

건조 어육 단백질 분말의 식품학적 기능성

최경림¹ · 홍유미¹ · 이근우² · 최영준^{1*}

¹경상대학교 해양생명과학부/해양산업연구소

²군산대학교 식품공학과

Food Functionalities of Dried Fish Protein Powder

Gyeonglim Choi¹, Yumi Hong¹, Keun Woo Lee² and Yeung Joon Choi^{1*}

¹Division of Marine Life Science/Institute of Marine Industry,
Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

²Major in Food Biotechnology, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

Abstract

Functionalities of drum-dried fish muscle protein from pH shifting process have been investigated by determining solubility, emulsion activity, rehydration, fat-adsorption capacity, viscosity, and color. Solubility was higher in recovered protein at pH 7.0 than that at pH 5.5, and not dependent on ionic strength. Solubility of the dried protein recovered at pH 7.0 depended on pH of solvent, and lowest in the range of pH 3 to pH 6. The dried protein showed relatively low emulsion capacity in all the samples. Emulsion stability, foam capacity and foam stability were not observed in the samples. Viscosity was in the range of 50,200~39,000 cP. Rehydration and fat-binding capacities were 2.63~2.89 g-water/g and 2.13~2.17 g-oil/g, respectively, and not dependent on particle size and pH. Drum-dried fish muscle protein has a potential application as an ingredient of meat patty products.

Key words: dried fish protein, food functionalities, rehydration, fat-adsorption

서 론

수리미(surimi)의 중요한 기능적 특성은 염을 첨가하여 고기같이하고 가열했을 때 점탄성의 겔을 생성하는 것이다. 수리미 제조를 위한 원료는 어획시기가 제한되어 있기 때문에 장기간 저장하면서 제품을 만들기 위해 냉동 저장이 매우 중요하다. 냉동 저장은 미생물에 의한 부패를 방지하고 육에서 일어나는 생화학적인 반응을 최소화하지만, 동결 변성에 의한 어육 단백질의 기능적 특성의 손상을 피할 수 없다(1-4). 동결 저장 기간의 연장은 근원섬유단백질의 구조와 화학적 특성에 영향을 미쳐 최종 육제품의 품질을 저하시킨다(5). 동결한 수리미의 겔 형성능 저하는 근원섬유단백질의 동결 변성과 응집 때문이며(3,6,7), 동결과 냉동 저장 중 단백질의 변성에 영향을 미치는 인자는 염농도, pH, 이온강도, 표면장력 및 빙결정과 탈수의 물리적인 효과 등이다(7,8).

세포에 있는 물을 제거한다는 측면에서 건조에 의한 단백질 변성의 기구는 냉동변성 기구와 거의 같다(5). 그러나 냉동 변성을 최소화하기 위해 당을 첨가하는 것처럼 당을 첨가함으로써 건조하는 동안 단백질을 안정시켜 건조에 의한 단백질의 변성을 최소화 할 수 있다(9,10). 건조 단백질은 부피

감소로 인한 운반비용의 절감, 저장과 식품 소재로서 혼합의 용이성과 같은 많은 장점을 지니고 있기 때문에 건조 어육 단백질의 제조와 실용화에 관한 연구가 수행되었다(11,12). 그러나 이들 건조 어육 단백질의 식품학적 기능성에 관한 연구는 부진한 실정이다.

