

밀 품종에 따른 Y263 효모를 이용하여 제조한 막걸리의 품질 특성

김보람¹ · 황인서² · 최지호^{3*}

¹국립식량과학원 발효가공식품과 전문연구원, ²대상주식회사 기술원 소재연구소 응용개발팀 선임연구원,

³국립식량과학원 발효가공식품과 농업연구관

Quality Characteristics of *Makgeolli* Brewed with Different Wheat Cultivars Using Y263 Yeast

Bo-Ram Kim¹, In-Seo Hwang² and Ji-Ho Choi^{3*}

¹Research Fellow, Dept. of Food Sciences Fermented and Processed Food Research Division, National Institute of Crop and Food Science, Wanju 55365, Republic of Korea

²Senior Researcher, Ingredient R&D AD Team, Technology Research Institute, Daesang Corporation, Seoul 07789, Republic of Korea

³Principal Agricultural Research Officer, Dept. of Food Sciences Fermented and Processed Food Research Division, National Institute of Crop and Food Science, Wanju 55365, Republic of Korea

ABSTRACT

This study investigated the fermentation and quality characteristics of *Makgeolli* produced from different wheat cultivars using *Saccharomyces cerevisiae* Y263 yeast. The wheat cultivars used for brewing analysis were imported wheat (IW), *Geumgang* (GG), *Wooju* (WJ), *Saengeumgang* (SGG), *Hojoong* (HJ), *Baekchal* (BC), *Joa* (JA), *Goso* (GS), *Baekgang* (BG), *Jogyung* (JG), *Arijinheuk* (ARJH), *Hwanggeumal* (HGA), and *Jeonju-432ho* (JJ-432). Among the raw wheat flour varieties, IW and SGG had the highest carbohydrate content, while HGA had the highest protein content. The fermentation results showed that the low amylose BC exhibited faster CO₂ production. The alcohol content ranged from 13.97% to 17.67%, with HGA *Makgeolli* showing the lowest value and the highest total acid (1.41%) and volatile acid (791.93 mg/L) contents. The volatile acid content was higher in the *Makgeolli* made from HGA. By contrast, BC and SGG *Makgeolli* exhibited a higher sugar content. Organic acid analysis showed that lactic and acetic acids dominated the acid profile, and high lactic and acetic acids levels in HGA *Makgeolli*. Free amino acid analysis revealed leucine and phenylalanine as the dominant bitter-tasting amino acids, with the highest levels in HGA and the lowest in BC *Makgeolli*. Volatile aroma compounds, analyzed using an electronic nose and confirmed by discriminant function analysis, identified ethyl acetate, ethyl octanoate, and ethyl hexanoate as the key contributors to the sweet and fruity notes differentiating the samples. The sensory evaluation using the Rate-All-That-Apply (RATA) showed that the *Makgeolli* made from SGG and BC had higher scores in flavor and overall acceptability, associated with a nutty flavor, umami, sweetness, and yogurt flavor, whereas HGA was perceived as having viscosity and Chalky mouthfeel with a low preference. Overall, this study provides comprehensive insights into the influence of wheat cultivar differences on physicochemical, sensory, and aromatic properties of wheat *Makgeolli*, offering a foundation for the development of optimized brewing using domestic wheat varieties.

Key words: wheat cultivars, *Makgeolli*, *Saccharomyces cerevisiae* Y263, fermentation, physicochemical characteristics

서 론

한국 전통주인 막걸리는 발효 후 막 걸러 마신다는 의미에서 유래한 이름으로, 한국에서 가장 오래된 전통주 중 하나로 알려져 있으며(Sim EY 등 2016), 특유의 단맛, 신맛, 쓴맛 및 구수한 맛과 함께 탄산 가스에 의한 청량감을 지닌 알코올성 발효 음료이다(Kim JK 등 2020). 일반적인 주류와 달리 단백질, 아미노산, 비타민, 유기산 등 다양한 영양성분을

함유하고 있어 약주 및 과실주보다 영양학적으로 우수한 것으로 보고되었다(Shin DS 등 2016). 막걸리는 주로 쌀로 제조되어 왔으나 1966년 식량난으로 인해 쌀을 원료로 한 술 제조가 금지되면서 밀로 대체하였으며, 이후 오늘날까지 쌀뿐만 아니라 밀을 포함하여 보리, 고구마 등 다양한 전분질 원료가 막걸리 제조에 사용되고 있다(Kim SM & Han AR 2012). 원료의 종류에 따라서도 막걸리의 품질 특성이 달라지는데(Park YD 등 2017), 쌀 도정률 및 밀 제분율에 의해서도 영향을 받으며(Sim EY 등 2016; Kim JH 등 2021), 발효 온도와 시간(Kang SM 등 2016), 누룩의 종류에 따라서도 미

* Corresponding author : Ji-Ho Choi, Tel: +82-63-238-3622, Fax: +82-63-238-3843, E-mail: jhchoi74@korea.kr

생물의 효소 활성, 유기산 생산능력 및 알코올 발효력이 다르게 나타나 이러한 차이는 막걸리의 휘발성 성분, 맛, 색상 등 품질 특성에 큰 영향을 미친다(Woo SM 등 2010).

밀(*Triticum aestivum* L.)은 풍부한 전분, 단백질, 비타민 등 영양소를 함유하고 있음에도 불구하고, 국내에서는 대부분 수입에 의존하고 있다. 최근 기후변화 등으로 국제 밀 시장이 불안정해지면서 국산 밀 자급률 증대 정책이 추진되고 있으며(Kang CS 등 2016; Shin DS 등 2017), 국산 밀 가공 연구는 주로 국수 및 파스타 제조 등 제면 분야에 집중되어 있다. 따라서 국산 밀 자급률 향상과 소비 촉진을 위한 새로운 가공 응용 연구가 절실히 요구된다(Sim EY 등 2016). 밀을 이용한 막걸리 연구는 밀 품종 및 제분율에 따른 막걸리의 품질 특성 연구(Sim EY 등 2016), 쌀과 밀 막걸리의 향기 특성 연구(Choi JS 등 2018), 보리와 밀 혼합 막걸리 연구(Shin DS 등 2016) 등이 이루어졌으나, 다양한 밀 품종별 발효 특성 및 품질 연구는 부족한 실정이다.

Y263은 스위트형(sweet-type) 효모에 속하며, 당 소비를 빠르게 진행하지 않아 발효 종료 후에도 glucose와 maltose 등의 잔당이 다소 잔존하는 특징을 보인다(Jeong ST 등 2019). 일반적인 주류용 효모가 높은 에탄올 생성력을 기반으로 완전 발효를 목표로 하는 반면, 스위트형 효모는 낮은 알코올 생산과 상대적으로 높은 잔당 유지가 가능해, 제품의 감미·구수한 향미·점성 등의 관능 특성 개선에 유리하다는 보고가 있다(Jeong ST 등 2019). 이와 같은 특성은 원료 밀 품종 간 당 조성 차이가 최종 품질에 미치는 영향을 비교하기에 적합한 장점이 있어 본 연구의 효모 균주로 선택하였다.

막걸리의 지속적인 소비 증대 및 시장 확대를 위해서는 현대인의 기호에 맞게 품질이 우수한 막걸리를 제조하는 것으로(Park CW 등 2011), 이에 따른 원료 선택의 중요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 12개 국산 밀 품종과 수입밀을 대상으로, 스위트형 효모인 *Saccharomyces cerevisiae* Y263을 이용하여 제조한 밀 막걸리의 발효 특성 및 품질 차이를 비교·분석하여 원료 품종별 주질에 미치는 영향을 규명하는 것을 목적으로 한다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

밀은 국립식량과학원에서 개발한 품종인 금강, 우주, 새금강, 호중, 백찰, 조아, 고소, 백강, 조경, 아리진흑, 황금알, 전주 432호를 사용하였으며 대조구는 수입산 박력분 밀로 설정하여 총 13종을 사용하였다. 백국균(*Aspergillus luchuensis*)을 사용하여 제조한 쌀 입국은 (주)안동전통발효(Andong, Korea)에서 구입하였으며, *Saccharomyces cerevisiae* Y263(KACC93252P) 효모는 주

식회사 (주)수원발효(Suwon Fermentation Inc., Hwaseong, Korea)에서 구입하였으며, 개량누룩은 주식회사 (주)한국발효(Korea Fermentation Co., Ltd, Hwaseong, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

2. 밀가루의 이화학적 특성 분석

제분한 밀가루의 이화학적 특성 분석을 위해 수분, 조단백질, 조지방, 조회분, 탄수화물의 함량을 분석하였다. 분석법은 AOAC법을 따라 수행되었다(AOAC 1995). 수분함량은 105°C 상압기열건조법을 이용하여 측정하였으며, 조단백질 함량은 Kjeldahl법을 이용하였고 조지방 함량은 Soxhlet 추출법을 이용해 분석하였다. 조회분 함량은 직접회화법을 이용하였다.

3. 막걸리 제조

본 연구에서는 단담금법(single-stage mashing method)을 적용하여 막걸리를 제조하였다. 원료 밀은 전량 제분하여 밀가루 형태로 준비되었으며, 사용 전 밀가루의 수분함량을 측정하였다. 측정된 수분함량을 바탕으로 밀가루 500 g을 계량한 후, 각 품종별 밀가루의 수분함량이 30%가 되도록 물을 첨가하여 조정하였다. 수분함량 30%로 조정된 밀가루를 증자기(MS-30, Yaegaki Food & System Inc., Himeji, Japan)에 넣고 증기가 올라오기 시작한 시점부터 30분간 증자한 후, 30분간 냉각하여 증자된 밀가루를 준비하였다. 증자 밀가루와 함께 쌀 입국 100 g, 개량누룩 5 g, 물 900 g, 그리고 Y263 효모 0.7 g을 첨가하여 발효조에 넣었다. 이후 25°C에서 최대 15일간 발효를 진행하였다. 발효 과정 중 술덧은 1일 1회 교반하였으며, 이때 무게를 측정하였다. 무게 감소량(g)을 통해 술덧 내 효모에 의한 CO₂ 생성량을 추정하였다.

