

무증자 발아흑미를 이용한 막걸리 제조 시 온도가 미치는 영향

김다래, 서보미, 노민희, 김영완*

Comparison of Temperature Effects on Brewing of *Makgeolli* Using Uncooked Germinated Black Rice

Da-Rae Kim, Bo-Mi Seo, Min-Hee Noh, and Young-Wan Kim*

접수: 2012년 8월 15일 / 게재승인: 2012년 8월 25일
© 2012 The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering

Abstract: In this study we investigated the effect of temperature on the two-stage fermentation of *Makgeolli* using uncooked germinated black rice. The fermentation processes were conducted at 15°C for three weeks and 25°C for 7 days. The pH of *Makgeolli* at 25°C increased from pH3.0 to pH 4.2, which was consistent with that at 15°C. In contrast total acidity of *Makgeolli* at 15°C was about half of that at 25°C (0.36% and 0.59%, respectively). By the 7 days-fermentation at 25°C, 11% of alcohol was produced, whereas three weeks were required for the same alcohol production at 15°C. In the case of sugar contents, the amounts of total glucose-equivalent reducing sugars and glucose increased at the end of the fermentation at 25°C up to 2.25 mg/mL and 3.4 mM, respectively, whereas those at 15°C were maintained at very low levels (0.18 mg/mL and 0.1 mM, respectively). Such limited supplement of sugars at 15°C seemed to affect metabolism of yeast, resulting in different composition of organic acid. At 25°C, citric acid that was 73.4 ppm at the initial fermentation was consumed completely, whereas 20 ppm of citric acid was remained at 15°C. In addition, acetic acid and lactic acid in *Makgeolli* at 15°C were 53% and 14% of those at 25°C.

Keywords: *Makgeolli*, germinated black rice, low-temperature fermentation, two-stage fermentation, organic acid

고려대학교 식품생명공학과
Department of Food & Biotechnology, Korea University
Tel: +82-44-860-1436, Fax: +82-44-860-1586
e-mail: ywankim@korea.ac.kr

1. 서론

막걸리는 찹쌀, 멥쌀 등의 전분질을 원료로 하고, 발효제로서 누룩을 첨가하여 발효시킨 술덧을 혼탁하게 제성한 우리나라 고유의 전통주이다. 막걸리는 일반 주류와는 달리 상당량의 단백질과 당질을 함유하고 있을 뿐만 아니라 lysine, leucine 등의 필수아미노산 및 glutathione을 다량 함유하고 있으며 [1], 새콤한 맛을 내어 갈증을 해소시켜주는 유기산을 함유하고 있다 [2]. 이러한 막걸리의 기호적 및 영양적 우수성이 알려지면서 막걸리의 건강기능성에 대한 연구가 진행되고 있으며, 막걸리의 기능적 가치에 대한 관심이 높아지고 있다 [3-5]. 일반적으로 막걸리의 주질은 알코올 농도, 총산, 유기산, 잔존 당 성분, 및 fusel oil 등에 의하여 결정되며, 이 요인들은 가공원료, 발효조건, 발효제의 종류, 및 저장 조건에 따라 크게 달라진다 [6-8]. 이러한 막걸리 품질의 주요 요인 가운데 발효 중에 생성되는 유기산은 제품의 산도 및 최종 pH를 결정하며, lactic acid, acetic acid, 및 citric acid 등 주요 유기산의 조성 및 함량이 막걸리의 전체적인 맛을 결정하는데 중요한 기능을 수행한다 [9-11].

최근 쌀 이외의 고구마, 옥수수 등을 원료로 사용하는 막걸리 제조에 관한 연구뿐만 아니라 기능성 성분이 다량 함유되어 있는 현미 및 유색미를 이용한 막걸리 제조 연구가 진행되고 있다 [12]. 일반적으로 현미는 도정의 정도가 백미에 비해 낮아 백미보다 단백질, 비타민 (B1, B2, 나이아신), 칼슘이 많이 함유되어 있고겨 층에는 항산화 및 항암 효과가 있는 물질을 함유하고 있다 [13]. 그러나 현미는 백미에 비해 발효과정에서 미생물이 생산하는 효소에 의한 분해가 용이하지 않아 알코올 발효의 주원료로 적합하지 않다. 그러나 현미를 일정한 온도의 물에 담가 발아시켜 만든 발아