본 연구는 건조 어육 단백질 분말을 식품 소재와 수리미(surimi) 대체제로서 활용 가능성을 확인할 목적으로 pH 전이공정으로 어육 단백질을 회수하고, 드립건조기에서 건조한 어육 단백질의 용해도 특성, 유흥능과 안정성 및 수분과 기름의 흡착력과 같은 식품학적 기능성을 조사하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 냉동 깡치(*Johnius grypotus*; 체장, 11.5 ± 0.4 cm; 체중, 17.6 ± 2.4 g)는 부산 공동 어시장에서 구매하여 실험실로 운반한 다음 -20°C의 동결고에 보관하면서 실험에 사용하였다. 냉동 보관한 깡치 20 kg을 수도수에서 하룻밤 해동시키고 두부와 내장을 제거한 후 건조 단백질 제조를 위한 시료어로 사용하였다. 선도 지표로서 두부와 내장을 제거

*Corresponding author. E-mail: yjchoi@nongae.gsnu.ac.kr
Phone: 82-55-643-0686, Fax: 82-55-640-3111

한 깡치의 휘발성 염기질소 값은 25.2 ± 2.7 mg/100 g이었으며, 평균 수분과 조단백질 함량은 각각 76.8%와 18.2%였다.

건조 어육 단백질의 제조

두부와 내장을 제거한 깡치를 meat grinder(model M-12S, Fufee Korea, Hwaseong, Korea)에서 2회 마쇄한 후 9배량의 수도수를 첨가하고 산업용 균질기(0.4 kW, 3,600 rpm, Myungsung Electric Co., Seoul)로 3000 rpm에서 5분 동안 균질화하였다. 어육 현탁물에 6 N NaOH를 첨가하여 pH 11로 조절하여 어육을 용해시키고, 연속식 원심분리기(model GQB1-125, Liaqyang Sunny Pharmaceutical Co., China; 실린더 지름, 12.5 cm×높이, 90.0 cm)로 7,500 rpm에서 원심분리하여 단백질이 용해한 상층액을 회수하였다. 회수한 가용성 단백질에 6 N HCl을 첨가하여 pH 5.5로 조절하고 30분 동안 방치하여 단백질을 침전시킨 다음 침전 단백질은 동일한 원심분리기로 7,500 rpm에서 회수하였다. 침전(pH 5.5) 및 pH 7.0 조절 단백질에 건조 중 단백질의 변성을 방지하기 위해 5% sorbitol, 4% sucrose와 0.3% sodium polyphosphate를 첨가한 다음, 170°C의 드럼건조기(YSCSDT-4, Youngnam Machinery Inc, Co., Korea)에서 건조하였다. 건조한 어육 단백질은 grinder(300 Watt, Kitchen aid, USA)로 마쇄한 다음, 25 mesh 이하와 이상의 입자로 구분하여 식품학적 기능성 측정에 사용하였다.

용해도의 측정

건조 어육 단백질 50 mg을 5 mL의 용매에 녹인 후, 거품이 일어나지 않도록 vortex mixer로 잘 교반한 후, 원심분리(3,000×g, 15분)하여 얻은 상층액의 단백질 농도를 Lowry 법(13)으로 측정하였다. 용해도는 시료 g 당 가용성 단백질의 양으로 표시하였다. 건조 단백질 용해도의 pH 의존성은 0.1 M HCl-KCl(pH 2.0), 0.1 M citrate-phosphate(pH 3.0~5.0), 0.1 M sodium phosphate(pH 7.0~8.0) 및 glycine-NaOH(pH 9.0~10.0)에 분말 시료를 녹인 후 위와 동일한 방법으로 용해도를 측정하였다.

유화활성지표와 유화안정성의 측정

유화활성지표는 Pearce와 Kinsella(14)의 방법에 따라 측정하였다. 즉 125 mg의 분말 시료를 0.6 M KCl을 포함하는 20 mM sodium phosphate(pH 7.0)에 녹인 후 25 mL로 정용하여 50 mL의 원심관에 넣고, 6.7 mL의 옥수수 기름을 첨가하였다. 균질기(M133, BioSpec products INC, Barlesville, OK, USA)로 8,000 rpm에서 15초 동안 균질화한 다음 유화액 0.017 mL를 5 mL의 0.1% SDS(sodium dodecyl sulfate) 용액에 첨가하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였다. 유화활성지표는 다음의 식에 따라 계산하였다.

$$\text{유화능}(\text{m}^2/\text{g}) = 2 \times 2.303 \times \text{흡광도} \times \text{회석배수} / (\text{시료 용액중 단백질 농도, g/mL}) \times [(1 - \text{기름 부피획분}) \times 1,000]$$

유화안정성은 유화액 14 mL를 polyethylene tube에 넣고

냉장실에 보관하면서 기름과 수용상의 분리를 측정하여 전체 유화액 중 크림층의 부피를 %로 표시하였다.

