고압균질처리에 따른 산지별 밀기울의 이화학적 특성

안은미 · 이재강 · 최용석 · 김영화 · 신한승^{1,*}
동아원(주) 중앙연구소, ¹동국대학교 식품생명공학과

Physicochemical Properties of Wheat Bran in Different Areas Prepared by a High-pressure Homogenizer Process

Eun-Mi An, Jae-Kang Lee, Yong-Seok Choi, Young-Hwa Kim, and Han-Seung Shin^{1,*}

R&D Center, DongA One Co., Ltd.

¹Department of Food Science and Biotechnology and Institute of Lotus Functional Foods Ingredients, Dongguk University-Seoul

Abstract In this study, the effects of high-pressure homogenizer treatment on the physicochemical properties of wheat bran from different areas were evaluated. The results showed that the high-pressure homogenizer process could effectively decrease particle size and loosen the microstructure of the wheat bran matrix. As the particle size decreased, the bulk density of wheat bran was significantly decreased ($p<0.05$) and the water-holding capacity, swelling capacity, oil-holding capacity, and cation-exchange capacity were substantially increased. In addition, microscopic analysis revealed the gradual disintegration of the original cell wall structure and the dissociation of bran tissues over the course of high-pressure homogenization treatment. Scanning electron micrographs showed that the process could also effectively separate out the structural components of wheat bran. These results suggest that the high-pressure homogenizer process is an effective method to modify the physicochemical properties of wheat bran and likely other cereal brans, which might provide potential fiber-rich ingredients for use in functional foods.

Keywords: wheat bran, high pressure homogenizer, physicochemical properties, dietary fiber

서 론

우리나라는 경제발전으로 따라 국민의 소득이 증가하고 식생활 형태가 다양화 및 서구화되면서 성인병의 발병률이 높아지고 있는 추세로 이는 큰 문제점으로 대두되고 있으며 국민건강을 위해 식이섬유에 대한 관심이 고조되고 있다(1). 식이섬유는 최근 주목을 받는 기능성 소재중의 하나로써, 체내 소화효소에 의해 분해되지 않는 유도체 및 올리고당류와 다당류로 정의된다(2). 식이섬유를 이용하는 목적은 생리학적 측면에서 식이섬유의 대장암 예방, 변비 예방, 비만 예방 및 혈중 콜레스테롤 조절 등의 기능성을 부여함으로써 well-being형 제품의 생산으로 소비자들의 니즈를 충족시키기 위함이다(3-5).

밀기울은 밀의 제분과정에서 발생하는 주요 부산물로서 대부분 사료의 원료로서 이용되어 왔으나 최근 식이섬유의 뛰어난 생리활성과 각종 질병 예방효과가 알려지면서 밀기울을 이용한 식이섬유 제품의 생산이 활발히 진행되고 있다(6,7). 밀기울은 과외피(epidermis)와 종피(seed coat)가 주성분으로 밀중량에 대하여 약 15-20% 정도가 생성된다. 이는 약 40-50%의 풍부한 섬유소를 함

유하고 무기질 및 Vitamin B 함량이 높으며(8) 식이섬유소는 cellulose, hemicelluloses (arabinoxylans), lignin 등 주로 불용성의 식이섬유로 구성되어 있다. 이 불용성 식이섬유는 섭취 시 수분 흡수율이 강하여 음식물의 부피를 증가시켜 포만감을 줄 뿐만 아니라 장의 운동을 좋게 하고 변의 크기를 증가시키며 장에서의 이동시간을 감소시켜 변비를 해소하는데 매우 효과적으로 작용한다. 한편 일부 hemicellulose, pectin, gum 등의 수용성 식이섬유는 위의 내용물을 3차원 구조의 gel로 형성하여 점도를 높여 위와 소장에서 영양소의 흡수를 느리게 하고 혈중 콜레스테롤 함량을 저하시키는 역할을 한다(9,10).

최근에는 식품가공에 초미세화를 적용시키는 연구가 활발히 진행되고 있다. 식품재료에 초미세화를 적용함으로써 입자 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 구조와 표면적을 변화시키며 기능적 특성을 향상시킨다. 여러 미세화 기술 중에서 고압균질처리는 가장 효과적임을 증명하고 있다(11). 고분자 분쇄 기술 중 하나인 고압균질(high-pressure homogenizer, HPH) 처리는 증압 펌프의 작용에 의해 고압의 상태에 있는 시료가 미세한 관을 통과할 때 순간적으로 저압의 상태로 변하게 되는데 이때 생성되는 cavitation, impact 및 shear force에 의해 시료가 매우 미세한 상태로 쪼개지게 된다(12). 고압유화기의 일종인 microfluidizer는 고압과 전단력에 의한 유화의 안정화 이외에 미생물 살균, 단백질과 전분의 기능성 조절작용 등이 보고되면서, 최근 식품가공의 여러 분야에서 주목 받고 있다. 그 예로 당근의 불용성 식이섬유의 입자 크기가 줄어들면 콜레스테롤 억제효과가 있다는 것을 증명한 연구결과가 있다(13). 또 다른 연구에서는 불용성 식이섬유의 높은 보수력(water holding capacity, WHC)과 팽창력(swelling capacity, SC)

