

홍게 가공회수 단백질의 거품 형성력 및 안정성

김용진 · 신태선 · 오훈일

세종대학교 식품공학과

Foaming Capacity and Foaming Stability of Protein Recovered from Red Crab Processing Water

Yong-Jin Kim, Tai-Sun Shin and Hoon-II Oh

Dept. of Food Science and Technology, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

Abstract

Foaming capacity (FC) and stability (FS) of protein recovered from red crab (*Chitinonecetes opilio*) processing in water (RCP) and soybean protein isolate (SPI) were determined at pH 2.0~10.0 in water and NaCl solution (0.1 and 0.5M). The FC values for both proteins showed the lowest values at the isoelectric point (pH 4.0) and increased with an increase in pH above the isoelectric point. FC of RCP was higher than that of SPI at pH 10.0 in water and both NaCl solutions. FC of SPI increased with an increase in NaCl concentration at pH 4.0 and 6.0, but FC of RCP was not affected. The highest FS values for both proteins were obtained at pH 4.0 in water. At pH 2.0, FC of RCP decreased with NaCl concentration increase, but FS increased. NaCl concentration had little effect on FS of RCP at pH 4.0 and 6.0, but the FS decreased at pH 10.0. FS of SPI was similar to that of RCP at pH 2.0 and increased with NaCl concentration increase from 0.1 to 0.5M NaCl at pH 10.0.

Key words : red crab protein, foaming capacity, foaming stability

서 론

단백질의 물리화학적 성질은 식품의 조직감 및 관능성과 식품의 조리, 제조 공정 또는 저장시 식품의 물성에 중요한 역할을 한다²⁻⁴⁾. 단백질의 기능성은 전보¹⁾에서 살펴본 바와 같이 용해도, 유화력, 수분 및 유지 흡착력, 거품 형성력 및 안정성이⁵⁻⁸⁾ 있다. 거품 형성력과 안정성은 단백질의 성질을 이해하거나 예상하는데 필요하며⁹⁾ 빵류, 유제품 등과 같이 단백질 이용 식품에 중요하다¹⁰⁾. 거품 형성은 내외적인 단백질간의 복합적 상호작용과 여러 요소에 의존하기 때문에 단순히 설명하기는 어렵다¹⁻¹⁴⁾. 그러나 일반적으로 거품 형성력 및 안정성은 가용성 단백질의 농도와 단백질 용액의 pH, 이온세기, 이물질, 온도 등에 크게 영향받으며 거품 형성력은 단백질의 용해도와 높은 상관관계를 가지나 안정성은 그렇지 않다고 보고되었다⁴⁾. 이 등¹⁵⁾은 이런 성질을 이용하여 기포분리 조작으로 소 혈청으로부터 단백질을 분리 농축하였다.

단백질을 81.9% 함유한 홍게(*Chitinonecetes opilio*)

가공액을 단백질 자원으로 이용하기 위하여 저자들은 전보¹⁾에서 가공액으로부터 단백질을 회수 분리하여 일반성분, 아미노산 조성, 유지 흡착력, 용해도 등을 연구하여 이들을 콩 단백질과 비교하였다. 그 결과, 홍게 가공액 단백질(이하 홍게 단백질)이 콩 단백질(이하 콩 단백질)보다 유지 흡착력이 더 좋았고, 단백질 용해도는 염 농도에 따라 큰 변화를 보였다. 유화력은 단백질의 농도와 관계없이 pH 4.0에서 가장 낮았고 산성, 알칼리성으로 갈수록 급증하였다.

본 연구는 홍게 폐가공액을 이용하여 단백질을 분리하고, 콩 단백질과 거품 형성력 및 안정성을 비교 검토하여 자원으로 활용하기 위한 결과이다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

1) 재 료

강원도 속초시 H상사로부터 60℃에서 5분간 데친 홍

게 가공액을 구입하여 전보¹⁾와 같이 단백질을 분리 추출하여 동결 건조시켜 홍게 단백질로 하였다. 비교구로 콩 단백질(Protein Technology International Co., St. Louis, MO, USA)을 사용하였다.