수분 및 기름의 흡착력 측정

정확하게 무게를 단 50 mL의 원심관에 분말시료 1 g을 넣고 증류수 혹은 대두유 20 mL를 각각 첨가하여 균질기로 30초 동안 균질화하여 상온에서 20분 동안 방치한 후 원심분리(3,000×g, 10분)하였다. 원심분리 상층액은 버리고 여과지 위에 원심관을 뒤집어 잔여 상층액을 최대한 제거한 후 정확히 무게를 달아 흡착된 물과 기름의 양을 계산하였다. 흡착력은 시료 g 당 잔사물의 g수로 표시하였다.

점도 측정

건조 어육 단백질에 최종 농도가 2%가 되도록 NaCl을 첨가한 후 균질기로 8,000 rpm에서 20초 동안 균질화한 후, small sample adapter를 장착한 Brookfield 점도계(model HV, Brookfield, USA)로 25°C에서 측정하였으며, spindle은 No.27을 사용하였다.

색의 측정

건조 어육 단백질 분말의 CIE Lab color는 색차계(ZE-2000, Nippon Denshoku, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 황색도 값을 표시하였다. 색차계는 표준 색 plate(L*=96.83, a*=-0.36, b*=0.62)로 표준화하였다.

통계분석

표준편차와 유의성 검정은 통계프로그램인 JMP를 사용하여 oneway ANOVA의 Tukey-Kramer HSD로 실시하였으며(15), 유의차는 $p < 0.05$ 수준에서 검토하였다.

결과 및 고찰

용해도

어육 단백질 건조분말의 용해도는 pH 7.0으로 조절하여 얻은 단백질이 pH 5.5에서 얻은 단백질에 비하여 큰 것으로 나타났다(Fig. 1). pH 5.5에서 제조한 건조분말 단백질은 입자의 크기에 따른 용해도 차이를 보이지 않았으나, pH 7.0에서 제조한 단백질은 입자의 크기에 따라 용해도에 유의적인 차이를 보여 25 mesh 이상의 입자들이 25 mesh 이하의 입자에 비하여 용해도가 큰 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 건조분말 단백질의 용해도는 용매의 이온강도에 영향을 받지 않는 반면, 건조분말 단백질 제조시의 최종 pH와 입자의 크기에 의해 영향을 받음을 의미한다.

pH 7.0로 제조한 단백질의 pH 별 용해도는 전형적인 단백질의 pH 의존성을 보여 pH 3 이하와 pH 6.0 이상에서 용해도가 급격히 증가하였다(Fig. 2). 이 같은 결과는 어육 단백질이 pH 5.0~5.5 부근에서 최소의 용해도를 보이고 pH 4.0 이하와 pH 9.0 이상에서 용해도가 급격히 증가한다는 보고

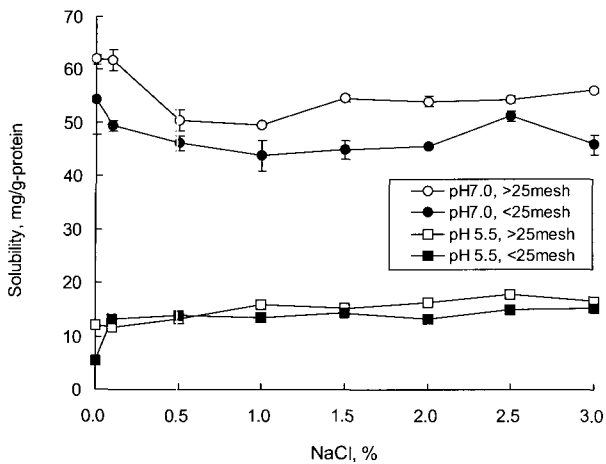


Fig. 1. Effect of NaCl on solubilities of dried fish muscle protein.

