JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE
Vol. 37, No. 1, pp.61-68, JUNE 2010, CHUNGNAM NATIONAL UNIVERSITY

고기능성 쌀단백질 소재 개발 연구

이의석[1] · 김기종[2] · 김재현[3] · 홍순택[1*]

A study on the development of high functional food protein ingredient from rice bran

Eui-Suk Lee[1] · Ki-Jong Kim[2] · Jae-Hyeon Kim[3]· Soon-Taek Hong[1*]

ABSTRACT

Rice bran proteins from different cultivars(Youngan, Sindongjin, Suwon 511) were extracted with Xylanase using orthogonal analysis method and their functional properties were investigated. The optimum extraction conditions, based on protein content in the extract found to be at 1 wt% xylanase, pH 7 and 50:1, solvent to rice bran ratio(v/w %). Nitrogen solubility indices(NSI) of rice bran protein concentrates were shown a minimum value at pH 4 ranged 2~23%, varied with different cultivars and a maximum (NSI≥90% for all cultivars) at pH 10. As for water adsorption and fat adsorption capacity, rice bran protein concentrates were shown to be better than Na-caseinate and isolated soy protein, respectively. Emulsifying activities were observed high in order of Na-caseinate>Youngan rice bran protein>Shindongjin rice bran protein>Suwon 511 rice bran protein>isolated soy protein. In general, the surface tension of rice bran protein solution(10^{-3} wt%, 5 mM bis-tris, pH 7) was increased with increasing concentrations and found a minimum value near pI. On heating, it was decreased slightly with increasing temperatures up to 70 ℃ and then increased above 80 ℃. Addition of sodium chloride was made the surface tension decrease. In conclusion, with Xylanase, rice bran protein concentrate can be successfully extracted from the rice bran of different cultivars and the Youngan rice bran protein was thought to have best functionality among rice cultivars tested. It might be used as a milk protein substitute.

Key words: rice bran protein concentrate, extraction, emulsifying activity, surface tension

Ⅰ. 서 론

단백질은 생명현상 유지에 절대적으로 필요한 영양소로 식품학자들은 지난 수십 년 동안 안전하고 양질의 단백질을 개발·공급하기 위하여 부단한 노력을 경주해 왔다. 그럼에도 불구하고 양질의 단백질 자원(protein sources)은 여전히 가격이 비싸고, 공급량이 제한되어 있으며, 일부 국가들 특히 개발도상국에 있어서 충분한 양의 단백질 공급 문제는 국가적 이슈로 부각되어지고 있다.(Jariwalla 2001, Kahlon 등 1994, Shih 1999)

벼는 식물 분류학상 화본과(*Gramineae*) 벼속 식물에 속하고, 밀, 옥수수와 함께 세계 3대 작물에 포함된다. 벼는 한국을 비롯하여 아시아 여러 지역에서 재배되고 있고, 우리나라에서도 연간 500만톤 정도 생산하고 있다. 미강 중에는 12~16% 정도의 단백질을 함유하고 있는데 'Burks와 Helm (1994)', 쌀의 배아 및 타 곡물 특히, 밀과 비교하여 필수아미노산인 라이신(lysine) 함량이 높고, 균형된 아미노산 조성을 갖고 있어서 단백질 효율(Protein Efficiency Ratio; 2~2.5이상) 및 소화율이 90%이상 되는 매우 우수한 곡물 단백질로 알려져 있다. 또한, 쌀단백질은 식품 알레르기 유발 경향이 매우 낮아 영·유아식 제조에 유용하게 사용할 수 있으며 'Kim 등(2004)', 항암작용을 보유한 것으로 보고되어 건강기능성을 지향하는 21세기 웰빙식품 자원으로 기대되는 바가 크다고 할 수 있다. 그러나 국내의 경우 미강의 연간 생산량이 35,000톤에 달하는 유용한 자원임에도 불구하고, 30% 정도가 미강유 제조에 사용되고 나머지 70%는 사료나 비료 등의 물질로 이용되거나 농산폐기물화 되고 있는 실정이다(Kim 등 2004).

전술한 바와 같이 미강단백질의 우수한 기능에 근거하여 몇몇 연구자에 의하여 미강단백질 추출 및 기능성 평가에 대한 연구가 제한적으로 수행되었다. Bera 등 'Bera 와

[1] 충남대학교 농업생명과학대학 식품공학과 (Dept. of Food Science and Technology, College of Agriculture and Life Science Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)
[2] 농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부(Division of barly and rice, National Institute Crops Science)
[3] 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 (Division of Agriculture & Food resources, National Academy of Agriculture Science)
* Corresponding author : 홍순택
Tel.: +82-42-821-6727 Fax: +82-42-821-6721
E-mail : hongst@cnu.ac.kr
2010년 4월 7일 투고
2010년 5월 20일 심사완료
2010년 6월 11일 게재확정

Mukherjee (1989)'은 미강으로부터 단백질을 추출하여 용해성, 유화성 및 거품성 등을 관찰하였고, Siebenmorgen 등 'Siebenmorgen 등(1999)'은 추출공정에 다양한 효소를 사용하였으며, 이 경우 미강단백질은 열에 안정하고 용해성이 높고 유화특성이 높았음을 보고하였다. 그러나, 미강단백질을 식품 소재화하기 위해서는 추출 공정 및 추출물에 대하여 보다 종합적 연구・검토가 필요하며, 특히 국내산 쌀 품종을 이용하여 미강 단백질에 대한 추출 및 기능성 평가에 대한 연구는 거의 수행되지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구를 통하여 여러 품종의 국내산 미강으로부터 쌀 단백질을 분리·제조하고, 이를 기존의 우유단백질을 대체할 수 있는 가능성(유화기능성) 여부를 평가하기 위한 기초자료를 확보하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

본 실험에 사용된 미강은(영안벼, 수원511, 신동진) 농촌진흥청 국립식량과학원 유전육종과에서 지원받아 냉동(-20℃) 보관하여 사용하였고 효소는 Shearzyme Plus(250 FXU-S/g; xylanase), BAN 480L(α-amlyase), Alcalase 2.4L(2.4AU/g; protease), Ronozyme P(L)(phytase)로서 Novo Nordisk A/S (Denmark)社 제품을 사용하였다.

n-hexane 특급시약, n-tetradecane(purity≫99wt%), bis-tris는 sigma chemicals(USA)에서 구입하여 사용하였다.

