



Research Article

Fermentation characteristics of *yakju* containing different amounts of steam-cooked Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)

돼지감자(*Helianthus tuberosus* L.)의 첨가량과 증자처리에 따른 약주 발효 특성

Jun-Su Choi¹, Kyu-Taek Choi¹, Chan-Woo Kim¹, Heui-Dong Park¹, Sae-Byuk Lee^{1,2*}

최준수¹ · 최규택¹ · 김찬우¹ · 박희동¹ · 이새벽^{1,2*}

¹School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Institute of Fermentation Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

¹경북대학교 식품공학부, ²경북대학교 발효생물공학연구소

Abstract Jerusalem artichoke (JA, *Helianthus tuberosus* L.) has a great potential to enhance the quality of *yakju* due to the plentiful inulin content which is functional and indigestible carbohydrate in human. In this study, the optimal preparation conditions such as the added amount and steam treatment of JA were investigated to improve the quality of *yakju*. As the amount of JA added to *yakju* increased, alcohol production decreased, whereas fermentation was performed well when the steam-cooked JA was added to *yakju*. The pH and total acidity of *yakju* decreased and increased, respectively, when the amount of JA added to *yakju* increased, whereas pH and total acidity of *yakju* increased and decreased, respectively, when the steam-cooked JA was added to *yakju*. The free sugar and organic acid contents of *yakju* increased and decreased, respectively, when the amount of JA added to *yakju* increased, whereas those of *yakju* decreased when the steam-cooked JA was added to *yakju*. Amino acid content of JA decreased as the amount of JA added to *yakju* increased and that of JA significantly decreased when the steam-cooked JA was added to *yakju*. In the sensory evaluation analysis, the addition of 10% unsteam-cooked JA to *yakju* was the best when considering sweetness, flavor, sourness, and overall preference of *yakju* supplemented with JA. Consequently, utilizing JA to *yakju* may contribute to the improvement of the quality of *yakju*.

Keywords *yakju*, Jerusalem artichoke, steam-cooking, sensory evaluation, *Saccharomyces cerevisiae* KMBL7001



Citation: Choi JS, Choi KT, Kim CW, Park HD, Lee SB. Fermentation characteristics of *yakju* containing different amounts of steam-cooked Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Korean J Food Preserv, 30(1), 155-169 (2023)

Received: January 05, 2023
Revised: February 19, 2023
Accepted: February 20, 2023

***Corresponding author**
 Sae-Byuk Lee
 Tel: +82-53-950-7749
 E-mail: lsbyuck@knu.ac.kr

Copyright © 2023 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

한국의 대표적인 전통주 중 하나인 약주는 주로 찹쌀이나 멥쌀 등의 곡류를 증자한 후, 누룩과 물을 함께 첨가하여 수일에서 십수일간 발효를 진행하여 얻은 술덧을 여과하여 얻은 맑은 술을 의미한다(Chae 등, 2021; Choi 등, 2022). 약주는 곰팡이와 효모에 의해 당화와 알코올 발효가 동시에 일어나는 병행발효를 이용하게 되며, 발효 과정 중 원료에서 유래하는 당류,

유기산, 아미노산 및 각종 휘발성 향미성분 등에 의해 약주의 품질이 결정된다(Kang 등, 2015). 따라서, 약주의 품질을 향상시키기 위하여 멥쌀 이외에도 새싹인삼(Kim 등, 2022), 무궁화(Kim과 Jin, 2017), 밤(Hur 등, 2008), 대추(Eum 등, 2019) 등 각종 기능성 성분이 함유된 다양한 원료를 첨가하는 연구들이 많이 보고되고 있다.

돼지감자(*Helianthus tuberosus* L.)는 북아메리카가 원산지로서 우리나라에서는 지역에 따라 뚱판지, 뚱감자, 양채, 괴과자, 산우두 등으로 불리는 국화와 해바라기속 다년생 식물이다(Kim과 Hwang, 2022a). 돼지감자의 주성분인 이눌린(inulin)은 난소화성 다당체로서 D-fructose가 β -2, 1 결합으로 이루어져 있으며, fructose 말단에 D-glucose 하나가 붙어있는 구조를 가지며, 돼지감자 건조 중량의 75%를 차지한다(Kalyani Nair 등, 2010; Shin 등, 2012). 이눌린이 분해되면서 발생하는 돼지감자는 이눌린 이외에도 단백질과 생리활성 물질들을 함유하고 있어 혈당 조절(Yang 등, 2015), 항산화(Mu 등, 2021), 면역조절(Barszcz 등, 2016), prebiotics 효능(Li 등, 2015) 등 다양한 기능이 보고되고 있어 차세대 건강기능식품 소재로서 주목받고 있다. 돼지감자는 특유의 맛과 향 때문에 생으로 섭취하는 것보다 직접 가공 또는 첨가물의 형태로 가공품이 개발되고 있으며(Jung과 Shin, 2017), 요거트(Guo 등, 2018), 쿠키(Ozgoren 등, 2019), 현미죽(Kim과 Hwang, 2022a), 빵(Wahyono 등, 2016), 소고기 패티(Lee와 Yoo, 2022), 젤리(Kim과 Hwang, 2022b), 쌀 스펀지케이크(Kim 등, 2014), 설기떡(Hwang, 2021) 등 국내외에서 돼지감자를 이용한 다양한 가공제품에 대한 연구가 진행되어 오고 있다.

돼지감자를 발효에 이용하기 위해서는 이눌린을 다양한 분자 단위의 과당(fructose)으로 분해하여 미생물이 알코올 발효에 이용할 수 있도록 해야 한다. 본 연구팀은 이전의 연구에서 돼지감자가 고품질 약주 생산을 위한 발효 소재로써 이용될 수 있는지 조사하기 위하여, 이눌린 분해효소(inulinase)를 분비하는 non-*Saccharomyces* 균주와 알코올 발효 효모인 *Saccharomyces cerevisiae*를 함께 혼합발효하여 돼지감자의 이눌린을 분해하는 방법을 이용하였다(Choi 등, 2022). 하지만 알코올 발효가 진행될수록 알코올 내성이 약한 non-*Saccharomyces* 효모의 생육이 저해되어 이눌린이 완전히 분해되지 않는 문제점이 발생하였으

며, 이눌린의 가수분해율을 증대시키기 위한 연구가 필요하였다. 일반적으로 곡류의 전분가수분해율은 전분의 입자크기, amylose/amylopectin의 비율, 결정성 정도, amylase 저해제, 가공조건 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는 것으로 보고되어 있으며(Kayisu와 Hood, 1979; Snow와 O'Dea, 1981; Wursch 등, 1986), 쌀, 수수, 기장, 울무, 메밀을 증자와 같은 가열처리를 하였을 때, 전분가수분해율이 크게 증가한다고 보고되어 있다(Lee, 2006; Lee와 Yang, 2020). 다른 곡류와 마찬가지로 돼지감자를 가열처리하는 동안 가수분해 효율이 올라가 이눌린이 fructooligosaccharide와 같이 더 작은 분자 단위로 분해된다면, 약주의 기능성도 증가될 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 곡류를 증자처리를 하게 되면 가열취가 발생하는 등 품질 저하를 불러일으킬 수 있기 때문에(Kim 등, 2011), 기호성과 기능성을 모두 만족시킬 수 있는 최적 첨가량에 대한 연구도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 돼지감자를 첨가한 고품질 약주를 개발하기 위하여, 돼지감자의 증자 처리가 약주의 품질에 미치는 영향을 조사하고자 하였으며, 기호적 품질을 저하시키지 않는 범위 안에서 이용될 수 있는 최적의 돼지감자 첨가량을 조사하고자 하였다. 본 연구를 통해 돼지감자 첨가에 따른 약주의 최적 발효 공정을 확립하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 돼지감자 첨가 약주의 실험 재료 및 사용 균주

약주 제조를 위해 사용된 쌀은 2020년산 백진주 품종(Hwaseong, Korea)을 구입하여 사용하였다. 누룩은 (주)송학곡사에서 생산된 역가 300 SP 이상의 전통누룩(Soyulgok, Songhak Gokja, Kwangju, Korea)을 사용하였고, 양조용수는 시판 생수(Samjung Water Co., Ltd., Ulsan, Korea)를 구입하여 사용하였다. 본 연구에 사용한 효모는 탁·약주용으로 발효력이 우수한 *Saccharomyces cerevisiae* KMBL7001(KACC 93363P)을 이용하였다. 돼지감자는 경북 김천시 구성면의 재배 농가에서 생산한 것을 구입하여 동결건조로 분말화하여 약주 제조에 사용하였다. 돼지감자의 건조분말 제조는, 돼지감자 100 kg에 증류수 500 L를 가하여 파쇄한 다음 여과하여 고형물을 제거하고 얻은 돼지감자 슬러리를 -70°C 에서 급속 동결한 후, 소규모 산업용 동

결건조기(Industrial Vacuum Freeze Dryer, SFDTS10K, Samwon ENG, Incheon, Korea)에서 0.05 mbar 이하로 압력을 낮춘 다음 동결건조(25°C, 72 hr)하였다.

