

大豆蛋白質의 物理·化學的性質

金 中 晚

〈圓光大 教授〉

서 론

세계 인구는 1970년에 36억이 됐고 1980년에는 44억, 2000년에는 65억으로 추산되는 바, 식량 사정 특히 단백질식량의 부족은 더욱 심화될 것은 뻔한 일이다. 이대로 세계 인구가 증가하면 단백질의 필요량은 1980년에 4,200만톤, 2000년에는 6,500만톤으로 현재의 단백질식품 생산 능력으로 볼 때, 1980년대 1,000만톤, 2,000년에는 2,200만톤이 부족될 것으로 예측된다.

단백질식품 부족의 해결 방법으로 Single-Cell Protein의 食飼料化, 穀類의 혼합 및 Amino Acid 첨가에 의한 간접적인 단백질의 증산, 食사로 製造를 위한 Fish Protein Concentrate획득, leaf protein의 이용 등이 연구되거나 실용되고 있다.

필자는 油糧種子(Oil seed)의 一種인 大豆의 蛋白質(soybean protein)의 용도는 앞으로 크게 확대될 것으로 기대되는 바가 크다.

大豆는 중국이 원산지로서 한민족을 비롯하여 극동지역에서는 옛날부터 食用化되어 온 중요

한 단백질源으로 우리 나라에서는 약 1,500년 전에 재배되어 食用화된 것으로 추정된다. 20세기 초까지만 하더라도 극동지역을 제외하고는 大豆를 직접 食用으로 한 곳은 거의 없었으며, 세계 최대 大豆 생산국인 미국도 20세기 초반까지 大豆油를 채취하고 깻묵(脫脂大豆)은 사료로 사용하는 용도의 카테고리를 벗어나지 못하다가 大豆成分의 영양적 가치가 인정되고 大豆成分의 다양한 기능적 우수성이 인정되면서 大豆의 새로운 이용 분야가 크게 확대되었다. 그러나 동양에서는 아득한 옛날부터 된장, 간장, 納豆 등의 발효 식품으로 食用되었고 그 후 두부, 두유, 油腐 등의 가공 식품이 대중적 식품으로 소비되어 1日 蛋白質 攝取量의 수 퍼센트, 경우에 따라서 십여 퍼센트까지 차지했으며, lysine이 제한 아미노산인 쌀과 보리 등을 주식으로 하여 온 우리 민족에게는 大豆製品의 이용이 Amino acid의 좋은 補足效果를 주어 만성적 단백질 부족을 다소라도 완화하여 왔다는 사실은 다행한 일이다.

사실, 大豆는 40%정도의 단백질을, 20% 정도의 지질을, 또한 20%정도의 탄수화물을

함유한 高蛋白質食品이며 3大 영양소가 잘 구비된 高칼로리 식품이다. 특히, 필수아미노산인 lysine이 다른 곡류보다 많은 편이며, 발효식품(된장, 간장)에 구수한 맛을 주는 glutamic acid가 아주 많으며 K, Ca 등의 알칼리 염류가 많아 生理的 알칼리 식품이며, 우유와는 달리 非알러지식품이며, 大豆脂質 中の 불포화지방산은 體內에서 Cholesterol의 축적을 억제하는 등의 특성을 가지고 있어서 우유알러지 환자, 고혈압 환자, 菜食主義者, 살생을 禁하는 종교인 등에게는 적합하고 값싼 蛋白質源이 된다고 본다. 또한 大豆蛋白質에는 여러가지 機能的 特性이 있어서 製菓用 發泡劑, Sausage의 油脂分散劑, 빵의 노화 방지제, dough의 油浸防止劑, 混合粉을 이용한 제빵의 品質向上을 위한 添加劑, 人造고기와 같은 組織蛋白質食品의 재료, 우리 고유의 油菓 副原料 등의 원료로 쓰이며, 앞으로 그 용도가 훨씬 늘어날 것으로 보인다.

한편, 大豆는 SCP 다음가는 단위 면적당 단백질 식품으로써의 利用 効率が 크기 때문에 우리의 食糧事情에서 생각하여 볼 때, 大豆와 같은 식물성 단백질을 보다 많이 섭취하는 것이 바람직하다.

뉴우질랜드, 호주처럼 인구 밀도가 낮은 축산국과는 달리, 사철 목초가 잘 자랄 수가 없으며, 인구 밀도가 높고 식량의 절대량이 부족한 우리나라의 실정으로 보아, 식물성 단백질의 섭취량을 늘리지 않고 4~10배 단백질 이용효율이 낮은 동물성 단백질의 섭취 의존도를 높이면 높은 만큼 단백질 부족은 더욱 심화될 것이기 때문에, 동물성 단백질 생산을 위한 국토의 너그러운 분배는 식량의 自給化에 커다란 차질을 초래할 것이다. 따라서, 식량의 자급도가 100%에 접근될 때까지는 가내 축산 방식을 指向하고 자급량을 넘을 때, 또는 전망

이 회박하지만 국내 식량 사정이 풍족할 때 축산물로 부터의 단백질 섭취 의존도를 높이는 것이 바람직하다고 생각한다.

