

오디를 첨가한 막걸리의 발효기간 중 이화학적 및 미생물학적 특성

김은경¹ · 장윤혁² · 고재윤¹ · 정윤화^{3*}

¹경희대학교 조리외식경영학과

²경희대학교 식품영양학과

³단국대학교 식품영양학과

Physicochemical and Microbial Properties of Korean Traditional Rice Wine, *Makgeolli*, Supplemented with Mulberry during Fermentation

Eunkyung Kim¹, Yoon Hyuk Chang², Jae Youn Ko¹, and Yoonhwa Jeong^{3*}

¹Dept. of Culinary Science and Food Service Management and

²Dept. of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea

³Dept. of Food Science and Human Nutrition, Dankook University, Gyeonggi 448-701, Korea

ABSTRACT The objective of the present study is to elucidate the physicochemical and microbial properties of Korean traditional rice wine, *Makgeolli*, supplemented with mulberry during the fermentation process. Four hundred grams of mulberries (20% of the total amount of rice) were ground and incorporated into the rice solution (3.5 L of distilled water, 2.0 kg of rice, 28.0 g of yeast, and 80.0 g of *nuruk*). The rice solution was then placed in a water bath set at 28°C and left to ferment for 7 days. The alcohol contents between the control and mulberry *Makgeolli* were not significantly different. The pH values of the control and mulberry *Makgeolli* decreased and the total acidity values were elevated after a 7-day fermentation. In the microbial analysis, the total viable cell count, lactic acid bacteria count and yeast count increased considerably through the 7-day fermentation process. For all the samples, the glucose and succinic acid contents were highest among all free sugars and organic acids, respectively. Forty-eight different volatile compounds were found in all the samples after the 7-day fermentation process.

Key words: *Makgeolli*, mulberry, organic acids, free sugars, volatile compounds

서 론

막걸리는 쌀, 찹쌀, 보리, 밀가루 등을 찌서 누룩과 물을 섞어 발효시켜 담그는 우리 고유의 술로 색깔은 희고 탁하다. 특유의 백탁한 외관으로 인해 탁주라고도 불리는 막걸리는 우리나라 고유의 술로서 천여 년 이상 양조되어 왔으며, 곡류 발효주라는 점에서는 맥주와 유사하지만 당화작용과 발효가 동시에 일어나는 병행 복발효라는 점에서 그 차이가 있다. 막걸리는 감미, 산미, 신미, 고미, 삼미의 오미가 고루 조화되어 있으며 특유의 지미와 청량미가 있는 주류로 생효모, 비타민 B군을 비롯해 각종 아미노산을 함유하여 영양가가 타 주류보다 풍부한 것으로 알려져 있다(1-4). 최근 들어 전통주에 대한 관심이 증가하고 막걸리의 영양성분이 풍부하다는 사실이 알려지며 다양한 원료를 첨가하여 제조한 막걸리의 발효 중 이화학적 특성(1-9), 누룩과 효모에 따른 막걸리의 품질 특성(10-12) 등과 같은 막걸리 제조에 관한

다양한 연구가 수행되고 있다. 또한 식생활 수준 향상과 더불어 소비자들의 식품 소비 패턴이 기호성 식품에서 기능성 식품으로 변하면서 다양한 생리활성을 갖는 천연소재에 대한 관심이 높아지고 있으며 술에 대한 기호도 다양화함에 따라 막걸리도 다양화와 고급화가 요구되고 있다(13).

오디는 뽕나무의 열매로 지름은 약 2 cm로 처음에는 녹색 이다가 검은빛을 띤 자주색으로 익는다. 익으면 즙이 풍부해지며 당분이 들어 있어 맛이 새콤달콤하고 신선한 향기가 난다. 주요성분으로는 포도당, 과당, 시트르산, 사과산, 탄닌, 펙틴을 비롯하여 비타민(A, B1, B2, D), 칼슘, 인, 철 등이 들어 있고 산딸기나 포도에 비해 단백질 함량이 4~5배 높을 뿐만 아니라, 산딸기와 같은 과실에 비하여 섬유소의 함량이 높은 고영양 과실이며 내장, 특히 간장과 신장의 기능을 좋게 한다(14). 현재까지 오디에 대한 연구로는 항당뇨 효능(15)과 항고혈압 효능(16) 등이 있는데, 다양한 생리활성 효능은 오디에 포함되어 있는 안토시아닌 색소와 관련이 높다고 알려져 있다. 이와 같은 오디의 다양한 건강기능성 활성화에도 불구하고 주된 가공이용형태는 음료로 한정되어 있으며 농식품 자원으로써 개발 등에 따른 산업화 실적이 미비하여 신수요에 따른 재배면적 확대가 거의 이루어지고

Received 1 July 2013; Accepted 5 August 2013

*Corresponding author.

E-mail: yjeong@dankook.ac.kr, Phone: 82-31-8005-3716

있지 않다. 따라서 건강기능 활성을 가진 오디를 막걸리 제조에 이용할 수 있다면 오디의 수요확대 및 기능성 증진 막걸리 개발에 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구에서는 막걸리의 다양화와 고급화를 위한 연구의 일환으로써 기호성과 식품영양학적 효용성이 높은 오디를 첨가하여 오디 막걸리를 제조하고 오디 막걸리의 이화학적 및 미생물학적 품질 특성을 평가하였다.

