을 보였으며 두 막걸리의 색도는 유의적 차이가 나타나지 않았다.

당도(°Bx)

발효 기간에 따른 단양주와 이양주의 당도(°Bx) 측정값은 Table 2와 같다. 단양주 제조 직후 당도(°Bx)는 1.43 ± 0.06 °Bx으로 나타났으며 발효 1일차(3.63 ± 0.06 °Bx)이후 급격히 증가하는 경향을 보여 발효가 완료된 발효 7일차에 9.37배 증가한 13.40 ± 0.00 °Bx을 보였다. 이양주 제조 직후 당도 함량은 2.87 ± 0.06 °Bx으로 나타났으며 이후 급격히 증가하는 경향을 보여 발효가 완료된 7일차에 15.43 ± 0.06 °Bx를 나타내었다. 단양주와 이양주 모두 당도(°Bx) 함량이 꾸준히 증가하는 경향을 보였는데 Kim 등(2011)에 따르면 막걸리 발효 중 당도는 발효 1일차까지 급속히 증가한 후 발효 후기까지 서서히 증가한다고 보고하여 본 연구결과와 동일하였다. 발효주 내의 당 함량은 술의 향과 맛에 영향을 주는 주요 성분이며 효모의 영양원이나 발효 기질로 이용되어 알코올 농도를 결정짓는 요인이다(Shin 등, 2015). 제조 직후부터 발효 7일차까지의 당도 함량은 이양주가 유의적으로 더 높게 나타났다. 발효 초기에는 단양주보다 이양주의 발효 기질이 더 많아 당도의 함량이 높은 것으로 판단되며, 발효 후기에는 이양주의 효모수가 발효 5일차 이후부터 낮아짐에 따라 효모의 영양원이나 발효 기질로 사용되는 당도의 함량이 줄어들어 당도의 증가폭에 영향을 미친 것으로 사료된다.

환원당

무증자 발아현미를 이용한 단양주와 이양주의 환원당 함량은 Table 2와 같다. 환원당은 보통 술 제조 시 당화과정을 거치며 전분으로부터 유리되고, 효모에 의하여 알코올과 이산화탄소를 생성하는데 이용된다. 따라서 유리당 함량과 알코올 함량은 상당한 연관성을 갖는다고 할 수 있다. 또한, 감미도에 영향을 주는 중요한 역할을 하며 산미, 감칠맛 등과 조화되어 막걸리의 독특한 맛에 기여하는 성분(Lee과 Lee, 2000)으로 알코올 발효의 기질로 이용된다(Park과 Lee, 2002). 단양주의 환원당 함량은 제조 직후에 3.40 ± 0.06 mg/mL의 값을 나타냈으며 발효 1일차에 1.86 ± 0.17 mg/mL로 감소하였다. 발효 5일차에 8.53 ± 0.04 mg/mL로 급격히 증가하며 발효 7일차에 17.57 ± 0.06 mg/mL를 나타냈다. 이양주의 경우 제조 직후에 2.60 ± 0.05 mg/mL였으며 발효 3일차(7.20 ± 0.20 mg/mL)부터 급격하게 증가하여 발효 5일차에는 25.63 ± 1.66 mg/mL, 발효 7일차에는 34.01 ± 0.44 mg/mL로 발효 초기보다 17배 증가하였다. 단양주의 제조 직후 환원당 함량이 감소한 것은 술덧

중 당분이 알코올과 탄산가스로 분해되었기 때문에 급격히 감소된 것으로 여겨진다(NTSTSI, 2005). 반면 이양주에서 감소하지 않은 것은 덧술 추가로 인하여 알코올 생성과 당화과정이 동시에 일어나 감소추세를 보이지 않는 것으로 사료된다. 또한, 단양주와 이양주는 발효가 진행됨에 따라 환원당 함량이 증가하였는데 이는 개량누룩과 효모를 동시에 사용하여 알코올 함량이 증가함과 동시에 전분의 당화 효소에 의한 활성이 진행되었을 것으로 판단된다(Song과 Park, 2003).

