

탈지 대두분을 이용하여 제조한 두부의 품질 특성에 영향을 미치는 인자

김진희^{*} · 우은열^{**} · [†] 김강성^{*} · 김명희^{**}

^{*}용인대학교 식품영양학과, ^{**}경기대학교 외식조리학과

A Study on the Soybean Curd(Tofu) made from Defatted Soybean Flour

Jin-Hee Kim^{*}, Eun-Yeol Woo^{**}, [†] Kang-Sung Kim^{*} and Myung-Hee Kim^{**}

^{*}Department of Food Science and Nutrition, Yongin University, Keonggi 449-714, Korea

^{**}Department of Food Service and Culinary, Kyonggi University, Keonggi 442-760, Korea

Abstract

This study was carried out to determine the optimum conditions for making soybean curd(or tofu) from defatted soybean flour.. Heating soymilk above 80℃ for at least 5~10 min was necessary for soybean protein to form aggregates during subsequent coagulation process with glucono- δ -lactone(GDL). For maximum yield of tofu, with water content of approximately 80%, extra addition of 20 g of oil and 5 g of GDL per 425 g of soybean flour was needed. Maintaining soymilk temperature around 75℃ for 5 min was necessary when GDL was used as the coagulant.

Key words: coagulant, glucono- δ -lactone, soybean, tofu, yield

서 론

식물성 단백질 중 대두 단백질의 식품에의 이용은 다른 단백질보다 더 빠르게 증가하고 있는데 이는 대두 단백질의 우수한 영양적 가치와 독특한 기능성에 기인한다^{1,2)}. 이러한 대두 단백질을 이용한 여러 가지 가공식품 중에 우리나라에서는 두부로 가장 많이 이용되고 있다. 두부는 한국, 중국, 일본 등의 동양지역에서 오래 전부터 섭취해 오던 고단백 식품으로써 서양에서도 점차 그 관심도가 높아가고 있으며 심한 단백질 부족 현상을 일으키고 있는 중남미 지역에서는 새로운 단백질의 급원 식품으로 소개되기 시작하였다³⁾. 두부는 수분 함량이 높은 식품으로 소화율이 대두 식품 중 가장 높고⁴⁾ 또한 아미노산 조성이 동물성 단

백질과 유사하여 곡류 위주의 식생활에서 부족하기 쉬운 필수아미노산이 높은 영양적으로 우수한 식품이다^{5,6)}. 이외에 항암, 항산화 억제 등의 생리활성 물질이라고 알려져 있는 사포닌, 플라보노이드 등의 성분도 상당량 함유되어 있어 두부에 대한 연구가 계속되고 있다⁷⁾. 두부는 대두 단백질이 변성·응고되어서 생긴 응고물의 망상 구조 사이에 물을 상당량 보유한 젤(gel) 상태의 식품이다⁸⁾. 두부의 품질 요소로는 두부의 부피, 무게, 수율, 경고성, 응집성, 탄력성 등의 텍스처와 냄새, 맛 등의 관능적인 요소 그리고 단백질, 지방, 탄수화물 등의 영양소 및 소화 저해 요인의 존재가 주요 품질 특성이라 할 수 있다⁹⁾. 또한 두부의 품질에 영향을 미치는 요소로는 대두의 단백질 및 지방 함량, 대두의 수침 시간, phytic acid 함량, 두유 농

[†] Corresponding author : Kang-Sung Kim, Department of Food Science and Nutrition, Yongin University, Samga-Dong, Yongin 470, Kyeonggi, 449-714, Korea.

Tel : +82-31-330-2758, Fax : +82-31-330-2886, E-mail : kss@yongin.ac.kr

도, 두유의 가열온도 및 응고제의 종류, 응고 온도, 응고제의 첨가 속도, 응고 시간, 압착 시 성형 압력 등이 알려졌다¹⁰⁾. 이러한 사실을 바탕으로 본 연구에서는 탈지 대두분을 이용하여 만든 두부의 경우 두유의 가열온도, 가열시간, 응고제의 첨가량, 지방의 첨가량, 응고제 첨가 온도 등이 제품의 품질 특성에 미치는 영향에 관하여 알아보고 이를 이용하여 우수한 품질의 두부를 생산하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 열처리하지 않은 탈지 대두분(defatted soybean flour)과 GDL(glucono-delta-lactone)을 비롯한 모든 시약은 Sigma(St. Louis, USA)에서 구입하여 사용하였고 식용유는 시중 농협에서 구입하여 사용하였다.