*Corresponding author: Han-Seung Shin, Department of Food Science and Biotechnology, Dongguk University-Seoul, Seoul 100-715, Korea
Tel: 82-2-2260-8590
Fax: 82-2-2260-8740
E-mail: spartan@dongguk.edu
Received April 10, 2014; revised June 20, 2014;
accepted June 25, 2014

은 소화액의 자유수를 감소 시킴으로써 소화액의 점도를 증가시키고 결과적으로 영양소의 흡수를 떨어뜨린다고 보고한 바 있다(14). 그러므로 초미세화에 의한 입자 크기의 변화는 불용성 섬유소의 이화학적 특성에 어떠한 영향을 미치는지는 주목할 만하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 밀기울의 특성을 효율적으로 활용하기 위한 목적으로 고압균질처리에 따른 산지별 밀기울의 이화학적 특성을 분석하고 영양적으로 우수한 가치가 있는 밀기울의 식품 소재화를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

시료 및 시약

본 연구의 재료로 사용한 산지별 밀기울은 동아원(주) 당진공장에서 제공 받았다. 국내산은 금강밀 100%, 호주산은 ASW 100%, 그리고 미국산은 HRW와 NS가 각각 90, 10% 비율인 원맥으로 제분시에 생산된 밀기울을 사용하였다. 밀기울에 잔류되어있는 밀가루의 제거와 이물질 분리를 위해 증류수로 세척한 후 30°C에서 24시간 동안 건조시켰다. 건조된 밀기울은 lab scale grinding mill (Laboratory mill 3100, Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden)를 이용하여 평균 입자가 400 µm가 되도록 분쇄하였다. 실험에 사용하기 전까지 밀폐유리용기에 넣어 -20°C에서 보관하였다. 사용된 시약은 Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)사에서 구매하였다.

고압균질처리(high-pressure homogenizer: HPH) 공정

고압균질처리를 위하여 고압균질기(MINI DeBEE, BEE International Inc., MA, USA)를 사용하였다. 고압균질 처리에 앞서 밀기울을 증류수에 분산시켰으며, 이때 밀기울과 증류수의 비율을 3.5:100 (w/v)으로 설정하였다. 분산액은 지름이 200 µm (IC 200), 100 µm (IC 100)인 노즐을 통과시켰으며 상온에서 150 MPa의 압력을 가해주었다. 각각의 처리 조건은 IC 200 노즐 1회와 IC 100 노즐 2회 및 5회 통과로 HPH 처리 하였으며 IC 100 노즐을 통과하기에 앞서 IC 200을 1회 통과시킨 후 처리하였다. 1회 통과는 고압균질기의 주입구를 시작으로 기계 내부를 통과하여 배출될 때 까지를 의미한다. 처리된 각각의 밀기울 시료는 원심분리 후 동결건조기(PVTFD30RSS, Ilshin Lab Co., Ltd., Yangju, Korea)를 이용하여 수분함량이 6.0-6.5%가 되도록 동결건조 하였다. 동결건조 한 시료는 실험에 사용하기 전까지 밀폐유리용기에 넣어 -20°C에서 보관하였다. HPH 처리를 하는 동안의 시료 온도는 30-40°C였으며, 실험은 2회 반복하였다.

평균 입자 크기 측정

고압균질 처리한 밀기울의 입도 크기 측정을 위하여 laser diffraction particle size analyzer (LS 13 320 SGL, Beckman Coulter, Inc., Anaheim, CA, USA)를 사용하였다. 본 입자분석 장비는 일정한 부피의 에멀전(emulsion)이나 분말(powder) 상태의 시료에 대하여 입도 및 입도분포를 측정하는 분석 장비이다. 본 시험에 사용된 시험장비 LS 13 320은 광산란법에 적합하도록 설계되어 있으며 습식 방식으로 시료를 투입하였다. 광산란법은 시료 입자들에 의해 산란된 빛의 패턴을 측정하여 입자 크기 및 분포를 측정하는 방법이다. 시료를 투입하여 적절한 농도의 시료가 순환하는 cell에 레이저가 투사되면 이 레이저는 입자에 의해 표면에서 산란되게 되고, 수십 개의 검출기가 산란되는 레이저의 빛의 각도를 측정하게 되며 이를 통해 입자의 크기 및 분포를 측

정하게 된다. 시료를 준비 한 뒤 ethanol을 사용하여 시료를 분산시켰으며, 이 때 투입되는 시료의 농도는 obscuration 8-12% 내에 있도록 하였다. 실험은 3회 반복 측정하였다.

