Food Sci. Preserv., 31(6), 879-886 (2024)
pISSN: 3022-5477, eISSN: 3022-5485

Food Science and Preservation
https://doi.org/10.11002/fsp.2024.31.6.879

Special Topic

Changes in total dietary fiber content and quality of brown rice bran by complex fermentation

현미 미강의 복합발효에 따른 총식이섬유 함량 및 품질 변화

Sun Hwa Kim[1], Shin Young Oh[2], Ju Beom Kang[2], Yong-Jin Jeong[2,3]*
김선화[1] · 오신영[2] · 강주범[2] · 정용진[2,3]*

[1]*Ancient Grains Materialization Research Institute, GrainOn Co., Ltd, Daegu 41065, Korea*
[2]*KMF Co., Ltd., Daegu 41065, Korea*
[3]*Department of Food Science and Technology, Keimyung University, Daegu 42601, Korea*

[1]*(주)그레인온 고대곡물소재화연구소,* [2]*(주)케이엠에프,* [3]*계명대학교 식품가공학과*

Abstract This study analyzed total dietary fiber content and quality characteristics according to complex fermentation (enzyme and yeast) of brown rice bran as a recycling resource. The initial fermentation conditions were set at 30℃ and 50 rpm, and the results of fermentation for 48, 60, and 72 h are as follows. When fermented for 60 h. The total dietary fiber content (61.23 g/100 g) was higher than that of the control group (31.54 g/100 g). Under the set conditions (30℃, 50 rpm for 60 h), complex fermentation was performed to investigate quality. The pH changes on decreased from pH 6.56 (control) to pH 3.99-4.01. Total dietary fiber content was rice bran not prozyme GA & *Saccharomyces cerevisiae* treatment (RB_NT) (61.23 g/100 g) and rice bran prozyme GA & *Saccharomyces cerevisiae* treatment (RB_T) (62.39 g/100 g). β-glucan content tended to decrease with RB_NT (18.01% (w/w)) and RB_T (16.55% (w/w)). Water-holding capacity increased by 1.84 g water/g solid in the control to RB_NT (4.37 g water/g solid) and RB_T (4.51 g water/g solid). As a result of the above, the conditions for complex fermentation of brown rice bran were 30℃ and 50 rpm for 60 h, and basic data for industrial materialization could be established.

Keywords brown rice bran, complex fermentation, total dietary fiber, β-glucan content, water-holding capacity

OPEN ACCESS

Citation: Kim SH, Oh SY, Kang JB, Jeong YJ. Changes in total dietary fiber content and quality of brown rice bran by complex fermentation. Food Sci. Preserv., 31(6), 879-886 (2024)

Received: August 08, 2024
Revised: December 02, 2024
Accepted: December 04, 2024

***Corresponding author**
Yong-Jin Jeong
Tel: +82-53-584-6523
E-mail: yjjeong@kmu.ac.kr

Copyright © 2024 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

현미 미강은 현미를 백미로 도정 과정 중에서 얻을 수 있는 부산물 중의 하나로(Yoo, 2003), 벼의 품종, 재배 환경 및 도정 방법 등에 따라 차이는 있으나, 수분함량 14.0%를 기준으로 할 때 현미 미강에는 단백질 11.0-17.0%, 지방 15.0-0.0%, 탄수화물 34.0-52.0%가 함유된 것으로 보고되어 있다(Nagendra 등, 2011). 현미 미강에는 식이섬유뿐만 아니라 gamma amino butyric acid(GABA), 비타민 B군, 비타민 E 및 Ca, P, Mg, F와 같은 미네랄이 다량 함유되어 있다(Bae 등, 2002; Jang 등, 2008). 현미 미강의 주요 효능은 항산화 활성, 항염증 활성(Park과 Kim, 2011), 항암 활성(Nam 등, 2005), 콜레스테롤 저하 효과(Revilla 등, 2009), 혈압 상승 억제 효과, 염증 반응억제 활성(Choi 등, 2004) 등 다양한 생리 활성이 보고되어 있다(Oh 등, 2010).

미강은 현미의 약 8.0-10.0% 정도로 연간 385,000톤 정도 생산되며, 보관 중, 미생물의 작용 및 열처리를 통해 발생되는 산패를 방지하는 데 중요한 역할을 하는 lipase는, 식이섬유의 화학적 조성 및 인체의 생리적 기능에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Payne, 1987). 미강 생산량의 30% 정도

만이 미강유 제조로 재활용되고 나머지 활용되지 못하고 폐기물로 처리되고 있어 생리활성 자원으로서 미강의 다양한 활용 방안이 필요한 실정이다(Kim, 2003). 또한, 식품의 기호성 증진을 위해 과거보다 더 정교해지는 곡류의 도정 과정으로 인해 미강 발생량은 계속 증가할 것으로 예상된다(Choi 등, 2006). 특히, 미강에 다량 함유된 식이섬유는 인체내 비소화성 물질로서 lignin, pectin, gum cellulose, hemicellulose 등을 함유하고 있어(Lee와 Shin, 2006), 생리활성 인자 및 영양학적으로 중요한 기능성 소재 중의 하나로 인식되고 있다. 이에 따라, Ham 등(2016)은 쌀 가공 부산물로 발생되는 미강에서 생리활성이 높은 소재의 제조 방법 개발은 자원의 recycling 측면에서 부가가치를 향상시킬 수 있을 방법이라 보고한 바 있다.

