

농도, 열처리 및 pH가 Caseinate의 거품성에 미치는 영향

양 승택

경성대학교 식품공학과

초록 : Sodium caseinate의 농도, 가열온도 및 pH가 거품성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 농도를 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 및 10.0%로, 열처리온도를 55°C 및 65°C로, 그리고 pH를 6.0, 7.0 및 8.0으로 각각 조절하여 표면장력, 겔보기점도, 혼탁도, 거품형성능 및 거품안정성을 측정하였다. 표면장력은 농도, 열처리온도 및 pH에 따라 전체적으로 0.0455~0.0496 Nm⁻¹로써 큰 변화가 없었고 겔보기점도는 농도 및 가열온도에 따라 pH 6.0, 7.0 및 8.0에서 각각 0.0019~0.1050, 0.0021~0.0440 및 0.0022~0.0490 Pa·s이었으며 혼탁도는 pH 6.0, 7.0 및 8.0에서 각각 70.3~97.4, 44.4~94.8 및 36.6~93.9이었다. 전 pH 영역을 통하여 가열온도에 따른 거품형성능의 증감은 있었으나 어떤 규칙적인 변화는 없었고 pH 6.0에서가 7.0 및 8.0 영역에서보다 거품형성능이 양호한 경향이었으며 거품형성능을 위한 적당한 단백질 농도는 3.0~7.0%이었다. 거품안정성은 전체적으로 10.0% 농도구에서, pH는 6.0 영역에서 가장 양호하였다. pH 6.0 및 7.0에서는 가열처리구가 대조구보다 거품안정성이 떨어지는 경향이었으나 pH 8.0의 10.0% 농도구의 경우는 모두 가열처리구가 대조구보다 안정성이 증가하였다(p<0.05). 표면장력, 겔보기점도 및 혼탁도의 증감에 따른 거품성의 규칙적인 변화는 나타나지 않았다(1994년 7월 6일 접수, 1994년 8월 12일 수리).

서 론

Sodium caseinate는 식품성분으로서 식품공업에 널리 이용되고 있으며 그 기능성에 관한 연구도 비교적 많이 수행되어 왔다.¹⁻⁵⁾ 단백질용액이 거품을 형성하는 능력과 형성된 거품의 안정성은 단백질 구조에 의한 내적인 요인과 온도, pH, 점도, 표면장력, 이온강도 등 복잡한 외적인 요인에 의해서 영향을 받는다.⁶⁻¹⁰⁾ 단백질의 표면적 성질은 거품을 내게 하는 성질과 관계가 있으며¹¹⁾ 거품의 안정성은 거품막의 기계적 성질과 밀접한 관계가 있다.⁴⁾ McKenzie¹²⁾ 및 Kella와 Kinsella¹³⁾는 pH와 열처리가 유청단백질의 형태와 구조에 영향을 미치며, 특히 β -lactoglobulin이 크게 영향을 받는다고 하였다. 단백질의 농도, pH 및 온도 등을 일정하게 하고 단백질의 기능성, 특히 거품성을 조사한 연구는 일부 있으나 단백질의 농도, pH 및 열처리 조건을 각각 달리하였을 때 이들 인자가 단백질의 거품성에 미치는 영향을 상세히 검토한 연구는 흔하지 않다. 따라서 본 실험에서는 이들 인자가 거품성에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 so-

dium caseinate의 농도, 열처리온도 및 pH를 각각 달리하여 이들이 거품성에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 단백질은 sodium caseinate(Miprodan 20-0, Denmark; 수분 5.5%, 단백질 89.7%, 지방 1.0%, 회분 3.6%, 탄수화물 0.2%)이었다.

단백질 시료용액의 조제

Sodium caseinate의 농도가 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0% (W/V)의 용액을 각각 만들고 각 용액의 pH를 6.0, 7.0 및 8.0으로 각각 조절하였으며 55°C 및 65°C의 water bath에서 각각 30분간 열처리한 후 30분간 실온에서 냉각하여 실험에 사용하였다.