보수력(water holding capacity: WHC)

보수력은 시료의 수용성 성분을 포함한 전체 시료의 수분보유 능력을 나타낸다. 측정방법은 50 mL 원심분리관에 건조시료 0.5 g과 증류수 20 mL을 가한 후 막대를 이용해 교반해주고, 증류수와 시료가 완전히 섞인 후 30°C 항온수조(J-MPB2, Jisico Co., Ltd., Seoul, Korea)에서 3시간 동안 방치 하였다. 항온수조에서 꺼낸 원심분리관을 원심분리기(Union 5KR, Hanil Sci. Industrial, Co., Ltd., Incheon, Korea)로 3,000×g에서 10분간 원심분리 한 뒤 피펫을 이용하여 상등액을 제거 한 다음 원심분리관 벽에 잔존하고 있는 수분을 제거하기 위해 탈지면 위에 5분간 거꾸로 세워두었다. 수분이 제거되면 원심분리관 무게를 칭량하여 아래의 식에 의해 보수력을 계산하였다.

$$WHC = \frac{(\text{Tube wt.} + \text{Sediment wt.}) - \text{Tube wt.}}{\text{Dry sample wt.}}$$

팽창력(swelling capacity: SC)

팽창력 측정은 25 mL 눈금의 메스실린더에 건조시료 0.5 g과 증류수 20 mL을 가한 후 막대를 이용해 교반해주고, 증류수와 시료가 완전히 섞인 후 파라필름을 이용해 밀봉한 뒤 완전히 수화시키기 위해 24시간 동안 방치 하였다. 완전히 수화되면 메스실린더의 눈금을 읽어 팽창된 시료의 부피를 측정하였다. 팽창력의 계산은 시료 1 g이 차지하는 팽창된 시료의 부피(g/g)로 나타내었다.

보유력(oil holding capacity: OHC)

보유력 측정은 보수력 측정 실험과 동일하며 증류수 대신 콩기름(Sajo Haepyo, Seoul, Korea)을 사용하였다.

$$OHC = \frac{(\text{Tube wt.} + \text{Sediment wt.}) - \text{Tube wt.}}{\text{Dry sample wt.}}$$

용적밀도(bulk density)

밀기울 시료 25 g을 칭량하여 25 mL 눈금의 메스실린더에 넣은 뒤 실린더를 딱딱한 표면에 두드린 후 눈금을 읽어 시료가 차지하는 부피를 측정하였다. 용적밀도의 계산은 단위 용적당 시료의 무게(g/mL)로 나타내었다.

양이온 치환력(cation exchange capacity: CEC)

밀기울 시료 300 mg을 칭량하고 0.01 N HCl 50 mL을 가해 4°C에서 하루 동안 교반한 후 원심분리기로 12,000×g에서 15분간 원심분리 하였다. DI water를 이용해 잔류물의 pH가 4가 될 때까지 세척하였다. 그리고 0.3 M의 NaCl 25 mL를 넣고 상온에서 30분간 교반한 후 0.02 N의 potassium hydroxide로 적정하였다. 공식험은 50 mL의 HCl 대신 증류수를 넣고 실험하였다. 양이온 치환력은 단위 용적당 밀리당량 (meq/kg) 으로 나타내었다.

주사전자현미경(scanning electron microscopy: SEM)

관찰 각각의 시료들은 carbon black tape를 붙인 stub에 일정량 놓은 후 약하게 붙어 tape에 부착되지 않은 밀기울들을 붙여서 날려보낸 다음 120초간 platinum coating 한 후 주사전자현미경 관찰용 시료로 사용하였다. Platinum coating된 시료는 주사현미

경 (S-3400 FEG, Hitachi Co., Tokyo, Japan)으로 가속전압 5 kv 하에서 관찰하였다.

통계분석

통계 처리 프로그램 SPSS (ver. 21.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 평균과 표준편차로 나타내었으며, ANOVA, Duncan 다범위 검증(Duncan's multiple range test)을 실시하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

평균 입자 크기

각각의 조건에서 고압균질처리를 한 산지 별 밀기울의 입자 크기 결과는 Table 1과 같다. 대조군 밀기울의 평균 입자 크기는 각각 국내산 403.15 μm , 미국산 401.50 μm 및 호주산 403.94 μm 로 분석되었으며, SD 값이 각각 국내산 180.54 μm , 미국산 185.10 μm 및 호주산 186.71 μm 로 상대적으로 광범위한 입자 크기 분포를 나타내었다. IC 200을 사용하여 1회 고압균질 처리한 결과 국내산 87.02 μm , 미국산 86.16 μm 및 호주산 90.17 μm 로 감소하였으며 평균적으로 약 78% 감소하였음을 알 수 있었다. IC 100을 사용하여 2회 처리한 결과는 각각 국내산 39.52 μm , 미국산 40.22 μm 및 호주산 41.62 μm 였으며 5회 처리한 결과는 각각 국내산 26.81 μm , 미국산 28.23 μm 및 호주산 27.52 μm 로 2회와 5회 처리한 밀기울 간의 입자 크기에서는 큰 감소가 관찰되지 않았다. 한편 SD 값에 의해 나타난 입자 크기 분포도는 처리 회수가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있었다.