2. 실험 방법

1) 거품 형성력 및 안정성

거품 형성력은 Sathe와 Salunkhe의 방법⁶⁾을 변형하여 측정하였다. 즉 시료 1g에 증류수, 0.1M 또는 0.5M NaCl 용액 100ml 씩을 가하고 pH를 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 및 10.0으로 조절한 후 Waring blender로 고속으로 5분간 거품을 형성시키고 250ml 눈금 실린더로 부피 변화를 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{Volume increase (\%)} = \frac{\text{Volume after whipping (ml)} - \text{Volume before whipping (ml)}}{\text{Volume before whipping (ml)}} \times 100$$

거품 안정성은 시간(0, 15, 30, 60, 120, 180, 360 min)당 부피 변화(%)로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 거품 형성력

콩 단백질을 비교 단백질로 홍게 단백질의 거품 형성력을 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 거품 형성력은 두 단백질 모두 등전점 부근에서 최소를 나타냈고, 등전점 이상의 pH에서는 크게 증가하였다. Nath와 Narasinga Rao¹⁶⁾는 구아콩 단백질의 거품 형성력은 등전점에서 최소가 되며, 그 이유는 낮은 단백질의 용해성과 단백질 구조가 풀리는 것을 막으려는 분자간의 상호작용 때문으로, 전기적 반발력이 최소가 되어 분자 상호간의 응집성이 증가하고 거품을 형성하는 단백질 막의 기계적 성질과 점도를 증가시켜 주기 때문이라고 하였다. pH 4.0~6.0에서의 거품 형성력은 콩 단백질이 우수하였으나 알칼리성과 산성 구간에서는 홍게 단백질이 더 우수하였다. pH 10.0에서는 최고 50%의 차이를 보여 전보¹⁾의 용해도 실험과 유사한 결과를 나타냈다. Kinsella¹⁾는 이 차이를 다량의 불용성 단백질의 존재 때문이라고 하였다. 거품 형성시 단백질 분자는 공기-물의 계면에 흡착되고 거품을 안정화시키는 막을 형성하려고

상호작용을 하며 이때 가용성 단백질의 농도가 중요하다고 하였다. 최 등¹⁷⁾도 염용성 단백질보다 수용성 단백질이 거품 형성력과 안정성이 더 우수하였다고 하였다. 이는 염용성 단백질의 표면활성이 표면장력을 낮춰 줄만큼 강하지 못해 수용성 단백질보다 액체의 변형을 어렵게 해주고 표면적을 적게 해주어 거품 형성력이 낮기 때문이라고 하였다. 그러나 근섬유, 교질 단백질과 같은 불용성 단백질도 등전점에서 표면 점도를 증가시켜서 거품의 안정성에 기여한다고 보고하였다¹⁸⁾. Eldridge 등¹⁹⁾도 가수분해시키지 않은 콩 단백질의 거품 형성력에 대한 pH의 영향 실험에서 거품 팽창력과 안정성은 용해도에 좌우되며 등전점 부근에서 가장 낮다고 하였다.

Nakai²⁰⁾는 용해도, 점도, 소수성이 거품 형성력에 미치는 기여도를 연구하여 점도, 소수성도, 용해도 순서로 거품 형성력과 상관 관계가 높다고 하였다. Kato와 Nakai²¹⁾는 단백질의 표면 소수성이 거품 형성력과 관계 있는 표면장력과 계면장력을 낮추는 능력과 플러스의 상관관계가 있다고 하였다. 전보¹⁾에서 콩 단백질의 소수성 아미노산 함량 3.2%가 홍게 단백질의 소수성 아미노산 함량 2.9%보다 높게 나타났고 콩 단백질이 유화 형성력은 높은 반면 용해도는 홍게 단백질이 높게 나타나 소수성과 유화 형성력, 용해도간에 상관 관계가 있는 것으로 나타났다. pH 4.0~6.0의 구간에서 홍게 단백질의 용해도가 급격히 감소하고 거품 형성력도 낮은 것은 홍게 단백질 제조시 홍게 가공액을 pH 4.0로 조정된 후 침전 분리하였기 때문이다.

소량의 지질은 거품 형성력을 저하시킨다고 보고²²⁾되어 있다. 이는 극성 지질이 공기-물 계면의 막에 흡착되어 적당히 재배열하는 것을 방해하기 때문으로 보인다¹⁸⁾. 김 등⁷⁾은 루핀 콩의 지방과 일부 수용성 물질을 제거하여 거품 형성력을 증가시킬 수 있다고 하였고, 인지질을 제거한 콩 단백질과 적은 양의 지질을 함유한 분리유청 단백질은 원래의 단백질들보다 거품 형성력이 향상되었다고 하였다. 홍게 단백질의 지질 함량은 7.6%로, 콩 단백질의 0.2%보다 상당히 높지만 홍게 단백질의 거품 형성력은 콩 단백질보다 낮았다. 홍게 단백질의 지방량을 감소시키면 거품 형성력이 증가할 것으로 생각된다.

