

효소 및 초음파로 전처리한 가바쌀의 품질특성

Quality Characteristics of GABA Rice(*Oryza sativa* L.) Powder after Enzyme and Ultrasound Treatment

이주영 · 최은선¹⁾ · 유현희²⁾.*

전북바이오융합산업진흥원 연구원 · 군산대학교 식품영양학과 박사과정¹⁾ · 군산대학교 식품영양학전공 교수²⁾.*

Lee, Juyoung · Choi, Eunsun¹⁾ · Yu, Hyeonhee²⁾.*

Jeonbuk Institute for Food-Bioindustry

Department of Food and Nutrition, Kunsan National University¹⁾

Major in Department of Food and Nutrition, Kunsan National University²⁾.*

Abstract

The purpose of this study was to evaluate physicochemical components and antioxidant activities of GABA(γ -aminobutyric acid) rice prepared by enzymatic hydrolysis. Six kinds of pre-treatment were used: 1) no treatment(Control), 2) treated with Viscoflow MG enzyme(GR-V), 3) treated with Protamex enzyme(GR-P), 4) treated with Viscoflow MG and Protamex enzyme(GR-VP), 5) treated with Viscoflow and Protamex enzyme and ultrasound treatment(GR-VPU), and 6) treated with ultrasound treatment(GR-U). As a result of with proximate compositions of GABA rice powder with different treatment methods, GR-U had the highest moisture content($p < 0.001$). GR-V and GR-P had the highest crude ash. GABA rice powder of different treatment methods showed no significant differences of crude lipid. Crude protein of GR-VPU was the highest. The GR-VPU group had higher sugar content, total polyphenols contents and DPPH radical scavenging activities than other groups. Enzyme treatment groups(GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU) showed decreased pH($p < 0.001$). As a result of analyzing mineral compositions, Mg and Ca contents were significantly higher in enzyme treatment groups(GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU) than in the control. As a result of analyzing free amino acid content, GR-VPU was found to have high contents of GABA, alanine, valine, leucine, phenylalanine, and lysine. Based on these observations, it was confirmed that enzyme and ultrasound pre-treatment could improve antioxidant activities and some active components of GABA rice powder.

Keywords: GABA(*Oryza sativa* L) rice, Quality characteristics, Enzyme treatment, Ultrasound treatment

I. 서론

현대 사회의 경제 · 문화 성장과 더불어 국민 소득의 증대로 건강하고 안락한 삶을 원하는 욕구가 높아지면서

식생활의 중요성에 대한 인식이 증가되었다(조유상, 2022). 건강식품에 대한 소비자들의 기대 수준이 증가하고 있으며 건강식에 대한 지식도 깊어져(문유진 외, 2018) 기존 식품에 기능성이 풍부한 식재료를 첨가한 가공식품 개발

본 연구는 군산대학교 2021년LINC+산학공동기술개발과제와 2022년 강소특구 기술이전사업화(군산) 연구비 지원을 받아 작성된 것으로 2021년 한국생활과학회 동계 학술대회에서 포스터 발표한 것을 확장한 것임.

* Corresponding author: Yu, Hyeonhee

Tel: +82-063-469-4636, Fax: +82-063-469-7426

E-mail:youhh@kunsan.ac.kr

© 2023, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

이 활발히 진행되고 있다. 가바쌀(*Oryza sativa* L.)은 갈색 가바 현미 또는 가바 현미로 불리며 잡초성 벼의 유용 특성을 선택 육종시켜 개발한 신품종이다. 또한 잡초 벼의 특성을 이어받아 별도의 관리 없이도 잘 자라며 섭씨 0°C의 기후 조건에서도 살아남는 강인한 생존력을 지니고 있다. 특히 농약이나 비료를 주지 않아도 잘 자라는 특성으로 무농약이나 유기농 재배에 적합한 품종이며, 일반 벼에 비해 수확량이 5% 정도 많다(서학수, 2007). 곡류의 GABA 함량이 100 g당 흑미는 1.52 mg, 일반 현미 0.84 mg 및 가바 쌀 6.65 mg으로 보고하여 다른 쌀에 비하여 GABA 함량이 8배 정도 월등히 높은 것을 알 수 있다(황은선 외, 2020).

GABA(γ -Aminobutyric acid)는 아미노산의 일종으로 glutamic acid로부터 glutamate decarboxylase(GAD) 촉매로 탈탄산되어 생합성되는 중요한 생리활성 물질(정유정 외, 2018), 인체의 뇌 또는 척수에 존재하는 억제계의 신경전달물질로 중추신경에 있어 중요한 역할을 한다(임상동, 김기성, 2009). 그 외 정신안정 작용(김성일, 윤상원, 1998), 통증 완화(전영훈 외, 2006), 항경련작용(허근 외, 1995), 항우울증 작용(Mody et al., 1994), 혈압 상승 억제 작용(김영식, 1993) 등 여러 생리작용이 보고되었다. GABA의 이러한 효능이 알려지면서 국내에서는 가바쌀을 이용한 쿠키(정해원, 정해정, 2013), 막걸리(신수정, 2012; 신수정 외, 2015), 마카롱(최수영 외, 2015), 차(곽은정, 2010), 식혜(황은선 외, 2020) 등의 다양한 연구가 보고되고 있다.

효소 처리는 동물, 식물, 미생물에서 기원한 효소를 농축, 추출 및 정제 발효 등을 거쳐 특정한 부분을 가수분해하여 구조를 전환 시켜 특이 성분을 생산하고, 유효한 성분의 추출 수율을 높이는 방법이다(주레이위, 2020). 효소 처리에 의한 가수분해 방법을 식품에 적용할 경우 기능적 특성을 높이고 이용도를 증대시키는 효과가 있으며(최애진, 2000), 이에 따라 부가가치 제품 개발을 위한 공정으로 이용될 수 있다. 곡류를 대상으로 효소 처리를 이용한 연구로는 메밀 단백질의 효소 가수분해가 항원성에 미치는 영향(Sung et al., 2014), 쌀 단백질 분해를 이용한 소재로서의 활용(이혜영, 2011), 효소 처리 쌀 첨가가 맥주의 품질에 미치는 영향(Kwon et al., 2012) 등이 있으나 가바쌀을 이용한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에는 Novozyme회사 제품인 Viscoflow MG 및 Protamex를 구입하여 사용하였다. Viscoflow MG의 주요 효소 활성은 endo- β -glucanase에 의해 β -D-glucans의 (1,3)-

또는 (1,4)-결합을 가수분해하는 작용을 하며 Cellulase, Alpha-amylase, Xylanase의 활성을 함유하고 있다. (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)- β -D-glucans은 β -glucosyl unit이 β -(1 \rightarrow 3) 또는 (1 \rightarrow 4) 결합으로 연결되어 가지가 없이 선형사슬로 구성된 단순다당류이다(박선옥, 김진만, 2012). β -D-glucan은 쌀, 보리, 귀리 및 밀 등 곡류의 세포벽 다당류로서 존재하며, 수용성 또는 불용성 형태로 존재한다. Protamex의 주요 효소 활성은 serine endoprotease에 의해 펩티드 결합을 가수분해하는 작용을 한다. 저분자 펩타이드는 체내로 용이하게 흡수될 수 있으며 호르몬처럼 특정 세포의 수용기에 반응하며 생리활성 기능을 한다(하유진 외, 2019). 김은비 외(2008)는 Protamex 0.1%를 처리한 조직대두단백을 이용한 콩까스의 조직감, 보수력, 결합력 및 관능평가 항목에서 높은 수치를 보여 품질 특성에 효과적이라고 하였고, 정하열, 이형진(2014)은 쌀 단백질 잔사를 Protamex로 처리한 효소분해물의 쓴맛이 다른 효소처리구에 비해 상대적으로 약한 결과를 보였는데 이는 효소 처리에 의해 쓴맛을 나타내는 잔류 유리아미노산 및 쓴맛 펩타이드의 함량이 적어 나타난 결과라고 보고하였다. 초음파(ultrasound)는 주파수 20 kHz 이상의 음파로 진단 초음파, 출력 초음파 두 가지로 분류되며 진단 초음파는 의료 및 산업용의 비파괴적 진단을 위하여 사용되고, 출력 초음파는 물질 분산, 세포 파쇄 등을 목적으로 사용된다(최은희, 이재권, 2017). 이와 같은 특성으로 초음파는 물질의 추출(남윤민 외, 2016), 미생물의 사멸(김세리 외, 2012), 유화(한유진 외, 2017), 탈기(박진홍 외, 2004) 등의 다양한 식품 공정에서 이용되고 있다. 최은희, 이재권(2017)은 초음파 처리가 옥수수 전분의 다공성을 증가시킨다고 보고하였으며, 김도희 외(2012)는 신선편이 양상추의 품질 유지에 효과적이라고 보고하였다. 정소희 외(2017)는 초음파 처리가 사과와 양배추의 식이섬유 함량 증가 및 입자크기 감소 효과가 있다고 하였다. 효소와 초음파를 복합으로 처리할 경우 효소는 세포벽 성분을 가수분해하고 세포내 내용물 방출을 개선한다(Olawuyi, 2020). 이와 함께 초음파를 수용액 상의 물질에 처리할 시 입자를 더욱 작게 파괴하거나 입자 간 간격을 발생시켜 반응표면을 증가시키는 것으로 알려져(김혜진 외, 2015), 효소와 초음파 복합처리로 인해 효소활성이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 가바쌀(*Oryza sativa* L.)에 효소(Viscoflow MG, Protamex)와 초음파를 단독 또는 혼합으로 전처리하여 제조된 가바쌀 분말의 이화학적 성분과 항산화 활성을 관

찰하여 가바쌀의 식품소재로서 활용성을 증대시키기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료 및 시약

본 연구에 사용한 가바쌀(갈색메벼)은 2021년에 수확된 국내산 가바현미(농업회사법인 주식회사 힘찬농부, 경상북도, 한국)를 온라인 소평몰을 통해 구입하여 사용하였다. 구매한 가바쌀을 이물질과 파쇄미를 제거한 후 500g씩 폴리에틸렌 봉지에 넣고 밀봉하여 10℃의 저온 냉장고(ZEO-SR152, (주)제오필테크, 대전시, 한국)에 보관하며 시료로 사용하였으며 물은 증류수를 사용하였다.

