



Research Article

Effect of rice cultivars on the fermentation characteristics and aroma profile of distilled *soju* using N9 yeast

N9 효모를 이용한 쌀 품종별 증류 소주의 발효 특성 및 향기 성분 분석

Bo-Ram Kim¹, Hyun-Ho Kang², Chan-Woo Kim¹, Ji-Ho Choi¹, In-Seo Hwang¹, Ji-Eun Kang^{3*}

김보람¹ · 강현호² · 김찬우¹ · 최지호¹ · 황인서¹ · 강지은^{3*}

¹Fermented and Processed Food Science Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Department of World Brewing and Distilling, Daekyeung University, Gyeongsan 38547, Korea

³Technology Service Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

¹농촌진흥청 국립농업과학원 발효가공식품과, ²대경대학교 세계주류양조과,

³농촌진흥청 국립농업과학원 기술지원과

Abstract This study aimed to investigate the fermentation performance and quality characteristics of distilled *soju* produced from various rice cultivars using *Saccharomyces cerevisiae* N9 yeast. The rice cultivars included high-yield varieties such as *Samkwang* (SK, control), *Shindongjin* (SDJ), *Baromi2* (BRM2), *Guemgang-1* (GG-1), *Hanareum-4* (HAR-4), *Chohong* (CH), *Saemimyeon* (SMM), *Mirchal* (MRC), *Irumi* (IRM), and *Migam* (MG). The fermentation results showed that the high-amylose SMM exhibited significantly lower CO₂ production and alcohol content (16.57%), indicating its unsuitability for distilled *soju* production. The pH, total acid, and amino acid content were similar among the rice cultivars. However, volatile acid content was comparatively higher in the SDJ and SMM cultivars. Organic acid composition revealed that succinic acid, citric acid, and lactic acid were the predominant components contributing to ester compound formation. Distilled *soju* made from the SDJ, IRM, and MG cultivars exhibited higher organic acid levels, enhancing ester production. Sensory evaluation indicated that distilled *soju* made from SDJ, with the highest ethyl acetate concentration, scored the highest in aroma and overall preference. This result is likely due to the positive contribution of ester aroma compounds to the sensory profile. In contrast, SMM was found to be unsuitable for distilled *soju* production. The SDJ cultivar showed superior fermentation efficiency, higher volatile aroma compound formation, and greater consumer preference, making it suitable for producing distilled *soju*.

Keywords rice cultivars, distilled *soju*, *Saccharomyces cerevisiae* N9 yeast, fermentation, physicochemical properties



OPEN ACCESS

Citation: Kim BR, Kang HH, Kim CW, Choi JH, Hwang IS, Kang JE. Effect of rice cultivars on the fermentation characteristics and aroma profile of distilled *soju* using N9 yeast. Food Sci. Preserv., 31(6), 1010-1019 (2024)

Received: November 05, 2024

Revised: November 21, 2024

Accepted: November 26, 2024

***Corresponding author**

Ji-Eun Kang

Tel: +82-63-238-2311

E-mail: kje0516@korea.kr

Copyright © 2024 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

소주는 곡류와 발효제를 사용하여 만들어진 술덧을 증류한 것으로, 단식 증류기로 증류하여 만든 증류식 소주와 연속식 증류로 제조한 주정을 물로 희석하여 만든 희석식 소주로 나눌 수 있다(Jee 등, 2008). 그 중 증류식 소주의 소비량은 2021년 기준 2,567 kL로 지난 10년간 3.7배 상승하였으며, 최근 프리미엄 주류에 대한 관심과 흡술 문화가 확산되는 등 증류식 소주의 시장이 더욱 성장할 것으로 예측된다(Kim 등, 2022a; Kwon 등, 2023a). 또한 증류식 소주는 국내 농산물을 사용하여

제조하는데 주로 찹쌀, 멥쌀, 밀, 보리 등이 사용되며, 증류식 소주의 산업 활성화는 국내 농산물의 소비 확대 및 농가소득 증가로 이어질 수 있다(Kwon 등, 2023b; Lee 등, 2012).

쌀(*Oryza sativa* L.)은 전 세계 인구의 60% 이상이 주식으로 사용하고 있는 중요한 식량자원이다. 우리나라 쌀 산업은 국내의 식품 소비 형태가 다양해지고 서구화, 간편화가 되어 가면서 쌀의 소비 감소로 인한 어려움을 겪고 있어 정부에서는 이에 대한 다양한 정책을 추진하고 있다. 쌀의 소비를 증가시키기 위해서는 쌀의 가공률을 높이고 그 품종에 적합한 가공식품 개발을 하여 쌀의 용도를 다양화하는 동시에 부가가치를 향상하는 것이 필요하다(Chu 등, 2023; Huh 등, 2012; Jo 등, 2020). Won과 Oh(2014)에서 국내 가공 쌀 시장 규모를 보면 떡을 제조하는데 가장 많이 이용되고 있고, 뒤이어 주류를 제조하는데 이용된다고 보고하였다. 특히 주류 제조에 사용되는 쌀 소비는 다른 쌀 가공품에 비해 부가가치가 높아 농가의 소득 증대에 기여하는 바가 크며, 그 중 증류식 소주는 우리나라 전통 증류주로 잘 알려져 있다(Kim과 Lee, 2019). 현재까지 쌀을 이용하여 제조한 증류식 소주에 대한 연구는 증류 방법에 따른 특성 차이(Yi 등, 2010), 효모에 따른 양조 특성(Choi 등, 2017), 숙성 용기 및 기간에 따른 특성(Kang 등, 2017) 등이 이루어졌지만 고품질의 증류식 소주를 제조하기 위한 쌀 품종별 발효 및 품종 특성 연구는 부족한 실정이다.

증류식 소주는 술덧의 제조, 증류, 숙성의 단계로 나누어져 있으며, 증류와 숙성 과정에서 술덧의 당분, 유기산, 알코올, 향기 성분 등에 따라 증류주의 향미에 다양한 변화가 나타나므로 이에 맞춰 술덧이 제조되어야 한다(Choi 등, 2014; In 등, 1995). 또한, 술덧의 유기산 함량은 발효 과정에서 생성되는 다양한 알코올과 결합하여 ester와 같은 향기 성분으로 전환되어 증류주의 다양한 향기 성분으로 작용한다(Chung, 2015). 생성된 유기산에 따라 증류주의 휘발성 향기 성분은 다양해질 수 있으며, 증류주의 품질에서는 휘발성 향기 성분의 분석 자료가 매우 중요한 객관적 지표가 된다. 또한, 주관적 관능검사에 의존하여 맛과 향의 평가도 이루어지고 있다(Lee 등, 2014). Lee 등(2013a)에 따르면 양조용으로써 갖추어야 할 쌀의 일반 특성은 원가절감을 위해 높은 수량성과 재배 안정성이 있어야 한다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 다수확 품종 쌀인 삼광, 신동진, 바로미2, 금강 1호, 한아름4호, 초홍, 새미면, 미르찰, 이루미, 미감을 사용하여 품종별 증류주 술덧과 상압 증류 방법을 이용한 증류식 소주의 품질 특성에 대한 정보를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

쌀은 시중에 판매되는 삼광, 신동진, 바로미2와 국립식량과

학원에서 제공한 다수확 품종인 금강 1호, 한아름 4호, 초홍, 새미면, 미르찰, 이루미, 미감 품종으로 총 10종을 사용하였으며, 대조구는 삼광으로 하였다. 백국균(*Aspergillus luchuensis*)을 사용하여 제조한 쌀 입국은 (주)안동전통발효(Andong, Korea)에서 구입하였으며, *Saccharomyces cerevisiae* N9(KACC93234P) 효모는 주식회사 (주)수원발효(Hwaseong, Korea)에서 구입하였으며, 정제효소는 (주)바이오랜드(Ansan, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

