

## 청각(*Codium fragile*)을 첨가하여 제조한 막걸리의 발효 중 품질특성 및 항산화 효과

전은비<sup>1,2</sup> · 최만석<sup>1,2</sup> · 박신영<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 해양산업연구소, <sup>2</sup>경상대학교 해양식품생명의학과

### Quality and Antioxidant Effects of the Korean Traditional Rice Wine *Makgeolli* Supplemented with *Codium fragile* during Fermentation

Eun Bi Jun<sup>1,2</sup>, Man-Seok Choi<sup>1,2</sup> and Shin Young Park<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

<sup>2</sup>Department of Seafood and Aquaculture Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

This study investigated the physicochemical, microbiological, antioxidant, and sensory characteristics of *Makgeolli* supplemented with 10, 20, and 30% *Codium fragile* (Cf) during an 8-day fermentation period. The pH and acidity on day 0 were lower in *Makgeolli* supplemented with Cf (pH 3.55-3.65, acidity 0.26-0.29%) than in the unsupplemented *Makgeolli* (control) (pH 3.72, acidity 0.23%). The pH and acidity of Cf *Makgeolli* on day 8 were 3.08-3.12 and 0.67-0.75%, respectively. The sugar content increased steadily until day 4 (8.1-8.5 Brix) and then decreased steadily (6.5-6.8 Brix). The alcohol content increased steadily until day 8 (13.2-14.3%). The pH decreased, acidity increased, and alcohol content increased significantly (all  $P < 0.05$ ), with stepwise increases in fermentation time and Cf concentrations. The lactic acid bacteria counts were 9.28-9.37 log versus 8.18 log in the control. The DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) and ABTS [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] radical scavenging activities were higher in Cf *Makgeolli* (DPPH 74.63-84.64%, ABTS 51.01-64.79%) than in the control (DPPH 30.97%, ABTS 21.21%). *Makgeolli* supplemented with 10 and 20% Cf had the highest taste, smell, and overall acceptance scores. This study suggests that *Makgeolli* supplemented with 10 and 20% Cf could be developed due to its good physicochemical and microbiological characteristics, including high antioxidant properties and good consumer acceptance.

Key words: *Codium fragile*, *Makgeolli*, Fermentation, Quality characteristics, Antioxidant

## 서 론

청각(*Codium fragile*)은 녹조식물문 청각과로서 특유의 바다 향이 나면서도 생선이나 젓갈의 비린내, 마늘 냄새를 중화시켜 뒷맛을 개운하게 하기 때문에 우리나라에서는 주로 김치의 부재료로 널리 이용되고 있다. 정약전의 '자산어보'에서 김치 맛을 돋우는 해조로 소개되어 있으며 고서에 기술되어 있는 것을 미루어 보아 오래 전부터 청각을 식용으로 이용해 왔음을 알 수 있다. 청각 추출물의 아크릴산(acrylic acid)은 유해균만을 억제하는 특이한 항균작용을 가지고 있으며, 베타카로틴(Kim et al., 2018) 함량이 풍부하여 암세포를 억제하고 면역작용의 증

가, 항응고 활성물질 등이 함유되어 있을 뿐 아니라 세균에 대한 강한 항균작용, 구충성분이 있어 예전에는 회충약으로 쓰이기도 하였으며, 해열, 해독, 면역활성 등이 있는 것으로 밝혀져 여러 분야에서 응용할 수 있는 유용 해조이다(Kim et al., 2006).

막걸리는 우리나라를 대표하는 전통 주류로서 찹쌀과 맷쌀, 고구마, 밀가루 등을 찌서 전분질을 원료로 하고 발효제인 누룩과 물을 혼합하여 만드는 술이다. 막걸리의 명칭은 쌀과 누룩으로 빚어 그대로 막 걸러내어 만들었다 하여 붙여진 이름이며(Kim et al., 2011) 빛깔이 희고 탁하다. 누룩곰팡이의 당화작용에 의해 amylase 효소를 분비하여 포도당으로 분해되고, 효모에 의한 알코올 발효가 함께 일어나는 병행복합발효주로서 누

\*Corresponding author: Tel: +82. 55. 771. 9147 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: sypark@gnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0224>

Korean J Fish Aquat Sci 52(3), 224-231, June 2019

Received 8 May 2019; Revised 13 June 2019; Accepted 19 June 2019

저자 직위: 전은비(대학원생), 최만석(대학원생), 박신영(교수)

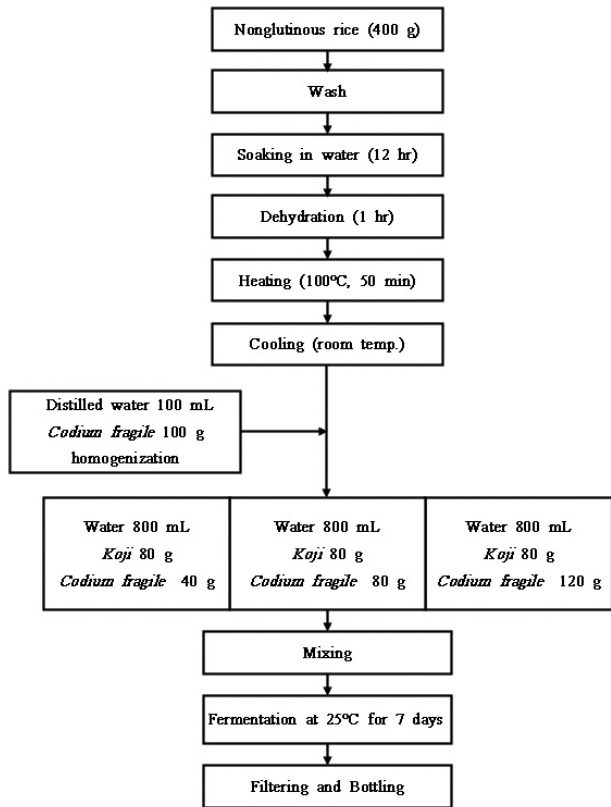


Fig. 1. A flow diagram for the preparation of *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile*.