효소는 상업적으로 사용되는 Viscoflow MG(Novozyme Nordisk, Bagsvaerd, Denmark)와 Protamex(Novozyme Nordisk) 2 종의 효소를 구입하여 사용하였다. 총 폴리페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능 측정에 사용한 Folin-ciocalteu reagent, DPPH, gallic acid는 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)의 제품을 이용하였고 그 외 1급 시약을 사용하였다.

2. 실험 방법

1) 전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 제조

본 연구에서 대조군은 가바쌀의 중량 대비 1:1(w/v)의 증류수를 넣어 50℃, 120 rpm의 Shaking incubator(SI-100R, 한양과학기기, 서울시, 한국)에서 3시간 동안 교반하였다. 실험군은 가바쌀 침지물(가바쌀:증류수=1:1)에 가바쌀 중량 대비 1%의 Viscoflow MG를 첨가한 것을 GABA Rice+Viscoflow MG(GR-V)로 하였으며, 1%의 Protamex를 첨가한 것을 GABA Rice+Protamex(GR-P)로 하였고, 0.7% Viscoflow MG와 0.3% Protamex를 혼합한 것을 GABA Rice+Viscoflow MG+Protamex(GR-VP)로 하였다. 0.7% Viscoflow MG와 0.3% Protamex를 혼합한 후 Sonicator(UIL-DHS15040, 유일초음파 주식회사, 안산시, 한국)를 이용하여 30분 동안 초음파 처리(150W, 40 kHz)한 것을 GABA Rice+Viscoflow MG+Protamex+Ultrasound(GR-VPU)로 하였으며, 효소를 첨가하지 않은 가바쌀 침지물(가바쌀:증류수=1:1)에 Sonicator를 이용하여 30분 동안 초음파 처리(150W, 40 kHz)한

것을 GABA Rice+Ultrasound(GR-U)로 하였다. 50℃, 120rpm의 Shaking incubator에서 3시간 동안 교반하여 효소를 반응시킨 후에 90℃의 항온수조(SH-GWB11, 대한과학, 원주시, 한국)에 10분간 가열하여 효소를 불활성화시켜 반응을 종료하였다. 대조군과 실험군은 각각 체에 밟쳐 물기를 빼고 열풍건조기(HB-501M, 한백주식회사, 부천, 한국)를 이용하여 60℃에서 2시간 동안 건조하였다. 건조가 끝난 가바쌀을 200g씩 나누어 분쇄기(EV-GB6000, Zhongshan Long-Plus Electric Appliances Co., Ltd., Zhongshan, China)를 이용하여 2분 동안 분쇄하였고, 35 mesh 체(청계주식회사, 군포시, 한국)에 걸러낸 후 분말 시료로 사용하였다.

2) 일반성분

일반성분 분석은 AOAC법(AOAC International, 1996)에 따라 실시하였다. 수분은 상압가열 건조법으로, 조단백질은 semimicro-Kjeldahl법으로, 조지방은 Soxhlet's 추출법으로, 조회분은 직접 회화법을 이용하여 측정하였다. 탄수화물 함량은 시료의 무게를 100%로 하여 수분, 조단백질, 조지방, 조회분의 함량(%)을 감한 것으로 산출하였다.

3) pH와 당도

가바쌀 분말의 pH와 당도는 최영호(2021)의 실험방법을 참고해 측정하였다. 45 mL의 증류수에 전처리를 달리한 가바쌀 분말 5 g을 넣고 3,000 rpm에 10분간 원심분리(MF-80, 한일과학산업, 인천시, 한국)한 후 상층액을 pH는 pH meter(A221, Orion Co., Beverly, MA, USA)로 당도는 당도측정기(PAL-1, ATAGO, Tokyo, Japan)로 각각 측정하였다.

4) 색도

색도는 투명한 Cell-dish(35 mm D, 10 mm L)에 가바쌀 분말을 담아 색차계(CM-2600d Chroma Meter, Konica Minolta Holdings Inc., Tokyo, Japan)로 명도(L: lightness)와 적색도(a: redness) 및 황색도(b: yellowness)를 측정하였다. 이때 사용한 표준색판(Standard Plate)은 백판(L=99.36, a=-0.08, b=-0.06)을 사용하였다.

5) 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성

총 폴리페놀 함량 및 DPPH 라디칼 소거능 측정은 김요섭 외(2016)의 실험방법을 참고해 측정하였다. 가바쌀 분말 10 g에 70% 에탄올 40mL를 가하고 2분간 섞은 후, Shaking incubator(SI-100R, 한양과학기술, 서울시, 한국)에서 16시간 동안 추출한 다음 원심분리기(MF-80, 한일과학산업, 인천시, 한국)를 이용하여 790 ×g에서 15분간 원심분리하여 얻은 상등액을 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성 시료로 사용하였다. 총 폴리페놀 함량은 70% 에탄올 추출액 1 mL를 취하여 0.2 N Folin-ciocalteau's reagent 1 mL를 넣고 상온에서 3분간 반응시킨 다음 7.5% Na₂CO₃ 1 mL를 가하여 1시간 동안 어두운 곳에 방치한 것을 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc., Chantilly, Virginia, USA)를 이용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량의 표준물질은 gallic acid를 이용하여 산출하였다.

DPPH 라디칼 소거 활성 측정은 70% 에탄올 추출액 0.4 mL에 0.4 mM DPPH 에탄올 용액 3mL를 가한 것을 교반한 후에 어두운 곳에서 10분간 방치하였다. 그 후 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc., Chantilly, Virginia, USA)를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료를 첨가하지 않은 대조군과 시료를 첨가한 실험군을 비교하여 DPPH 라디칼 소거활성을 다음의 계산식을 이용하여 백분율(%)로 나타내었다.

DPPH 라디칼 소거능 (%) = {1-(시료첨가군의 흡광도/대조군의 흡광도)} × 100

6) 무기질

무기질 함량 분석을 위해 전처리를 달리한 가바쌀 분말 5 g을 건식회화(550°C) 및 방냉한 후 HCl:H₂O(1:1) 용액 10 mL를 넣고 용해 시킨 후 항온수조(SH-GWB11, 대한과학, 원주시, 한국)에서 뚜껑을 열어 건조시키고 HCl:H₂O(1:3)용액 10 mL를 넣고 여과지(Whatman No. 1, Whatman, Maidstone, UK)로 여과한 후 증류수 100 mL로 정용하여 분석하였다. 전처리 과정을 거친 시험용액의 무기질(Na, Mg, Ca, Zn, K) 함량은 ICP Atomic Emission Spectrometer(ICP-OES, Thermo Scientific, USA)를 이용하여 분석하였다. 분석 조건은 approximate RF power 1,350 W, peristaltic pump rate 45 rpm, gas는 초고 Ar(99.999%)를 사용하였으며, nebulizer pressure와 coolant gas flow는 각각 200 kpa, 12 L/min이었고, Observation height는 각각 30 psi, 15 mm로 분석하였

다. 이때 측정된 무기질의 파장은 나트륨(Na) 589.592 nm, 마그네슘(Mg) 285.213 nm, 칼슘(Ca) 422.673 nm, 아연(Zn) 202.548 nm, 칼륨(K) 769.896 nm이었다.

