

혼합잡곡 증류주 제조를 위한 발효 특성

이대형* · 정재운 · 이용선 · 서재순 · 박인태
경기도농업기술원 작물개발과

Fermentation Characteristics for Preparation of Distilled Liquor Made of Mixed Grains

Dae Hyoung Lee*, Jae Woon Jung, Yong Sun Lee, Jae Soon Seo, and In Tae Park
Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services

Abstracts In this study, we aimed to develop mixed grain-derived hard liquor with enhanced favor and taste. First, fermentation characteristics analysis according to the grain used showed that rice and adlay produced high alcohol outputs of 15.2% and 13.3%, respectively, while that of barley was low at 5.6%. In an experiment in which different amounts sorghum flour were added, the sample without sorghum flour showed an alcohol content of 19.0%. The effect of adding up to 7% *ipkuk* (*koji*) was examined in a sensory test. Comprehensive preference increased with increasing amounts of added *ipkuk*. Fermentation characteristics analyses of distilled liquor into which milled rice (5% degrees of milling of unpolished waxy rice) was added showed that alcohol content and acidity were not greatly affected by its addition. Finally, an analysis of aromatic ingredients showed that the percentage of ethyl palmitate, which produces a smooth aroma, was the highest in distilled liquor made of mixed grains.

Keywords: distilled *soju*, mixed grains, sorghum, *ipkuk* (*koji*)

서 론

소주는 약주, 탁주와 더불어 우리 고유의 술로 대부분 곡류를 주원료로 사용한다. 페르시아가 기원으로 알려진 소주는 14세기 경 원나라를 통하여 고려에 전래되었으며 도입 당시는 주로 약용으로 이용되었고 가격이 비싼 고급주였다(1). 소주는 제조 원료에 따라 찹쌀소주, 멧쌀소주, 밀소주, 보리소주, 찹쌀과 멧쌀을 혼용하여 만드는 노주, 약소주 등으로 분류하고 증류 방식에 따라 일반증류주와 희석식소주로 분류한다. 오늘날 공장에서는 연속식 증류기를 사용하여 95% 정도의 알코올을 20-35%로 희석하는 희석식소주를 만들며 소주고리나 동고리를 이용하여 증류하는 소주는 증류식 소주로서 원료나 발효과정에서 생성되는 각종 알코올 대사산물 중의 휘발성 물질을 많이 함유하여 희석식소주보다 특수한 향미가 강한 것이 특색이다(2).

우리나라의 소주 제조는 고려시대에 비롯되어 조선시대를 지나는 동안 변화되었으나 양조과정이나 방법에 있어서는 큰 발전이 없었다. 1916년 총독부 당국에서 주세법의 시행세칙이 나오면서 양조의 기업화가 이루어졌으며(3) 1986년 이후 민속주법이 지정되면서 33종의 주류가 민속주로 지정 받았으나 이 중 소주류는 문배주, 안동소주, 옥천한주 3종에 불과하였다(4).

소주는 약주나 탁주와 달리 알코올 함량이 높아 저장성이 우수하며 색상이 투명하여 고급 칵테일의 원료로도 이용 가능성이 높다. 또한 소주는 곡류와 누룩으로 빻어 발효시킨 뒤 증류시킨 증류주이기 때문에 원료나 방법에 따라 독특한 맛과 향기에 차이가 있다(5). 우리나라 주류 중 증류주에 관한 연구로는 Min 등(6)의 증류조건별 품질변화, 증류식 소주제조 및 저장과 숙성에 따른 성분 변화(7), 증류장치 및 증류조건에 따른 성분변화(8)에 관한 연구가 진행되었으며, 민속 소주에 관한 연구로는 Min 등(9)이 압력, 환류비 및 충전물의 유무 등 증류조건에 따른 삼일주와 백하주 중의 알코올, 총산, 알데하이드 및 에스테르 등 성분에 대해 보고하였으며, Lee 등(10)은 기체 크로마토그래피 및 질량분석법으로 민속소주 중의 알코올 동족체를 분석하여 보고하였다. 이처럼 증류주 연구 대부분이 기존 제품에 대한 연구나 증류방식에 대한 연구로 새로운 증류식 소주 제품 개발을 위한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 쌀과 다양한 잡곡 원료를 이용해 증류식 소주의 발효조건 및 증류 조건 선발을 통해 품질이 향상된 증류식 소주의 개발 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

재료 및 사용균주

본 실험에 사용한 잡곡(쌀, 보리, 수수, 율무) 원료는 시중판매 제품(Jeongnam Nonghyup, Hwaseong, Korea)을 구입하여 사용하였다. 발효제 입국(*Aspergillus luchuensis*, sp 150)은 시중판매 중인 동산(Dongsan, Yongin, Korea) 제품을 구입하여 사용하였고, 조효소제(개량누룩)는 한국효소(*Rhizopus* sp., 역가 1,500 sp, Hwaseong, Korea)를 사용하였으며 정제효소는 테코자임 제품

*Corresponding author: Dae Hyoung Lee, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, Gyeonggi 449-702, Korea
Tel: 82-31-229-5784
Fax: 82-31-229-5962
E-mail: leedh2@gg.go.kr
Received February 28, 2014; revised June 16, 2014;
accepted June 16, 2014

(glucoamylase 92%, α -amylase 8%, sp 30,000, Doyoung, Anyang, Korea)을 구입하여 사용하였다. 주모 제조를 위한 효모는 *Saccharomyces cerevisiae* (La Parisienne, The Netherlands)를 사용하였으며 일반 분석용 시약은 특급을 사용하였다.

잡곡 발효주 제조 및 증류

증류주 제조를 위한 발효주 발효 방법은 Bae(11)의 전통주 담금법을 일부 변형시켜 다음과 같이 실시하였다. 먼저 1단(밀술) 제조는 쌀(백미) 또는 각각의 잡곡(보리, 수수, 울무) 10 kg을 세척 한 후 2-3시간 침지 하였다. 이후 침지 한 각각의 곡물을 1시간 동안 물 빼기를 한 후 증자 하였으며 이후 상온에 두어 상온으로 냉각하였다. 이렇게 냉각된 곡물을 항아리에 옮긴 후 물 14 L와 효모 10 g를 혼합한 후 조효소제(개량 누룩) 200 g을 첨가하여 20°C에서 2일 동안 발효 시켰으며 2단 담금은 2단 담금 용기에 물 30 L를 먼저 만들어진 밀술에 넣은 후 각각 증자한 쌀과 잡곡 18 kg를 첨가하였다. 추가로 입국 2 kg, 정제효소 18 g을 함께 넣어 7일 동안 발효시켜 소주 제조에 필요한 잡곡 발효주를 제조하였다.

제조한 술들을 제성 한 후 현재 양조장에서 가장 많이 사용하는 감압 증류법(압력 -60 cmHg, 온도 60°C) 조건에서 증류를 진행하였으며 증류 분획은 초류는 전체 발효주의 3%를 본류는 30%를 채취하였다. 이후 알코올 함량은 40%가 되도록 조정하여 분석시료로 사용하였다.

주류분석

발효주의 물리화학적 성질에서 에탄올 함량은 원심분리한 각각의 발효액을 수증기 증류한 다음 주정계로 측정하였다. pH는 pH meter (781 pH/lon meter, Metrohm Merisau, Switzerland)로 측정하였으며 총산은 시료 10 mL에 naphthalene을 2-3방울 가하여 0.1 N NaOH 용액으로 담녹색이 나타날 때까지 중화 적정하여 그때까지 소비된 NaOH의 양을 succinic acid로 환산하여 표시하였으며 휘발산도는 알코올 농도 측정에 사용한 증류액 10 mL을 취한 후, naphthalene을 2-3방울 가하여 0.01 N NaOH 용액으로 담녹색이 나타날 때까지 중화 적정하여 그때까지 소비된 NaOH의 양을 acetic acid로 환산하여 표시하였다(12). 환원당 함량은 DNS가 환원되어 생성된 3-amino-5-nitrosalicylicacid의 흡광도를 UV/VIS spectrophotometer (Diod-Array) HP 8453 (Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA)으로 550 nm에서 측정하였다(13). 별도로 포도당 15-300 μ g을 함유하는 표준용액의 검량선을 작성하여, 검체중의 환원당량(mg/mL)을 구하였다.