우리 민족은 다행히 大豆食品에 오래되고 높은 기호도를 갖고 있기 때문에 大豆蛋白質의 적극적인 생산과 大豆蛋白質을 기초로 한 식품의 소비는 우리 실정에서 볼 때, 단백질 부족의 해결에서 다른 해결 방법과 병행해야 할 알맞는 방법으로 생각되는 바 大豆의 가공에 관한 기초 지식은 더욱 필요하게 될 것이다. 따라서 大豆蛋白質의 物理的, 化學的 性質에 對한 문헌에서 얻은 지견들을 정리하여 보고자 한다.

食品工業에 쓰이는 大豆蛋白質(flour concentrate, isolate등)은 다른 식품의 成分에는 별로 영향을 주지 않는 정도의 조건에서 物理·化學的으로 매우 예민하게 변한다. 특히 濕潤 加熱이나 극단적인 pH는 대두단백질의 溶解度(solubility), 분자량(molecular weight), 粘度(Viscosity) 등의 物理·化學的 性質에 변화를 준다.

1. pH에 대한 용해도(Solubility)

大豆蛋白質의 대부분은 globulin인데, 이 단백질은 等電點의 pH범위에서 물에는 녹지 않으나, Sodium chloride, 혹은 Calcium chloride가 녹아있을 때에는 等電點에서도 녹는다. 따라서, 등전점보다 pH를 낮게 하거나 높일 때에는, Salt류가 존재하지 않아도 역시 水溶液 狀態로 녹는다. 이러한 大豆蛋白質의 용해도에 대한 pH의 영향은 Figure 1에서 볼 수 있다.¹⁾ 그 결과는 大豆나 저온脫脂大豆粉을 가늘게 분쇄하고 물에서 교반해서 不變性 狀態로 하고, 酸, 알칼리 첨가에 의해서 pH를 변화시킨 다음 遠心分離하여 얻어진 extract는

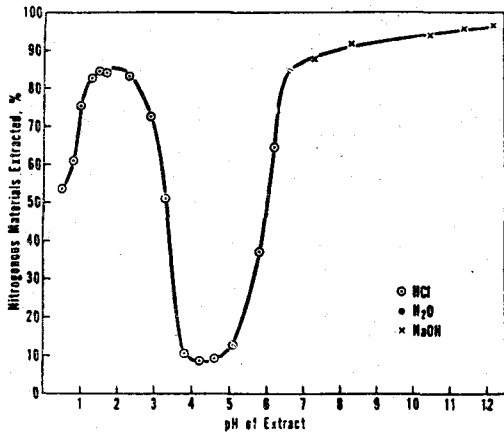


FIGURE 1

Kjeldahl 法으로 질소를 정량한 값이다.

pH 6.5에서 水抽出로 脫脂大豆粉의 질소 성분의 85%가 溶出되며, 그 후 알카리 첨가는 5~10%의 抽出率을 더 올릴 수 있다. 그러나 酸을 가하면 단백질 용해도는 급격히 낮아져 等電點 범위인 pH 4.2~4.6으로 되면 최소의 용해도를 보인다. 이 等電點 범위에서 globulin 이 녹지 않는 성질을 이용하여 protein isolate 를 만들게 된다. 또한 酸 첨가에 의해 等電點 이하로 낮아지면 globulin은 再溶解(resolubilization)를 일으킨다. 大豆蛋白質의 pH에 대한 용해도와 비슷한 것은 等電點이 pH 4.6 인 Casein이다. 그래서 Soybean protein isolate는 食品工業에서 Caseinate의 대용물이 되기도 한다. 그러나 이 두 단백질은 여러 관점에서 다르기 때문에 사용 전에 주의 깊은 평가가 전제되어야 한다.

또한, 大豆蛋白質은 等電點 범위에서 녹을 수 있도록 pepsin으로 변형시킬 수 있으나, 이 변형된 단백질은 pepsin 처리 전보다 훨씬 작은 분자량을 갖는다. pepsin에 의해 가수분해된 단백질은 주로 거품 형성을 목적으로 약 산성에서 Canoly에 쓰이는데, 변형되지 않은 것은 용해도가 낮기 때문이다.