2.2. 돼지감자의 처리 조건 및 약주의 제조

돼지감자가 첨가된 약주를 제조하기 위한 전처리는 비증자와 증자처리(백미와 혼합) 방식으로, 증자처리는 찜통 안에 수침 및 물빼기를 끝낸 쌀과 돼지감자 건조분말을 넣고 10 0°C, 40분간 수행하였으며, 15분간 뜸을 들인 후, 실온에서 냉각하였다. 돼지감자 첨가 약주의 제조는 20 L의 발효조에 대조구로는 증자한 고두밥 4,000 g을 넣고 시험군에서는 돼지감자 분말 함량이 5, 10, 20%가 되도록 돼지감자 분말 (200, 400, 800 g)과 고두밥(3,800, 3,600, 3,200 g)을 첨가하였다. 그런 다음, 누룩 400 g과 물 6 L를 첨가한 뒤 각각 미리 배양한 *S. cerevisiae* KMBL7001을 총 원료 대비 5%(w/w)로 접종하였으며, 20°C에서 8일간 발효를 진행하였다. 발효가 종료된 술덧은 4°C, 4,973 × g로 10분간 원심 분리(Supra 22K, Hanil Science Industrial Co., Seoul, Korea)한 후, 얻은 상등액을 증류수로 2회 세척한 filter paper(No.2, Advantec Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 여과하여 약주로 사용하였다.

2.3. 돼지감자 첨가 약주의 발효 기간 중 이화학적 특성 분석

돼지감자로 제조한 약주의 발효 기간 중 이화학적 특성 분석은 발효 중인 약주를 4°C, 4,973 × g로 10분간 원심 분리한 후 얻은 상등액을 시료로 사용하였다. 환원당 함량은 3,5-dinitrosalicylic acid(DNS)법을 변용하여 비색 정량법에 따라 측정하였다(Ahmed, 2004). 즉, 시료 0.3 mL에 DNS 시약 1 mL를 첨가하여 95°C에서 5분간 증탕한 다음 실온에서 방랭 후, 증류수로 7 mL가 되도록 정용한 다음, 분광광도계(UV-1601, Shimadzu)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 상기 방법을 이용하여 포도당(glucose)을 표준물질로 사용하여 작성한 표준곡선으로부터 환원당 함량을 환산하였다. 알코올 함량은 국세청 주류분석 규정을 이용하여 분석하였다(National Tax Service Liquors License Support Center, 2014). 원심분리한 시료를 15°C에서 검정 한 후, 100 mL 메스플라스크에 취하여 증류 플라스크로 옮기고 15 mL의 증류수로 2회 세척한 후 세척액과 합친 다음

메스플라스크를 받는 용기로 한 뒤 증류하여 70 mL가 되면 증류를 중지하였다. 여기에 증류수를 첨가해 100 mL 희석까지 채운 후 잘 혼합하여 주정계(Dongmyeong, Seoul, Korea)로 알코올 농도를 측정하여, Gay-Lussac의 주정 환산표를 이용하여 15°C로 보정하여 알코올 함량을 측정하였다. pH는 pH meter(SevenEasy S20, Mettler Toledo, OH, USA)를 이용하여 측정하였고, 총산 함량은 시료 10 mL를 중화시키는 데 필요한 0.1 N NaOH(Duksan, Ansan, Korea)의 소비량을 젖산(lactic acid)으로 환산하였다(Kang 등, 2015). 아미노산도는 0.1 N NaOH으로 중화한 후 여기에 formaldehyde solution(Junsei Chemical Co., Ltd., Tokyo, Japan) 5 mL를 가하여 유리된 산을, 0.1 N NaOH 표준용액으로 적정하여 글리신(glycine)으로 환산하였다(Kang 등, 2015).

2.4. 돼지감자 첨가 약주의 주질 특성 분석

돼지감자로 빚은 약주의 주질 분석은 20°C에서 8일간 발효 후, 발효가 종료된 술덧 약주의 일부를 취하여 4°C, 4,973 × g로 10분간 원심분리한 후, 얻은 상등액을 시료로 이용하였다. 유리당 및 유기산 함량은 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC, Prominence, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 유리당 분석용 column은 Sugar-Pak I column(6.5×300 mm, Waters, Milford, MA, USA)을 이용하였으며, flow rates는 0.5 mL/min, column oven 온도는 90°C, 이동상은 0.001 M Ca-ethylenediaminetetraacetic acid(Ca-EDTA, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) buffer를 사용하였다. 유기산 분석용 column은 PL Hi-Plex H column(7.7 × 300 mm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 이용하였으며 flow rates는 0.6 mL/min, column oven은 65°C, 이동상은 0.005 M sulfuric acid(Duksan, Ansan, Korea)로 하였다. 유리당과 유기산은 굴절률 검출기(RID-10A, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 검출하였다. 유리당과 유기산 표준용액을 조제 후, 분석한 peak area로 작성한 검량선으로 정량하였다(Lee 등, 2019). 아미노산은 6 N HCl을 가하여 질소 감압하에서 110°C, 24 시간 동안 가수분해된 시료 가수분해물을 amino acid autoanalyzer(Hitachi, L-8900 Model, Tokyo, Japan)

로 분석하였다. 분석 결과물은 18종의 아미노산 표준품의 retention time과 비교하고, 함량은 peak의 면적으로 환산하였다(Weng, 2014). Fusel oil, 메탄올, 알데하이드 및 휘발성 향기성분은 증류된 시료를 0.45 μm membrane filter로 여과한 뒤, gas chromatograph(6890N, Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)와 FID 검출기(Agilent Technologies Inc.)를 이용하여 분석하였다(Wee 등, 2018). Column으로는 HP-FFAP(0.25 mm \times 30 m, Agilent Technologies Inc.)를 사용하였고 column 온도는 60 $^{\circ}\text{C}$ (4 min)에서 210 $^{\circ}\text{C}$ 까지 분당 6 $^{\circ}\text{C}$ 씩 승온설정하였다. Injector 온도는 190 $^{\circ}\text{C}$, carrier gas는 H₂를 사용하였고, split ratio는 100:1, flow rate는 30 mL/min이었으며 detector 온도는 200 $^{\circ}\text{C}$ 이었다. 각 피크의 동정은 표준품의 retention time과 비교하였고, 함량은 피크의 면적으로 환산하였다.

2.5. 관능검사

약주의 관능검사는 탁·약주에 관한 강의를 수강하고 관능검사에 대한 교육을 받은 경북대학교 식품공학부 대학원생 16명을 대상으로 평가 기준 및 목적을 숙지시킨 후, 이중맹검사법(double blind test)으로 수행하였다. 본 관능검사는 색, 향, 단맛, 신맛 및 종합적 기호도를 항목으로 하였으며 7점 척도법으로 진행하였다. 본 실험의 관능검사는 경북대학교 생명윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심의 후 승인번호(2020-0075)를 받아 진행하였다.

2.6. 통계처리

모든 데이터는 3회 이상 반복 실험을 진행한 후, 결과값을 평균(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었고 Statistic Analysis System(9.4, SAS Institute Inc., Cary, Nc, USA)을 이용하여 평균 \pm 표준편차로 표시하였다. 통계처리는 분산분석(ANOVA)으로 실시하였으며, 유의성 비교는 Duncan's multiple range test로 $\alpha=0.05$ 수준에서 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 돼지감자로 빚은 약주의 이화학적 특성

3.1.1. 발효 기간에 따른 가용성 고형분 변화

돼지감자 첨가량 및 증자처리 유무에 따른 약주의 가용성 고형분 변화는 Fig. 1(A)와 같다. 돼지감자 첨가량에 따라 제조한 약주를 비교하였을 때, 발효 0일 차 초기 가용성 고형분은 6.0-11.0 $^{\circ}\text{Brix}$ 였으며, 돼지감자의 첨가량에 비례하여 가용성 고형분이 높게 측정되었다. 발효 1일 차에는 누룩 곰팡이가 전분을 당화시킴에 따라, 전체적인 가용성 고형분이 16.8-20.2 $^{\circ}\text{Brix}$ 로 급격히 증가하였다. 전통누룩은 탁·약주 제조에서 전분 분해효소 및 발효 미생물원으로 사용되어 온 미생물과 효소의 공급원이며, 전분의 분해와 알코올 발효 등의 역할을 하게 된다(Lee 등, 2002). 발효 2-3일에는 효모의 왕성한 증식에 따라 가용성 고형분이 감소하였으며, 종료 시점인 8일 차에는 9.0-12.0 $^{\circ}\text{Brix}$ 로 돼지감자의 첨가량에 비례하여 가용성 고형분이 높게 확인되었다. 또한, 돼지감자 20% 첨가구의 경우, 가용성 고형분의 감소가 제일