2.2. 증류주 술덧 제조

증류주 술덧 제조를 위한 발효 방법은 다음과 같다. 이 때, 입국과 증자미의 수분함량을 고려하여 급수량을 170%에서 조절하였다. 먼저 밀술 제조는 입국 5.65 g과 물 4.35 g, N9 효모 0.4 g을 사용하여 발효조에 넣어 48시간 동안 25°C에서 발효시켰다. 1단 담금은 각 쌀 품종 141.67 g을 깨끗하게 씻어 2시간 동안 수침한 다음, 30분 동안 물빼기를 수행하였다. 쌀을 증자기(MS-30, Yaegaki Food & System Inc., Himeji, Japan)에 넣고 김이 올라오기 시작한 후부터 50분 동안 증자하고 30분 방냉하여 고두밥을 제조하였다. 여기에 고두밥 185.01 g, 입국 50.87 g, 물 239.13 g, 정제효소 0.5 g을 넣어 25°C에서 48시간 동안 발효시켰다. 2단 담금은 먼저 만들어진 밀술과 1단 담금에 쌀 품종별 358.33 g을 사용하여 증자한 고두밥 467.97 g, 물 490.36 g을 넣어 10일 동안 발효시켜 소주 제조에 필요한 술덧을 제조하였다. 술덧은 1일 1회 교반하면서 무게를 측정하여, 무게 감소량(g)으로 술덧 내 효모의 CO₂ 생성량을 추정하여 나타냈다. 이후 분석 및 증류를 위해 원심분리기(CR 22GIII, Hitachi, Co., Tokyo, Japan)로 5,488 ×g에서 10분간 원심분리한 상등액을 Whatman No.2 filter를 사용하여 여과하였다.

2.3. 증류식 소주 제조

쌀 품종별 발효한 술덧의 상등액을 3 L 용량의 삼각 플라스크에 넣고 냉각관을 이용하여 상압 단식 증류법으로 증류하였다. 증류 분획은 초류는 전체 술덧의 1%의 양을 받았으며, 본류는 전체 술덧의 40% 양의 증류 원액이 받아들일 때까지 진행하였다. 본 실험에서는 본류만 사용하였으며, 증류액은 유리병에 담아 4°C에서 보관하였다가 1개월 후 정수로 알코올 함량이 25%가 되게 희석하여 소주를 제조하였다.

2.4. 증류주 술덧의 이화학 성분 분석

알코올, pH, 총산, 휘발산, 아미노산 함량은 국세청 주류 분석 규정에 의하여 측정하였다(National Tax Service, 2020).

알코올 함량을 측정하기 위해 각 시료 100 mL에 증류수 60 mL를 혼합하여 증류하였다. 증류액 약 80 mL를 받고 증류수로 100 mL까지 정용한 후 증류액을 15°C로 조정하여 알코올

분석기(DA-155, KEM, Co., Ltd., Kyoto, Japan)를 이용하여 측정하였다. pH는 pH meter(Orion 3-Star, Thermo Scientific Co., Waltham, MA, USA)로 측정하였으며, 총산은 시료 10 mL를 중화시키는 데 필요한 0.1 N NaOH 용액이 소비된 mL 수를 acetic acid로 적정한 값으로 환산하였다. 아미노산 함량은 총산을 측정한 시료에 중성 포르말린 용액 5 mL를 첨가한 다음 0.1 N NaOH로 적정하여 pH 8.2가 될 때까지 필요한 0.1 N NaOH 용액이 소비된 mL 수를 glycine으로 환산하여 나타내었으며, 휘발산은 알코올 함량 측정을 위해 증류한 시료 30 mL를 0.01 N NaOH로 pH 8.2가 될 때까지 적정한 값을 acetic acid 함량으로 환산하여 계산하였다.

가용성 고형분 함량은 굴절당도계(Atago Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 환원당 함량은 Kim 등(2022b)의 방법에 따라 DNS(dinitrosalicylic acid)법을 이용하여 분석하였다. 희석한 시료 0.2 mL를 DNS 시약 0.6 mL를 넣고 끓는 물에 5분 동안 중탕하였다. 중탕한 후, 냉각하여 증류수 4.2 mL를 넣고 분광광도계(Cary 60 UV-Vis, Agilent Co., Santa Clara, CA, USA)로 550 nm에서 측정하여 glucose 함량으로 표준 검량선을 이용하여 g/100 mL로 표시하였다.

2.5. 증류주 술덧의 유기산 함량 분석

증류주 술덧의 유기산 함량은 pump 2개로 구성된 HPLC(LC-20AD, Shimadzu Co, Kyoto, Japan)를 이용하여 post column 방법으로 분석하였다. 유기산 분석용 column은 TSKgel ODS-100V(4.6×250.0 mm)로 사용하여 분석하였다. Pump A의 이동상은 8 mM perchloric acid를 이용하였으며 injection volume은 10 µL, flow rate는 1 mL/min, column oven의 온도는 40°C로 하였다. Column을 통과해 나온 분리물은 pump B의 이동상(0.2 mM Bromothymol blue, 15 mM Na₂HPO₄, 7 mM NaOH)과 반응하여 UV 440 nm에서 검출하였다. 이때 pump B의 flow rate는 1.0 mL/min로 하였다. 시료는 여과(0.2 µm, Millipore, Co., Cork, Ireland) 후 사용하였다.

2.6. 증류식 소주의 휘발성 향기 성분

증류식 소주의 향기 성분 분석을 위해 증류주 술덧을 증류 후, 알코올 함량을 25%로 동일하게 제정한 다음, 한 달동안 냉장 온도에서 숙성시킨 후 진행하였다. 증류액 10 mL에 dichloromethane(Sigma Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 2 mL를 첨가하여 하층액을 회수하여 0.2 µm syringe filter(Millipore, Co.)로 여과하였다.

휘발성 향기 성분은 Kwon 등(2023a)에 따라 gas chromatography(Nexis GC-2030, Shimadzu Co.)를 사용하여 분석하였다. 분석용 column은 fused silica capillary 30×0.32 mm film thickness(NukolTM, Supelco. Co., Bellefonte, PA, USA)를

사용하였다. Column의 온도는 50°C에서 5분, 분당 3°C씩 승온하여 200°C에서 5분으로 설정하였다. Carrier gas인 N₂의 유속은 24.2 cm/sec, split ratio 20:1로 설정하였다. Injector의 온도는 250°C, detector는 FID를 사용하였으며 온도는 280°C로 하였고, 정량은 외표준 방법으로 사용하였다.

2.7. 증류식 소주의 관능평가

쌀 품종별로 제조한 증류식 소주의 관능평가를 위하여 증류식 소주 관능평가 경험이 있으며, 알코올을 섭취해도 무관한 국립농업과학원 연구원 20명을 선발하여 진행하였다. 알코올 농도가 25%로 조절된 증류식 소주를 시료로 사용하여 소비자 기호도 조사와 특성 강도 평가를 진행하였다. 소비자 기호도 조사는 9점 척도로 외관, 향, 맛, 전반적인 기호도를 조사하였으며, 특성 강도 조사에서는 7점 척도로 알코올향, 과일향, 꽃향, 아세톤향, 탄내, 구수한향, 단향, 신향, 쓴맛, 단맛, 감칠맛, 신맛, 화한느낌, 떫은 정도를 평가하였다. 본 연구는 국립농업과학원 생명윤리위원회(HR-202309-01)로부터 승인을 받아 진행하였다.