한편 pH 2로 낮아지면 용해도는 급격히 증가하고, 그보다 pH가 낮아지면 용해도는 급격히 저하한다. 이 경우는 酸의 종류를 不問하고 비슷하지만 trichloro-acetic acid만은 전체적으로 용해도를 낮게하므로 除蛋白質의 목적으로 大豆 中の 非蛋白質態 질소 정량에 쓰인다. 또한, 大豆粉의 水抽出 때에 phytin은 抽出率에 영향을 주므로 phytin을 제거하면 용해도 폭선은 약간 알카리성 쪽으로 이동한다. 그래서, 0.8정도 pH가 알카리 쪽으로 이동된다.

또한, 두부는 大豆의 熱水抽出液에 Ca-salt를 일정량 가해서(최종 농도가 0.02N부근) 침전하는 단백질을 모아서 성형한 것이다. 이때, 응고할 때, 0.01N-NaCl정도의 존재는 영향이 없으나, 0.5N에서는 pH4~5 부근에서 용해도가 아주 좋게 되어 식염은 단백질 용출을 촉진하는 것으로 알려지고 있다.

2. 大豆蛋白質의 分子크기 (Molecular size)

大豆蛋白質의 분자 크기 범위는 超遠心沈降分

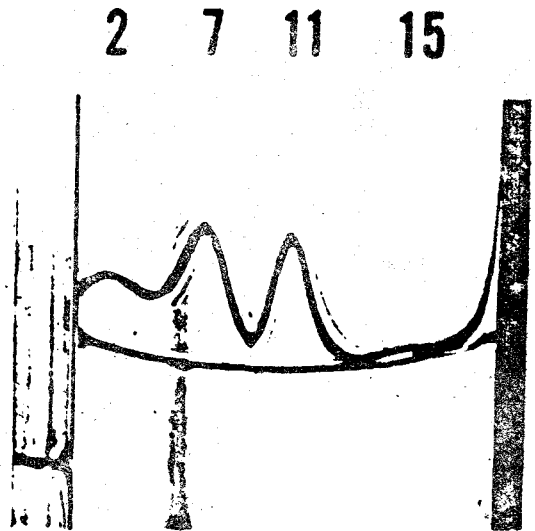


FIGURE 2 Ultracentrifuge pattern for water-extractable soybean proteins. Solvent is pH 7.6, 0.5 ionic strength buffer containing 0.01 M mercaptoethanol. Numbers across top of pattern are sedimentation coefficients in Svedberg units (Taken from Wolf)

Table I

Approximate Amounts and Components of Ultracentrifuge Fractions of Water-Extractable Soybean Proteins.

Fraction	Percent of total*	Components	M.W.	Reference
2S	22	Trypsin inhibitors	8,000~21,500	78, 79
		Cytochrome c	12,000	80
7S	37	Hemagglutinins	110,000	81
		Lipoxygenases	102,000	82
		β -Amylase	61,700	83
		7S Globulin	180,000~210,000	84
11S	31	11S Globulin	350,000	76
15S	11	—	600,000	

*Data from Wolf et al.

析에 의해서 쉽게 알 수 있는데 脫脂大豆蛋白質은 Figure 2에서와 같이 4개의 전형적인 Ultra centrifugage pattern을 갖는다. 이들 fraction은 그들의 沈降 속도에 근거를 둔 것으로 2S, 7S, 11S와 15S로 나타낼 수 있다³⁾. 이 4fraction의 대략적인 양은 Table I에서 볼 수 있다.³⁾

2S fraction은 N-말단에 Asparaginic acid를 갖는 단백질로 大豆의 全 단백질 양의 약 20%로 trypsininhibitor, cytochrome C, 미확인 단백질 등을 함유하고 있다. 7S, 11S, 15S 등 단백질 fraction이 알카리 혹은 효소 등의 처리를 받으면 분자량이 적어져 超遠心沈降分析에서 거의 2~3S 위치에서 나타난다.

7S의 구분은 전체 단백질의 약 35%정도 함유하며 4가지 다른 형태의 단백질, 즉 4종의 hemagglutinins, 2종 이상의 lipoxygenase β -amylase와 7S globulin이라고 불리우는 단백질이다. lipoxygenase를 unsaturated fatty acid를 산화해서 바람직하지 못한 香味生成反應에 관여하지만 반면 大豆의 황색을 감소시키는 작용도 있기 때문에 식품 과학자들에게는 특별한 관심을 끌고 있다. 7S globulin은 glycoprotein이며 7S fraction 전체량의 1/2 이

상을 차지한다. 구성 아미노산은 11S성분과 비교해서 거의 큰 차이가 없으나, 함황 아미노산인 methionine, tryphopthan량이 11S에 비하여 적고, 또 N-말단 아미노산의 종류가 많다.