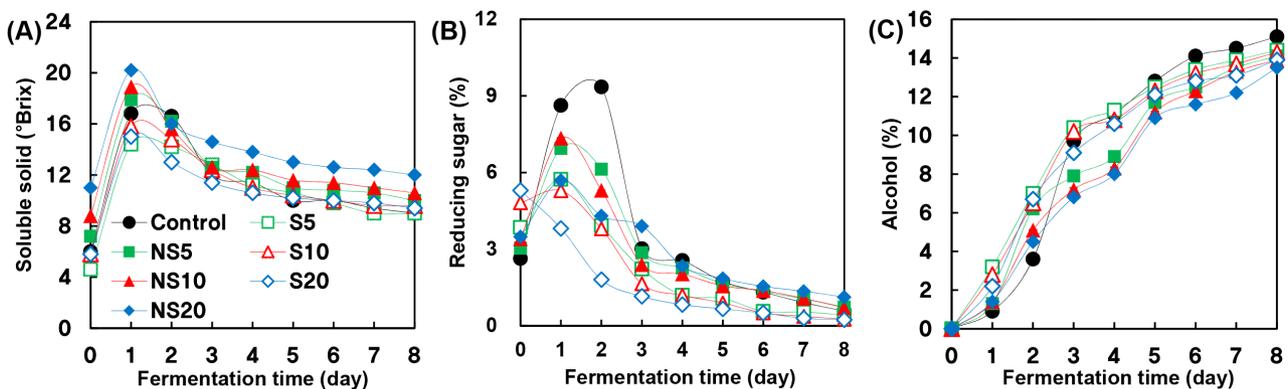


Fig. 1. Changes in soluble solid (A), reducing sugar (B) and alcohol (C) contents of yakju depending on the added amounts (5, 10, and 20%) and pretreatment conditions (steamed (S) and non-steamed (NS)) of Jerusalem artichoke during the fermentation.

더딘 양상을 보였는데, 이는 돼지감자의 주요 성분인 inulin이 가용성 고형물의 함량에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 한편, 돼지감자 추출물을 첨가하여 제조한 식혜(Kim과 Hwang, 2021)와 젤리(Kim과 Hwang, 2022b)의 품질특성 비교 관련 연구에서도 첨가량에 비례하여 증가하는 결과를 보였으며, 본 연구에서도 돼지감자 첨가량이 높아짐에 따라 가용성 고형분이 증가한 것은 돼지감자에 함유된 당류에 의한 것임을 알 수 있다. 증자처리 유무에 따른 돼지감자 첨가 약주의 가용성 고형분을 비교하였을 때, 발효 0일차 초기 가용성 고형분과 8일 차 최종 가용성 고형분은 무증자 돼지감자를 첨가한 약주(USC)는 증자처리를 한 돼지감자를 첨가한 약주(SC)에 비해 상대적으로 높은 가용성 고형분을 보였다(Fig. 1(A)). 이는 돼지감자를 증자처리함에 따라 조직연화에 영향을 주어 미생물이 이용하기 좋도록 가수분해율이 증가된 것으로 사료된다.

3.1.2. 발효 기간에 따른 환원당 변화

돼지감자 첨가량 및 증자처리 유무에 따른 약주의 발효기간별 환원당 변화는 Fig. 1(B)와 같다. 돼지감자 첨가량에 따른 약주의 환원당 변화를 비교하였을 때, 발효 0일 차에서 돼지감자 20%를 첨가한 발효군(SC20, USC20)에서 가장 높았고, 돼지감자 무첨가구에서 가장 낮았다. 발효 1-2일 차에서는 쌀 함량비가 가장 높은 돼지감자 무첨가구에서 누룩곰팡이에 의한 전분분해가 가장 많이 일어났으며, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 환원당 증가치가 낮게 나타나 쌀 함량비가 가장 적은 돼지감자 20%를 첨가한 약주(SC20, USC20)에서 환원당 함량이 가장 적게 나타났다. 환원당이 가장 높은 수치에 도달한 이후, 모든 약주에서 환원당의 감소가 나타났으며, 발효 종료 시점인 8일 차에는 제조한 모든 약주에서 환원당 함량이 0.57-1.12%로 확인되었고, 돼지감자 20%를 첨가한 약주에서 가장 많은 환원당이 잔존하였다. 증자처리 유무에 따른 돼지감자로 빚은 약주의 환원당 함량을 비교하였을 때, 0일 차는 증자처리된 돼지감자로 빚은 약주(SC)가 무증자 처리한 돼지감자로 빚은 약주(USC)에 비해 약 1.4배의 높은 환원당 함량을 나타내었다. Andersson 등(2022)은 열처리된 돼지감자(Jerusalem artichoke)의 경우 불용성 세포벽 다당류 함량이 높게 나타나며 특히, 비열처리구에 비해 β -glucan 및 펙틴 성분이 많고, 세포 수축과

세포-세포 접촉 손실을 일으켜 더 부드럽게 만든다고 보고하였다. Lee(2006)는 잡곡류인 수수, 기장, 메밀의 가열처리에 따른 전분가수 분해율은 원곡 상태에 비해 가열처리된 곡물에서 48.6-99.2%로 현저히 높으며, 증자 후, 볶음 처리 방법이 열탕처리에 비해 전분가수 분해율이 높은 경향이였다고 보고하였다. 본 연구의 결과에서도 종료 시점인 8일 차의 환원당 함량은 무증자 돼지감자를 첨가한 약주가 증자처리를 한 돼지감자로 빚은 약주에 비해 다소 높은 수치를 보였다. 증자 처리된 돼지감자로 빚은 약주의 경우, 돼지감자 분말이 가수분해가 용이해져 증자처리를 하지 않은 돼지감자로 빚은 약주에 비해, 효모가 이용하기 쉬운 단당류로의 전환이 많아 발효속도가 빨랐던 것으로 보이며, 종료 시점인 발효 8일 차에 증자 처리된 돼지감자로 빚은 약주에서 상대적으로 낮은 환원당 함량이 확인되었다(Fig. 1(B)).

3.1.3. 발효 기간에 따른 알코올 함량 변화

돼지감자 첨가량 및 증자처리 유무에 따른 약주의 발효기간별 알코올 변화를 Fig. 1(C)에 나타내었다. 돼지감자 첨가량에 따라 제조한 약주를 비교하였을 때, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 최종 알코올 함량은 낮았으며, 쌀 함량률이 가장 높은 돼지감자 무첨가구에서 15.1%, 돼지감자를 20% 첨가한 시험군(SC20, USC20)에서 13.5-13.9%로 낮은 알코올이 확인되었다. 증자처리 유무에 따른 돼지감자 첨가 약주의 알코올 함량을 비교하였을 때, 증자 처리된 돼지감자로 빚은 약주(SC)의 알코올 함량이 무증자한 돼지감자로 빚은 약주(USC)와 비교하여 발효기간이 경과함에 따라 알코올 생성량이 높았으며, 발효 종료 시점인 8일 차에는 최종적으로 0.3-0.4%의 알코올 함량 차이를 나타내었다. 이는 돼지감자의 증자처리로 인해 inulin의 가수분해를 유도하여 생성된 환원당을 효모인 *S. cerevisiae* KMBL7001이 알코올 발효에 이용하여 높은 농도의 알코올을 생성한 것으로 보이며, 가용성 고형분 및 환원당의 변화 양상과 동일하였다.

3.1.4. 발효 기간에 따른 pH 변화

돼지감자 첨가량 및 증자처리 유무에 따른 약주의 발효기간별 pH의 변화는 Fig. 2(A)와 같다. 돼지감자를 첨가하여 빚은 약주의 pH는 발효 0일 차 6.34-6.62에서 누룩 곰팡이의 활성으로 인해 발효 1일 차에는 4.35-4.48, 종료 시점인

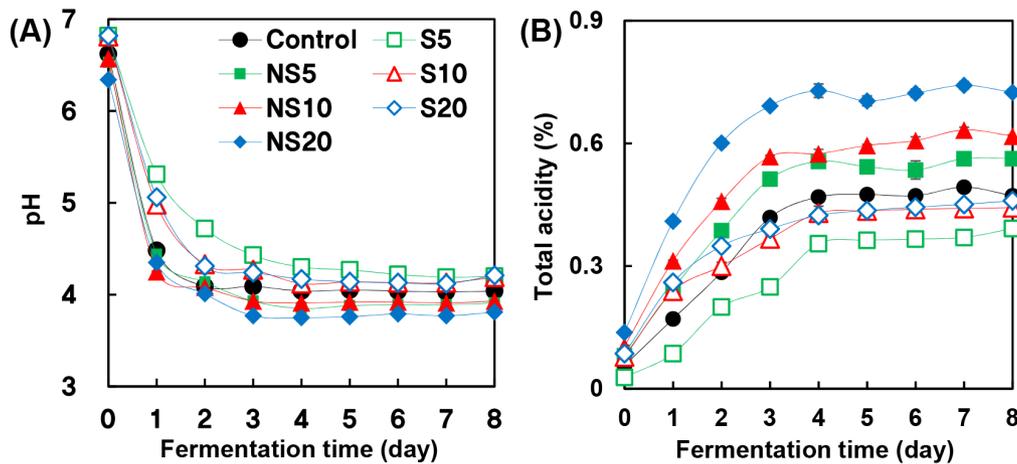


Fig. 2. Changes in pH (A) and total acid content (B) of *yakju* depending on the added amounts (5, 10, and 20%) and pretreatment conditions (steamed (S) and non-steamed (NS)) of Jerusalem artichoke during the fermentation.