7) 유리아미노산

유리아미노산 함량 분석을 위해 시료를 1 g씩 취하여 에탄올(80%) 10 mL를 넣은 다음 초음파추출기(VC 750, Sonics & Materials, Ins., Newtown, CT, UAS)를 이용하여 40 kHz로 20분간 초음파 처리한 후 원심 분리하였다. 위의 과정을 2회 반복하고 상등액만을 모아 여과지(Whatman No. 1, Whatman, Maidstone, UK)로 여과하였다. 이를 유리아미노산용 dilution 완충액(pH 2.2) 1.0 mL에 용해 후 0.45 μm NYLON syringe 필터(Millipore, Billerica, MA, USA)로 2회 여과하여 분석용 시료로 사용하였다. 전처리 과정을 거친 시험용액의 유리아미노산 함량은 아미노산자동분석기(Hitachi AAA L-8900, Hitachi High-Technologies Co., Tokyo, Japan)로 분석하였다. 아미노산 표준물질은 아미노산 표준 Type B(Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Osaka, Japan)와 아미노산 표준 Type AN-2(Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Osaka, Japan)를 각각 5 μL를 0.02N HCl을 넣어 100 μL로 정용하여 사용하였으며, 분석조건은 이온 exchange column(4.6~60 mm, packed with Hitachi custom ion exchange resin, Hitachi High-Technologies Co., Tokyo, Japan)으로, 이동상은 ninhydrin 완충액 세트(Fujifilm Wako Pure Chemical Corporation, Ltd., Osaka, Japan)와 완충액 세트 biological fluid PF-SET (Kanto Chemical Corporation, Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하였고, column flow 1.0 mL/min, 주입량 20 μL, 파장 570 nm 및 440 nm, N₂ 가스 자동 purge로 분석하였다.

3. 통계 분석

전처리가 다른 가바쌀 분말의 품질특성 결과는 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 20.0, IBM SPSS Co., Armonk, New York, USA)을 사용하여 평균값 및 표준편차를 구하고, 대조군 및 전처리 방법을 달리한 가바쌀 실험군들 간의 차이 검증은 일원 배치 분산 분석(one-way ANOVA)을 사용하였고, 사후검증은 Duncan's test를 이용해 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일반성분

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 일반성분 분석 결과는 <표 1>과 같다. 수분 함량은 대조군이 12.94%, 실험군 11.85~13.66%로 초음파 처리 GR-U군이 가장 높았으며($p<0.001$), 효소처리 가바쌀 함유 실험군 (GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU)은 유의적 차이가 없었다. 조회분은 효소 단독처리 GR-V, GR-P군이 1.54%로 나타났으며, GR-VP군 1.48%, GR-VPU군 1.47%, GR-U군 1.38%, 대조군 1.37%로 나타났다($p<0.001$). 조단백질은 Viscoflow MG, Protamex 효소를 혼합 및 초음파 처리한 GR-VPU군의 함량이 8.91%, GR-VP군 8.84%, GR-V군 8.80%, GR-P군 8.77%, GR-U군 8.72%, 대조군 8.71% 순으로 나타났다($p<0.01$). 그러나 조지방은 대조군 2.98%, GR-V군 3.20%, GR-P군 2.96%, GR-VP군 3.08%, GR-VPU군 3.92%, GR-U군 4.53%로 시료 간 유의적 차이는 없었다. 탄수화물은 대조군이 74.00%, 실험군 71.72~74.88%로 GR-P군이 가장 높았다($p<0.01$).

김은옥 외(2008)는 가바쌀(갈색메벼)의 일반성분 함량이 수분 14.33%, 조회분 1.48%, 조지방 3.04%, 조단백질 8.20%, 탄수화물 72.95%라고 보고하여 본 연구에서 사용한 가바쌀 분말과 큰 차이가 없었다. 김래영 외(2011)는 Pectinase, Cellulase 효소 단독 및 복합처리에 의해 단백질, 지방, 회분 함량이 감소 된다고 보고하였는데, 곡류 가공 시 일반성분의 감소는 제분 과정 중 압착과 분쇄 후 체를 통과하는 과정에서 많은 일반성분의 분

리와 유실이 일어나며, 수침과정 중 쌀의 수용성 단백질, 유리 지방 등의 용출로 인해 감소 된다고 한다. 반면, 피경태, 김근철(2013)은 Pectinase 효소를 처리한 현미의 수분 함량, 지방, 단백질, 회분 함량 등 영양성분의 손실이 거의 없다고 보고하였다. 본 연구에서는 수분은 초음파처리로 증가, 조회분은 효소 처리로 증가, 조단백질은 효소와 초음파 복합처리로 증가하였는데 이는 본 연구에서 사용한 효소 또는 초음파 처리가 조직과 세포벽의 구조적 변화로 인해 기존 물질의 용출량이 증가와 함께 새로운 물질도 같이 용출된다는 다른 연구(성혜미 외, 2014; 장세진 외, 2014; 정소희 외, 2017)와 마찬가지로 효소와 초음파 처리가 미처리보다 가바쌀 조직과 세포벽에 결합 또는 함유되어 있던 수분, 회분, 단백질 등의 용출이 용이해져서 나온 결과로 생각된다.

2. pH 및 당도

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 pH 및 당도 측정 결과는 <표 2>와 같다. pH 측정 결과, 대조군의 pH는 6.72, 실험군의 pH는 6.51~6.74의 값으로, 대조군보다 효소처리 가바쌀 함유 실험군(GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU)은 유의적으로 낮았으나($p<0.001$), 초음파 처리한 GR-U군은 유의적 차이가 없었다. 황철승 외(2005)는 아밀라아제 효소 처리 쌀 침출액의 pH가 대조군보다 낮은 결과를 보였으며, 김정아, 임무혁(2019)은 셀룰라아제와 펙티나아제 혼합효소를 첨가하여 추출한 마카 추출액의 pH가 효소 미처리 추출액에 비하여 낮은 결과를 나타내어 본 연구와는 같은 결과를 보였다. 박윤정(1998)은 유과제조를 위한 찹쌀 침지과정이 길수록 아밀라아제와

<표 1> 전처리 방법을 달리한 가바쌀의 일반성분

| | 수분(%) | 조회분(%) | 조지방(%) | 조단백질(%) | 탄수화물(%) |
|---------|--------------------------|------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|
| 대조군 | 12.94±0.05 ^c | 1.37±0.01 ^a | 2.98±0.18 | 8.71±0.12 ^a | 74.00±0.35 ^{bc} |
| GR-V | 12.09±0.08 ^{ab} | 1.54±0.03 ^c | 3.20±0.20 | 8.80±0.01 ^{ab} | 74.37±0.18 ^{bc} |
| GR-P | 11.85±0.26 ^a | 1.54±0.02 ^c | 2.96±0.05 | 8.77±0.01 ^{ab} | 74.88±0.26 ^c |
| GR-VP | 11.92±0.05 ^a | 1.48±0.01 ^b | 3.08±0.10 | 8.84±0.03 ^{bc} | 74.68±0.06 ^{bc} |
| GR-VPU | 12.35±0.16 ^b | 1.47±0.04 ^b | 3.92±0.79 | 8.91±0.03 ^c | 73.34±0.91 ^b |
| GR-U | 13.66±0.17 ^d | 1.38±0.02 ^a | 4.53±1.47 | 8.72±0.05 ^a | 71.71±1.40 ^a |
| F-value | 67.528 ^{***} | 35.059 ^{***} | 2.566 | 5.540 ^{**} | 8.195 ^{**} |

^{a-d} Means within a column with a same letter are not significantly different by Duncan's test($p<0.05$)

^{**} $p<0.01$, ^{***} $p<0.001$

프로테아제 효소활성이 꾸준히 증가하였고, pH 감소와 유기산 함량이 증가하였는데 이는 전분입자 사이의 단백질 가수분해 및 용출에 의한 것이라고 보고하였다. 본 연구에서도 효소 처리에 의해 가바쌀 전분입자 파괴로 유기산 함량 용출 증가 등으로 인해 대조군보다 pH가 감소한 것으로 보인다.

초음파 처리 연구에 의하면 박충균 외(2001)의 연구에서는 초음파 처리 계속의 pH가 증가하여 본 연구와 다른 경향을 나타내었으나, 김일두 외(2013)는 일반적인 방법으로 제조한 감잎차와 초음파처리로 제조된 감잎차의 pH 함량에서 유의적 차이가 나타나지 않아 본 연구와 같은 경향을 나타냈다.

당도 측정 결과, 대조군은 0.50 °Brix, 실험군은 0.53 ~ 0.77 °Brix의 값으로, 대조군보다 효소처리 가바쌀 함유 실험군(GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU)은 유의적 높았으며, 초음파 처리한 GR-U군은 유의적 차이가 없었

다. 김선화 외(2015)는 단삼 추출물의 당도가 효소 무처리군보다 효소 처리군이 높은 값을 나타내었고, 이종열 외(2015)도 고추 추출액의 가용성 고형분의 함량이 효소 처리를 하지 않은 대조군보다 효소 단독처리 또는 혼합처리군이 높은 값을 나타냈다고 보고하여 본 연구결과와 일치하였다. 효소처리에 의해 유리당과 유리아미노산 생성이 증가하였으며, 이는 단맛과 감칠맛을 내는 glycine, glutamic acid, prolin, asparagine 등의 유리아미노산(이수정, 2016)이 증가한 것과 매우 깊은 관련이 있는 것으로 생각된다<표 6 참조>.