4. 알코올, pH, 총산, 휘발산 함량

막걸리의 일반 성분 분석 중 알코올, pH, 총산, 휘발산 함량은 국제형 주류 분석 규정에 따라 측정하였다(National Tax Service 2025).

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., MA, USA)로 측정하였으며, 총산은 시료 10 mL를 증화시키는 데 필요한 0.1 N NaOH 용액이 소비된 mL 수를 citric acid로 적정한 값으로 환산하였다. 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.

5. 가용성 고형분 및 환원당 함량

가용성 고형분 함량은 굴절당도계(Atago Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 환원당 함량은 Kim CW 등(2022)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 측정하였다. 이후 표준 물질인 glucose의 검량선($R^2=0.999$)을 이용하여 g/100 mL로 표시하였다.

6. 유리당 함량 분석

유리당 함량은 HPLC(e-2695, Waters Co., Milford, Massachusetts, USA)를 이용하여 post column 방법을 활용하였다. 유리당 분석용 column은 Asahipak NH2P-50 4E(Shodex F7630001 4.6 mm × 250.0 mm)로 분석하였다. 이동상은 75% acetonitrile(Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)를 사용하였고, flow rate 1.0 mL/min, column oven 35°C, injection volume은 10 µL로 설정하여 RI detector(2414, Waters Co., Milford, Massachusetts, USA)로 검출하였다. 시료는 여과(0.2 µm, Millipore, Co., Cork, Ireland) 후 사용하였다.

7. 유기산 함량 분석

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.

8. 유리아미노산 분석

유리아미노산 분석은 아미노산 자동분석기(L-8900, Hitachi Co., Tokyo, Japan)를 사용하였다. 시료 1 mL에 5% trichloroacetic acid(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 1 mL를 첨가한 후 원심분리(10,000 rpm, 10분)를 하여 상등액을 회수하였다. 회수한 상등액은 0.2 µm syringe filter(Millipore, Co., Cork, Ireland)로 여과하여 분석하였다. 분석 방법은 PF#2622(4.6 × 60 mm, Hitachi Co., Ltd.) column을 사용하였

으며, column 온도는 57°C, 반응 장치의 온도는 136°C로 설정하였으며, 발색에는 ninhydrin(Wako Pure Chemical Industrial, Ltd, Osaka, Japan)을 사용하였다.

9. 전자코 활용 향기 성분 패턴 분석

전자코를 활용하여 향기 성분을 분석하기 위해 막걸리 5 mL를 20 mL vial에 넣고 전자코(Heracles NEO electronic nose, Alpha Mos, Toulouse, France)를 이용하여 정적 헤드스페이스(static headspace) 방식으로 향기를 포집하였다. 분석 컬럼은 MXT-5와 MXT-1701을 사용하여 flame ionization detectors(FID)로 검출하였으며, injection 조건은 syringe type으로, injection volume은 5,000 µL로 하였다. 이동상은 수소로 유속 1 mL/min로 설정하였으며, 분석 조건은 split mode로 하여 column 온도는 초기 온도 50°C에서 80°C까지 초당 1°C씩 증가하며, 80°C부터는 초당 3°C씩 증가하였다. Trapping 온도는 50°C, injector 온도는 200°C, FID 온도는 260°C로 설정하여 분석하였다. 분석 결과는 Alpha MOS software를 사용하여 검출된 peak 및 area를 확인한 후, discrimination power가 0.900 이상인 sensor들을 선택하여 판별분석법(discriminant function analysis; DFA)으로 나타냈다.

10. 관능 평가

밀 품종별로 제조한 막걸리의 관능 평가를 위하여 막걸리 음용 경험이 있으며, 밀과 알코올 알레르기가 없어 섭취해도 무관한 국립농업과학원과 국립식량과학원 연구원 86명을 선발하여 진행하였다. 알코올 농도가 6%로 조절된 막걸리를 시료로 사용하여 소비자 기호도 조사와 관능 속성에 대한 강도를 평가하는 방식인 Rate-All-That-Apply(RATA)를 사용하여 진행하였다. 소비자 기호도 조사는 9점 척도로 외관, 향, 맛, 전반적인 기호도를 조사하였으며, 특성 강도 평가인 RATA의 항목들은 Kim JW 등(2017)과 Kwak HS 등(2017)을 참고하여 평가하였다. RATA 특성 중 외관 특성으로는 노란색, 탁도를 보았으며, 향 특성으로는 알코올향, 바나나향, 고소한 향, 단향, 시큼한향, 요구르트향, 쿼퀴한향을 보았다. 맛 특성으로는 단맛, 신맛, 쓴맛, 감칠맛, 고소한 향미, 알코올 향미, 요구르트 향미를 보았으며, 목넘김 특성으로 탄산감, 텁텁함, 뽀는 느낌, 걸쭉한 정도의 강도를 평가하였다. 각 시료 평가 사이에는 상온의 정수와 크래커를 이용해 입안을 정화하여, 이전 시료의 잔미나 잔향이 다음 시료의 맛과 향에 영향을 주지 않도록 하였으며, 본 연구는 국립농업과학원 생명윤리 위원회(HR-202404-03)로부터 승인을 받아 진행하였다.

11. 통계 분석

통계 분석은 각 분석 항목에 대하여 3회 반복 측정하였고,

각 시료 간에 유의미한 차이를 보기 위해 일원배치 분산분석 (analysis of variance; ANOVA)을 실시한 후 시료 간 차이가 있는 경우에 Fisher's multiple range test로 사후 검정을 유의수준 5% 수준에서 검증하였다. 관능평가의 RATA 데이터는 막걸리와 관능 특성 간 관계를 분석하기 위해 대응분석 (correspondence analysis; CA)을 진행하였으며, 모든 통계 분석은 XLSTAT(Addinsoft, Paris, France)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 밀 품종별 밀가루의 이화학적 특성

밀 품종별 밀가루의 이화학적 특성은 Table 1에 나타났다. 밀가루의 수분함량은 11.83~13.26% 범위로 나타났으며, 그 중 호중 품종이 다른 품종에 비해 현저히 낮은 수분함량을 보였다. 탄수화물 함량은 70.65~77.33%의 범위로 나타났으며, 대조구인 수입밀(76.93%)과 새금강(77.33%) 품종이 유의적으로 높은 값을 보인 반면, 황금알 품종은 70.65%로 유의적으로 가장 낮은 값을 보였다. 조단백질 함량은 새금강 품종이 8.10%로 가장 낮았고, 황금알 품종은 14.75%로 가장 높은 값을 나타냈으며, 전반적으로 탄수화물 함량과 반비례 되는 상관

관계를 보였다. 조지방 함량은 0.82~1.34% 범위로, 조경(1.34%)과 황금알(1.22%) 품종이 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 조회분 함량은 0.32~0.66%로 나타났다.

일반적으로 양조용으로 적합한 품종의 특성은 알코올 생성 능력에 기여하는 탄수화물 함량이 높고 주질에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 단백질, 지방, 회분 함량이 낮은 특성을 지니는 것으로 알려져 있다(Hwang IS 등 2025). 따라서 양조용 품종은 전분 함량이 높고 단백질 함량이 낮아 수분 흡수율과 당화 효율이 높은 것이 중요하다. 이러한 관점으로 볼 때, 밀 품종 간의 성분 차이는 발효 효율 및 알코올 생성량에 직접적인 영향을 미치는 요인으로 해석된다.

2. 밀 막걸리의 발효 특성

밀 품종별 막걸리 술덧의 발효 특성은 Fig. 1에 제시하였다. 발효 과정 중 CO₂ 생성량은 품종 간 큰 차이를 보이지 않았으나, 대조구인 수입밀을 사용하여 제조한 술덧을 제외하면 백찰을 사용하여 제조한 술덧이 발효 초기 단계에서 다른 품종들에 비해 상대적으로 빠른 CO₂ 생성 속도를 나타냈다. 반면, 황금알을 사용하여 제조한 술덧은 가장 낮은 발효 활성을 보였다. 따라서 황금알은 본 연구 범위 내에서 상대

Table 1. Physicochemical characteristics of wheat flour with different cultivars

	Moisture ^{***2)} (%)	Carbohydrate ^{***} (%)	Crude protein ^{***} (%)	Crude fat ^{***} (%)	Crude ash ^{***} (%)
IW ¹⁾	12.61±0.19 ^{bcd3)}	76.93±0.13 ^{ab}	9.04±0.12 ^g	0.93±0.06 ^{de}	0.38±0.01 ^f
GG	13.06±0.19 ^{ab}	74.26±0.22 ^h	10.99±0.01 ^b	1.06±0.03 ^c	0.47±0.02 ^d
WJ	12.68±0.17 ^{bcd}	76.24±0.22 ^c	9.07±0.01 ^g	1.19±0.08 ^b	0.66±0.01 ^a
SGG	12.98±0.30 ^{abc}	77.33±0.36 ^a	8.10±0.04 ⁱ	1.04±0.03 ^c	0.43±0.01 ^e
HJ	11.83±0.20 ^c	75.60±0.23 ^{de}	10.68±0.15 ^c	1.26±0.10 ^{ab}	0.46±0.02 ^d
BC	12.68±0.55 ^{bcd}	74.80±0.56 ^g	10.97±0.01 ^b	0.93±0.07 ^{de}	0.46±0.01 ^d
JA	13.26±0.14 ^a	76.10±0.07 ^{cd}	9.28±0.01 ^f	0.89±0.07 ^{ef}	0.35±0.01 ^g
GS	13.22±0.42 ^a	76.51±0.48 ^{bc}	8.94±0.03 ^h	0.88±0.06 ^{ef}	0.32±0.01 ^h
BG	12.52±0.27 ^{cd}	75.05±0.33 ^{fg}	10.94±0.06 ^b	0.82±0.05 ^f	0.50±0.02 ^c
JG	12.43±0.32 ^d	75.55±0.37 ^{ef}	9.98±0.00 ^e	1.34±0.09 ^a	0.53±0.01 ^b
ARJH	12.37±0.48 ^d	75.67±0.47 ^{de}	10.40±0.03 ^d	1.03±0.04 ^{cd}	0.38±0.04 ^f
HGA	12.70±0.10 ^{bcd}	70.65±0.09 ⁱ	14.75±0.03 ^a	1.22±0.01 ^b	0.50±0.01 ^c
JJ-432	12.78±0.10 ^{abc}	74.99±0.14 ^g	10.70±0.03 ^c	1.03±0.04 ^{cd}	0.37±0.01 ^{fg}
p-value	0.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

¹⁾ IW, Imported wheat; GG, *Geumgang*; WJ, *Wooju*; SGG, *Saegeumgang*; HJ, *Hojoong*; BC, *Baekchal*; JA, *Joa*; GS, *Goso*; BG, *Baekgang*; JG, *Jogyung*; ARJH, *Arijinheuk*; HGA, *Hwanggeumal*; JJ-432, *Jeonju-432ho*.