고형분 함량

발효 기간에 따른 단양주와 이양주의 고형분 함량 변화 양상은 Table 2와 같다. 고형분 함량은 전통주의 향기와 단맛에 영향을 주는 주요 성분이며 막걸리의 전분질 원료는 당화 효소에 의해 당분으로 분해됨과 동시에 효모의 영양원이나 발효 기질로 이용되므로 효모의 에탄올 생산농도를 결정짓는 요인이 된다. 고형분 함량은 원주의 제성 방법에 따라 그 함량이 달라진다(Kang 등, 2014). 단양주의 고형분 함량은 제조 직후 $1.29 \pm 0.03\%$ 로 가장 적었으며, 발효 3일차에는 $3.37 \pm 0.08\%$ 로 증가하는 모습을 나타내었고 발효 7일차에는 $8.31 \pm 0.20\%$ 로 최대치를 보여 발효가 진행됨에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 제조 직후와 비교 시 6.49배 정도 증가하였다. 이양주의 경우 제조 직후 $2.08 \pm 0.32\%$, 발효 5일차에는 $9.68 \pm 0.82\%$, 발효 7일차에는 이양주의 고형분 함량이 $11.43 \pm 0.36\%$ 로 가장 높은 수치를 나타냈다. 단양주와 이양주 모두 고형분 함량은 발효가 진행됨에 따라 증가하는 모습을 나타냈으며 이양주의 고형분 함량이 더 많은 것으로 관찰되었다. 이는 이양주의 제조방법에서 비롯되는 덧술의 증가에 따른 발효의 차이 때문으로 사료된다. 고형분은 탁주의 조화미에 영향을 주므로 함량이 다소 높은 것이 품질 면에서 유리하다(Han 등, 1997). Kang 등(2014)에 따르면 고형분의 함량이 많을수록 전반적인 선호도가 높아진다고 하여 이양주가 맛의 면에서 단양주보다 유리할 것으로 판단된다.

pH

발효 기간에 따른 단양주와 이양주의 pH 변화양상은 Fig. 3과 같다. pH는 막걸리의 발효과정 중 발효 및 품질 정도를 예측할 수 있는 지표 성분으로, 일반적으로 술덧 발효 초기의 pH가 낮게 유지되어야 잡균의 오염이 방지되고 정상적인 알코올 발효 진행에 유리한 것으로 알려져 있다(Shin 등, 2015). 단양주의 제조 직후 pH는 6.24 ± 0.01 로 가장 높은 값을 보였고 이후 발효 3일차에 4.38 ± 0.03 까지 급격히 감소하였다. 이후 발효 5일차에 4.69 ± 0.00 까지 완만히 증가하고 발효 7일차(4.69 ± 0.00)까지 유지되는 경향을 보였다. 이양주의 제조 직후 pH는 5.32 ± 0.01 로 가장 높은 값을 보였지만 단양주보다는 낮은 값을 보였다. 이후 발효 1일차에서 급격히 감소하여 3.96 ± 0.01 의 값을 나타냈다. 그 후, 발효 3일차에 4.27 ± 0.00 로 완만히 증가하고 발효 7일차(4.30 ± 0.00)까지 유지되는 경향을 보였다.

제조 직후부터 발효 7일차까지의 단양주와 이양주 pH는 단양주가 유의적으로 더 높게 나타났다. 보통 막걸리의 pH는 4.0-4.6인데(Lee 등, 2012), 본 연구결과와 발효 7일차 막걸리의 pH가 모두 이 범위 내의 값으로 이는 정상발효가 진행된 결과로 판단된다. 단양주는 발효 3일차까지 이양주는 발효 1일차까지 pH가 감소하는 경향을 보이는데 이것은 젖산균과 효모균의 활성에 따른 증식으로 알코올 발효가 빠르게 진행됨을 의미한다(Lee과 Shim, 2010). 막걸리 발효과정 중 pH가 발효 초기 감소하였다가, 발효가 진행되면서 완만하게 증가하는데 이는 발효가 진행되면서 젖