유기산과 유리당 함량 분석

유기산과 유리당 샘플은 각 발효액을 원심분리(5,000×g, 10 min)하여 상등액을 얻고 이를 0.45 μ m membrane filter로 여과하여 분석 시료로 사용하였다. 먼저 유기산은 high-performance liquid chromatography (HPLC, Agilent 1100 series UV/VIS detector, Folsom, CA, USA)로 분석하였다(14). 유기산의 분석용 column으로는 Aminex Hpx-87H (Bio-rad: Hercules, CA, USA)를 사용하였으며 detection wave-length/window 210 nm, oven의 온도는 35°C였으며 flow rate 0.6 mL/min였다. 유리당은 다음과 같이 HPLC로 분석 하였다. HPLC는 Agilent (1100 series)사의 pump와 20 μ L의 loop를 가진 auto injector를 이용하였으며, prevail carbohydrate ES 5 μ 컬럼(250×4.6 mm, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)과 이동상으로는 85% acetonitrile을 이용, 35°C에서 0.43 mL/min의 유속으로 분리시킨 후 RI detector를 사용하여 분

석하였다(15).

증류주 유해성분 및 향기성분 분석

증류주의 유해성분 분석은 flame ionization detector (FID)가 장착된 gas chromatography (GC, Agilent 7830 series)를 사용하였다. GC 분석에 의하여 분리된 각 peak 성분은 표준물질의 머무름 시간과 비교하여 동정하였다. 이때 사용한 표준물질(Sigma-Aldrich Co.)은 acetaldehyde, methanol 등이었으며, 이들 물질의 단용 또는 혼합물로 표준 크로마토그램을 구하였다. 휘발성 성분의 분리를 위해 column은 DB-WAX (30 m×0.53 mm i.d, 1 μ m film thickness, J&W Scientific, Folsom, CA, USA)를 사용하였다. Oven의 온도는 45°C에서 2분간 유지한 후, 10°C/min 속도로 230°C까지 승온시킨 후 230°C에서 4.5분간 유지하였다. Carrier gas (He)의 유속은 4 mL/min로 유지하였다. GC injector와 detector 온도는 각각 240°C로 설정하여 시료 1.0 μ L를 split ratio 20:1로 주입하였다(16).

휘발성 향기성분은 시료 20 mL을 50 mL 유리 vial에 담아 알루미늄 캡을 이용하여 capping 후 solid phase microextraction (SPME) 방법을 이용하여 분석하였다. 시료를 70°C에서 20분간 평형시킨 후 100 μ m polydimethylsiloxane이 코팅된 fiber를 이용하여 20분간 향을 포집하여 Stabilwax DA column (30 m length 0.25 μ m i.d×0.25 μ m film thickness: Restek Corp., Bellefonte, PA, USA)이 장착된 mass selective detector (MSD)를 이용하여 분석하였다. 사용된 GC의 oven 온도는 40°C에서 2분간 유지 후 200°C까지 5°C/min의 속도로 상승시켰으며 200°C에서 5분간 유지시켰다. Injector 온도는 250°C, carrier gas로 helium을 사용하였다. MSD 조건은 capillary direct interface temperature 250°C, ion source temperature 230°C, EI ionization voltage 70 eV, mass range 45-550 a.m.u, 그리고 scan rate 2.2 scan/s였고 휘발성 화합물 동정은 mass spectra와 aroma properties를 비교하여 확인하였다(16).

관능평가 및 통계분석

증류주의 관능검사는 Lee 등(13)의 방법을 일부 변형시켜 경기도농업기술원의 훈련된 패널 10명을 대상으로 실시하였다. 관능검사는 제조된 증류주에 대한 향, 맛 등에 대해 기호도를 1-9점의 강도로 표시하게 한 후 그 평균값을 구하여 향과 맛을 고려한 전체적인 기호도는 가장 싫다 1, 가장 좋다 9의 점수로 표시하여 그 평균값을 정량적 묘사 분석 방법(quantitative descriptive analysis: QDA)으로 도식하였다.

또한 각각의 조건에서 얻어진 이화학적 데이터의 통계분석은 SAS 프로그램(Statistical Analysis System version 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test로 각각의 변수에 대한 영향을 분석하였다.

결과 및 고찰

잡곡별 발효주의 발효 특성

잡곡의 증류를 달리하여 제조한 증류주의 특성을 확인하기 위해 우선 각각의 잡곡(쌀, 보리, 수수, 울무)을 이용하여 제조방법과 동일하게 발효주를 제조 하여 알코올 함량을 측정된 결과 Fig. 1과 같다. 보리 100% 만으로 발효시킨 경우 알코올이 가장 낮은 5.6%로 나타났으며 쌀을 이용한 경우 15.2%로 가장 높게 나타났다. 또한 수수와 울무를 이용한 발효주의 경우 각각 12.5, 13.3%의 알코올이 생성되었다. 보리발효주의 알코올 함량이 낮은 것은

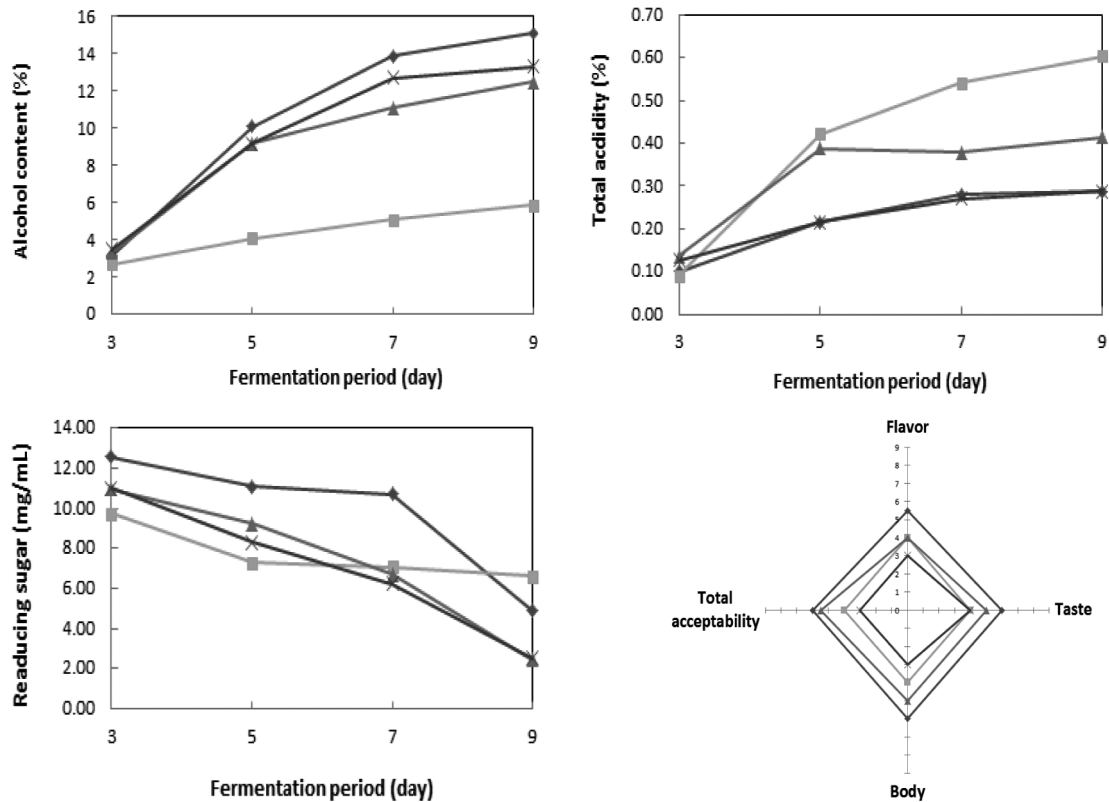


Fig. 1. Changes of alcohol content, total acidity, reducing sugar and QDA profile during fermentation of mash made with grains. ◆: Rice, ■: Barley, ▲: Sorghum, ×: Adlay

Lee 등(17)의 멥쌀, 찰쌀, 보리쌀을 이용한 탁주의 품질 특성결과와 유사한 것으로 이것은 보리 원료 특성상 단백질과 지질이 많아서(18) 발효에 나쁜 영향을 미쳐 알코올이 낮은 것을 알 수 있었다. 산도의 경우 잡곡의 종류에 따라 측정값들의 차이가 있었는데 추청 쌀과 올무는 0.29%로 낮게 나온 반면 보리는 0.60%로 높게 측정 되었다. 이 결과는 Kim 등(19)의 일반적인 쌀 전통 발효주의 약 0.54%의 산도를 보이는 것과 차이가 있는 것으로 이것은 제조방법과 원료에 의한 것으로 판단된다.

