

단백질 식품자원의 개발 및 그 물성적  
특성과 관능평가  
- 두유와 두부두유의 이화학적 특성 연구(제 1 보) -

황 인 경·김 수 회·최 영 락\*

서울대학교 식품영양학과

\*Dept. of Human Nutr. and Food Systems, Univ. of Maryland

Development of Protein Foods and Their Rheological  
and Sensory Properties

- Physicochemical Properties of Soy Milks and Tofu Milks (1)-

In-Kyeong Hwang, Soo-Hee Kim and Young-rak Choi\*

Dept of Food & Nutrition, Seoul National Univ.,

\*Dept. of Human Nutr. & Food Systems, Univ. of Maryland, U.S.A.

**Abstract**

Tofu coagulated with  $\text{CaCl}_2$  was used to make high-Ca soy milk, named tofu milk. Physico-chemical analysis of regular soy milk and tofu milk adjusted at various pH and/or heat-treated was carried out.

Unheated and heat treated tofu milk kept stable colloidal state at pH 8. The solubility of soy milk was low at pH 4 but increased gradually at higher pH, while that of tofu milk was almost unchanged between pH 4 and pH 7 but increased rapidly above pH 8. At pH 8, the viscosity of tofu milk was almost the same as soy milk, while that of heat-treated tofu milk was much higher than that of soy milk. Especially, steamed tofu milk seemed to be a thick paste unable to drink, but autoclaved tofu milk was suitable to drink. Phytic acid content of tofu milk was somewhat lower than that of soy milk.

본 연구는 '90 대학교수 국비해외 파견 연구의 일부이며 본 연구에 많은 도움을 주신 미국 Maryland 대학의 최영락 교수님께 감사드립니다.

## 서 론

두유는 우유에 비하여 필수지방산을 포함한 불포화지방산을 상당히 함유하고 있으며 또한 콜레스테롤 함량이 거의 없어<sup>1)</sup> 동맥경화증 등 성인병 예방에 좋은 식품으로 알려져 있다. 그러나 두유에는 우리 몸에 꼭 필요한 무기질인 아연(Zn), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 등과 결합하여 흡수율을 낮추는 phytic acid가 상당량 함유<sup>2~5)</sup>되어 있으며, 우유대용으로 마시기에는 칼슘의 함량<sup>1,6,7)</sup>이 상당히 낮다.

대두와 대두제품에 따라서 phytase 효소를 첨가하여 phytic acid의 함량을 낮추려는 연구<sup>8~10)</sup>와 두유에 칼슘 염을 첨가해 보려는 연구<sup>11,12)</sup>가 일부 발표되었으나 아직 문제점들이 완전히 해결된 상태는 아니다.

본 연구에서는 이런 문제점들을 개선하기 위하여 두유의 제조과정을 변경하여 즉, 두부를 이용하여 두유를 제조하여 여러가지 처리조건에 따른 두유와 두부두유의 물리화학적 변화를 연구 관찰하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험 재료

대두(90년산)를 냉장보관(4°C) 하며 사용하였다.

### 2. 시료 제조

#### 1) 두유 제조

대두 100g을 2~3번 수세하여 상온에서 12시간 수침한 뒤 전져 Osterizer blender의 'blend' mode에서 3분간 마쇄하고 대두무게의 10배가 되도록 가수하였다. 이를 10분간 끓인 뒤 면포로 두유를 압출하였고 이때 얻은 두유양은 약 700 ml정도였다.

#### 2) 두부두유 제조

두유(700 ml)의 온도가 75~80°C일 때 5% CaCl<sub>2</sub> 40 ml를 가하고 10분간 방치한 뒤 두부틀(145 mm(L)×100 mm(W)×85(H)mm)에 옹고물을 붓고 500 g×2의 압력으로 20분간 성형하였다. 형성된 두부를 중류수에 담아 냉장고에 하룻동안 보관한 후 두부를 꺼내 'liquify' mode에서 2분간 마쇄하고 60 mesh 표준망체에 거른 후 최종 두유의 양이 700 ml가 되도록 중류수로 채웠다.