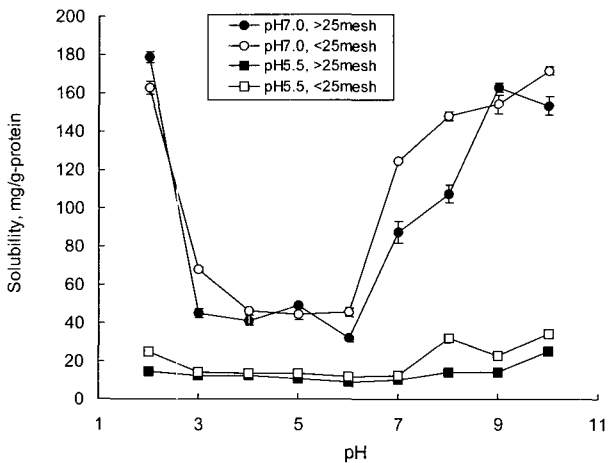


Fig. 2. Effect of pH on solubilities of dried fish muscle protein.

(16,17)와 비교할 때 최소 용해도를 나타내는 pH의 범위가 3~6 사이로 다소 넓은 특징을 보이고 있었다. pH 5.5로 제조한 단백질의 용해도는 pH에 영향을 받지 않았다(Fig. 2). 일반적으로 단백질의 계면 특성은 단백질의 수용성과 관련이 있기 때문(18)에 낮은 용해도는 유화활성지표와 유화안정성에 영향을 미칠 것으로 예상하였다.

유화활성지표와 유화안정성

건조분말 어육 단백질의 유화활성지표는 pH 5.5 단백질이 0.035~0.043 m²/g-protein의 범위였고, pH 7.0 단백질은 이보다 낮은 값을 보였다(Fig. 3). 그리고 유화안정성과 거품능 및 거품 안정성은 나타나지 않았다(data는 제시하지 않음). 잉어 myosin 용액의 계면현상은 45°C 부근에서 현저하게 변하며, 가열 온도가 60°C 이상일 때 유화는 분리와 coalescence의 방향으로 유화가 풀어진다(19). 변성 단백질의 유화능, 유화안정성 및 지방 결합 능력은 단백질이 변성하기 전의 소수성 및 용해도와 밀접한 상관을 가지며, 거품능은 단백질이 변성한 후 노출된 소수성과 점도가 중요한 역할을

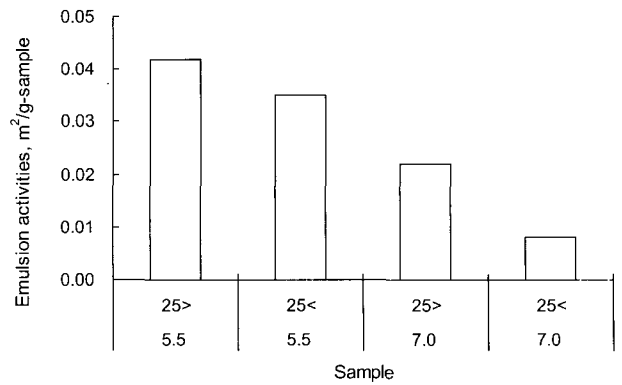


Fig. 3. Emulsion activities index of dried fish muscle protein.