잔당의 경우 대부분의 처리구 발효주에서 발효 3일 이후부터 지속적으로 감소하는 경향이었으나 보리는 5일 이후에 변화가 없었다. 이것은 보리가 쌀에 비해 단백질 및 지질과 섬유질 함량이 높고 전분가가 비교적 낮은 특성으로 인해 효모의 알코올 생성 및 누룩의 전분 분해 활성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 증류주의 관능특성을 확인하기 위해 잡곡별 발효주를 일반적인 증류 조건으로 증류한 후 알코올을 25%로 희석하여 관능평가를 실시하였다. 관능결과에서는 쌀을 발효한 후 증류한 쌀 증류주의 관능에서 향 5.5, 맛 6, 바디감 6, 종합적 기호도 6으로 다른 잡곡 증류주 보다 높은 관능점수를 나타냈으며 이것은 쌀 발효주가 다른 잡곡 발효주에 비해 알코올 함량이 높기 때문에 증류시 비점이 낮아지기에 푸르푸랄과 같은 자극적인 향은 적게 증류되면 다양한 향기 성분과 fusel alcohol 등이 얻어 질수 있기에(8) 향과 맛에서 높은 관능점수를 얻었다고 판단되며 다음으로 수수, 보리 순으로 관능점수가 높았다.

수수 첨가량에 따른 증류주의 발효 특성

다음으로 증류주의 품질 향상을 위해 쌀을 기본으로 하면서 수

수 첨가량 0-20%까지 달리 첨가하여 제조한 발효주의 알코올 함량을 측정된 결과 Fig. 2와 같이 나타났다. 대조구로 설정한 수수 무첨가 시료의 경우 알코올이 19.0%로 나타났으며, 수수 첨가량이 증가함에 따라 알코올이 조금씩 감소하였으나 19.3-18.3%의 범위를 나타내어 큰 차이를 보이지 않았다. 발효주의 산도를 측정된 결과 수수 무첨가 시료의 경우 0.33%이었으며 수수 첨가량이 증가함에 따라 산도의 차이는 크지 않았으며 0.31-0.32%의 측정값을 나타내었다. Kim 등(19)의 전통주의 발효특성 연구에 의하면 전통발효주의 경우 약 0.54%의 산도를 보이는 것으로 보고하였는데 본 연구에서는 산도가 반대로 낮게 나오는 경향을 보였다. 이것은 원료와 발효온도의 영향과 함께 전통누룩 대신 개량누룩(조효제)을 사용했기 때문인데 Lee 등(20)에 의하면 전통누룩으로 만든 전통주의 유기산 함량이 개량누룩(조효소제)으로 만든 전통주의 유기산 함량보다 높게 생산되기에 본 실험에서도 전통누룩의 유기산 생산이 높아 산도가 높은 것으로 판단된다.

발효주의 잔당을 측정된 결과 수수 무첨가로 발효시킨 시료의 경우 최종 발효일에 9.63 mg/mL로 높게 나타났으며, 수수 첨가량이 증가함에 따라 잔당이 감소하는 경향을 뚜렷하게 보였다. 이것은 Woo 등(21)의 수수 첨가량을 달리한 발효주의 특성과 비슷한 것으로 발효 최종일에 수수 첨가량이 증가할수록 glucose의 함량이 감소하는 경향을 나타내었다. 수수 첨가량을 달리하여 제조한 증류주의 관능검사 결과에서는 향, 맛, 바디감 및 전체적인 기호도는 처리구 간에 유의적인 차이를 보였으며, 맛은 전체적으로 수수 첨가량이 증가할수록 감소하였는데 수수 첨가량이 5% 일 때 종합적인 기호도는 6점으로 수수 20% 첨가량의 5점보다 높게 나왔다.

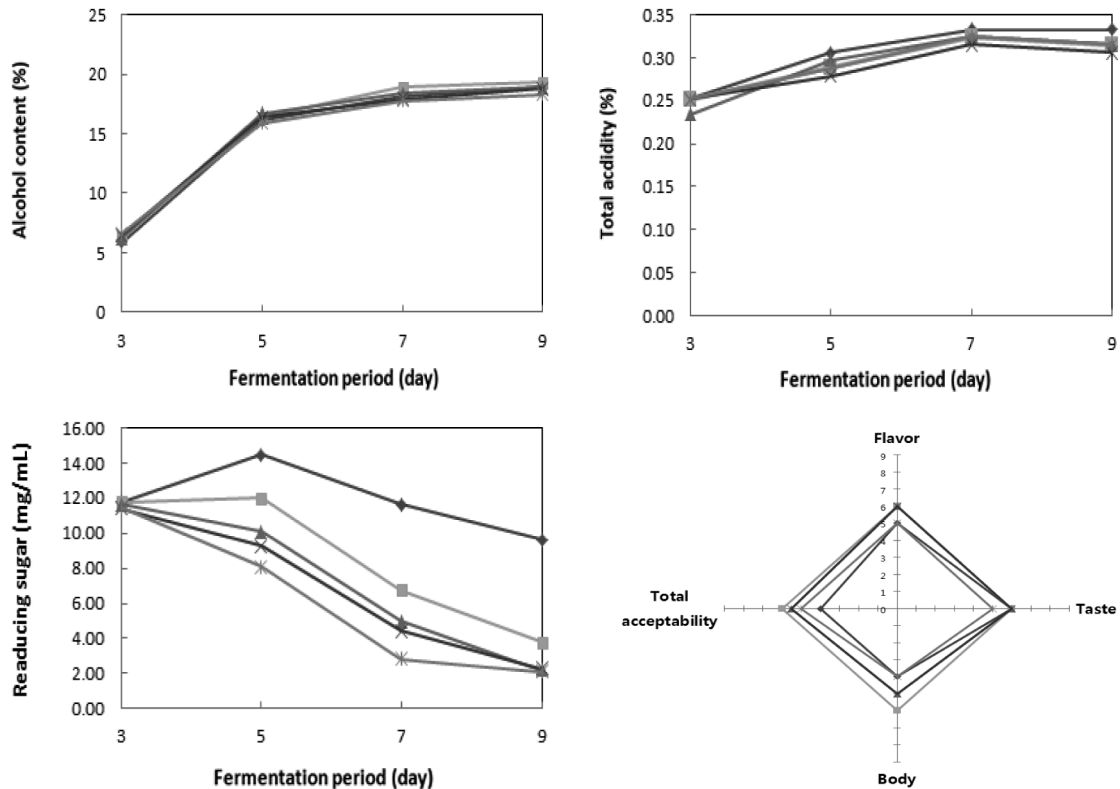


Fig. 2. Changes of alcohol content, total acidity, reducing sugar and QDA profile during fermentation of mash made with sorghum addition. ◆: Sorghum 0%, ■: Sorghum 5%, ▲: Sorghum 10%, ×: Sorghum 15%, ×: Sorghum 20%

입국 첨가량에 따른 증류주의 발효 특성

증류주의 원료가 되는 발효주는 발효 과정 중 주로 누룩 중의 효소 작용으로 원료 성분이 분해되어 생성되는 당분, 아미노산, 유기산 등에 의한 맛 성분과 효모나 젖산균 등 미생물에 의한 발효로 휘발성 향미 성분이 생성되어 색과 함께 발효주 품질의 조화를 이루게 된다(22). 이러한 휘발성 향미 성분들이 증류시에 증류주로 이행되면서 증류주의 향과 맛에 관여하게 된다(8). 입국으로 사용하는 주요 곰팡이인 *Aspergillus luchuensis*는 내산성 당화 *amylase*와 *maltase*의 활성이 강력하고 유기산 생성력이 높아 탁주, 약주, 소주 제조에 많이 사용하고 있다(23). 특히 입국에서 생성된 산은 발효시에 효모 이외에 잡균을 억제할 뿐만 아니라 증류시에 향미부여에도 관여하므로(8) 본 실험에서는 앞 실험에서 선발된 수수 5%를 기본으로 입국첨가량을 0-33%까지 각각 첨가하여 발효 특성을 살펴보았다.