재료 및 방법

재료

막걸리 제조 원료로 사용한 경기도 용인시 특산품인 백옥쌀(Yongin, Korea)과 오디(*Morus alba* L.)는 용인시 이마트(Shinsegae E-mart, Yongin, Korea)에서 구매하였으며, 효모는 건조효모(Saf-instant, S.I. Lesaffre, France)를 사용하였고, 누룩은 개량누룩(Korea Enzyme Co., Hwa-seong, Korea)을 구매하여 사용하였다.

막걸리 담금

본 연구에 사용된 막걸리의 제조방법은 다음과 같다. 쌀 2.0 kg을 세척하여 3시간 동안 물에 침지하여 불린 후, 체에 받쳐 40분 동안 물기를 제거하였다. 물기를 제거한 쌀을 찹솥을 이용하여 100°C에서 40분간 증자(蒸煮)한 후 20분간 뜸을 들여 고두밥을 만들었다. 고두밥을 쟁반에 넓게 펴서 빠르게 냉각시킨 후 10 L의 유리병에 고두밥, 효모 28.0 g, 누룩 80.0 g, 증류수 3.5 L를 넣고 골고루 섞어주어 밀술을 제조하였다. 시험구인 오디 막걸리는 오디 400.0 g을 믹서기로 갈고 다음 위와 동일한 양의 고두밥, 효모, 누룩을 첨가하였으며, 최종제품의 총량을 동일하게 하기 위하여 증류수 3.12 L와 혼합하여 제조하였다. 제조된 밀술을 잘 혼합한 후 6일 동안 28°C의 항온수조에서 발효시켰으며, 발효가 완료된 시료를 여과지(Advantec 5B, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 여과한 후 분석용 시료로 사용하였으며, 막걸리의 제조 방법을 Fig. 1에 나타내었다.

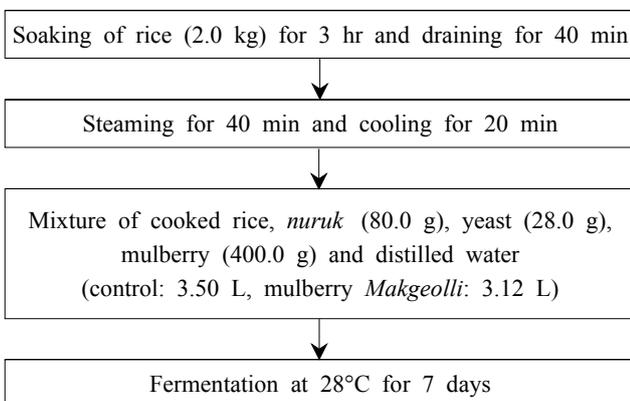


Fig. 1. Procedure for the preparation of control and mulberry Makgeolli.

알코올 함량 측정

막걸리의 알코올 함량은 여과한 시료 100 mL를 증류장치에 수기에 취한 후 70 mL를 증류하여 모으고 증류수를 가하여 최종 용량이 100 mL가 되도록 조절한 다음 알코올 비중계로 알코올 함량(v/v %)을 측정된 후, 온도 보정표를 이용하여 환산하여 구하였다(17).

pH, 총산 측정

pH는 시료를 골고루 섞어준 후에 pH meter(Thermo Electron Co., Beverly, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 총산은 여과한 시료 10 mL에 bromothymol blue와 neutral red를 혼합하여 만든 지시약을 2~3방울 떨어뜨리고 붉은색이 초록색으로 변할 때까지 적정하는데 소모된 0.1 N-NaOH 용액의 양(mL)으로 산도를 측정하였으며 주석산(tartaric acid)의 상당량으로 표시하였다(17). pH, 총산은 모두 3번 반복 측정된 평균값으로 나타내었다.

미생물 균수 측정

총 균, 효모, 유산균 수는 식품공전의 방법으로 측정하였다(17). 즉 총 균수는 균하게 혼합된 시료를 멸균 생리 식염수(0.85% sodium chloride)로 10진 희석법에 따라 희석하고, 희석 시료 1 mL와 PCA(plate count agar) 20 mL를 균일하게 혼합한 후 37°C에서 48시간 동안 배양하여 생성된 콜로니를 계수하였다.

효모 수는 상기의 방법과 동일하게 희석한 후 희석 시료 1 mL와 PDA(potato dextrose agar) 20 mL를 균일하게 혼합한 후 25°C에서 120시간 동안 배양한 후 생성된 콜로니를 계수하였다.

유산균 수는 상기의 방법과 동일하게 희석한 후 희석 시료 1 mL와 BCP(bromocresol purple agar) 20 mL를 균일하게 혼합한 후 37°C에서 72시간 동안 배양한 후 생성된 콜로니를 계수하였다.

색도 측정

색도 측정은 색차계(JC-801S, Color Techno System Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 색도는 명도(L-value, lightness), 적색도(a-value, redness) 및 황색도(b-value, yellowness) 값으로 나타내었으며, 사용한 표준색판의 색도는 L=98.48, a=0.14, b=-0.41이었다.

유리당 함량 분석

유리당 함량 분석을 위한 시료 조제 및 전처리는 Sturm 등(18)의 방법을 사용하였다. 시료는 앞선 유기산 함량 분석과 마찬가지로 0.45 µm syringe filtering한 후 HPLC 분석용 시료로 사용하였다. 표준물질은 fructose, glucose, sucrose 및 maltose로 외부표준법을 이용하여 검량선 작성 후 정량하였고, HPLC 분석조건은 Table 1과 같다. 모든 분석결과는 2회 반복하여 측정된 평균값으로 나타내었다.