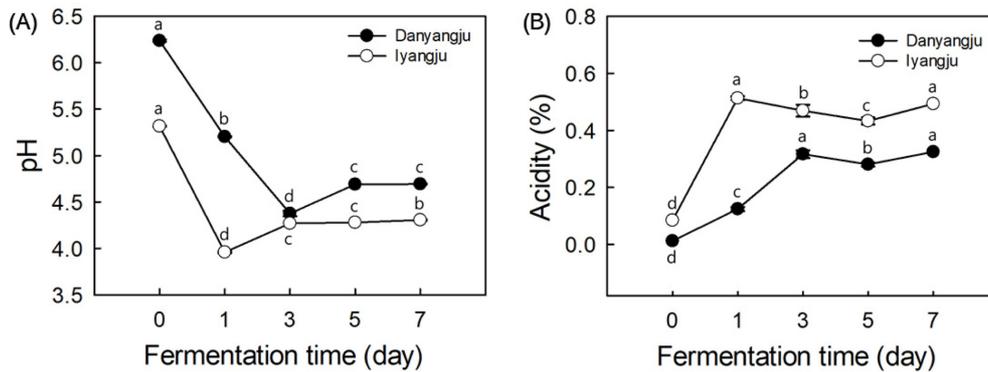


Fig. 3. Change of pH (A) and acidity (B) in Danyangju and Iyangju during fermentation. Each number is a mean of 3 observations. All value represent Mean±SD. ^{abcde}Means within a row not followed by the same letter are significantly different at $p < 0.05$.

산 발효보다는 알코올 발효가 우세해짐에 따라 유기산생성은 감소하고 알코올 생성이 증가하기 때문에 사료된다. 본 실험에서 이양주의 pH가 단양주보다 낮은 값을 보였는데 이것은 발효 초기 젖산균의 활성화로 유기산 생성이 이양주에서 더욱 활발히 진행되면서 pH가 더 낮아진 결과로 판단된다.

산도

단양주와 이양주의 산도 변화는 Fig. 3과 같다. 산도는 막걸리의 성분 변화를 쉽게 알 수 있는 요인뿐 아니라 알코올 생성과정에서 복합적으로 생성되므로 pH와 함께 막걸리의 발효 진행 상황을 알 수 있는 중요한 지표 성분이 되며, 휘발성 향기 성분과 함께 막걸리의 감미, 신미, 고미 및 산미 등과 더불어 막걸리의 조화미나 보존성에 영향을 준다(Cho 등, 2012). 단양주의 제조 직후 산도는 0.01±0.00%로 나타났으며, 발효 3일차에 0.32±0.01%로 급격히 증가하였다. 이후 발효 5일차에 0.28±0.01%로 약간 감소하였으며 발효가 완료된 7일차에 0.32±0.00%까지 다시 증가하는 경향을 보였다. 이양주의 제조 직후 산도는 0.08±0.00%로 나타났으며, 발효 1일차에 0.51±0.00%로 급격히 증가하여 가장 높은 값으로 나타났다. 이후 이양주의 산도는 점차 감소하는 경향을 보여 발효 5일차에 0.43±0.01%까지 감소하였으며 발효 7일차에 0.49±0.00%까지 다시 증가하는 경향을 보였다. 단양주는 발효 1일차까지, 이양주는 발효 3일차까지 급격히 증가한 것은 주로 누룩이나 원료에서 유래되지만 공통적으로 발효가 진행되면서 술덧 중의 효모, 젖산균 등의 미생물 작용으로 생성된 각종 유기산에 의해 산도가 증가하는 것으로 판단된다(Joung 등, 2004). 이후 생성된 유기산이 생성된 알코올 등과 반응하여 ester와 같은 향미 성분의 형성 등에 이용되므로 후기에는 감소된다고 보고되어 있다(Yang과 Eun, 2011). 본 연구의 단양주 7일차 산도에서 단양주(0.32±0.00%)와 이양주(0.49±0.00%) 모두 술 품질인증 기준인 0.5% 이하에 부합하였다. 또한, 발효 후기에 산도는 증가하고 있으나, pH가 낮아지지 않는 현상을 보이는데 이는 단백질 분해로 아미노산이 증가하여 완충 능력을 높여주었기 때문으로 사료된다(So 등, 1999).