발효과정 중 입국첨가량에 따른 발효주의 에탄올 변화는 Fig. 3과 같다. 입국 무첨가의 경우 15%의 알코올을 생성하였으며 입국 함량이 증가할수록 알코올 함량은 증가하였다(15.9-17.9%). 이것은 입국이 전분질 원료에 순수 배양한 곰팡이균(*Asp. luchuensis*)을 접종한 것(15)으로 입국량이 증가할수록 곰팡이에서 생성된 당화 효소량이 증가로 인해 전분으로부터 당으로의 전환도 증가하여 알코올이 높게 나타난 것으로 판단된다.

산도의 경우 입국 무첨가의 경우 0.27%로 매우 낮은 산도를 나타내었지만 입국의 첨가량이 증가할수록 산도 역시 증가하였다. 이것은 입국 자체가 곰팡이균에 의해서 유기산을 생성하기에 (24) 첨가량이 증가할수록 산도가 증가한 것으로 생각된다. 하지만 잔당의 경우 발효 최종일에 입국 첨가량이 많을수록 낮아졌는데 이것은 전분에서 생성된 당을 효모가 사용하면서 알코올은

높게 생성되었고 그로인해 잔당은 낮아진 것으로 판단된다. 입국 첨가량에 따른 증류주의 관능검사 결과 입국 7% 첨가시에 향과 종합적 기호도가 6.5로 가장 좋았으며 처리구 간의 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다.

입국첨가량에 따른 발효주의 유기산 함량을 측정된 결과는 Table 1과 같다. 표준품으로 사용한 citric acid, malic acid, succinic acid, acetic acid 및 lactic acid 중에서 lactic acid, citric acid가 주된 구성 유기산임을 확인할 수 있었다. 입국 첨가량이 증가함에 따라 총 유기산 함량은 증가하는 경향을 보였고 특히 주요 유기산인 lactic acid의 경우 발효일수가 증가할수록 함량이 증가하였으며 반면에 malic acid는 발효일수가 증가할수록 함량이 감소하였다. 일반적인 입국이 첨가된 막걸리의 경우 malo lactic fermentation (MLF)은 알코올 발효 후 *Lactobacillus* sp.와 *Leuconostoc* sp. 등과 같은 특정 유산균에 의해 일어나는 발효로서 이로 인하여 malic acid가 lactic acid로 전환되는데(15) 본 실험에서 제조한 발효주 또한 초기에는 malic acid의 함량이 높았으나 발효시간이 지날수록 malic acid의 함량은 감소하면서 상대적으로 lactic acid의 함량은 증가하였다. 또한 citric acid 역시 입국 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었는데 이는 입국 제조 시 *Asp. luchuensis*에 의해 구연산이 생산된다고 보고된 연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다(24).

쌀 도정율에 따른 증류주의 발효 특성

증류주의 향기성분은 본질적으로는 누룩미생물이나 효모에 의해서 생성되지만 소주원료에 의해서도 크게 좌우된다(5). 현미의 경우 발효시 구수한 맛과 다양한 향을 가진 것으로 알려져 있어서(25) 앞에서 선발된 수수 5%, 입국 7% 외에 발효 원료에 기

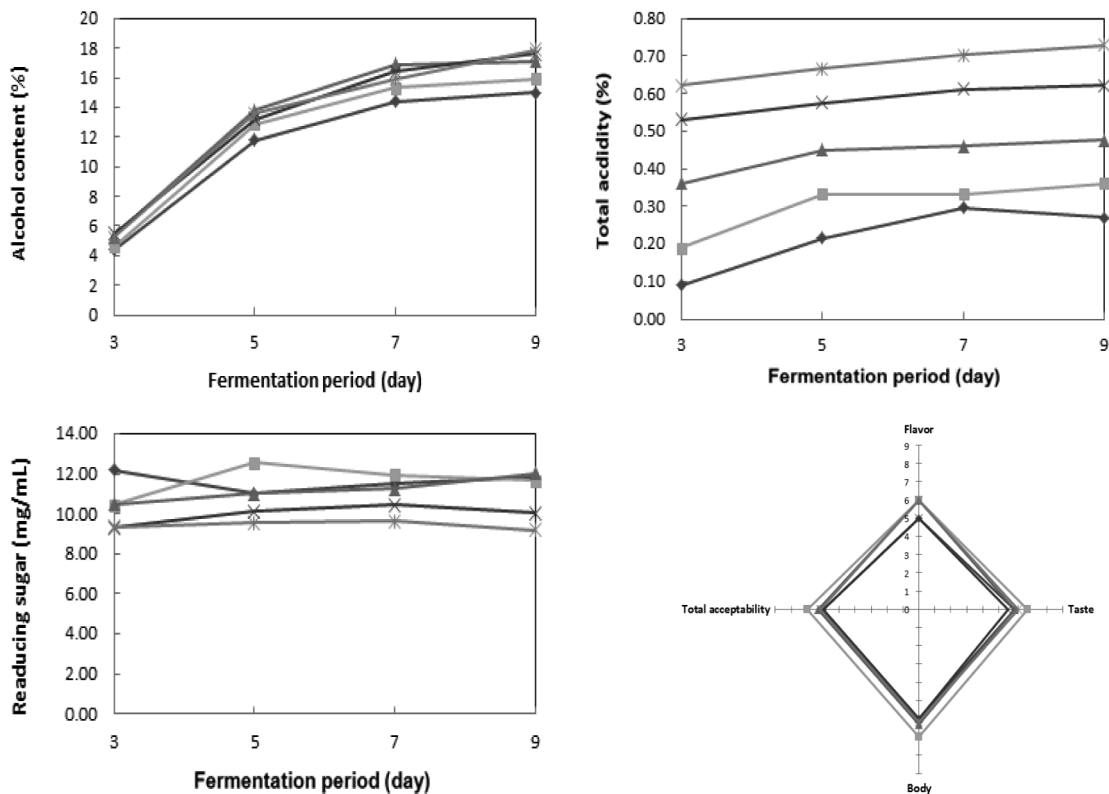


Fig. 3. Changes of alcohol content, total acidity, reducing sugar and QDA profile during fermentation of mash made with *ipkuk* (*koji*) addition. ◆: *Ipkuk* 0%, ■: *Ipkuk* 7%, ▲: *Ipkuk* 17%, ×: *Ipkuk* 27%, ×: *Ipkuk* 33%

본이 되는 쌀의 도정율(백미, 7분도, 5분도, 3분도, 현미)에 따른 증류주의 발효 특성을 살펴보았다. 발효과정 중 알코올 함량은 Fig. 4와 같았으며 현미의 도정율이 높을수록 알코올 생성량이 높았으며 백미와 7분도의 경우 19.7%의 높은 알코올이 생성되었다. 또한 현미의 경우 15.3%의 알코올이 생성되었는데 이것은 현미 자체의 구조적 견고성(현미의 외피, 과피, 종피, 호분층)으로 쉽게 수분이 흡수되지 않는 것도 있지만 더 중요한 것은 효소 중에서 당화시키는데 필요한 전분분해 효소가 현미의 외피를 침투하지 못해 전분을 당화시키는데 시간이 많이 걸리는 것도 이유 중의 하나이다(26). 그러나 시간이 지나면서 전분을 당화시키고 알코올을 생성하는 양상은 백미를 사용한 경우와 비슷하여 3일째부터는 알코올의 생성이 증가하는 경향을 보였다.