### 3) 시료의 pH 조절

두유와 두부두유는 1.0 N HCl과 1.0 N NaOH를 사용하여 각각 pH 2, 4, 6, 7, 8, 10로 조절하였다.

### 3. 시료의 가열처리

#### 1) 상압가열

두유 또는 두부두유 50 ml를 비이커에 담아 뚜껑을 덮고 끓는 물에서 15분간 가열하였다.

#### 2) 고압가열

두유 또는 두부두유 50 ml를 비이커에 담아 고압증기 가열기(autoclave)에서 100°C로 20분간 가열하였고 이후 5분간은 115°C로 가열하였으며 40분간은 감압, 냉각하였다.

## 4. 일반성분 분석 및 총고형분 분석

대두와 두부분말의 일반성분과 두부와 두유의 총고형분 함량은 AOAC방법<sup>13)</sup>에 따라 측정하였다.

### 5. 혼탁액 안정도(Suspension stability) 측정

시료 10 ml를 시험관에 취해 이 때의 높이를 측정하고 냉장(4°C) 보관하며 2일, 5일, 8일 후에 혼탁액이 분리되어 내려온 높이를 측정하였다. 혼탁액 안정도 지수는 다음과 같이 계산하였다.

#### 혼탁액 안정도 지수

$$\text{혼탁액 안정도 지수} = \frac{x\text{일 방치후 내려간 혼탁액의 높이}}{\text{두유의 처음 높이}}$$

### 6. 단백질의 용해도 측정

시료를 냉동실(-12°C)에서 하룻밤 냉동시킨 뒤 꺼내 실온에서 해동시켜 15,000 rpm에서 20분간 원심분리(Brushless D.C. Mortor Centrifuge Models 15-CF) 한 후 상층액을 취해 Biuret 시약<sup>14)</sup>으로 반응시켜 30분 뒤에 분광 광도계(spectrophotometer: Hitachi u-1100)를 이용해 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 7. 두유의 절도 측정

회전 절도계(Brookfield Syncro-Lectric Digital Viscometer, RV)를 사용하여 50 rpm, 24°C에서 두유의 절도를 측정하였다.

Table 1. Suspension stability index of soy milk and tofu milk at various pH values after 5 day storage

soy milk				tofu milk		
pH	unheated	steamed	autoclaved	unheated	steamed	autoclaved
2	1.00	1.00	1.00	0.85(t)	1.00	1.00
4	0.81	curd	curd	0.71	curd	curd
6	1.00	curd	curd	0.78	curd	curd
7	1.00	1.00	1.00	0.62(t)	curd	curd
8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.00	1.00	1.00	0.97(t)	1.00	1.00

(t) : showing some degree of turbidity in supernatant

### 8. Phytate 함량 측정

Latta와 Eskin의 방법<sup>14)</sup>을 일부 수정하여 사용하였다. AGI-X8 음이온 교환수지(Biorad Co.)에 phytate 를 흡착시킨 뒤 추출하여 0.03 g FeCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O와 0.3 g sulfosalicylic acid를 중류수 100 ml에 녹여 만든 Wade 시약으로 밝색시켜 5,000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 얻은 상층액의 흡광도를 분광광도계로 500 nm에서 측정하여 함량을 계산하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. 일반성분 분석

대두의 일반성분은 조단백이 34.97%, 조지방이 20.61%, 회분이 5.15%, 탄수화물이 32.67%이었다.

제조된 두부의 총 고형분함량은 24.36%로서 이중 단백질은 59.87%, 조지방은 30.80%, 회분은 4.25%, 탄수화물은 0.39%로 구성되어 있어 두부분류상<sup>15)</sup> 경두부에 해당되었다. 두유의 총 고형분함량은 7.64%, 두부두유는 7.39%이었다.

