

## 도정도를 달리한 쌀이 가속숙성에 의해 약주의 품질변화에 미치는 영향

최정실<sup>1</sup> · 강지은<sup>1</sup> · 정석태<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과

### Quality changes of yakju prepared from rice with different degrees of milling (DOM) due to accelerated aging

Jeong-Sil Choi<sup>1</sup>, Ji-Eun Kang<sup>1</sup>, and Seok-Tae Jeong<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Fermented Food Science Division, National Institute of Agricultural Sciences

**Abstract** This study was conducted to elucidate how rice with different milling degrees (DOM: 10, 20, 30, and 40%) affects rice yakju properties by accelerated aging. There were significant differences among the treatments with respect to the properties except for brownness before aging, which showed no correlation with DOM ( $p$  for trend > 0.05). In contrast, the amino acidity and brownness significantly decreased after aging as DOM increased, lightness (L) in particular was affected in all the treatments regardless of DOM. Almost all treatments showed significant differences except for the pH and the total acid and alcohol content between before and after aging. Moreover, the amino acidity, brownness, redness (a), yellowness (b), and color difference in all the treatments showed significant differences regardless of DOM. We found a significant difference in the color change. The yakju free amino acid analysis showed that almost all amino acids slightly decreased as DOM increased.

**Keywords:** Korean rice wine, milling, aging, brownness, amino acidity

## 서 론

술은 종류에 따라 향기와 맛이 어우러져 그 고유의 술맛을 내게 되는데 이것은 사용하는 원료나 효모, 발효 및 숙성조건에 따라 다양한 향미를 띠기 때문이다. 특히, 숙성을 하게 되면 맛과 향이 부드러워져 조화로운 향미를 내게 된다. 반면에 숙성 시 원료의 상태, 잡균의 오염, 저장온도나 시간, 빛 또는 산소에 대한 노출 등에 따라 술의 품질이 저하되기도 한다(Lee, 1999). 일본 술 사케의 경우에도 숙성하는 동안 맛이 숙성되고 향이 부드러워지는 등 맛과 향이 조화를 이루어 3년에서 또는 그 이상 숙성된 술이 가지고 있는 특이한 향과 맛으로 소비자에게 주목이 되어 왔다. 그렇지만, 오랜 동안 저장을 하게 되면 색이나 맛, 향이 변하게 되고 이런 오래된 술의 향은 카라멜, 탄내, 무겁고 복잡한 향으로 묘사됨으로 오히려 술의 품질이 떨어지는 것으로 취급되기도 한다. 일본에서는 사케의 숙성에 대한 연구가 많이 이루어졌는데, 숙성주에서 탄내와 관련된 3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone (sotolon) 및 furfural, dimethylsulfide (DMTS), benzaldehyde, diethyl succinate 등이 많이 검출된다고 알려져 있다(Isogai 등, 2005).

우리나라 술 가운데서 역사가 오래된 전통주인 약주는 주로 쌀

을 원료로 하여 발효에 필요한 효소원과 미생물원인 곰팡이, 효모 및 세균이 함유되어 있는 누룩으로 발효하여 발효가 끝난 다음 술덧을 맑게 제성한 술이다(Noh 등, 2014). 약주 담금 시 원료인 쌀은 누룩 중의 미생물이 내는 효소에 의해 분해되어 당분, 아미노산, 유기산 등의 발효 대사 산물을 내고 발효과정에서 생성된 알코올 등의 풍미성분 및 색과 조화를 이루고 있다(Eun 등, 2007).

도정은 벼의 왕겨와 미강을 제거하고 정선과정을 거쳐 백미로 가공하는 것으로 도정 정도에 따라 쌀의 품질이 달라진다(Chun 등, 2012). 쌀의 주성분은 전분, 단백질, 및 지방으로 특히 도정 정도가 증가하면 쌀의 바깥 부분에 있는 지방이나 회분함량이 감소하게 된다(Choi 등, 2017c; Lee 등, 2016). 그래서 양조용 쌀은 전분 함량을 높이고 단백질 함량을 낮춰 쌀의 수분 흡수가 빠르게 하고 당화작용이 잘 되도록 하기 위해 백미보다 도정도를 높이기도 한다(Lee 등, 2012a). 또한, 원료 쌀 바깥에 있는 단백질, 지질, 회분 등의 성분에 의해 술의 착색에 영향을 주는 등 품질 변화를 일으키게 됨으로 단백질 분해를 제어하기 위해 약주 발효 시 protease를 무첨가하거나 소곡주의 원료로 도정도를 달리한 쌀을 사용하려는 등 이를 최소화하려는 연구가 많이 진행되었다(Chun 등, 2012; Kim 등, 2004; Noh 등, 2014). 약주도 숙성을 통해 부가가치를 높이려는 노력을 하고 있는 가운데 숙성 전 약주의 상태가 숙성과 저장 유통 중 품질에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 예를 들면, 주류의 당과 아미노산에 의한 마이알 반응으로 생성된 카보닐 화합물 및 피라진류가 숙성취를 내고 변색을 일으키기도 하고 아미노산에 의한 인돌화합물의 생성으로 갈변과 이취를 형성하기도 한다(Kang 등, 1998; Noh 등, 2014).

이에 본 연구에서는 도정도를 달리한 쌀이 약주 품질 변화에 어떤 영향을 미치는지 살펴보고자 하였다.

\*Corresponding author: Seok-Tae Jeong, Fermented Food Science Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Jeonbuk 55365, Korea  
Tel: +82-63-238-3615  
Fax: +82-63-238-3843  
E-mail: jst@korea.kr  
Received June 26, 2020; revised July 17, 2020;  
accepted July 21, 2020

## 재료 및 방법

### 실험 재료

본 실험에 사용된 쌀은 충청남도 아산시 영인농협 미곡종합처리장에서 2017년도에 생산된 삼광쌀(Youngin Nonghyup, Asan, Chungnam, Korea)을 구입하여 10°C 저장고에서 저장한 것을 사용하였다. 삼광쌀 백미는(수분: 13.18 (%): 2018년 도정도별 약주 제조시) 현미에서 10% 도정한 쌀이므로 삼광쌀 백미를 기준으로 도정기(Rice milling unit, Type 80824, Satake Corporation co., Hiroshima, Japan)를 이용하여 추가 10% 도정(수율 90%) 즉 20% 도정 쌀, 추가 20% 도정(수율 80%) 즉 30% 도정 쌀, 추가 30% 도정(수율 70%) 즉 40% 도정 쌀로 하여 시료로 사용하였다. 이때, 도정도(degree of milling)는 다음과 같은 식으로 계산하였고:

$$\text{Degree of milling} = \left(1 - \frac{\text{도정된 쌀}}{\text{원료 백미}}\right) \times 100 (\%),$$

수율(Milled rice percentage: MRP)은 도정된 쌀을 이용하여 다음과 같은 식으로 계산하였다(Liu 등, 2015).

$$\text{Milled rice percentage: MRP} = \frac{\text{쌀}}{\text{원료 백미}} \times 100 (\%)$$

발효제는 역가 1,800 SP의 개량누룩(Korea enzyme Co., Ltd., Hwaseong, Gyeonggi, Korea)을 효모는 (주)비전 바이오켄(Bision Co., Seongnam, Gyeonggi, Korea)에서 구매한 라빠리장(S. I. Lesaffre Co., Marcq-en-Baroeul cedex, France)을 사용하였다. 또한, 실험에 사용한 시약은 특급시약이었다.