산도의 경우 현미는 초기 산도 0.30%가 발효 종료시에 0.29%로 변화가 없었으며 도정율이 증가할수록 산도는 발효종료시에 증가하는 것으로 나타났다. 잔당의 경우 발효주의 발효 형식은 보통 1단 발효 후 당 함량이 조금씩 증가하여 2단 발효가 진행되면서 전분량은 감소하고 환원당(reducing sugar)을 비롯한 소당류, 이당류 등의 비율이 증가하게 되는 경향을 보이게 된다(27). 현미 발효주의 경우 초기 환원당 값은 11.13 mg/mL로 다른 도정율의 환원당보다 높았으나 발효가 진행될수록 감소하여 발효 최종일에는 가장 낮은 1.64 mg/mL로 발효가 끝이 났다. 특히 3, 5, 7분도 및 현미는 발효가 진행되면서 환원당이 증가했다가 발효 5일차부터 다시 감소하여 발효 최종일에는 2.18-3.88 mg/mL로 끝이 났으며 도정율이 증가할수록 환원당이 증가한 것으로 나타났다. 이것은 발효초기에 알코올 발효보다 전분분해에 의한 당 생성 속도가 증가하여 효모가 소비하지 못하고 남은 당이 축적되어 점진적으로 당 함량이 증가하는 경향을 나타내다가 발효가 진

행되면서 거의 일정한 속도로 당 함량이 감소되는 것으로 미루어 당화보다 알코올 발효가 천천히 진행되고 있음을 짐작할 수 있다. 그러나 현미만을 사용한 경우에는 백미의 경우와 반대로 잔당함량이 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며 특히 3일이 지난 후부터는 전분분해에 의한 당 생성 속도가 효모의 당 소모 속도보다 느리기 때문에 당 함량이 빠르게 감소하였다.

관능결과에서는 5분도로 만든 증류주가 종합적인 기호도가 6.5로 가장 좋았으며 특히, 향에서는 5로 높은 점수를 받았다. 현미 증류주의 경우 종합적인 기호도가 4로 낮았는데 이것은 증류시에 발효가 덜된 현미의 외피와 전분들이 증류되면서 약간의 탄내(furfural)를 생성했기 때문으로 판단된다.

5분도 첨가량에 따른 증류주의 발효 특성

다음으로 5분도 쌀 첨가량(40, 50, 60, 70%)에 따른 증류주의 발효특성을 살펴보기 위해 수수 5%, 입국 7%외에 5분도 첨가량을 달리하며 발효주를 제조 한 결과 알코올은 5분도 첨가량에 따라 큰 차이가 없었으며(19.0-19.5%) 산도 역시 큰 차이를 보이지 않았다. 잔당의 경우 5분도 50-70%까지는 발효 처음과 발효 끝에 큰 차이를 보이지 않았으나 40% 첨가시에는 발효 종료시에 7.07 mg/mL의 높은 잔당 값을 나타내었다. 관능결과는 5분도 50%를 첨가했을 때 종합적 관능에서 6.5로 높은 점수를 얻었으며 첨가량이 많아질수록 관능에서는 낮은 점수를 나타냈는데 이것 역시 현미의 함량이 많아지면서 증류시에 탄내를 생성했기 때문으로 판단된다(data not shown).

이때의 당 종류에 따른 분석 결과는 Table 2와 같다. 발효초기에는 glucose가 가장 많았으며 특히 5분도 첨가량이 증가할수록 glucose의 양은 조금씩 감소하였다. 이밖에 sucrose와 maltose 순

Table 1. The organic acid content of during fermentation of mash made with *ipkuk* (*koji*) addition

(ppm)

Organic acid	Addition amounts of <i>Ipkuk</i> (<i>koji</i>) (%)	Fermentation period (day)			
		3	5	7	9
Citric acid	0	26.8±3.5 ^c	26.5±1.4 ^c	19.0±3.5 ^d	21.5±1.5 ^c
	7	282.9±12.3 ^d	302.5±9.8 ^c	319.0±9.5 ^c	339.2±22.6 ^d
	17	873.0±10.5 ^c	866.0±10.2 ^b	916.7±14.1 ^b	941.6±10.3 ^c
	27	1,588.8±25.3 ^b	1,497.3±18.9 ^a	1,604.1±19.1 ^a	1,604.6±54.2 ^b
	33	1,930.3±13.3 ^a	1,913.3±20.5 ^a	2,096.0±20.1 ^a	2,088.5±112.6 ^a
Malic acid	0	1,176.3±14.7 ^c	1,999.7±17.3 ^d	1,726.4±13.3 ^c	1,119.8±15.3 ^b
	7	2,907.2±23.1 ^b	3,909.7±24.5 ^a	3,091.3±145.2 ^a	2,264.0±26.7 ^a
	17	3,927.3±20.8 ^a	3,425.6±34.2 ^b	2,550.0±23.6 ^b	1,553.4±15.6 ^b
	27	3,621.2±11.0 ^a	2,450.5±20.9 ^c	1,978.4±118.9 ^c	951.6±20.1 ^c
	33	3,810.5±16.2 ^a	2,452.1±18.2 ^c	1,730.6±121.0 ^c	741.5±10.7 ^c
Succinic acid	0	181.1±2.5 ^b	461.6±5.9 ^a	363.01±14.2 ^a	293.4±8.9 ^a
	7	622.7±14.5 ^a	72.0±4.2 ^b	48.8±3.9 ^b	76.9±5.4 ^b
	17	36.9±1.0 ^c	63.3±2.4 ^{bc}	64.7±5.8 ^b	53.5±4.3 ^b
	27	34.9±2.4 ^c	45.3±2.6 ^c	50.7±4.0 ^b	41.6±1.5 ^b
	33	29.4±0.5 ^c	28.5±1.1 ^d	33.0±5.3 ^b	25.4±1.2 ^c
Lactic acid	0	218.2±15.1 ^d	518.9±10.0 ^e	827.4±10.6 ^e	1,504.3±10.2 ^d
	7	386.5±9.8 ^d	1,638.4±15.2 ^d	2,106.9±85.5 ^d	4,051.9±150.6 ^c
	17	832.6±10.2 ^c	3,435.1±25.9 ^c	4,033.5±94.3 ^c	4,996.9±230.2 ^c
	27	1,271.6±23.8 ^b	4,659.3±33.4 ^b	5,397.6±253.2 ^b	6,365.4±315.9 ^b
	33	2,465.4±54.2 ^a	5,340.1±38.2 ^a	6,318.0±145.9 ^a	7,478.7±245.1 ^a
Acetic acid	0	0.7±0.1 ^a	13.3±1.0 ^a	18.3±2.1 ^a	20.5±0.5 ^a
	7	1.0±0.2 ^a	28.3±1.2 ^a	29.0±1.0 ^a	23.4±2.3 ^a
	17	-	-	-	-
	27	-	-	-	-
	33	-	-	-	-

Each value is expressed as mean±SD (*n*=3).

^{a-e}) Different letters show significant difference by Duncan's multiple range test at *p*=0.05.

으로 당을 함유하고 있었으며 발효시간이 경과함에 따라 소량의 당류들은 축정이 안되었으며 glucose 함량 역시 감소하였다. 5분도 첨가량에 따른 증류주의 유기산 결과는 Table 3과 같으며 주요 유기산은 초기 발효에서는 malic acid와 lactic acid였으나 발효 후기에는 citric acid와 lactic acid로 바뀌었다. 특히 malic acid의 경우 입국첨가량 실험의 유기산 분석결과와 동일하게 발효가 진행될수록 MLF에 의해 지속적으로 감소하였다.