8일 차에는 3.81-4.04로 확인되었으며, 발효가 진행됨에 따라 pH가 감소하여 발효 3일 차 이후 일정하게 유지되었다. 돼지감자 첨가량에 따라 제조한 약주를 비교하였을 때, 첨가량이 증가할수록 발효 전반에 걸쳐 약주의 pH가 낮은 양상을 보였다. 돼지감자 추출물로 제조한 식혜(Kim과 Hwang, 2021), 젤리(Kim과 Hwang, 2022b), 쌀 스펀지 케이크(Kim 등, 2014)의 품질특성 연구에서도 첨가량이 증가함에 따라 제품의 pH가 감소하는 연구결과가 보고된 바 있다. 증자처리 유무에 따른 돼지감자 첨가 약주의 pH를 비교하였을 때, 발효 0일 차에 증자한 돼지감자로 빚은 약주(SC)의 pH가 무증자 처리한 돼지감자로 빚은 약주(USC)의 pH보다 발효 0일 차에는 0.24-0.48 높았으며, 발효가 진행되면서 전체적으로 감소하여 발효 종료 시점인 8일 차에는 증자 처리한 약주의 pH가 무증자 돼지감자로 빚은 약주보다 0.26-0.40 높게 나타났(Fig. 2(A)). 이는 증자처리가 돼지감자 자체에 있는 아미노산을 분해시켜 발효 중 전반적인 산 생성에 영향을 미친 것으로 사료된다. Zor 등(2022)에 따르면, 다양한 열처리를 여러 채소에 적용하였을 때, 비처리 야채에서 가장 높은 pH값(6.47)이 나타났고, 가압스팀 처리를 한 채소에서 낮은 pH값(6.32)이 나타났다고 보고하였다.

3.1.5. 발효 기간에 따른 총산 변화

약주의 품질에 있어서 총산 함량은 관능적인 면에서 다른

주류에서는 잘 찾아볼 수 없는 산미의 원인물질이며, 발효가 개방된 상태에서 병행발효에 의해 진행되므로 산패현상을 조기 진단할 수 있는 기초자료로써 이용된다. 일반적으로 총산의 함량이 너무 적으면 제성주에서 특유의 산미를 잘 느낄 수 없게 되고, 총산의 함량이 너무 많으면 이상 발효로 약주가 산패되고 있는 것으로 짐작할 수 있다. 돼지감자 첨가량 및 증자처리에 따른 약주의 발효과정 중 총산의 변화는 Fig. 2(B)와 같다. 돼지감자 첨가량에 따라 제조한 약주의 총산을 분석하였을 때, 돼지감자 첨가량에 비례하여 총산도가 증가하였으며, 발효 종료 시점인 8일 차에서 전체적으로 0.39-0.73%의 함량을 보였다. Kim과 Hwang(2021)에 따르면, 돼지감자 추출물로 제조한 식혜의 산도를 측정된 결과, 돼지감자 추출액을 첨가하지 않은 식혜는 0.08%의 산도를 나타냈고, 돼지감자 추출액 함량이 25-100%로 증가함에 따라 산도도 0.11%에서 0.21%로 증가한다고 보고되었다. Park 등(2019)에 따르면, 돼지감자 분말을 첨가하여 발효유를 제조하였을 때, 첨가량이 많을수록 산도가 높게 나타났으며 이는 돼지감자 분말이 유산균 생존에 유리한 작용을 한다고 보고하였다. 본 실험에서는 약주 발효과정 중 전통누룩(송학곡자)에 포함된 유산균과 효모에 의해 생성된 유기산으로 인해 돼지감자 첨가량이 증가할수록 약주의 산도가 증가한 것으로 사료된다. 증자처리 유무에 따른 돼지감자 첨가 약주의 총산을 비교하였을 때, 발효 종료 시점인 8일 차에 증자 처리된 돼지감자로 빚은 약주(SC)의 총산이 무증자한

돼지감자로 빻은 약주(USC)의 총산보다 0.17-0.23% 낮게 측정되어, 돼지감자의 증자처리가 약주의 산도를 감소시키는 것으로 사료된다.

3.2. 돼지감자로 제조한 약주의 주질 특성

3.2.1. 유리당

돼지감자 첨가량 및 증자처리에 따른 약주의 유리당 함량은 Table 1과 같다. 돼지감자를 첨가한 약주의 경우, inulin, glucose, fructose가 검출되었으며, 돼지감자 무첨가구에서는 glucose만이 검출되었다. 돼지감자 첨가량에 따라 제조한 약주를 비교하였을 때, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 잔존하는 유리당 함량이 높게 나타났고, inulin 역시, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 높게 측정되어 최종적으로 3.71-14.86 g/L가 잔존하였다. 검출된 이눌린 함량은 돼지감자 첨가량이 비하여 약간 낮게 확인되었는데, 이는 누룩에 일부 존재하는 *Aspergillus niger*가 분비하는 inulinase에 의해 돼지감자 분말의 inulin이 일부 분해된 것으로 판단된다 (Poorna와 Kulkarni, 1995). 증자 유무에 따른 약주의 유리당 함량을 비교하였을 때, 증자 처리된 돼지감자로 제조한 약주의 유리당은 무증자 돼지감자로 빻은 약주보다 모든 항목에서 낮게 측정되었으며, inulin의 경우, 증자처리에 따라 약 1.4배 정도 차이가 나타났다. 또한, glucose와 fructose 역시 무증자 돼지감자로 빻은 약주에서 증자 처리된 돼지감

자의 약주보다 높게 나타났다. 돼지감자 첨가군이 돼지감자 무첨가 발효구에 비해 상대적으로 fructose 함량이 높게 나타난 것은 돼지감자 inulin의 가수분해에 의한 것으로 보인다. 또한, 증자 처리된 돼지감자로 빻은 약주의 glucose와 fructose 함량이 상대적으로 낮은 것은 증자처리 과정 동안 inulin 가수분해가 용이해짐으로써, 생성된 fructose가 효모의 알코올 발효에 이용되었다고 사료된다. Bohm 등(2005)에 따르면, 135-195℃ 온도에서 최대 60분 동안 치커리의 이눌린을 건조 가열하면 20-100% 정도의 fructan이 분해되었으며, inulin의 열처리가 긴 과당 사슬의 분해와 di-D-fructose dianhydrides의 형성을 유도한다고 보고하였다.

3.2.2. 유기산

약주의 유기산은 malic acid, succinic acid, lactic acid, citric acid이며, succinic acid는 밀가루와 쌀로 만든 탁주의 주요 맛 성분으로 감칠맛, 청량감과 부드러운 신맛을 느낄 수 있다. Citric acid, succinic acid, malic acid는 효모의 TCA 회로를 통해 생성되고, lactic acid는 피루브산 산화에 의해 생성되며, acetic acid는 알코올과 알데하이드 산화에 의해서 만들어진다(Lee 등, 2015). Jung과 Shin(2017)에 따르면, 돼지감자에 함유된 유기산은 citric acid, malic acid, succinic acid였으며, malic acid의 함량이 가장 높았고, 다음으로 citric acid라고 보고하였다.

Table 1. Free sugar contents of *yakju* depending on the added amounts (5, 10, and 20%) and pretreatment conditions (steamed and non-steamed) of Jerusalem artichoke

JAP ¹⁾ content (%)	Treatment	Free sugar content (g/L)		
		Inulin	Glucose	Fructose
0		ND ²⁾	1.20±0.10 ^a	ND
5	Steamed	2.80±0.14 ³⁾⁴⁾	0.05±0.00 ^d	0.27±0.01 ^f
	Non-steamed	3.71±0.19 ^e	0.12±0.01 ^d	0.81±0.04 ^e
10	Steamed	5.31±0.11 ^d	0.12±0.01 ^d	1.05±0.05 ^d
	Non-steamed	7.43±0.15 ^c	0.26±0.01 ^c	1.24±0.06 ^c
20	Steamed	10.95±0.22 ^b	0.21±0.01 ^c	1.55±0.08 ^b
	Non-steamed	14.86±0.30 ^a	0.58±0.03 ^b	2.65±0.13 ^a

¹⁾JAP, Jerusalem artichoke powder.