### 약주 담금 및 숙성 약주 제조

약주는 각 도정도별로 한번 단담금 하였다. 즉, 도정도별 쌀 각 2.5 kg을 깨끗하게 씻어서 2시간 동안 수침한 다음, 1시간 동안 물빼기하고 증자기(MS-30, Yaegaki Food & System Inc., Himeji, Japan)에 넣고 김이 올라오기 시작한 후부터 1시간 수증기를 더 가해 증자하고 25°C로 방냉한 고두밥과 개량누룩 75 g, 효모 12.5 g, 물 3.75 L 가한 후 25°C에서 10일 동안 발효하였다. 발효가 끝나면 60 mesh체로 조여과하고 4°C에서 7,000 rpm (9,280×g force)으로 30분간 원심분리(Hitachi CR22G III, Hitachi Co., Ltd., Tokyo, Japan)하여 상등액을 약주로 사용하였다. 이후 약주의 숙성을 가속화하기 위해 45°C incubator (DS-80-3, Dasol Scientific Co., Suwon, Korea)에서 14일간 저장한 후 숙성 약주로 사용하였다.

### 도정도별 원료 쌀의 일반성분 분석 및 비타민 B<sub>2</sub> 분석

도정도별 원료 쌀의 수분함량은 수분측정기(Moisture analyzer, AND MX-50, AND Company Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 105°C 건조법으로 측정하였다. 도정도별 원료 쌀의 조 회분, 조 지방, 탄수화물 및 조단백질 등의 일반성분 함량과 비타민 B<sub>2</sub>는 식품공전의 일반시험법에 따라 분석하였다(KFDA, 2010). 즉, 회분은 550°C에서 회화로를 사용한 건열 회화법으로 회분함량을 분석하였다. 조지방 함량은 시료를 분쇄한 후 Diethyl ether를 이용하여 Soxhlet법으로 측정하였으며, 조단백질의 함량은 Kjeldahl법으로 측정하였다. 탄수화물 함량은 100에서 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 함량 함량의 합을 뺀 것으로 환산하였다.

### 약주와 숙성 약주의 이화학 성분 분석

약주와 숙성 약주의 이화학 성분 분석은 국세청 주류 분석 규정을 따랐다(National Tax Service Liquors License Support Cen-

ter, 2014). pH는 pH meter (Orion 3 Star Benchtop pH meter, Thermo Fisher Scientific Inc., MA, USA)로 측정하였다. 총산은 시료 10 mL를 취하여 100 mL용 삼각 플라스크에 넣고 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.2가 될 때까지 적정하여 그 값을 초산(acetic acid)으로 환산하여 나타내었다. 가용성 고형분(°Brix) 함량은 디지털 굴절계(PR-201, Atago Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 알코올 함량은 시료 100 mL를 증류 및 냉각 장치에 연결하여 가열하여 증류액을 약 80 mL 이상 받고 100 mL까지 증류수로 정용하였다. 증류액을 잘 혼합한 다음 주정계(Dongmyeong, Seoul, Korea)를 사용하여 눈금을 읽고 주정분 온도 환산표로서 15°C로 보정하여 알코올 농도(% v/v)함량으로 나타내었다. 휘발산 함량은 알코올 분석용 증류액 30 mL를 취하여 삼각 플라스크에 넣고 0.01 N NaOH로 pH 8.2가 될 때까지 적정하여 소비된 0.01 N NaOH를 초산(acetic acid)으로 환산하여 표시하였다. 환원당은 Dinitrosalicylic acid (DNS)법(Luchsinger과 Cornesky, 1962)을 변형하여 측정하였다. 즉, 희석된 여과액을 1 mL에 DNS 시약 3 mL을 가하여 water bath (B-490, BUCHI, Flawil, Switzerland)에서 5분간 가열시킨 후 급냉하고 여기에 증류수 5 mL을 첨가하여 UV-visible spectrophotometer (JP/U-2000 spectrophotometer, Hitachi Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 당 정량은 glucose를 표준물질로 사용하여 상기의 방법으로 작성한 표준곡선으로부터 환산하였다. 아미노산도는 시료 10 mL를 100 mL 삼각플라스크에 취한 다음, 페놀프탈레인 지시약 2-3방울을 가하여 0.1 N NaOH 용액으로 엷은 분홍색이 나올 때까지 적정하였다. 여기에 중성포르말린 용액 5 mL를 넣어 원래의 색이 나오게 한 후 다시 0.1 N NaOH 용액으로 엷은 분홍색이 나올 때까지 적정하여 소비된 용액의 양(mL)으로 표시하였다. 갈색도는 여과(0.45 µm, Merk Millipore Ltd., Carrigtwohill, Cork, Ireland)후 UV-visible spectrophotometer (JP/U-2000 spectrophotometer)를 이용하여 430 nm에서 흡광도를 측정하여 나타내었다. 색도는 색차계(Hunterlab Ultra Scan Pro, Reston, VA, USA)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b), 및 색차(ΔE)값을 측정하여 나타내었다. 이때 표준 L, a, b 값은 각각 100, -0.01, 0이었고 ΔE는 다음과 같은 식으로 계산되었다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

### 유리 아미노산 및 유리 질소 화합물 함량 측정

유리 아미노산 및 유리 질소 화합물은 아미노산 자동 분석기(L-8900, Hitachi Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하였다. 시료 5 mL에 5% trichloroacetic acid (Junsei Chemical Co., Ltd., Tokyo, Japan) 5 mL를 첨가한 후 원심분리(4°C, 12,000×g, 15 min)하였다. 상등액을 회수한 다음 0.02 N HCl로 5배 희석하고 여과(0.2 µm, Merk Millipore Ltd.)한 것을 분석하였으며, 분석조건은 제조사의 매뉴얼을 따랐다(Hitachi high-technologies corporation, 2015). 즉, PF#2622 (4.6×60 mm, Hitachi Co., Ltd.) column을 사용하였으며 column oven의 온도는 57°C, reactor의 온도는 136°C로 설정하였고 발색에는 ninhydrin (Wako pure chemical Industrial, Ltd., Osaka, Japan) 용액을 사용하였다.