2.8. 통계 분석

통계 분석은 각 분석항목에 대하여 3회 반복 측정하였고, 모든 결과는 Mean±SD로 표시하였다. 각 시료 간에 유의적인 차이가 있는지 알아보기 위해 일원배치 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 실시한 후 시료 간 차이가 있는 경우 Duncan's multiple range test로 사후 검정을 유의수준 5% 수준에서 검증하였다. 통계 분석은 XLSTAT(Addinsoft, Paris, France)를 이용하였다. 휘발성 향기 성분의 히트맵 분석은 MetaboAnalyst(<https://www.metaboanalyst.ca>)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 증류주 술덧의 발효 특성 및 알코올 특성

쌀 품종별 증류주 술덧의 발효 특성은 Fig. 1에 나타냈으며, 알코올 함량 결과는 Table 1과 같다. 발효 중 CO₂ 생성량은 쌀 품종별 술덧 간 큰 차이는 없었으나, 새미면을 사용하여 제조한 술덧의 CO₂ 생성량은 다른 품종들에 비해 약 1.3배 정도 감소한 것을 알 수 있었다. 대부분의 쌀 품종별 증류주 술덧의 알코올 함량은 18-19%대로 대조구인 삼광(Jeong, 2017)으로 제조한 증류주 술덧과 유사하게 나타났으나, 새미면을 사용하여 제조한 증류주 술덧은 16.57%로 현저히 떨어지는 알코올 함량을 나타냈다. 이는 Fig. 1과 동일한 경향을 나타냈는데, 새미면은 쌀면 전용 쌀로써 아밀로스 함량이 26.7%(Cho 등, 2018)이며, 고아밀로스 품종의 기준은 아밀로스 함량이 25% 이상이므로 새미면은 고아밀로스 품종으로 알려져 있다. 고아밀로스 품종은(Sim

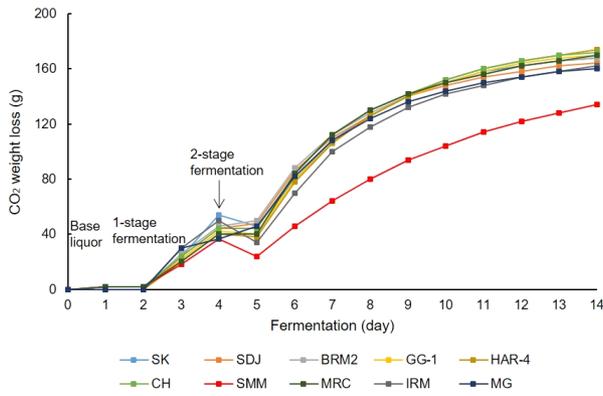


Fig. 1. CO₂ emission and fermentation efficiency by weight analysis. SK, Samkwang; SDJ, Shindongjin; BRM2, Baromi2; GG-1, Guemgang-1; HAR-4, Hanareum-4; CH, Chohong; MRC, Mirchal; IRM, Irumi; MG, Migam.

등, 2015) 전분 입자들이 밀집된 상태로 되어 있어 호화 시 팽창에 대한 저항성이 높아진다. 효소에 의해 전분 분해가 이루어지기 위한 과정인 증자 단계 중에 호화가 잘 이루어지지 않아 알코올 발효 과정이 충분히 일어나지 않은 것으로 사료된다(Choi, 2010; Kwak 등, 2014). 따라서 발효 특성을 고려해보았을 때, 새미면 품종은 양조용으로 다소 적합하지 않다고 판단된다.

3.2. 증류주 술덧의 pH, 총산, 아미노산 및 휘발산 함량

pH, 총산, 아미노산 함량 및 휘발산 함량은 Table 1에 나타났다. pH는 4.34-4.76, 총산 함량은 0.19-0.22%, 아미노산 함량

은 0.20-0.31% 범위로 모두 품종 간 유사한 값을 보였다. pH는 발효 중 생성되는 다양한 유기산의 종류와 농도 등에 영향을 받아 발효 진행 상황을 예측할 수 있는 지표이며, 총산 함량은 원료에 함유되어 있는 유기산이 주로 관여하고, 발효 과정에서 유산균 또는 효모에 의해서 생성되는 유기산에 의해서도 총산 함량이 달라진다. 아미노산은 발효주와 같은 술덧의 맛에 관여하는 중요한 요소로 작용하며 아미노산의 함량이 높으면 퓨젤 유 함량을 증가시키는 원인이 되기도 한다. pH, 총산 함량 및 아미노산 함량은 Lee 등(2013b)의 연구에서 보고한 증류식 소주 술덧의 이화학적 특성과 유사한 결과를 나타냈다. 보통 술덧의 pH 범위는 4.0-4.6으로 알려져 있는데, 본 연구결과 쌀 품종 별로 제조한 술덧의 pH가 모두 범위 안에 분포되어 있었으며, 총산 함량은 술 품질 인증 기준인 0.5% 이하였기에 모든 술덧이 정상 발효가 진행되어 증류식 소주를 제조하기 적합한 술덧임을 알 수 있었다(Lee 등, 2012; Lee 등, 2013b).

술덧에 포함된 휘발산은 주로 초산이며, 휘발산 함량이 많은 것은 발효 또는 숙성 기간 중에 초산균에 의해 이상발효가 진행된 것을 나타낸다. 따라서 식초 냄새와 같은 불쾌취를 내기 때문에 기호성에 좋지 않은 성분을 나타냄으로써 휘발산의 생성을 억제할 필요성을 지닌다(Kim 등, 2017). 국내 시판 막걸리는 대부분 21.4-121.0 mg/L 정도의 휘발산 함량의 분포를 보여 일반적인 막걸리에서 생성될 수 있는 휘발산 함량이라고 볼 수 있다(Kang 등, 2014). 본 연구에서는 71.80-205.10 mg/L로 나타나 품종별 큰 차이를 보였다. 대조구인 삼광으로 제조한 증류주 술덧보다 높은 휘발산 함량을 나타낸 술덧은 신동진, 금강 1호, 새미면 품종으로 제조한 증류주 술덧이었으며, 시판 막걸

Table 1. Physicochemical characteristics of distilled spirits mash fermented using various rice cultivars