Table 1. Operating conditions of HPLC for the analysis of free sugars in the control and mulberry *Makgeolli*

Item	Condition
Instrument	HPLC system (JASCO Co., Tokyo, Japan)
Column	Carbohydrate high performance column (4.0 μ m, 4.6 \times 250 mm, Waters, Milford, MA, USA)
Column temperature	35°C
Mobile phase	75% acetonitrile
Flow rate	1.4 mL/min
Detector	RI (RI-930)

Table 2. Operating conditions of HPLC for the analysis of organic acids in the control and mulberry *Makgeolli*

Item	Condition
Instrument	HPLC system (JASCO Co.)
Column	Supelcogel C-610H column (9 μ m, 7.8 \times 300 mm, Sigma-Aldrich Co.)
Column temperature	30°C
Detector	Multiwavelength detector (MD-2010 Plus)
Mobile phase	0.1% phosphoric acid
Flow rate	0.5 mL/min

유기산 함량 분석

유기산 함량은 Kerem 등(19)의 방법을 사용하여 분석하였다. 시료는 0.45 μ m syringe filter를 이용하여 여과하여 HPLC 분석용 시료로 사용하였으며, 표준물질은 formic acid, acetic acid, oxalic acid, succinic acid, malic acid, citric acid를 이용하여 외부표준법으로 검량선을 작성한 후 정량하였다. 모든 분석결과는 2회 반복하여 측정된 평균값으로 나타내었다. 유기산 함량 분석에 사용한 HPLC 분석조건을 Table 2에 나타내었다. 모든 분석결과는 2회 반복하여 측정된 평균값으로 나타내었다.

휘발성 화합물 분석

휘발성 화합물 성분 분석을 위하여 240 mL screw amber bottle(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MA, USA)에 시료 20 mL와 내부표준물질 octanal 15 μ L를 넣고 50°C dry oven에서 10분간 가열하여 휘발성 향기성분이 head space에 포화되도록 하였다. 휘발성 향기성분 분석은 GC-MS(GCMS-QP 2010, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하였으며, GC 분석조건은 AT-1 column(60 m \times 0.25 mm, W. R Grace & Co., Deerfield, IL, USA)을 사용하였으며, oven 온도는 35°C에서 120°C까지 8°C/min의 속도로, 180°C까지 12°C/min 속도로, 230°C까지 15°C/min의 속도로 상승시켰다. Injector 온도는 200°C이고 detector의 온도는 250°C였으며 N₂를 carrier gas로 이용하였다.

통계처리

SAS version 9.2(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 통계처리 하였으며, 유의차는 Fisher's least significant difference(LSD) 방법으로 $P < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

알코올 함량

발효 7일째 오디 막걸리와 대조군의 알코올 함량은 각각 17.1%, 17.0%를 나타내어 두 시료 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 알코올 함량은 발효의 진행 정도와 더불어 막걸리의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이며, 막걸리의 보존성과 향미에 영향을 주는 중요한 성분이다(6,20). 막걸리 제조 과정에서 생성되는 알코올은 누룩 중 amylase의 작용으로 원료의 전분을 당분으로 분해하고, 생성된 당분은 효모에 의한 알코올 발효의 기질로 이용되어 알코올이 생성되므로 발효 정도에 따라 알코올 함량이 결정된다. 막걸리의 알코올 함량에 관한 연구에 따르면 막걸리의 알코올 함량은 막걸리 제조 시 첨가한 첨가물에 따라 큰 영향을 받는 것으로 확인되었으나(4,21-23), 본 연구에서 오디를 첨가한 막걸리의 알코올 함량은 대조군과 비교하였을 때 유의적인 차이를 나타내지 않아 막걸리 제조 시 오디의 첨가는 알코올 발효에 큰 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

pH, 총산

막걸리의 산은 발효과정에서 복합적으로 생성되므로 막걸리의 발효 중 pH와 총산의 변화는 발효 정도를 알 수 있는 중요한 지표성분이며, 막걸리의 발효 과정 중 오염 정도를 유추할 수 있는 중요한 자료이다(24). 오디를 첨가한 막걸리

Table 3. Alcohol contents of the control and mulberry *Makgeolli* on the 7-day fermentation period

Sample	Alcohol contents (%)
Control	17.0 ^{NS}
Mulberry <i>Makgeolli</i>	17.1

^{NS}Not significant.

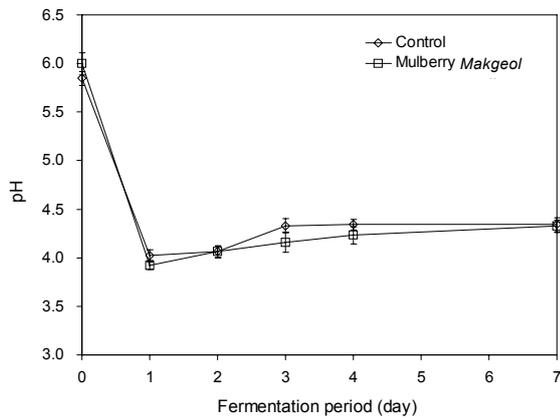


Fig. 2. pH of the control and mulberry *Makgeolli* throughout the 7-day fermentation period.