표면장력의 측정

조제한 시료용액의 표면장력은 du Nuoy ring을 이용

Key words : Sodium caseinate, foaming properties, concentration, heat treatment, pH

*Corresponding author : S.-T. Yang

한 Fisher tensiometer(Model 20, Fisher Scientific, USA)를 사용하여 실온에서 측정하였다.

겉보기점도의 측정

Rion viscotester(VT-03/04, Rion, Tokyo, Japan)로써 rotor No. 4 및 No. 5(25 rpm)를 사용하여 실온에서 측정하였다.

혼탁도의 측정

시료 용액의 혼탁도는 Phillips 등¹⁴⁾의 방법에 준하여 측정하였다. 즉, 조제한 시료 용액의 응집의 정도는 분광광도계를 이용하여 500 nm에서의 투광도에 의하여 측정하였으며 다음 식에 의하여 계산하였다. 혼탁도=(1-투광도_{500nm})×100. 혼탁도 값이 100일 때는 완전하게 혼탁한 용액(투광도 0)에 상당한다.

거품형성능의 측정

시료용액의 거품형성능은 Phillips 등²⁾의 방법에 준하여 Mixmaster mixer(No. 01400, Sunbeam, USA)로써 측정하였다. 즉 조제한 단백질 시료용액 50 ml를 1.5 l의 whipping용 용기에 넣어 double beater로써 98 rpm에서 5분 간격(5, 10, 15 및 20분)으로 합계 20분 동안 whipping하였으며 각각의 5분 경과시 마다 형성된 거품 100 ml의 무게를 측정하였다. 거품형성능은 다음 식에 의하여 % overrun으로 나타내었다.

% overrun =

$$\frac{\text{시료용액 100 ml의 무게} - \text{거품100 ml의 무게}}{\text{거품 100 ml의 무게}} \times 100$$

거품안정성의 측정

거품안정성은 Phillips 등²⁾의 방법에 준하여 단백질 시료용액을 15분간 whipping한 후 측정하였다. 1.5 l의 whipping용 용기의 밑바닥에 직경 0.6 cm의 구멍을 뚫어, 형성된 거품을 실온에 방치하였을 때 그 구멍을 통하여 밖으로 유출되는 액체의 무게를 시간의 경과에 따라 digital balance(PC 400, Mettler, Switzerland)로써 측정하였다. 이 때 흘러 나온 액체의 무게가 whipping 직후 전체 거품무게의 50%가 되는데 소요되는 시간(분)을 측정하였다.

통계처리

자료의 분석은 SAS/PC¹⁵⁾로써 GLM(General Linear Model)을 사용하였으며 Duncan의 다중범위검정으로 처리하여 LSD(유의수준 0.05)를 구하였다.

결과 및 고찰

표면장력, 겉보기점도 및 혼탁도

Fig. 1, 2 및 3은 sodium caseinate의 농도를 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0%로 하고 각 농도별로 pH를 6.0, 7.0 및 8.0으로 하여 각 농도 및 pH 별로 55°C 및 65°C로 30분간 각각 가열처리하였을 때 단백질의 농도, 열처리 및 pH가 sodium caseinate 용액의 표면장력, 겉보기점도 및 혼탁도에 미치는 영향을 각각 나타낸 것이다. 표면장력은 pH 6.0에서 농도 및 가열처리온도에 따라 0.0474~0.0487 Nm⁻¹(대조구, 0.0472~0.0491 Nm⁻¹)이었고 pH 7.0에서는 0.0471~0.0488 Nm⁻¹(대조구, 0.0474~0.0497 Nm⁻¹)이었으며 pH 8.0에서는 0.0455~0.0496 Nm⁻¹(대조구, 0.0473~0.0506 Nm⁻¹)로써 pH 6.0, 7.0 및 8.0의 전 pH