### 통계분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였으며, 평균±표준편차로 표시하였다. 통계분석은 SPSS 프로그램 18.0 버전을 이용하여 품질 특성에 대하여 처리구간의 유의적인 차이를 알아보기 위해 일원

분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 시료 간 유의적인 차이가 있을 경우,  $\alpha=0.05$  수준에서 Duncan의 다중범위 검정을 실시하였다. 또한, 숙성 전후의 품질 특성 차이를 알아보기 위해 대응 표본 *t*-검정(paired *t*-test)을 실시하였다. 도정도가 약주의 숙성 전후 품질 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 도정도를 연속형 변수로 처리하여 회귀분석(regression Analysis)을 실시하여 경향성을 위한 유의확률 값(*p* for trend)을 계산하였다. 숙성 후 약주의 품질 특성 사이의 관련성을 보고자 상관분석(correlation analysis)을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 도정도에 따른 원료 쌀의 품질 특성

백미에서 추가 도정도에 따른 일반 성분 즉 도정도에 따른 원료 쌀의 품질 특성의 변화를 Table 1에 나타내었다. 도정 10%인 백미의 경우, 수분이  $13.18\pm 0.03\%$ , 조회분이  $0.38\pm 0.02\%$ , 조단백질이  $6.55\pm 0.06\%$ , 조지방이  $0.47\pm 0.01\%$ 이었다. 쌀의 성분은 같은 품종이라 하더라도 재배환경, 토지의 상태 등에 따라 차이가 있으나(Lee 등, 2016) Choi 등(2017a)의 연구결과와 유사한 삼광쌀 백미의 일반성분 함량이 수분 15.73%, 조회분 0.36%, 조단백질 5.98%, 조지방 0.67% 으로 나타났다(Choi 등, 2017a). 본 연구에서 도정도가 증가할수록 수분, 조단백질, 조회분 함량이 감소되고 상대적으로 탄수화물 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 Lee 등(2012b)의 연구와 일치하는 결과를 보였다(Lee 등, 2012b). 조지방 함량은 0.40-0.47%로서 도정도에 따라 일정한 경향을 보이지 않아 Lee 등(2012b)의 결과와는 차이가 있었다. Lie 등(2017)의 연구에 따르면, 도정도와 비타민 B<sub>2</sub>의 손실은 직선적인 관계, 즉 도정도가 증가하면 비타민 B<sub>2</sub> 함량은 감소하는 것으로 나타났다(Lie 등, 2017). 이것은 미강에 40.3-45.7% 정도 존재하는 비타민 B<sub>2</sub>가 도정에 의해 손실되었기 때문인 것으로 추측하였다. 이 연구의 도정도별 쌀의 경우에도 비타민 B<sub>2</sub> 함량이 도정도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 그렇지만 큰 차이를 보이지 않은 것은 다른 연구와 달리 현미에서 도정을 한 것이 아닌 백미에서 추가 도정에 의한 것으로 사료된다.

### 도정도별 쌀 약주의 숙성 전후의 품질 특성 및 품질 비교

도정도를 달리한 쌀 약주의 숙성 전후의 품질 특성과 숙성 전후의 품질 비교는 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 숙성 전에는 갈색도를 제외한 모든 품질 특성에서 처리구간에 유의적인 차이를 보였다( $p<0.01$ ). 특히, pH, 총산, 아미노산도, 알코올 함량은 도정도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났으나 도정도가 품질 특성에 영향을 미치는지 알아보기 위해 실시한 경향성 분석에서는 도정도에 따른 경향성은 보이지 않았다(*p* for trend>0.05). 그렇지만, 아미노산도의 경우, 대체적으로 도정도가 증가함에 따라 감소하였다. 발효제로 사용하는 누룩에는 단백질 분해 효소가 있어 쌀에 있는 단백질을 분해하여 아미노산을 생성하게 되는데, 아미노산은 당과 마이알 반응을 하게 되고 이로 인해 생성된 카

보닐 화합물 및 피라진류가 숙성취를 내고 변색을 일으키기도 하고 또한, 아미노산에 의한 인돌화합물 및 할망 화합물의 생성으로 갈변과 이취를 형성하는 등 이것은 술의 맛, 색, 향 등에 관여한다고 알려져 있다(Choi 등, 2017c). 숙성 약주의 아미노산도는 도정도가 증가함에 따라 감소함은 숙성 전 술의 상태에서 비롯되었음을 알 수 있었다. 서론에서 언급한 바와 같이, 술의 착색은 원료인 쌀의 바깥 부분에 있는 단백질, 지방, 회분 등에 영향을 받아 누룩곰팡이와 효모의 성장을 촉진시켜 비롯된 것으로 도정을 많이 한 쌀을 사용할 경우 색이 얼어질 것이라는 예상과는 달리 도정도에 따른 차이가 없었다. 따라서, 단백질, 지방 회분 성분은 숙성 약주의 착색에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 나타났다.

숙성 후 도정도별 쌀 약주의 품질 특성을 살펴본 결과, 숙성 전 쌀 약주의 품질특성과 마찬가지로 처리구간에 유의적인 차이를 보였다( $p<0.05$ ). 반면, 도정도에 따른 경향성을 분석한 결과에서는 숙성 전 약주와는 달리 도정도가 갈색도와 아미노산도에 영향을 미친다는 결과를 얻었다. 갈색도와 아미노산도가 도정도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였다(각각 *p* for trend: 0.039,  $0.049<0.05$ , -값).

숙성 후 약주의 품질특성간의 관련성을 파악하고자 상관관계 분석을 실시하였고 그 결과 Table 4에서 보는 바와 같이 아미노산도와 갈색도가 유의적인 정(+)의 상관관계를 나타냈다(0.984,  $p<0.05$ ). 즉, 갈색도는 아미노산도와 높은 정의 상관성이 있다는 것을 알 수 있었다. 이것은 Kang 등(2016)의 연구에서 약주의 갈변은 아미노산과 상관성이 높다는 것과 유사한 결과를 얻을 수 있었다(Kang, 2016).