최근에는 레몬(Femandez 등, 2004), 유자 과피(Lee 등, 2004), 뽕잎과 감잎 분말(Lee 등, 2003) 등 천연물에서 식이섬유를 추출 정제하여 사용되고 있다. 현미 미강 관련 연구로는 발효공법에 의한 미강 발효추출물의 항산화 및 미백효과(Chae 등, 2011), 기능성 쌀 품종의 미강 발효산물의 항염, 항알러지, 항암 활성을 검증하는 등의 연구(Kim 등, 2011), 미강에서 추출한 식이섬유 추출물의 특성(Kim 등, 1997), 미강 분말을 첨가하여 버섯류를 배양하기 위한 배지 원료로 적합성 연구(Park 등, 2011), 도정율에 따른 미강의 유효성분 조사(Park 등, 2004) 등이 있으나, 미강에 함유되어 있는 불순물을 제거하고 고함량 식이섬유의 소재화 등 현미 미강 식이섬유의 산업적 활용에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 산업적으로 폐기되고 있는 현미 미강의 recycling 자원화 방안으로써, 가수분해 효소 및 효모를 이용한 발효 공정에서 총식이섬유소 함량과 품질 특성을 분석하여 현미 미강 소재의 산업적 활용을 위한 기초 자료를 확립하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료 및 시약

본 실험에 사용된 현미 미강은 (주)케이에프에서 50 mesh로 분쇄된 분말을 제공받아 사용하였다. 현미 미강(단백질 11.0-17.0%; 탄수화물 34.0-52.0%)에 함유되어있는 단백질과 당의 효과적인 가수분해효소를 위해 사용된 효소인 Prozyme GA 효소[glucoamlasey(1,300 U/g) & protease(193,000 HUT/g), 적정온도 45-55℃, pH 5.0-7.0]는 ㈜케이엠에프(KMF. Co. Ltd., Daegu, Korea)에서 제공받았으며, 향미 증가 효과가 알려진 건조효모 *Saccharomyces cerevisiae(*적정온도 25-35℃, pH 4.2 이상, Safmex SA de CV, Mexico)는 ㈜비전바이오켐(Bision. Co. Ltd., Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

본 실험에 사용한 시약으로는 총식이섬유 함량 측정에 사용되는 효소인 α-amylase(*Porcine pancreatic*, CAS No. 9000-90-2, Megazyme, Wicklow, Ireland), protease(*Bacillus licheniformis*, CAS No. 9014-01-1, Megazyme), amyloglucosidase (*Aspergillus niger*, CAS No. 9032-08-0, Megazyme)과, 아미노태질소 함량 측정에 사용되는 시약 formaldehyde solution(Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Seoul, Korea) 등은 Sigma Chemical Co.(Sigma, St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. β-glucan 분석 키트인 Mushroom and Yeast β-glucan Assay Procedure K-YBGL, GOPOD(glucose oxidase/peroxidase/ 4-amino-antipyrin)은 Megazyme (Megazyme Ltd., Bray, Ireland)에서 구입하였다.

2.2. 현미 미강의 발효물 제조

현미 미강 분말 400 g을 시료 대비 400% 수돗물로 가수하고, prozyme GA 효소 0.3%(w/w)와 건조효모 0.2%(w/w)를 혼합하여 진탕배양기(HB-205SW, Hanbaek Sci., Co., Bucheon, Korea)를 사용하여 30℃, 50 rpm에서 발효 시간(48, 60 및 72 h)을 설정하여 복합발효를 하였다. 발효가 종료되면 여과지(Whatman, NO. 4, Whatman Ltd, Maidstone, UK)로 여액을 제거하고 고형물(slurry)을 분리하여 60℃ 열풍 건조하여 분석 시료로 사용하였다.

2.3. 현미 미강 발효물의 품질 평가

현미 미강의 수분함량은 자동측정기(FD-660, Kett Ele. Lab., Tokyo, Japan)로 측정하였다. 시료 추출물의 pH는 pH meter(STAR-A111, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)로 실온에서 측정하였다. 총 산도는 시료 1 mL에 1% phenolphthalein 지시약을 2-3 방울 떨어뜨린 다음 0.1 N NaOH로 중화 적정하여 초산으로 환산하였다. 가용성 고형분 함량은 굴절 당도계(PR-101, Atago Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하고 °Brix로 나타내었다. 색도 분석은 색차계(CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 L, a, b값을 측정하였다. 이때 표준백판은 L값(100.00), a값(0.06) 및 b값(-0.03)이었다.

2.4. 총식이섬유 함량 분석

총식이섬유 함량은 AOAC 991.43(AOAC, 1995) 분석법이 적용된 식이섬유 분석기기(TDFI, Ankom technology, Macedon, NY, USA)를 사용하여 분석하였다. 먼저, 시료별로 2개의 total dietary fiber(TDF) bag A(IDF flow-thru, Ankom technology, Macedon NY, USA)에 각각 0.5 g의 시료를 넣은 다음, 40 mL의 mes-trisfer(Sigma, St. Louis, Mo, USA)를 혼합하고, 50 μL의 α-amylase(Megazyme Ltd., Bray, Ireland)를 첨가하여 97℃에서 30분 동안 교반하면서 반응시켰다. 그리고 60℃까지 냉각시킨 다음, 100 μL의 protease(Megazyme Ltd.)를 첨가하여 60℃에서 30분간 교반하면서 반응시키고, 0.561 N HCl(OCI Co.,