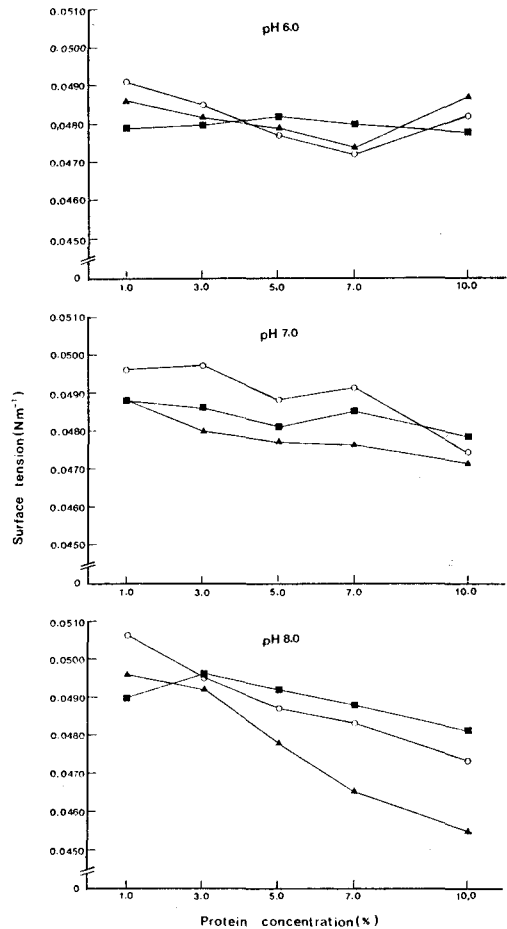


Fig. 1. Effects of concentration, heat treatment and pH on surface tension of caseinate solution. ○-○, Control; ▲-▲, 55°C; ■-■, 65°C.

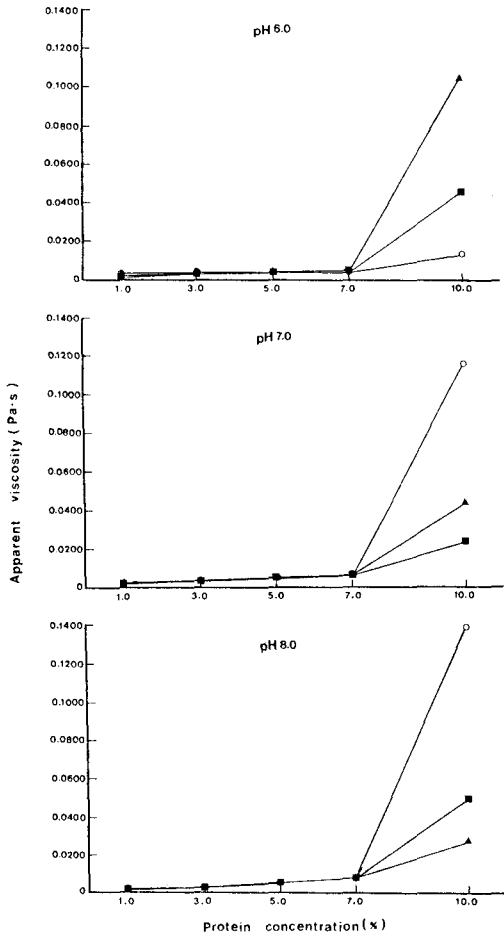


Fig. 2. Effects of concentration, heat treatment and pH on apparent viscosity of caseinate solution. ○-○, Control; ▲-▲, 55°C; ■-■, 65°C.