수화특성

Table 2는 대조군 밀기울과 각각의 다른 조건에서 고압균질 처리된 밀기울의 보수력(WHC)과 팽창력(SC)을 나타낸 것이다. 전체적으로 고압균질처리에 의해 수분보유능력과 팽창도가 증가한 것을 알 수 있었고 동일한 처리조건 하에서 산지별 밀기울의 수화특성에는 유의적인 차이가 없음을 알 수 있었다. 국내산 대조군 밀기울의 WHC 값은 3.33 g/g으로 고압균질 처리된 시료보다 낮은 수화특성을 나타냈다. 또한 WHC 값은 입자 크기가 줄어들수록 증가하는 경향이 있어 1회와 2회 처리한 시료에서는 그 증가 폭이 유의적인 차이가 있으나 5회 처리한 시료에서는 2회 처

Table 1. Effects of high-pressure homogenization process on the particle size of wheat bran

Wheat bran sample		Particle size (μm)	SD ¹⁾ (μm)
Korean wheat bran	Gound raw	403.15 $\pm$ 10.1	180.5 $\pm$ 2.9
	IC ₂₀₀ , 1-pass	87.02 $\pm$ 0.8	67.91 $\pm$ 1.8
	IC ₁₀₀ , 2-pass	39.52 $\pm$ 0.3	27.63 $\pm$ 1.0
	IC ₁₀₀ , 5-pass	26.81 $\pm$ 0.3	15.31 $\pm$ 0.2
American wheat bran	Gound raw	401.50 $\pm$ 0.9	185.10 $\pm$ 1.7
	IC ₂₀₀ , 1-pass	86.16 $\pm$ 0.9	65.12 $\pm$ 0.9
	IC ₁₀₀ , 2-pass	40.22 $\pm$ 0.5	28.12 $\pm$ 0.5
	IC ₁₀₀ , 5-pass	28.23 $\pm$ 0.7	14.35 $\pm$ 0.2
Australian wheat bran	Gound raw	403.94 $\pm$ 0.8	186.71 $\pm$ 2.0
	IC ₂₀₀ , 1-pass	90.17 $\pm$ 0.9	69.10 $\pm$ 0.6
	IC ₁₀₀ , 2-pass	41.62 $\pm$ 0.4	25.43 $\pm$ 0.3
	IC ₁₀₀ , 5-pass	27.52 $\pm$ 0.1	15.91 $\pm$ 0.3

The values are expressed as mean $\pm$ SD ($n=3$).

¹⁾Standard deviation which is one measure of the width of the particle size distribution.

리한 시료와 비교 했을 때 유의적인 차이가 없었다. 이러한 특성은 미국산, 호주산 밀기울에서도 마찬가지로 비슷한 경향으로 나타났다. 또한 국내산 밀기울에서 IC 200을 처음 통과한 결과 SC 값이 4.70 g/g에서 9.90 g/g으로 증가했으며, SC 값은 입자 크기가 감소할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 고압균질처리에 의한 입자크기 감소, 표면적의 증가와 물리적 구조의 변화는 WHC와 SC 같은 밀기울의 수화 특성의 변화로 이어지는 것으로 사료된다.

Brookman(15)의 연구에 의하면 고압균질처리로 인한 입자 크기의 급격한 감소는 기기 내 chamber 분출구에서의 급속한 압력의 방출로 현탁액 내의 입자를 팽창시킬 수 있으며, 이 팽창은 입자의 미세구조를 느슨하게 만들고 입자내부에 기공이나 구멍을 형성 시킨다고 보고하고 있다. 식이섬유의 수분흡착능력은 일반적으로 식이섬유의 구조, 밀도 그리고 수분 흡착 부위의 수 및 특성과 관련이 있다(16). 또한 고압균질처리에 의해 감소한 입자 크기와 용적 밀도는 더 넓은 표면적 그리고 polar groups나 uronic acid groups와 같은 수분 결합 부위가 노출되어 WHC와 SC를 개선시킬 것이라고 추측 할 수 있다. 그러므로 고압균질처리가 불

Table 2. Effects of high-pressure homogenization process on the water-holding capacity, swelling capacity and oil-holding capacity of wheat bran