2. 방 법

가. 쌀단백질 농축물 제조

(1) 탈지미강 제조

표준체(0.84㎜)를 통과시킨 미강(300g)에 5배 무게의 *n*-hexane(특급시약) 1,500g을 첨가하고 30분간 교반한 후 핵산 층을 제거하였다. 잔유물에 처음 미강 무게의 3배량 n-hexane을 첨가하여 30분 동안 교반한 후 핵산 층을 제거하고, 이 과정을 3회 반복하였다. 탈지된 미강 중에 남아있는 핵산을 제거하기 위해 후드(Hood)안에서 24시간 동안 방치하였다.

(2) 쌀단백질 농축물 제조

쌀단백질 추출 공정은 Fig. 1에 나타내었다. 탈지미강(50g)에 증류수(2,500g)를 넣고 pH 7, 50℃로 조정 후 효소 xylanase(Novo Nordisk A/S, Denmark) 1 wt%를 첨가하여 Ommi Mixer(Omni micro, USA)를 사용하여 교반(4000 rpm, 1hr)하여 단백질을 추출하였다. 추출물 중의 효소를 불활성화 시키기 위하여 pH 10에서 20분간 정치한 후, 원심분리기(RS-206, Tomy Co., Japan)를 통해 원심분리(10,000×g, 4℃, 30 min)하여 상등액(단백질 분획)을 분리하였다. 이 공정을 통해 얻은 침전물(residue)은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 2차 추출에 사용하였다. 상등액을 pH 4.5에서 30분간 처리하여 단백질을 침전시키고, 이를 다시 동일한 조건으로 원심분리(10,000×g, 30 min)하여 침전 단백질을 분리·회수하였다. 이 회수한 쌀단백질에 3배의(w/w%) 증류수를 가하여 pH 7에서 완전히 용해 시킨 후 이를 -70℃에 급속동결 시킨 후 동결건조기(DC-55B, Yamato Co., Japan)를 사용하여 건조하였다. 건조된 시료는 유발로 완전히 분쇄 한 후 5℃의 냉장고에 밀봉보관하면서 쌀단백질 농축물 시료로 사용하였다.

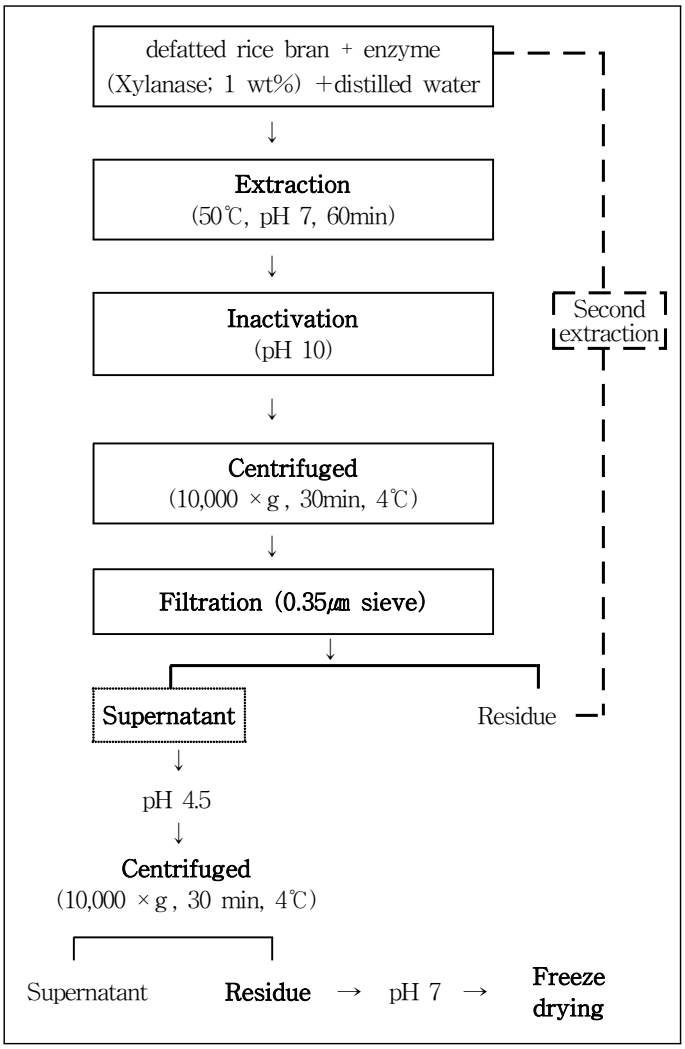

Fig. 1. Extraction procedure of rice protein concentrate

나. 질소용해 지수(nitrogen solubility index) 측정

증류수를 이용하여 쌀단백질 농축물 수용액(2.5 wt%)을 만든 후 이를 일정량 취하고 여기에 0.1N-HCl 또는 0.1N-NaOH를 첨가하여 각 단백질 수용액의 pH를 조정하였다(pH 2, 4, 6, 8, 10, 12). 이 수용액을 shaking water bath(SWB-5030-02,

New Power Eng Co. Ltd., Korea)를 이용하여 120 rpm, 30℃에서 30분간 교반·용해한 후 원심분리(4000×g, 20 min, 4℃)를 하여 상등액 중의 단백질 함량을 Lowry법 'Yu.(2008)'으로 측정하여 다음과 같이 계산하여 표시하였다.

$$NSI(\%) = \frac{\text{흡광도}(ppm) \times \text{희석배수}}{\text{시료}(ppm) \times \text{단백질함량}} \times 100$$

다. 수분흡수능, 지방흡수능 측정

단백질의 수분흡수능 및 지방흡수능은 'Quinn와 Paton (1979)' 및 'Thompson 등(1982)'등의 방법을 이용하여 측정하였다. 0.1g의 쌀단백질 농축물을 10mL 시험관에 넣고 증류수 5mL 넣고 vortex mixer로 잘 교반한 후 원심분리(500 ×g, 20 min)하였다. 상등액을 완전히 제거한 후 하등액의 무게를 측정하여 이를 수분흡수도로 하였으며, 지방흡수도는 같은 방법으로 증류수 대신 시판 대두유를 넣어 지방흡수도를 측정하였다.