의 발효 중 pH의 변화를 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 오디 첨가 막걸리와 대조군의 담금 직후의 pH는 각각 6.12 및 5.68에서 발효 1일째 각각 3.96 및 4.03으로 크게 감소하였으나 발효가 진행됨에 따라 완만하게 증가하여 발효 7일째 오디 막걸리와 대조구의 pH는 각각 4.48과 4.51로 유사하게 나타났다. Lee 등(20)과 Kim과 Yi(6)는 막걸리의 발효 과정 중의 pH 변화에 대해 발효 초기 급격히 감소하였다가, 발효가 진행되며 완만하게 증가한다고 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다. 막걸리 발효 중 pH의 변화는 총산의 함량에 따라 큰 영향을 받으며, 알코올 발효의 부산물로서 생성되는 이산화탄소는 대기 중으로 배출되므로 pH에 큰 영향을 미치지 않는다.

막걸리의 발효 과정 중 총산의 변화는 Fig. 3과 같다. 담금 직후 오디 막걸리와 대조군의 총산은 각각 0.05 및 0.09%로 나타났으나 발효 1일째 각각 0.21 및 0.19%로 급격히 증가하였으며, 이후 발효 7일째까지 완만하게 증가하는 경향을 보여 발효 7일째 오디 막걸리와 대조구의 총 산도는 각각 0.28 및 0.27%로 나타났다.

막걸리 담금 직후의 산도는 원료에 의한 것이지만 발효 과정 중의 산도 변화는 미생물의 작용으로 생성된 유기산에 의해 산도가 증가된 것으로 판단된다(20). 막걸리의 유기산은 다른 주류에는 없는 고유의 독특한 신맛을 나타내는 원인 물질이며 막걸리의 품질에 영향을 주는 주요 인자 중 하나이다. 지나친 발효는 막걸리의 신맛이 강해져 품질을 저하시키므로 적당한 총산의 함량이 중요하다. 또한 유기산의 변화를

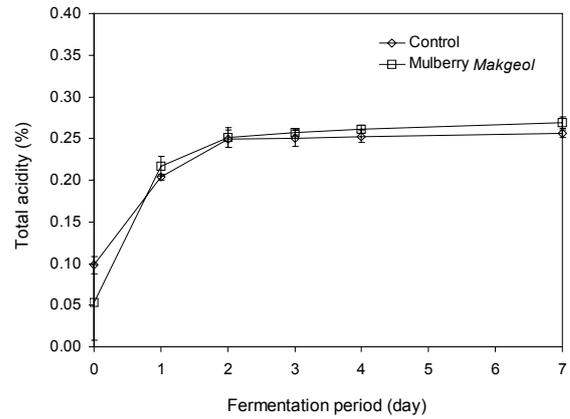


Fig. 3. Total acidity of the control and mulberry *Makgeolli* throughout the 7-day fermentation period.

통해 막걸리의 산패현상을 조기 진단할 수 있는 기초 요소로서의 이용이 가능하다(4). 본 연구에서 막걸리의 발효 중 pH가 급격히 감소한 이후 완만하게 증가하는 경향을 보인 반면, 산도는 발효 초기 급증한 이후 서서히 증가하는 경향으로 나타난 것에 대해 Kim과 Yi(6)는 원료에 함유된 아미노태 질소가 pH의 하락을 막는 완충작용을 하였기 때문이라고 하였다. 또한 대조군과 오디 막걸리의 pH 및 산도는 거의 유사하여 막걸리의 일반적인 품질에 부정적인 영향 없이 오디의 영양학적 효용성을 겸비한 기능성 막걸리의 제조가 가능할 것으로 사료된다.

미생물 수

일반적으로 막걸리 속에는 누룩과 주모가 들어있기 때문에 다양한 미생물의 변동이 주질 변화에 관여하는 것으로 알려져 있다(22). 본 연구에서 오디 막걸리와 대조군의 총균, 효모, 유산균 수는 발효가 진행됨에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 오디 막걸리와 대조군의 발효 7일째 총균수는 각각 3.23×10^7 및 2.88×10^7 CFU/mL, 효모 수는 각각 2.05×10^7 및 1.90×10^7 CFU/mL, 유산균 수는 각각 1.48×10^6 및 1.50×10^6 CFU/mL로 큰 차이 없이 유사하게 나타났다(Table 4). 이러한 결과는 오디 막걸리와 대조군의 알코올 함량, pH, 총산이 유사하게 나타난 것과 일치하는 경향이며, 발효가 진행됨에 따라 미생물 수가 증가한다는 Seo 등(21)의 연구와 일치하였다.

Table 4. Microbial cell counts of the control and mulberry *Makgeolli* throughout the 7-day fermentation period

Sample	Microorganism	Fermentation period (day, CFU/mL)			
		0	1	3	7
Control	Total viable cells	1.23×10^6	2.50×10^6	4.24×10^6	2.88×10^7
	Lactic acid bacteria	1.10×10^5	1.70×10^5	1.15×10^6	1.50×10^6
	Yeasts	1.26×10^5	2.38×10^6	3.56×10^6	1.90×10^7
Mulberry <i>Makgeolli</i>	Total viable cells	1.65×10^6	3.25×10^6	4.30×10^6	3.23×10^7
	Lactic acid bacteria	1.08×10^5	1.78×10^5	1.21×10^6	1.48×10^6
	Yeasts	2.56×10^5	2.89×10^6	4.20×10^6	2.05×10^7

Table 5. Color values (L, a and b) of the control and mulberry *Makgeolli* throughout the 7-day fermentation period

