

한외여과법에 의한 미강단백질 농축물의 분리에 관한 연구

이의석 · 홍순택*

충남대학교 농업생명과학대학 식품공학과 식품에밀전 실험실

Studies on the preparation of Rice Bran Protein Concentrate by Ultrafiltration

Eui-Seok Lee and Soon-Taek Hong*

Laboratory of food emulsion, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture and Life science, Chungnam National University

Abstract

In this study, ultrafiltration with a membrane of molecular weight cut off (MWCO) 50 kDa or 100 kDa was applied to produce rice bran protein concentrate and influence process variables such as operation pressure, time, and volume concentration ratio (VCR) on the composition of rice bran protein concentrate and changes in permeation flux were investigated. An increase in permeation flux was observed in accordance with increasing operation pressure, while it decreased with operation time, possibly due to concentration polarization. In addition, the permeation flux was observed to be higher when a membrane with larger MWCO was used and a maximum permeation flux (32 L/m²·h) was observed with an operation pressure of 2 kg/cm² and a 100 kDa membrane. Protein content in the concentrate rose with increasing VCR, and also with membranes of smaller MWCO (i.e., 50 kDa). It was found at VCR 8 and with an operation pressure of 2 kg/cm² that total processing time decreased by 40% and average permeation flux increased by about 2 times, when a membrane with 2 times larger MWCO (i.e., 50 kDa→100 kDa) was used.

Key words: ultrafiltration, Rice bran protein concentrate, molecular weight cut off

서 론

미강(rice bran)은 쌀의 도정과정 중 현미를 백미로 도정할 때 얻어지는 부산물로 지질, 무기질, 비타민, 섬유질 등 인체에 유용한 성분을 다량 함유하고 특히 식품 알러지 유발 경향이 매우 낮은 양질의 단백질을 함유하여(11-17%) 영양학적인 가치가 높은 것으로 알려져 있다(Juliano, 1985). 또한, 미강 단백질은 항암작용을 나타내어 건강 기능성을 지향하는 웰빙 자원으로 기대되는 바가 크다(Waldron et al., 1993). 한편, 미강은 연간 약 40 만톤 정도 생산되고 있는데(Chang, 2010) 미강의 이용은 총생산량의 30% 정도가 식품으로서 미강유 제조에 사용되고 나머지 70%는 사료나 비료 등의 저 부가가치 형태로 이용되거나 폐기되고 있어(Saunders, 1990; Kim et al., 2004) 미강의 효용성 증대를 위한 실용화 연구가 관련 산업체로부터 지속적으로 제기되

고 있다.

미강으로부터 단백질을 추출·분리하는 전형적 방법은 물을 이용하여 알칼리 조건에서 단백질을 추출한 후 산(pH : 4.5-4.8)으로 단백질을 침전, 분리한다(Adebisi et al., 2007; Adebisi et al., 2009). 그러나, 분리된 단백질은 산처리로 인하여 단백질의 구조가 변성되고, 염 생성, 쓴맛 등으로 인하여 식품에의 이용성이 저하되는 것으로 보고되었다(Provencal et al., 1975; Kim et al., 1990). 따라서 이런 단점을 보완하기 위하여 효소처리(Wang et al., 1999; Hanmoungjai et al., 2002; Tang et al., 2003; Lee et al., 2010), 이온교환수지 이용, 물리적 처리(냉동 및 해동, 초음파 등) 등 미강단백질의 효율적 추출을 위한 다양한 연구가 수행되었다(Hamada, 1997; Anderson & Guraya, 2001; Tang et al., 2002; Cynthia & Ju, 2011).

최근에 막분리 기술(membrane separation technology)을 이용하여 가공식품 재료 및 생리활성을 갖는 유용한 식품 소재가 개발되고 있다(Noble & Stern, 1995; Kumar et al., 2000). 그중 한외여과법은 다른 분리기술(동결농축, 증발농축 등)들과 비교하였을 때 분리조작이 간편하고, 상변화에 의한 물질의 물리화학적 특성 변화를 최소화 할 수 있는

*Corresponding author: Soon-Taek Hong, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture and Life science, Chungnam National University, 99 Daehak-ro(St), Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

Tel: +82-42-821-6727; Fax: +82-42-821-8900

E-mail: Hongst@cnu.ac.kr

Received April 26, 2013; revised May 24, 2013; accepted May 24, 2013

저에너지 분리기술로 알려져 있으며, 다양한 온도 범위(고온, 중온, 저온)에서 적용이 가능하고(Cheryan, 1983), 열이나 화학적 처리 없이도 목표 물질을 농축할 수 있는 장점을 지니고 있다.