	Alcohol ^{***2)} (%)	pH ^{***}	Total acid ^{***} (% Acetic acid)	Amino acid ^{***} (% glycine)	Volatile acid ^{***} (mg/L, acetic acid)	Soluble solid ^{***} (°Brix)	Reducing sugar ^{***} (% g/100 mL)
SK ¹⁾	19.13±0.55 ^{ab3)}	4.49±0.01 ^c	0.22±0.00 ^b	0.23±0.00 ^d	126.00±0.52 ^d	12.30±0.17 ^c	0.70±0.05 ^b
SDJ	18.80±0.20 ^{abc}	4.73±0.01 ^a	0.19±0.00 ^f	0.30±0.01 ^b	205.10±1.21 ^a	13.00±0.17 ^a	0.70±0.02 ^b
BRM2	18.70±0.26 ^{bc}	4.63±0.04 ^b	0.20±0.00 ^e	0.26±0.00 ^c	86.20±0.46 ^{gh}	10.90±0.17 ^c	0.07±0.00 ^b
GG-1	19.13±0.21 ^{ab}	4.59±0.02 ^{bc}	0.21±0.00 ^c	0.23±0.00 ^{def}	135.70±2.00 ^c	12.43±0.25 ^{bc}	0.38±0.04 ^d
HAR-4	18.83±0.29 ^{abc}	4.54±0.03 ^d	0.22±0.00 ^b	0.23±0.00 ^{de}	103.90±0.92 ^f	12.50±0.36 ^{bc}	0.12±0.04 ^{gh}
CH	18.40±0.35 ^c	4.76±0.02 ^a	0.19±0.00 ^e	0.31±0.09 ^a	111.80±0.69 ^c	12.70±0.00 ^b	0.16±0.04 ^g
SMM	16.57±0.40 ^d	4.34±0.02 ^f	0.23±0.00 ^a	0.22±0.00 ^{ef}	198.20±1.95 ^b	9.50±0.10 ^f	0.24±0.00 ^f
MRC	18.77±0.49 ^{abc}	4.54±0.02 ^d	0.21±0.01 ^{de}	0.22±0.00 ^f	83.70±1.56 ^h	11.50±0.10 ^d	0.31±0.01 ^c
IRM	19.37±0.06 ^a	4.61±0.00 ^b	0.21±0.00 ^{cd}	0.20±0.00 ^e	87.90±1.08 ^e	11.50±0.00 ^d	0.45±0.04 ^c
MG	19.33±0.12 ^{ab}	4.57±0.02 ^{cd}	0.23±0.00 ^a	0.26±0.00 ^c	71.80±3.08 ⁱ	12.43±0.06 ^{bc}	0.98±0.03 ^a

¹⁾SK, Samkwang; SDJ, Shindongjin; BRM2, Baromi2; GG-1, Guemgang-1; HAR-4, Hanareum-4; CH, Chohong; SMM, Saemimyeon; MRC, Mirchal; IRM, Irumi; MG, Migam.

²⁾***Significantly differ at p<0.001.

³⁾Values are mean±SD (n=3). Different superscript letters within a column indicate significant differences at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

리보다 현저히 높은 휘발산 함량을 가진 술덧의 쌀 품종은 신동진(205.10 mg/L)과 새미면(198.20 mg/L)으로 나타났다. 알코올 함량이 높을수록 초산균의 생육을 억제할 수 있는데(Jeong 등, 2013), 특히 새미면을 사용하여 제조한 술덧의 휘발산 함량이 다른 술덧에 비해 비교적 높게 나온 것은 알코올 함량이 낮아 acetic acid의 활성도가 높아졌기 때문이라고 판단된다. 따라서 새미면과 신동진을 사용하여 제조한 술덧은 품질 및 소비자 기호성에 부정적인 영향을 끼칠 수 있지만, 증류 과정에서 이러한 영향을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

3.3. 증류주 술덧의 가용성 고형분 및 환원당 함량

쌀 품종별 제조한 증류주 술덧의 가용성 고형분 함량은 9.50-13.00 °Brix를 나타냈으며, 새미면을 사용하여 제조한 술덧이 가장 낮은 9.50 °Brix, 신동진을 사용하여 제조한 술덧이 가장 높은 13.00 °Brix를 나타냈다(Table 1). 가용성 고형분은 발효 정도를 확인할 수 있는 성분이며 당류를 포함하여 술의 단맛에 영향을 끼쳐 발효주의 특성으로써 중요하지만, 증류주의 경우에는 고형분 함량이 높으면 증류주의 수율이 낮아지거나, 가열 취를 유발하여 품질에 부정적인 영향을 끼치는 furfural의 생성을 촉진할 수 있다(Lee 등, 2022). 하지만 본 연구에서 나타난 가용성 고형분의 함량은 Kwak 등(2015)의 연구에서 보고한 증류주 술덧의 가용성 고형분 함량(13.5-14.3 °Brix)보다도 적은 함량을 나타내, 품질에 부정적인 영향을 끼치는 것이 적을 것으로 사료된다.

환원당의 함량은 0.07-0.98%로 바로미2를 사용하여 제조한

증류주 술덧이 가장 낮은 함량을 나타냈으며, 미감을 사용하여 제조한 증류주 술덧이 가장 높은 환원당 함량을 나타냈다. 하지만 시판 효모를 사용하여 제조한 술덧(Choi 등, 2018)의 결과와 마찬가지로 환원당 함량은 모두 1% 미만이었기 때문에 환원당 이용이 원활하게 되어 모든 술덧이 발효가 잘 진행된 것으로 보여진다.

3.4. 증류주 술덧의 유기산 함량

증류주 술덧의 유기산 함량은 Table 2에 나타났다. 함량이 높게 나타난 주요 세 가지 유기산은 succinic acid, citric acid, lactic acid 순으로 나타났다. 주요 세 가지 유기산은 비교적 분자량이 큰 높은 비점 유기산 증류로써 증류주로 이행되지는 않지만 술덧의 pH를 낮춰 발효 과정 중 잡균의 오염을 방지하고 증류 과정 중 ester 화합물 생성을 촉진시켜 flavor 생성을 돕는 것으로 알려져 있다(Choi 등, 2014). 다음으로 acetic acid, malic acid 순으로 나타났다.

Succinic acid의 함량은 22.96-75.42 mg/100 mL 범위에 분포되어 있으며 특히, 이루미와 미감 품종으로 제조한 술덧의 succinic acid 함량이 현저히 높았다. 술덧의 주요 유기산으로는 succinic acid와 lactic acid으로 보고 되었으며(Choi 등, 2018), succinic acid가 모든 술덧에 다른 유기산에 비해 많이 함유되어 있어 술덧에서 측정되는 산도는 주로 succinic acid에 의한 것으로 보인다. Citric acid 함량은 11.86-49.63 mg/100 mL의 범위를 나타냈으며, citric acid는 입국 제조 시 *Asp. luchuensis*에 의해 생산이 되기 때문에 높은 citric acid 함량이 측정된 것으

Table 2. Organic acid contents of distilled spirits mash fermented using various rice cultivars

	Organic acids (mg/100 mL)				
	Malic ^{***2)}	Lactic ^{***}	Acetic ^{***}	Citric ^{***}	Succinic ^{***}
SK ¹⁾	11.78±1.88 ^{de3)}	13.21±2.03 ^{cf}	12.23±2.35 ^d	18.25±2.13 ^{cd}	28.28±4.40 ^c
SDJ	16.61±1.72 ^c	39.12±2.90 ^a	33.38±2.50 ^a	28.87±7.94 ^{bc}	37.06±2.30 ^d
BRM2	17.68±1.94 ^c	25.49±2.88 ^c	14.96±3.22 ^{cd}	26.93±1.96 ^{bc}	53.49±4.01 ^c
GG-1	17.89±2.22 ^c	19.06±1.72 ^d	20.14±2.59 ^{bc}	26.89±2.75 ^{bc}	42.80±1.98 ^d
HAR-4	14.42±2.73 ^{cd}	15.54±3.25 ^{dc}	15.07±3.70 ^{cd}	21.13±6.82 ^{cd}	35.48±9.56 ^d
CH	16.93±3.88 ^c	24.72±2.34 ^c	22.77±4.34 ^b	27.00±4.15 ^{bc}	36.87±2.98 ^d
SMM	11.90±0.64 ^{de}	10.68±1.02 ^f	14.42±1.65 ^d	11.86±1.76 ^d	23.23±0.68 ^c
MRC	9.63±0.89 ^e	14.08±1.05 ^{cf}	9.69±1.81 ^d	17.60±1.58 ^{cd}	22.96±1.42 ^c
IRM	29.65±3.81 ^a	39.15±3.38 ^a	25.70±3.51 ^b	33.00±11.45 ^b	75.42±3.63 ^a
MG	25.03±3.75 ^b	34.24±2.78 ^b	22.51±3.75 ^b	49.63±7.94 ^a	66.68±4.06 ^b

¹⁾SK, Samkwang; SDJ, Shindongjin; BRM2, Baromi2; GG-1, Guemgang-1; HAR-4, Hanareum-4; CH, Chohong; SMM, Saemimyeon; MRC, Mirchal; IRM, Irumi; MG, Migam.