11S fraction은 단백질 전체의 30% 전후이고, 단순한 11S globulin 단백질이다. 11S는 효소 guanidine, 염산, 알카리 등의 존재에서 2~3만의 Subunit로 解裂하며, 1% 이하의 解裂體 2개는 會合해서 보다 안전하게 되는 것도 알려져 있으며, Subunit 中에는 pH 8~9에 等電點을 갖는 염기성 단백질도 있는 것이 알려지고 있다. 또한, 11S의 커다란 특징은 냉각되면 침전하는 성질이다. 水抽出蛋白質 용액을 0~2°C에서 氷水中 냉각하면 약 86%가 11S fraction으로부터 침전되게 되어 11S성분의 분리 정제에 널리 쓰여지고 있다. 11S성분과 7S성분에서 pH와 Ion강도의 조건을 조절하여 각각 용해도 차이에 따라서 Fraction을 할 수 있다. 예를 들면 冷時 pH 4.4에서 각 단백질 성분의 용해도에는 상당한 차이가 있어서 11S성분은 이온 강도가 증가하면 可溶化度가 높아지지만 7S성분은 약 0.8까지 거의 녹지 않는다.⁴⁾ Wolf 등은 大豆의 단백질인 11S성분을 glycine이라 했고, 이것에 대응해서

7S성분은 conglucinin이란 명칭을 붙이고 있다. 大豆 中の 11S와 7S의 성분비는 반드시 11S가 높지는 않다. 또한 7S와의 食品加工學的 성질의 차이는 11S 성분으로부터 형성된 calcium gel은 7S성분으로부터 형성된 gel보다 현저히 견고한 조직을 갖는다.

15S fraction은 大豆蛋白質 전체의 10% 정도 차지하며 沈降 比率에 근거해서 500,000이상의 분자량을 갖는 것으로 구별하나, 불명확한 점이 많아서 >15S로 표시되기도 하고, 경우에 따라서는 15S와 15S를 11S fraction으로 보기도 한다. 15S성분은 酸침전, 透析 中の 침전 때 먼저 침전하고, 또 11S 냉각 침전 때 共沈한다. 어떻게 Table II에서 볼 수 있는 결론은 大豆蛋白質은 Complex mixture이며, 단백질의 크기는 100,000이상의 분자량을 갖는다는 것이다.

3. 7S와 11S globulin의 反應

7S와 11S는 大豆의 주된 globulin으로 정제될 수 있으며, 特性化 될 수 있다. 아직 많은 연구점들이 남아 있으나, 몇가지 흥미있는 성질들이 알려지고 있다. 이 두 가지 fraction은 脫脂大豆의 水抽出物을 형성하는데 polymerization은 단백질의 침전을 포함하는 분리 과정에서 일어난다. disulfide polymer는 isolate의 不溶性의 原因이 되며, 단백질 용액의 탁도(Turbidity), 점도(Viscosity)를 증가케하는 원인이 된다. 또한 disulfide-linked protein은 mercaptoethanol cysteine, sodium-sulfide에 의해서 쉽게 depolymerization이 되며, 7S와 11S는 구조적인 차이를 가지고 있는데, 둘 다 subunit로 되어 있다. 11S단백질이 0.01Ion 강도, pH7.6에서 透析될 때, quaternary structure는 쪼개져 7S (7S globulin보다 작

은) 2~3S형으로 나타난다. 결국 7S globulin은 dimer로 존재하는 것이다. Koshiyama는 解離-會合 反應 研究에서 Figure 3와 같이 pH 및 이온강도(μ)의 변화에 따라서 7S, 9S 및 (2~3S+5~6S) 세 가지를 超遠心沈降法으로 관찰할 때, 解離-會合及應에는 disulfide결합이 관여하지 않으나 Ion강도를 부여할 때 금속염의 영향은 대단히 크다고 하였다.⁴⁾

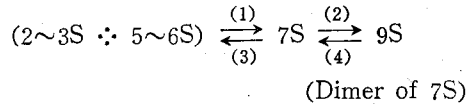


FIGURE 3 ; 7S蛋白質의 解離-會合 反應

- (1) 酸性側 $\mu \geq 0.1$, 알카리側 $\mu \geq 0.5$
- (2) 알카리側 $\mu \leq 0.1$
- (3) 酸性側 $\mu < 0.1$
- (4) 알카리側 $\mu \geq 0.5$

酸性側 : $2 \leq \text{pH} < \text{等電點} (\text{pH } 4.90)$

알카리側 : $\text{等電點} < \text{pH} < 10$

11S단백질 1mol에는 8개의 glycine, 2개의 phenylalanine, 2개의 leucine(혹은 isoleucine) 말단 잔기를 가지고 있다. 이 결과는 polypeptide chain 사이에 disulfide crosslink가 없다면 최소한 12개의 polypeptide가 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 구조는 Urea-mercaptoethanol용액에서 단지 6 subunit가 분리되기 때문에 불명확한 점이 있기도 하다.