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

³⁾ Values are mean±S.D. (n=3). Different letters within a column indicates significantly difference at $p<0.05$.

적으로 발효 효율이 낮아 양조적성은 제한적일 것으로 보인다. 백찰은 찰성 밀로서 아밀로스 함량이 약 6.5%로 매우 낮은 것으로 보고되었다(Kim JE 등 2017). 일반적으로 아밀로스 함량이 높을수록 전분 입자의 조직이 치밀하여 호화 시 팽창에 대한 저항성이 증가하고, 이에 따라 효소에 의한 전분 분해가 지연되는 경향을 보인다(Kim BR 등 2024). 따라서 아밀로스 함량이 낮은 백찰은 증자 과정에서 호화가 용이하게 이루어지며, 효소 작용에 의한 전분 분해가 빠르게 진행되어 결과적으로 발효 속도가 다른 품종에 비해 현저히 빠른 것으로 사료된다. 본 연구에서는 최대 122 g의 CO₂ 생성량을 보였는데, Kim BR 등(2024)에서는 쌀 품종별 N9 효모를 사용하여 제조한 증류주 술덧의 최대 누적 CO₂ 생성량은 174 g으로 보고하였다. 따라서, 본 연구의 밀 품종별로 제조한 술덧에서 전반적으로 낮은 누적 CO₂ 생성량을 보였다. 이는 Y263 효모가 완전한 술덧 발효를 하지 않고 잔당을 남기는 효모 특성이라고 볼 수 있다.

3. 밀 막걸리의 알코올, 가용성 고형분, pH, 총산, 휘발산
 밀 품종별 제조한 막걸리의 알코올, 가용성 고형분, pH, 총산 및 휘발산 함량은 Table 2에 나타났다. 알코올 함량은 13.87~17.93% 범위였으며, 대조구인 수입밀을 사용하여 제

조한 막걸리가 가장 높았으며, 황금알을 사용하여 제조한 막걸리가 가장 낮은 값을 보였다. 황금알 품종은 밀 이화학적 특성에서 탄수화물 함량이 낮고 조단백질 함량이 높은 특성을 가져, 낮은 당화 효율이 알코올 생성량 감소에 영향을 미친 것으로 생각된다.

가용성 고형분은 발효 정도를 나타내는 주요 지표이며, 당류를 포함하여 막걸리의 단맛에 영향을 주는 주요한 특성으로 알려져 있다(Lee SE 등 2022). 품종별로 제조한 막걸리의 가용성 고형분 함량은 유의적 차이는 크지 않았으나, 대조구인 수입밀을 사용하여 제조한 막걸리가 가장 낮은 14.17 °Brix, 황금알로 제조한 막걸리가 가장 높은 17.67 °Brix를 나타냈다. 막걸리는 병행복발효로서 당화에 의해 생성된 당류가 발효 후반으로 갈수록 효모에 의해 소비되어 알코올로 전환됨에 따라 나타난 결과로 보인다(Son HS 등 2011). 따라서 가용성 고형분 함량은 알코올 함량과 반비례하는 경향을 보인 것으로 생각된다.

pH는 3.62~3.97, 총산 함량은 0.77~1.41%로 나타났다. 이는 Kim JW 등(2017)이 보고한 시판 생막걸리의 pH(3.8~4.7) 및 총산 함량(0.17~0.42%)과 비교할 때, 본 연구의 막걸리가 다소 낮은 pH와 높은 총산 함량을 나타냈다. 총산은 발효 과정 중 미생물에 의한 유기산 생성과 잡균 오염 억제에 기여

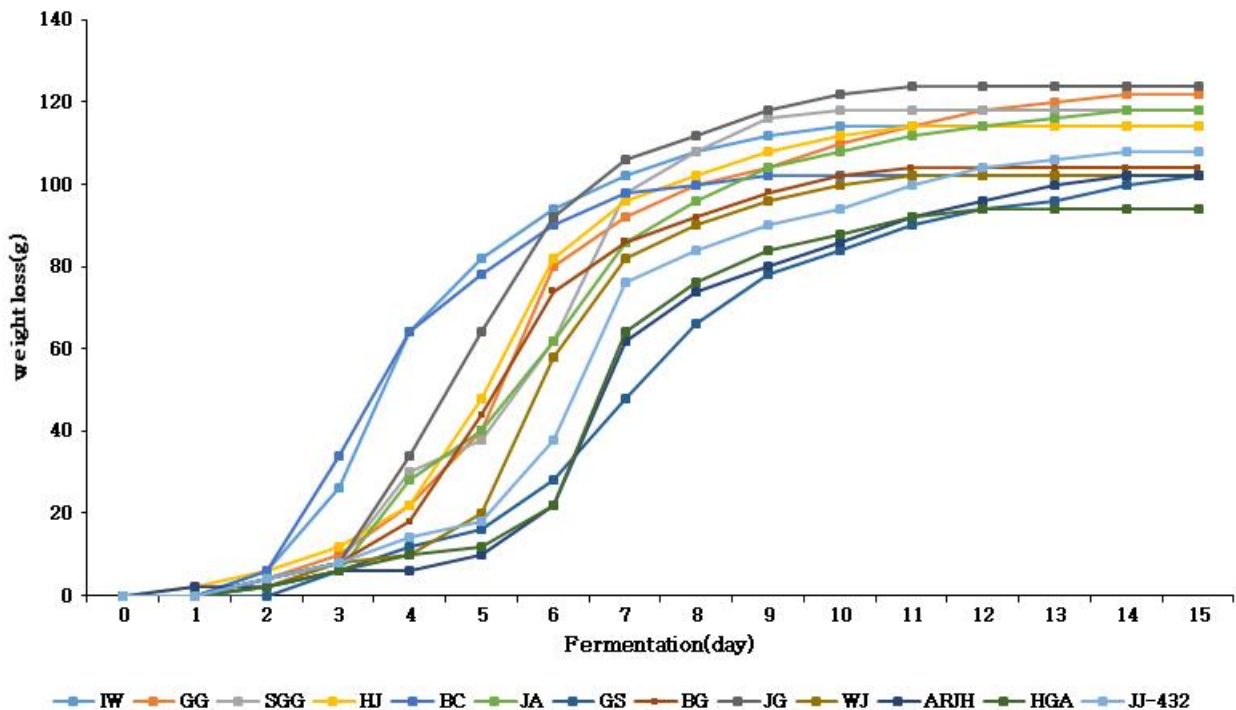


Fig. 1. CO₂ emission and fermentation efficiency by weight analysis. IW, Imported wheat; GG, Geumgang; WJ, Wooju; SGG, Saengeumgang; HJ, Hojoong; BC, Baekchal; JA, Joa; GS, Goso; BG, Baekgang; JG, Jogyung; ARJH, Arijinheuk; HGA, Hwanggeumal; JJ-432, Jeonju-432ho.

Table 2. Physicochemical characteristics of *Makgeolli* fermented using different wheat cultivars

	Alcohol ^{***2)} (%)	Soluble solids ^{***} (°Brix)	pH ^{***}	Total acid ^{***} (%, citric acid)	Volatile acid ^{***} (mg/L, acetic acid)
IW ¹⁾	17.93±0.21 ^{a3)}	14.17±0.00 ^g	3.97±0.13 ^a	0.77±0.00 ^g	554.73±1.36 ^d
GG	16.70±0.12 ^c	15.30±0.00 ^c	3.80±0.01 ^{bcd}	0.98±0.01 ^d	387.87±1.63 ⁱ
WJ	16.37±0.12 ^d	14.90±0.00 ^{de}	3.82±0.12 ^{bc}	0.95±0.02 ^c	553.20±6.16 ^{de}
SGG	15.33±0.06 ^f	15.93±0.06 ^b	3.78±0.03 ^{cd}	1.04±0.01 ^c	760.73±10.51 ^b
HJ	17.23±0.12 ^b	14.97±0.06 ^{de}	3.88±0.11 ^{ab}	0.91±0.01 ^f	522.73±14.09 ^{fg}
BC	15.87±0.06 ^c	15.90±0.15 ^b	3.86±0.06 ^{bc}	0.79±0.01 ^g	542.67±4.15 ^{de}
JA	15.03±0.15 ^g	15.97±0.06 ^b	3.77±0.04 ^{cd}	0.99±0.01 ^d	494.13±6.99 ^{gh}
GS	14.03±0.10 ^h	15.10±0.12 ^{cd}	3.64±0.04 ^{ef}	1.20±0.01 ^b	524.00±52.49 ^{ef}
BG	15.27±0.10 ^{fg}	15.10±0.06 ^{cd}	3.82±0.04 ^{bcd}	0.95±0.00 ^e	358.40±22.33 ^j
JG	15.90±0.06 ^c	14.80±0.06 ^c	3.83±0.04 ^{bc}	0.92±0.01 ^{ef}	524.33±8.91 ^{ef}
ARJH	15.43±0.12 ^f	14.40±0.12 ^f	3.77±0.03 ^{cd}	1.19±0.01 ^b	677.67±6.18 ^c
HGA	13.87±0.12 ^h	17.67±0.00 ^a	3.62±0.02 ^f	1.41±0.01 ^a	791.93±11.68 ^a
JJ-432	13.97±0.06 ^h	15.30±0.00 ^c	3.72±0.09 ^{de}	1.07±0.01 ^c	476.93±4.50 ^h
<i>p</i> -value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

¹⁾ IW, Imported wheat; GG, *Geumgang*; WJ, *Wooju*; SGG, *Saegeumgang*; HJ, *Hojoong*; BC, *Baekchal*; JA, *Joa*; GS, *Goso*; BG, *Baekgang*; JG, *Jogyung*; ARJH, *Arijinheuk*; HGA, *Hwanggeumal*; JJ-432, *Jeonju-432ho*.