#### 2. 혼란액 안정도(Suspension stability)

냉장 저장된 두유와 두부두유의 pH에 따른 혼란액 안정도는 표 1과 같다. 가열처리하지 않은 두유의 경우, 대두 단백질의 등전점 균처인 pH 4에서 혼란액이 분명하게 분리되었으며 그외의 pH에서는 8일이 지나도 눈에 보이는 분리현상은 없었다. 두부두유에서는 pH 4와 pH 6에서 분명한 분리가 일어났고 안정도도 더 낮게 나타났으며 pH 2에서는 분리정도가 분명하지는 않았으나

충분리 현상이 보였고 pH 7에서는 하룻동안 방치할 때는 분리가 나타나지 않았으나 3일 이후에는 분명하지는 않으나 충분리가 크게 나타났다. 두부두유는 칼슘첨가에 따른 단백질의 용고로 두부옹고물을 다시 잘 분산시켜도 혼란액의 안정도가 떨어지는 것으로 나타나는 것 같다. 그러나 pH 8에서는 보통 두유에서와 같이 어떤 충분리도 나타나지 않았다.

상압가열처리와 고압가열처리한 경우에 두유는 pH 4와 pH 6에서 혼란액이 분리되어 당상조직의 옹고물(curd)을 생성하였으나 다른 pH에서는 혼란액 안정도에 변화가 없었으며 두부두유에서는 pH 4, 6, 7에서 혼란액 분리 현상이 나타났으나 그 외의 pH(2, 8, 10)에서는 혼란액의 안정도가 매우 높은 것으로 나타났다.

#### 3. 해동 후의 pH 측정

각 시료의 pH를 조정하고 적당한 가열처리를 한 뒤 냉동실(-12°C)에서 얼려 하룻동안 보관한 후 실온에서 녹여 사용하였는데 이는 냉동과 해동에 따른 혼란액의 안정도 저하의 성질<sup>16)</sup>을 이용해 단백질의 용해도 측정시 더 맑은 상층액을 얻고자 함이다.

해동 후 두유의 pH를 다시 확인해 본 결과 전반적으로 냉동전과 큰 차이는 나타나지 않았으나 pH 8로 조절한 시료는 pH 7.6~pH 7.8 정도로 낮아졌으며 pH 10에서는 처리 정도가 심할(상압가열, 고압가열)수록 pH 저하도 크게(1.0 pH unit정도) 나타났다.

#### 4. 두유 단백질의 용해도

pH에 따른 두유단백질의 용해도는 fig. 1, fig. 2와 같다. 두유는 pH 4에서 가장 낮은 용해도를 보이다가 이

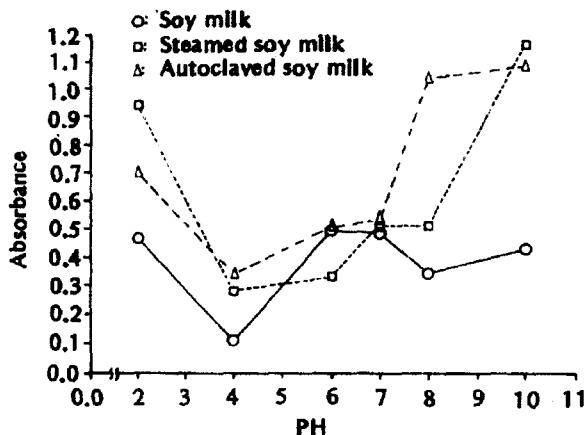


Fig. 1. Solubility of soy milk, steamed soy milk, autoclaved soy milk as a function of pH.