https://doi.org/10.11002/fsp.2024.31.6.879

Ltd., Seoul, Korea)과 6 N NaOH(OCI Co., Ltd.)를 이용하여 시료의 pH를 4.0-4.7로 조정하였다. pH가 조절된 시료에 300 μL의 amyloglucosidase(Megazyme Ltd.)를 첨가하여 60℃에서 30분간 교반하면서 반응시켰다. 반응이 끝난 각각의 시료를 1 g의 celite(Sigma)가 첨가된 TDF bag B(SDF filter bag, Ankom technology)에 옮긴 다음, 효소 반응 정지와 총식이섬유 침전을 위하여 225 mL의 95%(w/v) ethanol(OCI Co., Ltd)을 첨가한 후, 여과하였다. 그리고 각각 15 mL의 증류수, 95%(w/v) ethanol, 78%(w/v) ethanol 순으로 2회 반복하여 세척 및 여과하고, 105℃에서 90분 동안 건조기(Forced convection ovewn 252 L, JSOF-250, JSR, Gongju, Korea)로 건조시킨 후, 잔사량의 무게를 측정하였다. 잔사량의 무게를 측정한 2개의 시료 중 한 개는 Kjeldal법으로 시료의 단백질 함량을 분석하고, 다른 한 개는 525℃에서 5시간 동안 회화한 후, 회분함량을 측정하였다. 대조구(blank)는 시료를 첨가하지 않고, 총식이섬유 분석 방법과 동일하게 수행하였으며, 총식이섬유(TDF) 함량은 다음의 식을 이용하여 계산하여 g/100 g으로 나타내었다.

Total dietary fiber content (g/100 g, wet weight)
$$= (R - P - A - B) \times 100 / S$$

R: Average weight of residue after enzyme treatment
P: Protein content of sample
A: Ash content of sample
B: Additional ingredients as needed, e.g. fat content, etc.
S: Sample weight

2.5. β-Glucan 함량 측정

시료의 β-glucan 함량은 β-glucan 분석 키트인 Mushroom and Yeast β-glucan Assay Procedure K-YBGL(Megazyme Ltd.)을 이용하여 분석하였다. UV-visible spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu Sci., Kyoto, Japan)를 이용하여 흡광도 510 nm에서 측정된 total-glucan과 α-glucan 측정값은 glucose 용액(1 mg/mL)을 GOPOD(glucose oxidase/peroxidase/4-amino-antipyrin) 시약과 반응시킨 반응액의 흡광도 값과 함께 Mega-Calc함량 계산식(Megazyme Ltd.)을 참고하여 함량(%, w/w) 값으로 계산하였다. 최종적으로 β-glucan은 total-glucang 함량에서 α-glucan 함량을 빼준 값으로 계산하였다.

2.6. 아미노태질소 함량 측정

아미노태질소 함량 측정은 Formol 방법을 변형한 Lee 등(1997)의 방법으로 측정하였다. 시료 5 g을 취하여 증류수 250 mL가 되도록 희석한 후, 상온에서 30분간 교반하고 교반용액 25 mL를 0.1 N NaOH 용액을 사용하여 pH 8.5로 조정하였다. 여기에 미리 pH 8.5로 제조된 35% formaldehyde solution (Samchun Pure Chemical Co., Ltd.) 20 mL을 가하여 pH가 낮아지면 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.5까지 다시 적정하였다. 같은 조작으로 0.1 N NaOH 용액의 공시험을 실시하여 아미노태질소 함량을 구하였다.

2.7. 보수력 측정

시료의 보수력 측정은 Chen 등(1998)의 방법으로 측정하였다. 시료 0.5 g에 증류수 12.5 mL를 가한 다음, 미리 항량을 구한 polyethylene 원심분리관에 담았다. Vortex mixer로 1분간 섞은 다음 상온에서 1시간 방치하였다가 12,000 ×g에서 15분간 원심분리하여 상층액을 버리고 흡수 종이에 원심분리관을 거꾸로 세워서 15분 동안 물기를 제거한 후 무게를 재었다. 이것을 다시 건조하여 수분을 흡수한 상태의 중량과 건조 중량과의 차이를 보수력으로 계산하였다.

2.8. 통계처리

본 실험의 모든 분석 결과는 3회 반복으로 실험한 평균값(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었으며, 각 실험 결과에 대해 통계프로그램 SPSS(V22.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계 분석하였다. 각 실험군의 평균치 간의 유의적 차이는 Duncan's multiple range test로 검증하였다($p<0.05$).

3. 결과 및 고찰

3.1. 현미 미강의 적정 발효 조건 설정

현미 미강 분말을 사용하여 적정 발효 시간을 설정하기 위해 30℃, 50 rpm으로 48, 60 및 72시간 발효시킨 후 수분함량, pH 변화, 가용성 고형분 함량 및 총식이섬유 함량을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 수분함량은 대조구(control) 4.53%였으나, 시간(48, 60 및 72 h)별 발효하여 건조한 시료는 2.46-2.93%로 낮은 함량을 나타내었다. pH 변화는 대조구(control) pH 6.56이었으나, 발효 시간이 길어짐에 따라 pH 3.92로 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 발효조건이 각각 다른 prozyme GA 효소 및 건조효모 사용하여 복합발효시 초기 조건 설정을 위해 필요하다고 생각된다. 가용성 고형분 함량은 4.50 °Brix (control)에서 60시간 발효하였을 때 8.20 °Brix로 182% 정도 증가하였다. 총식이섬유 함량은 대조구 31.54 g/100 g이었으나, 60시간 발효하였을 때 61.23 g/100 g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 이는 현미 미강에 포함된 전분, 다당류 등이 일부 분해되고 효모의 작용으로 여액으로 분리되어 상대적으로 식이섬유의 함량은 증가되는 것으로 생각된다.