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

³⁾ Values are mean±S.D. (n=3). Different letters within a column indicates significantly difference at $p < 0.05$.

하며, 막걸리의 신맛에 영향을 미친다. 높은 총산 함량은 밀 막걸리의 강한 산미로 인해 관능적 품질에는 부정적 영향을 미칠 가능성이 크다. Kang JE 등(2015)은 단백질질을 첨가하면 약주의 총산 함량이 증가한다고 보고하였으며, 밀은 쌀보다 단백질 함량이 높은 곡류(Zhao H 등 2020)로 알려져 있다. 따라서 조단백질 함량이 가장 높은 황금알 품종으로 제조한 막걸리에서 총산 함량이 가장 높게 나타난 것으로 사료된다.

휘발산 함량은 358.40~791.93 mg/L로 나타나, 시판 생막걸리의 휘발산 함량인 21.4~121.0 mg/L(Kang JE 등 2014)보다 현저히 높았다. 휘발산의 주요 성분은 초산으로, 이는 불쾌취를 유발하여 술의 기호성에 부정적인 영향을 미친다. 본 연구에서의 높은 휘발산 함량은 밀 원료의 단백질 함량이 높아 초산균 등 산 생성 미생물의 활성을 촉진했기 때문으로 보인다. 또한, 알코올 함량이 높을수록 초산균의 생육이 억제되는데(Jeong ST 등 2013), 탄수화물 함량이 낮고 조단백질 함량이 높은 황금알로 제조한 막걸리의 낮은 알코올 함량이 초산 생성 활성을 높여 휘발산 함량이 높은 것이라 생각된다.

종합적으로, 밀 막걸리는 쌀 막걸리와 비교할 때 상대적으

로 낮은 pH와 높은 총산 및 휘발산 함량을 나타내며, 이러한 특성은 발효 미생물의 대사활동 및 관능적 특성에 중요한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 밀의 원료 조성 중 단백질 함량 차이에 기인한 결과로 사료된다.

4. 밀 막걸리의 당 함량

밀 막걸리의 당 함량은 환원당 및 유리당(fructose, glucose, maltose) 함량을 분석하여 Table 3에 나타냈다. 환원당은 알코올 발효의 기질로 이용되며 막걸리의 산미 및 감칠맛과 조화되어 독특한 맛을 주기도 하여 감미도에 영향을 주는 중요한 역할을 한다(Ryu JS 등 2021). 환원당 함량은 0.10~3.52%로 나타났으며, 새금강(3.52%), 황금알(3.31%), 조아(3.15%), 백찰(3.07%) 순으로 높은 값을 나타냈다. 반면, 아리진흑(0.10%)과 호중(0.19%)은 현저히 낮은 함량을 보였다.

유리당 중 주요 성분은 glucose로, 78.07~2,314.04 mg/100 mL로 품종별 제조한 막걸리 간 큰 차이를 보였다. Glucose의 함량이 높은 품종별 제조한 막걸리는 새금강(2,314.04 mg/100 mL), 황금알(2,229.41 mg/100 mL), 조아(2,054.03 mg/100 mL), 백찰(1,855.00 mg/100 mL) 순으로, 환원당 함

Table 3. Sugar contents of *Makgeolli* fermented using different wheat cultivars

	Reducing sugars ^{***2)} (%, g/100 mL)	Fructose ^{***} (mg/100 mL)	Glucose ^{***} (mg/100 mL)	Maltose ^{***} (mg/100 mL)
IW ¹⁾	0.44±0.01 ^{g3)}	40.02±9.88 ^{de}	78.07±7.56 ^l	46.85±2.61 ^d
GG	0.44±0.02 ^g	43.62±6.74 ^{de}	143.05±3.23 ^k	65.73±7.57 ^b
WJ	1.22±0.06 ^e	40.76±1.58 ^{de}	968.94±7.48 ^g	66.69±3.57 ^b
SGG	3.52±0.04 ^a	61.40±21.23 ^{bc}	2,314.04±20.49 ^a	71.02±7.48 ^b
HJ	0.19±0.09 ^h	22.83±3.83 ^{fg}	174.90±16.51 ^j	61.51±1.75 ^{bc}
BC	3.07±0.24 ^c	71.75±3.96 ^{ab}	1,855.00±8.30 ^d	85.75±1.07 ^a
JA	3.15±0.26 ^{bc}	58.68±3.98 ^c	2,054.03±8.08 ^c	89.89±0.87 ^a
GS	1.74±0.21 ^d	73.02±4.86 ^{ab}	1,185.42±4.72 ^e	49.46±2.79 ^d
BG	0.91±0.07 ^f	45.60±7.82 ^d	930.88±4.41 ^h	53.69±16.76 ^{cd}
JG	0.78±0.02 ^f	78.20±3.98 ^a	945.91±2.81 ^h	86.12±2.10 ^a
ARJH	0.10±0.06 ^h	11.50±3.52 ^g	214.91±3.23 ⁱ	50.11±7.26 ^d
HGA	3.31±0.15 ^{ab}	37.57±1.05 ^{de}	2,229.41±12.98 ^b	91.98±1.06 ^a
JJ-432	1.13±0.02 ^e	32.49±5.26 ^{ef}	1,114.00±4.26 ^f	65.73±5.63 ^b
<i>p</i> -value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

¹⁾ IW, Imported wheat; GG, *Geumgang*; WJ, *Wooju*; SGG, *Saegeumgang*; HJ, *Hojoong*; BC, *Baekchal*; JA, *Joa*; GS, *Goso*; BG, *Baekgang*; JG, *Jogyung*; ARJH, *Arijinheuk*; HGA, *Hwanggeumal*; JJ-432, *Jeonju-432ho*.

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

³⁾ Values are mean±S.D. (n=3). Different letters within a column indicates significantly difference at $p < 0.05$.

량과 동일하게 나타났다. 다른 유리당 성분인 fructose는 11.50~78.20 mg/100 mL로, 아리진혹으로 제조한 막걸리가 가장 낮고, 조경으로 제조한 막걸리가 가장 높았다. Maltose는 46.85~91.98 mg/100 mL로 나타났으며, 대조구인 수입밀로 제조한 막걸리가 가장 낮고, 황금알로 제조한 막걸리에서 가장 높았다.

막걸리의 감미는 주로 전분 분해로 생성된 glucose에서 기인하며, 유리당 함량은 향미 형성과 단맛 강도에 영향을 미친다(Lee Y 등 2012). 새금강, 백찰, 황금알을 사용하여 제조한 막걸리에서 환원당 및 유리당 함량이 상대적으로 높게 검출되었는데, Y263 효모가 이러한 단맛을 일정 부분 유지함으로써 환원당 및 유리당 함량이 높은 막걸리는 단맛 특성이 뚜렷하여 관능 평가에서 긍정적 요인으로 작용할 수 있다. 다만, 산 함량과의 조합에 따라 감미의 인지가 달라질 수 있다.

5. 밀 막걸리의 유기산 함량

밀 막걸리의 유기산 함량은 Table 4에 나타났다. 함량이 가장 높게 나타난 유기산은 lactic acid였으며, acetic acid 함량도 고루 분포되어 두 번째로 높게 나타났다. 이외에는 formic acid, malic acid, citric acid, succinic acid가 검출되었

다. 유기산은 막걸리의 신맛 형성에 직접적으로 관여하며, 적정 농도에서는 풍미를 향상시키지만 lactic acid와 acetic acid와 같은 유기산은 과다할 경우 자극적인 산미를 유발하여 막걸리 품질에 부정적인 영향을 준다(Kim DR 등 2012).

살균 막걸리보다 비살균 막걸리에서 lactic acid가 더 많이 검출된다는 보고(Lee SJ 등 2011)가 있으며, 본 연구에서도 유사한 경향을 확인하였다. 본 연구의 밀 막걸리에서 lactic acid 함량은 414.49~767.02 mg/100 mL로 나타나, Park CW 등(2011)이 보고한 시판 막걸리의 lactic acid 함량(307.6~547.9 mg/100 mL)에 비해 다소 높은 수준이었다. 다만, 발효 초기에 발효 속도가 다른 품종들에 비해 빨랐던 수입밀과 백찰로 제조한 술덧의 경우 lactic acid 함량이 상대적으로 낮게 검출되었다. Kang SM 등(2016)에서 lactic acid는 발효 온도 및 시간이 증가할수록 생성량이 많아져 이로 인해 자극적인 신맛이 증가한다고 보고하였다. 하지만 수입밀과 백찰로 제조한 술덧들은 CO₂ 누적 생성량 결과에서 발효 초기에 급속히 발효가 진행되었던 술덧 종류였기 때문에 다른 술덧 종류들에 비해 lactic acid가 충분히 생성될 시간을 확보하지 못했기 때문이라 판단된다. 하지만 Y263 효모 특성상 완전한 발효를 하지 않는 특성으로 인해 발효가 완료되기까지 긴 기간

Table 4. Organic acid contents of *Makgeolli* fermented using different wheat cultivars