Wheat bran sample		Water-holding capacity (mL/g)	Swelling capacity (mL/g)	Oil-holding capacity (mL/g)
Korean wheat bran	Gound raw	3.33 $\pm$ 0.12 ^a	4.70 $\pm$ 0.08 ^a	2.47 $\pm$ 0.05 ^a
	IC ₂₀₀ , 1-pass	5.00 $\pm$ 0.17 ^b	9.90 $\pm$ 0.14 ^b	5.07 $\pm$ 0.05 ^b
	IC ₁₀₀ , 2-pass	6.50 $\pm$ 0.08 ^c	12.90 $\pm$ 0.08 ^c	5.30 $\pm$ 0 ^c
	IC ₁₀₀ , 5-pass	6.90 $\pm$ 0.08 ^c	13.73 $\pm$ 0.17 ^c	5.37 $\pm$ 0.05 ^c
American wheat bran	Gound raw	3.10 $\pm$ 0.08 ^a	4.63 $\pm$ 0.09 ^a	2.70 $\pm$ 0.08 ^a
	IC ₂₀₀ , 1-pass	5.00 $\pm$ 0.12 ^b	9.93 $\pm$ 0.12 ^b	5.17 $\pm$ 0.05 ^b
	IC ₁₀₀ , 2-pass	6.47 $\pm$ 0.12 ^c	12.67 $\pm$ 0.12 ^c	5.50 $\pm$ 0.08 ^c
	IC ₁₀₀ , 5-pass	6.77 $\pm$ 0.09 ^c	13.70 $\pm$ 0.16 ^c	5.54 $\pm$ 0.05 ^c
Australian wheat bran	Gound raw	3.30 $\pm$ 0.08 ^a	4.67 $\pm$ 0.12 ^a	2.37 $\pm$ 0.05 ^a
	IC ₂₀₀ , 1-pass	4.67 $\pm$ 0.10 ^b	9.97 $\pm$ 0.12 ^b	4.87 $\pm$ 0.05 ^b
	IC ₁₀₀ , 2-pass	6.53 $\pm$ 0.04 ^c	12.90 $\pm$ 0.08 ^c	5.20 $\pm$ 0.08 ^c
	IC ₁₀₀ , 5-pass	6.87 $\pm$ 0.04 ^c	13.73 $\pm$ 0.17 ^c	5.23 $\pm$ 0.05 ^c

The values are expressed as mean $\pm$ SD ($n=3$).

^{a-c}Means with the same letter in column are not significantly different by duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Table 3. Effects of high-pressure homogenization process on the bulk density and cation-exchange capacity of wheat bran

Wheat bran sample		Bulk density (g/mL)	Cation-exchange capacity (meq/kg)
Korean wheat bran	Gound raw	0.38±0 ^a	198.70±1.25 ^a
	IC ₂₀₀ , 1-pass	0.25±0 ^b	214.32±1.70 ^b
	IC ₁₀₀ , 2-pass	0.20±0 ^c	235.34±0.47 ^c
	IC ₁₀₀ , 5-pass	0.19±0 ^c	239.71±1.25 ^c
American wheat bran	Gound raw	0.37±0.01 ^a	201.00±0.82 ^a
	IC ₂₀₀ , 1-pass	0.26±0.01 ^b	216.31±0.94 ^b
	IC ₁₀₀ , 2-pass	0.18±0 ^c	237.35±1.25 ^c
	IC ₁₀₀ , 5-pass	0.18±0.01 ^c	245.32±1.25 ^c
Australian wheat bran	Gound raw	0.36±0.01 ^a	194.10±2.16 ^a
	IC ₂₀₀ , 1-pass	0.25±0 ^b	210.32±0.47 ^b
	IC ₁₀₀ , 2-pass	0.20±0 ^c	234.71±1.70 ^c
	IC ₁₀₀ , 5-pass	0.17±0 ^c	237.12±2.16 ^c

The values are expressed as mean±SD ($n=3$).

^{a-c}Means with the same letter in column are not significantly different by duncan's multiple range test ($p<0.05$).

용성 식이섬유소의 수화특성을 향상시키는 중요한 인자로 작용한다고 사료된다.

결론적으로 초미세화 처리된 밀기울의 높은 WHC와 SC는 밀기울의 물리적 특성을 향상시키며(14), 저장 시 수분보유를 필요로 하는 식품에 응용하여 저칼로리 식품소재로서 활용할 수 있는 가능성이 있다고 볼 수 있다.