수행한다(20). 거품능은 단백질 구조의 유연성과 전체 소수성의 크기와 비례하며, 공기/물의 계면과 기름/물의 계면에서 unfolding되기 때문이라고 보고하였다(21). 이 같은 보고에 비추어 건조분말 어육단백질의 낮은 유화활성지표와 거품능은 변성하기 전 단백질의 유연성 부족과 수용성 용매에 용해하지 않는 입자들의 분포에 기인하며, 과도한 가열이 일부 단백질 용액의 소수성을 오히려 감소시키기 때문이다. 그리고 냉동 꼬마민어 회수단백질의 반응성 및 총 SH기의 함량은 80°C에서 가열했을 때 pH(pH 7.0~11.0)가 상승함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이가 없다고 보고한 점(22)에 미루어, 건조분말 어육 단백질의 pH 변화에 따른 SH기 함량에 기인한 단백질 유연성의 변화는 크지 않을 것으로 판단하였다.

수분과 지방의 흡착능력

건조 어육 단백질 분말의 수분흡착능력은 2.63~2.89 g-water/g-sample였고, pH와 입자 크기에 따른 차이는 없었다(Fig. 4). 단백질과 관련한 물은 6가지의 기본적인 형태로 구분할 수 있으며, 결합하는 물의 양과 정도는 단백질 형태, 단백질 농도, 노출된 극성기의 수, pH, 염 및 온도에 영향을 받는다(23). 이 같은 보고에 비추어 건조 어육 단백질 분말의 수분흡착능력이 높은 것은 이들 단백질이 크게 변성

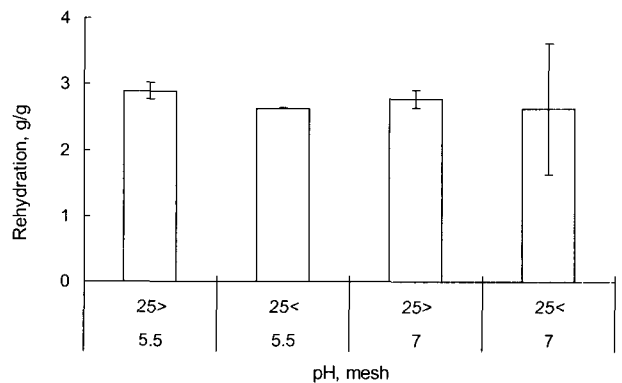


Fig. 4. Rehydration of dried fish muscle protein with pH and particle size.

되어 극성기의 노출 정도가 높기 때문인 것으로 판단되었으며, 초기 pH 값은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 지방의 흡착력은 2.13~2.17 g-oil/g-sample로 수분흡착력에 비하여 다소 낮았으나, 입자 크기와 pH 차이에 의한 흡착력의 차이는 관측되지 않았다(Fig. 5). 가열한 단백질의 지방 결합 능력은 단백질의 종류에 따라 영향을 받지 않거나 감소되기도 한다. 그리고 단백질의 지방흡착능력은 육 대체제 혹은 extenders로 응용하기 위한 중요한 기능적 특성이며, 특히 향미성분을 유지하고 식감을 개선하기 위해 중요하다(18). 지방흡착능력은 단백질 matrix의 구조에 의해 지배되지만(23), 입자 크기와 pH 차이에 따른 유의적인 차이가 발견되지 않는 것에 미루어 본 연구에서 사용한 분말 제품의 다공성의 크기는 차이가 없는 것으로 판단하였으며, 비교적 높은 지방흡착능력에 미루어 육 대체제 혹은 extender로서 활용 가능성을 제시한다.