라. 단백질 유화액 제조

단백질 유화액은 'Hong (1996)'등의 방법을 변형하여 제조하였다. 수상으로 완충액(20mM bis-tris, pH 7)에 단백질(쌀단백질 농축물, 카제인나트륨 혹은 분리대두단백)을 첨가하여 용해한 후 유상(기름)으로 *n*-tetradecane(purity>99 wt%)과 9:1(wt%) 비율로 혼합하였다. 이 혼합물에 대하여 Silverson mixer(L4RT, Silverson machine Ltd., UK)를 사용하여 5000rpm, 2분간 예비 유화한 후 고압균질기(110-Y, Microfluids, U.S.A.)에서 2회 균질(3000 psi)하여 최종 유화액(단백질 1.1 wt%, *n*-tetradecane 10 wt%, 20 mM bis-tris, pH 7)을 제조하였다.

마. 유화활성측정

'Kinsella와 Pearce(1978)'의 Turbidimetric method를 변형하여 측정하였다. 0.1wt% SDS 수용액 2000mL에 쌀단백질 농축물, 카제인나크륨 혹은 분리대두단백 유화액(단백질 1.1 wt%, *n*-tetradecane 10 wt%, 20 mM bis-tris, pH7) 1mL를 첨가한 후 분광광도계(UV120-02, Shimadzu Co., Japan)를 이용하여 500㎚에서 흡광도를 측정하였다.

바. 표면흡착특성

쌀단백질 농축물 수용액의 단백질 농도(10^{-5}~0.1 wt%), 온도(60~90℃), pH(pH 7~5.0), NaCl(0.01~0.1M) 첨가량 변화에 따른 표면장력(K10ST, KRÜSS GmbH, Germany)의 변화를 조사하였다(5mM bis-tris, pH7, 25℃). 단백질 수용액의 온도 변화(60→90℃)에 따른 표면장력 변화를 관찰하기 위해 쌀단백질 수용액 시료를 각각의 온도에서 30분간 열처리한 후 표면장력 변화를 조사하였다(단백질 농도 : 10^{-3} wt%).

III. 결과 및 고찰

1. 쌀단백질 농축물 제조

가. 추출 효소 및 pH 선정

Fig. 2에 나타난 바와 같이 쌀단백질 추출에 적합한 효소를 선정하기 위하여 추출시료의 pH를 변화하여 효소별로 처리하고, 추출물 중의 단백질 함량을 조사하였다(효소 첨가량 : 1 wt%). 그 결과 사용한 효소 종류에 따라 추출물 중의 단백질 함량은 다르게 나타났으며, xylanase를 사용하였을 때 단백질 함량이 가장 높았고, phytase, amylase+protease의 순으로 나타났다. 또한, pH가 증가할수록(pH 7.0→9.0) 추출물의 단백질 함량은 감소하는 경향을 나타내었다. Xylanase를 사용한 경우 추출물 중의 단백질 함량이 가장 높은 것은 xylanase가 미강의 세포벽 성분들을 제거하여 쌀단백질을 추출 가능한 상태로 변화시켜 유도된 현상으로 사료되었으며 'Hettiarachchy 등(2003)', 또한 중성 부근에서는 사용한 효소의 활성이 높아 단백질 추출에 가장 효율적인 것으로 판단되었다. 이상의 결과를 토대로 하여 이후 추출 실험에 사용된 쌀단백질 농축물 제조용 효소는 xylanase를 이용(pH 7)하였다.

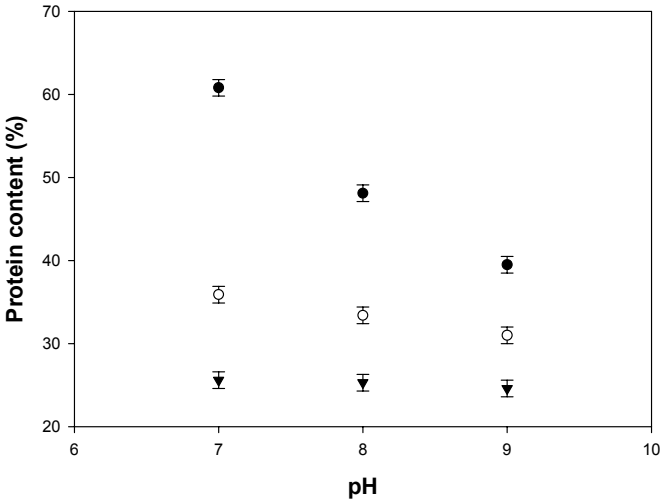

Fig. 2. Variations in protein contents of rice bran protein concentrates extracted with different enzymes and pH(●; xylanase, ○; phytase, ▼; amylase+protease).