또한, 도정도 별 쌀 약주의 숙성 전후 특성 비교는 대응 표본 *t*-검정을 실시하여 살펴보았다(Table 2, 3). 그 결과, pH, 총산, 알코올 함량을 제외한 품질 특성에서 숙성 전후에 차이가 있었다. pH와 총산, 알코올은 숙성 전과 후를 비교했을 때 차이가 없었다. 도정도별 약주의 숙성 전후의 차이에서 도정도와 상관없이 모든 처리구에서 명도(L)는 유의적으로 감소하는 것으로 나타났고(+값), 아미노산도, 갈색도, 적색도(a), 황색도(b), 색차( $\Delta E$ )는 숙성 후의 평균값이 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다(-값). 이것으로 숙성 약주의 색은 도정도를 달리한 쌀누룩으로 담근 약주의 숙성 후 색의 변화와 마찬가지로(Choi 등, 2017b) 숙성 후 더 짙은 색으로 변화됨을 확인할 수 있었다. 특히, 아미노산도와 환원당 함량은 10% 도정 약주에서 숙성 전과 후의 차이가 아미노산도는 0.57, 환원당은 17.42로 가장 큰 유의적인 차이를 보였다( $p<0.01$ ).

### 도정도별 쌀 약주의 숙성 전후의 유리 아미노산 및 유리 질소 화합물

도정도별 쌀 약주의 숙성 전후 유리 아미노산 및 유리 질소 화합물의 분석 결과는 Table 5와 같다. 술덧의 아미노산은 대부분 쌀 단백질에서 유래되며 누룩곰팡이가 생산한 산성 프로테아제와 산성 카르복시펩티다아제가 작용하여 생성된다고 보고된 바

**Table 1. The quality properties of each milled rice**

Degree of milling	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Crude ash (%)	Carbohydrate (%)	Vitamin B <sub>2</sub> (mg/100 g)
10%	13.18±0.03 <sup>a</sup>	6.55±0.06 <sup>a</sup>	0.47±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.02 <sup>a</sup>	79.42±0.11 <sup>d</sup>	0.0099±0.0001
20%	11.97±0.26 <sup>b</sup>	5.34±0.03 <sup>b</sup>	0.40±0.03 <sup>c</sup>	0.31±0.00 <sup>b</sup>	81.98±0.03 <sup>c</sup>	0.0098±0.0001
30%	10.75±0.06 <sup>c</sup>	5.05±0.01 <sup>c</sup>	0.44±0.01 <sup>ab</sup>	0.25±0.03 <sup>bc</sup>	83.51±0.26 <sup>b</sup>	0.0097±0.0000
40%	9.18±0.14 <sup>d</sup>	4.62±0.03 <sup>d</sup>	0.46±0.01 <sup>a</sup>	0.23±0.03 <sup>c</sup>	85.51±0.03 <sup>a</sup>	0.0096±0.0001

Table 2. The quality properties of rice yakju before and after aging

	Degree of milling	Before	After	The difference between two means (after-before)	t-value
pH	10%	4.43±0.01 <sup>1)a2)</sup>	4.48±0.03 <sup>a</sup>	0.05	-4.000
	20%	4.35±0.02 <sup>b</sup>	4.37±0.00 <sup>b</sup>	0.02	-2.000
	30%	4.29±0.02 <sup>c</sup>	4.39±0.03 <sup>b</sup>	0.10	-3.333
	40%	4.33±0.02 <sup>bc</sup>	4.37±0.01 <sup>b</sup>	0.04	-2.619
	<i>p</i> for trend <sup>4)</sup>	0.202	0.220		
Total acid (%)	10%	0.32±0.00 <sup>a</sup>	0.32±0.00 <sup>ab</sup>	0.00	1.000
	20%	0.32±0.00 <sup>a</sup>	0.32±0.01 <sup>a</sup>	0.00	-2.000
	30%	0.32±0.00 <sup>a</sup>	0.31±0.00 <sup>b</sup>	-0.01	-
	40%	0.30±0.00 <sup>b</sup>	0.30±0.00 <sup>c</sup>	0.00	1.000
	<i>p</i> for trend	0.241	0.179		
Amino acidity (mL)	10%	3.60±0.02 <sup>a</sup>	4.04±0.04 <sup>a</sup>	0.44	-16.249** <sup>3)</sup>
	20%	3.17±0.10 <sup>b</sup>	3.74±0.01 <sup>b</sup>	0.57	-10.349**
	30%	3.02±0.04 <sup>c</sup>	3.41±0.01 <sup>c</sup>	0.39	-15.497**
	40%	2.96±0.02 <sup>c</sup>	3.40±0.07 <sup>c</sup>	0.44	-12.378**
	<i>p</i> for trend	0.077	0.049*(-)		
Alcohol (%)	10%	18.65±0.78 <sup>a</sup>	18.15±0.21 <sup>a</sup>	-0.50	0.714
	20%	16.85±0.07 <sup>b</sup>	17.35±0.35 <sup>bc</sup>	0.50	-1.667
	30%	16.75±0.36 <sup>b</sup>	16.90±0.00 <sup>c</sup>	0.15	-0.600
	40%	16.85±0.07 <sup>b</sup>	17.10±0.00 <sup>c</sup>	0.25	-5.000
	<i>p</i> for trend	0.226	0.153		
Reducing sugar (mg/mL)	10%	13.90±1.77 <sup>b</sup>	22.69±0.41 <sup>b</sup>	8.79	-9.426*
	20%	13.57±0.25 <sup>b</sup>	30.99±0.18 <sup>a</sup>	17.42	-71.275***
	30%	20.14±0.39 <sup>a</sup>	20.16±0.09 <sup>c</sup>	0.02	-0.110
	40%	14.72±0.33 <sup>b</sup>	18.37±0.14 <sup>d</sup>	3.65	-20.892**
	<i>p</i> for trend	0.621	0.449		
Soluble solid (°Brix)	10%	13.40±0.01 <sup>d</sup>	13.60±0.01 <sup>b</sup>	0.20	-39.000*
	20%	13.70±0.00 <sup>b</sup>	13.40±0.01 <sup>c</sup>	-0.30	61.000*
	30%	14.60±0.01 <sup>a</sup>	15.00±0.00 <sup>a</sup>	0.40	-79.000**
	40%	13.50±0.00 <sup>c</sup>	13.55±0.01 <sup>b</sup>	0.05	-0.818
	<i>p</i> for trend	0.717	0.749		
Volatile acid (ppm)	10%	111.40±4.93 <sup>b</sup>	122.60±2.91 <sup>b</sup>	11.20	-4.154
	20%	92.30±1.21 <sup>c</sup>	113.70±2.60 <sup>c</sup>	21.40	-26.750**
	30%	117.50±1.65 <sup>a</sup>	126.30±0.30 <sup>a</sup>	8.80	-11.267**
	40%	110.50±1.25 <sup>b</sup>	121.00±1.71 <sup>b</sup>	10.50	-12.124**
	<i>p</i> for trend	0.733	0.810		

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Different letters within a column indicate significant differences at 5% significant level by Duncan's multiple range test

<sup>3)</sup>Asterisks indicate significant differences between before and after aging of yakju at the same milling degree (\**p*<0.05, \*\**p*<0.01, \*\*\**p*<0.001, respectively).