록에 따라 다양한 맛과 향이 형성된다. 또한 막걸리는 각종 영양 성분이 많이 함유되어 있고, 활성효소가 함유되어 있어 인체에 필요한 소화 효소 및 무기물을 원활하게 공급해준다. 특히 간 기능을 도와주는 acetylcholine과 필수아미노산 및 단백질, 비타민B<sub>1</sub> 등의 영양물질이 함유되어 있고, 알코올 함량이 낮아 인체에 부담이 없고 적당량을 섭취할 경우 혈액순환을 촉진시키는 효과를 얻을 수 있다(Shin et al., 2010).

이러한 보고에 따라 건강에 대한 관심의 증가와 함께 막걸리에 대한 수요도 점점 증가되고 있으며, 최근에는 젊은 층에서도 막걸리가 큰 인기를 끌고 있다. 국내 소주 제품도 예전과 달리 도수가 지속적으로 낮아지는 것으로 보아 낮은 도수의 술을 선호하고 있으며, 국민들의 식생활 수준향상과 더불어 술에 대한 기호도가 다양해짐에 따라 막걸리도 다양화와 고급화가 진행되고 있다. 주세법에 따라 과채류의 첨가가 허용되면서 유자(Yang and Eun, 2011), 배(Lee et al., 2009), 석류(Kim and Eun, 2012), 블루베리(Jeon and Lee, 2011) 등을 첨가하여 다양한 과채류의 막걸리가 연구되고 있는 반면에 해조류 등의 수산물을 이용한 막걸리의 연구는 아직 보고된 바 없다. 따라서 본 연구의 목적은 막걸리의 풍미와 향산화 기능을 더하기 위하여 청각을 비율별로 첨가하여 고유한 향미가 잘 배합된 막걸리

를 제조하여 막걸리의 발효 중 품질 특성과 향산화 효과를 알아보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 원료 및 균주

본 실험에 사용한 청각은 경상남도 통영시에서 생산된 것을 사용하였고, 막걸리를 제조하기 위한 쌀은 시중에 판매되고 있는 일반 백미를 구입하여 사용하였다. 발효균주는 시중에 판매되고 있는 우리밀 전통누룩 소울곡(300 sp 이상, Songhag-gogja, Gwangju, Korea)를 구입하여 사용하였다.

### 청각 막걸리의 제조

청각 막걸리의 제조과정은 Fig. 1과 같다. 청각 막걸리를 제조하기 위하여 쌀을 깨끗이 씻어 약 12시간 물에 침지 한 후, 쌀을 체에 받쳐 1시간 동안 물기를 제거하였다. 불린 쌀을 면포에 담아 찹통에 넣고 100°C에서 50분간 증자하여 실온에 방냉 하여 사용하였다. 대조구인 쌀막걸리의 경우 멸균된 유리병에 고두밥 400 g, 누룩 80 g, 물 800 mL을 골고루 섞어주어 25 ± 1°C에 5일간 발효하였다. 청각 첨가군은 쌀 중량의 청각 10%, 20%와 30%를 첨가하여 발효하였으며 멸균된 유리병에 고두밥 400 g, 누룩 80 g, 물 800 mL 그리고 청각(40 g, 80 g 및 120 g)을 넣어 25 ± 1°C에 1일 1회 교반 하면서 발효하였다. 이 때 사용되는 청각은 증류수와 청각을 1:1 비율로 믹서기에 갈은 후 제조되어 첨가되었다. 담금 직후 면포로 여과한 후 8일 동안 냉장저장 하였다. 저장기간 동안 막걸리의 이화학적, 미생물학적, 향산화 품질 특성 및 관능적 품질 특성을 조사했다.

### pH와 산도 측정

pH는 여과한 막걸리 시료 50 mL를 pH meter (A211, Thermo Orion, Benchtop, MI, USA)를 이용하여 측정하였다. 산도는 시료 10 mL를 10배로 희석한 후 50 mL 삼각플라스크에 20 mL를 채취하여 1% 페놀프탈레인 지시약을 2-3방울 떨어뜨린 후 0.1 N NaOH로 담홍색이 나타날 때까지 적정했다. 다음 식에 의하여 젖산(%)으로 산도를 계산하였다.

$$\text{산도}(\%) = \frac{0.009 \times \text{NaOH 소비량}(\text{mL}) \times \text{NaOH역가} \times \text{희석배수}}{\text{시료의 부피}(\text{mL})} \times 100$$

### Brix와 알코올 분석

발효 중 당도는 여과한 시료를 원심분리기(SUPRA22K, Hanil Science Industrial Co., Korea)로 원심분리한 후 상등액을 취하여 전자 당도계(PAL-1, ATAGO CO., Japan)를 이용하여 당도를 측정하였다. 알코올 함량 측정은 국세청의 주류분석 규정(NTS, 2010)에 따라 실시하였다. 메스실린더에 시료 100

mL를 취하여 500 mL 삼각플라스크에 옮긴 다음, 이 메스실린더를 약 10 mL의 증류수로 3회 씻은 후 그 액을 500 mL 삼각플라스크에 합친 후 알코올을 증류하였다. 증류액이 70 mL (소요시간은 약 20분 내외)가 되면 증류를 중지하고, 증류수를 30 mL를 보충하여 메스실린더 눈금이 100 mL까지 정용 하였다. 15°C에서 주정계(211-DK-12, Deakwang, Seoul, Korea)로 측정하여 0.1도당 알코올 온도환산표를 통해 측정하였다.

### 총균수와 유산균수 측정

총균수와 유산균수 측정은 막걸리 시료를 균일하게 섞어 1 mL를 멸균 생리 식염수에 10진 희석법에 따라 희석하였다. 희석된 시료 1 mL와 plate count agar (Difco Co., Detroit, MI, USA)를 petri dish에 균일하게 혼합한 후 37°C에서 24-48시간 동안 배양한 후 총균수를 계수하였다. 유산균수는 lactobacilli MRS (Difco Co., Detroit, MI, USA)를 petri dish에 균일하게 혼합한 후 30°C에서 24-48시간 배양 후 황색 집락을 계수하였다. 생성된 집락은 시료 mL당 colony forming unit (CFU/mL)로 표시하였다.