점도

건조 어육 단백질 분말 용액의 점도는 50,200~39,000 cP의 점도값을 보여(Fig. 6), 시판 수리미인 Pacific whiting의

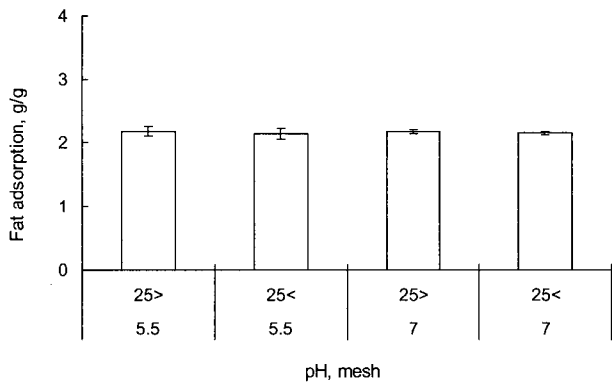


Fig. 5. Fat absorption capacity of dried fish muscle protein with pH and particle size.

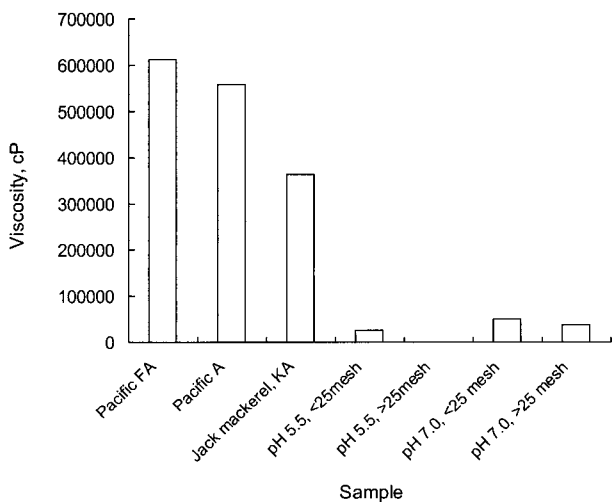


Fig. 6. Viscosity of commercial surimi and dried fish muscle protein at 25°C.

FA급, A급 및 Jack mackerel KA급의 점도인 613,000 cP, 560,000 cP 및 364,000 cP 값에 비하여 현저히 낮았다. 단백질 용액의 점도는 분자의 크기, 형태, 유연성, 수화 정도 및 분자간 상호작용의 함수이고(21), 변성에 의한 단백질 구조의 unfolding이 일어날 때 고유 점도 값은 현저히 감소한다고 보고하였다(24). 이 같은 보고에 미루어 현저한 점도의 감소는 분말 제조 중 가열 공정에 의한 단백질의 변성에 기인한 것으로 보인다.

건조 어육 단백질 분말의 색

건조 어육 단백질 분말의 명도 값은 입자의 크기가 큰 것이 높았으나, 적색도는 입자가 작은 것이 높은 값을 나타내었다. 그러나 황색도는 11.78~13.91의 범위로 입자에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다(Fig. 7). 단백질 회수를 위한 pH 값은 명도, 적색 및 황색도 값에 큰 영향을 미치지 않았다. 이 같은 결과는 Park(25) 및 Choi 등(26)이 보고한 소형