<sup>4)</sup>*p* for trend was calculated using regression analysis to perform the trend test. The degrees of milling (independent variables) were treated with continuous variables.

있다(Kang, 2016). 이외에 효모의 자기소화에 의해 생성되는 것과 재래누룩 유래 유산균 등의 미생물의 프로테아제에 의해서도 생성되는 것으로 사료된다. 쌀 단백질의 주 단백질은 글루테린으로 70-80%를 차지하고 있고 글로불린과 알부민이 각각 7-15% 및 9-11%, 그리고 프롤라민이 2-4% 차지하고 있다. 특히 글로불린과 알부민은 쌀의 외부에 많아 도정함에 따라 감소되기 쉽다(Choi 등, 1990). 라이신은 알부민 단백질의 주요 구성 성분이고, 시스테인, 메티오닌은 글로불린 단백질의 주요 구성 성분이라고 알려져 있다(Choi 등, 1990). 그래서 도정을 할수록 아미노산 함량이 감소하는 것으로 추측된다. 숙성 전과 후 약주에서 시스타

치오닌을 제외하고 모든 시료에서 처리구들 간의 유의적인 차이를 보였다. 전반적으로 도정을 많이 할수록 분석한 각 아미노산 함량에서 유의적으로 감소하는 경향성을 보였다. 분석한 유리아미노산 및 유리 질소 화합물 중 알라닌, 아르기닌, 글루탐산, 글루타민 등의 함량이 높았다. 숙성 후에도 마찬가지로 도정을 많이 할수록 전반적으로 감소하는 경향을 알 수 있었으나 알라닌, 아르기닌, 글루탐산 등의 함량은 숙성 전보다 증가하였고 반면 글루타민 함량은 다른 성분과 달리 현저히 줄어들었다. 이것은 숙성 전후의 도정도별 쌀 약주의 구성 유리 질소 화합물의 함량을 비교한 결과에서도 글루타민은 도정도와 상관없이 모두 줄었

**Table 3. The color properties of rice yakju before and after aging**

	Degree of milling	Before	After	The difference between two means (after-before)	t-value
Brownness (A <sub>430 nm</sub> )	10%	0.11±0.00 <sup>1)</sup>	0.31±0.02 <sup>a2)</sup>	0.20	-12.904** <sup>3)</sup>
	20%	0.12±0.02	0.29±0.02 <sup>a</sup>	0.17	-37.996**
	30%	0.11±0.02	0.24±0.01 <sup>b</sup>	0.13	-12.977**
	40%	0.11±0.01	0.23±0.02 <sup>b</sup>	0.12	-6.850*
	<i>p</i> for trend <sup>4)</sup>	0.513	0.035*(-)		
L	10%	97.43±0.02 <sup>b</sup>	64.58±0.03 <sup>a</sup>	-32.85	3725.218***
	20%	97.41±0.03 <sup>b</sup>	63.24±0.09 <sup>c</sup>	-34.17	652.319***
	30%	97.37±0.03 <sup>c</sup>	60.48±0.05 <sup>d</sup>	-36.89	900.538***
	40%	97.64±0.02 <sup>a</sup>	63.48±0.03 <sup>b</sup>	-34.16	1821.557***
	<i>p</i> for trend	0.378	0.640		
a	10%	-2.27±0.01 <sup>c</sup>	-0.04±0.02 <sup>d</sup>	2.23	-253.236***
	20%	-2.27±0.01 <sup>c</sup>	0.52±0.02 <sup>c</sup>	2.79	-167.600***
	30%	-2.04±0.00 <sup>a</sup>	1.04±0.01 <sup>a</sup>	3.08	-461.500***
	40%	-2.14±0.01 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>b</sup>	2.84	-491.902***
	<i>p</i> for trend	0.286	0.218		
Color difference b	10%	12.32±0.01 <sup>b</sup>	21.70±0.02 <sup>a</sup>	9.38	-1406.500***
	20%	12.42±0.03 <sup>a</sup>	21.70±0.02 <sup>a</sup>	9.28	-445.797***
	30%	11.30±0.00 <sup>d</sup>	21.68±0.00 <sup>a</sup>	10.38	-3113.000***
	40%	11.63±0.01 <sup>c</sup>	21.43±0.02 <sup>b</sup>	9.8	-1469.500***
	<i>p</i> for trend	0.239	0.195		
ΔE	10%	12.79±0.01 <sup>b</sup>	41.54±0.03 <sup>d</sup>	28.75	-1630.161***
	20%	12.89±0.03 <sup>a</sup>	42.69±0.07 <sup>b</sup>	29.80	-660.864***
	30%	11.79±0.01 <sup>d</sup>	45.08±0.05 <sup>a</sup>	33.29	-1169.124***
	40%	12.06±0.01 <sup>c</sup>	42.04±0.05 <sup>c</sup>	29.98	-1440.193***
	<i>p</i> for trend	0.219	0.679		

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Different letters within a column indicate significant differences at 5% significant level by Duncan's multiple range test

<sup>3)</sup>Asterisks indicate significant differences between before and after aging of yakju at the same milling degree (\**p*<0.05, \*\**p*<0.01, \*\*\**p*<0.001, respectively).

<sup>4)</sup>*p* for trend was calculated using regression analysis to perform the trend test. The degrees of milling (independent variables) were treated with continuous variables.