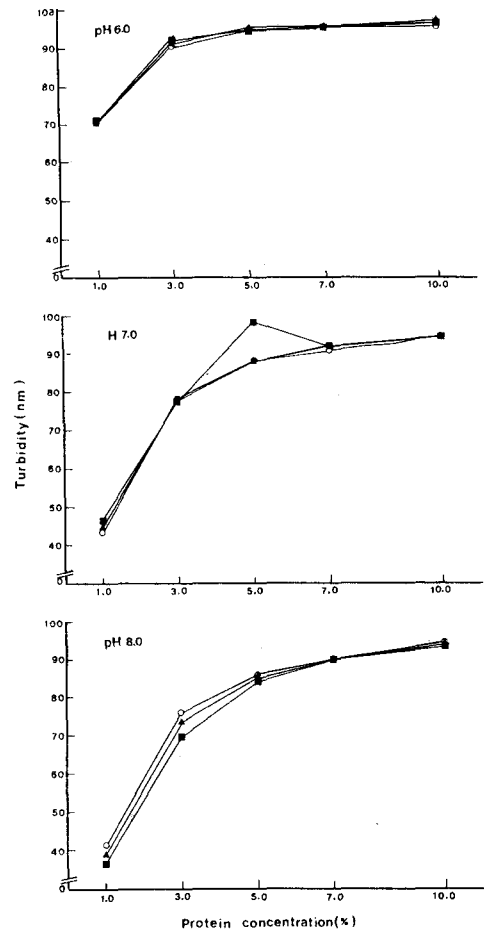


Fig 3. Effects of concentration, heat treatment and pH on turbidity of casinate solution. ○-○, Control; ▲-▲, 55°C; ■-■, 65°C.

영역을 통하여 0.0455~0.0496 Nm⁻¹(대조구, 0.0472~0.0506 Nm⁻¹)이었다. 전체적으로 보아 농도, 열처리 및 pH의 변화에 따른 표면장력의 큰 변화는 없는 것으로 나타났다.

겉보기점도는 pH 6.0에서 농도 및 열처리온도에 따라 0.0019~0.1050Pa·s(대조구, 0.0030~0.0126Pa·s), pH 7.0에서 0.0021~0.0440Pa·s(대조구, 0.0020~0.1157Pa·s) 및 pH 8.0에서 0.0022~0.0490Pa·s(대조구, 0.0023~0.1387 Pa·s)이었다. pH 6.0, 7.0 및 8.0의 전 pH 영역을 통하여 단백질 농도가 7.0%까지는 점도가 미미하게 증가하다가 7.0% 이후에 크게 증가하는 것으로 나타났는데 이는 단백질-물 상호작용, 단백질-단백질 상호작용, 단백질의 수화에 의한 팽창 등에 의해서 점도를 크게 증진시키기

때문에 나타나는 현상이라 추정된다.

혼탁도를 보면, 농도 및 가열처리온도에 따라 pH 6.0에서 70.3~97.4(대조구, 71.0~95.6), pH 7.0에서 44.4~94.8(대조구, 43.3~94.5) 및 pH 8.0에서 36.6~93.9(대조구, 41.5~94.2)이었다. pH 6.0, 7.0 및 8.0 영역을 통하여 단백질 농도가 증가할수록 혼탁도가 증가하는 경향이었으며, 특히 농도가 1.0%에서 3.0%로 증가할 때 혼탁도가 크게 증가하였다. 전 pH 영역을 통하여 가열처리온도에 따른 혼탁도의 뚜렷한 증감현상은 보이지 않았다. pH의 변화에 따른 차이를 보면 1.0% 농도구에서는 pH 6.0 영역에서가 pH 7.0 및 8.0 영역에서보다 혼탁도가 훨씬 높았으며 그 외의 농도구에서는 다소 높은 경향이었는데 이는 pH 7.0 및 8.0에서가 pH 6.0에서보다 sodium casei-