2. 탈지 대두분 두유 제조

탈지 대두분 625 g에 증류수 2.5 L를 2시간 동안 교반하여 단백질을 추출하였다. 2 N NaOH를 이용하여 용액의 pH를 8.0으로 고정하고 다음 원심 분리기를 이용하여 8,000×g에서 30분간 분리하여 상등액을 취하였다. 두부 제조를 위하여 micro-Kjeldahl 법으로 단백질을 정량하고 단백질 농도를 3.53%로 고정하여 탈지 대두분 두유로 사용하였다.

3. 탈지 대두분 두유의 가열온도

탈지 대두분 두유 1,700 mL를 water bath를 이용하여 각각의 온도(60, 65, 70, 75, 80, 85, 90℃)에서 20분간 가열한 후, 식용유 20 g, 글루코노 델타 락톤 12 g을 첨가하여 두부를 제조하였다. 용액의 온도가 60~65℃가 되면 성형틀(10×10×8 cm)에 응고물을 옮기고 20분 동안 2 kg의 추로 압착 성형하였다.

4. 탈지 대두분 두유의 가열시간

가열 시간이 두부 생성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 탈지 대두분 두유 1,700 mL를 85℃에서 각각 1분, 2분, 5분, 10분, 15분, 20분 동안 가열한 후 식용유 20 g 과 글루코노 델타 락톤 12 g을 첨가하여 단백질을 응고시켰다. 용액의 온도가 60~65℃되면 성형틀(10×10×8 cm)에 응고물을 옮기고 20분 동안 2 kg의 추로 압착 성형하였다.

5. 응고제 및 지방의 첨가량

탈지 대두분 두유액 1,700 mL를 85℃으로 가열하고 식용유 20 g을 넣은 후 글루코노 델타 락톤의 첨가량에 따른 (0, 5, 10, 12, 20 g) 제조된 두부의 특성을 조사하였다. 지방의 함량도 역시 동일한 방법으로 두유액 1,700 mL를 85℃ 이상으로 가열하고 식용유의 양을 달리하여 (0, 5, 10, 20, 30, 60 g) 응고제의 양을 12 g으로 고정하였을 때 생성되는 두부의 상태를 조사하였다.

6. 글루코노 델타 락톤 첨가 온도에 따른 영향

85℃에서 20분 동안 가열한 1,700 mL의 탈지 대두분 두유액 온도가 각각 55, 65, 70, 75, 80, 85, 95℃에 도달하면 글루코노 델타 락톤 12 g과 식용유 20 g을 첨가하고 5분 동안 각각의 온도를 유지하였다가 용액을 성형틀(10×10×8 cm)에 옮기고 20분 동안 2 kg의 추로 압착한 후 성형된 두부의 특성을 조사하였다.

7. 총 균수

두부를 실온과 4℃에서 보관하여 미생물 실험에 이용하였다. PCA(plate count agar, Difco, USA) 배지에 100 μL씩 접종한 다음 37℃에서 24시간 동안 배양한 후 colony 수를 계수하였다. 균수는 CFU(colony forming unit)/g으로 나타내었다.

8. 두부의 수분 함량, 수율 및 조직감 측정

두부의 품질 특성에 따른 두부 제조 실험은 모두 3회 이상 제조하여 두부의 수분 함량, 수율 및 견고성을 측정하였다. 수분 함량은 상압 가열 건조법, 수율은 압착성형 된 두부를 추를 제거하고 측정된 무게를 표시하여 3회 반복하여 얻은 평균값을 사용하여 나타내었다. 조직감 측정은 두부를 동일한 크기로(1.5×1.5×1.5 cm) 자르고 Rheometer(Compac-100, Sun Scientific, Japan)를 사용하여 직경 15 mm 두께 1 mm 원형 probe를 이용하여 두부의 견고성(hardness)을 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

결과 및 고찰

1. 탈지 대두분 두유액의 가열온도

탈지 대두분 두유의 가열온도에 따라 생성된 두부의 무게를 Fig. 1에 나타내었다. 80℃ 이상으로 가열한 탈지 대두분 두유는 응고제를 첨가할 경우 대두 단백질이 응고되었으나, 75℃ 이하에서 가열된 탈지 대두분 두유는 응고 현상이 제한적으로 일어났다. 즉, 80~90℃으로 가열한 탈지 대두분 두유에 있어서는 GDL의 첨가에 의해 580~690 g의 두부가 만들어졌으나, 70