**Table 4. Correlation analysis regarding the quality properties of aged rice yakju**

	Brown ness	Reducing sugar	Alcohol	°Brix	pH	Total acid	Amino acidity	Volatile acid	L	a	b	ΔE
Brown ness	1 <sup>1)</sup>	0.618	0.899	-0.497	0.722	0.803	0.984 <sup>2)</sup>	-0.383	.568	-0.879	0.660	-0.533
Reducing sugar		1	0.238	-0.433	-0.080	0.902	0.471	-0.834	0.157	-0.278	0.601	-0.132
Alcohol			1	-0.526	0.891	0.463	0.961*	-0.126	0.743	-0.984*	0.375	-0.717
°Brix				1	-0.105	-0.226	-0.489	0.759	-0.913	0.670	0.238	0.914
pH					1	0.287	0.822	0.323	0.439	-0.803	0.436	-0.414
Total acid						1	0.691	-0.542	0.094	-0.432	0.869	-0.057
Amino acidity							1	-0.262	0.627	-0.935	.584	-0.594
Volatile acid								1	-0.443	0.257	-0.067	0.437
L									1	-0.846	-0.243	-0.999**
a										1	-0.260	0.825
b											1	0.283
ΔE												1

<sup>1)</sup>Correlation coefficient, <sup>2)</sup>\**p*<0.05, \*\**p*<0.01.

음을 알 수 있었다. 또한, 시스테인이나 메티오닌과 같은 함황 아미노산의 경우도 숙성 후 감소하였다. 약주의 갈변이 아미노산도

와 상관계수가 0.984로 높게 나와 더 나아가 특정 아미노산과의 상관성을 살펴보았지만 상관성이 나타나지 않았다(data not shown).

**Table 5. Free nitrogenous components of yakju with different degrees of milling before and after aging (ppm)**

	Degree of milling	Before	After	The difference between two means (after-before)	t-value
Aspartic acid	10%	193.38±1.28 <sup>a</sup>	213.81±0.08 <sup>a</sup>	-20.43	-24.035*
	20%	175.85±6.59 <sup>a</sup>	207.34±3.38 <sup>ab</sup>	-31.46	-4.460
	30%	145.13±11.02 <sup>b</sup>	188.75±11.43 <sup>bc</sup>	-43.62	-152.856**
	40%	177.86±1.38 <sup>a</sup>	172.43±6.84 <sup>c</sup>	5.43	1.407
Threonine	10%	88.36±0.31 <sup>a</sup>	102.36±0.54 <sup>a</sup>	-14.00	-87.500**
	20%	69.51±3.25 <sup>b</sup>	85.28±2.45 <sup>b</sup>	-15.77	-3.913
	30%	52.73±4.36 <sup>c</sup>	70.82±4.28 <sup>c</sup>	-18.09	-302.337**
	40%	77.10±0.87 <sup>b</sup>	76.81±3.53 <sup>c</sup>	0.29	0.151
Serine	10%	160.44±0.23 <sup>a</sup>	170.10±0.38 <sup>a</sup>	-9.67	-22.218*
	20%	115.30±6.03 <sup>c</sup>	130.05±3.05 <sup>b</sup>	-14.76	-2.299
	30%	91.51±6.09 <sup>d</sup>	111.05±6.69 <sup>c</sup>	-19.54	-45.986*
	40%	131.26±0.15 <sup>b</sup>	119.03±4.64 <sup>bc</sup>	12.24	3.854
Asparagine	10%	96.11±1.20 <sup>a</sup>	129.36±0.82 <sup>a</sup>	-33.25	-123.148**
	20%	93.77±3.65 <sup>a</sup>	131.61±2.27 <sup>a</sup>	-37.84	-9.053
	30%	62.83±5.46 <sup>b</sup>	93.50±7.61 <sup>c</sup>	-30.67	-20.194*
	40%	94.51±0.23 <sup>a</sup>	108.30±5.00 <sup>b</sup>	-13.80	-4.095
Glutamic acid	10%	364.07±1.40 <sup>a</sup>	362.89±0.45 <sup>ab</sup>	1.19	0.908
	20%	364.18±14.09 <sup>a</sup>	376.79±8.61 <sup>a</sup>	-12.62	-0.786
	30%	293.65±22.57 <sup>b</sup>	327.92±23.50 <sup>bc</sup>	-34.27	-51.979*
	40%	369.24±0.71 <sup>a</sup>	317.39±15.37 <sup>c</sup>	51.86	5.003
Glutamine	10%	269.63±0.16 <sup>a</sup>	38.41±0.17 <sup>a</sup>	231.22	46243.00***
	20%	230.58±9.72 <sup>b</sup>	36.18±0.76 <sup>a</sup>	194.40	26.235*
	30%	195.10±14.05 <sup>c</sup>	32.07±2.36 <sup>b</sup>	163.03	19.740*
	40%	202.68±0.84 <sup>c</sup>	25.74±0.71 <sup>c</sup>	176.95	2081.709***
Glycine	10%	162.62±0.96 <sup>a</sup>	182.70±0.23 <sup>a</sup>	-20.09	-24.054*
	20%	141.01±5.35 <sup>b</sup>	166.86±3.31 <sup>b</sup>	-25.85	-4.217
	30%	113.29±8.73 <sup>c</sup>	146.17±8.94 <sup>c</sup>	-32.27	-220.838**
	40%	137.91±1.22 <sup>b</sup>	135.31±5.88 <sup>c</sup>	2.61	0.791
Alanine	10%	495.89±1.81 <sup>a</sup>	552.46±0.10 <sup>a</sup>	-56.57	-42.056*
	20%	375.12±15.01 <sup>b</sup>	428.53±8.32 <sup>b</sup>	-53.41	-3.237
	30%	277.66±21.26 <sup>c</sup>	346.53±21.68 <sup>c</sup>	-68.87	-228.548**
	40%	387.30±3.21 <sup>b</sup>	373.04±16.34 <sup>c</sup>	14.26	1.537
Citrulline	10%	1.57±0.09 <sup>c</sup>	1.87±0.02 <sup>c</sup>	-0.30	-5.364
	20%	3.37±0.32 <sup>a</sup>	3.24±0.15 <sup>a</sup>	0.12	1.000
	30%	2.86±0.12 <sup>b</sup>	2.52±0.36 <sup>b</sup>	0.34	1.983
	40%	1.43±0.02 <sup>c</sup>	2.15±0.16 <sup>bc</sup>	-0.72	-5.538
Valine	10%	161.12±1.22 <sup>a</sup>	169.55±0.14 <sup>a</sup>	-8.44	-8.832
	20%	140.92±4.97 <sup>b</sup>	158.36±2.68 <sup>a</sup>	-17.44	-3.226
	30%	107.82±7.61 <sup>c</sup>	130.62±7.81 <sup>b</sup>	-22.80	-160.896**
	40%	143.52±1.08 <sup>b</sup>	132.13±5.36 <sup>b</sup>	11.39	3.764
Cysteine	10%	64.05±0.89 <sup>a</sup>	39.95±0.13	24.10	33.234*
	20%	63.38±1.74 <sup>a</sup>	41.34±0.47	22.05	14.086*
	30%	50.27±3.17 <sup>b</sup>	22.97±17.12	27.29	1.901
	40%	63.67±0.14 <sup>a</sup>	34.00±2.12	-0.46	18.599*
Methionine	10%	63.34±0.06 <sup>a</sup>	43.77±0.31 <sup>b</sup>	19.58	73.868**
	20%	59.89±2.47 <sup>a</sup>	55.32±0.79 <sup>a</sup>	4.58	1.985
	30%	45.99±3.53 <sup>b</sup>	42.31±2.65 <sup>b</sup>	3.68	5.872
	40%	63.32±0.44 <sup>a</sup>	46.08±1.96 <sup>b</sup>	17.24	16.033*