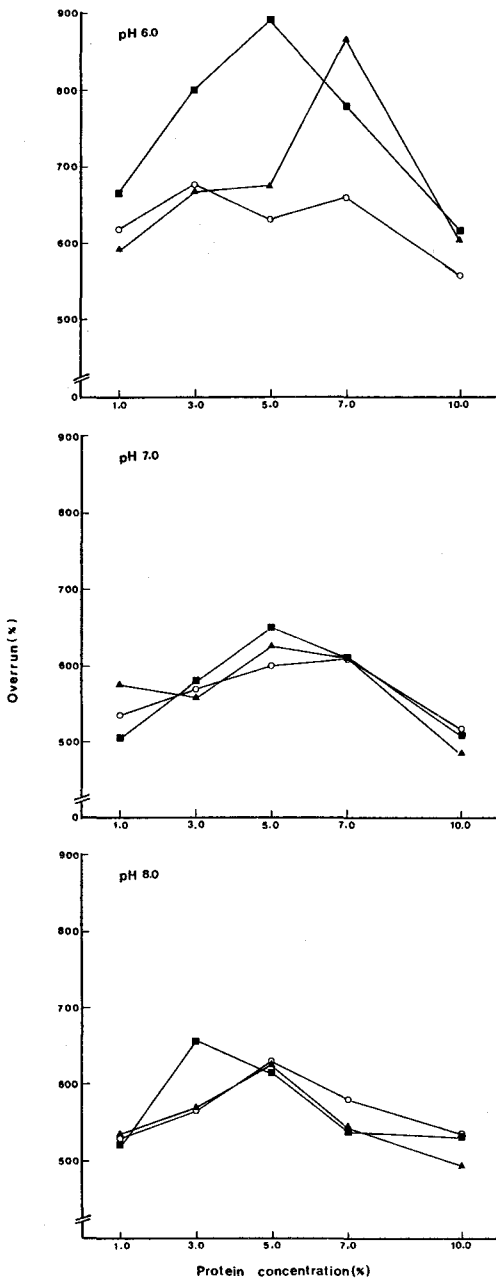


Fig. 4. Effects of concentration, heat treatment and pH on the foaming ability of caseinate solution. ○-○, Control; ▲-▲, 55°C; ■-■, 65°C.

nate의 용해도가 높기 때문이라 생각된다.

거품형성능

Fig. 4는 단백질의 농도를 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0%로

하고 각 농도별로 pH 6.0, 7.0 및 8.0으로 각각 조절하여 각 농도 및 pH 별로 55°C 및 65°C로 가열처리하였을 때 단백질의 농도, 열처리 및 pH가 sodium caseinate의 거품형성능에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 15분 whipping시 거품형성능(overrun)을 보면 pH 6.0에서 65°C 처리구의 경우 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0% 농도에 따라 각각 666%(대조구, 619%), 801%(대조구, 677%), 892%(대조구, 631%), 779%(대조구, 660%) 및 618%(대조구, 558%)로써 55°C 처리구에서보다 거품형성능이 양호한 경향이였다. 농도에 따른 변화를 보면 pH 6.0에서는 대조구의 경우 단백질의 농도가 3.0%일 때, 55°C 처리구에서는 7.0% 농도일 때, 그리고 65°C 처리구에서는 5.0% 농도일 때 거품형성능이 가장 양호하였다(p<0.05). 전체적으로 보아 pH 6.0 영역의 경우 거품형성능을 위한 적당한 단백질 농도는 3.0~7.0%임을 알 수 있다.

pH 7.0 영역에서는 65°C 처리구의 경우 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0% 농도구에서 각각 503%(대조구, 535%), 580%(대조구, 568%), 650%(대조구, 600%), 610%(대조구, 608%) 및 508%(대조구, 517%)이었다. pH 7.0 영역의 대조구에서는 전 농도 중 7.0% 농도구가 가장 양호하였으며 55°C 및 65°C 열처리구에서는 5.0% 농도구가 가장 양호하였다(p<0.05). pH 7.0 영역에서 거품형성능을 위한 적당한 단백질 농도는 3.0~7.0%임을 알 수 있었으며 가열처리온도에 따른 뚜렷한 증감은 없었다.

pH 8.0에서는 65°C 처리구의 경우 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 및 10.0% 농도구에서 각각 522%(대조구, 533%), 654%(대조구, 566%), 615%(대조구, 630%), 540%(대조구, 580%) 및 533%(대조구, 536%)이었다. pH 8.0 영역의 경우 대조구 및 55°C 처리구에서는 전 농도구 중 5.0% 농도구가, 65°C 처리구는 3.0% 농도구가 거품형성능이 가장 양호하였다(p<0.05). 전 pH 영역을 통하여 가열처리온도에 따른 거품형성능의 증감은 있으나 어떤 규칙적인 변화는 찾아 볼 수 없었다. 전체적으로 보아 pH 6.0에서가 pH 7.0 및 8.0에서보다 거품형성능이 양호한 경향이였다. pH 8.0 영역에서는 단백질 농도가 3.0~5.0%일 때 거품형성능을 위하여 적당하였다.