나. 추출 조건에 따른 단백질 함량변화

(1) 가수비율

가수비율의 변화에 따른 쌀단백질 농축물 중의 단백질 함량 변화를 조사하였다(Fig. 3). 본 실험에 사용된 효소는 xylanase(1 wt%, pH 7)이었으며, 그 결과 가수비율이 증가할수록(20배→50배) 추출물 중 단백질 함량은 증가하는 경

향을 나타내었다(56.9 → 66.2%). 일반적으로 추재로 부터 물질 추출은 추재 중 물질 농도와 용매 중 물질 농도 간에 있어서 농도구배가 클수록 추출 효율이 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 연구 결과는 이러한 일반적 추출 이론과 완전히 부합하는 것으로 판단된다. 'Hanmoungjai와 Niranjan (2002)'은 가수량을 10배로 고정하고 미강시료 양을 증가하였을 때 단백질 추출수율 및 미강유 추출수율이 오히려 낮아졌다고 하였으며, 본 연구결과는 이와 유사한 경향으로 가수량이 단백질 추출에 중요한 요인임을 나타내고 있다.

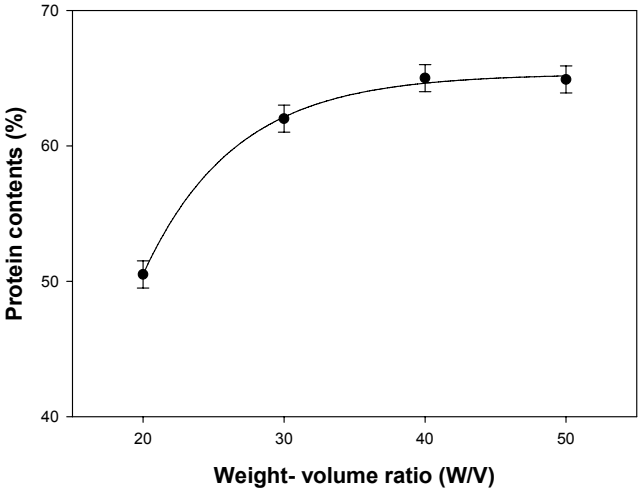

Fig. 3. Variations in protein contents of rice bran protein concentrates with respect to the ratio of rice bran to water(w/v)

(2) 효소첨가량

효소 첨가량(xylanase)에 따른 단백질 함량 변화를 Fig. 4에 나타내었다(가수비율 40, pH 7). 그 결과 효소 첨가량이 증가할수록(0.5 → 1.5 wt%) 쌀단백질 농축물 시료 중의 단백질 함량은 증가하는 것으로 관찰되었다(55.7 → 67.1%). 그리고, 효소농도가 0.1%에서 1.0%로 증가된 경우 단백질 함량이 급격히 상승하다가 효소농도가 1.5%로 증가되었을 때 단백질 함량은 약간 증가하면서 거의 최대치를 보였다. 효소농도가 1.0%의 경우에 모든 기질이 효소분자로 포화되는 것으로 여겨지며 따라서, 효소농도는 1.0%에서 최적인 것으로 추정되었다.

다. 쌀단백질 농축물 추출에 대한 최적조건 확립

쌀단백질 농축물의 추출 최적조건을 조사하기 위해 직교계획법(orthogonal design)을 이용하였다. 요인변수 3인자(가수비율, 효소첨가량, pH)와 각각의 요인변수에 3개의 구간을 두어 처리하고, 단백질 함량을 독립변수로 하여 최적조건을 구하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 효소 농도의 *R*-value가 16.8로 분석되었으며, 첨가 효소의 농도 변화가 쌀단백질 농축물 시료 중의 단백질 함량에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 관찰되었다. 가수비율 및 pH의 *R*-value는 각각 6.9, 4.5로 관찰되었다. Table 1 결과를 토대로 하여 쌀단백질 농축물 추출최적조건을 가수비율 50:1, 효소첨가량 1.0 wt%, pH 7로 설정하였다.

Table 1. Orthogonal analysis for the extraction of rice bran protein concentrates using enzyme (xylanase).

Number	V/W (mL/g)	Enzyme conc. (%).	pH	Protein content (%)
Level 1	30:1	0.5	5	
Level 2	40:1	1	6	-
Level 3	50:1	1.5	7	
Number	V/W (mL/g)	Enzyme conc. (%)	pH	Protein content (%)
Experiment 1	30:1	0.5	5	43.4
Experiment 2	30:1	1	6	61.3
Experiment 3	30:1	1.5	7	58.0
Experiment 1	40:1	0.5	6	38.9
Experiment 2	40:1	1	7	65.6
Experiment 3	40:1	1.5	5	61.1
Experiment 1	50:1	0.5	7	55.8
Experiment 2	50:1	1	5	61.7
Experiment 3	50:1	1.5	6	65.7
K_1	54.2	46.0	55.4	
K_2	55.2	62.8	55.3	
K_3	61.1	61.6	59.8	
R	6.9	16.8	4.5	

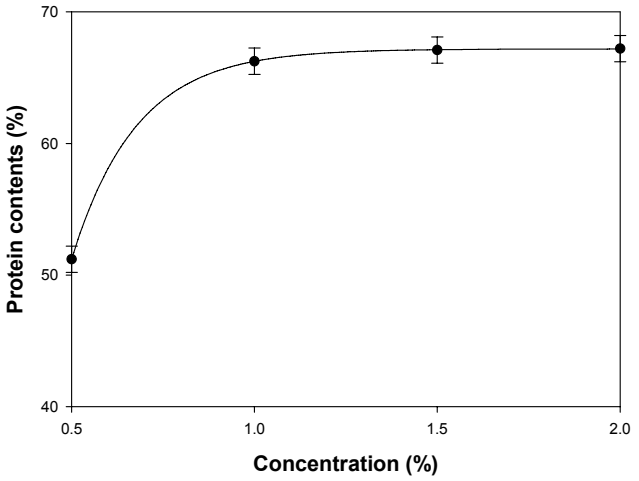

Fig. 4. Variations in protein contents of rice bran protein concentrates with respect to enzyme concentration. Xylanase was used as a sole enzyme in this experiment.