Sample	Fermentation period (day)	Color values		
		L	a	b
Control	0	65.29	1.12	3.22
	1	66.40	3.02	6.30
	3	68.66	3.27	6.50
	4	68.93	3.32	9.30
	7	69.01	3.79	9.70
Mulberry <i>Makgeolli</i>	0	36.33	6.64	5.31
	1	37.21	7.30	5.08
	3	38.97	7.20	5.11
	4	38.54	7.75	6.48
	7	40.42	8.26	7.74

색도

발효가 진행됨에 따라 오디 막걸리와 대조군의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)는 모두 증가하는 경향을 나타내었다 (Table 5). 명도의 경우 오디 막걸리와 대조군은 발효 1일째 각각 36.33 및 65.29에서 발효 7일째 각각 40.42 및 69.01로 모두 증가하였으며, 적색도는 1일째 각각 6.64 및 0.12에서 7일째 각각 8.26 및 0.79로, 황색도는 1일째 5.31 및 1.22에서 7일째 7.74 및 9.70으로 증가하는 경향을 나타내었다. Park 등(23)의 고추를 첨가한 발아현미 막걸리에서 a 및 b 값은 발효가 진행됨에 따라 대체로 증가하였으나 L 값은 고추 첨가량에 따라 다소의 증감을 보인다고 보고하였으며, Kim과 Yi(6)는 팽화 미분을 첨가한 밀가루 막걸리의 발효 시 L, a, b 값이 발효 중기까지 증가한 후, 발효 후기에 다소 감소하거나 일정 수준을 유지하는 경향을 나타내었다고 보고하여 막걸리의 색도는 발효에 따라 대체로 증가하는 경향과 함께 원료의 종류, 비율 등에 따라 변화가 있음을 알 수 있었다.

유리당

유리당 중 glucose 함량은 발효 1일째 오디 막걸리와 대조군이 각각 32.022 및 49.855 mg/mL로 전체 유리당 중 가장 높았으며 발효 7일째에는 오디 막걸리(10.493 mg/mL)와 대조군(29.831 mg/mL) 모두 유의적으로 감소하였다(Table 6). 전분질이 amylase에 의해 분해되는 당화 과정을 통해 생성된 glucose는 발효 1일째 막걸리의 주요 유리당으로 나타났으나, 발효가 진행됨에 따라 유산균이나 효모

에 의해 이용되어 유의적으로 감소된 것으로 사료된다. 또한 glucose 함량이 발효 1일째와 7일째 모두 오디 막걸리가 대조군에 비해 유의적으로 낮게 나타났는데, 이러한 결과가 나타난 것은 발효 중 미생물 수(Table 4)에서 오디 막걸리의 효모 수가 대조군보다 2배 가량 많았기 때문에 당화로 생성된 glucose가 효모에 의해 알코올 발효원으로 대조군보다 더 많이 소모된 결과로 사료된다. Sucrose 함량은 대조군과 오디 막걸리 모두 발효가 진행되면서 유의적으로 증가하였다. 특히 오디 막걸리의 경우 발효 1일째에 sucrose가 검출되지 않았으나 7일째에는 0.385 mg/mL가 검출되었으며, 대조군에서는 발효 1일째 0.114 mg/mL에서 7일째 0.679 mg/mL로 나타나 오디 막걸리보다 sucrose 함량이 높은 것으로 나타났다. Fructose는 오디 막걸리와 대조군 모두 발효 1일째에 검출되지 않았으나, 발효 7일째 각각 0.050과 0.103 mg/mL 검출되었으며, 대조군이 오디 막걸리보다 2배 이상 높게 나타났다. Maltose의 함량은 1일째 오디 막걸리와 대조군이 각각 0.553 mg/mL, 0.834 mg/mL로 나타난 반면, 7일째는 오디 막걸리(1.253 mg/mL)와 대조군(1.686 mg/mL) 모두 약 2배 높게 나타났으며, lactose는 오디 막걸리의 경우 발효 1일째 0.640 mg/mL에서 7일째 5.641 mg/mL로 유의적으로 증가한 반면, 대조군에서는 발효 1일째 0.326 mg/mL 검출되었으나 발효 7일째에는 검출되지 않았다.

유기산

막걸리의 발효 과정 중 유기산을 HPLC로 분석한 결과는 Table 7과 같다. Acetic acid는 오디 막걸리와 대조군에서 발효 1일째에 각각 0.885 및 1.256 mg/mL에서 발효 7일째에 각각 1.314 및 1.696 mg/mL로 모두 유의적으로 증가하였다. Oxalic acid 함량은 대조군에서 발효 1일째 검출되지 않았으나 발효 7일째 0.003 mg/mL가 검출되었으며, 오디 막걸리에서는 발효 1일째와 7일째 모두 0.003 mg/mL로 유의적 차이가 나타나지 않았다. Lactic acid는 발효 1일째에 오디 막걸리와 대조군에서 각각 0.174 및 0.082 mg/mL 검출되었으나, 발효 7일째에는 각각 0.092 및 0.440 mg/mL로 대조군에서는 증가한 반면, 오디 막걸리에서는 감소하는 경향을 나타내었다. Lactic acid의 함량이 오디 막걸리보다 대조군에서 높게 나타난 것은 오디 막걸리의 유산균

Table 6. Free sugar contents of the control and mulberry *Makgeolli* on day-1 and day-7 of the fermentation period

Samples	Fermentation period (day)	Free sugar contents (mg/mL)				
		Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Lactose
Control	1	ND ¹⁾	49.855±0.513 ^a	0.099±0.114 ^c	0.834±0.050 ^c	0.326±0.003 ^c
	7	0.103±0.001 ^a	29.831±0.221 ^c	0.679±0.016 ^a	1.686±0.016 ^a	ND
Mulberry <i>Makgeolli</i>	1	ND	32.022±0.223 ^b	ND	0.553±0.025 ^d	0.640±0.018 ^b
	7	0.050±0.004 ^b	10.493±0.107 ^d	0.385±0.019 ^b	1.253±0.027 ^b	5.641±0.141 ^a

Values with different letters within the same column differ significantly ($P < 0.05$).