3.2. 발효 여부에 따른 현미 미강의 품질 특성

현미 미강 분말의 설정된 적정 발효 조건(30℃, 50 rpm, 60

Table 1. Changes in water content, pH, soluble solids content, and total dietary fiber content according to fermentation time of brown rice bran

Sample		Water content (%)	pH	Soluble solids content (°Brix)	Total dietary fiber content (g/100 g)
Control		4.53±0.32[1)a2)]	6.56±0.01[a]	4.50±0.20[c]	31.54±0.85[c]
Fermentation time (h)	48	2.46±0.15[b]	4.05±0.01[b]	7.80±0.20[b]	52.02±1.97[b]
	60	2.93±0.20[b]	3.99±0.02[c]	8.20±0.30[a]	61.23±1.44[a]
	72	2.73±0.40[b]	3.92±0.02[c]	8.20±0.05[a]	54.61±1.39[b]
F-value		45.173***	13,032.138***	315.135***	228.366***

[1)]All values are mean±SD (n=3).
[2)]Different superscript letters ([a-c]) in the same column indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

h)에서의 prozyme GA 효소 0.3%(w/w) 및 건조효모 0.2% (w/w)를 사용 여부에 따른 품질 특성 변화를 조사한 결과는 Table 2 및 3과 같다. pH 변화는 대조구(control) pH 6.56에서 RB_NT(pH 4.01), RB_T(pH 3.99)로 낮아지는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는, Hwang 등(2014)은 유산균으로 발효한 미강을 이용하여 빵효모를 제조하기 위해 발효 기간에 따른 pH를 조사한 결과, 발효 초기에는 pH 5.29였으나, 72시간 발효시 pH 4.00으로 발효 시간이 길어질수록 감소한다는 결과처럼 발효가 진행될수록 pH는 감소하는 경향의 보고처럼 현미미강의 발효 과정에서 생성된 산에 의한 pH의 감소로 생각된다. 총산도는 대조구(control) 0.21%에서 효소 및 효모처리 여부에 따라 RB_NT(1.84%), RB_T(1.90%)로 변화하였다. 이와 같은 결과는 Kim(2021)의 비지와 미강을 혼합한 조미 페이스트 제조를 위한 연구에서 미강과 비지를 혼합한 원물과 발효물의 이화학적 특성 중 pH 6.81에서 pH 4.78로 낮아지면 적정산도(0.30%에서 0.54%)가 높아지는 경향성을 보인다는 연구결과와 비슷한 결과를 나타내었다. 가용성 고형분 함량은 4.50 °Brix(control)에서 발효물은 8.20 °Brix로 증가하는 경향을 보

Table 2. Changes in the quality of brown rice bran according to enzyme and yeast treatment types

Sample[1)]	pH	Total acid (%)	Soluble solids content (°Brix)
Control	6.56±0.01[2)a3)]	0.21±0.02[b]	4.50±0.30[b]
RB_NT	4.01±0.02[b]	1.84±0.05[a]	8.20±0.60[a]
RB_T	3.99±0.02[b]	1.90±0.10[a]	8.20±0.30[a]
F-value	25,712.522***	684.318***	72.325***

[1)]Control, raw material; RB_NT, rice bran no treatment; RB_T, rice bran prozyme GA & *S. cerevisiae* treatment.
[2)]All values are mean±SD (n=3).
[3)]Different superscript letters ([a-b]) in the same column indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 3. Changes in Hunter' color value of brown rice bran according to enzyme and yeast treatment types

Sample[1)]	Hunter' color value		
	L	a	b
Control	56.59±0.99[2)a3)]	1.02±0.35[b]	29.88±0.36[c]
RB_NT	52.29±0.80[b]	4.08±0.14[a]	32.41±0.20[a]
RB_T	49.93±0.20[c]	4.11±0.04[a]	32.07±0.22[b]
F-value	58.969***	199.000***	71.071***

[1)]Control, raw material; RB_NT, rice bran no treatment; RB_T, rice bran prozyme GA & *S. cerevisiae* treatment.
[2)]All values are mean±SD (n=3).
[3)]Different superscript letters ([a-c]) in the same column indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

https://doi.org/10.11002/fsp.2024.31.6.879

였으나, 복합발효 처리 여부에 따른 변화는 미비하였다. 색도 변화는 대조구(control)의 L값(56.59)보다 낮아지며, a값(1.02) 및 b값(4.50)보다 증가하여 조금 짙은 적황색을 나타내었다.

3.3. 발효 여부에 따른 총식이섬유 함량에 미치는 영향

현미 미강 분말을 사용하여 설정된 적정 발효 조건(30℃, 50 rpm, 60 h)에서의 prozyme GA 효소 0.3%(w/w) 및 건조효모 0.2%(w/w)를 사용 여부에 따른 현미 미강 발효물의 총식이섬유 함량을 조사한 결과는 Fig. 1A와 같다. 현미 미강의 대조구(control) 함량은 31.54 g/100 g이었으나, 효소 및 효모처리를 하지 않은 현미 미강(RB_NT)은 61.23 g/100 g, 효소 및 효모처리한 현미 미강(RB_T)은 62.39 g/100 g으로 약 2배 정도 증가한 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 Yoon과 Son(2023)의 *L. brevis*를 이용하여 발효시간(24, 36, 48 h)별 미강의 총식이섬유 함량 변화를 조사한 결과, 대조구는 21.0%였으나, 48 h 발효는 32.5%로 증가하였다는 보고와 비슷한 경향을 나타내었다. Yoon(2014)의 전곡립의 식이섬유 효소처리를 하였을 때, 총식이섬유 함량은 증가하였으나, 일정 농도 이상일 때는 반대로 감소한다는 보고 및 Napolitano 등(2006)의 복합효소를 이용하여 밀 식이섬유 함량 변화를 연구한 결과 처리 농도에 따라 식이섬유 함량이 증가에 영향을 받는다는 보고처럼, 본 연구도 효소처리 농도에 따른 추가 연구가 필요하다고 생각된다. 또한, 발효를 통한 미강을 활용한 기능성 소재로의 개발 가능성이 높다고 시사한 바와 같이 미강 발효물 제조를 위한 적정 조건 설