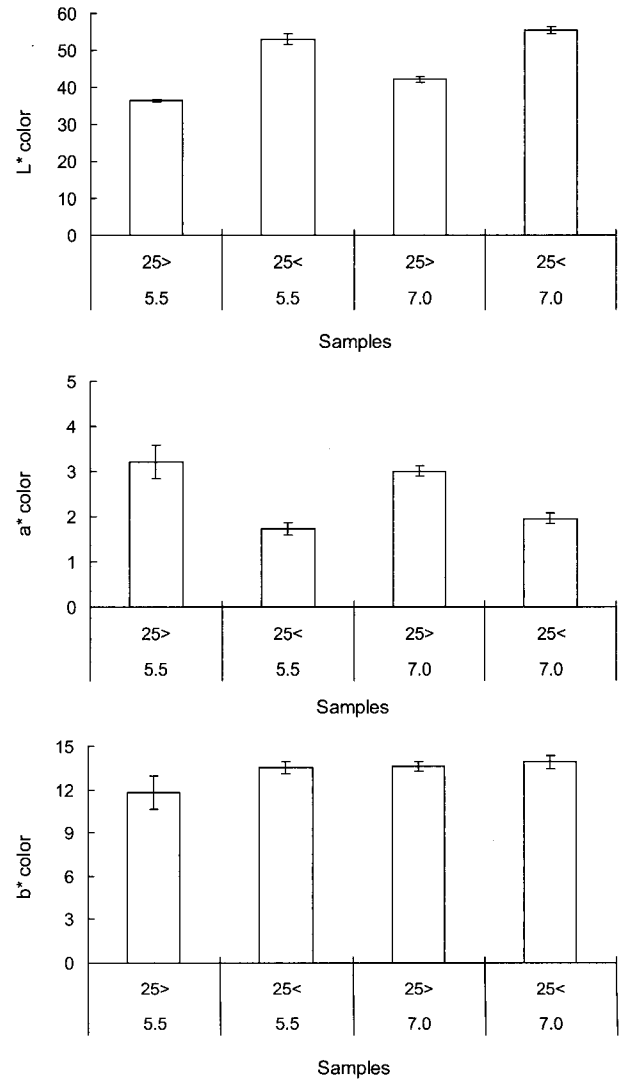


Fig. 7. Lightness (top), redness (middle), and yellowness (bottom) of dried fish muscle protein.

청 단백질, 건조난백단백질, 대두단백질 단리물, 유장단백질 및 유장단백질 단리물(isolate)의 명도 값(77~79)에 비하여 낮고, 황색도(4.0~5.5)는 높았다. pH 전이 공정에 따라 알칼리 혹은 산 처리 방법으로 회수한 어육 단백질은 수세공정에 비하여 다량의 hemoglobin 혹은 myoglobin을 함유하기 때문에 수세공정으로 회수한 단백질에 비하여 낮은 명도와 높은 황색도를 가진다고 보고하였다(16). 본 연구에서 어육 단백질의 회수는 pH 전이공정을 사용하였기 때문에 최종 건조 분말 제품에 전이된 hemoglobin 혹은 myoglobin이 명도의 감소와 황색도의 증가에 기여한 것으로 보인다.

요 약

pH 전이공정에 따라 어육 단백질을 회수하고 드럼건조하여 분말 단백질을 제조한 후, 이들 단백질의 몇 가지 식품학적 기능성을 측정하였다. 건조 어육 단백질 분말의 용해도는 pH 7.0으로 조절한 단백질이 pH 5.5에 비하여 높았다. 유효활성지표는 0.035~0.043 m²/g-protein(pH 5.5 단백질 분말)로 비교적 낮았다. 그리고 유효안정성, 거품능 및 거품안정성은 관측되지 않았다. 점도 값은 수리미 단백질의 1/10에 불과한 50,200~39,000 cP의 범위였다. 수분과 지방흡착능력은 각각 2.63~2.89 g-water/g과 2.13~2.17 g-oil/g이었고, 입자의 크기와 pH에 따른 영향은 없었다. 이 같은 실험 결과는 지방흡착을 위한 육의 대체제로 patty 제품 등에 건조 어육 단백질을 적용할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 한국해양수산개발원에서 지원한 수산기술개발사업과제(관리번호:20010251) 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