3. 색도

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 색도 측정 결과는 <표 3>과 같다. L(명도)값은 대조군이 78.02, 실험군이 78.42 ~ 79.73으로 대조군이 실험군보다 유의적으로

<표 2> 전처리 방법을 달리한 가바쌀의 pH 및 당도

| | pH | 당도(°Brix) |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 대조군 | 6.72±0.02 ^d | 0.50±0.01 ^a |
| GR-V | 6.57±0.02 ^c | 0.70±0.01 ^{bc} |
| GR-P | 6.54±0.02 ^b | 0.63±0.1 ^b |
| GR-VP | 6.55±0.01 ^{bc} | 0.73±0.1 ^c |
| GR-VPU | 6.51±0.01 ^a | 0.77±0.1 ^c |
| GR-U | 6.74±0.01 ^d | 0.53±0.1 ^a |
| <i>F</i> -value | 156.382 ^{***} | 16.000 ^{***} |

^{a-d} Means within a column with a same letter are not significantly different by Duncan's test($p < 0.05$)

^{***} $p < 0.001$

<표 3> 전처리 방법을 달리한 가바쌀의 색도

| | Hunter's color value | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | L | a | b |
| 대조군 | 78.02±0.01 ^a | 3.78±0.005 ^f | 10.44±0.02 ^f |
| GR-V | 79.22±0.01 ^d | 3.58±0.005 ^d | 9.74±0.01 ^d |
| GR-P | 79.11±0.01 ^c | 3.56±0.01 ^c | 9.67±0.01 ^c |
| GR-VP | 79.64±0.01 ^e | 3.54±0.01 ^b | 9.62±0.01 ^b |
| GR-VPU | 79.73±0.01 ^f | 3.50±0.01 ^a | 9.54±0.01 ^a |
| GR-U | 78.42±0.01 ^b | 3.73±0.01 ^e | 10.01±0.01 ^e |
| <i>F</i> -value | 41337.60 ^{***} | 1762.050 ^{***} | 2762.00 ^{***} |

^{a-f} Means within a column with different superscripts are significantly different by Duncan's test($p < 0.05$).

^{***} $p < 0.001$

높은 값을 나타내었다($p<0.001$). a(적색도)값은 대조군이 3.78, 실험군이 3.50~3.73을 나타냈고, b(황색도)값은 대조군이 10.44, 실험군이 9.54~10.01을 나타내었으며 적색도와 황색도는 실험군보다 대조군이 유의적으로 높은 결과를 나타냈다($p<0.001$).

김선화 외(2015)의 연구에 의하면 4시간 동안 45℃, 60℃에서 amylase계 효소를 처리한 단삼 추출물의 색도가 미처리구보다 명도와 황색도는 높고, 적색도는 낮은 값을 나타내었다. 반면 protease계 효소를 처리한 실험구의 색도는 45℃에서 처리 시에 미처리구보다 명도는 높고, 적색도, 황색도는 낮은 값을 나타내었으나 60℃에서 처리 시 명도와 황색도는 높고 적색도는 낮은 값을 나타내었다. 이는 효소계의 종류 및 효소 처리 온도에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 amylase계와 protease계 효소를 일정 온도 및 시간에서 혼합 처리하여 나타난 결과로 판단된다. 이종원 외(2005)는 식품 성분 중 질소화합물이 열처리 과정에서 갈변 반응을 일으켜 갈색 색소를 생성하고, 이 과정에서 생성된 amino-carbonyl 반응 생성물은 항산화 능력이 있다고 보고하여 효소 처리한 가바쌀 분말이 항산화 효과가 높을 것으로 기대된다.

4. 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거활성

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성 분석 결과는 <표 4>이다.

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 총 폴리페놀 함량은 대조군은 338.33 mg/100g, 효소 및 초음파를 처리한 실험군은 354.33~493.01 mg/100g으로 유의적으로

증가하였으며, 특히 두 효소 혼합 및 초음파 복합처리한 GR-VPU군이 가장 높았다. 곡류의 폴리페놀에는 ferulic, p-coumaric, gallic, vanillic acid 등이 있으며(공수현 외, 2009), 이들 폴리페놀이 항산화 효과를 나타낼 수 있는 것은 free radical을 안정화시킬수 있는 phenolic ring 때문이라고 한다(김대중 외, 2010). 공수현 외(2009)는 추정백미, 추정현미쌀, 금종현미쌀의 폴리페놀 함량이 11.1~69.1 mg/100g이라고 보고하였으며, 서선정 외(2008)은 일반 백미와 현미의 총 폴리페놀 함량은 각각 15.15 mg/100g와 57.96 mg/100g인 반면 특수미 중 흑미는 444.38 mg/100, 적색미는 239.67 mg/100g으로 높은 함량을 나타내었다고 하였다. 본 연구에 사용한 가바쌀은 가바현미의 일종으로 일반 백미나 현미보다 폴리페놀 성분이 높게 함유된 것을 알 수 있었다. 효소처리 후 감태 줄기(이승홍 외, 2006), 사과 껍질(박민경, 김철현, 2009) 및 노니(김자민 외, 2020)의 폴리페놀이 높아진 연구 결과와 같은 결과를 보였다. 이는 셀룰로오스를 가수분해하는 효소가 세포벽을 분해하여 불용성의 폴리페놀을 유리형태로 추출하는데 효과적인 역할을 하기 때문이라고 한다(조동화 외, 2018). 또한 강경명 외(2012)는 초음파로 추출하였을 때 상온교반, 감압 추출법 보다 개두릅의 폴리페놀 함량이 높았으며, 김소정 외(2013)도 감태에서 초음파 추출이 열수 추출보다 약 14배 이상 폴리페놀 함량이 높았다고 보고 하였다. 초음파 추출은 추출 시간을 단축하고, 높은 추출 수율과 생리활성 효과를 기대할 수 있는 추출방법(김동호 외, 2006)으로 본 연구의 효소 혼합 및 초음파 복합처리하는 가바쌀의 폴리페놀 추출에 효과적인 방법으로 생각된다.

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 DPPH 라디칼 소거

<표 4> 전처리 방법을 달리한 가바쌀의 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능

| | 총 폴리페놀 함량(mg GAE/g) | DPPH 라디칼 소거능(%) |
|---------|---------------------------|---------------------------|
| 대조군 | 338.33±12.74 ^a | 39.62±0.01 ^a |
| GR-V | 354.33±2.73 ^b | 53.99±0.01 ^d |
| GR-P | 404.67±3.14 ^d | 53.86±0.01 ^c |
| GR-VP | 423.00±2.37 ^e | 55.74±0.04 ^e |
| GR-VPU | 493.01±2.11 ^f | 66.31±0.01 ^f |
| GR-U | 391.03±0.52 ^c | 46.93±0.01 ^b |
| F-value | 572.456 ^{***} | 868206.036 ^{***} |

^{a-f} Means within a column with different superscripts are significantly different by Duncan's test($p<0.05$).

^{***} $p<0.001$

활성 분석 결과, 대조군의 DPPH 라디칼 소거 활성은 39.62%, 실험군은 46.93~66.31%로 나타났다. Viscoflow MG와 Protamex 효소를 혼합 및 초음파 복합처리한 GR-VPU군 (66.31%)이 가장 높았고 Viscoflow MG와 Protamex 효소 혼합처리 GR-VP군 (55.74%), Viscoflow MG 효소 단독처리 GR-V군 (53.99%), Protamex 효소 단독처리 GR-P군 (53.86%), 초음파 단독처리 GR-U군 (46.93%), 대조군 (39.62%) 순으로 효소 또는 초음파 처리에 의해 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가하는 것으로 나타났다. 인삼 추출물(김영찬 외, 2007), 노니주스(김자민 외, 2020), 천도복숭아 음료(윤선주 외, 2010), 쓴 메밀(김지은 외, 2009), 병풀(이경행 외, 2021)은 효소 처리 하였을 때 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가한다고 보고하였으며, 감태 추출물(김소정 외, 2013), 개두릅 추출물(강경명 외, 2012), 아로니아 추출물(김남영 외, 2016), 녹차 추출물(류지연 외, 2017)은 초음파 처리 시에 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가하였다고 보고하여 본 연구결과와 같은 결과를 나타냈다. DPPH는 짙은 보라색으로 그 자체가 라디칼을 갖는 물질로, 라디칼 전자가 비편재화되어 있어 다른 라디칼 물질보다 비교적 안정적 화합물이다. polyphenol, vitamin C, 방향족 아민류 등 항산화 활성을 갖는 물질에 의해 자색이 노란색으로 탈색되는 방법으로 실험되며 비용이 저렴하고 쉽게 식품의 항산화력을 측정하는 방법으로 사용되고 있다(김재연, 2017).

성혜미 외(2014)는 효소 및 초고압 처리에 의해 콩나물의 페놀 함량 증가와 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가하였는데, 이들의 활성은 시료 중의 아미노산, 페놀 및 이소플라본에 대한 의존성이 높으나 그 외 미지의 물질도

관여하는 것으로 추정된다고 보고하였다.

폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성은 양의 상관관계가 있음을 많은 연구에서 보고 되어(서선정 외, 2008), 항산화 활성에 관여하는 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성 증가를 위해 효소를 단독처리 하는 것보다 혼합처리 하는 것이, 혼합처리 하는 것보다 초음파와 복합처리 하는 것이 항산화 활성을 증가시키는 유용한 전처리 방법으로 보인다.

5. 무기질 함량 분석

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 무기질 함량 분석 결과는 <표 5>와 같다.

쌀의 무기질로는 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 철분 등이 함유되어 있는데 이 중 마그네슘과 칼륨의 비는 밥맛과도 높은 상관관계를 갖는다(하태열, 2005). 본 연구에서는 나트륨, 마그네슘, 칼륨, 아연, 칼슘의 무기질 함량을 분석하였다. 분석 결과, 나트륨(Na)의 대조군은 6.32 mg/100 g, 효소처리 가바쌀 함유 실험군(GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU)은 5.05~5.27 mg/100 g으로 대조군보다 유의적으로 낮은 값을 나타냈으며 초음파 처리한 GR-U군은 7.21 mg/100 g으로 대조군보다 높은 값을 나타냈다. 선유경 외(2016)는 효소에 의한 미강과 쌀단백질의 가수분해액이 약 8%, 농축액은 약 20%의 나트륨 저감 효과가 있음을 보고하였다. 따라서 효소 처리 가바쌀 함유 실험군의 나트륨 함량이 감소한 것으로 사료된다.

마그네슘(Mg)과 칼슘(Ca) 함량은 실험군이 유의적으로

<표 5> 전처리 방법을 달리한 가바쌀의 무기질 함량

| | 함량(mg/100 g) | | | | |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Sodium (Na) | Magnesium (Mg) | Calcium (Ca) | Zinc (Zn) | Kalium (K) |
| 대조군 | 6.32±0.02 ^c | 30.05±0.05 ^a | 13.44±0.03 ^b | 1.11±0.02 ^c | 130.36±0.55 ^c |
| GR-V | 5.05±0.01 ^a | 34.82±0.06 ^d | 16.28±0.25 ^c | 0.96±0.06 ^a | 121.09±0.08 ^b |
| GR-P | 5.10±0.02 ^a | 37.14±0.03 ^f | 12.28±0.07 ^a | 1.01±0.01 ^{ab} | 130.03±0.04 ^c |
| GR-VP | 5.27±0.04 ^b | 35.23±0.01 ^e | 12.20±0.10 ^a | 0.95±0.05 ^a | 115.35±0.31 ^a |
| GR-VPU | 5.17±0.01 ^{ab} | 34.52±0.04 ^c | 20.88±0.07 ^d | 1.04±0.03 ^b | 128.27±0.23 ^d |
| GR-U | 7.21±0.18 ^d | 33.08±0.06 ^b | 21.89±0.09 ^e | 0.95±0.05 ^a | 126.26±0.22 ^c |
| F-value | 391.219 ^{***} | 9292.330 ^{***} | 3815.026 ^{***} | 8.614 ^{**} | 1223.151 ^{***} |

^{a-f} Means within a column with a same letter are not significantly different by Duncan's test($p < 0.05$)

^{**} $p < 0.001$, ^{***} $p < 0.001$

높은 값을 나타냈으나 아연(Zn)과 칼륨(K)의 함량은 대조군에 비해 실험군이 유의적으로 낮은 값을 나타내었다.

가바쌀 분말의 무기질 함량은 칼륨이 가장 높고 마그네슘, 칼슘, 나트륨, 아연 순으로 나타났다. 현미와 백미의 무기질 함량이 인이 가장 높고 칼륨, 마그네슘, 칼슘, 아연, 망간, 철의 순으로 나타난 김미숙 외(2004)의 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 반면 이원경 외(1987)는 쌀의 무기질 함량이 마그네슘이 가장 높고 칼륨, 칼슘, 망간, 철, 구리, 인, 나트륨, 아연 순으로 나타났고, 김성곤 외(1984)는 인이 가장 높고 칼륨, 마그네슘, 칼슘, 나트륨, 아연, 철, 구리 순으로 나타내어 다른 결과를 나타냈다. 쌀의 무기질은 일반적으로 쌀알의 바깥층에 많으며 도정도가 증가할수록 감소된다(김성곤 외, 1990). 또한 쌀의 품종과 계통, 토양의 조건에 의해 상당한 차이가 있으며 무기질 조성은 자라는 토양의 영양 이용성에 상당히 의존하며 연구 간에 차이를 보인다(김미숙 외, 2004).

곡류의 세포벽은 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스, 리그닌, 펙틴 및 당단백질 등의 고분자 물질로 이루어져 있으며 대부분 수소결합과 공유결합 등을 통하여 강하게 결합되어 소화흡수율이 낮을 뿐 아니라 비타민, 무기질 및 생리활성 물질들도 생체 이용률이 매우 낮다(이유석 외, 2019). 효소 및 초음파 처리와 같은 가공과정을 거치면 무기질 용출로 인한 함량 증가 및 체내 이용도가 높아진다고 보고된다(주레이위, 2020). 조용준 외(2014)는 메밀 쌀에 비하여 효소 처리한 메밀 분말의 칼슘, 칼륨, 마그네슘 함량이 증가하였고, 김일두 외(2013)는 초음파 처리 감잎차 찻물의 마그네슘, 나트륨 함량이 증가하였다고 보고하여 본 연구결과와 차이를 나타냈다.

6. 유리 아미노산 함량 분석

전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 유리 아미노산 함량 분석 결과는 <표 6>과 같다.

필수 아미노산 함량은 GR-VPU군이 44.31 mg/L로 가장 높았으며, GR-VP군 35.61 mg/L, GR-P군 31.81 mg/L, GR-V군 13.47 mg/L, GR-U군 10.78 mg/L, 대조군 9.86 mg/L 순으로 낮아졌다($p < 0.001$). 대조군과 비교해 효소 및 초음파를 복합처리한 GR-VPU군에서 valine은 3배, leucine은 5배, phenylalanine은 5.5배, Lysine은 6.8배 높은 함량이 검출되었다.

비필수 아미노산 함량도 GR-VPU군이 95.85 mg/L로 가장 높은 함량이 검출되었고, GR-VP군 76.39 mg/L,

GR-P군 73.37 mg/L, GR-V군 62.56 mg/L, GR-U군 59.39 mg/L, 대조군 52.29 mg/L 순으로 낮은 함량을 나타냈다($p < 0.001$).

주된 비필수 아미노산으로는 γ -aminobutyric acid(GABA)와 alanine이 검출되었으며 이 중 γ -aminobutyric acid(GABA)의 함량은 대조군 35.2 mg/L, GR-VPU군은 53.6 mg/L로 1.5배 이상 높은 함량이 검출되었으며, alanine 함량은 대조군이 5.02 mg/L, GR-VPU군은 10.42 mg/L로 2배 이상 높게 검출되었다. γ -aminobutyric acid의 전구물질인 glutamic acid 함량 역시 대조군(1.70 mg/L)보다 GR-VPU군(2.31 mg/L)이 가장 높게 검출되었다. 김은옥 외(2008)는 갈색메벼의 GABA, alanine, glutamic acid 함량이 각각 13.08, 6.65, 6.61 mg%로 검출되었다고 보고하여 본 연구결과와 차이가 있었다. 이는 유리아미노산 측정 시 가바쌀의 전처리 과정이 달라서 나온 결과로 판단된다.

김은옥 외(2008)의 연구에 의하면 가바현미가 일반현미에 비해 GABA 함량이 약 8배 정도 높다고 보고하였다. 쌀을 이용하여 제품을 개발했을 때의 GABA 함량은 원재료인 쌀에 있는 GABA 함량과는 다른 것으로 보고된다(황은선 외, 2020). 신수정 외(2015)는 가바현미를 첨가하여 제조한 막걸리의 GABA 함량이 시판 막걸리보다 2배 가량 높은 함량을 보였다. 본 연구에서 혼합효소 및 초음파 복합처리에 의해 GABA 함량이 1.5배 증가된 분말을 제품에 적용하였을 때 GABA 함량이 높고 기능성이 향상된 제품을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

총 유리아미노산의 함량은 GR-VPU군이 140.15 mg/L로 가장 높았고, GR-VP군 111.01 mg/L, GR-P군 105.18 mg/L, GR-V군 76.33 mg/L, GR-U군 70.18 mg/L, 대조군 66.15 mg/L 순으로 낮아져($p < 0.001$), 효소 및 초음파 처리로 인해 아미노산의 함량 및 구성 비율의 차이가 나타났다.