Kitabatake와 Doi⁷⁾는 단백질용액의 표면장력은 거품형성능과 상관관계가 없으나 표면장력의 감소율은 거품형성능과 상관관계가 있다고 하였으며 Mitchell¹⁰⁾은 단백질용액의 표면장력이 낮으면 높은 거품형성능을 나타낸다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 표면장력이 낮을수록 거품형성능이 커지는 경향은 나타나지 않았으며 또한 단백질농도, 가열처리온도 및 pH의 변화에 따른 표면장력의 뚜렷한 변화는 찾아 볼 수 없었다.

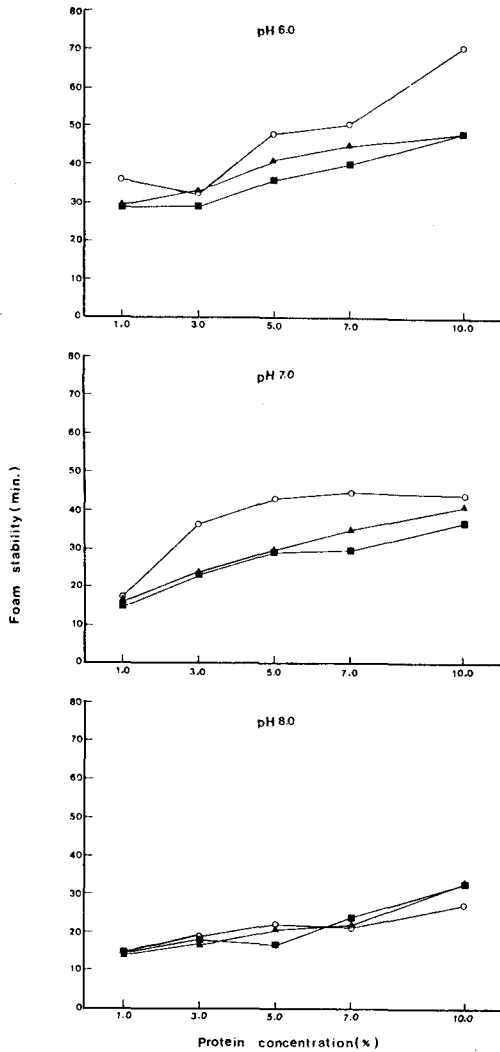


Fig. 5. Effects of concentration, heat treatment and pH on the foam stability of caseinate solution. ○—○, Control; ▲—▲, 55°C; ■—■, 65°C.

일반적으로 단백질 용액의 혼탁도가 클수록 단백질의 용해도는 작아지며 혼탁도를 측정함으로써 단백질 분자 간의 상호작용, 단백질 분자들의 응집의 정도 등을 추정할 수 있다고 알려져 있으며 Johnson과 Zabik¹⁶⁾은 단백질의 응집과 불용화는 거품형성능을 감소시킨다고 하였다. 본 실험의 혼탁도 측정결과 전 농도구 중에서 혼탁도가 가장 낮은 구로 나타난 1.0% 농도구가 다른 농도구에서보다 거품형성능이 더 양호하게는 나타나지 않았는데 이는 단백질의 용해성 이외에도 단백질농도, 소수도, 유연성, 이온강도 등 여러가지 요인들이 거품형

성능에 복합적으로 관여하기 때문이라 생각된다.