또한 11S의 quaternary structure의 분해 조건은 높은 pH, 낮은 pH, 고농도의 노소나 세척제 phenyl-acetic acid-mercapto ethanol-urea의 mixture, 80°C이상의 온도 등이다.

7S globulin은 1mol당 4개의 amino말단 잔기를 가지며 quaternary 구조에는 9개의 Subunit가 있는데, 앞에서 말한 바와 같이, 산성화 저농도의 식염 용액에서 7S는 2S와 5S형으로의 전환은 pH 7.6, 0.5의 이온강도에서 그 단백질의 鹽이나 dialysis에 의해 방해되며,

침강성에 있어서의 변화도 거꾸로 된다. 0.01 N-NaOH 정도의 높은 pH에서 7S단백질은 단지 0.4S의 S₂₀W價로 형태가 변한다. 저속 침전 단백 형태의 생성은 Substructure의 징후이다.

組織蛋白 食品 재료로 쓰이는 protein-isolate를 섬유로 방적하는 것은 7S 및 11S의 4次 구조가 파괴되는 하나의 예가 된다. isolate는 pH 12에서 Spinning dope를 만들기 위해서 pH 12인 NaOH 용액에서 녹인다. 높은 pH는 점도의 증가와 모든 단백질이 3S로의 전환을 증가시키는 조건이 된다. 그 다음 Spinning dope에 압력을 가하면서 작은 구멍을 통해서 단백질을 응고시키는 acid salt bath속으로 방출한다. 단백질의 Subunit 사이의 disulfide bond와 noncovalant interaction은 섬유의 3次 구조를 안정화 시킨다. 7S globulin과 11S globulin은 액체 中에서 그들의 이온강도 환경에 예민하며, 이온강도가 변화하면 이들 단백질은 解離와 會合을 하게 된다. pH 7.6, 0.5 이온강도에서 7S globulin은 180,000~210,000(monomer-form)의 분자량을 가지며, 이온강도가 0.1로 낮게되면 그 단백질은 9S Component로 침전하며, dimerization(二合體化 反應)의 결과로 370,000의 분자량을 갖게 된다. 11S는 이온강도가 0.5에서 0.1로 변하면 역시 빠른 침강 형태로 전환되지만 會合의 정도는 작다. 두 단백질은 가역적으로 會合과 解離를 하게 되며, 대개의 식품에서 염류 농도는 7S와 11S globulin의 화합 형태에 유리할 정도로 낮다.

4. Isolates의 溶解度

isolate는 脫脂大豆 flake나, 大豆粉의 水抽出物을 等電點 범위로 pH를 조절하여 glo-

bulin을 침전시켜 얻은 것인데, 과정의 조건에 따라서 isolate가 가역적으로 되거나 비가역적으로 되기도 한다. pH 7.6, 이온강도 0.5의 완충용액에서는 녹으나, pH 4.5의 等電點에서 침전한 후에는 완전히 녹지 않는다. 실험실에서의 isolate 준비는 조건에 따라서 다양한 용해도를 나타내지만 0.01M-mercaptoethanol의 첨가는 용해도를 증가시킨다. 7S와 11S의 fraction은 이러한 거동을 설명할 수 있는 단서가 된다. 이들 단백질의 대부분은 大豆 flake와 大豆粉 中에서 disulfide linked polymer로써 존재하며 최초의 抽出에서 水溶性이다.

단백질의 集成은 等電點 침전 동안에 일어나며, 그 때문에 그 단백질은 불용화 된다. 이런 不溶化 作用的 형태는 mercaptoethanol과 다른 disulfide 분해제에 대해서도 풀리게 된다. 상품화된 isolate는 실험실에서 만든 것보다도 용해도가 여러 가지이며 disulfide polymer는 역시 이들 isolate에서 잘 일어난다. 서로 다른 방법으로 얻은 isolate는 화학 구조에서는 비슷하지만, 가공 방법의 차이 때문에 물리적 성질에서는 비슷하지 않다. 그래서 식품에 isolate를 이용하기 전에 정확한 평가가 선행되어야 할 것이다. 酸沈澱에 의한 大豆 globulin (예를들면 0.01M-mercaptoethanol을 함유한 완충 용액에서 불용성으로 남는 부분의 형성)의 비가역적 不溶化에 관계되는 반응에 대해서는 아직 불명확한 점이 많으나 2S, 7S, 11S, 15S와 >15S구분의 일부는 불용화 반응을 받게 된다. pH 4.5로 조정되면 급격히 비가역적 불용화를 나타내는 7S fraction은 시간이 경과함에 따라서 溶解度의 감소가 낮아지게 된다.