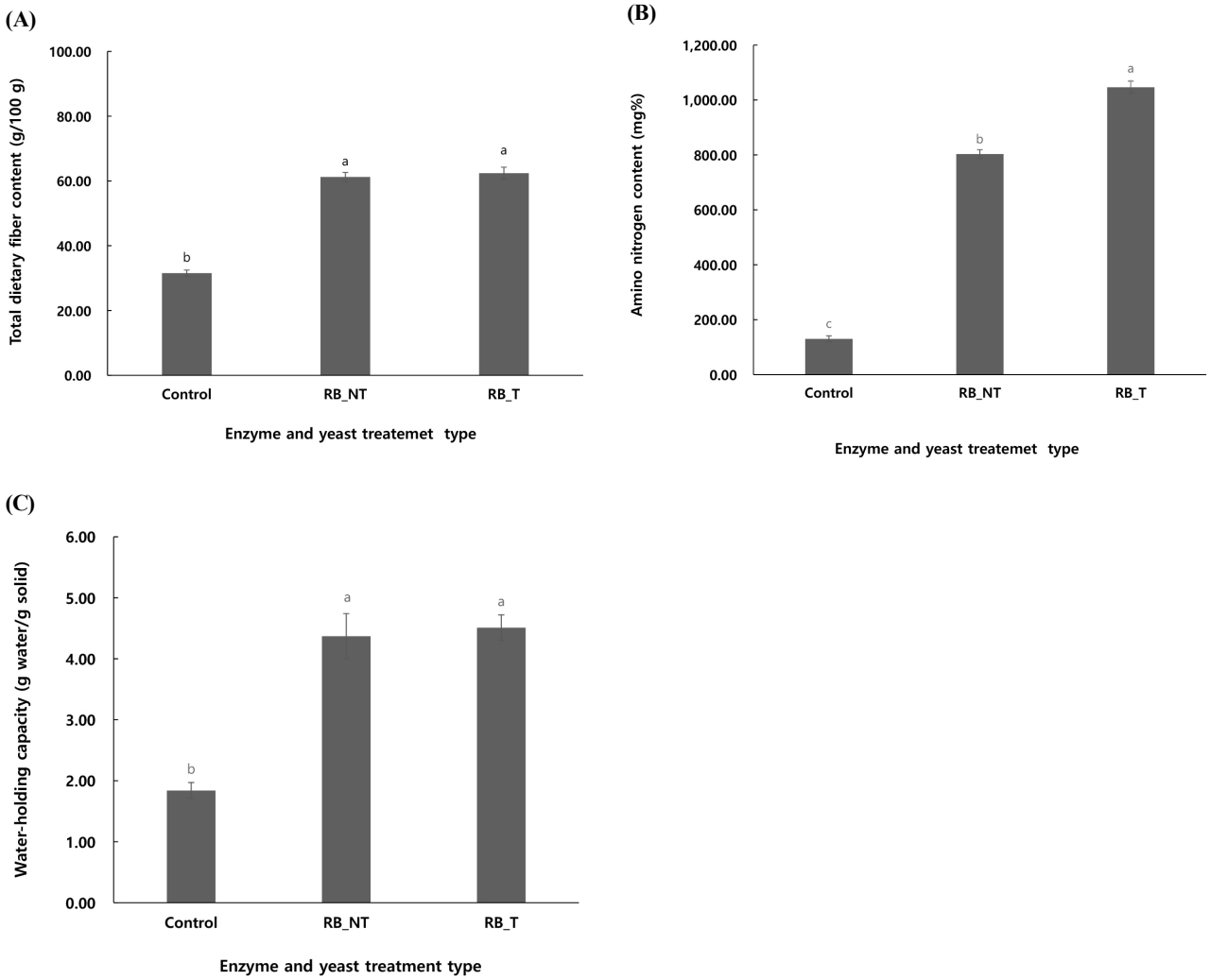


Fig. 1. Changes in total dietary fiber content (A), amino nitrogen content (B) and water-holding capacity (C) of brown rice bran according to enzyme and yeast treatment type. Control, raw material; RB_NT, rice bran no treatment; RB_T, rice bran prozyme GA & *S. cerevisiae* treatment. All values are mean±SD (n=3). Different superscript letters (^{a,b}) on the bars indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

정은 매우 중요한 연구의 하나로 생각된다.