### 항산화 활성 측정

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 라디칼 소거능은 (Kang et al., 2016)  $1.5 \times 10^{-4}$  M DPPH 용액 800  $\mu$ L와 4배 희석한 원심분리 발효 상등액 200  $\mu$ L을 가한 후 10초간 vortex하고 실온에서 30분 방치한 후 분광광도계(Spectronic2D, Thermo Electron Co., Waltham, MA, USA)를 이용하여 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. 양성 대조구 실험은 시료대신에 ascorbic acid를 DPPH와 같은 농도로 취하여 실험하였다. DPPH 라디칼 소거활성은 청각 첨가균과 양성 대조구인 ascorbic acid 흡광도를 구하여 아래와 같이 백분율(%)로 표시하였다.

DPPH 라디칼 소거 활성(%)=

$$\frac{A_{517} \text{ of control} - A_{517} \text{ of sample}}{A_{517} \text{ of control}} \times 100$$

2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammouium (ABTS) 라디칼 소거능 분석은 7 mM과 potassium persulfate 2.45 mM을 증류수에 용해하여 14-16시간 동안 암실에 방치하여 ABTS cation radical (ABTS<sup>+</sup>) (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 형성시킨 후, 이 용액을 무수에 탄올과 1:1 비율로 섞어 734nm에서 흡광도 값이  $0.750 \pm 0.002$ 가 되도록 조절된 에탄올로 희석하여 사용하였다. 희석된 ATBS<sup>+</sup> 용액 1 mL에 청각막걸리 3 mL를 가하여 20분 동안 반응시킨 후, 분광광도계(Spectronic2D, Thermo Electron Co., Waltham, MA, USA)를 이용하여 734 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. 양성 대조구 실험은 시료 대신에 ascorbic acid를 같은 농도(200  $\mu$ L)로 취하여 실험하여 아래와 같이 백분율(%)로

표시하였다.

ABTS 라디칼 소거 활성(%)=

$$\frac{A_{734} \text{ of control} - A_{734} \text{ of sample}}{A_{734} \text{ of control}} \times 100$$

### 관능 검사

관능검사를 위한 패널로 평소 술을 마시는 20대의 경상대학교 해양과학대학 해양식품생명의학과 학부생들과 대학원생으로 구성된 성인 총 10명(남자5명 여자5명)을 선정하였다. 발효하여 여과된 물과 원액의 1:2 비율로 당도 6-8 Brix를 맞춘 막걸리로 진행하였다. 막걸리는 4°C에서 24시간 보관한 후 약 20 mL를 종이컵에 담아 제공하였으며, 각 시료를 먹고 난 후 입안을 헹글 수 있도록 물도 함께 제공하였다. 막걸리의 관능평가 항목은 색상(color), 향(smell), 맛(taste), 외관(appearance) 및 전체적인 기호도(overall acceptability)에 대한 조사결과로 나타내었다. 각 항목에 대하여 7점 척도법(아주 좋다 7점, 아주 나쁘다 1점)으로 평가하였다.

### 통계분석

관능검사를 제외한 모든 실험은 3반복으로 진행하였으며, 통계프로그램은 SPSS version 12.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)에서 one-way ANOVA 중 Duncan's multiple range test를 사용하여  $P < 0.05$ 에서 유의성을 조사하였다.

### 결과 및 고찰

#### 발효 중 pH 및 산도의 변화

막걸리 발효 과정 중에 생성되는 유기산, 탄산가스 등의 물질들은 pH에 영향을 주며 이는 막걸리의 성분 변화를 알 수 있는 요인이며 알코올 생성 과정에서 복합적으로 생성되어 막걸리의 발효 과정을 예측할 수 있는 중요한 지표성분이다(Jeong et al., 2006). 청각막걸리의 담금 직후부터 발효 중의 pH를 2일 간격으로 8일간 측정된 결과는 Table 1과 같다. 담금 직후 청각 무첨가균은 3.72이었고 10%, 20% 및 30% 첨가균에서는 각각 3.65, 3.56 및 3.55로 무첨가균에 비해서 첨가균의 pH가 낮았다. 발효 2일째 청각 30% 첨가균의 pH가 3.17로 가장 낮았으며 청각 첨가량이 늘어날수록 pH가 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 감소를 보였다. 발효 2일째부터 급격히 감소되는 경향은 발효 기간의 경과에 따라 생성된 미생물의 작용으로 유기산과 알코올이 생성되었기 때문이다(Shin et al., 2004). 발효 4일째, 6일째 및 8일째에는 청각 10%와 20% 첨가균 사이의 유의적 차이는 없었으며 ( $P > 0.05$ ) 발효기간에 따른 pH는 전반적으로 담금 직후부터 8일까지 유의적으로 감소하였다( $P < 0.05$ ). 밀가루 누룩으로 담금한 탁주(Park and Lee, 2002)의 pH는 3.26-3.49 이고, 시중 유

통 막걸리의 pH는 3.40-3.77로서(Lee et al., 2011) 청각막걸리의 pH가 다소 낮은 편이긴 하나 비슷한 경향을 나타냈다. 청각 첨가량이 증가할수록 막걸리의 pH가 낮아지는 현상은 발효 과정 중 청각에 함유된 각종 효소들과 미생물의 번식으로 인하여 여러가지 유기산이 생성되었기 때문이다(Park and Cho, 2005).