현미의 경우는 아밀라아제를 비롯하여 발아에 필요한 다양한 효소의 양이 증가되므로 아미노산 함량은 물론 전분 분해력도 증가하고, 조직이 연화되어 외부에서 효소의 작용이 용이하므로 일반 현미에 비해 막걸리 원료로 사용시 많은 장점을 가진다 [12]. 현미는 적갈색에서 흑자색에 이르는 다양한 유색미가 재배되고 있으며, 흑미의 경우 백미에 비하여 아밀로즈 함량이 적고 아밀로펙틴 함량이 많아 찰기가 높고 [14], 항산화 및 항암 효능을 가지는 안토시아닌 계열의 색소를 함유하고 있으며 [15], 기능성 성분인 γ -aminobutyric acid의 함량이 높은 것으로 보고되었다 [16]. 이러한 흑미의 기능성을 바탕으로 다양한 식품에 대한 흑미의 적용 연구가 진행되었으며 [17,18], 무증자 흑미를 이용하여 제조한 막걸리의 생리활성에 관한 연구가 진행된 바 있다 [19].

전통적인 막걸리에 사용되는 원료미는 100°C이상의 수증기를 이용하여 전분을 호화시키는 증자과정을 거친다. 이 과정에서 쌀에 포함된 다양한 영양분이 파괴되고 최종제품에서 가열취를 동반하므로 막걸리의 품질에 영향을 미치며, 증자에 필요한 에너지 소비와 증자된 쌀을 다시 냉각해야 하는 공정이 요구되므로 무증자법을 이용한 막걸리 제조가 연구되었다 [12,19]. 무증자 발효와 더불어서 막걸리의 풍미향상을 위해 일본식 청주의 제조에 사용되는 저온발효공정은 4~10°C의 저온에서 몇 주에서 수개월 동안 발효를 진행하여 휘발성 향기성분의 손실을 방지하고, 다양한 이차대사산물의 조성이 상온발효와 비교하여 달라지면서 풍미를 깊게 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 저온발효공정은 현재 몇몇 국내 막걸리 제조 공정에 적용되어 프리미엄 제품의 생산에 이용되고 있으나, 아직까지 저온발효공정에 대한 학술적 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 유색 기능미의 일종인 발아흑미를 주원료로 하여 별도의 증자과정 없이 무증자 발효과정을 통해 막걸리를 제조하고, 발효과정 분석을 통해 막걸리 원료로서의 기능성을 타진하고자 하였다, 또한 발효 단계의 온도를 상온과 저온에서 진행하여 발효온도의 차이가 가져오는 막걸리 내 성분변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 실험에 사용된 막걸리 제조용 원료인 발아흑미는 (주)네오팜에서 구입하였고, 입국미는 조은곡식(주)에 구입하여 사용하였다. 무증자 발아흑미의 당화 촉진을 위해 무증자용 개량누룩, 정제효소 및 건조효모는 각각 한국효소(주), 충무발효(주), 및 한국효소주식회사에서 구입하여 사용하였다.

2.2. 막걸리 제조

발아흑미를 20~25°C 물에 1시간 정도 침지시킨 후 건져내어 1시간 동안 물을 뺀 후, 가정용 믹서기로 분쇄하여 사용하였다. 1단 담금에 사용될 배합수를 이용하여 분쇄된 발아흑미가루를 옮겨 담았다. 막걸리 제조를 위한 기본 조성은 Table 1과 같다. 저온발효를 위해 2 L 용량의 이중자켓 발효

조를 이용하였고 항온순환수조 (RW-0525G, Jeitech, Korea)를 발효조와 연결하여 균일한 온도에서 발효를 진행하였다. 저온발효의 경우 15°C에서 1단 발효와 2단 발효를 각각 7일과 14일 동안 진행하였다. 대조구로 진행한 상온발효는 25°C에서 1단 발효를 1일, 2단 발효를 6일 동안 진행하였다. 발효과정 중 적절한 간격으로 시료 (100 mL)를 채취하고, 채취된 시료를 200 mesh의 체로 불용물질을 제거하고, 얻어진 여액을 8,000 × g에서 30분간 원심분리 한 후 상정액을 취하였다.

Table 1. Component of raw materials in *Makgeolli* brewing

Stage	Materials (g)	
1 st stage	Koji	240
	Nurook	4
	Dry yeast	0.6
	Water	200
2 nd stage	Uncooked germinated black rice	600
	Nurook	3
	Enzyme	1.2
	Water	900

2.3. pH 및 총산 함량 측정

시료 10 mL를 비이커에 담고 교반시키면서 pH meter (S40 Seven MultiTM, Mettler-toledo, Columbus, OH, USA)를 이용하여 pH를 측정하였다. 총산 함량은 0.1 N NaOH로 적정하면서 pH 7.0이 될 때까지 넣어준 NaOH양 (mL)을 측정 후 호박산 함량 (%)으로 환산하였다.