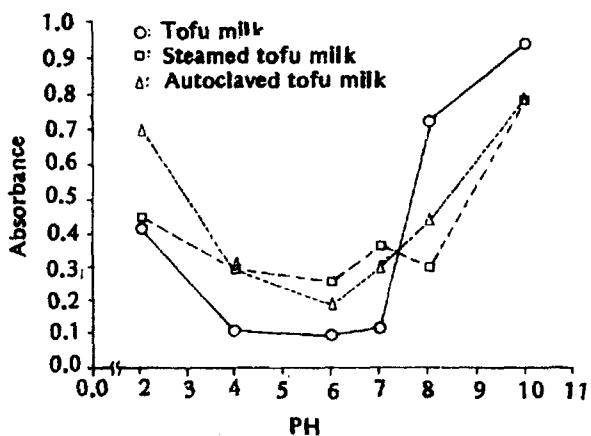


Fig. 2. Solubility of tofu milk, steamed tofu milk, autoclaved tofu milk as a function of pH.

후로는 용해도가 점차 증가하는 경향을 보였으며 가열처리한 두유는 염기성이 커질수록 용해도가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 이는 알칼리용액에서 단백질의 열분해가 더 잘 되기 때문이라고 생각된다.

두부두유는 pH 6에서 가장 낮은 용해도를 보이나 대체로 pH 4~7의 범위에서 비슷한 정도의 용해도를 나타내었으며 가열처리한 두부두유는 pH 8 이후에서 용해도가 매우 급격히 증가하였다. 이와 같이 등전점이 넓어진 현상은 두부두유에서 양이온인 칼슘에 의해 대두단백질의 음이온이 중화되었기 때문인 것과 두부두유의 단백질-칼슘 결합이 pH 4~7의 범위에서 비교적 안정하기 때문인 것으로 생각된다. 이를 다시 등전점과의 관계로 설명하면 두부제조시 칼슘이온은 여러 결합방법을 사용하

Table 2. Viscosity of soy milk and tofu milk

Sample*	Apparent viscosity** (centipoise)
SM	13.0
TM	19.2
TM8	20.0
TM8A	50.4
TM8S	413.6

\* SM : soy milk      TM : tofu milk  
TM8 : tofu milk adjusted to pH 8  
TM8A : autoclaved TM8      TM8S : steamed TM8  
\*\* viscosity at 24°C, 50rpm

나 그 중 대표적인 결합방법중의 하나는 대두단백질의 carboxyl기와 imidazole기와의 결합<sup>17~20)</sup>으로 carboxyl기의 pKa인 pH 4 이후부터 imidazole기의 pKa인 pH 6 부근까지 칼슘과 단백질의 결합이 점차로 증가되면서 등전점이 넓어진 것으로 생각된다.

## 5. 두유의 점성

두부두유의 실제 적용의 측면에서 볼 때 pH 8정도로 조절된 두부두유는 혼탁액이 어떤 가열에서나 안정하고, 일반적으로 두유의 색깔은 염기성에서 flavonoid에 의해 노란색을 나타내는데 반하여 두부두유는 pH 8에서도 눈에 띄는 색의 변화를 볼 수 없었으므로 두유의 점성은 두유와 pH 8로 조절된 두부두유에 대하여 측정하였다. 두유(SM), 두부두유(TM)와 pH 8로 조절된 가열하지 않은 두부두유(TM8)의 점성은 표 2에서 보는 것처럼 큰 차이를 찾아볼 수 없었다. 그러나 pH 8로 조절된 상암가열처리 두부두유(TM8S)와 고압가열처리 두부두유(TM8A)의 점성은 크게 달랐다. TM8A는 점성의 크기는 증가되었으나 겉보기에는 잘 흐르는 액체의 상태이었으며 마시기에 적당하였다. 그러나 TM8S는 점성이 매우 크게 증가되었으며 겉보기에는 풀(paste)과 같은 물성상태를 보여 주어 마시기에 부적당하였다. 이와 같은 점성의 차이는 고압가열시 단백질 분자구조 자체는 완전히 변성되고 잘 풀어졌으나 적당히 작은 분자로 분해됨으로 큰 점성을 나타내지 못하는 반면 상암가열시에는 단백질-칼슘으로 결합된 단백질 분자구조가 그 1차 구조는 그대로 유지한 채 완전히 변성되어 풀어져서 나타나는 것으로 생각된다.