보유력

고압균질처리에 따른 OHC의 변화는 Table 2와 같다. 산지별 대조군의 평균 OHC 값은 2.51 g/g이었고 시료간에 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. Thebaudin 등(17)이 연구한 밀기울의 입자크기가 600 µm였을 때 OHC 값이 2.3 g/g인 것과 비슷한 수준이다. Hwang 등(18)과 Wang 등(19)의 연구에서도 국내산과 미국산 밀기울의 보유력은 각각 2.6 및 2.3 g/g인 것으로 나타나 산지별 시료간에 OHC 값에는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 고압균질 처리를 IC 200으로 1회 처리한 국내산 밀기울은 OHC가 2.47 g/g에서 5.07 g/g로 현저히 증가한 반면 두 번 통과한 것은 더 작은 크기의 노즐(IC 100)을 사용하였지만 OHC 값의 증가 폭이 미비하였다. 따라서 IC 200의 1회 처리 만으로도 OHC의 큰 폭의 증가를 관찰 할 수 있었으며, 산지별 밀기울의 동일한 처리조건 하에서는 유의적인 차이가 없음을 알 수 있었다.

Lopezet 등(20)의 연구에 의하면 입자 크기가 작으면 상대적으로 표면적이 증가하여 OHC 값에 영향을 끼칠 것이며 그럼으로써 더 많은 유지를 보유 할 수 있을 것이라고 보고하고 있다. 또한 Yeh 등(21)도 OHC는 용적밀도와 깊은 상관관계가 있음을 보고 하였는데 용적밀도가 작은 입자는 일반적으로 표면적이 커지게 되고 따라서 지질성분을 흡착 또는 결합하는 용량이 커진다고 보고하였다.

본 연구에서 고압균질 처리된 밀기울의 OHC의 급격한 증가는 물리적으로 유지와 결합하려는 성질이 강화된 밀기울의 투과성, 다공성 그리고 모세관 인력 때문인 것으로 사료된다(22). 이는 유지의 보유를 필요로 하는 식품에 적용하여 기능성 섬유소로서 활용이 가능할 것으로 사료되며, 나아가 생리학적 측면에서 체내의 지방과 콜레스테롤의 흡수율을 저하시킬 수 있는 기능성 소재로서도 활용 가능할 것으로 보인다.

Fig. 1. Scanning electron micrographs of Korean raw wheat bran ×100 (A), ×1,000 (B) and prepared by high-pressure homogenizer with 5 pass ×100 (C), ×1,000 (D).

용적밀도

생밀기울은 0.37 g/mL의 평균용적밀도를 가지며 이것은 비슷한 입자크기의 시중 밀기울의 용적밀도 값과 유사하게 나타났다. Hwang 등(17)과 Wang 등(18)의 연구에서도 국내산과 미국산 밀기울의 용적밀도는 각각 0.39 및 0.37 g/mL인 것으로 산지별 대조군 시료간에 용적밀도에는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 고압균질 처리는 Table 3과 같이 입자 크기, 입자 모양, 미세구조에 영향을 미친다. IC 200 노즐을 1회 통과했을 때 용적 밀도는 상당히 감소하는 한편 그 후로는 통과 횟수가 증가함에 따라 용적밀도는 천천히 감소하였다. 용적밀도의 큰 감소는 밀기울의 다공성이 증가한 것에서 기인한 것으로 사료되며 불용성 섬유소의 표면적이 증가했음을 나타낸다. Huang 등(23)이 연구한 세 가지 작물의 껍질 섬유소와 유사한 경향의 결과를 보였으나 Gupta와 Premavalli(24)의 연구에서는 반대 경향을 나타내고 있어 이러한 다양성은 시료 전처리를 어떤 방법에 의해 처리하느냐에 따라 달라진다고 설명할 수 있다.

양이온치환력

Table 3에 대조군 밀기울과 각각의 다른 조건에서 고압균질 처리된 밀기울의 양이온치환력을 나타내었다. 고압균질에 따라 CEC 값은 증가하는 경향을 나타냈으며, 국내산 대조군은 198.70 meq/kg의 값을 나타내었고 이 값은 이전의 연구결과 범위(140-220 meq/kg)에 속한다(25). Table 3에서 보듯이 CEC는 IC 200을 사용하여 1회 고압균질처리 시켰을 때 7.28%까지 증가하였고, 그 이후의 처리에 있어서도 계속적으로 증가하였으며 IC 100을 5회 처리 한 것은 대조군과 비교했을 때 17.10%까지 증가하였다. IC 200으로 1회, IC 100으로 2회 처리한 시료의 CEC 값 증가에 있어서는 유의적인 차이가 있었으나 IC 100으로 5회 처리 한 것은 2회 처리한 시료와 비교했을 때 유의적인 차이가 없었다. 또한 같은 고압균질처리 조건에서의 산지별 밀기울 간에도 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 이것은 입자 크기가 감소함에 따라 시료의 표면적이 증가함으로써 uronic acids나 이온과 결합할 수 있는 부위가 노출되기 때문에 CEC 값이 계속 증가한다고 볼 수

Fig. 2. Scanning electron micrographs of American raw wheat bran $\times 100$ (A), $\times 1,000$ (B) and prepared by high-pressure homogenizer with 5 pass $\times 100$ (C), $\times 1,000$ (D).