~75°C로 가열한 탈지 대두분 두유의 경우에는 두부가 소량 만들어졌다. 한편 60~65°C로 가열한 탈지 대두분 두유는 응고체가 거의 형성되지 않아 두부 제조가 불가능하였다. 이상과 같은 결과로부터 두부를 제조하기 위해서는 탈지 대두분 두유를 80°C 이상의 온도로 가열하여야 탈지 대두분 두유 속에 있는 대두 단백질이 응고에 적합한 구조로 변성되는 것으로 생각된다.

탈지 대두분 두유의 가열온도에 따라 제조된 두부의 수분함량을 Fig. 2에 나타내었다. 수분 함량은 두부의 품질과 밀접한 관계가 있으므로 제품에 적합한 함수율을 갖도록 두부를 제조하여야 한다. 탈지 대두분 두유의 가열 온도가 85~90°C일 때 두부의 수분함량은 78%로 높게 나타났으며, 80°C에서는 77%, 80°C 미만의 온도에서는 비교적 낮은 수분 함량을 보였다. 따라서 부드러운 텍스처를 갖는 두부를 제조하기 위해서는 탈지 대두분 두유액을 85°C 이상으로 가열하는 것이 필요한 것으로 나타났다. 높은 온도에서 대두 단백

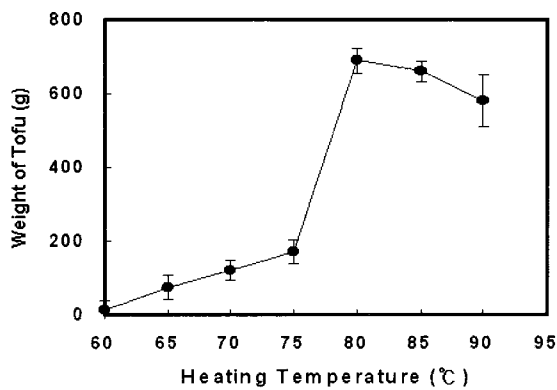


Fig. 1. Effect of heating temperature of soymilk for 20 min on weight of tofu formed. Results are represented as means of triplicate experiments.

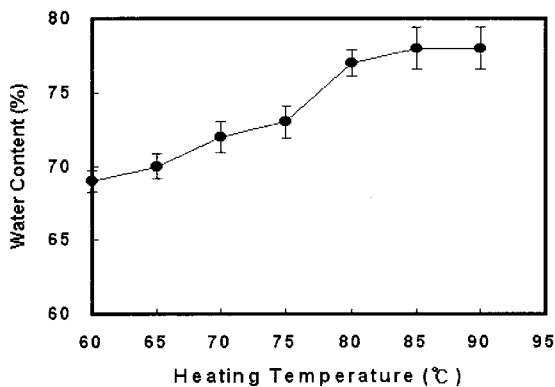


Fig. 2. Effect of heating temperature of soymilk for 20 min on water content of tofu formed. Results are represented as means of triplicate experiments.

질의 구조는 변성에 의해 느슨하여지고 수분과 결합하는 친수성 부위가 외부로 노출되어 단백질의 보수력이 높아지는 것으로 판단된다. Zee 등¹⁰⁾은 단단한 두부의 수분함량은 75~79%, 부드러운 두부의 수분함량은 82~88%라고 하였으며 Chang 등¹¹⁾은 한국산 콩 14종으로 제조된 두부의 수분함량은 75.20~82.00% 범위로 본 실험의 결과와 비슷한 수치를 보였다.