²⁾***Significantly differ at $p < 0.001$.

³⁾Values are mean±SD (n=3). Different superscript letters within a column indicate significant differences at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

로 사료된다(Lee 등, 2017). Lactic acid는 10.68-39.15 mg/100 mL 범위를 나타냈으며, 알코올 발효 시 *Lactobacillus* sp.와 같은 특정 유산균에 의해 malo-lactic fermentation(MLF)라는 과정이 일어나 malic acid가 lactic acid로 전환된다(Kim 등, 2020). 따라서 모든 술덧에서 malic acid가 가장 적게 검출된 것은 대부분의 malic acid가 lactic acid로 전환되었다는 것을 알 수 있었다. Citric acid와 lactic acid는 산도를 감소시켜주며 주질의 부드러움과 입에서 느껴지는 촉감을 강화시켜 주며 풍미를 개선하며 발효 중 미생물학적 안전성을 높여준다고 알려져 있다(Choi 등, 2022a). 새미면 품종을 사용하여 제조한 술덧이 citric acid와 lactic acid의 함량이 가장 낮게 나타났으며 citric acid는 미감 품종, lactic acid는 신동진과 이루미 품종으로 제조한 술덧이 높은 함량을 나타냈다. Acetic acid는 9.69-33.38 mg/100 mL의 범위를 나타냈다. 신동진 품종으로 제조한 술덧이 가장 높은 acetic acid 함량을 나타냈는데, 이는 acetic acid로 환산한 휘발산 함량에서도 동일한 결과를 나타냈다. Acetic acid는 휘

발산으로써 증류주로 전이되며, 알코올과 알데히드 산화에 의해 생성되는 것이기 때문에 주류에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 하지만 젖산균과 함께 다른 유기산들과 결합하여 ester 성분으로 전환되어 향기성분으로 작용하기도 한다(Choi 등, 2013). 본 연구에서 유기산 함량을 보았을 때, ester 화합물 생성을 돕는 succinic acid, citric acid, lactic acid, acetic acid 함량이 대조구인 삼광보다 높은 신동진, 이루미, 미감 품종을 사용하여 제조한 증류주 술덧이 증류식 소주에서 ester 화합물의 생성을 촉진하여 최종 제품의 품질 및 소비자 기호성이 높을 것으로 사료된다.

3.5. 증류식 소주의 휘발성 향기 성분

본 연구의 쌀 품종별로 제조한 증류식 소주의 휘발성 향기 성분은 alcohol류 5종, fatty acid류 5종, ester류 8종, sulfur류 3종과 aldehyde류 1종이 검출되었다(Fig. 2). 이 중 퓨젤유는 탄소수가 많은 고급알코올을 의미하며, 함량이 높으면 향미가 나빠지

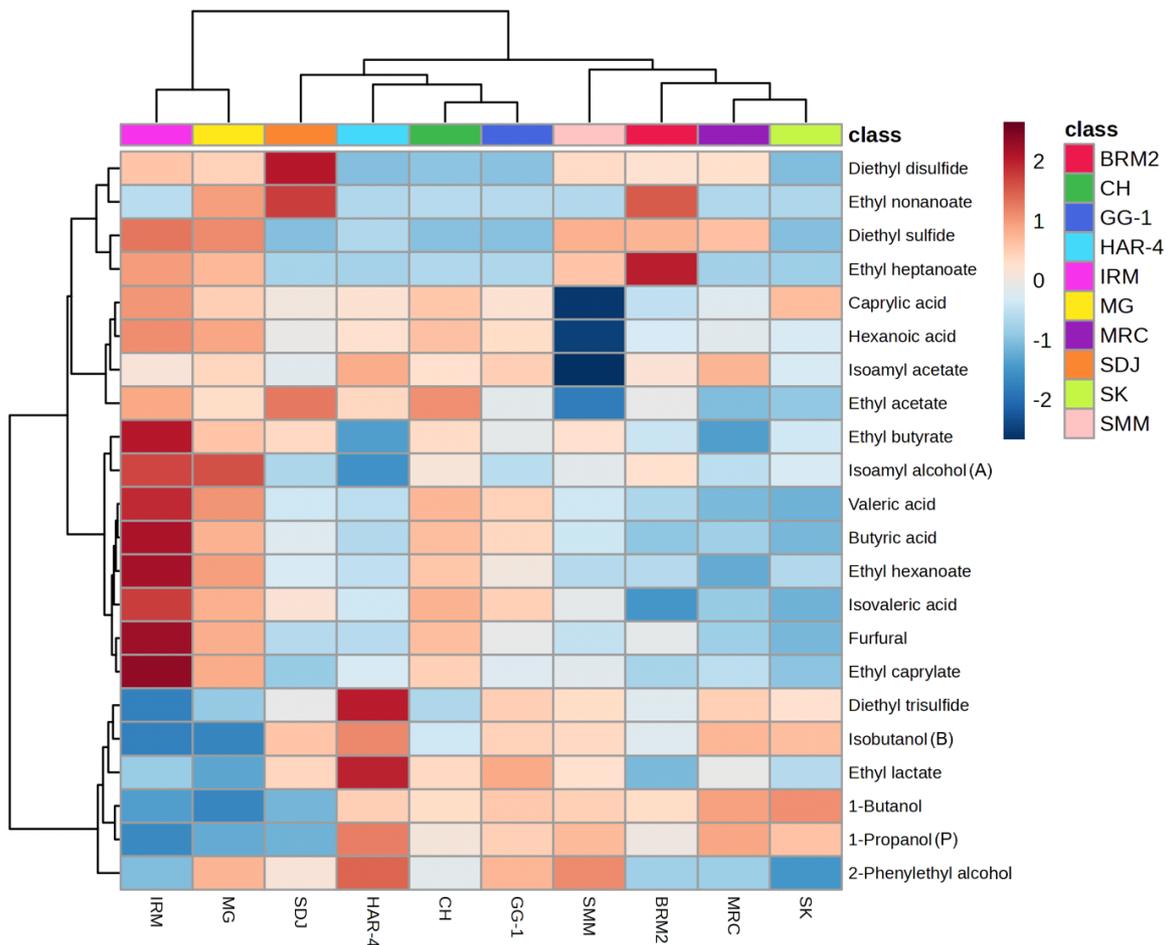


Fig. 2. Clustering heatmap of volatile compounds of distilled soju (alcohol 25%, v/v) of various rice cultivars. SK, Samkwang; SDJ, Shindongjin; BRM2, Baromi2; GG-1, Guemgang-1; HAR-4, Hanareum-4; CH, Chohong; MRC, Mirchal; IRM, Irumi; MG, Migam.