염은 단백질의 용해도, 점도, 점함과 응고에 영향을 주면서 거품 형성력을 변화시킬 수 있다²³⁾. 일반적으로 NaCl은 거품 형성력을 향상시켜 주나 안정성은 감소시킨다^{18,22)}. 본 실험에서 0.5M NaCl 첨가시 pH 2.0에서 증류수 처리 결과보다 콩 단백질은 거품 형성력이 18.0%, 홍게 단백질은 25.0% 감소하였고 pH 4.0과 pH

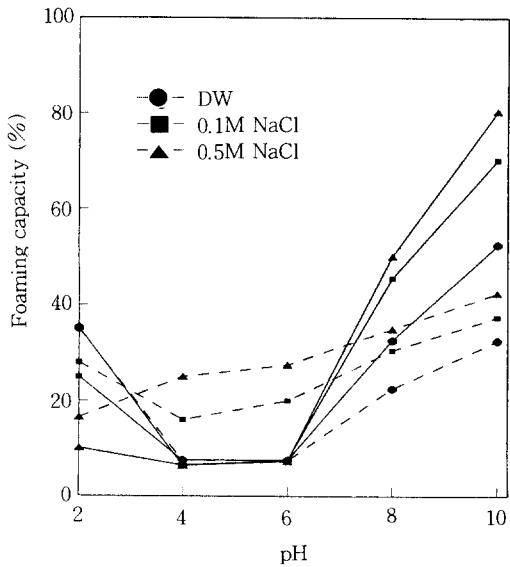


Fig. 1. Foaming capacity of protein recovered from red crab processing water and soybean protein in distilled water, 0.1M and 0.5M NaCl solution. - : red crab protein, -- : soybean protein.

6.0에서는 콩 단백질의 경우 염의 농도가 증가할수록 거품 형성력도 증가하였으나 홍게 단백질은 거의 영향을 받지 않았다. pH 10.0에서는 염의 첨가에 상관없이 홍게 단백질의 거품 형성력이 콩 단백질보다 우수하였다. 두 비교구 모두 pH 2.0에서는 염 농도가 증가할수록 거품 형성력은 감소하였으나 pH 8.0 이상의 알칼리성에서는 염 농도가 증가할수록 거품 형성력도 증가하였다. Nath와 Narasinga Rao⁶⁾는 NaCl 농도가 증가할수록 거품 형성력은 급격히 증가하여 구아콩밀(meal)과 구아콩 단백질은 0.3M NaCl 농도에서, 콩밀(meal)은 0.34M NaCl 농도에서 그리고 콩 단백질은 0.37M NaCl 농도에서 각각 최대의 거품 형성력을 보였고 그 이상에서는 서서히 감소하였다고 하였다. Sathe 등²⁴⁾은 0.6M NaCl 농도에서 루핀콩 단백질이 최대의 거품 형성력을 갖는다고 하였다. 이 결과는 전보¹⁾에 살펴본 용해도에서 0.1M NaCl 농도에서 용해도가 증가하였다가 0.5M NaCl 첨가시 용해도가 감소한 결과와 유사하였으나 거품 형성력과는 대조적인 결과를 보여 거품 형성력에 영향을 미치는 인자는 용해도 외의 다른 인자가 함유되어 있기 때문으로 보인다.

2. 거품 안정성

거품을 형성시킨 후 시간 경과에 따른 거품 부피 변

화로 측정된 단백질의 거품 안정성의 결과는 Fig. 2~7과 같다. 증류수 처리구에 관한 콩 단백질과 홍게 단백질의 거품 안정성은 pH 4.0에서 각각 6.5%와 7.5%로 가장 적게 거품이 형성되었으나 안정성은 가장 뛰어나았다. Sathe와 Salunkhe⁶⁾는 루핀콩 단백질의 실험에