2. 두유액의 가열시간

85°C에서 탈지 대두분 두유의 가열시간에 따라 만들어진 두부의 무게와 수분 함량을 Fig. 3에 나타내었다. 탈지 대두분 두유 가열시간이 2분 이하일 때는 대두 단백질의 변성이 충분히 일어나지 않아 응고체를 첨가하여도 단백질의 응고현상이 일어나지 않았고 따라서 두부의 형태로 성형하기도 불가능하였다. 탈지 대두분 두유 가열시간이 5~10분일 때 가장 높은 수율로 두부가 만들어졌으며, 10분 이상에서는 두부 수율이 다소 감소하는 현상을 보였다. Saio¹²⁾는 과도한 가열은 gel 응집성을 감소시킨다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 한편 탈지 대두분 두유의 가열시간이 1~10분 사이일 경우 생성된 두부의 수분함량은 약 80% 정도였으나 가열시간이 10분을 초과할 경우 대두 단백질의 과도한 가열에 의하여 단백질의 보수력이 떨어져 두부의 수분 함량이 낮게 나타났다. 이는 단백질 subunit 사이에 형성되는 이황화 결합과 소수성 상호 작용이 단백질과 물 분자 사이에 수소결합을 저해하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 탈지 대두분 두유액을 5~10분 가량 가열하는 것이 두부의 수율과 수분함량 측면에서 모두 유리한 결과를 보였다.

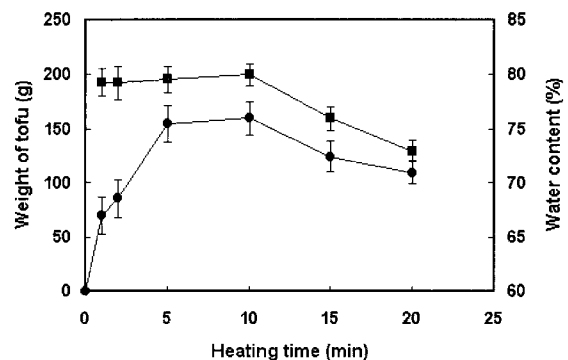


Fig. 3. Effect of heating time of soymilk at 85°C on weight(●) and water content(■) of tofu formed. Results are represented as means of triplicate experiments.

3. 지방의 첨가량

지방 첨가량을 달리하며 제조한 두부의 무게와 이에 따른 수분 함량 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 지방의 첨가량이 증가하면 생성된 두부의 무게가 점차 증가하는 경향을 보였으나 20 g 이상의 지방 첨가량에서는 두부의 생성이 오히려 저해되는 경향을 보였다. 지방 첨가량이 20 g일 때 두부 수율이 가장 높았으며, 두부의 수분 함량도 역시 비슷한 경향을 보였다. 지방 첨가량이 20 g일 때 두부의 수분 함량이 감소하는 경향을 보이는 이유는 높은 지방 첨가량이 두부 조직과 물 분자 사이의 결합을 방해하기 때문인 것으로 사료된다. 이는 김 등¹³⁾이 두부 제조에 있어 염화칼슘 사용하였을 때 지방의 첨가량이 많아질수록 지속적인 수율의 증가가 있었다는 결과와는 약간 다른 결과를 나타내었다. 한편 Smith 등¹⁴⁾은 두부 수율은 콩의 수용성 단백질과 지방의 양과 직접적인 관련이 있다고 보고하였다. 따라서 우수한 두부의 제조에 있어 대두 즉 원료의 단백질 함량뿐만 아니라 지방의 함량이 중요한 인자임을 보여주었다.

4. GDL의 첨가량

응고제의 첨가량이 증가함에 따라 제조된 두부의 무게는 비례하여 증가하였으나 12~20 g 사이에서는 거의 일정한 양이 만들어졌다(Fig. 5). 글루코노 델타 락톤은 높은 온도에서 글루콘산으로 분해되어 탈지 대두분 두유액의 pH를 산성화시키고 따라서 대두 단백질은 등전점 침전에 의해 응고되는 것으로 알려졌다. 글루코노 델타 락톤의 양이 10 g 이하일 경우 산의 양이 충분하지 않아 두부의 생성이 저해되는 것으로 생각된다.

두부의 견고성은 글루코노 델타 락톤의 첨가량에

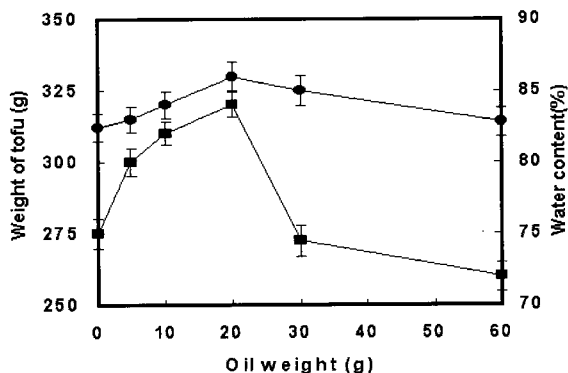


Fig. 4. Effect of oil added to soymilk on weight (●) and water content(■) of tofu formed. Results are represented as means of triplicate experiments.