청각막걸리의 담금 직후부터 발효 중의 산도를 2일 간격으로 8일간 측정된 결과는 Table 1과 같다. 담금 직후 청각 첨가군에서 0.26-0.29%이었고 발효 2일째 급격히 증가하였다. 이후 점차적으로 증가하여 최종 발효 8일째 0.67-0.75%를 나타내었으나 청각 10%와 20% 첨가군 사이의 유의적 차이는 없었다(P>0.05). Park et al. (2016)의 아로니아를 첨가한 막걸리에 의하면 발효 초기 급증한 이후 서서히 증가하는 경향을 보였으며 발효 6일째 0.60-0.72%를 나타내었다. 이는 본 실험의 결과와 유사하였다. 발효 8일째, 청각 30% 첨가군의 산도는 청각 무첨가군의 대조군에 비해서 약 1.4배의 증가를 보였다. 막걸리의 발효 중 산도는 발효 초기 급증한 이후 서서히 증가하였다(P<0.05). 이는 원료에 함유된 아미노태질소가 pH의 하락을 막는 완충작용을 하였기 때문이다(Kim et al., 2008). 무첨가군에 비해 청각 10%, 20% 및 30% 첨가군의 산도가 높았으며 pH 변화와 산도의 변화를 비교해 보면 pH는 감소하고 산도는 증가하는 부의 상관관계를 보였다. 산도는 발효 초기에 원료 중의 유기산이 주로 관여하나 발효가 점차 진행되면서 젖산이나 효모

발효로 생성되는 유기산의 영향으로 산도가 점차 증가하였다(Kim et al., 2008).

**발효 중 당도의 변화**

막걸리의 발효 8일간 측정된 결과는 Table 2에 나타내었다. 발효 0일째 무첨가군의 당도는 3.7 Brix이며 청각 첨가군은 각각 3.7, 3.5 및 3.5 Brix로 유의적 차이는 없었다(P>0.05). 발효 2일째 급격히 증가(6.8-7.2 Brix)하여 이는 막걸리의 원료인 쌀의 전분이 누룩에 의해 분해되어 급격히 증가한 것으로 보인다. Cho et al. (2012)의 자색고구마로 제조된 막걸리 발효에 의하면 발효 1일째까지 당도가 급속히 증가한 후 이후 발효 후기까지 서서히 증가하였다. 이는 본 연구결과와 동일하였다. 또한 청각 무첨가군이 청각 30% 첨가군에 비해 당도가 낮았으며, 청각 10%와 20% 첨가군 사이의 유의적 차이는 없었다(P>0.05). 발효 4일째까지 당도는 서서히 증가하였고, 특히 청각 30% 첨가군에서는 발효 0일째에 비해서 2.4배까지 증가하였다. 최종 발효 8일째에는 6.5-6.8 Brix로 유의적으로 감소하였다(P<0.05). 당도가 감소하는 경향은 당화 amylase 작용으로 전분질이 당분으로 분해됨과 동시에 효모의 영양원이나 발효 기질로 일정 기간까지 발효가 진행됨에 따라 당도 함량은 감소하게 되며 알코올 함량은 높아지게 된다(Jin et al., 2008).

**발효 중 알코올 함량의 변화**

Table 1. Changes of pH and acidity (%) in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile* during fermentation

Properties	<i>Codium fragile</i>	Fermentation time (day)				
		0	2	4	6	8
pH	Control <sup>1</sup>	3.72±0.02 <sup>aA2,3,4</sup>	3.40±0.02 <sup>aB</sup>	3.31±0.02 <sup>aC</sup>	3.26±0.02 <sup>aD</sup>	3.21±0.01 <sup>aE</sup>
	10%	3.65±0.03 <sup>bA</sup>	3.31±0.02 <sup>bB</sup>	3.22±0.02 <sup>bC</sup>	3.21±0.01 <sup>bC</sup>	3.12±0.01 <sup>bD</sup>
	20%	3.56±0.02 <sup>cA</sup>	3.29±0.01 <sup>cB</sup>	3.22±0.01 <sup>bC</sup>	3.17±0.03 <sup>bC</sup>	3.11±0.02 <sup>bD</sup>
	30%	3.55±0.01 <sup>cA</sup>	3.17±0.01 <sup>dB</sup>	3.17±0.01 <sup>cB</sup>	3.14±0.01 <sup>cC</sup>	3.08±0.01 <sup>cD</sup>
Acidity (%)	Control <sup>1</sup>	0.23±0.02 <sup>cD2,3</sup>	0.32±0.02 <sup>cC</sup>	0.43±0.01 <sup>cB</sup>	0.47±0.02 <sup>cB</sup>	0.54±0.01 <sup>cA</sup>
	10%	0.27±0.01 <sup>bD</sup>	0.51±0.02 <sup>bC</sup>	0.62±0.01 <sup>bB</sup>	0.64±0.00 <sup>bB</sup>	0.67±0.04 <sup>bA</sup>
	20%	0.26±0.02 <sup>bCD</sup>	0.53±0.01 <sup>bC</sup>	0.63±0.01 <sup>bB</sup>	0.66±0.01 <sup>abA</sup>	0.67±0.03 <sup>bA</sup>
	30%	0.29±0.01 <sup>aE</sup>	0.58±0.02 <sup>aD</sup>	0.65±0.02 <sup>aC</sup>	0.68±0.03 <sup>aB</sup>	0.75±0.01 <sup>aA</sup>

<sup>1</sup>Control is non-added *Codium fragile*. <sup>2</sup>Values are mean±standard deviations of triplicate determination. <sup>3</sup>Different superscript in a column (a-e) are significant differences (P<0.05). <sup>4</sup>Different superscript in a row (A-E) are significant differences (P<0.05).