¹⁾ND: Not detectable.

Table 7. Organic acid contents of the control and mulberry *Makgeolli* on day-1 and day-7 of the fermentation period

Sample	Fermentation period (day)	Organic acid contents (mg/mL)					
		Acetic acid	Oxalic acid	Lactic acid	Succinic acid	Malic acid	Citric acid
Control	1	1.256±0.021 ^c	ND ¹⁾	0.082±0.002 ^d	7.698±0.009 ^c	0.174±0.006 ^d	0.155±0.004 ^c
	7	1.696±0.008 ^a	0.003±0.000 ^a	0.440±0.002 ^a	24.587±0.0467 ^a	0.201±0.012 ^b	0.127±0.001 ^d
Mulberry <i>Makgeolli</i>	1	0.885±0.025 ^d	0.003±0.000 ^a	0.174±0.002 ^b	4.423±0.001 ^d	0.188±0.001 ^c	0.642±0.018 ^a
	7	1.314±0.047 ^b	0.003±0.000 ^a	0.092±0.008 ^c	20.007±0.034 ^b	0.260±0.001 ^a	0.195±0.001 ^b

Values with different letters within the same column differ significantly ($P<0.05$).

¹⁾ND: Not detectable.

수가 대조군과 유사하였음에도 주요 유리당 중 유산균의 발효기질인 glucose의 함량이 대조군에서 오디 막걸리보다 2배 이상 높아 유산균이 lactose 대신 glucose를 이용하였기 때문에 추측된다(Table 6). Succinic acid의 함량은 발효 1일째 오디 막걸리와 대조군이 각각 4.423 및 7.698 mg/mL에서 발효 7일째 각각 20.007 및 24.587 mg/mL로 유의적으로 증가하였다. 이는 Park과 Lee(24)의 연구 결과와 마찬가지로 succinic acid가 발효에 의하여 생성되는 막걸리의 주요 유기산임을 확인할 수 있었으며, 부드러운 신맛을 내는 malic acid의 경우, 발효 1일째 및 7일째 모두 오디 막걸리(각각 0.188 및 0.260 mg/mL)가 대조군(각각 0.174 및 0.201 mg/mL)보다 유의적으로 높았다. 청량한 맛을 내는 tartaric acid의 경우, 오디 막걸리는 발효 1일째 0.058 mg/mL에서 발효 7일째 0.051 mg/mL로 나타났으며, 대조군에서도 각각 0.036 및 0.035 mg/mL로 유의적인 차이가 없었다. Citric acid는 오디 막걸리에서 발효 1일째와 7일째에 각각 0.642 및 0.195 mg/mL이고, 대조군에서는 발효 1일째와 7일째에 각각 0.155 및 0.127 mg/mL로 유의적으로 감소함을 확인할 수 있었다. 이는 citric acid가 발효 과정에서 미생물의 대사 과정인 TCA cycle에 이용되어 함량이 감소하는 것으로 판단된다(25).

휘발성 화합물

본 연구에 사용된 2종의 막걸리에서 총 47종의 휘발성 화합물이 검출되었으며, 3-methyl-1-butanol이 오디 막걸리(38.090%)와 대조군(31.717%) 모두에서 가장 높은 비율을 차지하는 휘발성분으로 확인되었다(Table 8). 그 다음으로 많은 양이 검출된 휘발성분은 오디 막걸리에서 hexane(22.135%), ethyl acetate(18.762%), 1,1-diethoxyethane(2.762%) 순으로 나타났으며, 대조군에서는, 3-methyl butanal(20.933%), ethyl acetate(18.667%), octanal(4.707%)의 순으로 확인되었다.

3-Methyl-1-butanol은 고급 알코올 중 탁주(26), 맥주(27), 청주(28)에서 중요한 향기 성분으로 평가되는 성분으로 알려져 있다. Acetaldehyde는 에탄올의 산화를 통해 생성되며 맥주, 소주의 향기에 관여하는 중요한 성분으로서(29) 본 연구에서는 오디 막걸리 0.243%, 대조군 0.533%로 동정되었다. Ethyl acetate 함량은 오디 막걸리에서 18.762%, 대조군에서 18.667%로 나타났는데, 이 성분은 발효과정

에서 저급지방산이 효모와 같은 미생물의 작용으로 에스테르화되어 생성되며, 고농도로 존재할 경우 불쾌감을 제공한다는 연구결과가 있다(30). 또한 다른 연구에서는 ethyl acetate는 탁주의 중요한 향기성분이고 과일 향을 나타낸다고 보고하여 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다(31).