2. 쌀단백질 농축물의 유화특성

가. 유화활성

Table 2에서 보는 바와 같이 쌀단백질의 유화활성은 영안벼〉 신동진〉 수원511 순으로 나타났다($p<0.05$). 단백질유

화제로 많이 이용되는 대두분리단백질(soy protein isolate), 카제인(sodium caseinate)의 유화활성은 각각 0.0590, 0.3522로 나타나 쌀단백질은 카제인나트륨보다는 열세하지만 대두분리단백에 비해서는 매우 월등하며, 영안벼의 경우 3배 이상 높게 유화활성을 보였다. 'Aoki 등(1981)'에 의하면 단백질의 유화활성은 분자내의 친수성과 소수성 부분이 적절한 균형을 이루어야 하며, 'Shimizu 등(1986)'은 표면소수성(surface hydrophobicity)이 유화활성은 깊게 연관되어 있다고 보고하였다.

나. 수분흡수능, 지방흡수능

수분 흡수능은 분리대두단백이 가장 높게 나타났으며(7.2±0.1), 쌀단백질 농축물이 4.1~4.9의 범위에 있었고, 카제인나트륨이 가장 낮은 2.65±0.1로 조사되었다(Table 2). 지방흡수능에 있어서 카제인나트륨이 가장 높은 3.55±0.1로 조사되었으며, 쌀단백질 농축물이 분리대두단백보다는 다소 높게 분석되었으며, 영안벼 품종이 타 품종에 비해 2배 이상 높게 나타났다.

다. 질소용해지수

용해도는 단백질의 기능 특성을 나타내는 중요한 지표 중의 하나이다(Quinn와 Paton, 1979). 쌀단백질 농축물의 질소용해지수 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 쌀단백질 용해도는 pH 4에서 최소값을 나타내었으며(품종별 : 2~24.3%), pH 6까지 급격히 증가하다 pH 10에서 최대값을 나타내었고(90 % 이상) pH 12에서 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 pH 4 부근에서 단백질의 등전점(pI : 4~4.5)으로 인하여 용해도가 감소하거나 또는 산성 영역에서 미강 중의 피틴산이 양이온 단백질과 결합하려는 성질이 강해 피틴산-단백질 복합체가 만들어지고 단백질의 불용성이 증가하여 발생된 것으로 추정된다(O'Dell and de Boland, 1976). 알칼리영역으로 갈수록 용해도가 급격히 증가한 것은 알칼리영역에서 단백질 분자는 구조가 다소 유연해지고 풀어지며(unfolding) 분자량이 감소하기 때문으로, 단백질 구조가 유연해지면 단백질 내부에 있는 극성과 비극성 아미노산기가 단백질 표면으로 이동하며, 표면에 나타난 극성 아미노산은 물 분자의 수소결합과 전기적 상호작용을 통하여 단백질 용해성이 증가한다.

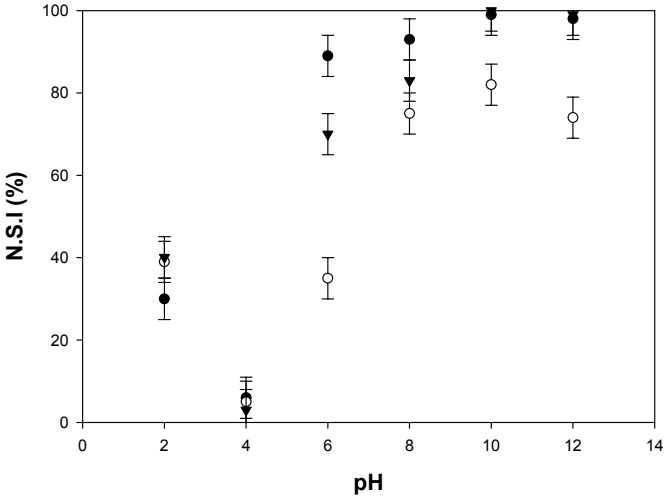

Fig. 5. Changes in nitrogen solubility index of rice bran protein concentrates from different rice cultivar with respect to pH(2.5 wt%); ●, Suwon511; ○, shindonjin; ▼, Youngan.

3. 쌀단백질 농축물의 표면흡착특성

가. 농도의 영향

쌀단백질 농축물을 품종별 농도(10^{-5}~0.1 wt%) 변화에 따른 표면장력의 변화를 Fig. 6 및 Table 3에 나타내었다. 전 품종 시료에 있어서 단백질 농도가 증가할수록 표면장력은 감소하였으며, 품종별로는 저농도(10^{-4} wt%)에서 수원511>신동진>영안벼 순으로 영안벼가 54.6 mN/m로 가장 낮은 표면장력을 나타내었고, 고농도(10^{-1} wt%)에서는 신동진 단백질이 가장 높았으며 수원511(40.3 mN/m)과 영안벼(40.27 mN/m)의 표면장력 값은 유의적인 차이가 없는 것으

Table 2. Comparison of emulsifying activities of rice bran protein concentrates from different cultivars

cultivars	emulsifying activity	water adsorption (ml/g)	oil adsorption (ml/g)
Suwon 511	0.1366±0.1[d1),2)]	4.1±0.1[c]	1.7±0.2[c]
Shin dongjin	0.1434±0.1[c]	4.4±0.1[b]	1.9±0.1[b]
Young an	0.1962±0.1[a]	4.9±0.1[a]	3.0±0.1[a]
Isolate soy protein	0.0590±0.1[e]	7.2±0.1[e]	1.6±0.1[e]
Casein	0.3522±0.1[f]	2.65±0.1[f]	3.55±0.1[f]
L.S.D[3)]	0.003	0.22	0.1

[1)] Averages±standard deviation (n=3)
[2)] Means with the same letter at same row are not significantly different($\alpha < 0.05$)
[3)] LSD: Least Significant Difference

로 조사되었다. 극성(polar) 사슬과 비극성(non-polar) 사슬으로 구성된 구상단백질은 수용액 중에서 극성부분은 물과 수화되어 단백질 표면에 위치하고 비극성부분은 소수성 효과(hydrophobic effect)에 의해 단백질 분자 내부에 위치한다. 공기/물의 표면(계면)에서 쌀단백질 분자는 부분적으로 개열되어 내부의 소수성 부분이 표면으로 이동·흡착하며 이 결과 표면장력은 낮아지게 된다. 또한, 쌀단백질 내부에는 phytate, mineral 등 친수성 부분이 있는데 효소(xylanase, phytase) 작용에 의하여 단백질 내부가 일부 개열되면서 친수성기가 표면으로 표출되어 단백질의 수화성이 높아지며, 결과적으로 표면활성이 높은 단백질을 얻을 수 있게 된다(Siebenmorgen et al, 1999).