Table 5. Continued

	Degree of milling	Before	After	The difference between two means (after-before)	t-value
Cystathionine	10%	4.23±0.40 <sup>1)</sup>	4.97±0.01	-0.37	-2.673
	20%	4.75±0.46	5.27±0.40	-0.53	-0.868
	30%	3.47±0.58	4.36±0.48	-0.89	-12.999* <sup>2)</sup>
	40%	4.03±0.40	4.48±0.75	-0.46	-0.558
iso leucine	10%	111.77±0.51 <sup>3)</sup>	126.10±0.47 <sup>a</sup>	-14.33	-20.768*
	20%	100.80±4.02 <sup>b</sup>	121.26±2.35 <sup>a</sup>	-20.47	-4.543
	30%	76.39±5.77 <sup>c</sup>	99.11±6.28 <sup>b</sup>	-22.72	-63.056*
	40%	104.52±0.25 <sup>ab</sup>	101.52±5.26 <sup>b</sup>	3.00	0.847
Leucine	10%	296.11±1.02 <sup>a</sup>	320.27±0.02 <sup>a</sup>	-24.17	-34.042*
	20%	268.59±11.15 <sup>a</sup>	306.84±6.46 <sup>a</sup>	-38.26	-3.074
	30%	205.68±15.77 <sup>b</sup>	254.54±15.86 <sup>b</sup>	-48.86	-723.229**
	40%	270.54±1.99 <sup>a</sup>	253.75±11.31 <sup>b</sup>	16.79	2.548
Tyrosine	10%	170.75±0.78 <sup>a</sup>	184.70±0.11 <sup>a</sup>	-13.95	-22.312*
	20%	147.95±5.64 <sup>b</sup>	170.29±3.77 <sup>a</sup>	-22.35	-3.358
	30%	114.90±8.64 <sup>c</sup>	143.93±9.26 <sup>b</sup>	-29.03	-65.990*
	40%	153.26±0.83 <sup>b</sup>	143.70±6.68 <sup>b</sup>	9.56	2.315
Phenyl alanine	10%	192.42±1.06 <sup>a</sup>	215.11±0.07 <sup>a</sup>	-22.69	-28.363*
	20%	172.09±5.56 <sup>b</sup>	198.63±5.11 <sup>a</sup>	-26.54	-3.517
	30%	134.65±10.01 <sup>c</sup>	167.76±11.34 <sup>b</sup>	-33.11	-35.321*
	40%	168.95±1.75 <sup>b</sup>	163.07±7.17 <sup>b</sup>	5.89	1.535
γ-amino butyric acid	10%	91.73±2.77 <sup>a</sup>	104.43±0.35 <sup>a</sup>	-12.71	-5.762
	20%	68.47±2.42 <sup>b</sup>	81.64±2.63 <sup>b</sup>	-13.17	-3.693
	30%	39.78±3.46 <sup>d</sup>	53.89±3.55 <sup>c</sup>	-14.11	-209.993**
	40%	53.89±0.15 <sup>c</sup>	54.08±2.35 <sup>c</sup>	-0.19	-0.122
Ethanol amine	10%	4.19±0.59 <sup>b</sup>	4.56±0.12	-0.37	-0.740
	20%	5.81±0.25 <sup>a</sup>	5.13±0.57	0.68	3.140
	30%	4.65±0.29 <sup>b</sup>	4.83±0.33	-0.18	-5.983
	40%	5.90±0.10 <sup>a</sup>	5.33±0.22	0.58	6.765
Ammonia	10%	40.88±0.54 <sup>a</sup>	86.89±0.74 <sup>a</sup>	-46.01	-306.733*
	20%	34.64±1.19 <sup>b</sup>	76.24±1.49 <sup>b</sup>	-41.60	-22.011*
	30%	28.29±1.15 <sup>c</sup>	67.54±3.54 <sup>c</sup>	-39.25	-23.132*
	40%	34.19±0.41 <sup>b</sup>	62.53±2.45 <sup>c</sup>	-28.34	-14.030*
Ornithine	10%	108.88±0.56 <sup>a</sup>	118.10±0.03 <sup>a</sup>	-9.23	-24.600*
	20%	73.77±2.98 <sup>b</sup>	80.91±1.82 <sup>b</sup>	-7.14	-2.102
	30%	57.50±4.32 <sup>c</sup>	68.11±4.65 <sup>c</sup>	-10.62	-46.059*
	40%	67.77±0.61 <sup>b</sup>	63.33±2.86 <sup>c</sup>	4.44	2.781
Lysine	10%	260.57±0.59 <sup>b</sup>	306.88±0.11 <sup>a</sup>	-46.31	-92.620**
	20%	251.86±11.14 <sup>b</sup>	317.72±6.08 <sup>a</sup>	-65.86	-5.409
	30%	186.64±14.24 <sup>c</sup>	254.98±16.29 <sup>b</sup>	-68.34	-47.158*
	40%	266.04±2.38 <sup>a</sup>	273.96±11.78 <sup>b</sup>	-7.92	-1.191
Histidine	10%	53.88±0.01 <sup>a</sup>	75.94±0.68 <sup>a</sup>	-22.07	-47.452*
	20%	53.60±1.98 <sup>a</sup>	81.70±1.39 <sup>a</sup>	-28.11	-11.784
	30%	41.61±3.62 <sup>b</sup>	68.26±4.24 <sup>b</sup>	-26.65	-60.696*
	40%	51.75±0.43 <sup>a</sup>	63.88±2.41 <sup>b</sup>	-12.13	-6.005
Arginine	10%	426.71±0.34 <sup>a</sup>	545.85±0.09 <sup>a</sup>	-119.15	-680.829**
	20%	395.21±15.96 <sup>ab</sup>	540.91±11.10 <sup>a</sup>	-145.70	-7.614
	30%	297.68±23.81 <sup>c</sup>	448.37±28.82 <sup>b</sup>	-150.69	-42.564*
	40%	381.05±1.32 <sup>b</sup>	425.60±20.36 <sup>b</sup>	-44.56	-3.309

<sup>1)</sup>All values are mean±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Asterisks indicate significant differences between before and after aging of yakju at the same milling degree (\**p*<0.05, \*\**p*<0.01, \*\*\**p*<0.001, respectively)

<sup>3)</sup>Different letters within a column indicate significant differences at 5% significant level by Duncan's multiple range test.