요 약

본 연구에서는 오디를 첨가하여 제조한 막걸리의 이화학적 및 미생물학적 특성을 평가하였다. 발효 7일째의 알코올 함량은 오디 막걸리(17.1%)와 대조군(17.0%)간 유의적 차이가 나타나지 않았으며, pH는 발효 1일째 급격히 감소한 후 완만한 증가를 보이며 발효 7일째 각각 4.48 및 4.51로 유사하게 나타났다. 총산은 두 시료 모두 발효 1일째에 급격히 증가하고, 그 이후 완만히 증가하였다. 총 균수, 효모 수, 유산균 수는 발효가 진행됨에 따라 점차 증가하였으며 오디 막걸리의 발효 7일째 총 균수, 효모 수, 유산균 수는 대조군과 큰 차이를 나타내지 않았다. 색도(L, a, b)는 발효가 진행됨에 따라 대조군과 오디 막걸리 모두 증가하는 경향을 보였다. 유리당 중 glucose는 모든 막걸리에서 가장 높은 함량을 나타내었으며 발효가 진행하면서 감소하였다. 유기산 함량은 succinic acid가 오디 막걸리와 대조군 모두 가장 높은 것으로 확인되었으며 발효가 진행되면서 증가하였다. 오디 막걸리와 대조군에서 검출된 47종의 휘발성 화합물 중 가장 많이 동정된 성분은 3-methyl-1-butanol이었다.

REFERENCES

- Park SS, Yoon JA, Kim JJ. 2010. Quality properties of *Takju* (rice wine) added with kidney bean. *J East Asian Soc Dietary Life* 20: 575-581.
- Woo KS, Song SB, Lee JS, Ko JY, Kang JR, Oh BG, Nam MH, Ryu IS, Seo MC. 2010. Physicochemical characteristics of Korean traditional wine made from proso millet (*Panicum miliaceum* L.) at different addition rates with two kinds of nuruk. *Korean J Crop Sci* 55: 119-125.
- Lee DH, Kim JH, Lee JS. 2009. Effect of pears on the quality and physiological functionality of *Makgeolli*. *Korean J Food & Nutr* 22: 606-611.
- Jeong JW, Park KJ, Kim MH, Km DS. 2006. Quality characteristics of *Takju* fermentation by addition of chestnut peel

Table 8. Volatile compounds of the control and mulberry *Makgeolli* on 7-day of the fermentation period (Peak area %)

No	RI ¹⁾	Compounds	Sample	
			Control	Mulberry <i>Makgeolli</i>
1	362	Acetaldehyde	0.533	0.243
2	367	Methanol	0.154	0.017
3	373	Ethanol	2.841	0.664
4	383	Diethoxyethane	2.489	0.201
5	600	Hexane	4.041	22.135
6	603	1-Propanol	3.920	0.011
7	623	Ethyl acetate	18.667	18.762
8	650	3-Methyl butanal	20.933	0.025
9	670	2-Methyl-1-propanol	0.053	1.874
10	676	Acetic acid	0.005	0.003
11	699	1-Butanol	0.017	0.087
12	727	Propanoic acid, ethyl ester	0.360	0.539
13	730	Acetic acid, propyl ester	0.360	0.129
14	750	2,4,5-Trimethyl-1,3-dioxolane	0.071	0.066
15	754	1,1-Diethoxyethane	3.791	2.762
16	770	3-Methyl-1-butanol	31.717	38.090
17	775	Ethyl isobutyrate	0.865	1.052
18	786	Acetic acid, 2-methyl propyl ester	0.303	0.756
19	790	3-Methyl-1-butanol	0.006	0.006
20	794	1-Hexanol, 3-methyl-	0.255	0.384
21	795	Hexanal	0.255	0.384
22	797	3-Methyl-1-butanol	0.255	0.384
23	799	Isobutyric acid	0.089	0.028
24	801	Hexane, 2,4-dimethyl-	0.088	0.005
25	806	Butanoic acid, ethyl ester	0.494	0.849
26	831	Heptane, 2,4-dimethyl	0.004	0.010
27	860	Ethyl 2-methylbutyrate	0.532	0.607
28	864	1-Propanol, 3-ethoxy-	0.018	0.010
29	870	4-Methyloctane	0.613	2.367
30	882	1-Butanol, 3-methyl-, acetate	0.259	2.618
31	885	2-Methylbutyl acetate	0.259	0.651
32	901	Pentanoic acid, ethyl ester	0.026	0.029
33	937	Oxime-, methoxy-phenyl-	0.014	0.000
34	958	1,1-Diethoxyisopentane	0.014	0.017
35	961	Benzaldehyde	0.224	0.059
36	976	Pentane, 1-(1-ethoxyethoxy)-	0.112	0.061
37	996	Octanal	0.112	3.531
38	1046	1,8-Cineole	4.707	0.001
39	1061	3-Ethyl-3-methylheptane	0.001	0.000
40	1068	3,8-Dimethyldecane	0.009	0.004
41	1096	Silicic acid, diethyl bis(trimethylsilyl) ester	0.004	0.005
42	1100	Undecane	0.031	0.022
43	1107	3,8-Dimethylundecane	0.019	0.020
44	1124	Phenethyl alcohol	0.150	0.065
45	1195	Octanoic acid, ethyl ester	0.565	0.392
46	1799	Tetradecanoic acid, ethyl ester	0.013	0.006
47	1995	Hexadecanoic acid, ethyl ester	0.061	0.027
Total			100	100

¹⁾RI: Retention index.

powder. *Korean J Food preserv* 13: 329-336.