²⁾ND, not detected.

³⁾All the data were expressed as mean±SD (n=3).

^{4)a-f}Different letters within the same column indicate a statistically significant difference (p<0.05).

돼지감자 첨가량 및 증자 처리에 따른 약주의 유기산 함량은 Table 2에 나타내었다. 돼지감자 첨가량에 따른 약주의 유기산 함량을 비교하였을 때, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 모든 유기산의 함량이 증가하였다. 특히, citric acid와 약주의 주된 유기산인 lactic acid의 함량이 돼지감자 첨가량에 비례하여 높게 나타났다. 증자처리 유무에 따른 약주의 유기산 함량을 비교하였을 때, 증자 처리된 돼지감자로 제조한 약주에서는 무증자 돼지감자로 빻은 약주와 비교하여 검출된 모든 유기산의 함량이 낮은 경향을 나타내었다. 돼지감자 첨가 식혜와 발효유를 제조하였을 때, 본 연구와 같이 첨가량이 많을수록 유기산 함량이 증가하는 경향을 보였다 (Kim과 Hwang, 2021; Park 등, 2019). 또한, 증자조건을 달리한 검정콩 간장의 유기산 함량 변화를 관찰한 Kwon 등(2003)의 연구에서 스팀 증자를 하였을 때, 처리 시간이 길어질수록 유기산 함량이 감소한다고 보고되었으며, 본 연구에서도 돼지감자 증자처리에 따라 제조한 약주의 유기산 함량이 감소한 것으로 보인다.

3.2.3. 유리아미노산

돼지감자 첨가량 및 증자처리에 따른 약주의 유리아미노산 함량은 Table 3과 같다. 돼지감자 첨가량에 따라 제조한 약주를 비교하였을 때, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 전반적으로 아미노산의 함량이 소폭 감소하였으며, 돼지감자를 20% 첨가한 약주에서는 아미노산 함량이 많이 감소하였다.

증자처리 유무에 따른 돼지감자 첨가 약주의 아미노산 함량을 비교하였을 때, 증자 처리된 돼지감자로 빻은 약주의 아미노산 함량이 무증자 돼지감자로 빻은 약주와 비교하여 아미노산 함량이 크게 감소하였다. 감자나 돼지감자와 같은 덩이줄기류 식물들은 초식동물에 대한 방어기작으로 상처, 수분 노출 등 각종 스트레스에 노출되었을 때, 단백질 분해효소 억제인자를 분비한다고 알려져 있으며(Griffaut 등, 2007; Ledoigt 등, 2006), 돼지감자 역시 감자에서 발견된 것과 동일한 Kunitz-type의 단백질 분해효소 억제인자들이 보고되었다(Bakku 등, 2022). 따라서 본 연구에서 증자 처리된 돼지감자로 빻은 약주의 아미노산 함량이 줄어드는 것은 증자 처리 과정에서 돼지감자에 함유된 단백질 분해효소 억제인자가 작용을 하여 원료 쌀에 존재하는 단백질 분해효소의 활성이 저해되었기 때문으로 사료된다. Song과 Park (2003)에 따르면, 무증자 발아현미로 사용한 막걸리가 증자미와 비교하여 아미노산 함량이 1.16배에서 2배 이상 풍부하다고 보고되었으며, Shon 등(1990)의 연구에서도 무증자 탁주가 증자한 탁주보다 아미노산 함량이 약 2배 정도 많다고 보고되었다. 단백질의 분해 산물인 아미노산은 각각 특유한 맛을 나타내는데, glutamic acid는 감칠맛, histidine, phenylalanine, tryptophan, glycine, alanine, glutamine, proline, serine, threonine은 단맛을 가진다고 알려져 있다(Bachmanov 등, 2016). 본 연구에서는 특히, 무증자 돼지감자를 10% 첨가한 약주의 아미노산 함량 중, 단맛에 관여하

Table 2. Organic acid contents of *yakju* depending on the added amounts (5, 10, and 20%) and pretreatment conditions (steamed and non-steamed) of Jerusalem artichoke

JAP ¹⁾ content (%)	Treatment	Organic acid content (g/L)			
		Citric acid	Succinic acid	Lactic acid	Acetic acid
0		1.56±0.11 ²⁾³⁾	0.57±0.04 ^{cb}	1.67±0.12 ^b	0.01±0.01 ^{ab}
5	Steamed	1.26±0.09 ^d	0.35±0.02 ^d	0.94±0.07 ^d	0.01±0.01 ^b
	Non-steamed	1.94±0.14 ^c	0.54±0.04 ^c	1.45±0.10 ^c	0.02±0.01 ^{ab}
10	Steamed	1.49±0.10 ^d	0.41±0.03 ^d	1.11±0.08 ^d	0.02±0.01 ^{ab}
	Non-steamed	2.29±0.16 ^b	0.64±0.04 ^b	1.71±0.12 ^b	0.03±0.01 ^a
20	Steamed	1.85±0.13 ^c	0.52±0.04 ^c	1.39±0.10 ^c	0.02±0.01 ^{ab}
	Non-steamed	3.09±0.22 ^a	0.86±0.06 ^a	2.31±0.16 ^a	0.03±0.01 ^a

¹⁾JAP, Jerusalem artichoke powder.

²⁾All the data were expressed as mean±SD (n=3).

^{3)a-d}Different letters within the same column indicate a statistically significant difference (p<0.05).

Table 3. Amino acid contents of *yakju* depending on the added amounts (5, 10, and 20%) and pretreatment conditions (steamed and non-steamed) of Jerusalem artichoke

Amino acid (mg/L)	JAP ¹⁾ content and treatment						
	0%	5%		10%		20%	
			Steamed	Non-steamed	Steamed	Non-steamed	Steamed
Aspartic acid	156.43±7.82 ^{2)B3)}	98.16±4.91 ^C	159.79±7.99 ^A	69.50±3.48 ^D	118.54±5.93 ^B	22.30±1.12 ^E	88.42±4.42 ^C
Threonine	106.35±5.32 ^A	50.22±2.51 ^D	90.23±4.51 ^B	36.14±1.81 ^E	75.59±3.78 ^C	8.31±0.42 ^F	46.45±2.32 ^D
Serine	124.66±6.23 ^A	68.54±3.43 ^D	100.48±5.02 ^B	42.86±2.14 ^E	83.54±2.14 ^C	10.70±0.54 ^F	49.70±2.48 ^E
Glutamic acid	341.36±17.07 ^A	178.35±8.92 ^C	355.62±17.78 ^A	136.72±6.84 ^D	258.12±12.91 ^B	25.52±1.28 ^E	187.64±9.38 ^C
Glycine	146.72±7.34 ^B	86.5±4.33 ^D	97.84±4.89 ^C	19.83±0.99 ^F	191.13±9.56 ^A	15.06±0.75 ^F	39.73±1.99 ^E
Alanine	232.91±11.65 ^A	126.7±6.33 ^D	205.59±10.28 ^B	94.00±4.70 ^E	216.08±10.80 ^B	49.77±2.49 ^F	147.04±7.35 ^C
Cystine	28.3±1.41 ^A	16.57±0.83 ^D	22.48±1.12 ^C	8.98±0.45 ^F	25.53±1.28 ^B	6.03±0.30 ^G	13.80±0.69 ^E
Valine	161.93±8.10 ^A	70.83±3.54 ^D	158.92±7.95 ^A	63.99±3.2 ^D	110.62±5.53 ^B	25.49±1.27 ^E	97.80±4.89 ^C
Methionine	5.19±0.26 ^A	ND ⁴⁾	4.17±0.21 ^B	1.32±0.07 ^D	3.22±0.16 ^C	ND	3.27±0.16 ^C
Isoleucine	122.55±6.13 ^A	49.24±2.46 ^E	113.44±5.67 ^B	43.64±2.18 ^E	88.84±4.44 ^C	18.85±0.94 ^F	68.17±3.41 ^D
Leucine	234.55±11.73 ^B	77.66±3.88 ^E	214.41±10.72 ^C	78.60±3.93 ^E	279.41±13.97 ^A	25.78±1.29 ^F	118.39±5.92 ^D
Tyrosine	97.00±4.85 ^A	43.23±2.16 ^D	84.11±4.21 ^B	32.22±1.61 ^E	72.21±3.61 ^C	9.45±0.47 ^F	44.28±2.21 ^D
Phenylalanine	128.16±6.41 ^B	53.08±2.65 ^C	139.97±7.00 ^A	39.74±1.99 ^D	136.49±6.82 ^A	10.92±0.55 ^E	55.84±2.79 ^C
Lysine	66.16±3.31 ^A	34.44±1.72 ^C	51.48±2.57 ^B	17.10±0.86 ^D	54.42±2.72 ^B	9.38±0.47 ^E	31.61±1.58 ^C
Histidine	72.83±3.64 ^A	37.03±1.85 ^D	62.85±3.14 ^B	23.29±1.16 ^F	53.29±2.66 ^C	12.17±0.61 ^G	32.22±1.61 ^E
Arginine	165.46±8.27 ^A	70.54±3.53 ^D	124.55±6.23 ^B	43.35±2.17 ^E	91.74±4.59 ^C	11.25±0.56 ^F	44.24±2.21 ^E
Proline	330.47±16.52 ^B	254.37±12.72 ^C	337.48±16.87 ^B	190.83±9.54 ^D	512.16±25.61 ^A	176.01±8.80 ^D	244.54±12.23 ^C
Total	2,521.03±41.50 ^A	1,315.5±65.77 ^C	2,323.39±60.17 ^B	942.12±25.11 ^D	2,370.93±86.51 ^B	436.98±11.85 ^E	1,313.16±55.66 ^C

¹⁾JAP, Jerusalem artichoke powder.