알코올 함량

무증자 발아현미를 이용한 단양주와 이양주의 알코올 함량은 Fig. 4와 같다. 알코올 농도는 막걸리 발효가 이루어질 때 변질이나 부패를 방지하면서 막걸리의 주질을 결정하는 가장 중요한 성분이다(Jeong 등, 2006). 단양주의 알코올 함량은 발효가 진행됨에 따라 점차 증가하여 발효 5일차에 17.90±1.69%로 최대치를

나타내었으며, 발효 7일차에는 17.53±0.33%로 유지되었다. 이양주의 경우 제조 직후 알코올 함량이 1.15±0.33%로 단양주보다 높게 나타났으며 발효가 진행됨에 따라 계속 증가하여 발효 7일차에 19.04±0.00%로 최대치를 기록하였다. 단양주와 이양주 모두 발효가 진행됨에 따라 알코올 함량이 증가하였으며 발효 0일에서도 유의적 차이를 보였는데, 이양주의 경우 덧술을 첨가한 날부터 0일차로 표기하였기 때문에 단양주보다 알코올 함량이 높은 것으로 판단된다. 7일차의 경우 단양주는 17.53±0.33%, 이양주는 19.04±0.00%를 기록하여 유의적 차이를 나타냈다.

막걸리는 담금 후 원료 중의 전분질이 누룩 중의 당화효소에 의해 당분으로 분해되고 이후 효모의 발효 기질로 이용되므로 일정한 기간까지 알코올 함량이 증가한다(Jin 등, 2007). 따라서 본 실험에서는 개량누룩과 이스트를 동시에 사용함으로써 알코올 함량이 발효 시간에 따라 빠른 속도로 증가한 것으로 사료된다. Shon 등(1990)에 따르면 무증자 당화발효의 경우가 종래법에 의한 증자 당화발효보다 최종 알코올함량이 높게 나타났으며 증자의 경우 열에 불안정한 비타민과 같은 영양원이 파괴되어 효모 증식에 영향을 미친 것으로 사료된다.

DPPH 소거능

무증자 발아현미를 이용한 단양주와 이양주의 DPPH radical 소거능은 Fig. 4와 같다. 막걸리는 라디칼 소거 활성 및 혈장 지질 산화 억제 등 항산화 활성을 갖는다고 보고되었다(Wang 등, 2012). Blois와 Marsden (1958) 및 Jeong 등(2010)의 보고에서 수소전자 공여는 인체 내의 지질, 단백질과 결합하여 질병 및 노화를 일으키는 free radical의 반응을 정지시키는 방법이다. 단양주의 DPPH radical 소거능은 제조 직후 46.41±2.05%로 가장 낮은 수치를 나타내었으며 발효 1일차에 급속도로 증가하여 63.49±0.33%의 수치를 나타내었고 발효 3일(63.92±1.06%)에는 완만하게 증가하였다. 이후 발효 7일차에는 72.10±0.25%로 발효가 진행됨에 따라 약간 더 증가하는 추세를 보였다. 이양주의 경우 제조 직후 52.52±0.54%로 단양주보다 조금 높게 나타났으며 발효 1일차에 증가하여 65.85±1.40%를 나타냈다. 이후 발효 3일차에 69.80±0.66%로 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 발효 7일차에 69.94±0.13%로 최대치를 나타냈으나 발효 3일차와는 크게 차이가 없었다. 비타민 C 활성과 비교 시 1 ppm의 비타민 C가 68% 정도의 값을 나타냈으며 발효 7일차와 유사하였다. 제조 직후부터 발효가 진행됨에 따라 단양주와 이양주 모두 라디칼 소거능이 증가하였는데 발효 시간에 따라 항산화 물질의 생성이 증가하기 때문으로 사료된다(Seo 등, 2013). 최근 Wang 등(2012)은 막

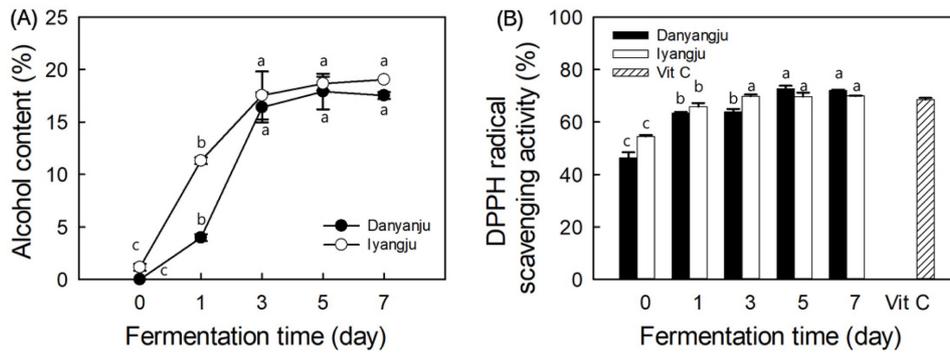


Fig. 4. Change of alcohol (A) and DPPH radical scavenging activity (B) in Danyangju and Iyangju during fermentation. Each number is a mean of 3 observations. All value represent mean \pm SD. ^{abcde}Means within a row not followed by the same letter are significantly different at $p < 0.05$.