효소 및 초음파 처리 후 유리아미노산 함량이 증가한 결과는 효소 및 초음파 처리로 인한 세포벽의 구조적 변화와 관련이 있다. 본 연구에서도 효소에 의한 세포벽의 구조적 변화가 초음파 처리로 인해 더욱 증가하여 세포 내 아미노산 추출 효율을 증가시켜, 효소 및 초음파 복합 처리 시 유리아미노산의 함량이 증가한 것으로 판단된다. 김창원 외(2011)는 단일효소보다 혼합효소를 처리하였을 때 총 유리아미노산의 함량이 가장 높았다고 보고하였고, 장세영 외(2008)도 효소처리한 고아미의 가수분해분말의 총 유리아미노산 및 필수아미노산 함량이 높게 나타났다

고 보고하여 본 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다. 이는 효소처리에 의해 고분자 단백질이 아미노산으로 분해됨에 따라 나타나는 결과로 판단된다. 진혜주(2016)의 연구에 의하면 분지아미노산인 valine, leucine 및 isoleucine 등의 지질과산화억제능을 측정된 결과, valine이 높은 항산화 효과를 나타내었으며, 백소영(2015)은 분지아미노산 혼합 식이를 섭취한 흰쥐의 비장에서 산화적 스트레스

로 인한 DNA 손상 보호 효과가 있음을 보고하여 분지아미노산은 항산화 활성을 보이는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서 leucine 및 valine은 대조군보다 모든 전처리군에 높은 함량을 보여 이로 인해 항산화 활성이 향상될 것으로 판단되며, 앞선 연구결과의 가바쌀 분말의 DPPH 라디칼 소거활성이 증가의 원인으로 사료된다.

〈표 6〉 전처리 방법을 달리한 가바쌀 분말의 유리아미노산 함량

| | 함량(mg/L) | | | | | | F-value |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 대조군 | GR-V | GR-P | GR-VP | GR-VPU | GR-U | |
| 필수 아미노산 | | | | | | | |
| Threonine | 1.23±0.02 ^a | 1.51±0.01 ^b | 2.73±0.02 ^c | 3.05±0.03 ^d | 3.75±0.15 ^e | 1.44±0.02 ^b | 833.013 ^{***4)} |
| Valine | 2.54±0.03 ^a | 3.05±0.03 ^c | 5.62±0.06 ^d | 6.16±0.06 ^e | 7.75±0.07 ^f | 2.71±0.10 ^b | 3539.108 ^{***} |
| Methionine | 0.57±0.05 ^a | 0.79±0.02 ^b | 2.13±0.11 ^c | 2.40±0.02 ^d | 2.94±0.02 ^e | 0.65±0.03 ^a | 1145.806 ^{***} |
| Isoleucine | 1.04±0.01 ^a | 1.39±0.03 ^b | 3.44±0.02 ^c | 3.86±0.04 ^d | 4.93±0.04 ^e | 1.09±0.01 ^a | 11022.659 ^{***} |
| Leucine | 1.89±0.03 ^a | 2.56±0.08 ^b | 8.01±0.005 ^c | 9.01±0.01 ^d | 11.35±0.17 ^e | 1.94±0.07 ^a | 7708.204 ^{***} |
| Phenylalanine | 1.12±0.01 ^a | 1.54±0.03 ^b | 4.33±0.02 ^c | 4.74±0.19 ^d | 6.16±0.12 ^e | 1.17±0.02 ^a | 1572.450 ^{***} |
| Lysine | 0.87±0.03 ^a | 1.95±0.03 ^c | 4.36±0.11 ^d | 5.13±0.12 ^e | 5.91±0.09 ^f | 1.08±0.06 ^b | 2232.636 ^{***} |
| Histidine | 0.60±0.04 ^a | 0.68±0.01 ^{ab} | 1.19±0.08 ^c | 1.27±0.01 ^d | 1.51±0.02 ^e | 0.71±0.05 ^b | 225.238 ^{***} |
| 소계 | 9.86±0.67 ^a | 13.47±0.82 ^b | 31.81±2.15 ^c | 35.61±2.42 ^d | 44.31±3.06 ^e | 10.78±0.68 ^f | 8909.923 ^{***} |
| 비필수 아미노산 | | | | | | | |
| Proline | 1.57±0.05 ^a | 2.71±0.14 ^c | 3.44±0.06 ^d | 3.67±0.05 ^e | 4.66±0.10 ^f | 1.66±0.06 ^b | 656.737 ^{***4)} |
| Aspartic acid | 0.82±0.02 ^a | 0.80±0.02 ^a | 2.07±0.08 ^d | 1.17±0.03 ^{bc} | 1.20±0.07 ^c | 1.08±0.07 ^b | 212.997 ^{***} |
| Serine | 2.16±0.10 ^a | 2.42±0.08 ^b | 3.76±0.08 ^c | 4.15±0.12 ^d | 4.99±0.09 ^e | 2.51±0.06 ^b | 481.658 ^{***} |
| Glutamic acid | 1.70±0.09 ^a | 1.88±0.06 ^b | 2.02±0.02 ^c | 2.14±0.05 ^d | 2.31±0.07 ^e | 1.98±0.03 ^c | 39.061 ^{***} |
| Glycine | 0.80±0.03 ^a | 0.96±0.02 ^b | 1.46±0.04 ^c | 1.61±0.06 ^d | 1.97±0.05 ^e | 0.97±0.01 ^b | 379.260 ^{***} |
| Alanine | 5.02±0.01 ^a | 5.18±0.03 ^a | 7.70±0.08 ^c | 8.52±0.10 ^d | 10.42±0.29 ^e | 6.62±0.12 ^b | 675.252 ^{***} |
| α-Aminobutyric acid | - | 0.08±0.02 ^b | - | - | - | - | 55.014 ^{***} |
| Tyrosine | 1.28±0.04 ^a | 1.57±0.08 ^b | 3.80±0.08 ^c | 4.13±0.10 ^d | 5.32±0.05 ^e | 1.35±0.01 ^a | 2097.339 ^{***} |
| β-Alanine | 1.26±0.03 ^c | 1.20±0.01 ^b | 1.30±0.01 ^d | 1.42±0.01 ^e | 1.47±0.01 ^f | 1.14±0.02 ^a | 201.003 ^{***} |
| β-Aminoisobutyric acid | 0.10±0.01 ^d | 0.15±0.01 ^e | 0.07±0.01 ^b | 0.06±0.01 ^b | 0.08±0.002 ^c | nd | 151.558 ^{***} |
| γ-Aminobutyric acid(GABA) | 35.2±0.02 ^a | 41.3±0.03 ^c | 40.7±0.04 ^c | 41.8±0.01 ^c | 53.6±0.20 ^d | 38.8±0.11 ^b | 128.960 ^{***} |
| Aminoethanol | 0.41±0.01 ^c | 0.43±0.02 ^d | 0.37±0.01 ^a | 0.39±0.01 ^b | 0.46±0.004 ^e | 0.45±0.01 ^c | 46.102 ^{***} |
| Ornithine | nd | nd | 0.03±0.01 ^b | 0.05±0.002 ^c | 0.06±0.001 ^d | nd | 396.295 ^{***} |
| Arginine | 2.65±0.04 ^a | 4.35±0.02 ^c | 7.28±0.03 ^d | 7.90±0.03 ^e | 9.55±0.03 ^f | 2.75±0.01 ^b | 34203.247 ^{***} |
| 소계 | 52.29±1.44 ^a | 62.56±1.70 ^b | 73.37±2.51 ^c | 76.39±2.77 ^d | 95.85±3.43 ^e | 59.39±1.81 ^f | 6339.178 ^{***} |
| 총계 | 66.15±0.54 ^a | 76.33±0.62 ^b | 105.18±0.26 ^c | 111.01±0.25 ^d | 140.15±0.26 ^e | 70.18±0.79 ^f | 12907.197 ^{***} |

^{a-f} Means within a row with different superscripts are significantly different by Duncan's test($p < 0.05$).

^{***} $p < 0.001$

IV. 요약

본 연구에서는 생리활성이 뛰어난 가바쌀의 식품소재로서 활용성 증대를 위해 가바쌀(*Oryza sativa* L.)에 효소(Viscoflow MG, Protamex)와 초음파를 단독 또는 복합처리하여 제조한 가바쌀 분말의 이화학 특성 및 항산화 활성을 관찰하였다. 가바쌀 무처리군을 대조군으로 하였고, 실험군은 Viscoflow MG 처리군(GR-V), Protamex 처리군(GR-P), Viscoflow MG, Protamex 혼합처리군(GR-VP), 혼합효소 및 초음파처리군(GR-VPU), 초음파 단독처리군(GR-U)으로 분말을 제조하여 평가하였다. 일반 성분 분석 결과, 수분 함량은 초음파 단독 처리군(GR-U)이, 조희분은 효소 단독처리군(GR-V, GR-P)이, 조단백질은 혼합효소 및 초음파처리군(GR-VPU)이, 탄수화물은 Protamex 처리군(GR-P)이 가장 높았다($p < 0.01$). 조지방은 시료 간 유의적 차이는 나타나지 않았다. pH 및 당도 측정 결과, 대조군보다 효소처리 실험군(GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU)이 유의적으로 낮았으며 ($p < 0.001$), 초음파 단독처리군은 초음파 단독 처리군(GR-U)은 유의적 차이가 없었다. 색도 측정 결과, L(명도)값은 대조군보다 실험군이 유의적으로 높았으나 ($p < 0.001$), a(적색도) 및 b(황색도)값은 실험군이 유의적으로 낮았다($p < 0.001$). 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성 분석 결과, 대조군보다 실험군이 유의적으로 높은 활성을 나타냈다($p < 0.001$). 무기질 함량 분석 결과, Na은 대조군보다 효소처리 실험군(GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU)이 유의적으로 낮은 값을 나타냈으나 초음파 단독처리군(GR-U)이 유의적으로 높은 값을 나타냈다. Mg 및 Ca 함량은 대조군에 비해 실험군이 유의적으로 높은 값을 나타냈고, Zn 및 K 함량은 실험군이 유의적으로 낮은 값을 나타냈다. 유리 아미노산 함량 분석 결과, 대조군이 가장 낮고 GR-U, GR-V, GR-P, GR-VP, GR-VPU 순으로 높아졌으며($p < 0.001$), 혼합효소 및 초음파처리군(GR-VPU)이 대조군보다 alanine 2배, valine 3배, leucine 5배, phenylalanine 5.5배, lysine 6.8배의 높은 함량이 검출되었고 특히, GABA(γ -aminobutyric acid)는 1.5배 이상 높은 함량이 검출되었다. 따라서 가바쌀의 전처리 방법으로 Viscoflow MG와 Protamex 2종과 초음파를 복합처리하는 것이 항산화 활성 및 기능성 증진 효과를 보이는 것으로 나타났다.