	Organic acids (mg/100 mL)					
	Formic acid	Malic acid ^{***2)}	Lactic acid ^{***}	Acetic acid ^{***}	Citric acid ^{***}	Succinic acid ^{***}
IW ¹⁾	20.28±7.13 ^{abc3)}	47.76±18.15 ^{de}	414.49±4.46 ^k	77.75±2.00 ^f	0.00±0.00 ^d	116.32±24.48 ^{bc}
GG	0.00±0.00 ^d	77.52±11.13 ^{bc}	591.35±3.09 ^f	77.14±2.52 ^f	0.00±0.00 ^d	164.69±21.79 ^a
WJ	28.28±7.95 ^{abc}	88.48±9.03 ^{bc}	564.82±1.30 ^g	105.33±2.67 ^c	244.82±49.07 ^b	0.00±0.00 ^e
SGG	12.03±2.39 ^{bcd}	30.54±3.49 ^{ef}	599.97±4.70 ^e	122.42±1.80 ^a	0.00±0.00 ^d	83.02±7.09 ^{cd}
HJ	37.89±5.84 ^{ab}	98.96±18.33 ^b	501.49±1.53 ⁱ	94.62±1.10 ^d	134.55±117.45 ^e	51.24±88.75 ^d
BC	35.56±61.60 ^{abc}	129.28±15.03 ^a	487.37±5.59 ^j	120.57±9.72 ^a	350.36±5.78 ^a	0.00±0.00 ^e
JA	6.18±5.35 ^{cd}	21.83±4.83 ^{fg}	598.66±3.69 ^e	95.02±1.20 ^d	0.00±0.00 ^d	103.37±2.25 ^e
GS	9.93±8.66 ^{bcd}	68.15±22.46 ^{cd}	738.17±0.64 ^b	91.44±2.13 ^{de}	0.00±0.00 ^d	121.67±32.59 ^{ab}
BG	43.15±2.08 ^a	81.29±8.33 ^{bc}	605.16±3.59 ^e	92.94±3.13 ^d	191.67±27.47 ^{bc}	0.00±0.00 ^e
JG	22.63±2.26 ^{abc}	83.95±8.14 ^{bc}	534.63±0.80 ^h	94.22±3.94 ^d	0.00±0.00 ^d	162.71±12.08 ^{ab}
ARJH	14.40±3.80 ^{abc}	27.27±23.94 ^{ef}	694.80±0.87 ^c	114.21±0.91 ^b	0.00±0.00 ^d	104.75±10.04 ^c
HGA	0.00±0.00 ^d	97.64±9.70 ^b	767.02±10.65 ^a	123.52±3.92 ^a	238.65±6.23 ^b	0.00±0.00 ^e
JJ-432	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^g	638.97±2.18 ^d	85.95±0.96 ^c	0.00±0.00 ^d	97.61±4.36 ^{cd}
<i>p</i> -value	0.050	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

¹⁾ IW, Imported wheat; GG, *Geumgang*; WJ, *Wooju*; SGG, *Saegeumgang*; HJ, *Hojoong*; BC, *Baekchal*; JA, *Joa*; GS, *Goso*; BG, *Baekgang*; JG, *Jogyung*; ARJH, *Arijinheuk*; HGA, *Hwanggeumal*; JJ-432, *Jeonju-432ho*.

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

³⁾ Values are mean±S.D. (n=3). Different letters within a column indicates significantly difference at $p < 0.05$.

이 걸리므로, 전반적으로 밀 품종별 제조한 술덧에서 lactic acid 함량이 높게 검출된 것으로 사료된다.

Acetic acid는 77.14~123.52 mg/100 mL의 범위로 검출되었으며, 황금알로 제조한 막걸리에서 가장 높게 나타났다. 이는 acetic acid로 환산한 휘발산 함량의 결과와도 일치하였다. 다음으로 백찰로 제조한 막걸리가 120.57 mg/100 mL로 높게 나타났으며, 관능적 측면에서 다소 부정적인 신맛을 유발할 가능성이 크다. Woo SM 등(2010)은 효모 및 젖산균의 대사 과정 중 알코올 성분의 산화로 인해 초산발효 단계로 진행되기 때문에 주질을 저하시키는 요인이 된다고 보고하였다.

Citric acid는 상쾌하고 청량한 신맛을 부여하는 유기산으로 알려져 있는데, 13개 중 5개의 품종으로 제조한 막걸리에서만 검출되었다. Citric acid가 검출된 막걸리는 백찰(350.36 mg/100 mL), 우주(244.82 mg/100 mL), 황금알(238.65 mg/100 mL), 백강(191.67 mg/100 mL), 호중(134.55 mg/100 mL) 순으로 나타났다. Succinic acid는 51.24-164.69 mg/100 mL로 나타났으며, 대체로 citric acid가 검출되지 않은 막걸리에서 높은 경향을 보였다.

Malic acid는 백찰로 제조한 막걸리에서 129.28 mg/100 mL로 가장 높게 나타났는데, 알코올 발효 시 *Lactobacillus* sp.와 같은 특정 유산균에 의해 malo-lactic fermentation(MLF) 과정이 일어나 malic acid가 lactic acid로 전환된다(Kim JK 등 2020). 따라서 lactic acid/malic acid ratio를 확인한 결과(Hwang IS 등 2025), 백찰을 이용하여 제조한 막걸리에서 가장 낮은 비율인 3.77로 나타나 가장 적은 신맛을 나타낼 것으로 판단된다. 백찰로 제조한 막걸리에서 acetic acid 함량이 다소 높게 검출되었지만, citric acid와 malic acid가 향미의 균형을 유지하는 역할을 하여 백찰을 사용하여 제조한 막걸리가 관능적 측면에서 긍정적인 평가를 받을 가능성을 시사한다.

전반적으로 lactic acid 함량이 높을수록 신맛이 강하게 표현되어, 이에 따라 쌀 막걸리에 비해 관능적 기호도가 다소 낮게 평가될 가능성이 있다고 판단된다.

6. 밀 막걸리의 유리아미노산 함량

밀 품종별로 제조한 막걸리의 유리아미노산을 분석한 결과, 총 31종이 검출되었다. 이 중 모든 밀 품종별 막걸리를 합산한 함량을 기준으로, 4,000 µg/mL 이상을 나타낸 유리

아미노산만을 선별하여 Table 5에 나타냈다. 막걸리의 맛은 신맛, 감칠맛, 단맛 및 쓴맛을 나타내는 다양한 유리아미노산의 조화에 의해 결정되며, glutamic acid는 감칠맛, glycine과 alanine은 단맛, valine, leucine, phenylalanine, arginine은 쓴맛에 기여한다(Kim JK 등 2020).

쓴맛 계열의 아미노산은 valine, leucine, phenylalanine, arginine이며, 이들이 전체적으로 높은 함량을 보였다. 특히 leucine은 689.89~1,571.67 µg/mL로 가장 높게 나타났으며, 백찰로 제조한 막걸리에서 가장 낮고, 황금알로 제조한 막걸리에서 가장 높게 나타났다. Phenylalanine 역시 유사한 경향을 보이며, 백찰(413.19 µg/mL)보다 황금알(829.34 µg/mL)에서 높은 함량을 보였다.

감칠맛을 부여하는 glutamic acid는 두 번째로 높은 수준으로 검출되었으며, 품종에 따라 595.84~932.42 µg/mL의 범위를 보였다. 수입밀로 제조한 막걸리에서 가장 낮았고, 전주432호에서 가장 높게 나타나 품종에 따른 감칠맛 기여도의 차이를 시사하였다.

한편, 단맛을 담당하는 glycine과 alanine은 상대적으로 낮은 농도로 검출되어, 전체적인 단맛보다는 쓴맛 및 감칠맛 중심의 풍미 특성을 형성하는 것으로 판단된다. 전반적으로 밀 품종별 막걸리는 쓴맛 유리아미노산의 함량이 높게 나타나 쓴맛이 뚜렷하지만 이러한 특성이 당과 산의 비율에 따라 복합적인 향미 변화를 일으켜 막걸리의 맛 다양성을 넓히는

요소로 작용할 것으로 보인다.

7. 밀 막걸리의 전자코 활용 향기 성분 패턴

본 연구에서는 전자코를 활용하여 밀 품종별로 제조한 막걸리의 향기 성분 패턴을 분석하고, 시료 간 차이에 관여하는 변수를 판별함으로써 차별화된 향미 특성을 규명하고자 하였다(Fig. 2). DFA 결과, 첫 번째 판별함수(DF1)는 전체 변동의 56.96%를, 두 번째 판별함수(DF2)는 34.15%를 설명하였다.

DF1축에서 양의 방향에는 수입밀, 금강, 백찰, 호중, 백강, 조경, 우주 품종으로 제조한 막걸리가 위치하였으며, 음의 방향에는 새금강, 조아, 고소, 황금알, 아리진흑, 전주432호가 위치하였다. 이와 같은 군집 간 차이를 유발한 주요 향기 성분들은 discrimination power값이 0.900 이상인 것들만 선별하였으며, ethyl acetate, ethyl octanoate, ethyl hexanoate, isobutanol, ethyl 2-methylbutyrate로 확인되었다(Table 6).

특히 향기 패턴 차이에 가장 크게 기여한 성분은 ethyl acetate였으며, 고소로 제조한 막걸리가 가장 높은 area값(2,999,044.54)로 나타났고, 백찰로 제조한 막걸리가 가장 낮은 값인 317,745.99로 나타났다. 두 번째로 큰 영향을 준 ethyl octanoate는 수입밀로 제조한 막걸리에서 최대값인 4,806.56으로 나타났으며, 고소로 제조한 막걸리에서 최소값인 1,648.23으로 나타났다. 세 번째로 ethyl hexanoate는 백찰