쌀 증류주와 혼합잡곡 증류주의 비교시험

최종적으로 발효방식과 투입되는 원료의 용량은 동일하게 하면서 원료에 있어 현재 가장 널리 이용되고 있는 100% 쌀을 이용하여 제조한 증류주(1단: 쌀 10 kg, 2단: 쌀 18 kg, 입국 2 kg)와 본 시험에서 선발된 혼합잡곡(1단: 쌀 10 kg, 2단: 수수 1 kg, 입국 6.6 kg, 5분도 10 kg, 백미 2.4 kg)을 이용한 증류주의 발효특성 비교 결과는 Fig. 5와 같다. 알코올의 경우 혼합잡곡을 이용한 증류주가 발효기간 전체적으로 약 2.1-3.1% 정도로 높은 알코올을 생성하였으며 산도 역시 혼합잡곡 발효주가 높게 생성되었다. 잔당의 경우 쌀 증류주의 경우 발효 초기에 12.65 mg/mL의 값이 발효 종료시에도 12.43 mg/mL로 큰 변화가 없었으나 잡곡 증류주의 경우 11.45 mg/mL에서 1.34 mg/mL로 거의 완전 발효가 일어난 것을 볼 수 있었다. 쌀 증류주의 경우는 발효기간을 좀 더 길게 하면 환원당의 값이 낮아지면서 알코올의 생성이 늘어날 수는 있지만 발효기간이 길어지는 것과 발효시 생성되는 다양한 휘

발성 향기들이 휘발될 수 있는 단점을 가질 수 있다. 전체적인 관능평가 결과와 종합적인 기호도에서는 혼합잡곡 증류주가 대조구의 6 보다 약간 높은 7의 점수를 얻었으며 향에서도 혼합잡곡 증류주가 7로 대조구인 쌀 증류주 보다 높은 점수를 얻었다. 이것은 앞에서의 실험 결과와 비교해보면 쌀을 100% 이용해 제조한 증류주 보다 약간의 잡곡과 현미 그리고 입국을 이용한 증류주에서 다양한 향미 성분을 느낄 수가 있어서 관능에서도 좋은 점수를 얻은 것으로 판단된다.

증류주의 품질에 있어서 중요한 것 중 하나는 methanol, acetaldehyde과 같은 유해 성분의 함량(5)으로 분석결과는 Table 4(A)와 같다. 그 결과 methanol의 경우 쌀 증류주가 0.40±0.1 ppm이었으며 혼합잡곡 증류주의 경우 0.59±0.16 ppm으로 혼합잡곡 증류주가 0.19 ppm 높았으나 우리나라 주세법에 따르는 일반증류주(데킬라 제외)의 메탄올 규격이 500 mg/L (500 ppm) 이하로 되어 있어(12) 쌀 증류주와 혼합잡곡 증류주 모두 메탄올 함량은 그보다 낮게 검출되었다. 다음은 숙취 유발 물질로 알려져 있는 acetaldehyde의 경우 쌀 증류주의 경우 2.01±0.23 ppm이 검출되었으나 혼합잡곡 증류주는 1.59±0.41 ppm이 검출되어 잡곡 증류주가 낮게 검출되었으며 이것은 시판되는 일반 증류주의 acetaldehyde 평균 9.93 ppm(28) 보다 낮은 것으로 분석되었다.

다음으로 증류식 소주의 중요한 향미 물질인 alcohol류, aldehyde류, ester류, 유기산류, 에스테르 화합물 등은 주로 발효 중에 효모에 의해 생성되며, 또한 증류공정 및 숙성과정의 화학변화에

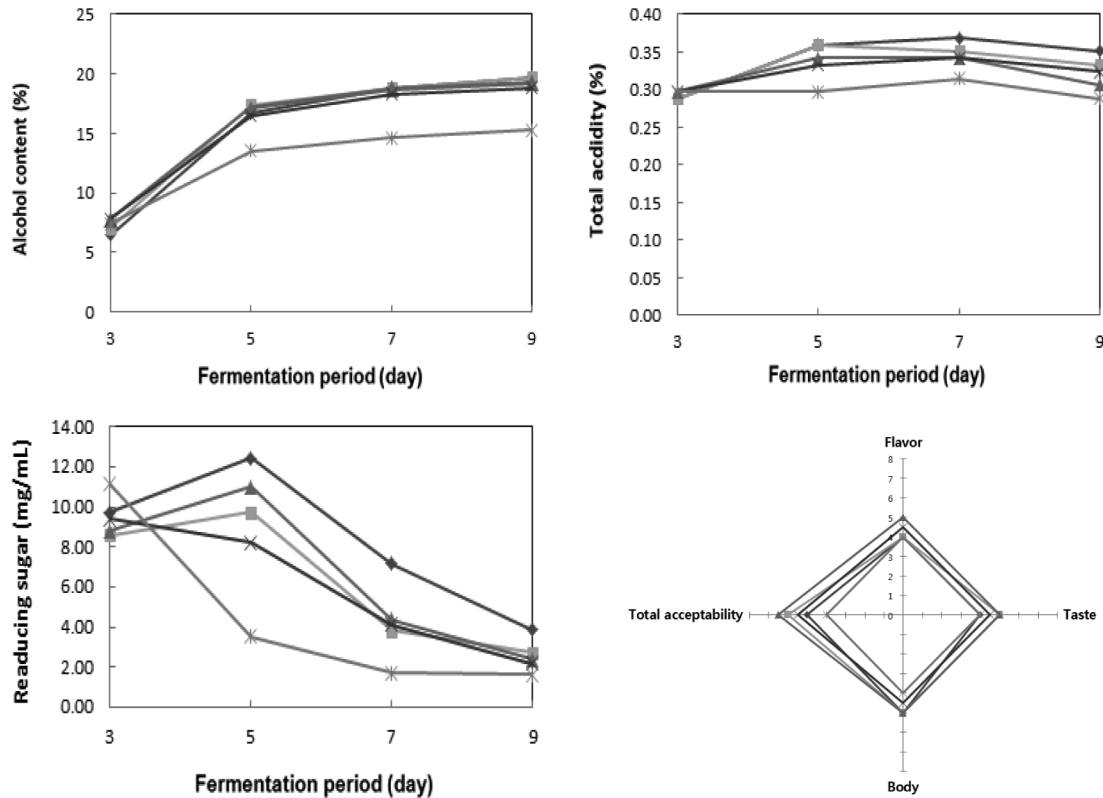


Fig. 4. Changes of alcohol content, total acidity, reducing sugar and QDA profile during fermentation of mash made with unpolished waxy rice with different degrees of milling (DOM). ◆: Control (Rice), ■: DOM 7%, ▲: DOM 5%, ×: DOM 3%, *: Unpolished rice

Table 2. The free sugar content of during fermentation of mash made with addition of rice 5% degrees of milling (mg/mL)

Free sugar	Addition amounts of rice 5% DOM (%)	Fermentation period (day)			
		3	5	7	9
Fructose	70	0.8±0.3 ^a	-	-	-
	60	1.0±0.2 ^a	0.4±0.1 ^a	-	-
	50	0.8±0.3 ^a	0.3±0.1 ^a	-	-
	40	1.1±0.2 ^a	0.3±0.1 ^a	-	-
Maltose	70	1.4±0.2 ^a	0.5±0.2 ^a	-	-
	60	0.3±0.1 ^a	0.5±0.1 ^a	-	-
	50	1.1±0.3 ^a	0.4±0.1 ^a	-	-
	40	1.2±0.2 ^a	0.5±0.1 ^a	-	-
Sucrose	70	2.4±0.3 ^a	1.4±0.1 ^a	-	-
	60	2.5±0.5 ^a	0.6±0.1 ^a	-	-
	50	2.7±0.5 ^a	0.4±0.2 ^a	-	-
	40	2.1±0.4 ^a	0.4±0.3 ^a	-	-
Glucose	70	875.4±11.2 ^{ab}	177.0±18.5 ^a	73.6±5.6 ^b	28.6±3.5 ^c
	60	864.6±15.3 ^b	176.6±26.3 ^a	71.9±6.7 ^b	29.9±9.2 ^c
	50	852.4±14.5 ^b	183.6±29.5 ^a	89.5±8.0 ^a	40.2±5.8 ^b
	40	914.3±20.3 ^a	197.3±10.2 ^a	109.1±11.2 ^a	64.2±11.0 ^a

Each value is expressed as mean±SD (n=3).

^{a-c)}Different letters show significant difference by Duncan's multiple range test at p=0.05.

의해서도 소량 생성된다(29). 특히 증류주의 주된 향기 성분은 상압증류 중 알코올과 유기산, 지방산 등이 에스테르화 반응을 거쳐 대부분 생성되는 ester 화합물이며, 그의 생성은 유기산 및 지방산의 종류, pH, 증류 온도에 의해 영향을 받는다(30).