거품안정성

단백질의 농도, 열처리온도 및 pH의 변화에 따른 sodium caseinate의 거품안정성은 Fig.5에서 보는 바와 같이 pH 6.0에서는 가열처리온도에 따라 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0% 농도에서 각각 28.7~29.6분(대조구, 36.2분), 28.8~33.3분(대조구, 32.5분), 36.2~40.9분(대조구, 48.1분), 40.3~45.1분(대조구, 50.5분) 및 48.2~48.6분(대조구, 70.4분)으로써 55°C 가열처리구가 65°C 가열처리구보다 거품안정성이 다소 양호한 경향이였다. 대조구와 가열처리구에서 모두 10.0% 농도구가 전 농도구 중 가장 양호하였으며(p<0.05) 가열처리구가 대조구, 즉 가열처리하지 않은 구보다 거품안정성이 떨어졌다.

pH 7.0에서는 가열처리온도에 따라 단백질 농도 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0%에서 각각 14.8~16.5분(대조구, 17.4분), 23.4~23.7분(대조구, 36.4분), 29.3~29.8분(대조구, 43.0분), 29.5~34.7분(대조구, 44.4분) 및 36.7~40.9분(대조구, 43.8분)으로써 가열처리구에서는 전 농도구 중 모두 10.0% 농도구에서 안정성이 가장 양호하였으며(p<0.05), 역시 전체적으로 가열처리구가 대조구보다 거품안정성이 떨어졌다.

pH 8.0에서는 가열처리온도에 따라 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 및 10.0% 농도구에서 거품안정성이 각각 13.7~14.7분(대조구, 14.7분), 16.5~18.3분(대조구, 19.0분), 16.7~20.5분(대조구, 22.2분), 21.1~24.0분(대조구, 21.3분) 및 32.6~33.1분(대조구, 27.3분)으로써 대조구 및 가열처리구 모두 전체의 농도구 중 10.0%의 단백질 농도구에서가 가장 양호하였으며(p<0.05) pH 8.0 영역의 경우는 pH 6.0 및 7.0 영역의 경우와는 달리 가열처리에 의해 거품안정성이 크게 떨어지지 않았으며 10.0% 농도구에서는 역으로 대조구보다 가열처리구에서가 거품안정성이 더 양호하였다(p<0.05).

pH 6.0, 7.0 및 8.0 영역을 전체적으로 보면 단백질 농도는 모두 10.0%에서 양호하였고 pH 6.0 및 7.0에서는 가열처리구가 대조구보다 안정성이 떨어졌으나 pH 8.0 영역의 경우, 특히 7.0% 농도의 65°C 가열처리구 및 10.0% 농도의 전 가열처리구에서는 역으로 대조구보다 거품안정성이 더 양호하였다(p<0.05). 전체적으로 55°C 및 65°C의 가열처리온도에 따른 거품안정성의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

Bikerman¹⁷⁾은 단백질용액의 점도와 거품안정성과는 관계가 있다고 하였으며, Konstance와 Strange¹⁸⁾는 sodium caseinate의 경우 농도가 7% 이하일 때 점도의

자연대수와 단백질의 농도와는 직선적인 상관관계가 있다고 하였다. 본 실험에서는 단백질 농도가 증가함에 따라 pH 6.0, 7.0 및 8.0 영역에서 모두 겔보기점도가 증가하는 경향은 뚜렷하나 겔보기점도의 증가에 따라 거품안정성이 뚜렷하게 증가하는 현상은 나타나지 않았다. pH 6.0, 7.0 및 8.0 영역을 통하여 단백질 농도가 1.0~10.0% 범위에서는 농도가 높을수록 거품안정성이 양호한 경향이었고, 전체적으로 보아 pH 6.0, 7.0 및 8.0 영역의 순으로 거품이 안정하였으며 가열처리온도에 따른 큰 변화는 나타나지 않았다.