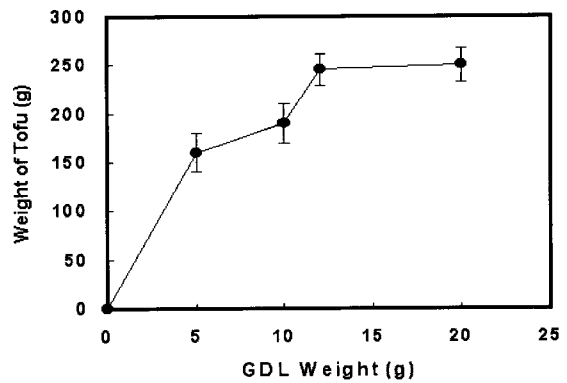


Fig. 5. Effect of GDL added on weight of tofu formed. Results are represented as means of triplicate experiments.

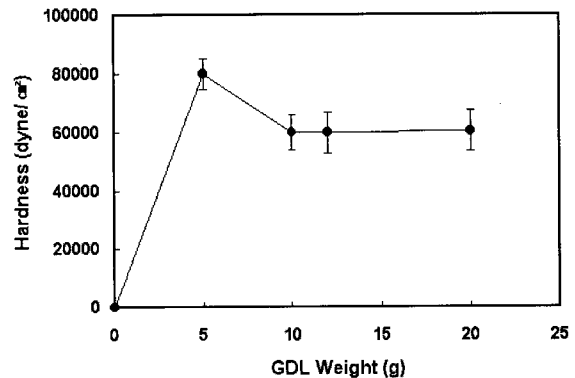


Fig. 6. Effect of GDL added on hardness of tofu formed. Results are represented as means of triplicate experiments.

의해 영향을 받는데 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 첨가량이 5 g일 때 가장 단단한 두부가 만들어졌으며 이때 두부의 견고성은 80,000 dyne/cm²이었다. 그 이상의 글루코노 델타 락톤을 첨가하면 견고성은 80,000 dyne/cm²에서 60,000 dyne/cm²으로 감소하다가 추가적인 첨가에 의해서도 거의 일정한 수준의 견고성을 유지하는 경향을 보였다. Tsai 등¹⁵⁾과 Lu 등¹⁶⁾은 두부의 품질은 응고제의 종류뿐만 아니라 첨가량에 의해서도 큰 영향을 받게 되어서 너무 적은 양이 사용될 경우에는 침전이 불충분하게 되어 여과 조작이 어렵게 되며 반면에 너무 과량이 투여될 경우에는 두부의 맛이 저하된다고 보고하였다. 또한 글루코노 델타 락톤의 첨가량이 많아지면 글루콘산에 의한 산미가 느껴져 일부 사람들에게는 산패되었다고 오인될 수 있다고 보고하였다.

5. 글루코노 델타 락톤 첨가 온도

응고제의 첨가온도에 따른 생성된 두부의 무게를 Fig. 7에 나타내었다. 두부의 무게는 글루코노 델타 락톤 첨가 온도가 75°C일 때 가장 많은 양의 두부가 제조되었다. 응고제 첨가 온도가 65~80°C 사이에는 두부가 높은 수율로 생성되었으나 그 이상의 온도에서는 생성된 두부의 무게가 감소하였으며 65°C 미만의 낮은 온도에서도 두부 생성이 저조하였다. 수분함량의 변화를 살펴본 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 응고제 첨가 온도에 따른 두부의 수분 함량 변화는 두부의 무게 변화와 비슷한 경향을 보였다. 응고제 첨가 온도가 75°C일 때 두부의 수분 함량이 가장 높게 나타났으며, 95°C에서는 비교적 낮은 수분 함량을 보였다. 이와 같은 현상은 단백질의 응고 온도가 너무 낮을 경우 글루코노 델타 락톤의 글루콘산으로의 전환이 불충분하여 단백질의 응고가 일어나지 않고, 반면 응고 온도가 너무 높을 경우에는 단백질 사이의 과도한 응고는 단백질 분자와 물 분자 사이의 결합을 오히려 방해하여 두부 생성에 필수적인 3차원적인 망상구조의 생성이 저해되어 나타나는 현상으로 생각된다. Saio¹²⁾ 및 Wang과 Hesseltine¹⁷⁾는 70~80°C에서 두부를 응고하는 것이 적당하다고 보고하였으며 본 실험과는 유사한 결과를 나타내었다.