²⁾All the data were expressed as mean±SD (n=3).

^{3)A-G}Different letters within the same row indicate a statistically significant difference (p<0.05).

⁴⁾ND, not detected.

는 아미노산인 glycine, alanine, proline, phenylalanine의 함량이 상대적으로 높았으며, 이는 관능검사 시에 약주의 단맛 평가에 영향을 미칠 것으로 기대된다.

3.2.4. 아세트알데히드, 메탄올, 에틸 아세테이트 및 퓨젤 오일

돼지감자 첨가량 및 증자처리에 따라 제조한 약주 산물인 아세트알데히드, 메탄올, 에틸 아세테이트 및 퓨젤 오일 분석 결과는 Table 4와 같다. 과실향이나 풀 향의 아세트알데히드는 에탄올의 산화로 생성되는 주류의 향기에 관여하는 중요한 알데히드이다(Lee, 2007). 또한, 단백질 분해 중간 대사 과정에서 미생물에 의해 생성되어 간 독성과 발암성 등 사람의 건강에 나쁜 영향을 미치는 물질로서, 아세트알데

히드 함량은 식품공전에서 기준을 정하여 관리하는 항목이다(Hwang과 Park, 2009). 증자 처리된 돼지감자로 빻은 약주의 아세트알데히드 함량은 무증자 돼지감자로 빻은 약주보다 낮게 나타났으나, 첨가량에 따른 유의적 차이는 보이지 않았으며, 식품공전(MFDS, 2022)에 명시된 약주의 알데히드 허용기준치인 700 ppm 모두 적합한 것으로 나타났다. 메탄올은 pectin methylesterase가 pectin을 가수분해하여 생성되기 때문에, 정상성분이기기는 하지만 시신경에 나쁜 영향을 미치기 때문에 함량이 적을수록 좋다(Hwang 등, 2011). 전반적으로 제조한 약주의 메탄올 함량은 돼지감자 첨가량에 비례하여 증가하였으나, 식품공전(MFDS, 2022)에 명시된 약주의 메탄올 허용기준치인 500 ppm 이

Table 4. Acetaldehyde, methanol, ethyl acetate, and fusel oil contents of *yakju* depending on the added amounts (5, 10, and 20%) and pretreatment conditions (steamed and non-steamed) of Jerusalem artichoke

JAP ¹⁾ content (%)	Treatment	Content (mg/L)				
		Acetaldehyde	Methanol	Ethyl acetate	Iso-butanol	Iso-amyl alcohol
0		185.41±14.83 ^{2)a3)}	16.87±1.35 ^e	49.1±3.93 ^c	147.12±11.77 ^c	306.57±24.53 ^d
5	Steamed	133.38±10.67 ^b	54.73±4.38 ^d	95.66±7.65 ^b	255.24±20.42 ^a	787.53±43.75 ^a
	Non-steamed	171.86±13.75 ^a	63.22±5.06 ^{cd}	55.36±4.43 ^c	70.87±5.67 ^d	227.45±18.20 ^e
10	Steamed	135.72±10.86 ^b	73.32±5.87 ^c	109.81±8.78 ^b	167.61±13.41 ^b	669.31±53.54 ^b
	Non-steamed	160.1±12.81 ^{ab}	67.59±5.41 ^c	60.77±4.86 ^c	64.64±5.17 ^d	195.2±15.62 ^e
20	Steamed	140.33±11.23 ^b	95.58±7.65 ^b	172.7±13.82 ^a	134.85±10.79 ^c	530.46±42.44 ^c
	Non-steamed	161.69±12.94 ^{ab}	112.09±8.97 ^a	93.54±7.48 ^b	26.21±2.10 ^e	116.28±9.30 ^f

¹⁾JAP, Jerusalem artichoke powder.

²⁾All the data were expressed as mean±SD (n=3).

^{3)a-f}Different letters within the same column indicate a statistically significant difference (p<0.05).

하로 확인되어 기준치에 적합한 것으로 나타났다. 에틸 아세테이트는 강한 과실향으로 발효 중 술덧 중에 함유되는 저급 지방산이 효모나 세균의 작용으로 에스테르화되어 생성된다 (Lee와 Han, 2001). 주류에서 에스테르는 일반적으로 양적인 면에서 함유량은 적으나 방향성을 가지므로 미량 향기성분으로 중요시되어 향미 기여도가 알코올류보다 크다(Lee 등, 2007). 증자 처리된 돼지감자로 빻은 약주에서 무증자 돼지감자로 제조한 약주보다 ethyl acetate가 크게 증가하였으며, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 에틸 아세테이트도 증가하였다. 퓨젤 오일은 원료 중 아미노산으로부터 알코올 발효 시에 효모에 의한 탈아미노 반응과 탈카르복시 반응에 의해 생성된다(Anuna와 Akpapunam, 1995). 고급알코올 중에는 약주에서 중요한 향기성분으로 평가되는 isobutanol과 isoamyl alcohol이 있으며, 효모에 의하여 leucine이 알코올 향과 달콤한 향을 가진 isoamyl alcohol로, valine이 알코올 향을 가진 isobutanol로 변화된다(Choi 등, 2015). 전처리와 첨가량에 따라 제조한 돼지감자 약주에서 증자 처리된 돼지감자로 빻은 약주의 경우, isobutanol과 isoamyl alcohol의 함량이 증가하였지만, 첨가량이 증가할수록 이들 물질은 감소하였다. 무증자 돼지감자로 빻은 약주의 경우, 퓨젤 오일은 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. Shon 등(1990)은 증자 탁주와 비교하여 무증자 탁주의 fusel oil 함량이 적었으며, isobutyl alcohol의 함량은 증자 탁주의 1/2 정도라고 보고하였다.

3.3. 돼지감자로 제조한 약주의 관능평가

돼지감자 첨가량 및 증자처리 조건별로 제조한 약주의 관능평가 결과는 Table 5와 같다. 평가항목 간의 유의적 차이는 나타나지 않았으나, 무증자 돼지감자로 빻은 약주군 모두에서 대조구보다 향미와 기호도가 높았다. 그중 10% 돼지감자 첨가 약주에서 향과 전체적인 기호도가 가장 높은 점수를 받았다. 반면, 증자 처리된 돼지감자로 빻은 약주에서는 향미 점수가 낮아지는 경향을 보였다. 색도의 경우에는 돼지감자 첨가량이나 증자처리 유무에 따른 관능평가에서 유의적인 큰 차이를 보이지 않았다. 단맛의 경우에는 증자처리 유무와 관계없이 돼지감자 첨가량이 증가할수록 높은 점수를 받았으며, 무증자 돼지감자로 빻은 약주는 증자 처리한 약주보다 잔존하는 환원당의 영향으로 인해 더 높은 점수를 받았다. 신맛의 경우에는 돼지감자 첨가량에 따라서 소폭 높은 점수를 받기도 했지만, 큰 차이가 나지는 않았다. 하지만, 무증자 처리한 약주에서는 높은 유기산으로 인해 증자 처리한 약주보다 상대적으로 높은 신맛 점수를 받았다(Table 2). De Santis와 Teresa Frangipane(2018)에 따르면, 훈련된 패널들에게 삶은 돼지감자와 생돼지감자에 대해 관능 분석을 한 결과, 생돼지감자는 주로 과일류에 속하는 기술어(신선하고 말린 과일, 특히 사과, 헤이즐넛, 아몬드 및 호두향과 야채같은 향미)로 표현되었으나, 삶은 돼지감자에서는 비슷하지만, 생돼지감자의 많은 속성들이 감소하였고, 삶은 감자나 삶은 돼지감자 향으로 특징화되었다고 보고되었다.