Table 5. Free amino acid of Makgeolli of different wheat cultivars

	Free amino acids (µg/mL)				
	Aspartic acid ^{***2)}	Glutamic acid ^{***}	Glycine ^{***}	Alanine ^{***}	Valine ^{***}
IW ¹⁾	292.92±25.27 ^{c3)}	595.84±15.84 ^h	212.14±11.41 ^{ab}	550.49±18.08 ^{cd}	273.65±19.74 ^e
GG	344.62±4.00 ^{bc}	859.83±12.59 ^{bc}	230.53±8.72 ^a	655.05±16.63 ^b	397.49±17.07 ^a
WJ	311.81±25.72 ^{dc}	622.15±9.06 ^{gh}	196.00±6.65 ^{bc}	511.50±7.18 ^{ef}	295.26±5.93 ^{dc}
SGG	324.24±10.06 ^{cd}	711.96±10.41 ^f	175.26±5.04 ^{cd}	531.96±6.78 ^{def}	293.22±6.53 ^{dc}
HJ	316.79±12.23 ^{dc}	751.36±31.41 ^e	209.48±7.61 ^{ab}	550.34±18.11 ^{cd}	328.03±13.91 ^{cd}
BC	309.73±2.33 ^{dc}	640.04±9.22 ^g	186.63±2.28 ^{cd}	482.84±3.98 ^f	215.95±2.36 ^f
JA	434.66±25.97 ^a	827.51±6.72 ^{cd}	131.08±13.39 ^e	736.40±4.13 ^a	352.69±5.40 ^{bc}
GS	436.68±17.04 ^a	885.39±21.47 ^b	210.85±16.55 ^{ab}	701.74±27.36 ^{ab}	383.00±31.81 ^{ab}
BG	369.61±13.48 ^b	810.33±19.79 ^d	224.79±15.85 ^a	562.46±23.74 ^{cd}	328.41±34.35 ^{cd}
JG	362.40±3.39 ^b	740.62±3.88 ^{ef}	94.69±1.30 ^f	591.34±1.10 ^{cd}	281.17±0.93 ^e
ARJH	333.38±1.68 ^{cd}	745.37±7.70 ^{ef}	170.51±10.07 ^d	597.38±14.69 ^c	371.10±22.43 ^{ab}
HGA	425.36±8.05 ^a	879.20±53.76 ^b	111.28±30.21 ^{ef}	699.96±109.69 ^{ab}	356.55±43.75 ^{bc}
JJ-432	442.96±8.07 ^a	932.42±18.17 ^a	125.52±2.16 ^c	740.96±12.56 ^a	399.96±11.87 ^a
<i>p</i> -value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Table 5. Continued

	Free amino acids ($\mu\text{g/mL}$)					
	Leucine***	Phenylalanine***	β -Amino isobutyric acid***	Ornithine***	Arginine***	Proline***
IW ¹⁾	649.64 \pm 18.22 ^f	491.30 \pm 38.15 ^c	245.95 \pm 29.08 ^c	280.06 \pm 5.13 ^c	407.02 \pm 9.21 ^b	652.91 \pm 9.00 ^c
GG	1,088.48 \pm 24.30 ^{bc}	761.85 \pm 46.45 ^{ab}	586.40 \pm 72.49 ^{ab}	442.01 \pm 6.94 ^{ab}	448.30 \pm 5.08 ^a	786.66 \pm 5.97 ^b
WJ	729.53 \pm 5.02 ^{ef}	594.82 \pm 7.36 ^d	545.40 \pm 10.39 ^{ab}	374.57 \pm 0.91 ^b	384.58 \pm 1.98 ^c	513.66 \pm 61.67 ^f
SGG	844.52 \pm 6.01 ^{def}	489.56 \pm 5.65 ^c	309.02 \pm 4.57 ^c	395.85 \pm 2.36 ^b	244.94 \pm 1.32 ^c	672.49 \pm 8.06 ^{de}
HJ	863.53 \pm 28.18 ^{cdef}	638.88 \pm 33.01 ^{cd}	508.28 \pm 62.55 ^{ab}	382.45 \pm 17.21 ^b	392.85 \pm 16.79 ^{bc}	657.87 \pm 24.27 ^{de}
BC	689.89 \pm 5.68 ^f	413.09 \pm 4.26 ^e	332.35 \pm 3.67 ^c	403.63 \pm 2.73 ^{ab}	408.07 \pm 2.69 ^b	636.98 \pm 11.56 ^c
JA	1,070.45 \pm 5.61 ^{bcd}	722.32 \pm 8.16 ^{bc}	582.98 \pm 15.06 ^{ab}	461.23 \pm 1.22 ^{ab}	357.22 \pm 2.66 ^d	485.12 \pm 26.72 ^f
GS	1,062.28 \pm 40.04 ^{bcd}	747.52 \pm 84.12 ^{ab}	514.08 \pm 131.71 ^{ab}	397.44 \pm 7.86 ^b	344.09 \pm 4.26 ^d	848.46 \pm 6.18 ^a
BG	923.84 \pm 34.68 ^{cde}	606.16 \pm 65.40 ^d	457.08 \pm 128.53 ^b	498.36 \pm 3.97 ^a	349.29 \pm 3.23 ^d	707.08 \pm 5.58 ^{cd}
JG	932.19 \pm 0.42 ^{cde}	592.90 \pm 0.71 ^d	463.79 \pm 1.64 ^b	428.24 \pm 0.90 ^{ab}	405.10 \pm 2.31 ^{bc}	501.89 \pm 10.02 ^f
ARJH	1,044.54 \pm 25.75 ^{bcd}	641.30 \pm 53.23 ^{cd}	489.69 \pm 102.08 ^b	397.29 \pm 5.76 ^b	404.30 \pm 2.23 ^{bc}	732.30 \pm 3.65 ^c
HGA	1,571.67 \pm 446.90 ^a	829.34 \pm 113.02 ^a	626.67 \pm 89.06 ^a	245.21 \pm 185.88 ^c	396.74 \pm 33.64 ^{bc}	497.52 \pm 11.85 ^f
JJ-432	1,220.14 \pm 22.50 ^b	828.43 \pm 16.63 ^a	639.84 \pm 12.63 ^a	459.55 \pm 8.62 ^{ab}	406.75 \pm 8.51 ^b	408.87 \pm 66.46 ^g
<i>p</i> -value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.000	<0.0001	<0.0001

¹⁾ IW, Imported wheat; GG, Geumgang; WJ, Wooju; SGG, Saegeumgang; HJ, Hojoong; BC, Baekchal; JA, Joa; GS, Goso; BG, Baekgang; JG, Jogyung; ARJH, Arijinheuk; HGA, Hwanggeumal; JJ-432, Jeonju-432ho.

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

³⁾ Values are mean \pm S.D. (n=3). Different letters within a column indicates significantly difference at $p < 0.05$.

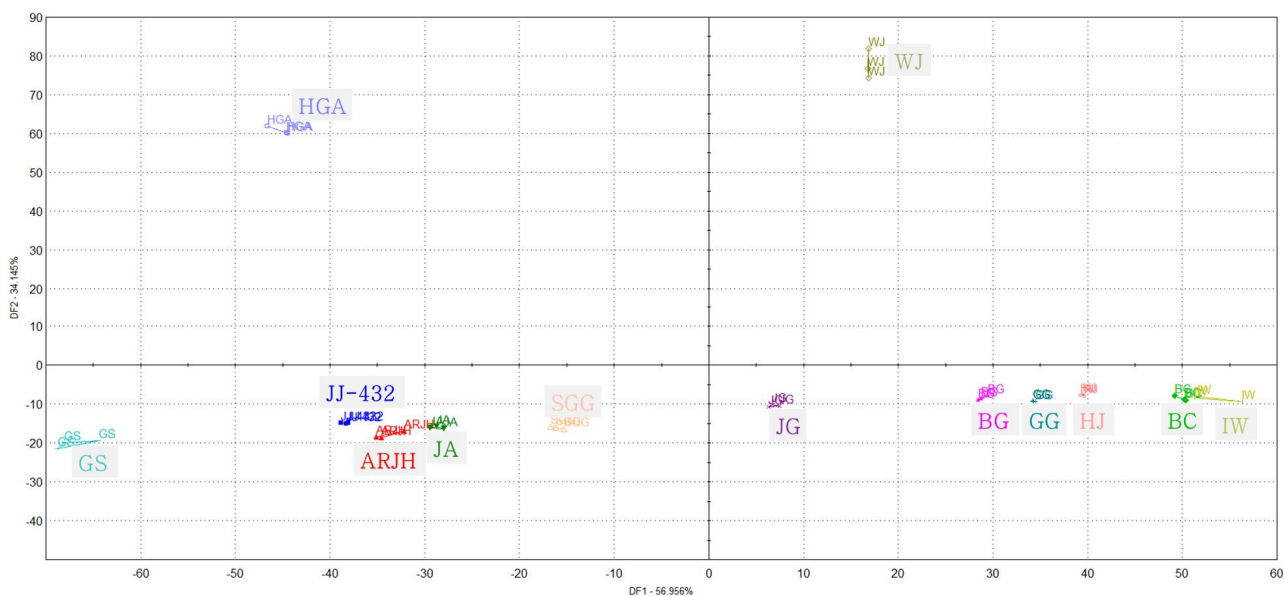


Fig. 2. Discriminant function analysis (DFA) plot of aroma patterns of Makgeolli of different wheat cultivars. IW, Imported wheat; GG, Geumgang; WJ, Wooju; SGG, Saegeumgang; HJ, Hojoong; BC, Baekchal; JA, Joa; GS, Goso; BG, Baekgang; JG, Jogyung; ARJH, Arijinheuk; HGA, Hwanggeumal; JJ-432, Jeonju-432ho.

Table 6. Volatile compounds of *Makgeolli* of different wheat cultivars identified detected by electronic nose (area)

	MXT-5				MXT-1701	
	Ethyl acetate ^{***2)}	Ethyl octanoate ^{***}	Ethyl hexanoate ^{***}	Ethyl 2-methyl butyrate ^{***}	Ethyl acetate ^{***}	Isobutanol ^{***}
IW ¹⁾	9,465.03 ^{bc3)}	4,806.56 ^a	5,524.76 ^b	4,553.25 ^{cde}	441,779.48 ^j	87,663.97 ^c
GG	1,2918.97 ^a	4,605.83 ^a	5,642.52 ^b	5,659.18 ^{bcd}	830,096.35 ^g	75,015.09 ^{de}
WJ	1,4210.26 ^a	3,703.72 ^c	4,860.12 ^{cd}	2,907.91 ^e	936,806.58 ^f	69,598.37 ^{ef}
SGG	2,560.20 ^d	3,469.71 ^{cd}	4,442.61 ^{ef}	12,328.23 ^a	1,955,063.14 ^d	101,694.28 ^a
HJ	13,530.80 ^a	4,025.94 ^b	4,985.28 ^c	3,938.10 ^{de}	582,677.17 ⁱ	6,6871.81 ^f
BC	8,460.03 ^c	3,215.57 ^d	6,321.26 ^a	3,569.75 ^e	317,745.99 ^k	79,540.74 ^d
JA	0.00 ^d	2,216.53 ^f	3,760.68 ^{hi}	11,796.15 ^a	2,089,630.09 ^c	95,657.33 ^b
GS	2,964.02 ^d	1,648.23 ^g	2,918.00 ^j	6,932.51 ^b	2,999,044.54 ^a	85,935.58 ^c
BG	11,947.11 ^{ab}	3,337.97 ^d	4,687.75 ^{cde}	4,791.74 ^{cde}	729,597.62 ^h	67,468.88 ^f
JG	12,475.12 ^{ab}	3,146.00 ^d	4,484.25 ^{def}	6,938.88 ^b	1,247,218.30 ^e	65,224.40 ^f
ARJH	0.00 ^d	2228.15 ^f	4,045.83 ^{gh}	6,343.73 ^{bc}	2,314,835.06 ^b	95,066.06 ^b
HGA	0.00 ^d	2,206.05 ^f	3,658.52 ⁱ	3,777.58 ^e	2,263,521.03 ^b	57,231.14 ^g
JJ-432	0.00 ^d	2,710.06 ^e	4,199.78 ^{fg}	12,299.30 ^a	2,319,174.23 ^b	79,235.46 ^d
D.P. ⁴⁾	0.938	0.972	0.962	0.941	0.997	0.958
<i>p</i> -value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

¹⁾ IW, *Imported wheat*; GG, *Geumgang*; WJ, *Wooju*; SGG, *Saegeumgang*; HJ, *Hojoong*; BC, *Baekchal*; JA, *Joa*; GS, *Goso*; BG, *Baekgang*; JG, *Jogyung*; ARJH, *Arijinheuk*; HGA, *Hwanggeumal*; JJ-432, *Jeonju-432ho*.