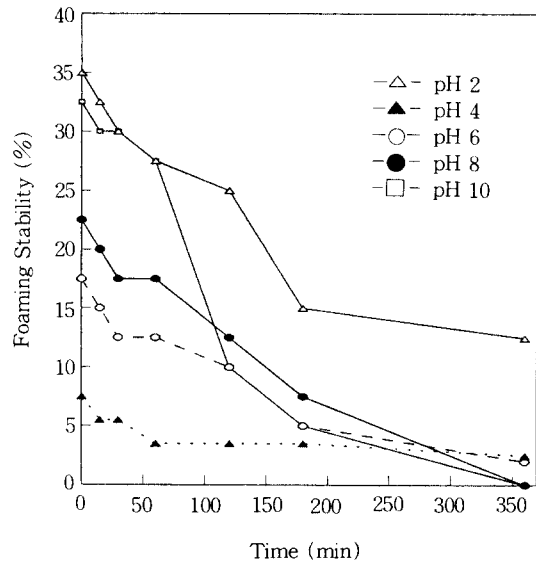


Fig. 2. Foaming stability of soybean protein in distilled water.

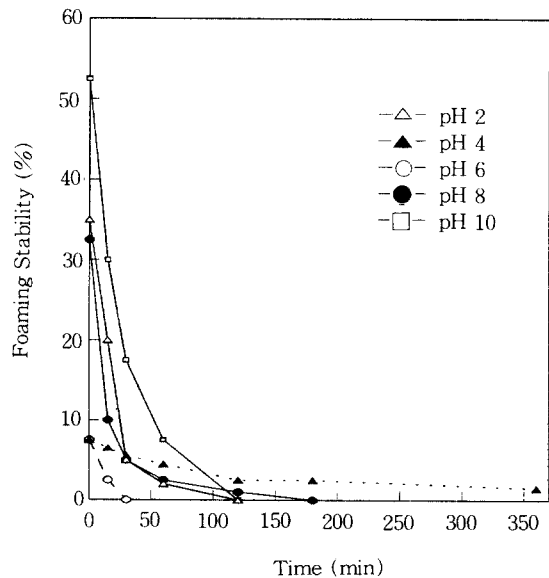


Fig. 3. Foaming stability of protein recovered from red crab processing water in distilled water.

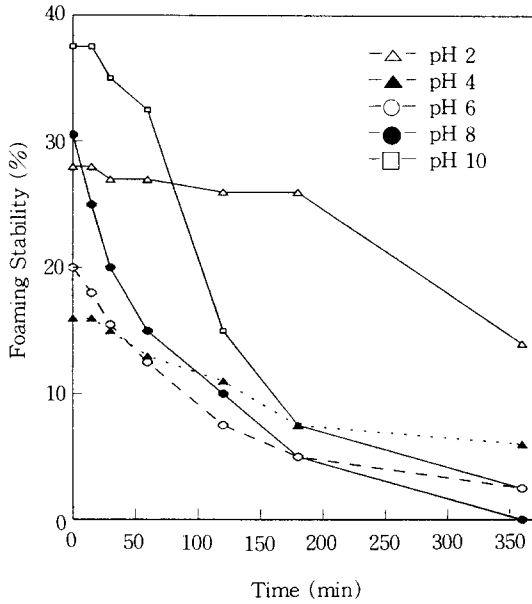


Fig. 4. Foaming stability of soybean protein in 0.1M NaCl solution.

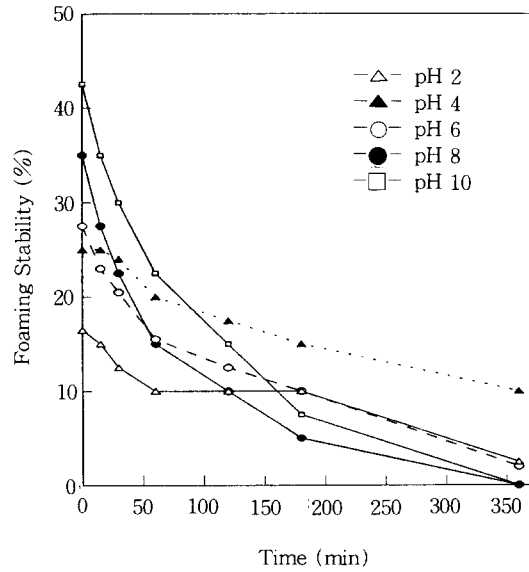


Fig. 6. Foaming stability of soybean protein in 0.5M NaCl solution.