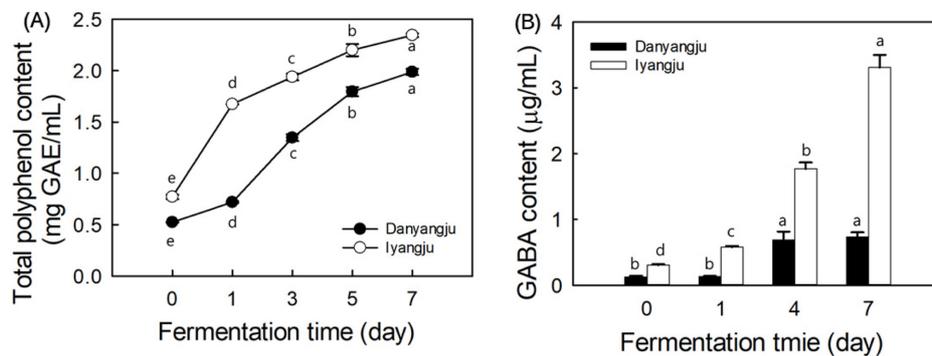


Fig. 5. Change of total polyphenol (A) and GABA (B) content in Danyangju and Iyangju during fermentation. Each number is a mean of 3 observations. All value represent mean \pm SD. ^{abcde}Means within a row not followed by the same letter are significantly different at $p < 0.05$. GABA: gamma aminobutyric acid

겉리로부터 4-hydroxybenzaldehyde, 2-(4-hydroxyphenyl) ethanol, trans-ferulic acid, cis-ferulic acid 등의 페놀성 화합물뿐만 아니라 1H-indole-3-ethanol, dimethyl succinate, succinic acid, 그리고 mono-methyl succinate의 비페놀성 향산화물질을 분리, 동정하여 막걸리의 향산화 활성이 보고된 바 있다. 이러한 발효 기간에 따른 DPPH 라디칼 소거능의 증가는 Table 2의 고형분 함량의 증가와도 상관관계가 있으며 향산화물질이 이러한 고형분 함량의 증가에도 기여한 것으로 사료된다.

총 폴리페놀 함량

무증자 발아현미를 이용한 단양주와 이양주의 총 폴리페놀 함량은 Fig. 5와 같다. 페놀화합물은 식물계에 널리 분포되어 있는 식물체 유래의 대사산물 중 하나로서(Kim과 Kim, 2016) phenolic hydroxyl기를 가지고 있기 때문에 단백질 및 기타 거대 분자들과 결합하려는 성질을 가지면서 항산화 효과 등의 생리활성을 가진다(Cai 등, 2004). 식품에서 phenol성 물질은 항산화 활성과 양의 상관관계가 있어 항산화력의 간접적인 지표로 활용되는 것으로 알려져 있다(Budak과 Guzel-Seydim, 2010). 막걸리는 막걸리 및 부산물에 존재하는 페놀 물질이 주로 쌀로부터 유래한 것으로 쌀에서는 gallic acid, protocatechuic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, guaiacol, *p*-cresol, *o*-cresol, 3,5-xyleneol 등이 검출된 바 있다(Sosulski 등, 1982; Vichapong 등, 2010). 따라서 본 실험에서는 개량누룩과 이스트를 동시에 사용하여 덧술 첨가에 의한 이양주가 총 폴리페놀 함량이 더 높은 결과를 나타냈다.