Table 2. Changes in sugar contents (Brix) in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile* during fermentation

Properties	<i>Codium fragile</i>	Fermentation time (day)				
		0	2	4	6	8
Brix	Control <sup>1</sup>	3.7±0.1 <sup>aE2,3,4</sup>	6.2±0.2 <sup>cD</sup>	7.8±0.0 <sup>cA</sup>	6.7±0.2 <sup>bB</sup>	6.4±0.1 <sup>cC</sup>
	10%	3.7±0.1 <sup>aD</sup>	6.8±0.1 <sup>bB</sup>	8.1±0.1 <sup>bA</sup>	6.8±0.1 <sup>bB</sup>	6.5±0.0 <sup>bcC</sup>
	20%	3.5±0.1 <sup>aE</sup>	6.9±0.1 <sup>bC</sup>	8.2±0.1 <sup>bA</sup>	7.1±0.1 <sup>aB</sup>	6.5±0.1 <sup>bD</sup>
	30%	3.5±0.0 <sup>aE</sup>	7.2±0.1 <sup>aC</sup>	8.5±0.1 <sup>aA</sup>	7.3±0.1 <sup>aB</sup>	6.8±0.1 <sup>aD</sup>

<sup>1</sup>Control is non-added *Codium fragile*. <sup>2</sup>Values are mean±standard deviations of triplicate determination. <sup>3</sup>Different superscript in a column (a, b, c) are significant differences (P<0.05). <sup>4</sup>Different superscript in a row (A-E) are significant differences (P<0.05).



알코올 함량은 막걸리의 품질을 결정하는데 중요한 요소 중의 하나이며, 보존성이나 향미에 영향을 주는 중요한 성분이다 (Lee et al., 2005). 누룩에 의해 당화된 당을 효모가 분해시키는 과정에서 에탄올이 만들어 지며(Kim et al., 2011) 발효가 많이 진행될수록 기포발생의 유무로 알코올 생성 또는 함량이 증가하는 것을 알 수 있다. 청각막걸리 발효 중의 알코올 함량의 결과는 Table 3과 같다. 담금 직후 청각 무첨가군은 4.6%, 청각 10%, 20%와 30% 첨가군은 각각 4.8, 4.5 및 5.3%로 나타났다. 담금 직후 무첨가군과 청각 10%와 20% 첨가군의 알코올 함량의 유의적 차이(P>0.05)가 없었으며 청각 30% 첨가군에서 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). 발효 2일째 당도와 환원당의 함량이 급증하면서 효모의 알코올 생성 반응이 활발히 일어나 알코올 함량이 증가하여(Choi et al., 2013), 발효 4일째 8.1-9.3%를 나타내었으며 무첨가군에 비해서 청각 첨가군의 알코올 함량이 높았다(P>0.05). 최종 발효 8일째에는 모든 시험군이 비슷한 함량을 나타냈지만 청각 30% 첨가군이 다른 실험군에 비해(P<0.05)가장 높게 나타났다. 이는 청각 함량이 증가할수록 알코올 함량도 다소 높게 나타났으며 발효가 빨리 진행된 것으로 보인다. 즉, 청각에 함유 되어있는 당 등의 성분이 발효를 촉진하여 알코올 생성이 많아졌다고 사료된다. 일반 시중에 판매되는 막걸리의 최종 도수는 6-8로서 이는 희석 후의 도수이다. 그러나 막걸리 발효 후 희석하기 전 발효 원주의 최종 알코올 농도는 12% 이상이다. Jeon and Lee (2011)의 연구에서 전통누룩을 사용하여 발효 종료 시 13.4%로 본 연구와 비슷한 경향을 나타내었다.

### 발효 중 총균수와 유산균수의 변화

막걸리의 발효 8일간 측정된 결과 총균수의 변화는 Table 4와 같다. 총균수의 변화량을 살펴보면 담금 직후 5.69-5.78 log CFU/mL이었고 청각 무첨가군과 청각 첨가군 사이의 뚜렷한 차이는 보이지 않았다(P>0.05). 발효 4일째 9.32-10.31 log CFU/mL로 모든 시험군에서 총균수의 증가가 나타났으며 Park et al. (2016)의 아로니아를 첨가한 막걸리의 발효특성에서도 발효 4일째 가장 높게 나타나 이는 본 연구결과와 유사하

Table 3. Changes of alcohol contents (%) in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile* during fermentation

Properties	<i>Codium fragile</i>	Fermentation time (day)		
		0	4	8
Alcohol	Control <sup>1</sup>	4.6±0.2 <sup>bc2,3,4</sup>	7.6±0.1 <sup>dB</sup>	12.3±0.3 <sup>cA</sup>
	10%	4.8±0.1 <sup>bc</sup>	8.1±0.2 <sup>cB</sup>	13.2±0.3 <sup>bA</sup>
	20%	4.5±0.3 <sup>bc</sup>	8.6±0.2 <sup>bB</sup>	13.3±0.2 <sup>bA</sup>
	30%	5.3±0.2 <sup>ac</sup>	9.3±0.3 <sup>aB</sup>	14.3±0.3 <sup>aA</sup>

<sup>1</sup>Control is non-added *Codium fragile*. <sup>2</sup>Values are mean±standard deviations of triplicate determination. <sup>3</sup>Different superscript in a column (a, b, c) are significant differences (P<0.05). <sup>4</sup>Different superscript in a row (A, B, C) are significant differences (P<0.05).

다. 발효 8일 이후부터 모든 청각 첨가 시험군에서 총균수의 1 log 이하의 감소(8.28-9.15)가 관찰되었다. 이는 아마도 알코올 함량이 10% 이상으로 높아짐에 따라 젖산세균의 사멸에 기인한 것으로 사료된다(Jeon and Lee, 2011). 발효 마지막날인 8일째, 청각 첨가군 사이의 총균수의 유의적 차이는 없는 것으로 보아 청각 첨가량에 따른 일반세균의 총균수 변화에는 큰 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다.