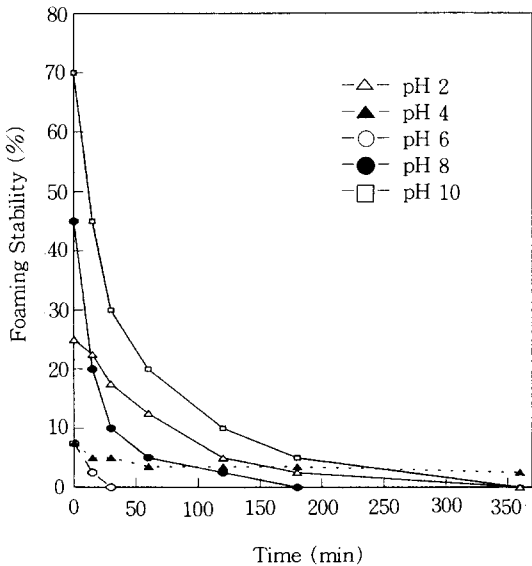


Fig. 5. Foaming stability of protein recovered from red crab processing water in 0.1M NaCl solution.

서 등전점에서 거품이 가장 적게 형성되었으나 안정성은 가장 높다고 하여 본 실험 결과와 일치하였다. 또한, 알칼리성 범위보다는 산성 범위에서 더 높은 거품 안정

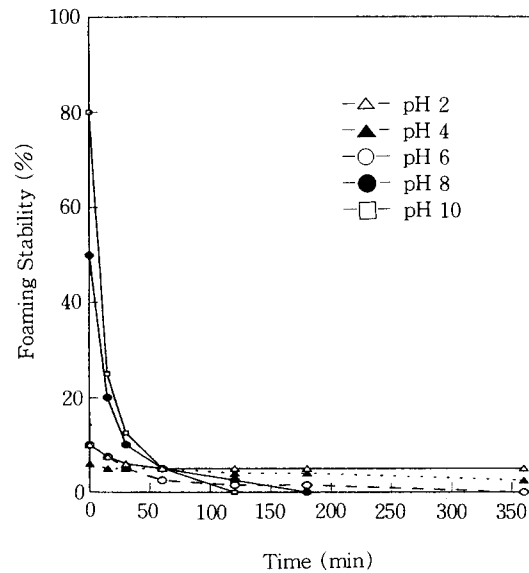


Fig. 7. Foaming stability of protein recovered from red crab processing water in 0.5M NaCl solution.

성을 나타냈다. 이는 산성에서 공기과 물의 접촉면에 기포에 안정성, 조직성 그리고 탄성력을 부가해 주는 안정한 분자 층이 형성되기 때문으로 생각된다. 홍게 단백질의 경우 pH 4.0을 제외한 모든 구간에서 기포 안정성이

콩 단백질보다 낮아 2시간 이내에 거품이 소멸되었으며 pH 6.0에서 30분으로 가장 낮은 안정성을 나타냈다. 거품이 소멸되는 것은 큰 기포가 작은 기포를 소비하면서 자라기 때문이다. 그러므로 거품의 안정성은 가스에 대한 단백질 막의 안정성과 투수성에 의존하며, 막의 안정성은 흡착된 단백질의 량과 분자간의 상호작용력에 영향을 받는다. 또 단백질 막의 두께, 점성, 탄력성, 연속성, 공기의 투과성 등도 단백질 막의 안정성에 중요하다고 하였다²²⁾. 단백질 표면의 변성은 아미노산의 결사슬이 드러나서 분자간의 상호작용을 증진시켜 강한 교차결합으로 막이 더 안정화되며⁴⁾ 실제 전하(net charge) 밀도와 거품 안정성간에는 역함수의 상관관계를 갖는다고 하였다²⁵⁾. 단백질의 열변성에 의한 표면 소수성의 증가와 표면 장력의 감소는 유화력, 거품 형성력 및 거품 안정성을 향상시키며²⁰⁾ 소수성과 점도간에 상관관계가 높은 단백질 용액에서는 소수성과 점도가 거품 안정성에 기여할 수도 있다고 한다²⁰⁾. 홍계 가공액은 60°C에서 5분간 데쳐서 제조하였기 때문에 단백질이 부분적으로 변성되어 기능성이 변화될 것이다. Phillips 등¹⁰⁾은 분리 유청 단백질을 55°C에서 10분간 가열하였을 때 이 단백질의 거품 형성력이 증가한다고 하였다. 거품 형성력의 증가는 β -lactoglobulin의 부분적인 집합과 단백질간의 상호작용의 상승에 의한 것으로 보고했다. 분자량이 큰 구형 단백질은 단백질의 막 형성시 적당한 표면 물성을 갖기 때문에 안정성이 높은 거품을 형성한다. 홍계 단백질은 분자량, 구조적 안정성 등에서 콩 단백질과 차이를 나타낸다. Nath와 Narasinga Rao¹⁶⁾는 구아콩 단백질의 기포는 초기에 감소하였으나 시간 경과에 따라 안정성은 지속되었고 콩 단백질의 기포 안정성은 계속 감소하였다고 한다. 이는 구아콩 단백질의 고유 특성에 기인한다고 보고하였다.