한외여과법을 이용한 단백질 농축물 제조에 관한 연구가 여러 연구자들에 의하여 수행되었다(대두단백질: Goodnight et al., 1975; Okubo et al., 1975; Omosaiye et al., 1978, Omosaiye & Cheryan, 1979b, 유채단백질: Diosday et al., 1984, 참깨단백질; Jeon et al., 1997, 미강 단백질 가수분해물: Hamada, 2000). Goodnight et al.(1975)과 Omosaiye et al.(1978)에 의하면 대두 단백질 추출물 중에 존재하는 올리고당류(oligosaccharides)를 한외여과막을 이용하여 효과적으로 제거할 수 있었으며, Okubo et al.(1975)과 Omosaiye & Cheryan(1979b)는 단백질 농축물 중의 피틴산(phytic acid)의 함량을 낮출 수 있다고 하였다. Diosday et al.(1984)은 유채 단백질 추출물 중에 존재하는 글루코시노레이트(glucosinolate), 비단백태 질소 등을 효과적으로 제거하였으며, Jeon et al.(1997)은 한외여과법을 이용하여 참깨박 단백질 농축물 중의 비 영양 성분(수산, 피틴산 등)을 제거하였고, 칼슘을 99% 이상 제거 가능함을 보고하였다. 본 연구와 관련하여 한외여과법을 이용한 미강단백질 분리에 관한 연구는 Hamada(2000)에 의하여 수행되었는데, 미강 현탁액을 효소처리 하여 얻은 단백질 가수분해물에 대하여 한외여과막[나선형 모듈(spiral-wound module)]을 사용하여 미강단백질 가수분해물을 농축하였다. 그 결과 피틴산 함량이 감소하고 단백질 회수율이 증가하였으며, 용해성, 유효활성 등 기능성이 개선되었음을 보고하였다. 한편, 한외여과법을 이용하여 단백질을 분리·농축함에 있어서 전술한 농축물의 물리화학적 특성 등은 공정 조건에 의해서 영향을 받는데, 중요한 공정 조건은 막의 분획분자량, 압력, 온도 등으로 알려져 있다(Noble et al., 1995).

미강단백질 추출·분리에 있어서 한외여과법을 이용한 종전의 연구는 Hamada(2000)의 연구를 제외하고 거의 수행되지 않았으며, 더욱이 미강단백질의 효율적 분리·농축을 위한 공정조건에 대한 연구는 수행되지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 미강으로부터 단백질을 추출하고, 한외여과법을 이용하여 단백질을 분리·농축을 있어서 공정조건(분획분자량, 압력, 시간, 부피농축비율 등)이 단백질 농축물의 화학적 조성 및 투과플럭스에 미치는 영향에 대하여 검토 하고자 하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용된 미강(영안벼)은 전북 군산소재 가나안 영농법인(2011 년산)에서 구입하여 표준체(20 mesh)를 통과 시킨 것을 헥산으로 탈지(Lee et al., 2010)한 후, deep

freezer(-70°C)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

미강단백질 제조

미강단백질 제조는 Fig. 1에 나타내었다. 탈지미강(50 g)에 1 차 증류수 50 배(2,500 mL)를 넣고 1 N-NaOH를 이용하여 pH 12로 조정하였다. 그리고 Omni Mixer(Omni Micro 17505, OMNI, CT, USA)를 사용하여 1시간 동안 교반하여 미강 단백질을 추출하였다. 추출물은 원심분리기(Supra22K, Hanil Science Industrial Co., Ltd, Incheon, Korea)를 이용하여 원심분리(10,000 ×g, 20 min, 4°C)한 후 상정액(단백질 분획)을 분리하였다. 이 상정액을 pH 9.0으로 조정 후 다시 원심분리를 하였다. 원심분리 후 상정액을 취해 예비여과(pore size: 0.1 μm)하여 본 실험의 시료로 사용하였다.