## 요 약

쌀 약주의 품질에 미치는 도정의 효과를 알아보기 위해 백미의 추가 도정도(0, 10, 20, 및 30%)를 달리한 쌀로 담근 약주를 45°C에서 2주간 가속 숙성한 후 약주의 이화학적 특성 변화를 살펴 보았다. 그 결과, 숙성 전의 쌀 약주에서는 갈색도를 제외한 모든 품질특성에서 처리구간에 유의적인 차이를 보였다( $p < 0.01$ ). 그렇지만, 도정도에 따른 경향성은 보이지 않았다( $p$  for trend  $> 0.05$ ). 숙성 후 쌀 약주에서는 모든 품질특성에서 처리구간에 유의적인 차이를 보였고( $p < 0.01$ ), 특히 갈색도와 아미노산도는 도정도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였다( $p$  for trend  $< 0.05$ ). 숙성 전후의 쌀 약주를 비교할 때 거의 모든 처리구에서 pH, 총산, 알코올을 제외하고 유의적인 차이를 나타냈다. 또한, 도정도와 상관없이 모든 처리구에서 명도(L)는 유의적으로 감소하는 것으로 나타났고(+값), 아미노산도, 갈색도, 적색도(a), 황색도(b), 색차( $\Delta E$ )는 숙성 후의 평균값이 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다(-값). 도정도별 쌀 약주의 숙성 전후 유리아미노산 및 유리질소 화합물 함량 변화에서는 도정을 많이 할수록 줄어드는 경향을 알 수 있었고, 시스테인이나 메티오닌과 같은 함황 아미노산 함량은 숙성 전보다 감소하였다. 이로써 도정도가 증가할수록 약주의 품질변화는 최소화할 수 있을 거라 사료되며 특히 백미의 추가 도정 20% 이상에서 갈변과 이취가 적음을 알 수 있었다(data not shown).

## 감사의 글

본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구 개발 사업(과제 번호: PJ01260102)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- Choi HC, Cho SY, Kim KH. Varietal difference and environmental variation in protein content and /or amino acid composition of rice seed. *Korean J. Crop Sci.* 35: 379-386 (1990)
- Choi OJ, Jang WY, Song CY, Lee MY, Shim KH. Comparison of physicochemical properties of local commercial rice brands. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 1336-1342 (2017a)
- Choi JS, Yeo SH, Choi HS, Jeong ST. The effect of rice nuruk prepared from rice with different degrees of milling on quality changes in yakju. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 265-273 (2017b)
- Choi JS, Yeo SH, Jeong ST. Quality characteristics of yakju as affected by rice nuruk with different degree of milling. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 848-856 (2017c)
- Chun AR, Kim DJ, Yoon MR, Oh SK, Choi IS. Effect of milling degree on the physicochemical and sensory quality of sogokju. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 136-142 (2012)
- Eun JB, Jin TY, Wang MH. The effect of waxy glutinous rice degree of milling on the quality of jinyangu, a Korean traditional rice wine. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 546-551 (2007)
- Hitachi high-Technologies corporation. EZChrom Elite for Hitachi Amino Acid Analyzer L-8900. Rigong International Inc., Seoul, Korea. (2015)
- Isogai A, Utsunomiya H, Kanda R, Iwata H. Changes in the aroma compounds of sake during aging. *J. Agr. Food Chem.* 53: 4118-4123 (2005)
- Kang JE, Choi HS, Kim JW, Kim CW, Yeo SH, Jung ST. Quality characteristics of yakju with nuruk extracts. *Korean J. Food Sci. Technol.* 48: 223-230 (2016)
- Kang MY, Park YS, Mok CK, Chang HG. Improvement of shelf-life of yakju by membrane filtration. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 1134-1139 (1998)
- KFDA. General test methods. In *Korean Food Standard Codex Korea Food Drug Administration*, Seoul, Korea. pp. 1-53 (2010)
- Kim SR, Ahn JY, Lee Hy, Ha TY. Various properties and phenolic acid contents of rices and rice brans with different milling fractions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 930-936 (2004)
- Lee DY. Off flavor that may occur in the manufacture of alcoholic beverages. *Food Sci. ind.* 32: 62-69 (1999)
- Lee LS, Kim CH, Choi EJ, Sung JM, Choi HW, Choi YS, Kum JS, Park JD. Effect of degree of milling on physicochemical properties of rice flour and rice noodles. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45: 1796-1768 (2016)
- Lee JS, Park NB, Lee JH, Cho JH, Won YJ, Park HM, Chun AR, Jang JK, Hwa WG, Yi GH, Yeo US. Quality milling degree for improving sensory quality of cooked rice. *Korean J. Crop Sci.* 57: 359-364 (2012a)
- Lee YJ, Yi HC, Hwang KT, Kim DH, Kim HJ, Jung CM, Choi YH. The qualities of makgeollis (Korean rice wine) made with different rice cultivars, milling degrees of rice and nuruks. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1785-1791 (2012b)
- Lie KL, Zheng JB, Chen FS. Relationship between degree of milling and loss of Vitamin B, minerals, and change in amino acid composition of brown rice. *LWT-Food Sci. Technol.* 82: 429-436 (2017)
- Liu L, Guo JJ, Zhang RF, Wei ZC, Deng YY, Guo JX, Zhang MW. Effect of degree of milling on phenolic profiles and cellular antioxidant activity of whole brown rice. *Food Chem.* 185: 318-325 (2015)
- Luchsinger WW, Cornesky RA. Reducing power by the dinitrosalicylic acid method. *Ann. Biochem.* 4: 346-347 (1962)
- National Tax Service Liquors License Support Center. *Analysis regulations of alcoholic beverages*, Seoul, Korea. pp. 39-43 (2014)
- Noh JM, Kang JE, Choi JH, Jeong ST, Choi HS. Changes in physicochemical properties of yakju prepared by accelerated aging without protease. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 702-709 (2014)