3.4. 발효 여부에 따른 β-glucan 함량의 변화

현미 미강 분말을 사용하여 설정된 적정 발효 조건(30℃, 50 rpm, 60 h)에서의 prozyme GA 효소 0.3%(w/w) 및 건조효모 0.2%(w/w)를 사용 여부에 따른 현미 미강 발효물의 기능적 성질에 미치는 영향을 조사하기 위해 β-glucan 함량 변화를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 대조구(control)의 β-glucan 함량은 10.71%(w/w)이었으나, 효소 및 효모처리하지 않은 현미 미강(RB_NT)의 β-glucan 함량은 18.01%(w/w)로 증가하였으나, 효소 및 효모처리한 현미 미강(RB_T)의 β-glucan 함량은 16.55%(w/w)로 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 Kim (2017)과 Lee 등(2017)의 귀리품종에 대한 β-glucan 함량이 4.89% 및 4.60%보다 현미 미강의 β-glucan 함량이 높음을 알 수 있다. Lee와 Lee(2009)는 기능성 곡물을 개발하기 위해, 현미, 보리, 밀, 옥수수 및 대두의 곡물에 버섯 균사체를 접종·배양하여 β-glucan 함량을 조사한 결과, 1.30%, 5.11%, 0.75%, 1.12% 및 1.06%로 보리, 현미, 옥수수, 대두 및 밀의 순으로 β-glucan 함량을 나타내었으며, 이는 제조 과정에 따른 β-glucan 함량의 차이로 보여진다. 현미 미강에 함유되어 있는 주요한 생리활성 물질 중 하나인 β-glucan은 식이질 형태의 다당류이며(Hwang 등, 2008), 인체의 면역시스템에 작용하여 정상적인 세포조직의 면역기능을 활성화시켜 세포조직의 면역기능을 향상시킨다고 보고되고 있다(Kim 등, 2014).

3.5. 발효 여부에 따른 아미노태질소 함량 변화

현미 미강 분말을 사용하여 설정된 적정 발효 조건(30℃, 50 rpm, 60 h)에서 prozyme GA 효소 0.3%(w/w) 및 건조효모 0.2%(w/w)를 사용 여부에 따른 현미 미강 발효물의 아미노태질소 함량을 측정한 결과는 Fig. 1B와 같다. 대조구(control)의 아미노태질소 함량은 130.56 mg%, 효소 및 효모처리를 하지 않은 현미 미강(RB_NT)의 아미노태질소 함량은 803.04 mg%이며, 효소 및 효모처리한 현미 미강(RB_T)의 아미노태질소 함량은 1046.39 mg%로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 가수분해 효소 및 효모를 이용한 복합발효를 함으로써, 구수한 풍미가 증가되는 것을 확인 할 수 있었으며, 현미 미강의 소재화 다양화에 꼭 필요한 요소라고 사료된다. 이와 같은 결과는 Kim (2021)의 비지와 미강 이용 조미 페이스트 제조를 위한 연구에서 미강을 혼합한 발효물의 아미노태질소 함량이 발효 여부에 따라 증가하는 경향을 나타낸 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 아미노태질소는 단백질이 효소작용 의해 유리아미노산 형태로 분해되어 구수한 맛을 나타내는 성분 중의 하나이며, 식품에 있어서 저장 중 식품의 맛 및 향과 같은 관능적 지표로 활용되기도 한다(Yu 등, 2003).

3.6. 발효 여부에 따른 보수력의 변화

현미 미강 분말을 사용하여 설정된 적정 발효 조건(30℃, 50 rpm, 60 h)에서 prozyme GA 효소 0.3%(w/w) 및 건조효모 0.2%(w/w)를 사용 여부에 따른 현미 미강 발효물의 보수력을 측정한 결과는 Fig. 1C와 같다. 대조구(control)의 보수력은 1.84 g water/g solid, 효소 및 효모처리를 하지 않은 현미 미강(RB_NT)의 보수력은 4.37 g water/g solid이며, 효소 및 효모처리한 현미 미강(RB_T)의 보수력은 4.51 g water/g solid로 240% 정도 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 가수분해 효소 및 효모를 이용한 복합발효를 함으로써, 현미 미강의 보수력 향상에 도움이 되며, 이를 활용한 식품 소재 개발의 가능성을 확인하는 중요한 역할을 한다고 생각된다. 이와 같은 결과는, Arts 등(1990)의 extrudate의 보수력은 식이섬유 함량이 증가할수록 감소한다는 보고와는 상반되는 경향이며, Lee와 Moon (1994)의 쌀 품종에 따른 미강의 보수력을 조사한 결과, 산, 알칼리를 연속으로 처리하기 전 현미 미강(4.64 및 4.65 g H_2O/g 고형분)이나, 처리 후 현미 미강의 보수력은 5.92 및 6.71 g H_2O/g 고형분으로 증가하는 경향을 나타내었다. Ning 등(1991)은 화학적 처리에 따른 옥수수 식이섬유의 보수력 관련 연구에서 화학 처리시 옥수수 표면의 팽윤과 표면 다공성의 증가 등 물리적 구조의 변화에 따라 수분의 침투 및 흡착이 용이해진 것에 의한 것으로 보고하였다. 일반적으로 곡류에서의 보수력은 전분에 비해 헤미셀룰로오스 및 셀룰로오스의 보수력이 낮

Table 4. Changes in total-, α- and β-glucan contents of brown rice bran according to enzyme and yeast treatment types (% w/w)

Sample[1)]	Total-glucan	α-glucan	β-glucan
Control	26.17±1.09[2)a3)]	15.46±0.69[a]	10.71±0.59[c]
RB_NT	19.75±1.12[b]	1.74±0.68[b]	18.01±0.45[a]
RB_T	17.67±0.46[c]	1.12±0.54[b]	16.55±0.99[b]
F-value	66.846[***]	478.769[***]	87.522[***]

[1)]Control, raw material; RB_NT, rice bran no treatment; RB_T, rice bran prozyme GA & *S. cerevisiae* treatment.
[2)]All values are mean±SD (n=3).
[3)]Different superscript letters ([a-c]) in the same column indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

https://doi.org/10.11002/fsp.2024.31.6.879

은 것으로 알려져 있다(Arts 등, 1990).