한외여과장치

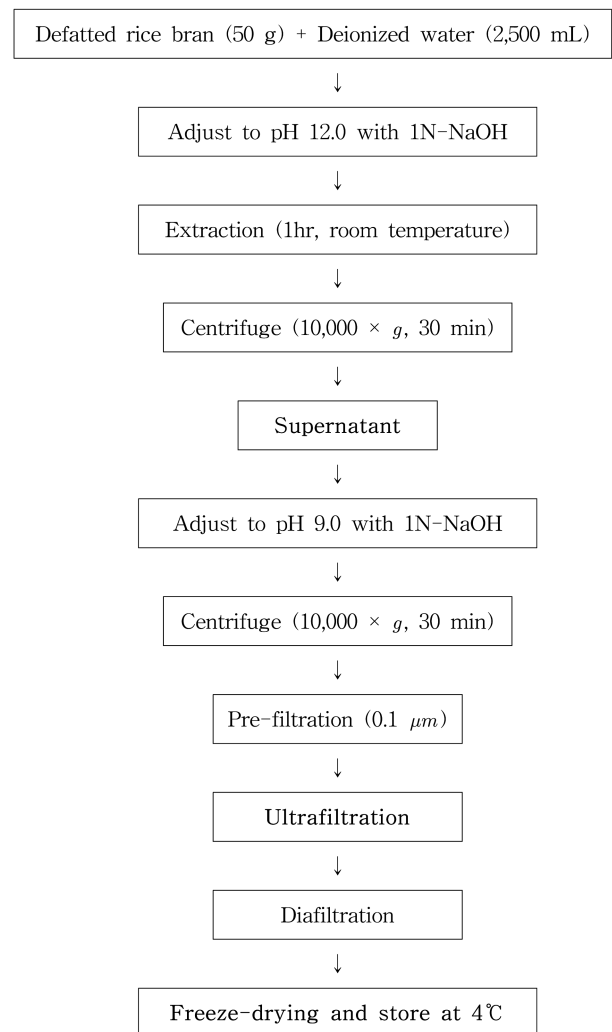


Fig. 1. Procedure for the preparation of rice bran protein concentrate by ultrafiltration.

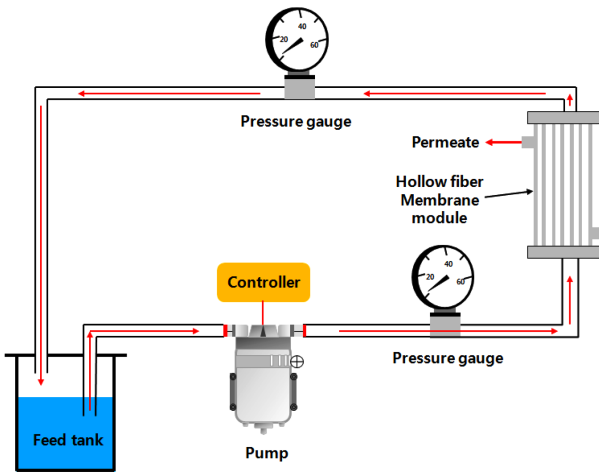


Fig. 2. Simplified flow diagram of ultrafiltration.

본 실험에 사용된 한외여과장치는 실험실 규모로 자체 제작하여 사용하였다(Fig. 2). 시료는 원료 탱크를 지나 압력펌프(Extreme pro blaster, SHURflo, CA, USA)에서 압력 조절기로 운전압력을 조정하여 막모듈을 통과한 후 다시 원료 탱크로 돌아가게 하였다. 또한, 막모듈의 양쪽에는 압력 게이지(Pharmaceutical 9312825, Anderson instrument, NY, USA)를 각각 부착하여 실험 중의 운전 압력을 확인하였다.

본 실험에 사용된 막은(Table 1) spectrumlabs사 제품으로 길이는 250 mm, 폭 28.57 mm, 막 표면적 1020 cm², 최대 공정압력은 2 bar(30 psi)이고, 중공사막(hollow fiber type) 형태의 polysulfone의 재질로 되어있으며, 분획 분자량(MWCO; molecular weight cut off)은 50 kDa, 100 kDa을 사용하였다. 실험 중 투과액의 플럭스(Flux)는 다음과 같이, 일정시간동안 얻은 투과액의 부피를 면적과 투과시간으로 나누어 계산하였다(Cheryan, 1998; Baek et al., 2008). 그리고 1 회 공정에 사용되는 시료의 부피는 10,000 mL로 하였고, 공정 중 시료의 온도는 10±2°C로 조정하였다.

Table 1. Specifications of the membrane module used in ultrafiltration.

Types	Configuration	Hollow Fiber
Material	Membrane polymer	Polysulfone
MWCO	Molecular Weight Cut Off	50,000 Da 100,000 Da
Operating Condition	Maximum pressure	2 kg/cm ² (30 psi)
	Maximum temperature	90°C
	pH range	1.0 – 14.0
Dimension (mm)	Diameter	28.57
	Length	250
	Surface area	1,050 cm ²

$$J = \frac{V}{A_m \times t} \tag{1}$$

A_m : 막의 면적(m²), V : 시간 t 에서 투과액 부피, t : 운전시간, J : 투과유량(L/m²·h). 또한 이들로부터 얻은 부피 농축비(volume concentration ratio, VCR)은 다음과 같이 계산하였다(Baek et al., 2008).

$$VCR = \frac{\text{initial feed volume}}{\text{volume of retentate}} \tag{2}$$

일반성분분석

미강 농축 단백질의 일반성분 분석은 수분함량은 105°C 상압 가열 건조법, 조단백질함량은 Micro-Kjeldahl법, 조회분은 550°C에서 직접회화법으로 분석하였다(AOAC, 1995).

Phytic acid 분석

Phytic acid 분석은 Latta & Eskin(1980)과 Oomah et al.(2008) 방법을 이용하여 미강 단백질 농축물중 이온교환수지 컬럼(AG-1-X8, Bio-Rad Laboratories, CA, USA)을 이용하여 phytic acid를 추출한 후 colorimetric 법을 이용하여 측정하였다.