단양주의 총 폴리페놀 함량은 발효 7일차에 1.98 ± 0.02 mg GAE/mL로 최대치를 보였으며 제조 직후에 비해 1.46 mg GAE/mL 증가하였고 이양주의 경우 발효 7일차에 2.34 ± 0.01 mg GAE/mL로 단양주보다 총 폴리페놀 함량은 증가하는 것을 알 수 있었다. 무증자 발아현미를 이용한 막걸리로 이양주가 단양주보다 높은 TPC 값을 나타내는 것은 이양주 제조 시 덧술 첨가가 총 폴리페놀 함량에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

Choi 등(2011)에 따르면 총 폴리페놀 함량은 발효가 진행됨에 따라 미생물의 효소작용으로 유리형 페놀성분이 생성됨으로써 증가한다고 보고하고 있으며 단양주와 이양주 모두 발효가 진행됨에 따라 총 폴리페놀 함량의 증가를 나타낸 본 연구결과와 유사한 경향을 나타냈다.

GABA 함량

단양주와 이양주 모두 발효시간이 증가할수록 발효주가 함유하고 있는 GABA의 양은 증가하는 경향을 보였다. 하지만 단양주의 경우 GABA의 증가하는 폭이 미비한 반면 이양주의 GABA 함량은 큰 폭으로 증가하는 양상을 보였다. 단양주는 발효 7일차에 0.72 ± 0.05 μg/mL의 GABA 함량을 보여 발효 전(0.13 ± 0.02 μg/mL)보다 5.5배 증가하였으며 이양주의 경우 발효 7일차의 GABA 함량은 3.31 ± 0.19 μg/mL로 발효 전에 비해 약 10배 이상 증가하였다. 두 발효주의 이러한 차이는 이양주의 제조 시 덧술 첨가에 의한 것으로 생각된다. Shin 등(2015)에 의해 제조된 막걸리의 GABA 함량은 107.57 mg/100 mL로 본 연구와 상당한 차이가 있는데 이는 발효에 사용된 현미 품종의 차이뿐만 아니라 발효 방

법에서도 그 원인을 찾을 수 있다고 판단된다. 발효 기질로써 현미만을 사용한 본 연구와 달리 Shin 등(2015)의 연구에서는 찹쌀이 추가되었으며 발효 전 담그는 시간도 10시간 이상으로 본 연구(3시간)와 달랐고 본 연구에서는 실시하지 않은 steaming의 과정과 14일 이상의 발효 기간에서의 차이 등이 최종 GABA 함량에서 다른 결과가 도출된 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 발아현미를 이용해 단양주와 이양주를 제조하고 이화학적 특성을 비교 분석하였다. 미생물 생균수인 단양주 세균수는 발효 1일차에 2.6×10^8 CFU/mL로 최대치를 나타낸 후 계속 감소하여 7일차에는 4.5×10^6 CFU/mL로 최소치를 나타내었다. 이양주의 세균수는 발효 1일차에 5.0×10^8 CFU/mL로 증가하였으며 이후 발효가 진행됨에 따라 감소하여 7일차에는 9.4×10^6 CFU/mL 가장 낮은 값을 나타내었다. 단양주 효모수는 발효 1일차에 2.5×10^8 CFU/mL로 증가하였으며 발효가 진행됨에 따라 7일차에 2.2×10^6 CFU/mL로 감소하였다. 이양주 효모수는 발효 1일차에 2.7×10^8 CFU/mL로 최대치를 나타내었으며 발효가 진행됨에 따라 감소하여 7일차에는 1.1×10^4 CFU/mL로 가장 낮은 값을 나타내었다. 색도에서 단양주와 이양주 모두 발효 기간이 경과될수록 백색도(L)가 감소하였고, 이양주의 경우 적색도(a)와 황색도(b)의 값이 단양주에 비해 조금 더 빨리 증가하는 경향을 보였다. 당도는 단양주와 이양주 모두 발효 3일차까지 급속도로 증가 후 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 환원당은 단양주와 이양주 모두 발효 1일차에 감소하는 경향을 보였으며 이후 증가하였다. 단양주와 이양주 7일차에는 0일차보다 단양주는 5.17배 이양주는 13.08배 증가하였다. 고형분 함량은 발효가 진행됨에 따라 단양주는 6.44배 이양주는 5.50배로 모두 증가하는 것으로 나타났다. pH는 단양주의 경우 발효 3일차까지 감소하였으며 발효 후반부에는 완만하게 증가하여 유지되는 경향을 보였다. 이양주의 경우 발효 초기 감소하였다가 발효 후반부에서 완만하게 증가하였다. 산도는 단양주의 경우 발효 3일차까지 증가하였으며 이양주의 경우 발효 1일차까지 급격히 증가하다 유지되는 경향을 보였다. 알코올 함량의 경우 단양주와 이양주 모두 3일차까지 급격히 증가하는 추세를 보였으며 단양주보다 이양주가 알코올 함량이 높았다. DPPH는 단양주와 이양주에서 모두 5일차까지 증가하다가 7일차에는 더 이상의 증가는 없었다. 총 폴리페놀 함량은 발효 전과 비교하여 7일차에 단양주는 3.83배 이양주는 3.03배로 모두 증가하는 경향을 보였으며 이양주의 7일차가 단양주보다 높은 경향을 보였다. GABA 함량은 발효가 진행됨에 따라 증가하였으며 단양주의 경우 GABA의 증가하는 폭이 미비한 반면 이양주의 GABA 함량은 발효 전에 비해 약 10배 이상 큰 폭으로 증가하였다.