4. 요약

본 연구는 현미 미강의 recycle 자원화 방안으로 복합발효(효소 및 효모)를 이용한 발효 공정에 따른 식이섬유소 함량 및 품질 특성을 비교 분석하였다. 초기 발효조건 설정은 30℃, 50 rpm으로 48, 60 및 72시간 발효한 결과, 60시간 발효하였을 때 가용성 고형분 함량이 대조구(4.50 °Brix)에서 8.20 °Brix로 증가하였으며, 총식이섬유 함량(61.23 g/100 g)으로 대조구(31.54 g/100 g)보다 194% 정도 높게 나타났다. 설정된 조건(30℃, 50 rpm, 60 h)으로, prozyme GA 효소 0.3%(w/w) 및 건조효모 0.2%(w/w)를 사용하여 품질을 비교하였다. 효소 및 효모처리 여부에 따른 pH 변화는 pH 6.56(control)에서 pH 3.99-4.01로 낮아졌다. 총산도는 0.21%에서 1.84-1.90%로 높아지는 경향을 보였다. 총식이섬유 함량은 효소 및 효모 처리하지 않은 현미 미강(RB_NT)은 61.23 g/100 g 및 효소 및 효모 처리한 현미 미강(RB_T)은 62.39 g/100 g으로 효소 및 효모처리 여부에 따른 차이는 크지 않았다. β-glucan 함량은 RB_NT(18.01%, w/w) 및 RB_T(16.55%, w/w)로 낮아지는 경향을 나타내었다. 아미노태질소 함량은 RB_NT(803.04 mg%) 및 RB_T(1046.39 mg%)로 처리구(RB_T)에서 130.3% 정도 높은 함량을 나타내었으며, 보수력은 대조구 1.84 g water/g solid에서 RB_NT(4.37 g water/g solid) 및 RB_T(4.51 g water/g solid)로 240% 정도 증가하였다. 이상의 결과로, 현미 미강 복합발효 조건은 30℃, 50 rpm에서 60시간으로 산업적 소재화를 위한 기초자료를 확립할 수 있었다.

Funding

None.

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Kim SH, Jeong YJ. Methodology: Oh SY, Kang JB, Jeong YJ. Formal analysis: Kang JB. Writing - original draft: Kim SH, Oh SY, Kang JB. Writing - review & editing: Kim SH, Jeong YJ.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Sun Hwa Kim (First author)
https://orcid.org/0000-0002-7786-9236
Shin Young Oh
https://orcid.org/0009-0008-4988-6320
Ju Beom Kang
https://orcid.org/0009-0001-9664-5748
Yong-Jin Jeong (Corresponding author)
https://orcid.org/0000-0002-5712-2856

References

AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed, Association of Official Analysis Chemists, Washington DC, USA, p 115 (1996)

Arts WE, Warren C, Villota R. Twin-screw extrusion modification of a corn fiber and corn starch extruded. J Food Sci, 55, 746-754 (1990)

Bae SM, Kim JH, Cho CW, Jeong TJ, Yoon HS, Byun MW, Lee SC. Effect of γ-irradiation on the antioxidant activity of rice hull, rice bran and bran. J Korean Soc Food Sci Nutr, 31, 246-250 (2002)

Chae GY, Kwon RH, Jang MW, Kim MJ, Ha BJ. Whitening and antioxidative effect of rice bran fermented by *Bacillus subtilis*. J Soc Cosmet Scientistis Korea, 37, 153-159 (2011)

Chang KH, Byun GI, Park SH, Kang WW. Dough properties and bread qualities of wheat flour supplemented with rice bran. Korean J Food Preserv, 15, 209-213 (2008)

Chen H, Rubenthaler GL, Schanus EG. Effect of apple fiber and cellulose on the physical properties of wheat flour. J Food Sci, 53, 304-305 (1988)

Choi HI, Ye EJ, Kim SJ, Bae MJ, Yee ST, Park EJ, Park EM. Anticancer (*in vitro*) and antiallergy effects of rice bran extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr, 35, 1297-1303 (2006)

Choi SP, Kang MY, Nam SH. Inhibitory activity of the extracts from the pigmented rice brans on inflammatory reactions. J Korean Soc Appl Biol Chem, 47, 222-227 (2004)

Fernández-Ginès JM, Fernández-López J, Sayas-Barberá E, Sendra E, Pérez-Álvarez JA. Lemon albedo as a new source of dietary fiber: Application to bologna sausages. Meat Sci, 67, 7-13 (2004)

Ham HM, Woo KS, Lee YY, Park JY, Lee BW, Choi YH, Kim IH, Lee JS. Comparison of antioxidant activities of rice bran extracts by different extraction methods. J Korean Soc Food Sci Nutr, 45, 1691-1695 (2016)

Hwang GH, Yun HR, Jung HN, Choi OJ. Quality characteristies of baguette using fermented rice bran sourdough.