한외여과 공정 조건 검토

공정압력의 변화에 따른 투과플럭스의 변화
 압력펌프를 이용하여 공정압력을 1, 1.5, 2 kg/cm²로 조절하여 압력 변화에 따른 투과플럭스의 변화를 조사하였다(온도: 10±2°C). 투과플럭스는 여과공정 시작 후 30~40분 사이에 측정된 유량을 식 (1)을 이용하여 결정하였다(Jeon et al., 1997).

공정시간의 변화에 따른 투과플럭스의 변화
 공정압력 2 kg/cm²로 고정하고 공정시간의 변화에 따른 투과플럭스의 변화를 조사하였다(온도 10±2°C).

부피농축비율에 따른 투과플럭스와 단백질 함량의 변화
 부피농축비율(VCR)이 각각 1, 2, 4, 8에서 투과플럭스와 여기에서 얻은 retentate를 건조하여 건조물 중 단백질 함량을 분석하였다.

통계분석

통계처리는 SAS Package(Statistic Analysis System, ver. 9.2, SAS Institute Inc.)를 이용하여 분산분석(ANOVA)후 Duncan's multiple range test로 유의적 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

일반성분 분석

Table 2은 한외여과를 이용하여 농축된 미강단백질 농축

Table 2. Proximate analysis of the rice bran protein concentrates.

Samples	Protein	Carbohydrate***	Ash	Moisture
Defatted Rice bran	15.05±0.08 ^{c**}	64.13±0.05 ^a	7.86±0.13 ^a	12.96±0.21 ^a
50 kDa ¹⁾	65.34±0.14 ^a	18.96±0.1 ^c	6.74±0.07 ^b	8.96±0.09 ^b
100 kDa ²⁾	60.34±0.06 ^b	25.53±0.1 ^b	6.57±0.07 ^c	7.56±1.60 ^c

unit: %

¹⁾ Protein concentrate with 50 kDa MWCO membrane

²⁾ Protein concentrate with 100 kDa MWCO membrane

* Values are expressed as mean±SD (n= 5).

** Means with different letters within the same column indicate significant differences (p<0.05).

*** By difference

물의 일반성분을 분석한 결과이다. 단백질 함량은 탈지미강이 15.05%인데 비해 50 kDa, 100 kDa 막을 사용하여 제조된 단백질 농축물(VCR 8)은 각각 65.34%, 60.34%를 나타내었다. 이 결과는 Lah & Cheryan(1980)이 중공사막(분획분자량: 50 kDa)을 사용하여 제조한 대두단백질농축물의 단백질 함량(59.6%)보다 높고, Hamada(2000)의 나선형막(분획분자량 3 kDa)을 이용하여 제조한 가수분해 미강단백질의 단백질 함량(28-32%)보다 2-3 배 이상 높은 수준으로, 이는 사용한 시료 중의 단백질 함량 차이에 기인한 것으로 사료된다. 한편, 조회분 함량은 탈지미강에서 7.86%이었으나 미강 단백질 농축물은 각각 6.74%(분획분자량: 50 kDa), 6.57%(분획분자량: 100 kDa)로 나타나(p<0.05), 한외여과 제조공정에 의해 조회분이 14.25%~16.62% 감소됨을 알 수 있었다. 이 결과는 Omosaiye & Cheryan(1979a)이 중공사막형의 한외여과 장치(분획분자량: 50 kDa)를 사용하여 대두 농축 단백질을 제조하였을 때 회분 함량이 감소하였다는 결과와 유사한 것으로, 약산성 pH 영역(pH 5-6.5)에서 phytic acid와 결합되어 있는 무기이온(칼슘, 인 등)들이 해리되어 막을 통하여 투과액으로 제거되어 한외여과 단백질 농축물 중 회분함량이 다소 감소되어진 것으로 생각된다(Fadi et al., 2010).

Phytic acid 분석

한외여과에 의해 제조된 미강 단백질 농축물의 phytic acid 분석결과를 Table 3에 나타냈다. phytic acid 함량은 한외여과 처리 전 탈지미강이 6.52%인 것에 비해 50 kDa, 100 kDa 막을 사용하여 제조된 단백질 농축물(VCR 8)이 각각 4.91%, 5.15%로 분석되어 한외여과 시 phytic acid 함량이 감소하였으나 그 감소폭은 비교적 낮은 것으로 분석되었다. 단백질을 함유하는 시스템에서 phytic acid의 추출·분리는 여러 가지의 화학적 환경 요인(pH, 이온 종류 및 세기 등)에 의해 영향을 받는다(Omosaiye & Cheryan, 1979b). 또한 Okubo et al.(1976)은 알칼리성 영역에서 phytic acid는 ‘protein-cation-phytic acid’ 복합체를 형성하며, Omosaiye & Cheryan(1979b)은 이로 인하여 한외여과 공정 운용 시 phytic acid 분리 효율이 낮게 나타난다고 하였다. 따라서 본 실험에서 관찰된 낮은 phytic acid 분리효율은

Table 3. Phytic acid content in the rice bran protein concentrates.