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

³⁾ Values are mean ($n=3$). Different letters within a column indicates significantly difference at $p < 0.05$.

⁴⁾ Discrimination power.

로 제조한 막걸리가 6,321.26으로 가장 높았고, 고소로 제조한 막걸리가 2,918.00으로 가장 낮았다.

Ethyl acetate, ethyl octanoate, ethyl hexanoate는 막걸리에 달콤한 향과 과일 향을 부여하는 주요 휘발성 화합물로 보고되고 있으며(Choi J 등 2023; Choi KT 등 2024), 본 연구에서도 이 성분들의 차이가 DFA를 통한 시료 간 분류에 결정적 영향을 미친 것으로 판단된다.

8. 밀 막걸리의 관능평가

총 13종의 밀을 이용하여 제조한 막걸리에 대한 소비자 기호도 및 특성 강도 평가인 RATA를 진행하였다. 기호도 평가는 외관, 향, 맛, 전반적인 기호도의 네 항목에 대해 9점 척도로 수행되었으며(Table 7), 외관, 향, 맛 항목에서는 시료 간 유의한 차이가 나타났으나, 전반적인 기호도는 유의한 차이는 보이지 않았다.

새금강과 백찰을 이용하여 제조한 막걸리는 맛 부문에서

각각 4.67점, 4.64점을, 전반적인 기호도에서는 각각 4.69점, 4.54점을 나타내 상대적으로 높은 점수 평가를 받았다. 이는 백찰로 제조한 막걸리의 낮은 lactic acid 함량으로 인해 신맛이 적고, 환원당 및 glucose 함량이 높았던 새금강으로 제조한 막걸리의 단맛으로 인해 산과 당의 비율이 적절하게 형성된 결과로 해석된다(Lee Y 등 2012). 반면, 황금알을 사용하여 제조한 막걸리는 전반적인 기호도 점수가 3.83점으로 가장 낮았다.

RATA는 외관(노란색, 탁도), 향(알코올향, 바나나향, 고소한향, 단향, 시큼한향, 요구르트향, 쿼크향), 맛(단맛, 신맛, 쓴맛, 감칠맛, 고소한 향미, 알코올 향미, 요구르트 향미), 그리고 목넘김(탄산감, 텁텁함, 뚝은 느낌, 걸쭉함) 항목으로 구성되었다(Fig. 3).

RATA 대응분석(CA) 결과, F1과 F2의 설명력은 각각 41.47%와 22.15%로 나타났다. F1축의 양의 방향에는 새금강과 백찰 품종을 사용하여 제조한 막걸리가 위치하여, 높은

Table 7. Consumer preference scores of *Makgeolli* of different wheat cultivars (n=86)

	Appearance ^{***2)}	Aroma ^{***}	Taste ^{**}	Overall liking
IW ¹⁾	5.70 ^{ab3)}	4.69 ^d	4.37 ^{abc}	4.32 ^{abcd}
GG	5.27 ^{bc}	5.66 ^{ab}	4.12 ^{abcd}	4.38 ^{abcd}
WJ	5.27 ^{bc}	5.51 ^{ab}	3.79 ^{cd}	3.92 ^{cd}
SGG	5.70 ^{ab}	5.69 ^{ab}	4.67 ^a	4.69 ^a
HJ	4.81 ^c	5.56 ^{ab}	4.30 ^{ab}	4.44 ^{abc}
BC	4.95 ^c	4.74 ^{cd}	4.64 ^a	4.54 ^{ab}
JA	6.20 ^a	5.88 ^a	4.01 ^{bcd}	4.29 ^{abcd}
GS	6.18 ^a	5.56 ^{ab}	3.77 ^d	4.02 ^{bcd}
BG	5.33 ^{bc}	5.30 ^b	3.93 ^{bcd}	3.93 ^{cd}
JG	5.54 ^b	5.44 ^{bc}	3.95 ^{bcd}	4.18 ^{abcd}
ARJH	5.62 ^b	5.26 ^{bc}	4.12 ^{abcd}	4.18 ^{abcd}
HGA	4.87 ^c	5.26 ^{bc}	3.74 ^d	3.83 ^d
JJ-432	5.79 ^{ab}	5.74 ^{ab}	4.26 ^{abcd}	4.43 ^{abc}
p-value	<0.0001	0.000	0.010	0.111

¹⁾ IW, *Imported wheat*; GG, *Geumgang*; WJ, *Wooju*; SGG, *Saegeumgang*; HJ, *Hojoong*; BC, *Baekchal*; JA, *Joa*; GS, *Goso*; BG, *Baekgang*; JG, *Jogyung*; ARJH, *Arijinheuk*; HGA, *Hwanggeumal*; JJ-432, *Jeonju-432ho*.

²⁾ **, *** significantly differ at $p < 0.01$, $p < 0.001$.

³⁾ Values are mean (n=86). Different letters within a column indicates significantly difference at $p < 0.05$.

맛 점수 및 전반적인 기호도와 관련성이 있었다. 두 품종으로 제조한 막걸리는 고소한 향미, 감칠맛, 단맛, 요구르트향미와 같은 긍정적인 관능 특성과 밀접한 상관관계를 보여 밀 막걸리의 선호도를 높이는 주요 관능 특성이라는 것을 알 수 있었다. 반면, 황금알을 사용하여 제조한 막걸리는 걸쭉함, 텁텁함, 뚝은 느낌, 높은 탁도와 연관되어 낮은 기호도를 보였다.

결론

본 연구에서는 Y623 효모를 이용해 13개의 밀 품종별 막걸리를 제조하여 품질 특성을 종합적으로 분석하였다. 밀의 탄수화물 함량은 대조구인 수입밀과 새금강 품종이 높고, 황금알 품종이 가장 낮게 나타났으며, 조단백질 함량은 황금알 품종이 두드러지게 높았다. 밀 막걸리의 발효 특성으로는 아밀로스 함량이 현저히 적은 백찰 품종이 발효 초기 다른 품종들에 비해 상대적으로 빠른 CO₂ 생성 속도를 나타냈다. 밀 막걸리의 총산 함량이 전반적으로 높게 나타났으며(0.77~1.44%), 이는 쌀보다 높은 단백질 함량에서 기인된 것으로 판단된다. 환원당 및 유리당 함량에서는 황금알, 조아, 백찰 품

종이 높은 당 함량을 나타내어 단맛과 관능적 감미도를 높일 수 있음을 보여주었다. 유기산 함량은 lactic acid와 acetic acid가 주된 산미 구성 요소로, 특히 황금알 품종에서 높은 총산 및 휘발산 함량과 더불어 높게 검출되었으나, 백찰 품종은 citric acid와 malic acid를 조화롭게 함유하고 있었다. 유리아미노산은 쓴맛에 기여하는 성분인 leucine과 phenylalanine 함량이 황금알로 제조한 막걸리에서 가장 높게 나타났으며, 백찰로 제조한 막걸리가 가장 낮게 나타났다. 관능 평가 결과에서는 새금강과 백찰로 제조한 막걸리에서 맛과 전반적인 기호도가 높은 점수를 받았고, 이들은 고소한 향미, 감칠맛, 단맛, 요구르트 향미 등 우수한 관능 특성을 지니는 것으로 나타났다. 반면, 황금알로 제조한 막걸리에서는 높은 산미와 텁텁함, 걸쭉함 등 부정적인 관능 특성과 연관되며 낮은 기호도를 보였다.