고 숙취의 원인이 되기도 하지만, 에스테르 화합물과 같이 술의 향미를 결정하는 주요 요소이다(Kim 등, 2013). 1-propanol(P), isobutanol(B), isoamyl alcohol(A)는 함량 및 비율이 기본적인 향미에 영향을 주어 증류주의 관능에 중요하게 작용하여 제품의 특징을 결정 짓는다(Lee 등, 2014). 고급알코올류 중 isoamyl alcohol의 함량이 가장 높았는데 증류주에서 검출되는 주요 향기 성분이며, 특히 한국식 증류주에서 높게 나타난다(Qin 등, 2020). 또한, Isoamyl alcohol은 술에 적당량이 존재하면 조화로운 향을 내지만, 다량으로 존재할 시에는 불쾌하고 귀찮은 향이 나타나는 것으로 알려져 있다(Choi 등, 2022b). 쌀 품종별 증류식 소주의 함량을 비교해보면 금강1호가 가장 낮은 함량인 416.92 mg/L, 대조구인 삼광이 가장 높은 함량인 505.57 mg/L로 나타났다.

지방산은 butyric acid가 주요 화합물로 나타났다. Butyric acid는 acetic acid와 마찬가지로 저급 지방산 함량이 비정상적으로 높으면 산패취나 불쾌취를 나타내는 바람직하지 않은 향을 나타낸다(Shin 등, 2022). 본 연구의 결과를 보면 3.65-3.86 mg/L로 이취가 매우 적을 것으로 사료된다.

Ester는 사과, 바나나 및 파인애플 등 과일 향과 장미와 같은 꽃 향의 특성과 연관성이 높은 성분으로써, 주류의 향 특성에 큰 영향을 미치는 성분이다(Choi 등, 2022b). Ester 화합물 중 과일 향을 가지고 있는 ethyl acetate가 주요 ester 화합물로 나타났다며, 9.35-24.62 mg/L의 범위를 나타냈다. Ethyl acetate는 신동진 품종으로 제조한 증류식 소주에서 가장 높은 함량이 검출되었는데, Choi 등(2015)에서 acetic acid를 첨가하여 제조한 쌀 증류식 소주에서 ethyl acetate가 증가를 한 연구결과를 나타냈다. 본 연구에서도 acetic acid가 가장 높게 검출되었던 신동진 품종으로 제조한 쌀 증류식 소주가 가장 높은 ethyl acetate를 나타내 동일한 경향을 나타냈다.

Furfural은 증류 시 술덧에 함유된 유리아미노산이 당, aldehyde, ketone류 등과 아미노카보닐 반응을 하면서 생성되는 화합물로 가열취(탄내)를 가지고 있다(Choi 등, 2014). Furfural이 가장 높은 품종은 이루미로 2.13 mg/L였으며, 신동진에서 가장 낮은 함량인 1.79 mg/L로 나타났다. 본 연구에서 긍정적인 향기 특성을 나타내는 Ester의 총 함량을 보면 대조구인 삼광보다 낮은 품종은 새미면과 미르찰 품종이며, 신동진 품종으로 제조한 증류식 소주가 33.14 mg/L로 가장 높아 향 부분에서 긍정적인 점수를 받을 것으로 사료된다.

3.6. 증류식 소주의 관능평가 분석

10종의 쌀 증 발효력과 알코올 형성 및 휘발성 화합물의 결과를 토대로 새미면 품종으로 제조한 증류식 소주는 양조용으로 적합하지 않다고 판단하여, 새미면을 제외한 9종의 쌀을 이용하여 제조한 증류식 소주만 소비자 기호도 및 특성 강도 평

가를 진행하였다. 기호도 분석 항목으로는 외관, 향, 맛, 전반적인 기호도를 9점 척도로 평가하였다(Table 3). 외관, 향, 맛, 전반적인 기호도 모두 쌀 품종별로 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 향과 전반적인 기호도 항목의 평균값이 대조구인 삼광보다 높은 신동진 품종을 사용하여 제조한 증류식 소주가 가장 높은 점수를 나타냈다. 이는 과일향과 꽃향과 같은 향기 특성을 나타내는 ester 향기 화합물이 소주에 긍정적인 영향을 미치며, 신동진 품종으로 제조한 증류식 소주가 가장 많은 ester 화합물을 가지고 있었으므로 소비자의 전반적인 기호도와 높은 관련이 있다고 판단된다(Heo 등, 2020).

특성 강도 평가 항목은 7점 척도로 평가하였고, 외관 특성으로 투명도, 향 특성으로는 알코올 향, 과일 향, 꽃 향, 아세트 향, 탄내, 구수한 향, 단 향, 신 향을 평가하였으며, 맛의 특성으로는 쓴맛, 단맛, 감칠맛, 신맛, 입안 감촉 특성으로는 화한 느낌과 떼은 정도를 평가하였다(Table 4). 특성 강도 평가 결과에서는 구수한 향의 특성만 유의적인 차이를 보였으며, 이외의 특성들은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 소주의 특성 강도 평가 결과 중 ester 화합물이 가장 많았던 신동진 품종으로 제조한 증류식 소주가 가장 높은 과일 향의 강도를 나타냈다. 유의적인 차이를 보였던 구수한 향 특성에서는 이루미로 제조한 증류식 소주가 가장 높은 점수를 나타냈으며, 유의적인 차이는 없지만 탄내 특성에서도 가장 높은 점수를 나타냈다. 이는 휘발성 향기 성분 분석 결과에서 탄내를 나타내는 furfural 함량이 가장 높은 함량을 나타냈기 때문이며, 소비자들이 탄내와 구수한 향을 비슷하게 받아들인 것으로 사료된다.

Table 3. Consumer preference scores of distilled soju (alcohol 25%, v/v) of various rice cultivars

	Appearance	Aroma	Taste	Overall liking
SK ¹⁾	6.80 ^{ab2)}	5.40 ^{ab}	5.25 ^a	5.40 ^a
SDJ	6.70 ^a	5.65 ^a	4.85 ^a	5.55 ^a
BRM2	6.70 ^a	5.35 ^{ab}	5.05 ^a	5.20 ^a
GG-1	6.45 ^a	4.90 ^{ab}	4.20 ^a	4.85 ^a
HAR-4	6.60 ^a	5.05 ^{ab}	4.55 ^a	4.80 ^a
CH	6.65 ^a	4.20 ^b	4.05 ^a	4.55 ^a
MRC	6.35 ^a	4.70 ^{ab}	4.55 ^a	4.75 ^a
IRM	6.65 ^a	4.65 ^{ab}	4.75 ^a	5.10 ^a
MG	6.75 ^a	5.05 ^{ab}	4.75 ^a	4.95 ^a

¹⁾SK, Samkwang; SDJ, Shindongjin; BRM2, Baromi2; GG-1, Guemgang-1; HAR-4, Hanareum-4; CH, Chohong; MRC, Mirchal; IRM, Irumi; MG, Migam.