Samples	Phytic acid (%)
Defatted Rice bran	6.52±0.01 ^{a**}
50 kDa ¹⁾	4.91±0.02 ^c
100 kDa ²⁾	5.15±0.01 ^b

¹⁾ Protein concentrate with 50 kDa MWCO membrane

²⁾ Protein concentrate with 100 kDa MWCO membrane

* Values are expressed as mean±SD (n= 5).

** Means with different letters within the same column indicate significant differences (p<0.05).

실험 조건 pH 9에서 ‘protein-cation-phytic acid’ 복합체 형성에 기인한 것으로 추정하였으며, 이러한 결과는 중공사막형의 한외여과 장치를 사용하여 대두 단백질 농축물을 제조하였을 때 phytic acid 함량의 감소(pH 8: 43%, pH 10: 27%)를 보고한 Omosaiye & Cheryan(1979b)의 연구 결과와 유사한 경향이었다.

한외여과 공정 조건 검토

공정압력 변화에 따른 투과플럭스의 변화

공정압력의 변화에 따른 투과플럭스 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 공정 압력이 1 kg/cm² 에서 2 kg/cm² 로 증가함에 따라 50 kDa 막의 경우 투과플럭스가 4.29 L/m²·h에서 14.4 L/m²·h로 증가하였고(약 3 배), 100 kDa 막은 10 L/m²·h에서 32 L/m²·h로 증가하여(약 3 배) 공정압력이 증가할수록 투과플럭스는 거의 직선적으로 증가하는 것으로 조사되었다. 일반적으로 한외여과공정에서 공정압력에 따른 투과플럭스 변화는 pressure-controlled region과 mass transfer-controlled region으로 구분하여 설명할 수 있다. 전자의 경우 비교적 낮은 공정압력 구간에서 관찰되는 현상으로 공정압력의 증가는 한외여과막내 유속의 증가를 초래하고 이는 투과플럭스의 비례적 증가로 이어진다. 반면, 후자의 경우 막에서 발생하는 농도분극(concentration polarization)으로 인하여 공정압력의 증가에도 투과플럭스는 더 이상 증가하지 않게 된다(Girard & Fukumoto, 2000). 본 실험에서 관찰된 공정압력과 투과플럭스의 관계는 적용된 공정압력 구간(1 kg/cm² → 2 kg/cm²)이 전술한 pressure-controlled

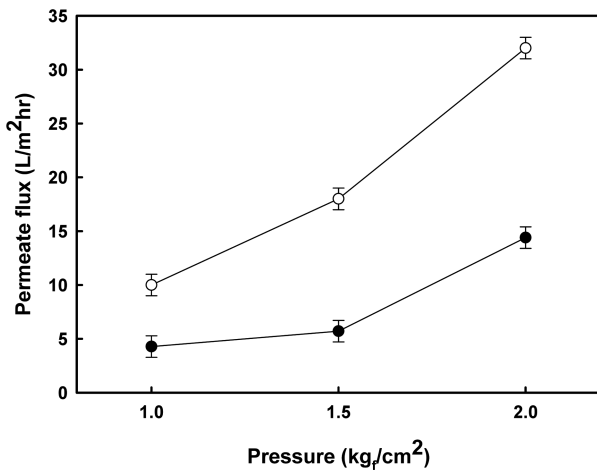


Fig. 3. Effect of operation pressure on the permeate flux during ultrafiltration with a 100 kDa (○) or 50 kDa (●) membrane.

region에 해당되어 공정압력 증가에 따라 투과플럭스가 직선적으로 증가한 것으로 판단되었다. 실제로 참깨박 농축 단백질 제조에 관한 연구를 수행한 Jeon et al.(1997)에 의하면 공정압력 2 kg/cm²까지 투과플럭스가 선형적으로 증가하였지만 그 이상의 범위(2.4 kg/cm²)에서는 '정상 상태'에 도달하여 투과플럭스의 변화가 없었음을 보고하였다. 본 연구에서는 막의 한계압력이 2 kg/cm²였으므로 그 이상의 범위는 측정하지 못하였지만, 공정압력을 높일 경우 Jeon et al.(1997)의 경우와 같이 '정상 상태'에 도달할 것으로 추정된다. 본 실험결과는 Choi et al.(1991)이 다공성 polysulfone 막을 이용하여 BSA (Bovine serum albumin, M.W. 66,000, 500 ppm)를 한외여과 하였을 때 공정압력 2 kg/cm² 까지 투과플럭스가 직선적으로 증가하였다는 연구결과와 잘 일치하고 있다.