주제어: 가바쌀, 품질특성, 효소전처리, 초음파전처리

REFERENCES

강경명, 노홍균, 박창수, 윤광섭, ... 이신호(2012). 추출 방법이 개두릅 추출물의 항산화 활성에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, 41(12), 1686-1692.

공수현, 최용민, 김영화, 김대중, 이준수(2009). 금종쌀 Methanol 추출물의 항산화 성분 및 항산화 효과. *한국식품영양과학회지*, (38)6, 807-811.

곽은정(2010). GABA 함량이 높은 갈색 유색미를 이용한 차 개발. *한국식품영양과학회지*, 39(8), 1201-1206.

김남영, 이정민, 이재용, 이현용(2016). 아로니아 저온 초음파 추출물의 항비만 활성 증진. *한국약용작물학회지*, 24(4), 309-316.

김대중, 오세관, 윤미라, 천아름, ..., 김연규(2010). 벼 품종별 현미와 백미 70% 에탄올 추출물의 항산화 성분 및 항산화 효과. *한국식품영양과학회지*, 39(3), 467-473.

김도희, 김수민, 김한빛, 문광덕(2012). 반응표면분석법으로 최적화한 초음파와 저온 블렌칭의 병용처리 조건이 신선편이 양상추의 갈변과 품질에 미치는 영향. *한국식품저장유통학회지*, 19(4), 470-476.

김동호, 김현중, 정봉우(2006). 초음파를 이용한 *Haematococcus pluvialis*로부터 항산화 물질 추출. *공학연구*, 37, 79-86.

김래영, 박재희, 김창순(2011). 효소 전처리에 의한 습식 제분 쌀가루의 이화학적 특성. *한국식품영양과학회지*, 40(9), 1300-1306.

김미숙, 양혜란, 정윤희(2004). 현미와 백미의 품종별 무기질 함량. *한국식품영양과학회지*, 33(2), 443-446.

김선화, 황인욱, 정신교, 서영진, ... 김미연(2015). 효소 처리에 따른 단삼 추추물의 이화학적 특성. *한국식품저장유통학회지*, 22(5), 699-707.

김성곤, 김일환, 한양일, 박흥현, ... 조만희(1984). 우리나라 쌀의 칼로리, 무기질 및 아미노산 함량. *한국식품영양과학회지*, 13(4), 372-376.

김성곤, 한양일, 김을상(1990). 일반계 및 다수계 현미와 백미의 무기질 함량. *한국영양과학회지*, 19(4), 285-290.

김성일, 윤상원(1998). GABA가 함유된 녹차가 뇌파 및 학습능력에 미치는 영향에 관한 통계적 분석 연구. *한국정신과학회지*, 2(1), 84-91.

김세리, 오기원, 이명희, 정찬식, ... 정덕화(2012). 유기산

- 및 초음파 병용처리된 전해수를 이용한 들깨잎 중 *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*의 저감효과. *한국식품위생안전성학회지*, 27(3), 264-270.
- 김소정, 김동균, 박종범, 이택건(2013). 초음파 추출법에 의한 감태 추출물의 페놀성 화합물 함량, DPPH 라디칼 소거 활성 및 tyrosinase 저해 활성 분석. *생명과학회지*, 23(7), 913-918.
- 김영식(1993). 두개내압상승에 의한 혈압상승작용과 중추 GABA계 및 중추 α_2 -아드레날린 수용체와의 관계. *대한약리학회지*, 29(1), 23-32.
- 김영찬, 조장원, 이영경, 유경미, 노정해(2007). 효소처리와 열처리에 의한 인삼 추출물의 항산화 활성. *한국식품영양과학회지*, 36(11), 1482-1485.
- 김요셉, 박나영, 노홍균(2016). 양파분말을 첨가한 국수의 품질과 저장성. *한국식품저장유통학회지*, 23(2), 218-224.
- 김은비, 김은주, 이한나, 이민경, ... 이숙영(2008). 효소처리를 달리한 조식대두단백을 이용하여 제조한 콩까스의 품질특성. *한국식생활문화학회지*, 23(4), 507-513.
- 김은옥, 오지혜, 이기택, 임정교, ... 최상원(2008). 유색미의 화학적성분 및 항산화활성. *한국식품저장유통학회지*, 15(1), 118-124.
- 김일두, 채용곤, 김혜련, 손진환, ... 신동현(2013). 처리 방법에 따른 감잎차 찻물의 품질 특성. *한국외식산업학회지*, 9(1), 7-14.
- 김자민, 전연희, 정용진, 윤경영(2020). 효소처리 노니주스와 시판 노니주스의 기능성 성분, 산화방지 활성 및 NO 생성 억제 효과. *한국식품과학회지*, 52(1), 75-80.
- 김자민, 전연희, 정용진, 윤경영(2020). 효소처리 노니주스와 시판 노니주스의 기능성 성분, 산화방지 활성 및 NO 생성 억제 효과. *한국식품과학회지*, 52(1), 75-80.
- 김재연(2017). 자색고구마 농축액을 첨가한 생면 파스타의 품질특성 및 항산화성. 세종대학교 석사학위논문.
- 김정아, 임부혁(2019). 효소처리에 의한 천연 마카음료 개발을 위한 최적 추출 조건. *한국식생활문화학회지*, 34(3), 361-368.
- 김지은, 주성일, 서지현, 이삼빈(2009). 용매 종류와 효소 처리에 따른 쓴 메밀 추출물의 항산화 활성 및 α -Glucosidase 저해 활성의 변화. *한국식품영양과학회지*, 38(8), 989-995.
- 김창원, 백무열, 김현석, 김병용(2011). 탈지미강 단백질의 가수분해 및 분해물의 특성 연구. *산업식품공학*, 15(1), 41-47.
- 김혜진, 김지현, 이승주, 김왕준, ... 홍광원(2015). 초음파와 효소처리가 국산 6조맥의 당화에서 환원당 생성에 미치는 영향. *산업식품공학*, 19(1), 56-61.
- 남윤민, 권주희, 홍정태, 양병욱, 고성권(2016). 초음파 처리에 의한 인삼꽃대 엑스의 진세노사이드 성분 변화. *생약학회지*, 47(1), 73-78.
- 류지연, 송연우, 문정용, 전능재, 김소미(2017). 녹차와 로즈마리 추출물을 첨가한 두유의 항산화 활성. *한국식품저장유통학회지*, 24(6), 871-878.
- 문유진, 전수정, 홍예은, 자오위샤, ... 권미라(2018). 시판 국산밀가루의 품질특성과 건면 제조적성. *한국식품조리과학회지*, 34(4), 366-374.
- 박민경, 김철현(2009). Cellulase와 Pectinase를 이용한 사과껍질 폴리페놀 추출 및 항산화 활성 평가. *한국식품영양과학회지*, 38(5), 535-540.
- 박선옥, 김진만(2012). 면역조절 기능식품 - 베타글루칸. *식품과학과 산업*, 45(1), 39-47
- 박윤정(1998). 유과제조를 위한 찹쌀칩지과정 중 이화학적 특성 및 미생물상의 변화. 이화여자대학교 석사학위 논문.
- 박진홍, 이현수, 문형철, 김대호, ... 이현용(2004). 초음파 병행 추출을 이용한 가시오갈피, 마황, 복분자 및 인진쑥의 항암활성 증진. *한국약용작물학회지*, 12(4), 273-278.
- 박충균, 박성하, 전덕수, 김현대, ... 정인철(2001). 초음파 처리가 가열 계육의 이화학적 성질 및 기호성에 미치는 영향. *한국축산식품학회지*, 21(2), 126-132.
- 백소영(2015). 지질다당체로 급성염증을 유도한 흰 쥐에서 측쇄아미노산의 항산화체계 및 염증반응에 미치는 효과. 경남대학교 석사학위논문.
- 서선정, 최용민, 이선미, 공수현, 이준수(2008). 여러 가지 특수미의 항산화 활성 및 항산화 성분. *한국식품영양과학회지*, 37(2), 129-135.
- 서학수(2007). 잡초성벼의 유용형질을 이용한 벼 신품종 개발. 경기도: 과학기술부
- 선유경, 구후모, 양은주(2016). 황국균과 효소를 이용한 미강과 쌀단백질 가수분해물의 품질특성. *한국식품*