나. pH의 영향

pH 변화에 따른 품종별 쌀단백질 농축물의 표면장력 변화는 Fig. 7에 나타내었다(단백질 농도 : 10^{-3} wt%). 전반적으로 pH 변화에 따른 표면장력 변화는 품종별로 다소 다르게 나타났다. 수원511과 신동진은 pH 5.8에서 가장 낮은 표면장력을 나타내었으며(수원511 : 48.7 mN/m, 신동진 :49.7 mN/m), 영안벼는 pH 6.6에서 가장 낮은 값을 나타내었다(50.2 mN/m). 등전점에서 단백질 분자의 표면 전하(surface potential)는 '0'에 근접하며 단백질 분자간의 정전기적 반발력이 최소로 된다. 따라서 단백질 분자가 공기/물 표면(계면)에 흡착할 때 수용액의 pH가 단백질의 등전점에 접근할수록 단백질 분자간 반발력이 최소가 되어 더 많은 흡착이 용이하게 되며 이 결과 낮은 표면장력을 유도하게 된다(Tornberg와 Lundh, 1978, Phillips와 Graham, 1979). 품종별로 가장 낮은 표면장력을 나타내는 pH가 다르게 관찰된 것은 구성 단백질 분자가 상이함에 기인한 것으로 추정되었다.

다. 온도의 영향

온도의 변화에 따른 쌀단백질 농축물의 품종별 표면장력의 변화는 Fig. 8에 나타내었다(단백질 농도 : 10^{-3} wt%, 처리시간 : 30 min). 각 시료의 표면장력은 70℃ 부근에서 다소 낮아지고(수원511 : 52.2→43.5 mN/m), 80→90℃에서

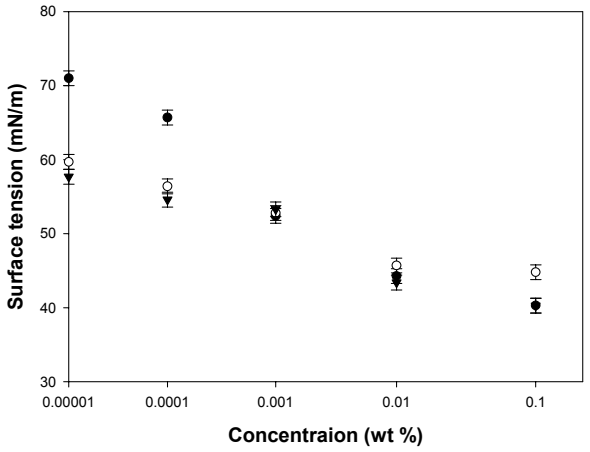

Fig. 6. Changes in surface tensions of rice bran protein concentrates from different rice cultivar with respect to pH(5mM bis-tris, pH7, 25℃); ●, Suwon 511; ○, Shindonjin; ▼, Youngan.

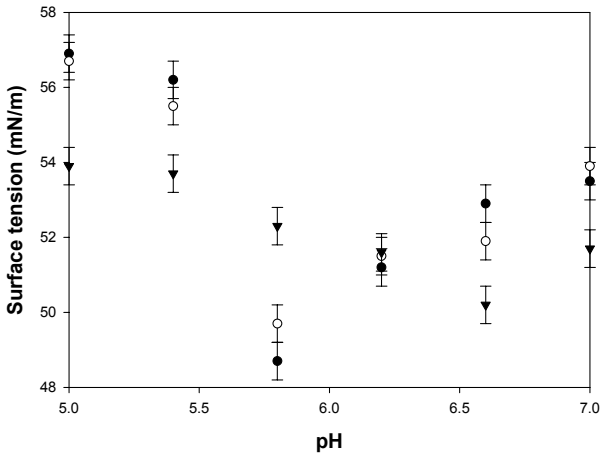

Fig. 7. Changes in surface tensions of rice bran protein concentrates from different rice cultivar with respect to protein concentrations(5mM bis-tris, pH7, 25℃); ●, Suwon 511; ○, Shindongjin; ▼, Youngan.

Table 3. Surface tensions of rice bran protein concentrates from different rice cultivar at the air/water interface.

concentration (wt%)	Suwon 511	Shin dongjin	Young An
10^{-5}	$71.00^{a1)}\pm0.05^{2)}$	$59.7^{c}\pm0.01$	$57.7^{d}\pm0.03$
10^{-4}	$65.7^{a}\pm0.03$	$56.4^{c}\pm0.05$	$54.6^{d}\pm0.05$
10^{-3}	$52.4^{c}\pm0.1$	$52.8^{b}\pm0.01$	$53.3^{a}\pm0.02$
10^{-2}	$44.27^{b}\pm0.03$	$45.70^{a}\pm0.01$	$43.4^{c}\pm0.04$
0.1	$40.3^{c}\pm0.02$	$44.8^{a}\pm0.02$	$40.27^{c}\pm0.06$
0.2	$37.47^{c}\pm0.01$	$42.33^{a}\pm0.01$	$32.50^{d}\pm0.01$

1) The same superscripts in a row are not significantly different each other at $p<0.05$
2) Values are mean±SEM(n=3)

높아지는 경향을 나타내었다(수원511 : 43.5→54.1 mN/m).