종합적으로, 본 연구에서는 동일한 스위트형 효모인 Y263을 적용한 동일 조건의 발효 환경에서 밀 품종에 따른 막걸리의 발효 특성, 이화학적 특성, 향기 성분 패턴 및 관능적 차이를 규명하였다. Y263 효모는 실험 전반에서 일정한 발효력을 유지하는 기준 균주(reference yeast)로 기능하였으며, 최종 품질 차이는 주로 원료 밀 품종의 조성 및 특성에서 기

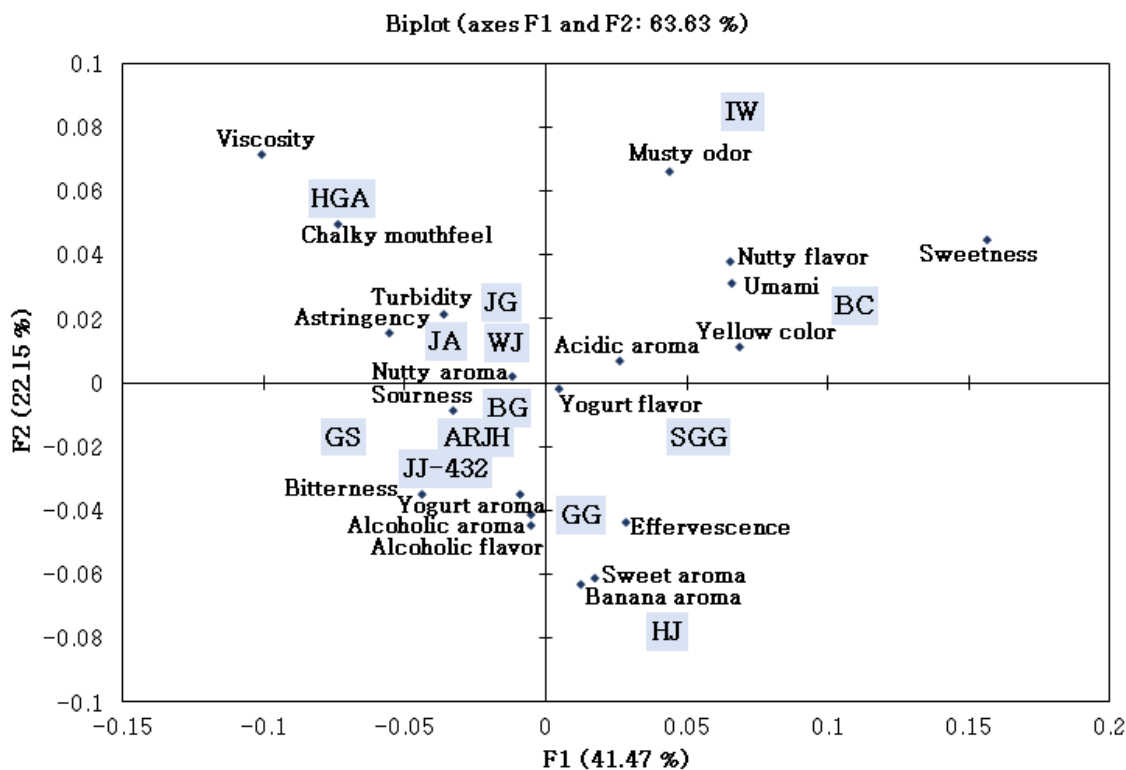


Fig. 3. Correspondence analysis of RATA characteristics in Makgeolli (n=86). IW, Imported wheat; GG, Geumgang; WJ, Wooju; SGG, Saengeumgang; HJ, Hojoong; BC, Baekchal; JA, Joa; GS, Goso; BG, Baekgang; JG, Jogyung; ARJH, Arijinheuk; HGA, Hwanggeumal; JJ-432, Jeonju-432ho.

인하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 국산 밀 품종을 활용한 막걸리 제조 시 품종 선택이 주질 형성에 미치는 영향을 이해하는 데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립식량과학원 기관고유사업(과제번호: PJ017 29001)의 지원과 2025년도 농촌진흥청 국립식량과학원 전문 연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것으로, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

AOAC (1995) Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC. pp 69-74.
Choi J, Park SY, Park MK, Kim YS, Ahn C, Kim YJ, Park CS (2023) Application of *Schizosaccharomyces japonicus*

in *Makgeolli* fermentation and its brewing characteristics. Food Sci Biotechnol 32(10): 1383-1393.
Choi JS, Park YD, Kim HS, Jeong ST (2018) The flavor characteristics of rice *Makgeolli* and wheat flour *Makgeolli* by heat treatment. J East Asian Soc Diet Life 28(1): 15-23.
Choi KT, Lee SH, Kim YJ, Choi JS, Lee SB (2024) Improvement of volatile aromatic compound levels and sensory quality of distilled *soju* derived from *Saccharomyces cerevisiae* and *Wickerhamomyces anomalus* co-fermentation. Food Chem X 22: 101368.
Hwang IS, Kim B, Kang HH, Kim CW, Lim BR, Choi JH (2025) Determination of quality characteristics of commercial yeast used distilled *Soju* with different rice cultivars. J Korean Soc Food Sci Nutr 54(1): 65-75.
Jeong ST, Kwak HJ, Kim SM (2013) Quality characteristics and biogenic amine production of *Makgeolli* brewed with commercial *Nuruks*. Korean J Food Sci Technol 45(6): 727-734.
Jeong ST, Yeo SH, Choi HS, Kang JE, Kim CW, Jeon JA,

- Kwon YS (2019) Method for culturing sweet type yeast and powdering thereof. KR Patent 10-2303519.
- Kang CS, Cheong YK, Kim BK (2016) Current situation and prospect of Korean wheat industry. *Food Industry And Nutrition* 21(2): 20-24.
- Kang JE, Choi HS, Choi JH, Yeo SH, Jeong ST (2014) Physicochemical properties of Korean non-sterilized commercial *Makgeolli*. *Korean J Community Living Sci* 25(3): 363-372.
- Kang JE, Kim JW, Choi HS, Kim CW, Yeo SH, Jeong ST (2015) Effect of the addition of protein and lipid on the quality characteristics of *Yakju*. *Food Sci Preserv* 22(3): 361-368.
- Kang SM, Kim SJ, Ko KH, Nam S (2016) Formation of biogenic amines and bioactivities of *Makgeolli* under different fermentation conditions. *Food Sci Preserv* 23(3): 402-412.
- Kim BR, Kang HH, Kim CW, Choi JH, Hwang IS, Kang JE (2024) Effect of rice cultivars on the fermentation characteristics and aroma profile of distilled *soju* using N9 yeast. *Food Sci Preserv* 31(6): 1010-1019.
- Kim CW, Jeong ST, Park YD, Kim JB, Lim BR, Kang HY (2022) High temperature treatments to control sugar consumption by yeasts during *Makgeolli* fermentation. *Food Sci Preserv* 29(3): 466-471.
- Kim DR, Seo BM, Noh MH, Kim YW (2012) Comparison of temperature effects on brewing of *Makgeolli* using uncooked germinated black rice. *KSBBS J* 27(4): 251-256.
- Kim JE, Cho SW, Kim HS, Kang CS, Choi YS, Choi YH, Park CS (2017) Evaluation of starch properties of Korean wheat cultivars. *Korean J Breed Sci* 49(1): 1-9.
- Kim JH, Son ES, Cheong C (2021) Quality characteristics of *Makgeolli* according to fermentation agent and rice milling degree. *J Korea Acad-Ind Coop Soc* 22(7): 281-289.
- Kim JK, Jo SW, Kim EJ, Ham SH, Jeong DY (2020) Characteristics of brown rice *Makgeolli* brewed at different temperatures and mixing ratios of *Nuruk*. *Korean J Food Sci Technol* 52(1): 94-102.
- Kim JW, Kang JE, Choi HS, Kim CW, Jeong ST (2017) Analysis of the physicochemical characteristics and sensory properties in *Makgeolli*. *J East Asian Soc Diet Life* 27(5): 491-499.
- Kim SM, Han A (2012) Storage properties and biogenic amines production of *Makgeolli* brewed with different proportions of rice and wheat flour. *Korean J Food Sci Technol* 44(5): 583-591.
- Kwak HS, Kim I, Yin M, Lee Y, Kim MJ, Lee Y, Kim M, Jeong Y (2017) Effect of alcohol content on the consumer acceptance and sensory characteristics of *Makgeolli* with Chinese matrimony vine. *Korean J Food Nutr* 30(4): 719-727.
- Lee SE, Kang JE, Lim B, Kang HY (2022) Quality characteristics of distilled Soju with different pretreatment of rice. *J Korean Soc Food Cult* 37(6): 555-563.
- Lee SJ, Kim JH, Jung YW, Park S, Shin WC, Park CS, Hong S, Kim GW (2011) Composition of organic acids and physiological functionality of commercial *Makgeolli*. *Korean J Food Sci Technol* 43(2): 206-212.
- Lee Y, Yi H, Hwang KT, Kim DH, Kim HJ, Jung CM, Choi YH (2012) 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(12): 1785-1791.
- National Tax Service Liquor License Support Center (2025) *Liquor Analysis Manual*. <https://i.nts.go.kr> (accessed on 7. 1. 2025).
- Park CW, Jang SY, Park EJ, Yeo SH, Kim OM, Jeong YJ (2011) Comparison of the quality characteristics of commercial *Makgeolli* type in South Korea. *Food Sci Preserv* 18(6): 884-890.
- Park YD, Bae EJ, Choi JS, Kim HS, Kim CW, Jeong ST, Choi HS (2017) Quality characteristics of sterilized *Makgeollies* brewed with different materials. *J East Asian Soc Diet Life* 27(6): 658-667.
- Ryu JS, Shin JE, Cho MA, Shin JH, Choi HS (2021) Physicochemical properties of danyangju and iyangju prepared using uncooked germinated brown rice. *Korean J Food Sci Technol* 53(5): 648-656.
- Shin DS, Choi YJ, Jeong ST, Sim EY, Lee SK (2016) Quality characteristics of mixed *Makgeolli* with barley and wheat. *Korean J Food Nutr* 29(4): 565-572.
- Shin DS, Jeong ST, Sim EY, Lee SK, Kim HJ, Woo KS, Oh SK, Kim SJ, Park HY (2017) Quality characteristics of mixed *Makgeolli* with barley and wheat by fermentation temperature. *Korean J Food Nutr* 30(2): 305-311.
- Sim EY, Lee SK, Woo KS, Kim HJ, Kang CS, Kim SJ, Oh SK, Park HY (2016) The quality characteristics of wheat-*Makgeolli* made from different cultivars and milling rates.

- Korean J Food Nutr 29(5): 777-784.
- Son HS, Park BD, Ko BK, Lee CH (2011) Quality characteristics of *Takju* produced by adding different amounts of water. Korean J Food Sci Technol 43(4): 453-457.
- Woo SM, Shin JS, Seong JH, Yeo SH, Choi JH, Kim TY, Jeong YJ (2010) Quality characteristics of brown rice *Takju* by different *Nuruks*. J Korean Soc Food Sci Nutr 39(2): 301-307.
- Zhao H, Shen C, Wu Z, Zhang Z, Xu C (2020) Comparison of wheat, soybean, rice, and pea protein properties for effective applications in food products. J Food Biochem 44(4): e13157.
-

Date Received Nov. 10, 2025

Date Revised Nov. 20, 2025

Date Accepted Nov. 22, 2025