2.4. 알코올 함량분석

알코올 농도 분석을 위해 시료 75 mL와 물 75 mL을 메스플라스크로 취하고, 플라스크로 옮긴 후, 기포발생을 억제하기 위하여 소포제 (DSA732, DYS Co., Seoul, Korea)를 3 mL 가하고, 증류기를 통하여 80 mL을 회수하였다. 회수된 액에 물을 가하여 최종 부피가 100 mL가 되도록 한 후, 15°C까지 냉각하였다. 잘 섞어준 다음 주정계를 이용하여 값을 읽고, Gay-Lussak의 주정환산표를 이용하여 알코올 함량을 결정하였다.

2.5. 환원당 정량

막걸리 시료의 총 환원당 함량은 dinitrosalicylic acid법을 변형하여 측정하였다 [20]. 채취 후 원심분리를 통해 불용성 물질을 제거한 시료 0.25 mL에 0.75 mL의 dinitrosalicylic acid 용액을 가하여 잘 섞어준 후, 끓는 물에서 증탕으로 5분간 가열하였다. 신속하게 냉각시킨 후 200 μ L를 96 well plate로 옮긴 후, microplate reader (VersaMaxTM Molecular devices, Sunnyvale, CA, USA)을 이용하여 575 nm에서 흡광도를 측정하였다. 포도당을 표준물질로 이용하여 결정된 표준곡선을 이용하여 측정된 흡광도값을 포도당량으로 환산하여 총환원당량을 나타내었다.

2.6. 포도당 정량

막걸리 시료 내 포도당 함량은 glucose oxidase와 peroxidase

의 coupling assay 방법을 이용하여 측정하였다 [21]. 시료 25 μ L와 chromogen 용액 (glucose oxidase (0.33 U/mL), horseradish peroxidase (0.25 U/mL), 12.5 mM vanilic acid, and 1 mM 4-aminoantipyrine) 100 μ L를 섞고 37°C에서 30분 반응한 후, microplate reader를 이용하여 498 nm에서 흡광도를 측정하였다. 포도당을 표준물질로 하여 표준곡선을 작성하고 흡광도 값을 포도당 표준곡선에 대입하여 시료 내 포도당 양 결정하였다.

2.7. 유기산 분석

유기산 분석은 IonPac® ICE AS6 column (9 × 250 mm, DIONEX, USA)과 Anion MicroMembrane Suppressor (ICE-AMMS, DIONEX)가 장착된 high performance anion exchange chromatography (HPAEC, DX-600, DIONEX)를 이용하였다. Regenerant로는 5 mM tetrabutylammomium hydroxide를 질소를 이용하여 5-10 psi 압력으로 suppressor로 주입하였다. 용출용매로는 0.4 mM heptafluorobutyric acid를 사용하였으며 유속은 1.0 mL/min로 설정하였다. 검출기는 conductivity detector (CD25, DIONEX)를 이용하였다. Acetic acid, citric acid, lactic acid, 및 oxalic acid 표준물질을 이용하여 작성된 표준곡선을 통해 시료 내 유기산 함량을 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 발효 설계

무증자 발효의 경우 첨가된 누룩 및 정제효소에 의한 전분의 가수분해 속도가 증자발효에 비해 느리므로, 효모의 증식에 문제가 발생할 수 있으며, 더딘 발효 진행으로 인해 산도의 증가 속도가 늦어져서 미생물의 오염이 생길 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 증자된 쌀에 *Aspergillus kawachii*를 접종하여 배양한 입국미를 주원료로 하여 누룩 및 효모 (입국미 중량 대비 각각 3.3% (w/w) 및 0.5% (w/w))와 함께 1단 발효를 진행함으로써 발효액의 pH 감소를 유도하여 무증자 발효 초기에 일어날 수 있는 세균의 번식을 방지하고자 하였다. 동시에 입국균 및 누룩이 생산하는 효소들에 의해 입국미의 분해를 촉매하여 효모 증식에 필요한 당분의 공급을 용이하게 함으로써, 효과적인 2단 발효에 필요한 효모의 증식을 이끌어냄으로써 양조시간을 단축과 알코올 수율 향상을 도모하도록 1단 발효를 설계하였다 (Fig. 1). 2단 발효에서는 발아흑미를 세미한 후, 1시간 동안 침지하고 1시간 이상 탈수하는 과정을 거친 후 믹서기를 이용하여 곱게 갈아 무증자 상태로 사용하였으며, 발효의 촉진을 위해 정제효소 및 누룩을 발아흑미 중량 대비 각각 0.5% (w/w) 및 0.2% (w/w)를 추가로 첨가하였다. 상온발효의 경우 25°C에서 진행하였으며, 1일 동안 1단 발효를 진행하였으며, 6일간 2단 발효를 진행하였다. 저온발효의 경우 상온발효에 비해 발효기간이 늘어나므로, 15°C 발효조건에서 1단 발효를 일주일 동안, 2단 발효는 동일 온도에서 2주간 진행하면서 발효과정을 모니터링하였다.