Table 5. Sensory evaluation of *yakju* depending on the added amounts (5, 10, and 20%) and pretreatment conditions (steamed and non-steamed) of Jerusalem artichoke

JAP ¹⁾ content (%)	Treatment	Sensory score ²⁾				
		Color	Flavor	Sweetness	Sourness	Overall preference
0		5.00±1.58 ³⁾⁴⁾	4.13±1.28 ^a	2.77±1.28 ^a	4.91±1.80 ^a	4.23±1.67 ^a
5	Steamed	4.91±1.54 ^a	3.93±1.70 ^a	2.81±1.26 ^a	4.68±1.52 ^a	3.95±1.42 ^a
	Non-steamed	5.14±1.64 ^a	4.45±1.62 ^a	3.36±1.77 ^a	5.05±1.66 ^a	5.09±1.58 ^a
10	Steamed	4.91±1.32 ^a	3.86±1.66 ^a	3.27±1.28 ^a	4.68±1.77 ^a	4.45±1.63 ^a
	Non-steamed	5.02±1.56 ^a	5.05±1.53 ^a	4.05±1.39 ^a	5.09±0.97 ^a	5.13±1.77 ^a
20	Steamed	4.82±1.32 ^a	3.75±1.50 ^a	3.23±1.73 ^a	4.73±1.44 ^a	4.09±1.59 ^a
	Non-steamed	5.18±1.47 ^a	4.95±1.79 ^a	4.20±1.54 ^a	5.27±1.62 ^a	4.95±1.58 ^a

¹⁾JAP, Jerusalem artichoke powder.

²⁾Sensory score used a 7-points scale, such as very good (7), fair (4), and very bad (1).

³⁾All the data were expressed as mean±SD (n=3).

⁴⁾All the data were not significantly different (p>0.05).

본 실험에서도 증자처리를 하였을 때, ethyl acetate와 같은 일부 향기 성분이 증대되었으나, 가열취와 같은 이취도 함께 발생하였기에 향미 항목에서 무증자 돼지감자로 빛은 약주가 더 우수한 평가를 받은 것으로 보여진다. 또한, 전반적인 기호도를 살펴보면, 무증자 돼지감자로 제조한 약주 대부분은 관능적 평가가 좋았으며, 단맛과 신맛이 적절하게 조화를 이룬 10% 돼지감자를 첨가한 약주에서 가장 높은 기호도를 받았다.

4. 요약

본 연구에서는 돼지감자 첨가에 따른 약주의 최적 공정을 선정하고자 돼지감자의 증자처리 유무와 첨가량을 달리하여 약주를 제조하였고, 이들의 양조적성을 평가하였다. 돼지감자 첨가량이 증가할수록 가용성 고형분이 증가하였지만, 효모가 발효과정 중 이용할 수 없는 비발효당의 함량이 증가하여 발효과정 전반에 걸쳐 환원당이 많이 잔존한 관계로 알코올이 적게 생성되었다. 또한, 증자처리에 따라 돼지감자 분말의 가수분해가 용이해져, 증자한 돼지감자로 빛은 약주의 알코올 생성량은 무증자 처리한 약주보다 크게 증가하였다. 약주의 산미와 관련된 pH와 총산의 경우, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 발효과정 중 pH는 감소하고 총산은 증가하였으며, 증자한 돼지감자로 빛은 약주에서 pH가 증가하고 총산은 감소하는 결과를 나타내었다. 돼지감자가 첨가된 약

주의 유리당 분석 결과, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 inulin을 포함하여 잔존 유리당이 높게 나타났다. 이런 결과는 증자처리 과정에서 inulin이 가수분해되어 효모의 알코올 발효가 용이해져 잔존하는 유리당 함량이 상대적으로 낮게 측정되었다. 유기산 함량은 돼지감자 첨가량이 증가할수록 증가하였으며, 증자된 돼지감자로 빛은 약주에서 유기산 함량이 감소하였다. 아미노산 함량은 첨가량이 증가할수록 감소하였으며, 증자한 돼지감자로 빛은 약주의 아미노산도 역시 크게 감소하였다. 유리아미노산 중 단맛에 관여하는 glycine, alanine, proline, phenylalanine은 무증자 돼지감자 10%를 첨가한 약주에서 높게 나타났다. 돼지감자 첨가 약주의 아세트알데히드와 메탄올 함량은 식품공전 상의 허용기준치 내로 검출되었으며, 증자된 돼지감자로 제조한 약주에서 ethyl acetate와 fusel oil 함량이 증가하였으며, 돼지감자 첨가량이 증가할수록 ethyl acetate는 증가하고, fusel oil은 감소하였다. 제조한 약주의 관능평가를 한 결과, 돼지감자 첨가 시에 전체적으로 단맛이 증가하였으며, 무증자 돼지감자를 첨가한 약주에서 향미, 신맛, 전반적인 기호도에서 좋은 평가를 받았다. 특히, 무증자 돼지감자 10%를 첨가하였을 때, 가장 우수한 결과를 얻었다. 따라서 돼지감자가 inulin과 fructooligosaccharide와 같은 기능성 물질을 다량 함유하고 있음을 고려할 때, 무증자 돼지감자를 원료 대비 10% 첨가하는 것이 돼지감자를 활용한 고품질 기능성 약주를 제조하는 데 도움을 줄 수 있음을 확인하

였고, 이는 기능성 돼지감자 첨가 약주 제조의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgements

This research was funded by the National Research Foundation of Korea, Korea, grant number NRF-2022R1I1A3072406.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Choi JS, Park HD, Lee SB. Methodology: Choi JS, Choi KT. Formal analysis: Choi JS, Kim CW. Validation: Choi JS, Choi KT, Lee SB. Writing - original draft: Choi JS. Writing - review & editing: Choi KT, Park HD, Lee SB.

Ethics approval

This research was approved by IRB from the Kyungpook National University No. KNU-2020-0075.

ORCID

Jun-Su Choi (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-6678-5803>

Kyu-Taek Choi

<https://orcid.org/0000-0002-2769-3308>

Chan-Woo Kim

<https://orcid.org/0000-0002-3287-0014>

Heui-Dong Park

<https://orcid.org/0000-0001-5042-036X>

Sae-Byuk Lee (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-5815-7666>

References

Ahmed H. Principles and Reactions of Protein Extraction, Purification, and Characterization. CRC Press, London, England, p 350-352 (2004)

Andersson J, Garrido-Banuelos G, Bergdoll M, Vilaplana F, Menzel C, Mihnea M, Lopez-Sanchez P. Comparison of steaming and boiling of root vegetables for enhancing carbohydrate content and sensory profile. *J Food Eng*, 312, 110754 (2022)

Anuna M, Akpapunam M. Quantitative analysis of alcohol types in pineapple (*Ananas comosus* L (L). Merr.) wine fermented by two strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *Niger Food J*, 13, 12-17 (1995)

Bachmanov AA, Bosak NP, Glendinning JI, Inoue M, Li X, Manita S, McCaughey SA, Murata Y, Reed DR, Tordoff MG, Beauchamp GK. Genetics of amino acid taste and appetite. *Adv Nutr*, 7, 806-822 (2016)

Bakku RK, Gupta R, Min CW, Kim ST, Takahashi G, Shibato J, Shioda S, Takenoya F, Agrawal GK, Rakwal R. Unravelling the *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalem artichoke, Kiku-Imo) tuber proteome by label-free quantitative proteomics. *Molecules*, 27, 1111 (2022)

Barszcz M, Taciak M, Skomial J. The effects of inulin, dried Jerusalem artichoke tuber and a multispecies probiotic preparation on microbiota ecology and immune status of the large intestine in young pigs. *Arch Anim Nutr*, 70, 278-292 (2016)

Bohm A, Kaiser I, Trebstein A, Henle T. Heat-induced degradation of inulin. *Eur Food Res Technol*, 220, 466-471 (2005)

Chae MK, Choi JS, Moon HB, Park JB, Choi KT, Yeo SH, Park HD. Development of air-blast dried yeast starter for 'Yakju' and monitoring on its fermentation characteristics. *Korean J Food Preserv*, 28, 810-819 (2021)

Choi HS, Kim EG, Kang JE, Yeo SH, Jeong ST, Kim CW. Effect of organic acids addition to fermentation on the brewing characteristics of *Soju* distilled from rice. *Korean J Food Sci Technol*, 47, 579-585 (2015)

Choi JS, Choi KT, Kim CW, Lee SB, Park HD.