한편, 거품 안정성에 대한 NaCl의 효과는 홍계 단백질의 경우 pH 2.0에서 염 농도가 증가할수록 거품 형성력은 감소하였으나 안정성은 증가하여 0.5M NaCl 첨가시 6시간 후에도 거품이 50% 남았다. pH 4.0과 6.0에서는 염의 첨가에 따른 변화는 크지 않았고 pH 10.0에서 거품 형성력은 증류수 처리보다 0.5M NaCl 첨가로 약 30% 증가되었으나 거품 안정성은 오히려 감소하였다. 콩 단백질은 pH 2.0에서 염 첨가시 홍계 단백질 결과와 유사한 경향을 나타냈고 pH 4.0과 6.0에서는 염에 의한 거품 형성력은 증가하였으나, 안정성은 증류수 처리시와 유사하였다. pH 10.0에서의 거품 형성력은 앞서의 홍계 단백질과 유사하여 증류수 처리시 32.5%에서 0.5M NaCl 첨가하면 42.5%로 증가하였다. 홍계 단백질의 거품 안정성은 감소하였으나 콩 단백질은 6시

간이 경과한 후에도 거품이 7.5% 남아 안정성이 증가하였다. 또한, 홍계 단백질은 콩 단백질 보다 거품 안정성이 떨어졌다. Nath와 Narasinga Rao¹⁶⁾ NaCl의 농도 증가에 따라서 구아콩밀과 콩밀의 거품 안정성이 증가하여 NaCl의 농도가 0.4M 일 때 최대이며 그 이상에서는 감소한다고 하였다. 또 콩 단백질의 거품은 0.1~0.8M NaCl 농도에서 빠른 속도로 소멸하였고 0.2M NaCl 농도에서는 90분 이내에 완전히 거품이 소실되어 구아콩 단백질보다 거품 안정성이 훨씬 낮았다고 하였다. 이 결과¹⁶⁾에서 사용한 콩 단백질의 단백질 함량은 84%로 본 실험에서 사용한 단백질의 단백질 함량 91.0% 보다 낮기 때문에 거품의 안정성이 다른 것으로 보인다. 일반적으로 거품 형성력 및 안정성은 단백질 용액의 pH, 이온, 이 물질, 온도 등의 영향을 크게 받으며, 거품 형성력은 용해도와 높은 상관관계를 가지나 안정성은 상관관계를 갖지 않는다고 보고되었다. 거품의 안정성은 단백질간과 단백질물 사이의 상호작용의 상대적 크기에 좌우되며, 이것은 단백질 분자상의 하전과 이온 환경에 영향받는 것으로 알려져 있다⁴⁾.

요 약

홍계를 데친 폐액을 pH 4.0에서 침전 분리하여 단백질을 제조하여 거품 형성력과 안정성을 측정하였다. pH 4.0~6.0에서의 거품 형성력은 콩 단백질이 우수하였으나 알칼리성과 산성에서는 홍계 단백질이 더 우수하였고 pH 10.0에서는 최고 50%의 차이를 보였다. 한편, 두 비교구 모두 pH 2.0에서는 NaCl을 첨가하면 거품 형성력이 감소하였으나 pH 8.0이상에서는 염의 농도가 증가할수록 거품 형성력도 증가하였다. 거품 안정성은 두 단백질 모두 등전점에서 가장 높게 나타났으며 콩 단백질이 홍계 단백질 보다 더 우수하였다. 두 단백질 모두 pH 4.0~6.0구간에서 NaCl 첨가에 따른 변화는 크게 나타나지 않았으나 pH 10.0에서는 감소하였다.