References

Bae JH. Method for manufacturing wine from unpolished rice. KIPRIS. 84-001214 (1984)
 Bae SM. Traditional Liquor Manufacturing Technology: Takju·Yakju. p.141-160. Kooksoondang Adjunctive Enzyme Research Institute. Seoul Korea (1988)
 Blois, Marsden S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature. 4617: 1199-1200 (1958)
 Budak HN, Guzel-Seydim ZB. Antioxidant activity and phenolic content of wine vinegars produced by two different techniques. J. Sci. Food Agric. 90: 2021-2026 (2010)

Cai Y, Luo Q, Sun M, Corke H. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. Life Sci. 74: 2157-2184 (2004)
 Cheon JE, Baik MY, Choi SW, Kim CN, & Kim BY. Optimization of Makgeolli Manufacture Using Several Sweet Potatoes. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 26: 29-34 (2013)
 Cho HK, Lee JY, Seo WT, Kim MK, Cho KM. Quality Characteristics and Antioxidant Effects during Makgeolli Fermentation by Purple Sweet Potato-rice Nuruk. Korean J. Food Sci. Technol. 44: 728-735 (2012)
 Choi SR, Kim CS, Kim JY, You DH, Kim JM, Kim YS, Song EJ, Kim YG, Ahn YS, Choi DG. Changes of antioxidant activity and lignan contents in Schisandra chinensis by harvesting times. Korean J. Med. Crop Sci. 19: 414-420 (2011)
 Han EH, Lee TS, Noh BS and Lee DS. Quality Characteristics in Mash of Takju Prepared by Using Different Nuruk during Fermentation. Korean J. Food Sci. Technol. 20: 555-562 (1997)
 Jeon MH, Lee WJ. Characteristics of Blueberry Added Makgeolli. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 444-449 (2011)
 Jeong CH, Choi GN, Kwak JH, Kim JH, Choi SG, Shim KH, Heo HJ. In vitro antioxidant activities of cocoa phenolics. Korean J. Food Preserv. 17: 100-106 (2010)
 Jeong JW, Park KJ, Kim MH, Kim DS. Changes in Quality of Spray-dried and Freeze-dried Takju Powder during Storage. Korean J. Food Sci. Technol. 38: 513-520 (2006)
 Jin TY, Kim ES, Eun JB, Wang SJ, Wang MH. Changes in physicochemical and sensory characteristics of rice wine, yakju prepared with different amount of red yeast rice. Korean J. Food Sci. Technol. 39: 309-314 (2007)
 Joung EJ, Paek NS, Kim YM. Studies on Korean Takju using the By-Product of Rice Milling. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 17: 199-205 (2004)
 Kang JE, Choi HS, Choi JH, Yeo SH, Jeong ST. Physicochemical Properties of Korean Non-sterilized Commercial Makgeolli. Korean J. Community Living Sci. 25: 363-372 (2014)
 Kim CH. Studies on the quantitative changes of organic acid and sugars during the fermentation of takju. Agric. Chem. Biotechnol. 4: 33-42 (1963)
 Kim EK, Chang YH, Ko JY, Jeong Y. Physicochemical and Microbial Properties of Korean Traditional Rice Wine, Makgeolli, Supplemented with Mulberry during Fermentation. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 42: 1682-1689 (2013)
 Kim GM, Jung WJ, Shin JH, Kang MJ, Sung NJ. Preparation and Quality Characteristics of Makgeolli Made with Black Garlic Extract and Sulgidduk. J Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 759-766 (2011)
 Kim CS, Kim HK. Antioxidative activity of Makgeolli Supplemented with Pollen. J. Foodservice Management 19: 339-354 (2016)
 Kim OM, Park SI, Jo YJ, Jeong YJ. Quality characteristics of oriental melon Makgeolli using uncooked rice by oriental melon concentrate. Korean J. Food Preserv. 21: 536-543 (2014)
 Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. Liquor Market Trends Report (2019)
 KOSTAT. Korea Home-Brewed Liquor Research Laboratory. Traditional Liquor. Total Sales (2020)
 Kwon YH, Lee AR, Kim JH, Kim HR, Ahn BH. Changes of Physicochemical Properties and Microbial during Storage of Commercial Makgeolli. Korean J. Mycol. 40: 210-214 (2012)
 Lee SM, Lee TS. Effect of roasted rice and defatted soybean on the quality characteristics of takju during fermentation. J. Nat. Sci. 12: 71-79 (2000)
 Lee JW, Shim JY. Quality characteristics of makgeolli during freezing storage. Food Eng. Prog. 14: 328-334 (2010)
 Lee YJ, Yi HC, Hwang KT, Kim DH, Kim HJ, Jung CM, Choi YH. The Qualities of Makgeolli (Korean Rice Wine) Made with Different Rice Cultivars, Milling Degrees of Rice, and Nurks. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41: 1785-1791 (2012)
 MFDS. http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp
 NTSTSI. Manufacturing guideline of takju and yakju. National Tax Service Technical Service Institute. Seoul, Korea. pp. 195- 198 (2005)
 Oh SK, Lee JH, Yoon MR, Kim DJ, Lee DH., Choi IS, Lee JS.