6. 미생물 수의 변화

두부를 실온과 4°C에 저장하면서 시간의 경과에 따른 세균수의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 실온에 저장한 두부는 저장 시간이 경과할수록 colony 수가 증가하였으며 4°C에 저장한 두부는 실온에 저장했던 두부보다는 미생물 성장 속도가 느렸지만 비슷한 경향을 나타냈다. Champagne 등¹⁸⁾은 실온에서는 미생물의 성장이 하루만에 10⁹ CFU/g에 도달하여 부패하였고

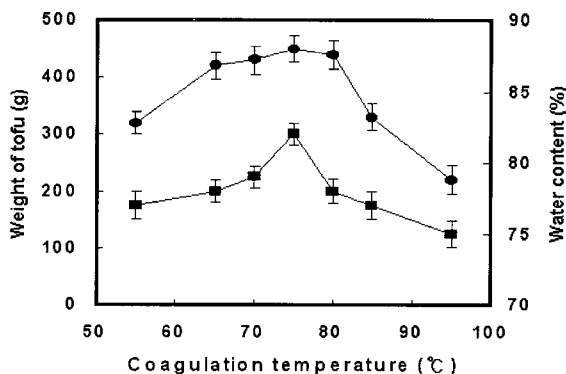


Fig. 7. Weight (●) and water content (■) of tofu formed according to coagulation temperature. Results are represented as means of triplicate experiments.

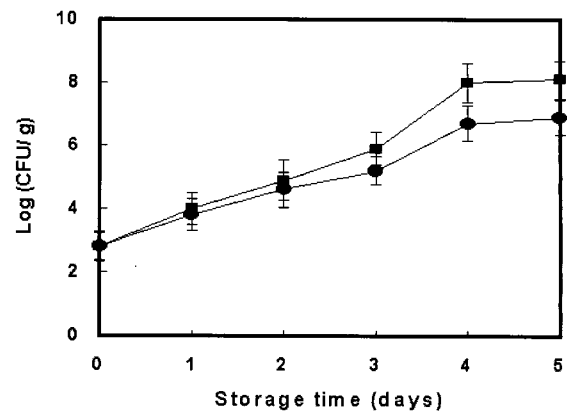


Fig. 8. Changes in total microbial count of tofu during storage at 4°C (●) and 25°C (■). Results are represented as means of triplicate experiments.

반면에 4°C에서는 미생물의 성장이 느려 15일 동안에 10⁸ CFU/g에 되어 저장 온도가 낮을수록 두부의 저장성이 증대된다고 하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다.

요 약

탈지 대두분을 이용하여 두부를 제조함에 있어 각 공정의 최적조건을 알아보았다. 탈지 대두분을 물과 1:9 (wt/wt)의 비율로 혼합하고 용액을 교반하면서 가열하였다. 탈지 대두분 두유를 80°C 이상으로 가열해야 응고제를 가할 경우 단백질이 응고현상을 보였으며 두부의 형태로 만들 수 있었다. 한편 탈지 대두분 두유의 가열 온도 80°C에서 가장 높은 수율로 두부가 제조되었다. 두부의 수분 함량 역시 탈지 대두분 두유 가열 온도에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 85~90°C에서 77%로 가장 높은 수분 함량을 나타내었다. 따라서 80°C 이상으로 탈지 대두분 두유를 가열하는 과정이 두부 제조에 필수적인 과정인 것으로 판단된다. 탈지 대두분 두유의 가열시간의 경우, 5분 미만일 때 응고현상을 나타내지 않았고 가열시간이 5~10분일 때 두부의 무게가 증가하는 경향을 보였으며 수분함량은 1~10분 사이일 경우 80% 정도로 유지되었으나 10분을 초과할 경우 수분함량이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 두부를 5~10분 가량 가열하는 것이 대두 단백질의 변성이 충분하게 일어나고 두부의 수분함량도 적절하게 유지되는 것으로 사료된다. 지방질을 20 g 첨가하였을 때 두부의 무게와 수분함량이 가장 높았으며 그 이상으로 첨가하였을 때는 두부의 무게와 수분 함량이 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 높