참고문헌

1. 김용진, 신대선, 오훈일 : 홍계 가공희수 단백질의 용해도, 유화력 및 유화 안정성, 한국식품영양학회지, 9(3), 319 (1996).
2. Acton, J. C., Ziegler, G. R. and Burge, D. L., Jr. : Functionality of muscle constituents in the processing of comminuted meat products, *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 18, 99 (1983).
3. Fox, P. : Developments in Dairy Chemistry, Vol. 1, Proteins, Applied Science Publishing, London, p.

- 254 (1982).
4. Kinsella, J. E. : Functional properties of proteins in foods : A survey, *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **7**, 219 (1976).
 5. 전정례, 박정룡 : 효소처리한 번데기 농축단백질의 기능적 특성, *한국영양식품학회지*, **21**(6), 706 (1992).
 6. Sathe, S. K. and Salunkhe, D. K. : Functional properties of lupin seed protein and protein concentrates, *J. Food Sci.*, **47**, 491 (1981).
 7. 김영옥, 이철호 : 루우핀콩 단백질 농축물(LPC)의 식품기능성, *한국식품과학회지*, **19**(6), 499 (1987).
 8. 차명화, 윤선 : 단백질분해효소에 의한 대두단백의 기능적 특성변화, *한국식품과학회지*, **25**(1), 39 (1993).
 9. Phillips, L. G., Haque, Z. and Kinsella, J. E. : A method for the measurement of foam formation and stability, *J. Food Sci.*, **52**(4), 1074 (1987).
 10. Phillips, L. G., Schulman, W. and Kinsella, J. E. : pH and heat treatment effects on foaming of whey protein isolate, *J. Food Sci.*, **55**(4), 1116 (1990).
 11. Graham, D. E. and Phillips, M. C. : Foams, The conformations of proteins at the air-water interface and their role in stabilizing foams, Academic Press, New York, p.233 (1976).
 12. Kinsella, J. E. and Phillips, L. G. : Food Proteins: Structure and Functional Relationships, Structure function relationships in food proteins: Film and foaming behavior, *Am. Oil Chem. Soc.*, p.52 (1989).
 13. Phillips, L. G., Davis, M. J. and Kinsella, J. E. : The effects of various milk proteins on the foaming properties of egg white, *F. H.*, **3**, 163 (1989).
 14. Kinsella, J. E. : Texturized proteins: Fabrication, flavoring, and nutrition, *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **10**, 147 (1978).
 15. 이부용, 이철호 : 소 혈청 단백질 분획들의 기포분리 현상에 관한 연구, *한국식품과학회지*, **19**(3), 225 (1987).
 16. Nath, J. P. and Narasinga Rao, M. S. : Functional properties of guar proteins, *J. Food Sci.*, **46**, 1225 (1981).
 17. 최청, 천성숙, 조영제 : *Bacillus* sp. CW-1121이 생성하는 효소를 처리한 참깨박 단백질의 기능특성, *한국농화학회지*, **36**(3), 172 (1993).
 18. Kinsella, J. E. : Functional properties of proteins : possible relationships between structure and function in foams, *Food Chem.*, **7**, 273 (1981).
 19. Eldridge, A. C., Hall, P. K. and Wolf, W. J. : Stable foams from unhydrolyzed soybean protein, *Food Technol.*, **17**, 1592 (1963).
 20. Nakai, S. : Structure-function relationships of food proteins with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity, *J. Agric. Food Chem.*, **31**, 676 (1983).
 21. Kato, A. and Nakai, S. : Hydrophobicity determined by a fluorescence probe method and its correlation with surface properties of proteins, *Biochim. Biophys. Acta.*, **624**, 13 (1980).
 22. Cherry, J. P. and McWatters, K. H. : Protein Functionality in Foods, Whippability and aeration, *Am. Chem. Soc.*, Washington, D.C., p.149 (1981).
 23. Kinsella, J. E. and Srinivasan : *Criteria of Food Acceptance*, Nutritional, chemical and physical criteria affecting the use and acceptability of proteins in foods, Forster Publishing, Zurich, p.296, (1981).
 24. Sathe, S. K., Deshpande, S. S. and Salunkhe, D. K. : Functional properties of lupin seed (*Lupinus mutabilis*) proteins and protein concentrates, *J. Food Sci.*, **47**, 491 (1982).
 25. Macritchie, F. : Protein at interface, *Adv. Prot. Chem.*, **32**, 283 (1978).

(1996년 9월 11일 접수)