- Kim HR, Jo SJ, Lee SJ, Ahn BH. 2008. Physicochemical and sensory characterization of a Korean traditional rice wine prepared from different ingredients. *Korean J Food Sci Technol* 40: 551-557.
- Kim JY, Yi YH. 2008. pH, acidity, color, reducing sugar, total sugar, alcohol and organoleptic characteristics of puffed

fed rice powder added wheat flour takju during fermentation. *Food Eng Prog* 12: 71-77.

- Kim JY, Sung KW, Bae HW, Yi YH. 2007. pH, acidity, color, reducing sugar, total sugar, alcohol and organoleptic characteristics of puffed rice powder added *Takju* during fermentation. *Korean J Food Sci Technol* 39: 266-271.
- Shin SY, Suh SH, Cho WD, Lee HK, Hwang HJ. 2003.

- Analysis of volatile components in Korean rice wine by the addition of *Yulmoo*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 1206-1213.
9. Lee DH, Park WJ, Lee BC, Lee JC, Lee DH, Lee JS. 2005. Manufacture and physiological functionality of Korean traditional wine by using *Gugija* (*Lycii fructus*). *Korean J Food Sci Technol* 37: 789-794.
 10. 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: 301-307.
 11. Lee TS, Choi JY. 2005. Volatile flavor components in mash of *Takju* prepared by using *Aspergillus kawachii nuruks*. *Korean J Food Sci Technol* 37: 944-950.
 12. Lee HS, Park CS, Choi JY. 2010. Quality characteristics of the mashes of *Takju* prepared using different yeasts. *Korean J Food Sci Technol* 42: 56-62.
 13. Kim JH, Lee SY, Kim KBWR, Song EJ, Kim AR, Kim MJ, Ji KW, Ahn IS, Ahn DH. 2007. Effects of *Glycyrrhiza uralensis*, *Menthae herba*, *Schizandra chinensis* and Chitosan on the shelf-life and quality of *Takju*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1436-1443.
 14. Kim AJ, Kim MW, Woo NRY, Kim MH, Lim YH. 2003. Quality characteristics of *Oddi-Pyun* prepared with various levels of mulberry fruit extract. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19: 708-714.
 15. Kim TW, Kwon YB, Lee JH, Yang IS, Youm JK, Lee HS, Moon JY. 1996. A study of the antidiabetic effect of mulberry fruits. *Korean J Seric Sci* 38: 100-107.
 16. Lee JY, Moon SO, Kwon YJ, Rhee SJ, Park HR, Choi SW. 2004. Identification and quantification of anthocyanins and flavonoids in mulberry (*Morus* sp.) cultivars. *Food Sci Biotechnol* 13: 176-184.
 17. KFDA. 2010. *Food code*. Korea Food and Drug Association, Seoul, Korea. 10-3-1 - 10-3-35.
 18. Sturm K, Koron D, Stampar F. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chem* 83: 417-422.
 19. Kerem Z, Bravdo BA, Shoseyov O, Tugendhaft Y. 2004. Rapid liquid chromatography-ultraviolet determination of organic acids and phenolic compounds in red wine and must. *J Chromatogr A* 1052: 211-215.
 20. Lee TJ, Hwang DY, Lee CY, Son HJ. 2009. Changes in yeast cell number, total acid and organic acid during production and distribution processes of *Makgeolli*, traditional alcohol of Korea. *Korean J Microbiology* 45: 391-396.
 21. Seo MY, Lee JK, Ahn BH, Cha SK. 2005. The changes of microflora during the fermentation of *Takju* and *Yakju*. *Korean J Food Sci Technol* 37: 61-66.
 22. Song JC, Park HJ, Shin WC. 2006. Suppression of solid matters precipitation of *Takju* and its quality improvement by carrageenan. *Korean J Food & Nutr* 19: 288-295.
 23. Park CS, Oh EH, Jeong HS, Yoon HS. 2009. Quality characteristics of the germinated brown rice wine added with red pepper. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1090-1096.
 24. Park CS, Lee TS. 2002. Quality characteristics of *takju* prepared by wheat flour *nuruk*. *Korean J Food Sci Technol* 34: 296-302.
 25. Ryuzo U, Takeshi I, Yuzo I, Toshio O. 1972. Studies on changes in microflora and its metabolism during the process of making *koji* in soy sauce brewing. *Seasoning Science* 19: 31-38.
 26. Lee TS, Choi JY. 1998. Volatile flavor components in *Takju* fermented with mashed glutinous rice and barley rice. *Korean J Food Sci Technol* 30: 638-643.
 27. Yuda J. 1976. Volatile compounds from beer fermentation. *J Brew Soc Jpn* 71: 819-830.
 28. Hara S. 1967. A view of *sake* component: Alcohol. *J Soc Brew Japan* 62: 1195-1205.
 29. Lee TS, Han EH. 2000. Volatile flavor components in mash of *takju* prepared by using *Rhizopus japonicus nuruks*. *Korean J Food Sci Technol* 32: 691-698.
 30. Kim E, Chang YH, Ko JY, Jeong Y. 2013. Physicochemical and microbial properties of the Korean traditional rice wine, *Makgeolli*, supplemented with banana during fermentation. *Prev Nutr Food Sci* 18: 203-209.
 31. So MH, Lee YS, Han SH, Noh WS. 1999. Analysis of major flavor compounds in *Takju* mash brewed with a modified *Nuruk*. *Korean J Food & Nutr* 12: 421-426.