그러나 가열처리에 따른 점성의 큰 차이의 원인은 좀

더 자세히 연구되어야 할 것이다.

### 6. 두유의 phytate 함량

phytic acid는 대두에 상당량 함유되어 있으며, 채내 대사 중 무기질의 흡수를 저하 시킨다는 보고가 많다. 따라서 phytate의 함량이 낮은 대두제품 제조 방법이 연구되고 있다<sup>8,9,19,20)</sup>.

phytate는 대두단백질의 용고제로 쓰이는 칼슘이온과 결합이 가능하여 단백질-칼슘-phytate 복합체<sup>21~23)</sup>를 형성하여 두부제조시 대두단백질의 용고에 관계하지만, 한편 과량의 칼슘과 결합하여 불용성의 칼슘-phytate를 형성하므로 두부제조시 제거되는 유장과 함께 phytate가 상당량 제거될 것으로 생각되었다. 그러므로 대두분 (whole soy flour), 두유, 두부두유의 phytate 함량을 측정하였다.

Table 3. Phytate contents of soybean and milks

Sample	Phytate content (mg/g)	
	dry base	wet base
whole soybean	24.60	—
soy milk	38.42	2.19
tofu milk	34.02	2.08

표 3에 의하면 두부두유의 phytate 함량이 두유보다 약간 낮았으나 예상보다 많이 존재하고 있음을 알 수 있다. phytate와 칼슘간의 관계를 설명하기 위하여 칼슘의 함량을 비교해 보면 두유의 칼슘함량은 21 mg%, 우유의 칼슘함량은 100 mg%<sup>27)</sup>으로 보고되고 있는데 두부두유의 칼슘함량은 137 mg%<sup>24)</sup>으로 우유보다 더 많이 함유되어 있다. 따라서 두부두유중의 phytate는 두부두유내에 고농도로 함유된 칼슘과 단백질-칼슘-phytate 복합체로 상당량이 존재하고 있는 것으로 생각된다. 그러므로 두부 또는 두부두유의 phytate를 제거하기 위한 방법이 좀더 연구되어야 할 것이다.

### IV. 요 약

고농도의 칼슘을 함유한 두유를 제조하기 위하여 칼슘 염으로 용고시킨 두부로 두부두유를 만들어 여러 조건 하에서 두유와 두부두유의 물리화학적 변화를 실험 연구하

였다.

두부두유는 pH 8에서 안정한 현탁액을 형성하였으며 가열처리 후에도 안정성에는 변화가 없었다. 두유의 용해도는 pH 4에서 가장 낮았고 그 후 상승하였으나 두부두유의 용해도는 pH 4~7에서 큰 변화가 없다가 pH 8 이상에서 비교적 급격하게 상승하였다. 두유와 두부두유는 점성에 있어 큰 차이가 없었으며 고압가열처리 두부두유의 점성은 커졌으나 마시기에는 적당한 반면 상압 가열처리 두부두유의 점성은 아주 커서 플(paste)과 같은 상태로 마시기에 부적당하였다. 두부두유의 phytate 함량은 두유에 비하여 낮았으나 그 정도가 크지 않았다.