²⁾Values are mean±SD (n=86). Different superscript letters within a column indicate significant differences at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 4. Intensity rating scores of distilled *soju* (alcohol 25%, v/v) of various rice cultivars

	Appearance	Aroma							Taste				Mouthfeel		
	Clear	Alcohol	Fruit	Flower	Acetone	Burnt	Nutty ²⁾	Sweet	Sour	Bitter	Sweet	Umami	Sour	Burning sensation	Astringent
SK ¹⁾	6.40 ^{ab3)}	4.80 ^a	3.55 ^a	3.50 ^a	4.50 ^a	2.35 ^{ab}	2.85 ^b	4.00 ^a	2.65 ^a	4.05 ^a	4.40 ^a	3.80 ^a	2.90 ^a	4.65 ^a	3.30 ^a
SDJ	6.65 ^a	4.55 ^a	3.60 ^a	3.45 ^a	3.65 ^{ab}	2.05 ^{ab}	3.80 ^{ab}	4.30 ^a	2.65 ^a	4.40 ^a	4.20 ^a	3.60 ^a	2.65 ^a	4.40 ^a	3.35 ^a
BRM2	6.10 ^a	4.00 ^a	3.50 ^a	3.20 ^a	3.45 ^{ab}	2.00 ^{ab}	4.05 ^{ab}	4.40 ^a	2.95 ^a	3.70 ^a	4.35 ^a	3.90 ^a	2.90 ^a	3.85 ^a	3.40 ^a
GG-1	6.25 ^a	4.45 ^a	3.30 ^a	3.45 ^a	3.75 ^{ab}	2.30 ^{ab}	3.55 ^b	3.90 ^a	3.00 ^a	4.10 ^a	4.15 ^a	3.75 ^a	2.75 ^a	4.60 ^a	3.40 ^a
HAR-4	6.15 ^a	4.10 ^a	3.35 ^a	3.35 ^a	3.55 ^{ab}	1.80 ^b	3.35 ^b	3.85 ^a	3.00 ^a	3.55 ^a	3.80 ^a	3.55 ^a	2.70 ^a	4.45 ^a	3.35 ^a
CH	6.70 ^a	4.45 ^a	2.95 ^a	2.90 ^a	3.90 ^{ab}	2.25 ^{ab}	3.80 ^{ab}	3.65 ^a	2.65 ^a	3.80 ^a	3.75 ^a	3.30 ^a	2.55 ^a	4.30 ^a	2.90 ^a
MRC	6.15 ^a	3.85 ^a	3.25 ^a	3.70 ^a	3.35 ^b	2.10 ^{ab}	4.00 ^{ab}	4.00 ^a	3.05 ^a	3.80 ^a	4.15 ^a	3.60 ^a	2.60 ^a	4.40 ^a	2.60 ^a
IRM	6.25 ^a	3.80 ^a	2.65 ^a	2.70 ^a	2.95 ^b	3.05 ^a	5.00 ^a	3.90 ^a	2.20 ^a	3.65 ^a	3.40 ^a	3.75 ^a	2.80 ^a	4.05 ^a	2.90 ^a
MG	6.60 ^a	4.05 ^a	3.10 ^a	3.20 ^a	3.25 ^b	2.65 ^{ab}	4.90 ^a	3.70 ^a	2.60 ^a	3.60 ^a	3.80 ^a	3.55 ^a	2.60 ^a	4.15 ^a	3.05 ^a

¹⁾SK, *Samkwang*; SDJ, *Shindongjin*; BRM2, *Baromi2*; GG-1, *Guemgang-1*; HAR-4, *Hanareum-4*; CH, *Chohong*; MRC, *Mirchal*; IRM, *Irumi*; MG, *Migam*.

²⁾Significantly differ at $p < 0.05$.

³⁾Values are mean \pm SD (n=86). Different superscript letters within a column indicate significant differences at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

4. 요약

본 연구는 N9 효모를 사용하여 쌀 품종별 증류주 술덧 및 증류식 소주의 특성을 비교하고자 하였다. 쌀 품종에 따라 발효 특성과 알코올 함량에 차이가 나타났으며, 특히 쌀 품종들 중 새미면이 고아밀로스 품종으로써 발효 효율이 낮고 알코올 함량도 다른 품종에 비해 현저히 낮아 양조용으로 적합하지 않은 특성들을 보였다. pH, 총산, 아미노산 함량은 쌀 품종 간 유사하게 나타났으나, 휘발산 함량에서는 신동진과 새미면 품종이 상대적으로 높은 함량을 나타냈다. 이는 발효 중 acetic acid의 활성화로 인해 높은 값을 나타낸 것으로 생각된다. 가용성 고형분과 환원당 함량의 결과는 발효가 원활히 이루어진 것으로 나타났다. 유기산 함량에서는 succinic acid, citric acid, lactic acid가 주요 성분으로 검출되었다. 특히 신동진, 이루미, 미감 품종들이 높은 유기산 함량을 보여, 이와 같은 품종들이 ester 화합물 생성을 도와 증류식 소주 제조에 적합한 품종으로 나타났다. 휘발성 향기 성분 결과에서는 isoamyl alcohol이 주요 성분으로 나타났으며, 신동진 품종에서 과일향을 나타내는 ester 화합물이 가장 많이 검출되었다. 관능 평가에서는 신동진 품종으로 제조한 증류식 소주가 향과 전반적인 기호도에서 가장 높은 점수를 받았으며, 이는 ester 향기 성분이 기호성에 기여한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 새미면 품종은 증류주 제조에 적합하지 않은 것으로 보이며, 신동진 품종은 발효 효율, 휘발성 향기 성분 생성 및 소비자 기호도에서 다른 품종에 비해 긍정적인 결과를 보여, 증류식 소주 제조에 적합하다고 사료된다.

Funding

This research was supported by the National Institute of Agricultural Science's agricultural science-based technology research project (PJ01729002), and we would like to thank the research fund for the support.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Kim CW, Choi JH, Kang JE. Methodology: Kim BR, Kang HH. Formal analysis: Kim BR, Kang HH. Validation: Kim BR, Hwang IS. Writing - original draft: Kim BR. Writing - review & editing: Kim CW, Kang JE.

Ethics approval

This research was approved by IRB from the National Institute of Agricultural Sciences (HR-202309-01).

ORCID

Bo-Ram Kim (First author)