Fig. 3. Scanning electron micrographs of Australian raw wheat bran $\times 100$ (A), $\times 1,000$ (B) and prepared by high-pressure homogenizer with 5 pass $\times 100$ (C), $\times 1,000$ (D).

있다(11). 식이섬유에 있어서 CEC 값은 매우 중요한 생리적 기능을 지니는데, Thibault 등(26)에 따르면 CEC 값이 높으면 높을수록 지질 에멀전을 불안정화시키고 붕괴시키며 흡착하는 능력이 증진되고 지방이나 콜레스테롤의 흡수를 감소시킨다고 보고하고 있다. 결과적으로 고압균질처리된 식이섬유소의 높은 CEC는 소장에서의 지질흡수를 방해함으로써 혈중 콜레스테롤을 저하시키고 최근 성인병의 발병률이 증가하고 있다는 점을 고려할 때 기능성 식품소재로서 건강상에 이로움을 줄 것으로 사료된다.

고압균질처리에 의한 SEM 특징

고압균질처리에 의한 산지별 밀기울의 표면구조 변화를 알아보기 위해 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 1-3에 나타내었다. 대조군 시료의 경우 세포벽의 표면이 매끄러우며 전분입자

의 형태가 원형 그대로 유지되고 있었고, 산지별 대조군 시료 간에는 큰 차이 없이 유사한 형태적 구조를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 반면 고압균질처리 한 시료의 경우 전분 입자나 세포벽의 구조가 상당히 변형되었음을 알 수 있었다. IC 100으로 5회 고압균질 처리한 결과 대조군에 비해 균열, 불규칙한 배열 및 거친 표면이 관찰 되었으며, 이를 통해 표면적이 증가하고 다공성 구조의 표면으로 변화되었음을 알 수 있었다. 고압균질처리에 의해 고압, 고전단력이 작용하여 밀브랜 입자가 팽창됨으로써 세포벽의 구조를 변형시키고 이러한 과정에서 표면적 뿐만 아니라 polar groups나 uronic acid groups와 같은 작용기가 노출되어 이 화학적 특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 대조군과 마찬가지로 산지별 고압균질처리 밀기울 간에는 형태적 구조에서 큰 차이가 발견되지 않았으며, Chen 등(27)도 귀리 브랜의 매끄럽고 조밀한 표면구조가 미세유동화 처리에 의해 거칠고 다공성의 표면구조로 변화하였다고 보고하였다.

요 약

본 연구에서는 영양적으로 우수한 밀기울의 식품 소재화를 위해 산지별 밀기울의 고압균질처리에 따른 이화학적 특성변화를 연구하였다. 고압균질처리로 밀기울의 입자 크기를 효과적으로 줄일 수 있었으며, 이러한 미세화 처리에 의해 물리 화학적 특성을 변화시킬 수 있었다. 입자 크기와 용적밀도가 감소함에 따라 보수력, 팽창력, 보유력 및 양이온치환력을 증가시킬 수 있었다 ($p < 0.05$). 이는 고압균질기의 노출 지름이 작을수록, 통과횟수가 많을수록 증가하는 경향이 있었다. IC 200으로 1회 및 IC 100 2회 처리한 시료에 있어서는 유의적인 차이가 있었으나 IC 100 5회 처리한 시료는 IC 100 2회 처리한 시료와 유의적인 차이가 없었다. 따라서 경제적인 면과 기능적인 면을 고려할 때 IC 100 2회 처리한 시료가 가장 효율적임을 알 수 있었다. 또한 산지별 밀기울 간에는 이화학적 특성에 큰 차이가 없는 것으로 나타나 우리밀과 수입밀의 밀기울 특성에는 차이가 없음을 알 수 있었다. 결론적으로 밀기울의 고압균질처리에 의해 불용성 식이섬유소의 기능을 향상시킬 수 있으며 나아가 섬유소를 강화하고 유지와 수분의 보유를 필요로 하며 지질 흡수를 저해하는 식품에 기능성 소재로서 활용할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 미세화 처리를 통한 기능성 식품소재 개발에 도움이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2013년 농림수산식품기술기획평가원의 재원을 지원 받아 수행한 고부가가치식품기술개발사업(과제번호: 112117-02-SB010)이며 이에 감사드립니다.