Fig. 8은 가열시간(온도 : 90℃)에 따른 표면장력의 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 가열시간이 증가할수록 가열 초기에 비하여 표면장력은 증가하였다. 그러나 가열 60분 까지는 초기에 비하여 표면장력이 감소하다 이후 다시 증가하였다. 단백질 수용액에 있어서 가열 온도에 따라 관찰되는 표면장력의 변화는 단백질 분자의 표면 소수성의 증감을 반증하는 것으로, 쌀단백질의 열 변성 온도 이하(T_d~80℃)로 가열할 경우 Fig. 9에 나타난 바와 같이 단백질 분자 구조가 느슨하게(loose) 되어 분자 개열이 촉진되고, 따라서 표면장력은 다소 낮아지게 된다. 그러나 가열 온도가 열변성 온도 이상으로 되면, 단백질 분자 간 소수성 결합이 증진되어 단백질은 중합체를 형성하며, 그 결과 표면장력은 높아진다(Tornberg와 Lundh, 1978, Phillips와 Graham, 1979). 쌀단백질 수용액을 열처리한 결과 단백질 분자 간 표면소수성이 가열시간의 증가에 따라 높아지고 단백질 분자 간 소수성 결합이 촉진되어 높은 표면장력을 나타내게 된다(Yu, 2008). 가열에 따른 표면장력의 변화가 품종별로 다르게 관찰된 것은 구성 단백질의 열변성 온도가 다소 상이한 것에 기인된 것으로 추정하였다.

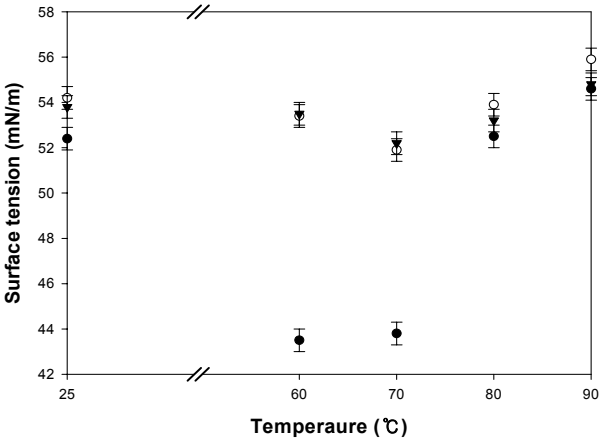

Fig. 8. Changes in surface tensions of rice bran protein concentrates from different rice cultivar with respect to heating temperature(5mM bis-tris, pH7); ●, Suwon511; ○, Shindonjin; ▼, Youngan.

라. NaCl 첨가의 영향

쌀단백질 농축물 수용액(단백질 농도 : 10^{-3} wt%)에 NaCl을 농도별(0→0.1M)로 첨가하여 표면장력의 변화를 조사한 결과 Fig. 10와 같이 NaCl 첨가량이 증가할수록 표면장력이 낮아지는 경향을 나타내었다. 저농도(0.01M)의 NaCl을 첨가할 경우 쌀단백질 농축물의 표면장력은 45.2 mN/m로 많이 감소하였고(NaCl 무첨가 : 52.4 mN/m) 고농도(0.1M)에서는 39.3mN/m까지 감소하였다. NaCl의 첨가 효과는 단백질 분자 표면의 ion screening effect에 의한 것으로, NaCl 첨가량이 증가할수록 단백질 표면 전하량이 감소하고 따라서 표면으로 이동 농축되는 단백질 양이 증가하게 되며, 이 결과 표면장력은 감소한다.

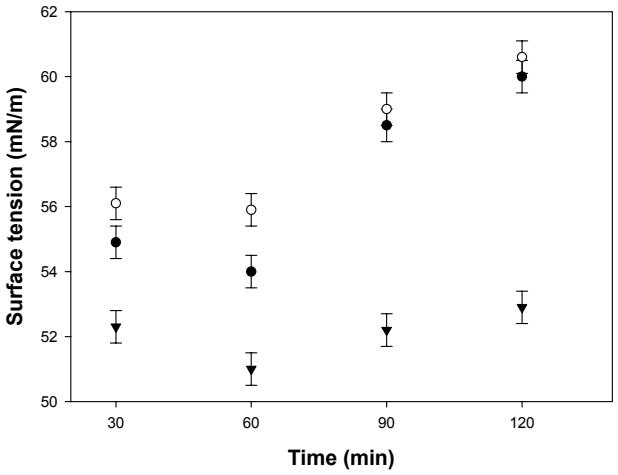

Fig. 9. Changes in surface tensions of rice bran protein concentrates from different rice cultivar with respect to heating time(5mM bis-tris, pH7, 90℃); ●, Suwon511; ○, Shindonjin; ▼, Youngan.

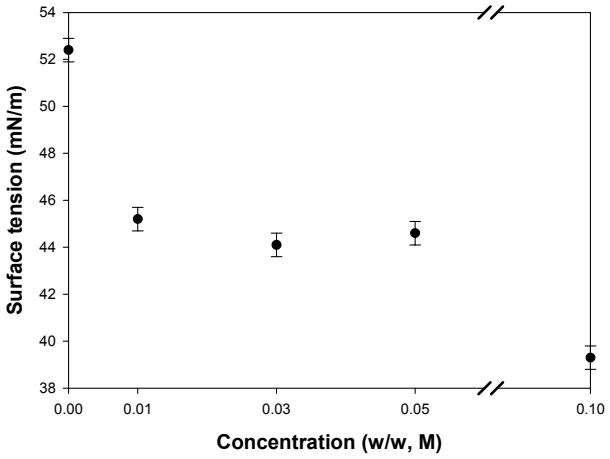

Fig. 10. Changes in surface tensions of rice bran protein concentrates with respect to NaCl concentration (5mM bis-tris, pH7, 25℃). Youngan rice bran protein was used in this experimen

IV. 결 론

벼의 도정과정 중 부산물로 얻어지는 미강은 우수한 생리기능성을 갖는 단백질이 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 미강 단백질은 추출의 어려움으로 인하여 그 이용성이 제한되었으며, 본 연구를 통하여 용이한 추출공정을 개발하고 이를 식품 소재화 하여, 미강의 고부가가치화를 달성하고자 하였다.