막걸리의 발효 8일간 측정된 결과 유산균수의 변화는 Table 5와 같다. 담금 직후 4.72-5.43 log CFU/mL로 각 시험군의 유의적 차이는 없었다(P>0.05). 발효 4일째 7.95-8.20 log CFU/mL로 급격히 증가하였다. 발효 8일째 무첨가군은 8.18 log CFU/mL, 청각 10%, 20%와 30% 첨가군은 각각 9.37, 9.28 및 9.35 log CFU/mL로 무첨가군에 비해서 청각 첨가군의 유산균수가 높게 나타났다(P<0.05). 유산균은 탄수화물을 혐기적으로 이용하여 젖산을 생성하는 세균으로 항균능력이 뛰어나다. 식중독 원인 세균을 사멸시키고 장에서 염증이나 암을 유발하는 장내 유해세균의 증식을 억제하며 면역력을 강화하여 배변을 편하게 해주는 등 프로바이오틱스 역할을 한다. 또한 다양한 생리활성물질의 생산능력이 뛰어난 것으로 보고되고 있어 기능성 식품 및 건강보조제, 의약품, 동물용 생균제 및 사료에 이르기까지 사용범위가 점차 확대되고 있는 실정이며(Jang, 2014). 최근에는 막걸리에도 다량으로 존재한다는 보고가 잇따르면서 막걸리를 통한 유산균의 섭취에 관심이 높아지고 있다. Lee et al. (2011)에 의하면 일반적으로 시중에 유통되는 막걸리에는 약 9 log CFU/mL의 유산균이 있다. 본 연구의 청각막걸리 중의 유산균 수는 이보다 높았다. 이는 청각 중의 galactoarabinoxylan 등의 점질성 다당류가 유산균의 먹이 역할인 프리바이오틱스로서의 역할 수행 때문에 유산균의 증식이 많아졌다고 사료된다.

### 발효 중 DPPH 라디칼 소거 활성능의 변화

Table 4. Changes of total microbial cell counts (log CFU/mL) in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile* during fermentation

Properties	<i>Codium fragile</i>	Fermentation time (day)		
		0	4	8
Total microbial cell counts	Control <sup>1</sup>	5.63±0.20 <sup>ac2,3,4</sup>	9.18±0.06 <sup>bA</sup>	7.27±0.08 <sup>bB</sup>
	10%	5.78±0.10 <sup>ac</sup>	10.31±0.19 <sup>aA</sup>	9.15±0.03 <sup>aB</sup>
	20%	5.78±0.04 <sup>ac</sup>	9.32±0.09 <sup>bA</sup>	8.28±0.06 <sup>aB</sup>
	30%	5.69±0.06 <sup>ac</sup>	9.37±0.10 <sup>bA</sup>	9.09±0.08 <sup>aB</sup>

<sup>1</sup>Control is non-added *Codium fragile*. <sup>2</sup>Values are mean±standard deviations of triplicate determination. <sup>3</sup>Different superscript in a column (a, b) are significant differences (P<0.05). <sup>4</sup>Different superscript in a row (A, B, C) are significant differences (P<0.05).

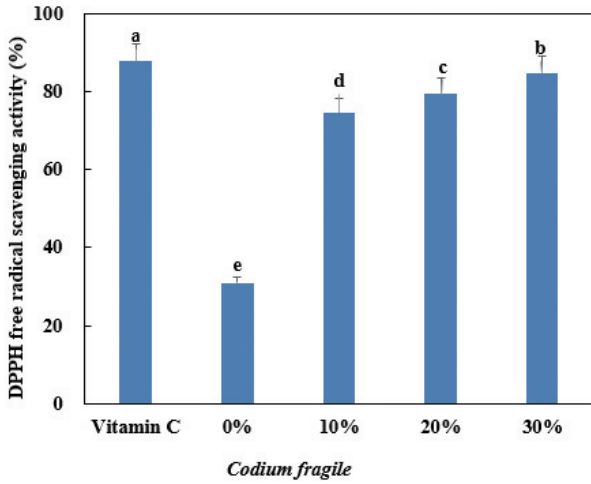


Fig. 2. DPPH free radical scavenging activity in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile*. DPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl.

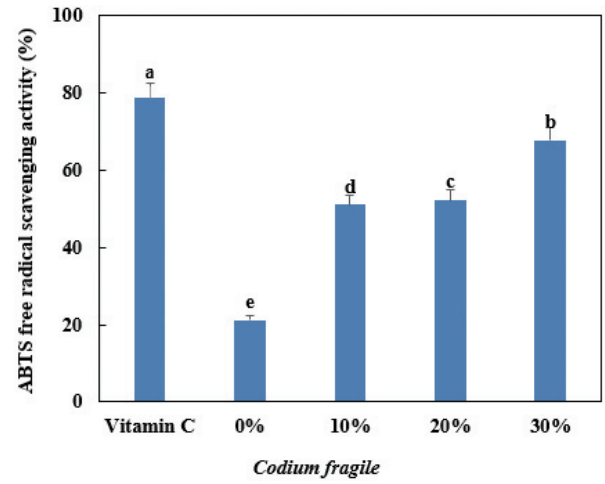


Fig. 3. ABTS free radical scavenging activity in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile*. ABTS, 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium.

DPPH는 분자 내에 위치한 안정한 라디칼을 함유하지만 항산화 활성이 있는 물질과 만나면 라디칼이 소거되며, 시료의 전자공여능력을 측정하는 방법으로 널리 쓰이고 있다(Molyneux, 2004). 본 연구는 청각막걸리의 항산화 효과를 측정하기 위하여 항산화제인 L-ascorbic acid를 양성 대조군으로 사용하였고 DPPH 라디칼 소거능 결과를 Fig 2에 나타내었다. 청각의 DPPH 라디칼 소거능을 비교하기 위하여 ascorbic acid를 청각막걸리와 같은 농도로 측정한 결과 87.68%로 확인되었다. 청각 첨가량이 증가할수록 소거능이 완만하게 증가하여 무첨가군 30.97%에 비해서 청각 10%, 20%와 30% 첨가군은 74.63% (약 2.4배), 79.36% (약 2.6배) 및 84.64% (약 2.7배)의 높은 소거능을 보였다. 이와 같이 발효가 진행되고 청각 첨가량이 많을수록 DPPH 라디칼 소거능이 유의적으로 증가하였다(P<0.05). Cho et al. (2012)의 자색고구마로 제조된 막걸리 중 자색고구마 10% 첨가 (69.41%)와 본 연구가 유사하였고 이러한 결과는

자색고구마 중의 폴리페놀 함량이 기인한 것으로 보인다. Kang (2107)의 연구에서 DPPH 라디칼 소거능은 청각 에탄올 추출물에서 74.42%이며, 청각 열수 추출물에서는 72.14%로 본 연구결과와 유사했다.