References

- Kim IK, Kang JH, Song JH. Serum leptin levels and changes in body weight and obesity index in gwacheon elementary school children. Korean J. Nutr. 40: 736-744 (2007)
- Thebaudin JY, Lefebvre AC, Harrington M, Bourgeois CM. Dietary fibres: nutritional and technological interest. Trends Food Sci. Technol. 8: 41-48 (1997)
- Burkitt DP. Some diseases characteristic of modern western civilization. Br. Med. J. 1: 274-278 (1973)
- Glore SR, Treeck DV, Knehan AW, Guild M. Soluble fibre and serum lipid: a literature review. J. Am. Diet. Assoc. 94: 425-436 (1994)

5. Staniforth DH, Baird IM, Fowler J, Lister RE. The effects of dietary fibre on upper and lower gastrointestinal transit times and faecal bulking. *J. Int. Med. Res.* 19: 228-233 (1991)
6. D'Appolonia BL. Uses of nonflour fractions of wheat. *Cereal Foods World* 24: 326-331 (1979)
7. Przybyla AE. Formulating fiber into foods. *Food Eng.* 60: 77-88 (1988)
8. Bass EJ. Wheat flour milling. Vol. II, pp. 1-56. In: *Wheat Chemistry and Technology*. AACC, St. Paul, MN, USA (1998)
9. Anderson JW. Health implications of wheat fiber. *Am. J. Clin. Nutr.* 41: 1103-1112 (1985)
10. Schneeman BQ. Soluble vs insoluble fiber: different physiological responses. *Food Technol.* 41: 81-82 (1987)
11. Chau CF, Wen YL, Wang YT. Effects of micronization on the characteristics and physicochemical properties of insoluble fibres. *J. Sci. Food Agr.* 86: 2380-2386 (2006)
12. Kasemwong K, Ruktanonchai UR, Srinuanchai W, Itthisoponkul T, Sriroth K. Effect of high-pressure microfluidization on the structure of cassava starch granule. *Starch* 63: 160-170 (2011)
13. Chou SY, Chien PL, Chau CF. Particle size reduction effectively enhances the cholesterol-lowering activities of carrot insoluble fiber and cellulose. *J. Agr. Food. Chem.* 56: 10994-10998 (2008)
14. Takahashi T, Furuichi Y, Mizuno T, Kato M, Tabara A, Kawada Y, Hirano Y, Kubo K, Onozuka M, Kurita O. Water-holding capacity of insoluble fibre decreases free water and elevates digesta viscosity in the rat. *J. Sci. Food Agr.* 89: 245-250 (2009)
15. Brookman JSG. Further studies on the mechanism of cell disruption by extreme pressure extrusion. *Biotechnol. Bioeng.* 17: 465-479 (1975)
16. Robertson JA, Eastwood MA. An examination of factors which may affect the water holding capacity of dietary fibre. *Brit. J. Nutr.* 45: 83-88 (1981)
17. Thebaudin JY, Lefebvre AC, Harrington M, Bourgeois CM. Dietary fibers: nutritional and technological interest. *Trends Food Sci. Tech.* 8: 41-48 (1997)
18. Hwang JK, Kim CT, Cho SJ, Kim CJ. Effects of various thermal treatments on physicochemical properties of wheat bran. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 394-403 (1995)
19. Wang T, Sun X, Zhou Z, Chen G. Effects of microfluidization process on physicochemical properties of wheat bran. *Food Res. Int.* 48: 742-747 (2012)
20. Lopez G, Ros G, Rincon F, Periago M, Martinez M, Ortuno J. Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke. *J. Agr. Food. Chem.* 44: 2773-2778 (1996)
21. Yeh HY, Su NW, Lee MH. Chemical compositions and physicochemical properties of the fibre-rich materials prepared from shoyu mash residue. *J. Agr. Food. Chem.* 53: 4361-4366 (2005)
22. Chau CF, Wang, YT, Wen YL. Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre. *Food Chem.* 100: 1402-1408 (2007)
23. Huang CC, Chen YF, Wang CC. Effects of micronization on the physico-chemical properties of peels of three root and tuber crops. *J. Sci. Food Agric.* 90: 759-763 (2010)
24. Gupta P, Premavalli KS. Effect of particle size reduction on physicochemical properties of ashgourd (*benincasa hispida*) and radish (*raphanus sativus*) fibres. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 61: 18-28 (2010)
25. Dreher ML. Physicochemical and functional properties of dietary fiber as related to bowel function and food use. pp. 137-182. In: *Handbook of Dietary Fiber- An Applied Approach*. Dreher ML. Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA (1987)
26. Thibault JF, Ralet MC. Pectins, their origin, Structure and Functions. 1st ed. pp. 369-379. In: *Advanced Dietary Fibre Technology*. McCleary BV, Prosky L. Blackwell Sciences, Oxford. UK (2001)
27. Chen J, Gao D, Yang L, Gao Y. Effect of microfluidization process on the functional properties of insoluble dietary fiber. *Food Res. Int.* 54: 1821-1827 (2013)