공정시간 변화에 따른 투과플럭스의 변화

공정시간 변화에 따른 투과플럭스의 변화는 Fig. 4에 나타내었다(공정압력: 2 kg/cm²). 한외여과막의 분획분자량에 관계없이 공정시간의 경과와 더불어 투과플럭스가 초기에는 현저한 수준으로 감소하다가 일정시간 후에는 투과플럭스가 일정 수준으로 유지되는 것으로 조사되었다. 분획분자량이 상대적으로 낮은 50 kDa 막의 경우 공정 시작 약 30분 경과 후 일정하게 유지되었으며(투과플럭스: 15.1 L/m²·h), 100 kDa 막은 약 100분 경과 후 일정 수준으로 유지되었다(투과플럭스 26 L/m²·h). 이러한 투과플럭스의 감소는 주로 시간의 경과와 더불어 한외여과막 표면에서 발생하는 농도분극 현상에 기인된 것으로 알려져 있다 (Girard & Fukumoto, 2000). 즉, 공정이 진행됨에 따라 분획분자량의 크기보다 작은 입자들이 막의 세공(pore)에서

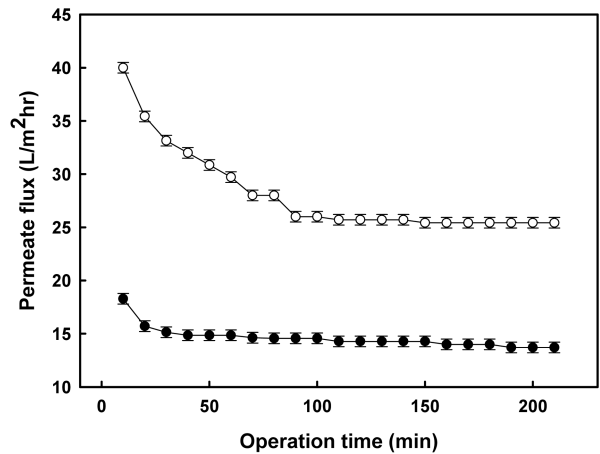


Fig. 4. Effect of operation time on the permeate flux during ultrafiltration with a 100 kDa (○) or 50 kDa (●) membrane (operation pressure = 2 kg/cm²).

서히 흡착되어 세공막힘(plugging)현상이 발생하며, 이와 더불어 한외여과막의 내부 표면에 단백질 등의 고분자 용질이 흡착되어 겔층(gel layer)을 형성하며 이는 곧 투과플럭스의 감소로 이어지게 된다(Chiang & Cheryan, 1986). 따라서, 본 실험에서도 농축이 진행되면서 막 내부 표면에 단백질 등에 의한 농도분극이 발생하여 투과플럭스가 감소되는 것으로 생각되었으며, 이는 공정 초기에 급격하게 발생하는 것으로 추정된다. 한편, 공정시간이 경과함에 따라 투과 플럭스가 급격히 감소하다 일정수준으로 유지되는 것은 공정 초기에 단백질 분자가 막에 많이 흡착되다가 공정 진행과 더불어 흡착량이 점차 감소한 결과에 기인한 것으로 사료된다(Cheryan, 1986).

부피농축비율에 따른 미강 단백질 농축물 중 단백질 함량의 변화

Fig. 5는 부피농축비율에 따라 농축물 중 단백질의 함량 변화를 나타낸 것이다. 미강 단백질 농축물의 부피농축비율(VCR)이 1 일 때 단백질 함량은 15%이었으나 한외여과막을 통해 VCR 8까지 농축한 경우 단백질 함량은 각각 65.34%(50 kDa 막), 60.34%(100 kDa 막)으로 조사되었다. 이 결과는 한외여과 공정에 의해 단백질 농축이 효율적으로 이루어지고 있음을 시사하고 있으며, 또한 한외여과막의 분획 분자량이 클수록 농축물 중의 단백질 함량은 낮았음을 나타내고 있다. 후자의 결과는 Jeon et al.(1997)의 참깨박 추출물을 시료로 한외여과막을 이용하여 부피농축비율 5까지 농축하였을 때 한외여과막의 분획 분자량(30 kDa, 100 kDa)이 증가할수록 농축물 중의 단백질 함량이 낮았다는 결과와 잘 일치하고 있으며, 이는 분획분자량이 큰 100 kDa 한외여과막을 이용하여 공정을 수행할 경우 다소의 단백질 분자가 투과액 중으로 손실되고 있음을 나

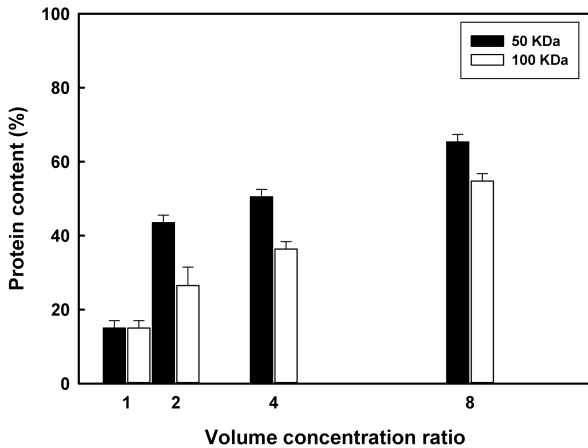


Fig. 5. Effect of volume concentration ratio on the protein content in the retentate during ultrafiltration. The retentates were collected at each VCR and freeze-dried for analysis.