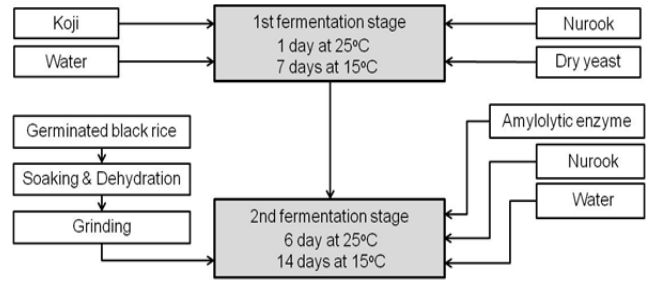


Fig. 1. Schematic diagram of *Makgeolli* using uncooked germinated black rice.

3.2. 저온과 상온발효에서 막걸리 내 총산도 및 pH 변화

pH와 산도의 변화는 발효진행상황을 파악하는데 중요한 요인이다. 중성 이상의 높은 pH는 잡균의 오염 가능성이 높아 지므로 일정 수준 이하의 pH를 유지하여야 한다. 본 실험에서는 1단 발효 시 입국미를 사용하였으므로 입국균인 *A. kawachii*가 생산하는 유기산으로 인해 저온 및 상온발효에서 공히 1단 발효 초반부터 pH 3 부근과 2% 내외의 총산도 값을 나타내었다 (Fig. 2). 2단 발효를 들어가면서 pH는 저온 및 상온발효에서 공히 pH 4 수준으로 상승한 후 발효 후기까지 유지되었다. 일반적으로 백미를 이용한 막걸리의 pH는 3.4-4.2 수준이며 [11], Kim 등이 무증자 흑미를 이용하여 제조한 막걸리의 경우 pH 3.35-3.89에서 발효 일주일 후 pH 4.72-5.11로 상승하였다 [19].

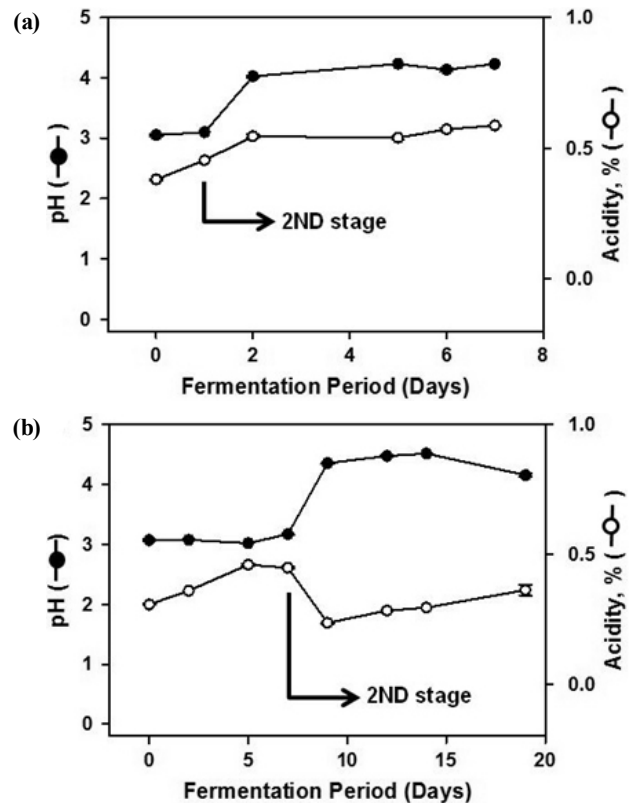


Fig. 2. Change in pH and total acidity of *Makgeolli* with uncooked germinated black rice fermented at 25°C (a) and 15°C (b). Black and white circles represent pH and acidity, respectively.

산도의 경우 상온발효에서는 2단 발효 초기까지 약간 상승한 후 0.5-0.6%를 유지하였으며 (Fig. 2(a)), 이는 Kim 등이 무증자 흑미를 이용하여 제조한 막걸리의 산도 결과와 유사하였다 [19]. 반면 저온발효에서는 1단 발효 동안에는 꾸준히 증가하다가, 2단 발효 시점에서 부피 증가로 인한 희석에 의해서 총산도가 0.45%에서 0.24%로 감소한 후 발효 종료시점까지 0.36%로 상승하였으나, 상온발효에 비해 절반 수준의 산도를 나타내었다 (Fig. 2(b)). 이는 상대적으로 발효의 진행이 더딘 저온발효에서 유기산의 생성이 저해되었기 때문으로 판단되었다.