### 참 고 문 헌

- 1) deMan, L., deMan, J.M. and Buzzell, R.I., Composition and properties of soymilk and tofu made from Ontario light hilum soybeans, *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 20(5):363, 1987.
- 2) Jaffe, G., Phytic acid in soybeans, *JAOCS*, 58:493, 1981.
- 3) de Rham, O. and Jost, T., Phytate-protein interactions in soybean extracts and low-phytate soy protein products, *J. Food Sci.*, 44(2):596, 1979.
- 4) Reddy, N.R., Sathe, S.K. and Salunkhe, D.K., Phytate in legumes and cereals, *Advances in Food Research*, 28:1, 1982.
- 5) Cheryan, M., Phytic acid interactions in food systems, *CRC Critical Rev. in Food Sci. Nutr. Dec.*, 297, 1980.
- 6) Picciano, M.F., Weingartner, K.E. and Erdman, J.W. Jr., Relative bioavailability of dietary iron from there processed soy products, *J. Food Sci.*, 49:1558, 1984.
- 7) 식품성분표, 농촌진흥청, 농축영양개선 연수원, 1991.
- 8) Han, Y.W., Removal of phytic acid from soybean and cottonseed meals, *J. Agric. Food Chem.*, 36:1181, 1988.
- 9) Knuckles, B.E., Kuzmicky, D.D. and Betschart, A.A. Effect of phytate and partially hydrolyzed phytate on in vitro protein digestibility, *J. Food Sci.*, 50:1080, 1985.
- 10) Han, Y.W. and Wilfred, A.G., Phytate hydrolysis in soybean and cottonseed meals by *Aspergillus ficuum* phytase, *J. Agric. Food Chem.*, 36:259, 1988.
- 11) 김은수, 정성수, 조재선, pH, 화학적 조성 및 첨가제가 두유의 현탁안정성에 미치는 영향, 한국식품과학

- 회지, 22(4):319, 1990.
- 12) A.O.A.C: association of Official analytical Chemists. 15th ed. Washington D.C. 1990.
  - 13) Paik, W., and Kim, S. K. Effect of methylation on susceptibility of protein to proteolytic enzyme, *Biochem.*, 11(14):258, 1972.
  - 14) Latta, M. and eskin, M., A simple and rapid colorimetric method for phytate determination, *J. Agric. Food Chem.*, 28:1313, 1980.
  - 15) 식품공전, 한국식품공업협회, p170, 1989.
  - 16) Yeh, S.W., Weli, L.S., Nelson, A.I. and Sterinberg, M.P., Freeze-thaw stability of Illinois soybean beverage, *J. Food Sci.*, 47:299, 1981.
  - 17) Kroll, R.D. Effect of pH in the binding of calcium ions by soybean proteins, *Cereal Chem.*, 61(6):490, 1984.
  - 18) Appurao, A.G. and Narasingarao, M.S., Binding of Ca (II) by the IIS fraction of soybean proteins, *Cereal Chem.*, 52:21, 1975.
  - 19) Churella, H.R. and Vivian, V.M., Effect of phytic acid level in soy protein based infant formulas on mineral availability in the rat. *J. Agric. Food Chem.*, 37:1352, 1989.
  - 20) Sathe, S.K. and Salunkhe, D.K., Technology of removal of unwanted components of dry beans. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 21:263, 1981.
  - 21) Saio, K., Koyama, E. and Watanabe, T., Protein-calcium-phytic acid relationships in soybean. Part I. Effects of calcium and phosphorus on solubility characteristics of soybean meal protein. *Agric. Biol. Chem.*, 31:1195, 1967.
  - 22) Saio, K., Koyama, E. and Watanabe, T., Protein-calcium-phytic acid relationships in soybean. Part II. Effects of phytic acid on combination of calcium with soybean meal protein. *Agric. Biol. Chem.*, 32: 448, 1968.
  - 23) Saio, K., Koyama, E. and Watanabe, T., Protein-calcium-phytic acid relationships in soybean. Part III. Effects of phytic acid on coagulative reaction in tofu-making, *Agric. Biol. Chem.*, 33:36, 1969.
  - 24) 정우경, 두부분말의 기능성에 영이 미치는 영향과 칼슘, phytate 함량 측정, 서울대학교 석사학위 논문, 1992.