Table 4. Total processing time and average permeate flux in ultrafiltration fitted with a 100 kDa or 50 kDa hollow fiber at VCR 8.

Pore size	Operating time (hr)	Average permeate flux (L/m ² hr)
50 kDa	6.6	14.2
100 kDa	3.9	27.8

타내고 있다.

한외여과에 따른 공정 소요 시간 및 평균 투과플럭스

미강 알칼리 추출물 시료를 한외여과 공정을 통하여 농축(공정압력: 2.0 kg/cm², VCR: 8)하는 경우 총 경과시간은 Table 4에 나타난 바와 같이 분획분자량에 따라 각각 다르게 나타났다. 한외여과막 50 kDa의 경우 투과시간 및 평균 투과플럭스는 각각 6.6 시간, 14.2 L/m²h 이었으며, 100 kDa 막은 각각 3.9 시간, 27.8 L/m²h 로 조사되었다. 즉, 한외여과막의 분획분자량이 2 배 증가하였을 때 (50 kDa→100 kDa) 공정시간은 약 40% 감소하였으며, 평균 투과플럭스는 약 2 배 정도 증가하였다.

요 약

본 실험에서는 한외여과법(막 분획분자량: 50 kDa, 100 kDa)을 이용하여 미강단백질 농축물을 제조함에 있어서 한외여과의 공정변수(압력, 시간, 부피농축비) 변화에 따른 농축물의 이화학적 조성 및 투과플럭스의 변화를 조사하였다. 이화학적 조성 변화에 있어서 미강 단백질 농축물은 탈지미강과 비교하여 단백질 함량은 약 4 배 증가하였으며, 반면 회분 및 피틴산 함량은 다소 감소한 것으로 나타났다. 한외여과 공정에 있어서 공정압력이 증가할수록

투과플럭스는 거의 직선적으로 증가하였고, 공정시간이 증가하고 단백질 농축이 진행됨에 따라 농도분극 현상에 의해 투과플럭스는 감소하였다. 또한, 막의 분획분자량이 클수록 투과플럭스는 상대적으로 높았으며, 분획분자량 100 kDa, 공정압력 2 kg/cm²에서 최대의 투과플럭스(32 L/m²h)를 나타내었다. 농축물 중의 단백질 함량은 부피농축비(VCR)가 증가할수록, 막의 분획분자량이 작을수록 높았다. 미강 단백질 추출물을 부피농축비 8(VCR : 8)로 농축할 경우(공정 압력 2.0 kg/cm²) 한외여과막의 분획분자량이 2 배 증가하였을 때(50 kDa→100 kDa) 공정시간은 40% 감소하였으며, 평균 투과플럭스는 약 2 배 정도 증가하였다.

감사의 글

본 논문은 충남대학교의 자체 연구과제(관리번호 2010-0652)의 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

Adebisi AP, Adebisi AO, Ogawa T, Muramoto K. 2007. Preparation and characterization of high-quality rice bran proteins. *J. Sci. Food Agric.* 87: 1219-1227.

Adebisi AP, Adebisi AO, Hasegawa Y, Ogawa T, Muramoto K. 2009. Isolation and characterization of protein fractions from deoiled rice bran. *Eur. Food Res. Technol.* 228: 391-401.

Anderson AK, Guraya HS. 2001. Extractability of protein in physically processed rice bran. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78: 969-972.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC Intl. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

Baek JH, Kim SA, Lee SY. 2008. Concentration of fresh gel from *Aloe vera* L. by using ultrafiltration process. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 23: 169-176.

Chang GH. 2010. Effect of rice bran on the confectionary and bakery quality. Ph.D. thesis, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea.

Cheryan M. 1983. Application of membrane processing in the soy protein industry. *Int. Soybean. Prog. Ser.* 25: 102-107.

Cheryan, M. 1986. Ultrafiltration Handbook In: Modelling of ultrafiltration processes. (ed). Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, USA, pp. 73-125.

Cheryan M. 1998. Ultrafiltration and microfiltration Handbook. 2nd (ed). CRC Press. Inc., Boca Raton, FL, USA, pp. 1-28.

Chiang BH, Cheryan M. 1986. Ultrafiltration of skim milk in hollow fiber. *J. Food Sci.* 51: 340-344.

Choi WY, Lim GT, Lee KH, Park DH. 1991. The study on protein separations using ultrafiltration membranes. *Korean J. Biochnol. Bioeng.* 6: 215-222.

Cynthia F, Ju YH. 2011. A review on rice bran protein : Its properties and extraction methods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 51: 816-827.