Korean J Food Cook Sci, 30, 307-316 (2014)
Hwang GS, Roh YK, Song HJ, Lee YY, Kim HJ, Hwang IH, Kim SY, Cho HM. Beta-glucan for glycemic control effects in adults: A meta-analysis. J Korean Acad Fam Med, 29, 475-483 (2008)
Kim BH. Production and characteristics of fermented soymilk and tofu residues for a seasoning paste. MS Thesis, Sejong University, Korea, p 40-43 (2021)
Kim DJ, Choi SM, Kim HY, Kim JH, Ryu SN, Han SJ, Hong SG. Evaluation of biological activities of fermented rice bran from novel black colored rice cultivar SuperC3GHi. Korean J Crop Sci, 56, 420-426 (2011)
Kim GK. Development of molecular markers for quality characteristics and variety of oat varieties in Korea. MS Thesis, Pusan National University, Korea, p 12-14 (2017)
Kim JT, Kim MJ, Jhune CS, Shin PG, Oh YL, Yoo YB, Suh JS, Kong WS. Comparison of amino acid and free amino acid contents between cap and stipe in Flammulina velutipes and Pleurotus ostreatus. J Mushrooms, 12, 341-349 (2014)
Kim YS. Functionality of Fermented Rice Bran and Its Utilization. Ministry of Agriculture & Korean Food Research Institute, Seoul, Korea 31-32 (2003)
Kim YS, Ha TY, Lee SH, Lee HY. Properties of dietary fiber extract from rice bran and application in bread-making. Korean J Food Sci Technol, 29, 502-508 (1997)
Lee HD, Lee KS. B-glucan and glucosamine contents in various cereals cultured with mushroom mycelia. Kor J Mycol, 37, 167-172 (2009)
Lee HJ, Shin MS. Quality characteristics of french bread with various dietary firvers. Korean J Food Cookery Sci, 22, 477-487 (2006)
Lee JR, Jung JD, Hah YJ, Lee JD, Jin SK, Lee CY, Sung NJ, Do CH. Effects of addition of citron peel powder on quality characteristics of emulsion-type sausages. J Anim Sci Technol (Kor.), 46, 849-858 (2004)
Lee JR, Jung JD, Lee JI, Song YM, Jin SK, Kim IS, Kim HY, Lee JH. The effects of emulsion-type sausages containing mulberry leaf and persimmon leaf powder in lipid oxidation, nitrite, VBN and fatty acid composition. Korean J Food Sci Ani Resour, 23, 1-8 (2003)
Lee KY, Kim HS, Lee HG, Han O, Chang UJ. Studies on the prediction of the shelf-life of *Kochujang* through the physicochemical and sensory analyses during storage. J Korean Soc Food Sci Nutr, 26, 588-594 (1997)
Lee MJ, Park SY, Kim YK, Kim HS, Park HH, Lee YJ, Jeong HS. Physicochemical properties and β-glucan contents of Korean naked oat (*Avena sativa* L.) cultivars. Korean J Food Sci Technol, 49, 97-103 (2017)
Nagendra Prasad MN, Sanjay KR, Shravya Khatokar M, Vismaya MN, Nanjunda Swamy S. Health benefits of rice bran: A review. J Nutr Food Sci, 1, 1000108 (2011)
Nam SH, Choi SP, Kang MY, Kozukue N, Friedman M. Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. J Agric Food Chem, 53, 816-822 (2005)
Napolitano A, Lanzuise S, Ruocco M, Arlotti G, Ranieri R, Knutsen SH, Lorito M, Fogliano V. Treatment of cereal products with a tailored preparation of *Trichoderma enzymes* increases the amount of soluble dietary fiber. J Agric Food Chem, 54, 7863-7869 (2006)
Ning L, Villota R, Artz WE. Modification of corn fiber through chemical treatments in combination with twin-screw extrusion. Cereal Chem, 68, 632-636 (1991)
Oh SK, Kim DJ, Chun AR, Yoon MR, Kim KJ, Lee JS, Hong HC, Kim YK. Antioxidant compounds and antioxidant activities of ethanol extracts from milling by-products of rice cultivars. J Korean Soc Food Sci Nutr, 39, 624-630 (2010)
Park HS, Jeon TW, Choi HS, Kim JM, Kim MK. Physioloical activities of extracts from *Phellinus linteus* on brown rice added rice bran, pine needle and tumeric powder. Korean J Mycol, 39, 111-116 (2011)
Park JS, Kim MH. Anti-inflammatory effects of rice bran ethanol extract in murine macrophage RAW 264.7 cells. Yakhak Hoeji, 55, 456-461 (2011)
Park KY, Kang CS, Cho YC, Lee YS, Lee YH, Lee YS. Tocotrienol and tocopherol contents of rice bran by milling recovery. Korean J Crop Sci, 49, 468-471 (2004)
Payne TJ. The role of raisins in high-fiber muesli-style formulations. Cereal Food World, 32, 545-547 (1987)
Revilla E, Maria CS, Miramontes E, Bautista J, Garcia-Martinez A, Cremades O, Cert R, Parrado J. Nutraceutical composition, antioxidant activity and hypocholesterolemic effect of a water-soluble enzymatic extract from rice bran. Food Res Int, 42, 387-393 (2009)
Yoo KA. The feasibility study of the processing using functional rice and the development of the functional cookie using rice bran. MS Thesis, Kyungpook National University, Korea, p 47-49 (2003)
Yoon BK, Son ES. Functional components and antioxidant effects of rice bran by fermentation time-using *Lactobacillus brevis*. J Korean Soc food Cult, 38, 456-464 (2023)
Yoon JE. Physicochemical characterization and their food applications of enzyme treated whole grain dietary fibers. MS Thesis, Hanyang University, Korea, p 16-18 (2014)
Yu H, Ding YS, Mou SF. Direct and simultaneous determination of amino acids and sugars in rice wine by high performance anion exchange chromatography with integrated pulsed amperometric detection. Chromatographia, 57, 721-728 (2003)

https://doi.org/10.11002/fsp.2024.31.6.879