- Fermentation characteristics of *yakju* supplemented with Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) co-fermented by inulin-degrading yeast *Wickerhamomyces anomalus* JS01 and *Saccharomyces cerevisiae* KMBL7001. Korean J Food Preserv, 29, 800-812 (2022)
- De Santis D, Teresa Frangipane M. Evaluation of chemical composition and sensory profile in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L) tubers: The effect of clones and cooking conditions. Int J Gastron Food Sci, 11, 25-30 (2018)
- Eum HS, Choi IS, Kwak EJ. Quality properties and antioxidant activities of *Yakju* added with Jujube paste with different heating time. J East Asian Soc Diet Life, 29, 120-129 (2019)
- Griffaut B, Debiton E, Madelmont JC, Maurizis JC, Ledoigt G. Stressed Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) excrete a protein fraction with specific cytotoxicity on plant and animal tumour cell. Biochim Biophys Acta, 1770, 1324-1330 (2007)
- Guo X, Xie Z, Wang G, Zou Q, Tang R. Effect on nutritional, sensory, textural and microbiological properties of low-fat yoghurt supplemented with Jerusalem artichoke powder. Int J Dairy Technol, 71, 167-174 (2018)
- Huh CK, Seo JS, Kim YD. Fermentation and quality characteristics of *Yakju* with addition of chestnuts: Analysis of raw materials and saccharification. Korean J Food Preserv, 15, 512-517 (2008)
- Hwang SJ. Antioxidant activities and quality characteristics of Seolgittoek added with purple Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Food Serv Ind J, 17, 247-259 (2021)
- Hwang SW, Hong YA, Park HD. Characteristics of ice wine fermentation of freeze-concentrated Campbell Early grape juice by *S. cerevisiae* S13 and D8 isolated from Korean grapes. Korean J Food Preserv, 18, 811-816 (2011)
- Hwang SW, Park HD. Characteristics of red wine fermentation of freeze-concentrated Campbell Early grape juice using various wine yeasts. Korean J Food Preserv, 16, 977-984 (2009)
- Jung BM, Shin TS. Organic acids, free sugars and volatile flavor compounds by type of Jerusalem artichoke. J Korean Soc Food Sci Nutr, 46, 822-832 (2017)
- Kalyani Nair K, Kharb S, Thompkinson D. Inulin dietary fiber with functional and health attributes: A review. Food Rev Int, 26, 189-203 (2010)
- Kang JE, Kim JW, Choi HS, Kim CW, Yeo SH, Jeong ST. Quality characteristics of rice and rice starch-based *Yakju*. Korean J Food Preserv, 22, 353-360 (2015)
- Kayisu K, Hood LF. Effects of dehydration and storage conditions on the pancreatic alpha amylase susceptibility of various starches. J Food Sci, 44, 1728-1731 (1979)
- Kim HS, Hwang ES. Quality characteristics and antioxidant activities of 'Sikhye' containing different amounts of Jerusalem artichoke extract. Korean J Food Preserv, 28, 771-779 (2021)
- Kim HS, Hwang ES. Quality characteristics and antioxidant activity of brown rice porridge supplemented with Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). J Korean Soc Food Sci Nutr, 51, 352-359 (2022a)
- Kim HS, Hwang ES. Quality characteristics and antioxidant activity of jelly containing varying amounts of Jerusalem artichoke extract. J Korean Soc Food Sci Nutr, 51, 476-482 (2022b)
- Kim MJ, Jin SY. Antioxidant activities and quality characteristic of *Yakju* fermented with *Hibiscus syriacus* cultivars. Korean J Food Cook Sci, 33, 495-503 (2017)
- Kim MJ, Kim BH, Han JK, Lee SY, Kim KS. Analysis of quality properties and fermentative microbial profiles of Takju and Yakju brewed with or without steaming process. J Fd Hyg Safety, 26, 64-69 (2011)

- Kim MK, Lee EJ, Kim KH. Effects of *Helianthus tuberosus* powder on the quality characteristics and antioxidant activity of rice sponge cakes. *Korean J Food Culture*, 29, 195-204 (2014)
- Kim SH, Woo HG, Choi YR, Lee CM, Jeong JH, Lee DH, Lee CY, Oh IK, Ha HK, Kim JS, Choi BK, Huh CK. Quality characteristics of yakju added with lactic acid bacteria-fermented ginseng sprouts. *Korean J Food Preserv*, 29, 263-275 (2022)
- Kwon SH, Choi J, Ko YR, Shon MY, Park SK. Changes in free sugars, organic acids and fatty acid composition of *Kanjang* prepared with different cooking conditions of whole black bean. *Korean J Food Preserv*, 10, 333-338 (2003)
- Ledoigt G, Griffaut B, Debiton E, Vian C, Mustel A, Evray G, Maurizis JC, Madelmont JC. Analysis of secreted protease inhibitors after water stress in potato tubers. *Int J Biol Macromol*, 38, 268-271 (2006)
- Lee H, Lee TS, Noh BS. Volatile flavor components in the mashes of *takju* prepared using different yeasts. *Korean J Food Sci Technol*, 39, 593-599 (2007)
- Lee JG, Moon SH, Bae GH, Kim JH, Choi HS, Kim TW, Jeong C. Distilled Spirits. Kwangmoonkag, Paju, Korea, p 405-475 (2015)
- Lee NY, Yang JH. Influence of partial gelatinization treatment on the quality changes of puffed rice. *Prev Nutr Food Sci*, 25, 225-231 (2020)
- Lee PW, Yoo SS. Quality characteristics of beef patties added with freeze-dried *Helianthus tuberosus* L. powder. *Culi Sci & Hos Res*, 28, 77-87 (2022)
- Lee SB, Banda C, Park HD. Effect of inoculation strategy of non-*Saccharomyces* yeasts on fermentation characteristics and volatile higher alcohols and esters in Campbell Early wines. *Aust J Grape Wine Res*, 25, 384-395 (2019)
- Lee SS, Kim KS, Eom AH, Sung CK, Hong IP. Production of Korean traditional rice-wines made from cultures of the single fungal isolates under laboratory conditions. *Korean J Mycol*, 30, 61-65 (2002)
- Lee TS, Han EH. Volatile flavor components in mash of *Takju* prepared by using *Aspergillus oryzae* *Nuruks*. *Korean J Food Sci Technol*, 33, 366-372 (2001)
- Lee YT. Effect of heat treatments on *in vitro* starch hydrolysis of selected grains. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 35, 1102-1105 (2006)
- Li W, Zhang J, Yu C, Li Q, Dong F, Wang G, Gu G, Guo Z. Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydr Polym*, 121, 315-319 (2015)
- Ministry of Food and Drug Safety Portal. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/03_02.jsp?idx=35 Accessed May, 12, 2022.
- Mu Y, Gao W, Lv S, Li F, Lu Y, Zhao C. The antioxidant capacity and antioxidant system of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures. *Ind Crops Prod*, 161, 113229 (2021)
- National Tax Service Liquors License Support Center. Analysis Regulations of Alcoholic Beverages. NTS, NTS Instructions 2014 (2014)
- Ozgoren E, Isik F, Yapar A. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *J Food Meas Charact*, 13, 2812-2821 (2019)
- Park BB, Renchinkhand G, Nam MS. Physicochemical properties of fermented milk supplemented with *Helianthus tuberosus* powder. *J Milk Sci Biotechnol*, 37, 196-205 (2019)
- Shin SH, Kwon SJ, Jo HJ, Go D, Han J. Extraction and analysis of inulin from Jerusalem artichoke. *Food Sci Ind*, 45, 50-58 (2012)
- Shon SK, Rho YH, Kim HJ, Bae SM. Takju brewing of uncooked rice starch using *Rhizopus Koji*. *Korean J Appl Microbiol Biotechnol*, 18,

- 506-510 (1990)
- Snow P, ODea K. Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *Am J Clin Nutr*, 34, 2721-2727 (1981)
- Song JC, Park HJ. Takju brewing using the uncooked germed brown rice at second stage mash. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 32, 847-854 (2003)
- Wahyono A, Lee SB, Yeo SH, Kang WW, Park HD. Effects of concentration of Jerusalem artichoke powder on the quality of artichoke-enriched bread fermented with mixed cultures of *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspota delbrueckii* JK08 and *Pichia anomala* JK04. *Emir J Food Agric*, 28, 242-250 (2016)
- Wee HJ, Lee SB, Choi KT, Ham JY, Yeo SH, Park HD. Characteristics of freeze-concentrated apple cider fermented using mixed culture of non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces cerevisiae* Fermivin. *Korean J Food Preserv*, 25, 730-741 (2018)
- Wursch P, Dal Vedovo S, Koellreuter B. Cell structure and starch nature as key determinants of the digestion rate of starch in legume. *Am J Clin Nutr*, 43, 25-29 (1986)
- Yang L, He QS, Corscadden K, Udenigwe CC. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnol Rep*, 5, 77-88 (2015)
- Zor M, Sengul M, Karakutuk IA, Odunkiran A. Changes caused by different cooking methods in some physicochemical properties, antioxidant activity, and mineral composition of various vegetables. *J Food Process Preserv*, 46, e16960 (2022)