Diosday LL, Tzeng YM, Rubin LJ. 1984. Preparation of rapeseed protein concentrates and isolates using ultrafiltration. *J. Food Sci.* 49: 768-770.

- Fadi A, Denis I, Francois L, Martin M. 2010. Characterization of low-phytate soy protein isolates produced by membrane technologies. *Innov. Food Sci. Emerg.* 11: 162-168.
- Girard B, Fukumoto LR. 2000. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 40: 91-157.
- Goodnight KC Jr., Grant HH, Marquardt RF. 1976. Aqueous purified soy protein and beverage. U.S. Patent 3,995,071.
- Hamada JS. 1997. Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization. *Cereal Chem.* 74: 662-668.
- Hanmoungjai P, Pyle DL, Niranjan K. 2002. Enzyme-assisted water-extraction of oil and protein from rice bran. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 77: 771-776.
- Hamada JS. 2000. Ultrafiltration of partially hydrolyzed rice bran protein to recover value-added products. *JAOCS.* 77: 779-784.
- Jeon JR, Park SR, Yoon SH, Kim J. 1997. Production of sesame protein concentrates by ultrafiltration. *J. Resource Development.* 16: 37-46.
- Juliano BO. 1985. Rice bran. In: *Rice Chemistry and technology.* Juliano BO (ed). Amer. Assoc. Cereal Chemists Inc., Amer. St. Pauls MN, USA, pp. 647-687.
- Kim SR, Ahn JY, Lee HY, Ha TY. 2004. Various properties and phenolic acid contents of rices and rice brans with different milling fractions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 930-936.
- Kim SY, Park PSW, Rhee KC. 1990. Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *J. Agric. Food Chem.* 38: 651-656.
- Kumar Krishna NS, Nakajima M, Nabetani H. 2000. Review: Processing of oilseeds to recover oil and protein using combined aqueous, enzymatic and membrane separation techniques. *Food Sci. Technol. Res.* 6: 1-8.
- Lah CL, Cheryan M. 1980. Protein solubility characteristics of an ultrafiltrated full-fat soybean product. *J. Agric. Food Chem.*, 28: 911-916.
- Latta E, Eskin M. 1980. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J. Agric. Food Chem.* 28: 1313-1315.
- Lee ES, Kim KJ, Kim JH, Hong ST. 2010. A study on the development of high functional food protein ingredient from rice bran. *J. Agr. Sci.* 37: 61-68.
- Noble RD, Stern SA. 1995. *Membrane Separations Technology; Principles and Applications.* Elsevier science B. V. AE Amsterdam, Netherlands. pp 1-82.
- Okubo K, Waldrop AB, Iacobucci GA, Myers DV. 1975. Preparation of low-phytate soybean protein isolate and concentration by ultrafiltration. *Cereal Chem.* 52: 263-271.
- Okubo K, Myers, DV, Iacobucci, CA. 1976. Binding of phytic acid to glycinin. *Cereal Chem.* 53: 513-524.
- Omosaiye O, Cheryan M, Matthews ME. 1978. Removal of oligosaccharides from soybean water extracts by ultrafiltration. *J. Food Sci.* 43: 354-360.
- Omosaiye O, Cheryan M. 1979a. Ultrafiltration of soybean water extracts processing characteristics and yields. *J. Food Sci.* 44: 1027-1031.
- Omosaiye O, Cheryan M. 1979b. Low-phytate, full-fat, soy protein product by ultrafiltration of aqueous extracts of whole soybeans. *Cereal Chem.* 56: 58-62.
- Ommah BD, Blanchard C, Balasubramanian P. 2008. Phytic acid, phytase, minerals and antioxidant in canadian dry bean (*Phaseolus vulgaris L.*) cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 56: 11312-11319.
- Provensal MP, Cug JL, Cheftel JC. 1975. Chemical and nutritional modification of sunflower proteins due to alkaline processing, formation of amino acid cross-links and isomerization of lysine residues. *J. Agric. Food Chem.* 23: 938-943.
- Saunders RM. 1990. The properties of rice bran as a foodstuff. *Cereal Foods World* 35: 632-662.
- Tang S, Hettiarachchy NS, Shellhammer TH. 2002. Protein extraction from heat-stabilized defatted rice bran: 1. Physical processing and enzyme treatments. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7444-7448.
- Tang S, Hettiarachchy NS, Eswaranandam S, Crandall P. 2003. Protein extraction from heat-stabilized defatted rice bran: The role of amylase, cellulast and viscozyme. *J. Food Sci.* 68: 471-474.
- Wang M, Hettiarachchy NS, Qi M, Burks W, Sibenmorgen T. 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. *J. Agric. Food Chem.* 47: 411-416.
- Waldron KW, Johnson IT, Fenwick GR. 1993. Food and cancer prevention: Chemical and Biological Aspects. In: *Anti-tumorigenic and immunoactive protein and peptide factors in foodstuffs: 2. Anti-tumorigenic factors in rice bran.* 14ed. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, pp. 331-401.