문 헌

- Powrie WD. 1973. Characteristics of food myo-system and their behavior during freeze-preservation. In *Low temperature preservation of foods and living matter*. Fennema OR, Powrie WD, Marth EH, eds. Marcel Dekker, New York. p 598.
- Matsumoto JJ. 1979. Denaturation of fish muscle proteins during frozen storage. In *Proteins at low temperature*. Fennema OR, ed. American Chemical Society, Washington, DC. p 205-226.
- Matsumoto JJ. 1980. Chemical deterioration of muscle proteins during frozen storage. In *Chemical deterioration of proteins*. Whitaker JR, Fujimaki M, ed. American Chemical Society, Washington, DC. p 95-124.
- Park JW, Lanier TC, Keeton JT, Hamann DD. 1987. Use of cryoprotectants to stabilize functional properties of pre-rigor salted beef during frozen storage. *J Food Sci* 52: 537-542.
- Park JW, Lanier TC. 1987. Combined effects of phosphate and sugar or polyol on protein stabilization of fish myofibrils. *J Food Sci* 52: 1509-1513.
- Sikorski Z, Olley J, Kostuch S. 1976. Protein changes in frozen fish. *Crit Rev Food Sci Nutr* 8: 97-121.
- Shenouda SYK. 1980. Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. In *Advances in food research*. Chichester CO, Mark EM, Stewart GF, eds. Academic press, New York. Vol 26, p 275-311.
- Park JW. 1994. Cryoprotection of muscle proteins by carbohydrates and polyalcohols- a review. *J Aquatic Food Prod Technol* 3: 23-41.
- Carpenter JF, Crowe JH, Arakawa T. 1989. Comparison of solute-induced protein stabilization in aqueous solution and the in the frozen and dried states. *J Dairy Sci* 73: 3627-3636.
- Carpenter JF, Arakawa T, Crowe JH. 1991. Interactions of stabilizing additives with proteins during freeze-thawing and freeze-drying. *Develop Biol Standard* 74: 225-239.
- Niki H, Matsuda Y, Suzuki T. 1992. Dried forms of surimi. In *Surimi technology*. Lanier TC, Lee CM, eds. Marcel Dekker, New York. p 209-242.
- Reynolds J, Park JW, Choi YJ. 2002. Physicochemical properties of Pacific whiting surimi as affected by various freezing and storage conditions. *J Food Sci* 67: 2072-2078.
- Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with Folin phenol reagent. *J Biol Chem* 193: 256-275.
- Pearce KN, Kinsella JE. 1978. Emulsifying properties of proteins: evaluation a turbidimeter technique. *J Agric Food Chem* 26: 716-723.
- SAS. 2002. JMP, version 5, Statistics and graphics guide. SAS Institute, Cary, NC, USA. p 87-122.
- Choi YJ, Park JW. 2002. Acid-aided protein recovery from enzyme-rich Pacific whiting. *J Food Sci* 67: 2962-2967.
- Park JD, Jung C-H, Kim J-S, Cho D-M, Cho MS, Choi YJ. 2003. Surimi processing using acid and alkali solubilization of fish muscle protein. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 400-405.
- Voutsinas LP, Cheung E, Nakai S. 1983. Relationship of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins. *J Food Sci* 48: 26-32.
- Kawai Y, Hatano M, Zama K. 1987. Effect of heat treatment on the emulsifying properties of carp myosin. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53: 665-671.
- Nakai S. 1983. Structure-function relationships of food proteins with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity. *J Agric Food Chem* 32: 676-683.
- Townsend A-A, Nakai S. 1983. Relationships between hydrophobicity and foaming characteristics of food proteins. *J Food Sci* 48: 588-594.
- Jung CH, Kim J-S, Jin S-K, Kim IS, Jung K-J, Choi YJ. 2004. Gelation properties and industrial application of functional protein from fish muscle-1. Effect of pH on chemical bonds during thermal denaturation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1668-1675.
- Barbut S. 1996. Determining and fat holding. In *Methods of testing protein functionality*. Hall GM, ed. Blackie Academic & Professional, New York. p 186-225.
- Schenz TW, Morr CV. 1996. Viscosity. In *Methods of testing protein functionality*. Hall GM, ed. Blackie Academic & Professional, New York. p 61-75.
- Park JW. 1994. Functional protein additives in surimi gels. *J Food Sci* 59: 525-527.
- Choi YJ, Cho MS, Park JW. 2000. Effect of hydration time and salt addition on gelation properties of major protein additives. *J Food Sci* 65: 1338-1342.

(2006년 10월 21일 접수; 2006년 11월 28일 채택)