3.3. 저온과 상온발효에서 막걸리 내 알코올 함량 변화

발아흑미를 이용한 상온 및 저온발효과정에서 알코올함량의 변화는 Fig. 3와 같다. 상온발효 시 11.2%까지 알코올이 생성되었으며, 저온발효를 통해서 총 3주의 발효를 통해 동일 수준의 알코올 발효 (11.6%)가 이루어졌다. Song 등은 무증자 발아현미를 이용하여 상온에서 막걸리 제조시 2단 발효 5일 동안 15%의 알코올이 생성되었는데 [12], 이는 발효를 효과적으로 이끌기 위해 넣어준 팽화미 및 전분당으로 인해 알코올 발효가 보다 활발히 진행되었기 때문으로 판단된다. 저온발효 시 2단 발효를 들어가면서 희석에 의한 알코올 함량의 감소를 제외하고는 상온 및 저온 발효 공히 알코올 함량이 지속적으로 증가하였으며, 특별한 알코올 생성속도의 감소는 관찰되지 않았다. 이는 주원료인 발아흑미 내 전분의 분해가 충분히 진행되지 않았으며, 발효기간의 연장을 통해 추가적인 알코올 생산을 진행할 수 있음을 의미한다. 2단 발효기간 동안 알코올 생산 속도는 상온 발효와 저온발효에서 각각 하루 당 1.78%와 0.57%로 상온발효에서 약 3배 가량 빠르게 진행되었다. 상기 당분과 알코올에 대한 분석결과로부터 무증자 발아흑미의 저온발효 기간의 단축을 위해서는 누룩 및 정제효소의 양을 늘려주어 환원당의 생산을 높여주어야 할 것으로 판단되었다.

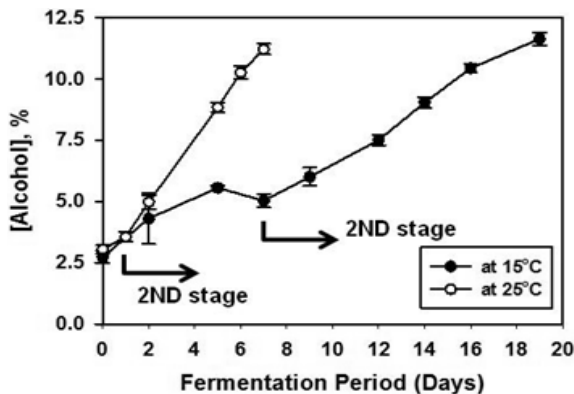


Fig. 3. Change in alcohol contents of *Makgeolli* with uncooked germinated black rice. Black and white circles represent the fermentation at 15°C and 25°C, respectively.

3.4. 저온과 상온발효에서 막걸리 내 환원당 및 포도당 분석

막걸리 발효액에 함유된 주요 당질 성분은 전분, 전분분해물, 소당류, 이당류 및 단당류 등 이다. 막걸리의 발효형식은 보통

1단 발효에서 액화와 당화가 동시 진행되면서 환원당이 점진적으로 증가하는 반면, 2단 발효에서는 지속적인 당화반응으로 인해 소당류, 이당류의 증가로 인해 환원당이 증가하는 경향을 보인다 [12,19].

무증자 발아흑미를 이용한 저온발효 및 상온발효과정에서 측정된 총 환원당량 및 포도당의 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 총 환원당량은 포도당 표준곡선을 이용하여 포도당량 값으로 나타내었다. 상온 발효의 경우 1단 발효 및 2단 발효 중기 (발효 5일째)까지 환원당과 포도당의 함량이 점진적으로 감소하다가, 발효후기에 접어들면서 총환원당과 포도당 함량이 각각 2.25 mg/mL 및 3.4 mM까지 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 4(a)). 이는 상온발효 중기까지 효모의 증식 및 발효가 활발하게 진행되므로 발효과정 중 전분의 분해를 통해 생성되는 당분이 소비되지만, 발효 후기에 접어들면서 무증자 전분입자의 구조가 가수분해과정을 거쳐 amylase에 의해 가수분해되기 용이하도록 변형되면서 2단 발효 초기에 비해 환원당의 생성속도가 빨라지면서 발효액 내에 환원당이 축적되었기 때문으로 예상하였다. 빠른 환원당의 공급은 누룩에서 공급되는 glucoamylase의 활성에 의한 포도당 생성속도 역시 가속화시켜 발효액 내에 포도당의 축적을 유도하였을 것으로 예상된다. 이러한 당분의 변화 경향은 기존의 백미 및 발아현미를 주원료로 상온에서 진행한 막걸리 발효과정의 결과와 유사한 결과이다 [12].