감사의 글

본 논문은 1993년도 경성대학교 교비연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Poole, S., S. I. West and C. L. Walters (1984) Protein-protein interactions: Their importance in the foaming of heterogeneous protein systems, *J. Sci. Food Agric.* 35, 701-711
2. Phillips, L. G., Z. Haque and J. E. Kinsella (1987) A method for the measurement of foam formation and stability, *J. Food Sci.* 52, 1074-1077
3. Kitabatake, N. and E. Doi (1988) Surface tension and foamability of protein and surfactant solutions, *J. Food Sci.* 53, 1542-1545
4. Britten, M. and L. Lavoie (1992) Foaming properties of proteins as affected by concentration, *J. Food Sci.* 57, 1219-1222
5. Britten, M. and H. J. Giroux (1993) Interfacial properties of milk protein-stabilized emulsions as influenced by protein concentration, *J. Agric. Food Chem.* 41, 1187-1191
6. Halling, P. J. (1981) Protein-stabilized foams and emulsions. *CRC Critical Reviews. Food Science and Nutrition* 13, 155-203
7. Kitabatake, N. and E. Doi (1982) Surface tension and foaming of protein solutions, *J. Food Sci.* 47, 1218-1221
8. Kinsella, J. E. (1982) In 'Food Proteins' Fox, P. F. and J. J. Condon, Ed., Chap. 3, p. 51-103 Applied Science Publishers, London and New York
9. Townsend, A. A. and S. Nakai (1983) Relationships between hydrophobicity and foaming characteristics of food proteins, *J. Food Sci.* 48, 588-594
10. Mitchell, J. R. (1986) In 'Developments in Food Proteins-4', Hudson, B. J. F., Ed., Chap. 8, p.291-338 Elsevier Applied Science Publishers, London and New York
11. Nakai, S. (1983) Structure-function relationships of food proteins with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity, *J. Agric. Food Chem.* 31, 676-683
12. McKenzie, H. A. (1971) In 'Milk Protein Chemistry and Technology' McKenzie, H. A., Ed., Vol. II, p. 25, Academic Press, New York
13. Kella, N. and J. E. Kinsella (1988) Enhanced thermodynamic stability of β -lactoglobulin at low pH: A possible mechanism, *Biochem. J.* 225, 113-121
14. Phillips, L. G., S. T. Yang, W. Schulman and J. E. Kinsella (1989) Effects of lysozyme, clupeine and sucrose on the foaming properties of whey protein isolate and β -lactoglobulin, *J. Food Sci.* 54, 743-747
15. SAS (1985) In 'SAS User's Guide', SAS Institute, Inc., Cary, NC
16. Johnson, T. and M. Zabik (1981) Egg albumen proteins interactions in an angel food cake system, *J. Food Sci.* 46, 1231-1236
17. Bikerman, J. J. (1973) In 'Foams', Springer-Verlag, Berlin
18. Konstance, R. P. and E. D. Strange (1991) Solubility and viscous properties of casein and caseinate, *J. Food Sci.* 56, 556-559

Effects of Protein Concentration, Heat Treatment and pH on the Foaming Properties of Caseinate

Seung-Taek Yang (Department of Food Science and Technology, Kyungsoong University, Pusan, 608-736, Korea)

Abstract : To investigate the effects of protein concentration, heat treatment and pH on the foaming properties of sodium caseinate, surface tension, apparent viscosity, turbidity, foaming ability and foam stability at 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 and 10.0% (W/V), at 55 and 65°C and at pH 6.0, 7.0 and 8.0 were examined. The conditions of protein concentrations for the foaming abilities were 3.0~7.0% (W/V). Foam stabilities of heated sodium caseinates were worse than those of unheated sodium caseinates (control) at pH 6.0 and 7.0 ($p < 0.05$), while the heated one were better than the unheated at pH 8.0, 10.0% concentrations ($p < 0.05$). Also foam stabilities of sodium caseinate at pH 6.0 were higher than those at pH 7.0 and 8.0. Foaming ability and foam stability were inconsistently effected by changing protein concentration, heat treatment and pH.