- Physiochemical Properties of Germinated Brown Rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 963-969 (2012)
- Park RD. Korean Traditional Distinguished Liquor 1: Rewriting 酒方文. Korea Showcase (2005)
- Park, CS, Lee TS. Quality characteristics of takju prepared by wheat flour nuruks. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 296-302 (2002)
- Ryoo IS. Korean Traditional Liquor Textbook (Second Edition). Gyo-moon (2018)
- Seo GU, Choi SY, Kim TW, Ryu SG, Park JH, Lee SC. Functional Activities of Makgeolli By-products as Cosmetic Materials. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 4: 505-511 (2013)
- Shin SJ, Kim SW, Chung HC, Han GD, Characteristics of GABA Rice Macgeolli made by Korean traditional rice wine method of Geupchungju. *J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr.* 44: 573-578 (2015)
- Shon SK, Rho Yh, Kim HJ, Bae SM, Takju brewing of uncooked rice starch using Rhizous koji, *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 18: 506-510 (1990)
- So MH, Lee YS, Noh WS. Change in microorganisms and main components during Takju brewing by a modified Nuruk. *Korean J Food and Nutr* 12: 226-232 (1999)
- Song JC, Park HJ. Takju Brewing Using the Uncooked Germed Brown Rice at Second Stage Mash. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 847-854 (2003)
- Song JC, Park HJ, Shin WC. Suppression of solid matters precipitation of Takju and its quality improvement by carrageenan. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 19: 288-295 (2006)
- Sosulski F, Krygier K, Hogge L. Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids. 3. Composition of phenolic acids in cereal and potato flours. *J. Agric. Food Chem.* 30: 337-340 (1982)
- Vichapong J, Sookserm M, Srijesdaruk V, Swatsitang P, Srijaranai S. High performance liquid chromatographic analysis of phenolic compounds and their antioxidant activities in rice varieties. *LWT Food Sci. Technol.* 43: 1325-1330 (2010)
- Wang SJ, Lee HJ, Cho JY, Jang MY, Park KH, Moon JH. Inhibition Effect against the Rat Blood Plasma Oxidation of the Makgeolli (Takju) Korean Rice Wine. *Korean J. Food Preserv.* 19: 116-122 (2012)
- Yang HS, Eun JB. Fermentation and Sensory Characteristics of Korean Traditional Fermented Liquor (Makgeolli) Added with Citron (*Citrus junos* SIEB ex TANAKA) Juice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 438-445 (2011)