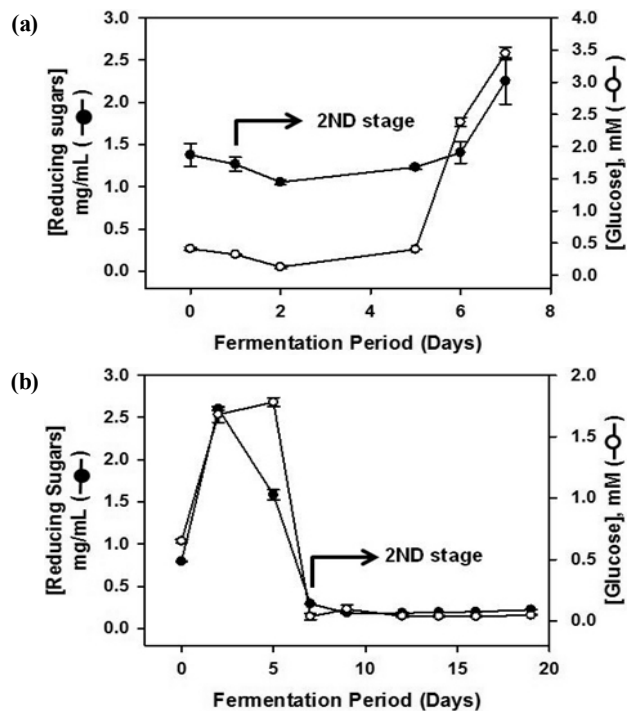


Fig. 4. Change in reducing sugars and glucose contents of *Makgeolli* with uncooked germinated black rice fermented at 25°C (a) and 15°C (b). Black and white circles represent the contents of reducing sugars and glucose, respectively.

반면 저온발효의 경우 1단 발효기간 동안 환원당 및 포도당의 함량이 발효 개시 시점에 비해 2배 이상 증가하였

다 (Fig. 4(b)). 이는 저온발효과정에서 효소에 의한 전분 가수 분해 및 포도당 생성 속도에 비해 효모 균체의 성장 및 발효 진행 속도가 느리기 때문인 것으로 판단되었다. 2단 발효 개시 시점 (발효 7일째)에서는 발효액의 부피 증가로 인해 총환원당량 및 포도당 함량이 각각 0.18 mg/mL 및 0.1 mM 수준으로 희석되었으며, 발효 종료시점까지 유사한 농도를 유지하였다. 이는 발효의 주원료가 무증자 발아흑미로 전환되면서 amylase에 의한 전분의 가수분해속도가 느려지면서 전분으로부터 새로 생성되는 환원당 및 이로부터 생성되는 포도당의 생산 속도가 알코올 발효에 의해 당이 소비되는 속도에 비해 느리다는 것을 의미한다. 따라서 저온발효의 경우 상온발효에 비해 2단 발효기간 동안 당분이 매우 제한적으로 공급되었음을 알 수 있었다.

3.5. 저온과 상온발효에서 막걸리 내 유기산 함량 변화

일반적으로 막걸리에 함유된 유기산 중 구연산은 막걸리 향미에 좋은 영향을 미치지만 젖산과 초산은 막걸리 향미에 좋지 않은 영향을 미치므로, 막걸리 내 유기산의 조성구분과 함량은 막걸리 품질에 직접적인 영향을 준다 [11]. 발아흑미를 이용한 막걸리 발효과정 중 생성된 유기산의 농도 변화를 HPAEC를 이용하여 분석하였으며 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 1단 발효 개시 시점에서는 저온과 상온발효에서 공히 입국미에 존재하는 *A. kawachii*에 의해서 citric acid의 함량이 월등하였다 (각각 53.7 및 73.4 ppm). 상온 발효의 경우 2단 발효가 진행되면서 citric acid의 함량은 급격하게 감소하여 2단 발효 1일 후에는 검출되지 않았다 (Fig. 5(a)). 반면 막걸리의 신맛에 관여하는 acetic acid와 lactic acid의 함량은 점차 증가하여 발효 5일째 각각 38.0 및 52.1 ppm이 생성되었으며 발효 종료시점까지 유지되었다. 이 결과로부터 2단 발효가 진행되면서 효모의 균체 증식 및 알코올 발효에 citric acid가 소비되며 초산발효와 젖산발효가 알코올 발효와 동시에 진행되고 있음을 알 수 있었다. 막걸리의 맛을 결정하는 주요 유기산 외 oxalic acid 역시 acetic acid 및 lactic acid와 유사한 경향으로 증가하여 41.7 ppm이 검출되었다. Lee 등은 국내 유통되는 막걸리 제품 내 유기산 분석결과 tartaric acid, pyruvic acid, malic acid, lactic acid, acetic acid, citric acid 및 fumaric acid 등이 검출되었으며, citric acid가 가장 많았으며, 그 다음으로는 lactic acid, acetic acid의 순서로 많았다고 보고하였다. 또한 tartaric acid와 pyruvic acid 등도 몇몇 시판되는 막걸리 제품에서 검출되었으나 [11], 본 연구에서 제조된 발아 흑미를 이용한 막걸리에서는 검출되지 않았다. 이러한 유기산 성분의 차이는 주원료인 백미와 발아 흑미의 차이에 의한 것으로 판단된다.