酸沈澱 大豆 globulin은 상당량의 磷(p)을 함유하는데 주로 phytate이다. phytate는 그

들이 酸으로 침전될 때, globulin과 상호 작용하는 높은 음하전을 띤다. 酸沈澱 globulin에서 phytate를 제거하면 等電點이 pH 4.5에서 pH 5.0으로 높아지게 되어 단백질은 等電點의 변경으로 pH 4.0이하 영역에서 더 잘 녹게 된다. 그래서 isolate의 물리적 성질에 대한 phytate의 영향을 잘 이해하는 것은 바람직하다.

5. 大豆蛋白質의 Denaturation (變性)

대두단백질은 일반적인 단백질의 변성 조건에 아주 예민한데, 식품가공 때의 실제적인 변성 조건은 濕潤加熱과 극단적인 pH라고 볼 수 있다.

(1) Heat Denaturation(열변성)

식품의 제조 공업에서는 열처리 공정을 거치게 되므로 熱變性은 흔히 일어나는데, 변성에 대한 지식은 그리 깊지 못하다.

大豆蛋白質에 대한 濕潤加熱의 가장 혼란 조건은 물이나 salt용액에서 일어나는 不溶性化이다. 大豆 flake를 찌는데 大豆蛋白質의 불용성화 속도는 Figure 4에서 볼 수 있다⁵⁾.

단백질의 용해도는 가열에 의해서 최초 80%에서 20~25%로 감소한다. 찌기 전에 脫脂한 flake는 脫脂하지 않은 flake에 비해 불용성화 비율에 별 차이가 없으며(저온, 용제 추출했을 때), 열처리를 했을 때, 불용화되기 때문에 大豆製品 특히, flake, grits, flour 등의 가열 처리 정도를 알아내는데 용해도는 사용될 수 있다. 그래서 최근에 고안된 방법들이 몇 가지 소개되고 있는데, 모두가 Solubility와 dispersibility 등으로 나타내고 있으나 장래는 공정과 용어에서의 혼란을 배제하기

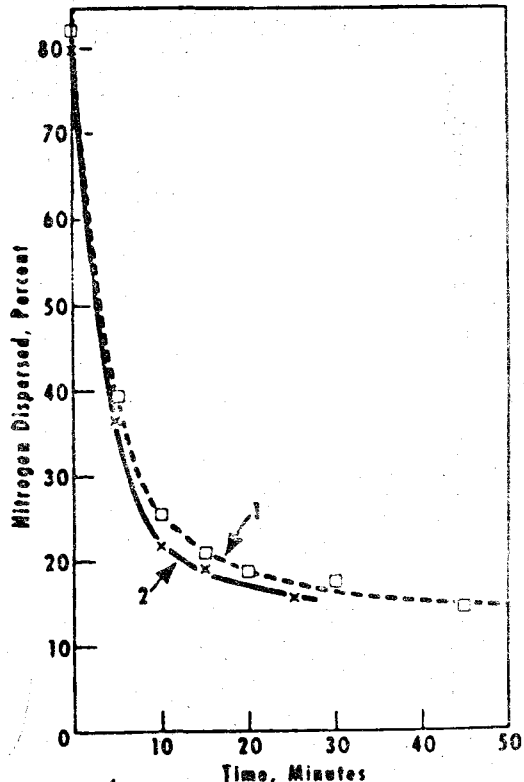


FIGURE 4 Changes in water dispersibility of nitrogenous constituents of soybean flakes with time of steaming at atmospheric pressure. Curve 1 = defatted flakes and Curve 2 = full-fat flakes. (From Belter and Smith.)

위해서 공업적 측면에서 단 한가지 방법이 사용되어야 할 것으로 생각된다. 이들 溶解度, 分散度 정도의 측정에 대한 개요는 大豆製品을 물로 抽出하고 kjeldhal method로 抽出物을 분석하는 방법을 쓰고 있다. 이 방법의 결과는 일차적으로 抽出時間, 攪拌條件, 液性, 溫度 등의 차이에 따라서 다르게 되는데, 용해도에서는 2hr동안 저속 교반 후, 원심분리를 해서 얻으며 dispersibility cutting blades가 장치된 고속 Mixer로 10분간 추출한 것을 사용한다. 이 두가지 방법에 의한 예가 Table II에 요약되었는데, Table II에서 NSI, PDI에 비슷하고 WSP는 WDP와 비슷한 것이다⁶⁾ 서로 비슷한 용어에서 숫자적인 차이는 두 방법 사이의 抽出條件에서 비롯된 것이다. WSN

Table II

Terminology of Solubility Methods for Assessing Heat Treatment of Soy Flours and Related Products