발효 중 ABTS 라디칼 소거 활성능의 변화

ABTS 라디칼을 이용한 항산화능의 측정은 potassium persulfate와의 반응에 의해 생성된 ABTS 자유 라디칼이 시료 내의 항산화 물질에 의해 제거되어 radical 특유의 색인 청록색이 탈색되는 것을 이용한 방법이다(Kim et al., 2018). 청각막걸리의 ABTS 라디칼 소거능은 Fig 3에 나타내었다. 청각막걸리의 항산화 활성 정도를 비교하기 위하여 ascorbic acid를 청각막걸리와 같은 농도로 측정한 결과 78.63%로 확인되었다. 청각 무첨가군은 21.21%의 ABTS 라디칼 소거능을 나타내었으며, 청각 10%, 20%와 30% 첨가군은 각각 51.01% (약 2.4배), 54.24% (약 2.6배) 및 64.79% (약 3.1배)의 ABTS 라디칼 소거능을 나타내었다. 또한, 청각의 첨가량이 높아짐에 따라 ABTS 라디칼 소거능에 탁월한 효과가 있음을 나타낸다. Kim et al. (2018)의 연구에서도 청각 주정 추출물의 47% ABTS 라디칼 소거능을 보였음을 증명하고 있다. Kim et al. (2018) 따르면 청각 추출물 중 총 폴리페놀 함량은 64.18 mg/g이었고 이 중 대표적인 폴리페놀 화합물은 anthocyanins, tannins, catechins, isoflavones, lignans 및 resveratrols 6종으로 이 물질들이 청각의 항산화 활성과 관련이 있다고 보고하였다.

관능평가

청각을 첨가하여 제조한 막걸리의 관능검사 결과는 Table 6에 나타내었다. 관능검사는 8일째 발효가 끝난 막걸리의 색상,

Table 5. Changes of lactic acid cell counts (log CFU/mL) in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile* during fermentation

Properties	<i>Codium fragile</i>	Fermentation time (day)		
		0	4	8
	Control <sup>1</sup>	4.60±0.08 <sup>c2,3,4</sup>	7.27±0.09 <sup>bB</sup>	8.18±0.14 <sup>bA</sup>
Lactic acid cell counts	10%	4.72±0.15 <sup>cC</sup>	7.95±0.14 <sup>abB</sup>	9.37±0.16 <sup>aA</sup>
	20%	5.43±0.63 <sup>cC</sup>	8.07±0.23 <sup>abB</sup>	9.28±0.30 <sup>aA</sup>
	30%	5.34±0.56 <sup>cC</sup>	8.20±0.58 <sup>abB</sup>	9.35±0.29 <sup>aA</sup>

<sup>1</sup>Control is non-added *Codium fragile*. <sup>2</sup>Values are mean±standard deviations of triplicate determination. <sup>3</sup>Different superscript in a column (a, b, c) are significant differences (P<0.05). <sup>4</sup>Different superscript in a row (A, B, C) are significant differences (P<0.05).

Table 6. Sensory evaluation in the *Makgeolli* supplemented with *Codium fragile* during fermentation

<i>Codium fragile</i>	Sensory evaluation				
	Color	Smell	Taste	Appearance	Overall acceptability
Control <sup>1</sup>	3.80±0.79 <sup>b2,3</sup>	4.30±1.16 <sup>c</sup>	4.30±0.82 <sup>c</sup>	4.90±0.88 <sup>b</sup>	4.50±1.51 <sup>b</sup>
10%	5.50±1.08 <sup>a</sup>	4.90±0.74 <sup>b</sup>	5.20±0.63 <sup>b</sup>	5.90±0.88 <sup>a</sup>	5.20±1.03 <sup>a</sup>
20%	5.40±0.97 <sup>a</sup>	5.30±1.06 <sup>a</sup>	5.80±0.92 <sup>a</sup>	5.70±0.67 <sup>a</sup>	5.60±1.17 <sup>a</sup>
30%	3.90±1.10 <sup>b</sup>	4.10±1.10 <sup>c</sup>	4.10±1.60 <sup>c</sup>	5.70±0.95 <sup>a</sup>	4.10±1.60 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Control is non-added *Codium fragile*. <sup>2</sup>Values are mean±standard deviations of triplicate determination. <sup>3</sup>Different superscripts in a column (a, b, c) are significantly different (P<0.05).

향, 맛, 외관 및 전체적인 기호도에 대한 조사 결과로 나타내었다. 막걸리의 색상과 향은 청각 10%와 20% 첨가군에서 가장 높게 나타났다(P<0.05). 시중에 판매되는 막걸리 특유의 향이 나지 않고 청각 30% 첨가군에 비해 10%와 20%첨가군이 비린맛이 나지 않아 높은 선호도를 보였다. 이에 비해 청각 30% 첨가군은 낮은 당도, 높은 산도 및 텁텁함 때문에 맛에 대한 기호도가 낮은 것으로 추측된다. 특히 전체적인 기호도에서 청각 10%와 20% 첨가군이 높았는데 이는 맛과 향이 주요인으로 작용한 것으로 사료된다.