본 실험에서는 효소(xylanase)를 이용하여 각각 다른 품종의 미강으로 부터 쌀단백질 농축물을 추출할 수 있는 공정을 개발하였다. 적합한 추출 조건 설정을 위하여 직교계획법을 사용하였으며, 추출된 쌀단백질 농축물에 대하여 여러 가지 이화학적 측면에서 단백질의 기능성을 평가하였다. 추출에 적합한 조건은 Xylanase 첨가량 1 wt%, pH 7, 가수비율 50:1로 조사되었으며, 이때 시료 중 단백질 함량은 67.1%로 분석되었다. 질소 용해지수는 pH 4에서 최소값을 나타내었고 pH 10에서 질소용해지수가 90% 이상의 높은 값을 보였다. 수분 및 지방흡수능에 있어서 쌀단백질 농축물은 각각 카제인나트륨 및 분리대두단백에 비하여 높게 관찰되었으며, 유화활성은 카제인나트륨에 비하여 낮았으나 분리대두단백에 비하여 높게 나타났고, 쌀단백질 농축물 중 영안벼 미강 단백질이 가장 우수하였다. 쌀단백질 농축물 수용액(10^{-3} wt%, 5 mM bis-tris, pH 7)의 표면장력은 단백질 농도가 증가함에 따라 낮아졌으며, 등전점 부근에서 최소값을 나타내었다. 또한 쌀단백질 수용액을 가열하였을 때 70 ℃까지는 다소 감소하였고 이후 가열 온도의 증가와 더불어 높아졌다. 쌀단백질 수용액에 소금을 첨가할 경우 첨가 농도의 증가와 더불어 표면장력은 낮아지는 것으로 관찰되었다. 결론적으로 효소 Xylanase 처리를 통하여 미강으로부터 단백질을 용이하게 추출할 수 있었으며, 추출 단백질의 이화학적 기능성을 품종별로 평가한 결과 영안벼 단백질이 가장 우수한 것으로 판단되었다.

본 논문은 농촌진흥청 농업특정연구과제사업(발간등록번호 11-1390000-002268-01)의 수행에 따른 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Aoki, H., Taneyama, O., Orimo, N. and Kitagawa, I. 1981. Effect of lipophilization of soy protein on its emulsion stabilizing properties. *J. Food Sci.*, 46:1192-1195.
2. Burks, A. W. and Helm, R. M. 1994. Hypoallergenicity of rice protein. Presented at the Annual Meeting of the American Association of Cereal Chemists, Nashville, TN.
3. Bera, M. B. and Mukherjee, R. K. 1989. Solubility, emulsifying and foaming properties of rice bran protein concentrates. *J. Food Sci.*, 54:142-145.
4. Hanmoungjai, P., Pyle, D. L. and Niranjan, K. 2002. Enzyme-assisted water-extraction of oil and protein from rice bran. *J. Chemical Technology and Biotechnology*, 77:771-776.
5. Hettiarachchy, N. S., Tang, S., Horex, R. and Eswaranandam, S. 2003. Physicochemical properties and functionality of rice bran protein hydrolyzate propared from heat-stabilized defatted rice bran with the aid of enzymes. *J. Food Sci.*, 68(1): 152-157.
6. Hong, Soon Taek. 1996. Influence of surfactants on properties of β-Lactoglobulin emulsions and heat-treated emulsion gels. UK: Ph.D. thesis, University of Leeds.
7. Jariwalla, R. J. 2001. Rice-bran products: Phytonutients with potential applications in preventive and clinical medicine. *Drugs Experimental Clinical Research*, 27:17-26.
8. Kahlon, T. S., Chow, F. I. and Sayre, R. N. 1994. Cholesterol-lowering properties of rice bran. *Cereal World*, 39: 99-103.
9. Kim, S. R., Ahn, J. Y., Lee, H. Y. and Ha, T. Y. 2004 Various properties and phenolic acid contents of rices and rice brans with different milling fractions. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 36:930-936.
10. Kinsella, J. E. and Pearce, K. N. 1978. Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique. *J. Agric. Food Chem.*, 26(3):716-723.
11. O'dell, B. L. and DeBoland, A. R. 1976. Complexation of phytate with proteins and cations in corn germ and oil seed meals. *J. Agric. Food Chem.*, 24(4):804-808
12. Phillips, M. C. and Graham, D. E. 1979. Proteins at liquid interfaces : Ⅲ. Molecular structures of adsorbed films. *J. Colloid and Interface Sci.*, 70(3):427-439
13. Quinn, J. R. and Paton, D. 1979. A practical measurement of water hydration capacity of protein materials. *Cereal Chem.*, 56:38-40.
14. Shih, F, F., Champagne, E. T., Daigle, K. and Zarins, Z. 1999. Use of enzyme in the processing of protein products from rice bran an rice flour. *Nahrung*, 43(1):14-18.
15. Shimizu, M., Saito, M. and Yamauchi, K. 1986. Hydrophobicity and emulsifying activity of milk proteins. Agric Biol Chem., 50:791-792.
16. Siebenmorgen, T., Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., and Burks, W. 1999. Preparation and Functional properties of rice bran protein isolate. *J. Agric. Food Chem.*, 47:411-416.
17. Thompson, L. U., Liu, R. F. K. and Jones, J. D. 1982. Functional properties and food applications of rapeseed protein concentrate. *J. Food Sci.*, 47:1175-118.
18. Tornberg, E. and Lundh, D. 1978. Functional characterization of protein stabilizated emulsions.: creaming stability. *J. Food Sci.*, 43:1553-1558.
19. Yu, Kyung Jin, 2008. *Emulsifying properties of rice bran protein. Korea*: MS. thesis, Chung Nam National Univ.