각각 쌀과 잡곡을 이용한 증류주의 향기성분 분석 결과는 Table 4 (B)와 같다. 두 실험구에서 술의 주성분인 ethyl alcohol을 제외하고는 고급알코올로서 탁주, 맥주, 청주 등에서 중요한 향기 성분으로 평가(31,32)되는 isoamyl alcohol이 두 실험구에서 가장 높

Table 3. The organic acid content of during fermentation of mash made with addition of rice 5% degrees of milling (mg/mL)

Organic acid	Addition amounts of rice 5% DOM (%)	Fermentation period (day)			
		3	5	7	9
Citric acid	70	102.6±8.2 ^c	294.4±25.6 ^a	320.9±10.2 ^a	344.5±14.7 ^a
	60	355.2±10.5 ^a	286.9±14.8 ^a	326.6±16.5 ^a	343.2±21.9 ^a
	50	267.8±15.1 ^b	243.6±17.5 ^a	253.6±15.1 ^b	279.9±18.6 ^b
	40	291.1±8.9 ^b	253.8±21.3 ^a	278.7±21.6 ^b	304.3±23.5 ^{ab}
Malic acid	70	-	1,081.8±105.3 ^a	481.3±25.6 ^d	18.7±1.9 ^c
	60	1,883.7±112.3 ^a	1,178.6±189.0 ^a	527.3±18.3 ^c	28.7±8.9 ^c
	50	1,586.1±53.1 ^c	1,304.3±99.2 ^a	649.1±17.7 ^b	90.2±5.4 ^b
	40	1,140.5±124.9 ^b	1,206.9±182.5 ^a	741.8±31.8 ^a	144.1±10.2 ^a
Succinic acid	70	75.4±5.9 ^d	152.7±14.3 ^c	136.6±11.6 ^c	82.3±10.1 ^c
	60	114.3±10.2 ^c	141.5±10.8 ^c	119.3±19.5 ^c	85.4±9.4 ^c
	50	327.9±18.2 ^a	349.6±15.6 ^a	320.2±25.3 ^a	273.2±11.6 ^a
	40	193.0±14.9 ^b	233.7±20.2 ^b	248.1±9.9 ^b	147.7±14.1 ^b
Lactic acid	70	-	1,163.2±151.1 ^a	1,722.8±124.5 ^{ab}	3,040.5±149.6 ^a
	60	509.5±23.4 ^a	1,238.7±89.4 ^a	1,878.2±215.1 ^a	3,131.8±203.8 ^a
	50	353.1±17.5 ^b	1,058.6±108.1 ^a	1,558.9±102.9 ^b	2,777.5±151.9 ^b
	40	448.9±31.2 ^a	1,178.6±25.9 ^a	1,786.6±133.0 ^a	3,027.8±118.1 ^a
Acetic acid	70	1.5±0.2 ^a	8.0±1.3 ^a	7.5±2.5 ^a	8.7±1.2 ^{bc}
	60	1.5±0.3 ^a	6.8±2.5 ^a	7.0±1.5 ^a	7.3±2.1 ^c
	50	1.9±0.5 ^a	7.8±3.6 ^a	9.1±2.4 ^a	10.6±1.5 ^{ab}
	40	2.2±1.3 ^a	9.7±1.8 ^a	9.9±0.5 ^a	12.6±3.5 ^a

Each value is expressed as mean±SD (n=3).

^{a-d}Different letters show significant difference by Duncan's multiple range test at p=0.05.

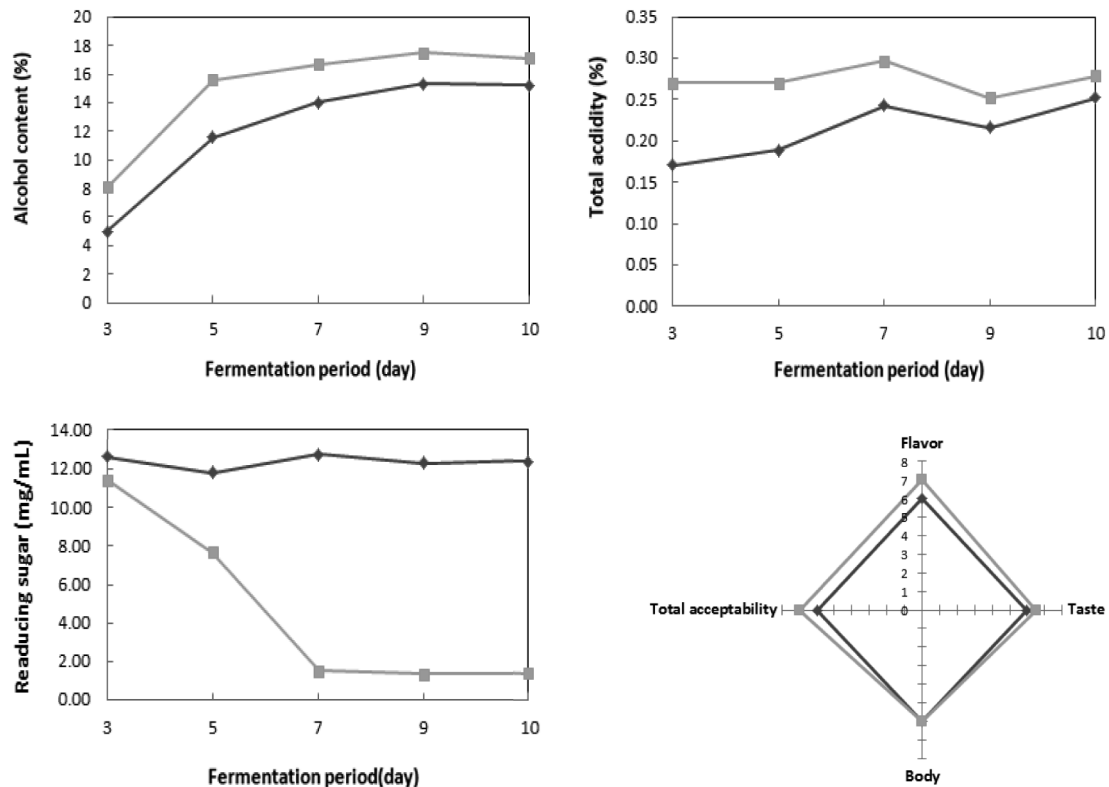


Fig. 5. Changes of alcohol content, total acidity, reducing sugar and QDA profile during fermentation of mash made with rice and mixed grains. ◆: Rice, ■: Mixed grains

Table 4. Acetaldehyde, methanol (A) and volatile compounds (B) in distilled liquor obtained distilling the mash made with rice and mixed grain

(A) Acetaldehyde, methanol (ppm)		
	Methanol	Acetaldehyde
Rice distilled liquor	0.40±0.10	2.01±0.23
Mixed grains distilled liquor	0.59±0.16	1.59±0.41

Each value is expressed as mean±SD ($n=3$).

(B) Volatile compounds			(Relative peak area %)	
NO.	RI	Compound	Rice distilled liquor	Mixed grains distilled liquor
1	<1100	Ethyl alcohol	85.06	83.86
2	<1100	Isobutyl alcohol	-	0.08
3	1205	Isoamyl alcohol	8.62	5.08
4	1424	Ethyl caprylate	0.38	0.06
5	1632	Ethyl caprate	1.46	0.65
6	1811	Acetic acid	0.35	0.21
7	1836	Ethyl laurate	0.85	1.56
8	1854	Isoamyl caprate	0.07	0.09
9	1923	Phenethyl alcohol	0.39	0.64
10	2042	Ethyl myristate	1.25	2.37
11	2257	Ethyl palmitate	1.57	5.29
12	2482	Ethyl oleate	-	0.10
Total			100.00	100.00

게 나타났으며 특히 잠곡 증류주에 많이 함유되어 있는 성분으로 eater중 ethyl laurate, ethyl myristate, ethyl palmitate 그리고 ethyl oleate는 맥주나 청주에서 향기 성분으로 인식되는 ester로 (33) 대부분이 fatty acid ethyl ester (FAEE)의 형태였으며 그 중 부드러운 향을 내는 ethyl palmitate의 %area가 가장 높게 검출되었다.