Term	Abbreviation	Calculation*
% Water soluble nitrogen ⁺	WSN	$\frac{MI \text{ alkali} \times N \times 0.014 \times 100}{Wt \text{ of sample}}$
% Nitrogen solubility index ⁺	NSI	$\frac{\% \text{ WSN} \times 100}{\% \text{ Total nitrogen in sample}}$
% Water soluble protein ⁺	WSP	$\% \text{ WSN} \times 6.25$
% Protein solubility index ⁺	PSI	$\frac{\% \text{ WSP} \times 100}{\% \text{ Total nitrogen in sample} \times 6.25}$
% Water dispersible protein ⁺⁺	WDP	$\frac{MI \text{ alkali} \times N \times 0.014 \times 100 \times 6.25}{Wt \text{ of sample}}$
% Protein dispersibility index ⁺⁺	PDI	$\frac{\% \text{ WDP} \times 100}{\% \text{ Total nitrogen in sample} \times 6.25}$

* Calculations are based on Kjeldahl analysis of extracts where N=normality of alkali, 0.014 =millequivalent weight of nitrogen, 6.25=nitrogen to protein conversion factor.

+ Based on AOCs Method Ba 11-65

++ Based on AOCs Method Ba 10-65

×6.25의 대입은 NSI를 표현하는 것이므로 NSI와 PSI는 숫자적으로 동일함을 의미한다. 최근 문헌에서 많이 쓰이는 용어는 NSI와 PDI 인데, 일반적으로 PDI는 추출하는 과정에서 NSI보다 큰 剪斷力이 쓰이기 때문에 NSI價보다 크다. 실험에서나 상업적 목적에서 생산되는 Soybean flake나 Flour의 NSI와 PDI는 찌는 시간이 늘어나면 늘어날수록 감소한다. 만일 大豆粉이 110°C 혹은 120°C에서 같은 양의 물로 가열되면 단백질의 용해도는 쉽게 최소에 달한다. 최저 용해도를 나타내는 온도보다 낮은데서도 단백질은 변성을 일으키지만, 녹을 수 있는 정도로 변한다. 확실히 NSI, PDI는 이런 경우에는 변성의 정도 혹은 가열 시간의 잘못된 지표가 될 수 있다. 그래서 酵素的方法이 변성 정도를 알아내기 위해서 고안되었는데, 그 방법은 天然蛋白質의 proteolytic enzyme에 의한 소화량과 변성 후, 加水分解의 용이성에 의존하는 원리이다. 그래서 이 酵素的方法은 간장용 大豆의 열처리가 적

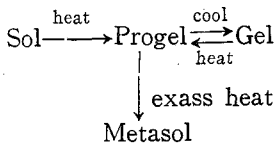
당한지를 결정하는데 자주 쓰인다.

70%이상 농도의 大豆蛋白質을 가열하면 점도가 증가하여 그 후에는 gel화 된다. 70~100°C에서 10~30분간 가열하면 gelation에 충분하지만 125°C에서는 그 gel이 와해된다. cystein과 sodium sulfite는 isolate를 용해하는 작용이 있으며, 가열 또는 非가열 Isolate의 분산 상태의 점도를 떨어뜨리며 gelation을 방해한다. gel은 非박용액 상태로 가열하거나, 酸으로 침전하거나 중화하거나, 20%分散狀態로 희석하거나 90~95°C로 가열하면 얻을 수 있다. 그러나 Sodium bisulfite나 mercaptoethanol은 이들 조건에서 gelation을 방해한다. disulfide bond는 가열에 의한 gelation에서 중요한 요건이 된다. Sulfhydryl-disulfide 교환에 의해서 형성되는 intermolecular crosslink는 단백질의 망상구조를 안정화 하거나 어떤 분자의 형태 유지에 도움이 된다.

Sol-Progel-gel 전환은 酸침전-globulin의 가열 gelation에서 볼 수 있는데, 가열되는 동

안 Sol은 비가역적으로 progel로 전환되며 그 다음은 냉각되면 가역적으로 gel로 전환되므로 gel은 재가열로 가역적으로 progel로 전환된다.

Sol에서 progel로 전환되는 동안 점도는 최대에 될 때까지 온도의 상승에 따라서 높은 온도에서 점도는 증가되는데 그것은 냉각 중에 gel을 형성하지 않는 비가역적인 metasol로 전환되기 때문이다. 이런 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



이 과정에서 볼 수 있는 것은 disulfide-clearing agent 영향으로 progel이 metasol로 전환되는 것이다. 또한 水抽出 단백질의 희박 용액을 가열하면 7S부분에 11S와 15S fraction이 집합하는 것이 Ultra centrifugation과 Gel filtration에 의해서 확인되었다. 11S protein 용액이 70°C보다 높은 온도에서 가열되면 흐리게 되고, 90°C에서는 침전을 형성한다. 가열된 11S단백질은 discelectrophoresis에서 Subunit로 해리되지만, 90°C에서 1hr 가열은 상실되지 않는다. 또한 11S protein은 100°C에서 (pH 7.6 이온강도 0.5) 희박한 용액 상태일 때, 급히 혼탁을 일으키며 침전을 형성한다.