<https://orcid.org/0000-0001-8643-7243>

Hyun-Ho Kang

<https://orcid.org/0009-0000-3733-2445>

Chan-Woo Kim

<https://orcid.org/0000-0002-7858-9885>

Ji-Ho Choi

<https://orcid.org/0000-0001-7305-004X>

In-Seo Hwang

<https://orcid.org/0000-0001-7453-5161>

Ji-Eun Kang (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-8194-7455>

References

- Cho JH, Lee JH, Park NB, Son YB, Oh SH, Han SI, Song YC, Seo WD, Park DS, Nam MH, Lee JY. 'Saemimyeon', a tongil-type medium-late maturing rice variety with high amylose content used for rice noodle. *Korean J Breed Sci*, 50, 522-528 (2018)
- Choi HS, Kang JE, Jeong ST, Kim CW, Baek SY, Yeo SH. *Soju* brewing characteristics of yeast strains N4 and N9 isolated from Korean traditional *Nuruk*. *Korean J Food Preserv*, 24, 714-724 (2017)
- Choi HS, Kim EG, Kang JE, Choi JH, Yeo SH, Jeong ST. Effect of varying the amount of water added on the characteristics of mash fermented using modified *Nuruk* for distilled-*Soju* production. *Korean J Food Preserv*, 21, 908-916 (2014)
- Choi HS, Kim EG, Kang JE, Yeo SH, Jeong ST, Kim CW. Effect of organic acids addition to fermentation on the brewing characteristics of *Soju* distilled from rice. *Korean J Food Sci Technol*, 47, 579-585 (2015)
- Choi HU, Kim TW, Lee SJ. Characterization of Korean distilled liquor, *Soju*, using chemical, HS-SPME-GC-MS, and sensory descriptive analysis. *Molecules*, 27, 2429 (2022)
- Choi ID. Physicochemical properties of rice cultivars with different amylose contents. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 39, 1313-1319 (2010)
- Choi JS, Kang JE, Jeong ST. Aging-induced variation in quality of *yakju* prepared using different commercial yeasts. *Korean J Food Preserv*, 29, 84-96 (2022a)
- Choi JS, Park YD, Kim CW, Jeong ST. Characteristics of *Yakju* fermented using different commercial yeasts. *Korean J Food Preserv*, 25, 715-721 (2018)
- Choi SI, Kang SA, Cheong C. Yeast selection for quality optimization of distilled spirits. *JKAIS*, 14, 3887-3896 (2013)
- Chu JH, Choi JH, Go ES, Choi HY. Quality characteristics of muffins prepared with different types of rice flour. *Korean J Food Preserv*, 30, 630-641 (2023)
- Chung RW. Physicochemical properties of traditional liquor with different brewing method of *Mit-sool*. *J Korea Soc Food Cult*, 30, 377-386 (2015)
- Heo JA, Kwak HS, Kim MR, Kim JH, Baek HH, Shin HJ, Lee YS, Lee SH, Kim SS. Major sensory attributes and volatile compounds of Korean rice liquor (*yakju*) affecting overall acceptance by young consumers. *Foods*, 9, 722 (2020)
- Huh CK, Lee JW, Kim YD. Fermentation and quality characteristics of *Yakju* according to different rice varieties. *Korean J Food Preserv*, 19, 925-932 (2012)
- 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)
- Jee JH, Lee HS, Lee JW, Suh DS, Kim HS, Kim KO. Sensory characteristics and consumer liking of commercial *Sojues* marketed in Korea. *Korean J Food Sci Technol*, 40, 160-165 (2008)
- Jeong ST. Commercialization the Cheongzu Brewing Technology Using the Korean Brewing Rice and Starter. Final Report of National Institute of Agricultural Sciences, TRKO20 1700006340 (2017)
- Jeong ST, Kwak HJ, Kim SM. Quality characteristics and biogenic amine production of *Makgeolli* brewed with commercial *Nuruks*. *Korean J Food Sci Technol*, 45, 727-734 (2013)
- Jo YJ, Chun AR, Sim EY, Park HY, Kwak JE, Kim MJ, Lee CK. Changes in the pasting properties and fattyacid values of dry-milled rice flour at different storage temperatures. *Korean J Food Sci Technol*, 52, 396-402 (2020)
- 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)
- Kang SH, Kim JH, Lee AR, Kim AR, Kim TW. Physicochemical properties of rice-distilled spirit matured in oak and stainless steel containers. *Korean J Food Sci Technol*, 49, 369-376 (2017)
- Kim CW, Jeong ST, Park YD, Kim JB, Lim BR, Kang HY. High temperature treatments to control sugar consumption by yeasts during *makgeolli* fermentation. *Korean J Food Preserv*, 29, 466-471 (2022b)
- Kim JK, Jo SW, Kim EJ, Ham SH, Jeong DY. Characteristics of brown rice *Makgeolli* brewed at different temperatures and mixing ratios of *Nuruk*. *Korean J Food Sci Technol*, 52, 94-102 (2020)
- Kim JW, Kang JE, Choi HS, Kim CW, Jeong ST. Analysis of the physicochemical characteristics and sensory properties in *Makgeolli*. *J East Asian Soc Diet Life*, 27, 491-499 (2017)
- Kim MS, Lee YH, Kim IY, Eom TK, Kim SH, Jo NJ, Yu SR, Jeong YH. Physicochemical characteristics of Korean traditional spirits brewed with *Phellinus linteus* by different *Nuruk*. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 42, 2042-2048 (2013)

- Kim WK, Lee SJ. Sensory characteristics and preferences of rice-based distilled soju aged in different types of containers using Check-All-That-Apply (CATA). *Korean J Food Sci Technol*, 54, 362-368 (2022a)
- Kim YR, Lee CE. 2018 Rural Industry Activation Field Forum Field Talk. Korea Rural Economic Institute, KREI, 6-0007 (2019)
- Kwak HS, Kim MS, Lee YS, Eom TK, Seo YJ, Shim HS, Ha SH, Yoon OH, Jeong YH. Reduction of *Nuruk* flavor in Korean rice-distilled liquor using Sumizyme™. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 44, 928-934 (2015)
- Kwak JE, Lee JH, Kim HW, Lee JS, Chun AR, Yoon MR, Oh SK, Chang JK, Kim BK. Quality properties of *Makgeolli* brewed with fiber-rich rice cultivars. *Korean J Food Nutr*, 27, 851-858 (2014)
- Kwon YS, Kim MS, Choi HJ, Lee CH, Kang CS, Park SH, Kim SY, Choi HS. Manufacturing of distilled *Soju* using hops grown in Korea. *J East Asian Soc Diet Life*, 33, 52-61 (2023a)
- Kwon YS, Lee JS, Kim MS, Han SC, Choi HS. Potential production strategy for distilled *soju* by fermenting nonsteamed rice using commercial enzyme products. *Korean J Food Preserv*, 30, 669-682 (2023b)
- Lee DH, Lee YS, Cho CH, Park IT, Kim HD, Kim JH, Ahn BH. The qualities of liquor distilled from *Ipguk (koji)* or *Nuruk* under reduced or atmospheric pressure. *Korean J Food Sci Technol*, 46, 25-32 (2014)
- Lee DH, Lee YS, Cho CH, Seo JS, Park IT, Kim HD, Lim JW. Brewing and fermenting characteristics of *Makgeolli* produced from high-yielding rice varieties. *Korean J Food Sci Technol*, 45, 714-720 (2013a)
- Lee DH, Lee YS, Seo JS, Won SY, Cho CH, Park IT, Kim TW, Kim JH. Qualities of distilled liquor using *Saccharomyces cerevisiae* 88-4 separated from traditional *Nuruk*. *Korean J Food Sci Technol*, 49, 279-285 (2017)
- Lee SE, Kang JE, Lim BR, Kang HY. Quality characteristics of distilled soju with different pretreatment of rice. *J Korean Soc Food Cult*, 37, 555-563 (2022)
- Lee SJ, Park CS, Kim HK. Sensory profiling of commercial Korean distilled *Soju*. *Korean J Food Sci Technol*, 44, 648-652 (2012)
- Lee YH, Eom TK, Cheong C, Cho HC, Kim IY, Lee YS, Kim MS, Yu SR, Jeong YH. Quality characteristics of spirits by different distillation and filtrations. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 42, 2012-2018 (2013b)
- 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)
- National Tax Service Liquor License Support Center. Liquor analysis manual. Available from: <http://www.law.go.kr>. Accessed Feb. 8, 2023.
- Qin Y, Shin JA, Lee KT. Determination of acetaldehyde, methanol and fusel oils in distilled liquors and sakes by headspace gas chromatography. *Food Sci Biotechnol*, 29, 331-337 (2020)
- Shin JY, Kang HY, Lim BR, Choi HS. Characteristics of solid-state fermentation mash and distilled liquor prepared using sorghum variety '*Chengpung*'. *J East Asian Soc Diet Life*, 32, 46-52 (2022)
- Sim EY, Chung SK, Cho JH, Woo KS, Park HY, Kim HJ, Oh SG, Kim WH. Physicochemical properties of high-amylase rice varieties. *Food Eng Prog*, 19, 392-398 (2015)
- Won YJ, Oh SK. Development of process using technology and rice varieties for aseptic-packaged cooked rice. *Food Sci Ind*, 47, 71-79 (2014)
- Yi HC, Moon SH, Park JS, Jung JW, Hwang KT. Volatile compounds in liquor distilled from mash produced using *Koji* or *Nuruk* under reduced or atmospheric pressure. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 39, 880-886 (2010)