은 지방 함량이 두부 조직과 물 분자 사이의 결합을 방해하기 때문인 것으로 사료된다. 글루코노 델타 락톤 첨가량이 증가함에 따라 제조된 두부의 무게는 비례하게 증가되었고 12 g 이상 첨가된 두부의 무게는 일정한 수준을 유지하였다. 글루코노 델타 락톤 첨가량은 견고성에 영향을 끼치는데 첨가량이 5 g일 때 가장 단단한 두부가 만들어졌으며 그 이상을 첨가하면 견고성은 감소하다 추가적인 글루코노 델타 락톤 첨가에도 거의 일정한 수준을 유지하는 경향을 보였다. 응고제 첨가온도에 따른 두부의 무게는 75℃일 때 가장 많은 두부가 제조되었으며 65℃의 낮은 온도나, 85℃의 높은 온도에서는 무게가 감소하는 경향을 나타내었다. 수분함량 역시 75℃에서 가장 높은 수분함량을 나타내었고 낮은 온도와 높은 온도에서는 비교적 수분함량이 감소하는 경향을 보였다. 두부의 저장성은 실온과 4℃ 모두 저장시간이 경과할수록 colony 수가 증가하였다.

참고문헌

1. Kim, KS, Kim, SJ and Rhee, JS. Effect of acetylation on turbidity of glycinin. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1578-1582. 1991
2. Samoto, M and Kawamura, Y. Development of low allergenic soybean protein. *The Food Indus.* 39:76-86. 1996
3. Shin, HC, Sung, HS, Lee, YS and Sohn, HS. Nutritional adequacy and beneficial effects of soy formula. *Soybean Digest.* 18:10-25. 2001
4. Miller, CD, Denning, H and Bauer, A. Relation of nutrients in commercially prepared soybean curd. *Food Res.* 17: 261-265. 1952
5. Doston, CR, Frank, HA and Cavaletto, CG. Indirect methods as criteria of spoilage in tofu(soybean curd). *J. Food Sci.* 42:273-279. 1977
6. Rehberger, TG, Wilson, LA and Glatz, BA. Microbiological quality of commercial tofu. *J. Food Sci.* 47: 177-181. 1984
7. Pyun, JW, Kim, CK and Hwang, IK. Effect of coagulant and additives on qualities of soybean curd tofu. *Soybean Digest.* 21:203-21. 1989
8. Lee, HJ, Sul, MS, Cha, BS and Yook, HS. Tofu qualities as influenced by soybeans storage temperatures. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 27:833-839. 1998
9. Kim, HJ, Kim, BY and Kim, MH. Rheological studies of the tofu upon the processing conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27:324-328. 1998
10. Zee, JA, Boudreau, A, Bourgeois, M and Breton, R. Chemical composition and nutrition quality of faba bean based tofu. *J. Food Sci.* 53:1772-1774. 1988
11. Chang, CI, Lee, JK, Ku, KH and Kim, WJ. Comparison of soybean varieties for yield, chemical and sensory properties of soybean curd. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22:439-444. 1990
12. Saio, K. Tofu relationships between texture and fine structure. *Cereal Foods World* 24:342-354. 1979
13. Kim, DW, Ku, KH, Choi, HS and Kim, WJ. Effects of oil and sugar on SPI - Tofu characteristics under model system. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 23:90-97. 1994
14. Smith, AK, Watanabe, T and Nash, A. Tofu from Japanese and United States soybean. *Food Technol.* 14: 332-336. 1960
15. Tsai, SJ, Lan, CY, Kao, CS and Chen, SC. Studies on the yield and quality characteristics of tofu. *J. Food Sci.* 46:1734-1737. 1981
16. Lu, JY, Carter, E and Chung, RA. Use of calcium salts for soybean curd preparation. *J. Food Sci.* 45: 32-34. 1980
17. Wang, HL and Hesseltine, CW. Coagulation condition in tofu processing. *Process Biochem.* 17:7-12. 1982
18. Champagene, CP, Aurouze, B and Goulet, G. Inhibition of undesirable gas production in tofu. *J. Food Sci.* 56: 1600-1603. 1991

(2005년 12월 9일 접수; 2006년 3월 7일 채택)