본 연구결과의 종합적 분석시, 청각 10%와 20%를 첨가한 막걸리의 이화학적·미생물학적 품질은 일반 막걸리(대조군)와 유사하거나 약간의 우세한 양상을 보였으나, 항산화 효과가 2배 이상(2.4-2.6배)이었고 관능평가시 해조류의 신선한 향미에 기인한 전반적 선호도가 높았다. 따라서 청각 첨가에 따른 항산화 기능 강화와 신선한 향미가 가미된 청각 막걸리의 개발 가능성이 높은 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 2019 년도 경상대학교 해양산업연구소의 신진연구자를 위한 프로젝트의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## References

- Cho HK, Lee JY, Seo WT, Kim MK and Cho KM. 2012. Quality characteristics and antioxidant effects during *Makgeolli* fermentation by purple sweet potato-rice *Nuruk*. Korean J Food Sci Technol 44, 728-735. <https://doi.org/10.9721/kjfst.2012.44.6.728>.
- Choi KW, Lee JK, Jo HJ, Lee KJ, Yoon JA, An JH and Chung KH. 2013. Fermentation characteristics of *Makgeolli* made with loquat fruits (*Eriobotrya japonica* Lindley). J Korea Soc Food Sci Nutr 42, 975-982. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.6.975>.
- Jang DB. 2014. Isolation and physiological characterization of alcohol-tolerant *Pediococcus acilactict* K3 and its application for *Makgeolli*. Master Thesis, Silla University, Busan, Korea. <https://doi.org/10.4014/kjmb.1308.08001>.
- Jeon MH and Lee WJ. 2011. Characteristics of blueberry added *Makgeolli*. J Korean Soc Food Sci Nutr 40, 444-449.
- Jeong JW, Park KJ, Kim MH and Kim DS. 2006. Quality characteristics of *Takju* fermentation by addition of chestnut peel powder. Korean J Food Pres 13, 329-336.
- Jin TY, Lee WG, Lee IS and Wang MH. 2008. Changes of physicochemical, sensory and antioxidant activity characteristics in rice wine, *Yakju* added with different ratios of *Codonopsis lanceolata*. Korean J Food Sci Technol 40, 201-206.
- Kang DH, Park EM, Kim JH, Yang JW, Kim JH and Kim MY. 2016. Bioactive compounds and antioxidant activity of Jeju Camellia Mistletoe (*Korthalsella japonica* Engl.). J Life Sci 26, 1074-1081. <https://doi.org/10.5352/jls.2016.26.9.1074>.
- Kang MS. 2017. Effect of *Codium fragile* and *Enteromorpha linza* on antioxidative activity and skin whitening. Master Thesis, Silla University, Busan, Korea.
- Kim BH and Eun JB. 2012. Physicochemical and sensory characteristics of *Makgeolli* with pomegranate (*Punica granatum L.*) juice concentrate added. Korean J Food Sci Technol 44, 417-421. <https://doi.org/10.9721/kjfst.2012.44.4.417>.
- Kim CA, Lee WG, Lee IS and Wang MH. 2008. Changes of phytochemical, sensory, and antioxidant activity characteristics in rice wine. *Yakju* added with different ratio of *Codonopsis lanceolata*. J Korean Soc Food Sci Nutr 37, 201-206.
- Kim MS, Kim KM, Han DH, Ko KW and Kim SY. 2018. Antibacterial activity and other functions of *Codium fragile* and *Chaenomeles sinensis* extracts by extraction method. Korean Soc Biotechnol Bioeng J 33, 89-94. <https://doi.org/10.7841/ksbbj.2018.33.2.89>.
- Kim SG, Kim EK, Yoon SG, Jo NJ, Jung SK, Kwon S, Chang YH and Jeong YH. 2011. Physicochemical and microbial properties of Korean traditional rice wine, *Makgeolli*, supplemented with cucumber during fermentation. J Korean Soc Food Sci Nutr 40, 223-228. <https://doi.org/10.3746/pnf.2013.18.3.203>.
- Kim YJ, Jung IS, Choi IS, Gal SW and Choi YJ. 2006. Studies on antioxidant activity and inhibition of nitric oxide synthesis from *Codium fragile*. J Life Sci 16, 788-793. <https://doi.org/10.5352/jls.2006.16.5.788>.

- Lee DH, Kim JH and Lee JS. 2009. Effect of pears on the quality and physiological functionality of *Makgeoly*. Korean J Food Nutr 22, 606-611.
- Lee DH, Park WJ, Lee BC, Lee JC, Lee DH and Lee JS. 2005. Manufacture and physiological functionality of Korean traditional wine by using Gugija (*Lycii fructus*). Korean J Food Sci Technol 37, 789-794.
- Lee SJ, Kim JH, Jung YW, Park SY, Shin WC, Park HS, Hong SY and Kim GW. 2011. Composition of organic acids and physiological functionality of commercial *Makgeolli*. Korean J Food Sci Technol 43, 206-212. <https://doi.org/10.9721/kjfst.2011.43.2.206>.
- Molyneux P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin J Sci Technol 26, 211-219.
- Park BH and Cho HS. 2005. Effect of glue plant(*Codium Fragile*) on physicochemical characteristics of dongchimi during fermentation. Korean j food culture 20, 508-515.
- Park CS and Lee TS. 2002. Quality characteristics of *Takju* prepared by wheat flour *Nuruks*. Korean J Food Sci Technol 34, 296-302.
- Park MJ, Kim HK, Choi KK, Koo BY and Lee SK. 2016. Fermentation characteristics of Makgeolli containing aronia (*Aronia melanocarpa*, Black chokeberry). Korean J Food Sci Technol 48, 27-35. <https://doi.org/10.9721/kjfst.2016.48.1.27>.
- NTS (National Tax Service). 2010. Analysis of alcoholic beverages. NTS, Seoul, Korea. 40.
- Shin JH, Choi DJ and Sung NJ. 2004. Nutritional properties of *Yakju* brewed with natural plants. Korean J Food Nutr 17, 18-24.
- Shin MO, Kim MH and Bae SJ. 2010. The effect of *Makgeolli* on blood flow, serum lipid improvement and inhibition of ACE in vitro. J Life Sci 20, 710-716. <https://doi.org/10.5352/jls.2010.20.5.710>.
- Yang HS and Eun JB. 2011. Fermentation and sensory characteristics of Korean traditional fermented liquor (*Makgeolli*) added with citron (*Citrus junos* SIEB ex TANAKA) juice. Korean J Food Sci Technol 43, 438-445. <https://doi.org/10.9721/kjfst.2011.43.4.438>.