- 영양과학회 학술대회발표집(p.417-417), 서울, 한국성혜미, 김숙정, 김정미, 윤수정, ... 위치향(2014). 효소 처리와 초고압 처리에 의한 콩나물 추출물의 항산화 활성. 한국식품영양과학회지, 43(8), 1228-1235.
- 신수정(2012). 가바(GABA)쌀을 이용한 막걸리 제조와 이화학 및 관능 특성. 영남대학교 석사학위논문.
- 신수정, 김상욱, 정현채, 한기동(2015). 전통 제주방법인 급침주법으로 제조한 가바쌀막걸리의 품질 특성. 한국식품영양과학회지, 44(4), 573-578.
- 윤신주, 이은탁, 조준구, 김덕진(2010). 효소처리에 의한 천도복숭아 음료의 기능성 증진. 한국식품영양과학회지, 39(9), 1379-1383.
- 이경행, 주가영, 김채영, 한기정, ... 배운정(2021). 효소처리 병풀(*Centella asiatica*)의 이화학적 품질 변화 및 이를 이용한 잼의 제조. 한국식품영양과학회지, 34(6), 612-620.
- 이수정(2016). 제다방법에 따른 발효차의 화학성분 비교. 경남과학기술대학교 석사학위논문.
- 이승홍, 김길남, 차선희, 안근내, 전유진(2006). 감태(*Ecklonia cava*) 줄기 및 잎의 효소적 추출물과 메탄올 추출물에 의한 항산화 활성비교. 한국식품영양과학회지, 35(9), 1139-1145.
- 이원경, 김정림, 이명환(1987). 국균을 달리한 탁주 양조 중 유리아미노산 및 유기산의 소장. 한국농화학회지, 30(4), 323-327.
- 이유석, 이선경, 지수현, 조경숙, 강정화(2019). 효소처리 울무의 연화도 향상 및 변비개선 효과. 한국식품저장유통학회지, 26(6), 697-702.
- 이종열, 최구희, 이경행(2015). 복합효소를 이용한 고추 추출액의 이화학적 및 관능적 특성. 한국식품영양과학회지, 28(4), 628-634.
- 이종원, 박채규, 도재호(2005). 고려홍삼으로부터 분리한 수용성 갈변물질의 항산화 활성. 고려인삼학회지, 29(1), 44-48.
- 이혜영(2011). 쌀 단백질 분해를 이용한 천연 향미 소재의 개발. 세종대학교 석사학위논문.
- 임상동, 김기성(2009). GABA의 효능과 이용. 한국낙농식품응용생물학회지, 27(1), 45-51.
- 장세영, 우승미, 김태영, 여수환, ... 정용진(2008) 현미(고아미) 알코올발효 부산물의 효소처리에 따른 품질특성. 한국식품저장유통학회지, 15(3):, 477-482.
- 장세진, 조용준, 서지형, 김옥미, 정용진(2014). 참외 저급과 주스의 청정화를 위한 효소처리 조건. 한국식품저장유통학회지, 21(4), 506-511.
- 전영훈, 윤덕미, 남택상, 임중우, 백광세(2006). 백서에서 신경압박 손상에 의해 유발된 과민반응에서 척추 및 말초 GABA-A와 B 수용체 작용제에 의한 완화효과. 대한통증학회지, 19(1), 22-32.
- 정동식, 은종방(2003). 흑미가루를 첨가한 밀가루 반죽의 물리적 특성. 한국식품과학회지, 35(1), 38-43.
- 정소희, 박희전, 신말식, 박철수, 송지영(2017). 초음파처리가 주스용 과일과 채소의 물리적·기능적 특성에 미치는 영향. 한국식품조리과학회지, 33(4), 387-394.
- 정유정, 김성학, 민희경, 김성천(2018). 혼합염양 배양에서 *Chlorella protothecoides*의 GABA를 포함한 아미노산 함량 분석. 한국해양바이오학회지, 10(1), 18-25.
- 정하열, 이형진(2014). 쌀단백질 잔사 효소분해물의 풍미 증진 효과. 산업식품공학, 18(2), 140-145.
- 정해원, 정해정(2013). GABA 함량이 증가된 현미 첨가 쿠키의 품질특성과 아미노산 함량. 한국식품영양과학회지, 42(11), 1813-1820.
- 정혜윤, 성기협, 박종현(2018). 복분자 분말을 첨가한 생면의 품질특성 및 항산화 활성. 한국외식산업학회지, 14(2), 7-20.
- 조동화, 이석기, 박지영, 박혜영, ... 오세관(2018). 세포벽 분해효소 처리가 현미의 페놀화합물 함량과 항산화 활성에 미치는 영향. 한국식품영양과학회지, 47(6), 605-611.
- 조용준, 서지형, 정용진(2014). 습식분쇄 시간에 따른 통메밀 분말의 품질특성. 한국식품저장유통학회지, 21(2), 181-186.
- 조유상(2022). 새싹 귀리를 첨가한 생면의 최적화연구. 경기대학교 석사학위논문.
- 주레이위(2020). 효소와 복합 유산균으로 전처리한 밀싹 분말을 첨가한 식빵의 제조 및 품질특성. 군산대학교 박사학위논문.
- 진혜주(2016). Antioxidative, anticancer, and anti-inflammatory effects of branched-chain amino acids. 건국대학교 석사학위논문.
- 최수영, 임수연, 정우석, 유경미, 황인경(2015). 마카롱 제조 시 가바쌀 가루와 자일로스의 첨가에 따른 품질 특성과 생리 활성에 대한 연구. 동아시아식생활학회지, 25(5), 822-829.

- 최예진(2000). 진품콩과 탈지대두박의 배합비율 및 단백질 분해효소처리를 달리하여 제조한 콩치즈의 품질특성. 중앙대학교 석사학위논문.
- 최영호(2021). 유색미를 첨가한 당면의 품질특성에 관한 연구. 세종대학교 박사학위논문
- 최은희, 이재권(2017). 초음파처리가 옥수수전분의 이화학적특성과 가공 형성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 49(5), 507-512.
- 피경태, 김근철(2013). Pectinase 처리 전후의 현미의 물리적 변화 분석. 생명과학회지, 23(4), 554-559.
- 하유진, 김주신, 유선균(2019). 프로테아제 종류에 따른 이용한 연산 오계육 단백질 가수분해물의 아미노산 및 생리활성 특성. 한국응용과학기술학회지, 36(3), 1018-1027.
- 하태열(2005). 쌀의 기능적 우수성. 식품산업과 영양, 13(2), 22-26.
- 한유진, 이순희, 한정아(2017). OSA-감자 텍스트린의 구조 및 유화 특성 연구. 한국식품과학회지, 49(1), 8-13.
- 허근, 이수진, 신익섭, 박종민(1995). 천마의 항경련작용 기전 연구. 응용약물학회지, 3(3), 199-204.
- 황은선, 손은명, 이시아(2020). 쌀 종류에 따른 식혜의 품질특성 및 항산화 활성. 한국식품영양과학회지, 49(6), 592-600.
- 황철승, 정도영, 김용석, 나종민, 신동화(2005). 팥 침출액의 이화학적 특성에 대한 효소처리의 영향. 한국식품과학회지, 37(2), 189-193.
- 황혜림, 김경희, 이정, 정종태, ... 육홍선(2009). 재배조건(이앙시기, 수확시기, 질소시비)별 쌀의 무기질 조성 비교. 한국식품영양과학회지, 38(6), 721-726.
- AOAC International(1996). Official Methods of Analysis of AOAC International(16th ed.). Arlington: Association of Official Analytical Chemist International
- AOAC. (1996). The Association of Official Methods of Analysis(16th ed.). Arlington: Association of Official Analytical Chemist.
- Kwon, Y. A., Lee, K. G., Lee, S. J., Hong, K. W. (2012). Improving qualities of rice beer using enzymes and amino acids. Food Engineering Progress, 16(2), 151-156.
- Mody, I., De Koninck, Y., Otis, T. S., & Soltesz, I. (1994). Bringing the cleft at GABA synapses in the brain. Trends In Neurosciences, 17(12), 517-525.
- Olawuyi, I. F. (2020). Enzyme-ultrasonic Extraction of Functional Polysaccharides from Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) : Characterization and Food Applications. 경북대학교 석사학위논문.
- Sung, D. E., Lee, J., Han, Y. S., Shon, D. H., ... & Do, J. R. (2014). Effects of enzymatic hydrolysis of buckwheat protein on antigenicity and allergenicity. Nutrition Research and Practice, 8(3), 278-283.

Received 21 November 2022;

1st Revised 13 December 2022;

Accepted 16 January 2023