저온발효의 경우 상온발효와는 달리 1단 발효기간 동안 acetic acid가 발견되지 않았으며, 발효 종료시점에서는 20.1 ppm이 검출되었으며, lactic acid의 함량 역시 상온 발효에 비해 낮은 7.7 ppm이 검출되어 상온발효에 비해 각각 53% 및 14%에 불과하였다 (Fig. 5(b)). 특이하게도 2단 발효 초기이후로 citric acid가 거의 검출되지 않은 상온발효와는 달리 저온발효에서는 약 25 ppm 수준을 유지하면서 상대적으로 많은 양이 검출되었다. Oxalic acid의 생성 경향은

저온과 상온발효에서 모두 유사하였다 (Fig. 5). 전체 생산된 유기산의 양은 저온발효에서 적게 검출되었으며, 이는 총산도 측정결과와 동일한 결과이었다. 이러한 유기산 함량의 차이는 포도당 및 환원당 분석에서 발견된 저온발효에 의한 포도당의 제한적 공급이 효모가 알코올 발효와 함께 진행하는 젖산발효나 초산발효 및 기타 2차 대사산물의 대사과정에 영향을 주기 때문인 것으로 예상하였다.

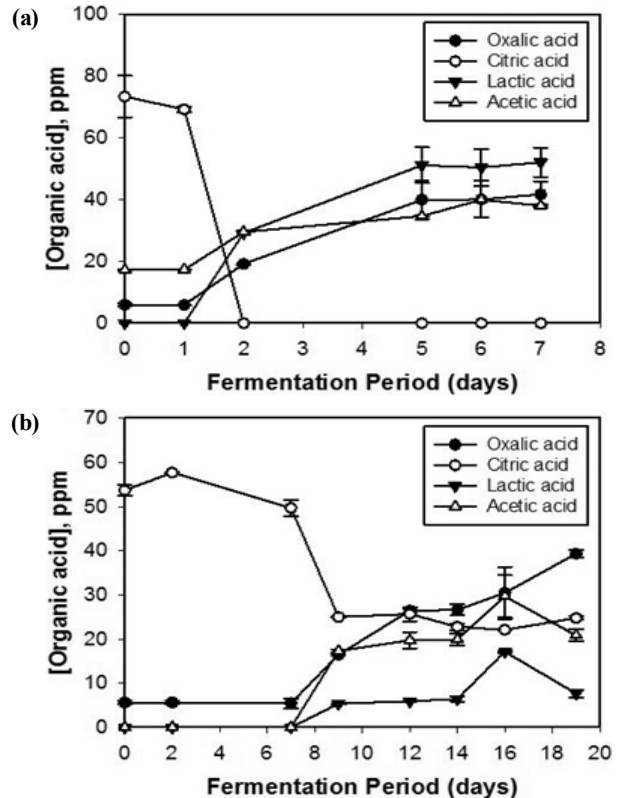


Fig. 5. Change in organic acids contents of *Makgeolli* with uncooked germinated black rice fermented at 25°C (a) and 15°C (b).