요 약

본 연구에서는 쌀과 다양한 잠곡 원료를 이용한 증류식 소주의 발효조건 및 증류 품질을 검토하였다. 잠곡 발효주를 제조 후 증류하여 최적 발효조건 및 증류조건 검토 결과 보리 100% 만으로 발효시킨 경우 알코올이 5.6%로 가장 낮게 나타났으며 쌀을 이용한 경우 15.2%로 가장 높게 나타났다. 수수 첨가량을 달리한 실험에서는 대조구로 설정한 수수 무첨가 시료의 경우 알코올이 19.0%로 나타났으며, 수수 첨가량이 증가함에 따라 알코올이 조금씩 감소하였으나 큰 차이를 보이지 않았다. 관능평가 결과에서는 수수 5% 첨가 증류주에서 높은 관능결과를 나타내었다. 입국첨가량에 따른 증류주의 관능평가 결과 입국 7% 첨가 시에 향과 종합적 기호도가 가장 좋았으며 입국첨가량이 증가함에 따라 총 유기산 함량은 증가하는 경향을 보였다. 5분도 쌀 첨가량(40, 50, 60, 70%)에 따른 증류주의 발효특성을 살펴본 결과 알코올과 산도는 첨가량에 따라 큰 차이가 없었으며 주요 유기산은 초기 발효에서는 malic acid와 lactic acid였으나 발효 후기에는 citric acid와 lactic acid로 바뀌었다. 최종적으로 발효방식은 동일하게 하면서 원료에 있어 쌀과 혼합잠곡을 이용한 증류주의 관능평가 결과와 종합적인 기호도에서는 혼합잠곡 증류주가 약간 높은 점수를 얻었으나 향에서는 유의적인 차이가 있을 정도

의 차이를 나타내었다. 향기 성분 분석 결과에서는 부드러운 향을 내는 ethyl palmitate의 %area가 잠곡 증류주에서 높게 검출되었다.

References

- Lee SR. Fermented Foods in Korea. Ewha Womans University Press, Inc., Seoul, Korea. pp. 9-205 (1986)
- In HY, Lee TS, Lee DS, Noh BS. Quality characteristics of soju mashes brewed by Korean traditional method. Korean J. Food Sci. Technol. 27: 134-140 (1995)
- Bae SM, Jung SY, Jung IS, Ko HJ, Kim TY. Effect of the amount of water on the yield and flavor of Korean distilled liquor based on rice and corn starch. J. East Asian Soc. Dietary Life 13: 439-446 (2003)
- Jang JH. History of Korean traditional liquors. Korean J. Dietary Culture. 4: 271-274 (1989)
- FACT institute. Woorisool treasure house. Foundation of Agri. Tech. Commercialization & Transfer Institute, Suwon, Korea (2011)
- Min YK, Yun HS, Jeong HS, Jang YS. Changes in compositions of liquor fractions distilled from *samil-ju* with various distillation conditions. Korean J. Food Sci. Technol. 24: 440-446 (1992)
- Ji IS. Quality of liquor and advanced methods of domestic production whiskey. Liquor Indus. 4: 37-46 (1984)
- Bae SM. Jeungryeski soju jejugisool. Wogok Pub. Co., Seoul, Korea. pp. 166-306 (2001)
- Min YK, Yun HS, Jeong HS. Studies on the distillation operation of *baikha-ju*. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 37: 9-13 (1994)
- Lee DS, Park HS, Kim K, Lee TS, Noh BS. Gas chromatographic and mass spectrometric determination of alcohol homologues in the Korean folk *sojues* (distilled liquor). J. Korean Chem. Soc. 38: 640-652 (1994)
- Bae SM. Meokeul su itneun modeungeoteun soolyidoenda. Wogok Pub Co., Seoul, Korea. pp. 9-109 (2006)
- Technical Service Institute, National Tax Service Administration. Textbook of alcoholic beverage-making. Technical Service Institute, National Tax Service Administration. Seoul, Korea. pp. 77-82 (1997)
- Lee DH, Kim JH, Lee JS. Effect of pears on the quality and physiological functionality of *makgeoly*. Korean J. Food Nutr. 22: 606-611 (2009)
- Zoecklein B, Fugelsang KC, Gumo BH, Nury FS. Wine Analysis and Production, Chapman & Hall, New York, NY, USA. pp. 370-372, 426-428 (1995)
- Kwon YH, Lee AR, Kim HR, Kim JH, Ahn BH. Quality properties of *makgeolli* brewed with various rice and *koji*. Korean J. Food Sci. Technol. 45: 70-76 (2013)
- Kim HR, Lee AR, Kwon YH, Lee HJ, Jo SJ, Kim JH, Ahn BH. Physicochemical characteristics and volatile compounds of glutinous rice wines depending on the milling degrees. Korean J. Food Sci. Technol. 42: 75-81 (2010)
- Lee JS, Lee TS, Noh BS, Park SO. Quality characteristics of mash of *takju* prepared by different raw materials. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 330-336 (1996)
- Technical Service Institute, National Tax Service Administration. Alcoholic liquors quality technic of field. Technical Service Institute, National Tax Service Administration. Seoul, Korea. pp. 117-208 (2008)
- Kim IH, Park WS, Koo YJ. Comparison of fermentation characteristics of Korean traditional alcoholic beverage with different input step and treatment of rice and *nuruk* (Korean-style bran *koji*). Korean J. Dietary Culture 11: 339-348 (1996)
- 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 *nuruks*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41: 1785-1791 (2012)
- Woo KS, Ko JY, Song SB, Lee JS, Oh BG, Kang JR, Nam MH, Ryu IS, Jeong HS, Seo MC. Physicochemical characteristics of Korean traditional wines prepared by addition of sorghum (*Sor-*

- ghum bicolor* L. Moench) using different *nuruks*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 39: 548-553 (2010)
22. Lee JS, Lee TS, Park SO, Noh BS. Flavor components in mash of *takju* prepared by different raw materials. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 316-323 (1996)
 23. Kim CJ, Kim KC, Kim DY, Oh MJ, Lee SK, Lee SO, Chung ST, Chung JH. Balhyo gonghak. Sunjinmunwhasa, Seoul, Korea. pp. 79-103 (1990)
 24. So MH, Lee YS, Noh WS. Changes in microorganism and main components during *takju* brewing by a modified *nuruk*. Korean J. Food Nutr. 12: 226-232 (1999)
 25. Baek CH, Chol JH, Choi HS, Jeong ST, Kim JH, Jeong YJ, Yeo SH. Quality characteristics of brown rice *makgeolli* produced under differing conditions. Korean J. Microbiol. Biotechnol. 41: 168-175 (2013)
 26. 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)
 27. Ito K, Yoshida K, Ishikawa T, Kobayashi S. Volatile compounds produced by the fungus *Aspergillus oryzae* in rice *koji* and their changes during cultivation. J. Ferment. Bioeng. 70: 169-172 (1990)
 28. Park YS, Lee YJ, Lee KT. Analysis of formaldehyde and acetaldehyde in alcoholic beverage. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 35: 1412-1419 (2006)
 29. Yoshida K, Inahashi M, Nakamura K, Akiyama H, Nojima K. Breeding of yeast strains having high malic acid-producing and low succinic acid-producing abilities. J. Brew. Soc. Japan 89: 647-652 (1994)
 30. Ryu LH, Kim YM. Esterification of alcohols with organic acids during distilled spirit distillation. Korean J. Food Nutr. 15: 295-299 (2002)
 31. Lee TS, Choi JY. Volatile flavor components in *takju* fermented with mashed glutinous rice and barley rice. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 638-643 (1998)
 32. Lee HS, Lee TS, Noh BS. Volatile flavor components in the mashes of *takju* prepared using different yeasts. Korean J. Food Sci. Technol. 39: 593-599 (2007)
 33. Kwon YH, JO SJ, Kim HR, Kim JH, Ahn BH. Fermentation characteristics and volatile compounds in *yakju* made with various brewing conditions; glutinous rice and pre-treatment. Korean J. Microbiol. Biotechnol. 38: 46-52 (2010)