4. 결론

본 연구에서는 무증자 발아흑미를 이용한 저온 및 상온발효를 통하여 막걸리를 제조하였으며, 온도에 따른 막걸리의 성분 변화를 분석하였다. 입국미만을 이용한 1단 발효과정을 거친 후, 무증자 발아흑미를 주원료로 하는 2단 발효 시 추가적인 누룩과 정제효소의 첨가를 통해 11% 수준의 알코올을 함유한 막걸리를 제조하였다. 15°C에서 진행한 저온 발효의 경우 25°C에서 진행된 상온발효에 비해 발효속도가 느려 동일한 알코올 농도를 얻는데 약 3배의 시간이 걸렸다. 최종 막걸리의 pH는 동일하였으나 산도 및 유기산의 총 함량에서는 저온발효 막걸리에서 낮게 측정되었다. 환원당 및 포도당의 함량의 경우 발효 후기 양이 증가하는 상온발효와는 달리 저온발효의 경우 매우 낮은 수준으로 유지되었다. 저온발효기간 중 제한적인 당분의 공급은 알코올 발효를 담당하는 효모의 대사과정에 영향을 주어 2차 대사산물인 유기산의

조성에 영향을 미쳤다. 특히 acetic acid와 lactic acid의 함량이 감소하였으며, 막걸리의 풍미에 좋은 영향을 미치는 citric acid의 함량이 높음을 확인하였다.

감사

본 논문은 농림수산식품부 고부가식품산업인력양성사업과 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 PJ007425)의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

References

- Jeong, J. W., K. J. Park, M. H. Kim, and D. S. Kim (2006) Changes in quality of spray-dried and freeze-dried Takju powder during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 513-520.
- Woo, S. M., J. S. Shin, J. H. Seong, S. H. Yeo, J. H. Choi, T. Y. Kim, and Y. J. Jeong (2010) Quality characteristics of brown rice Takju by different Nuruks. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 301-307.
- Ryun, H. K., Y. C. Ga, and J. H. Bae (2011) The effects of the *Makgeolri* on the antioxidative activity in the endotoxin LPS-treated rats. *J. Fd Hyg. Safety* 26: 166-170.
- Yeo, S. H. and Y. J. Jeong (2010) Current trends and development a plan in the Korean Makgeolli industry. *Food Sci. Ind.* 43: 55-64.
- Lee, S. J. and W. C. Shin (2011) Physiological functionalities of *Makgeolli*. *Food Sci. Ind.* 44: 2-11.
- Lee, J. S., T. S. Lee, S. O. Park, and B. S. Noh (1996) Flavor components in mash of takju prepared by different raw materials. *Korean. J. Food Sci. Technol.* 28: 316-323.
- Han, E. H., T. S. Lee, B. S. Noh, and D. S. Lee (1997) Quality characteristics in mash of takju prepared by using different nuruk during fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 555-562.
- Lee, W. K., J. R. Kim, and M. W. Lee (1987) Studies on the change in free amino acids and organic acids of takju prepared with different koji strains. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 30: 323-327.
- Lee, T. J., D. Y. Hwang, L. C. Y., and H. J. Son (2009) Changes in yeast cell number, total acid and organic acid during production and distribution processes of *Makgeolli*, traditional alcohol of Korea. *Korean J. Microbiol.* 45: 391-396.
- Jin, T. Y., E. S. Kim, J. B. Eun, S. J. Wang, and M. H. Wang. (2007) 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.
- Lee, S. J., J. H. Kim, Y. W. Jung, S. Park, W. C. Shin, C. S. Park, S. Hong, and G. W. Kim (2011) Composition of organic acids and physiological functionality of commercial *Makgeolli*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 206-212.
- Song, J. C. and H. J. Park (2003) Takju brewing using the uncooked germed brown rice at second stage mash. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 847-854.
- Choi, S. W., W. W. Kang, and T. Osawa (1994) Isolation and identification of anthocyanin pigments of black rice. *Food & Biotech* 3: 131-136.
- Oh, G. S., K. Kim, H. S. Na, and G. C. Choi (2002) Comparison of physicochemical properties on waxy black rice and glutinous rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 31: 12-16.
- Lee, Y. S. and J. M. Cho (2002) Physicochemical properties of pigmented rice (Suwon-415). *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 842-845.
- An, M. K., J. B. Ahn, S. H. Lee, and K. G. Lee (2010) Analysis of γ -aminobutyric acid (GABA) content in germinated pigmented rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 42: 632-636.
- Park, Y. S. and H. G. Chang (2008) Effect of black rice flour on the quality of sugar-snap cookie. *Korean J. Food Sci. Technol.* 40: 234-237.
- Park, Y. S. and H. G. Chang (2007) Quality characteristics of sponge cakes containing various levels of black rice flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 406-411.
- Kim, S. D., M. H. Kim, and S. S. Ham (2000) Preparation and quality of uncooked-colored wine using black rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 224-230.
- Miller, G. L. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination reducing sugar. *Anal. Chem.* 31: 426-428.
- Trinder, P. (1969) Determination of blood glucose using an oxidase-peroxidase system with a non-carcinogenic chromogen. *J. Clin. Pathol.* 22: 158-161.