Figure 4는 Ultra centrifugation에 의한 가열 시간에 따른 용액의 성질 변화를 나타낸 것으로 11S성분은 5분 내에 완전히 사라지며 가용성의 aggregate(80~100S)가 나타난다. 더욱 가열이 진행되면 aggregate가 침전할 때까지 크기가 증가한다. 결국 11S가 사라지는 반면, 거기에는 3~4S(Figure 4에서 4S로 표시된 곳)의 S₂₀W價로 형성된 저속침강 fracti-

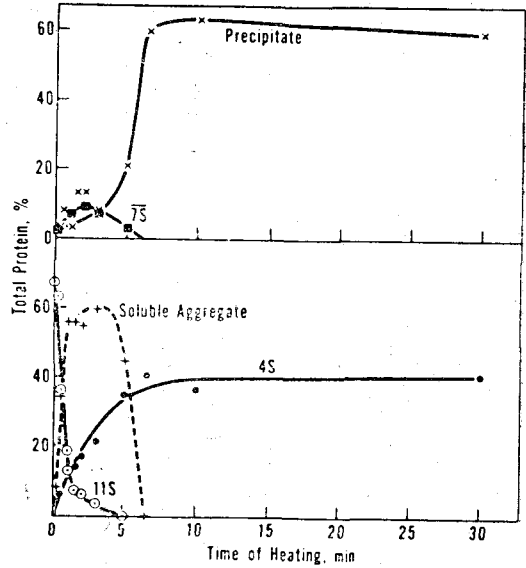


FIGURE 5

on이 생긴다. 이때 7S fraction이 되는 7S가 검출된다. 4S fraction은 7분간 가열 후에 최대 농도를 나타내며, 그 후 30분 가열하면 일정한 양을 나타낸다. 이러한 침전의 생성은 용액에 0.1~0.5M mercaptoethanol이 존재할 때 가열하며 Figure 5에서 볼 수 있는 것보다 빨리 일어나면 수용성인 80~100S의 aggregate는 검출되지 않는다. pH12 용액이 pH 7.6 이온강도 0.5로 조절될 때 단백질의 절반 이상이 침전되며, 3S와 7S peak만이 Ultra centrifugation에서 발견된다. 11S globulin이 pH 12에 노출되는 것은 0.4S 형태로 불가역적인 전환을 볼 수 있다. 분명히 단백질의 변형은 pH 12에 노출됨으로써 일어난다. 大豆 globulin이 이온강도 0.06일 때 pH 3.8에서 2.0으로 낮아지면 Figure 2에서와 같이 pH 7.6에서 검출되는 4가지 fraction(2S, 7S, 11S, 15S)은 2~3S와 7S fraction으로 전환된다. 이러한 변화는 4次 구조가 Subunit로 解離됨을 나타낸다.

脫脂大豆 meal의 水抽出物을 중화해서 pH 2.4로 했을 때, 2時間 후에 globulin의 1/3이

상이 不溶化되었고, 2S fraction을 제외하고 溶解度가 상당히 감소한다. 2S의 용해도 증가는 아마도 2S같은 단백질이 다른 단백질의 해리에 의해서 형성되기 때문이다.

11S protein은 11S용액의 pH와 이온강도가 낮게 조절될 때, 7S 中間物質을 거쳐 2~4S로 쪼개지는 것이 알려져 있다. 11S가 pH 3.8 이온강도 1.0에서는 안정하지만, pH 2.2, 이온강도 0.01에서는 완전히 2S형으로 전환된다.

11S protein의 dissociation반응은 단백질 용액의 중화로 재생되지 않는다. 11S protein은 7S protein보다 酸에 대하여 보다 안정하며, 7S protein은 0.01N-HCl(pH2)에서 녹으며, pH 7.6으로 되면 이온강도의 변화에 따라 monomer-dimer 반응을 일으키는 성질을 갖게 된다. 그러나 7S globulin이 오랫동안 pH 2로 유지되거나 0.1N정도의 강산에 녹여질 때는 가역반응이 일어나지 않는다.

6. Amino acid 造成

大豆蛋白質의 중요한 質的인 要素는 物理的, 化學的 性質에 영향을 미치는 아미노산 조성이다. table III은 필수와 非필수아미노산이 각 大豆製品(meal concentrate isolate) 별로 조사된 것이다.⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾ Meal이나 flake가 Concentrate와 isolate로 가공될 때 일어나는 fractionation은 3가지 다른 형태의 단백질 사이에 나타난 아미노산의 함량차이로 설명된다.

Lysine과 methionine의 함량은 아주 중요한 것으로 大豆蛋白質 중의 높은 lysine 함량은 lysine이 제한 아미노산인 곡류 단백질을 보충하는데 유용하게 쓰인다.

Methionine은 大豆蛋白質의 제일 제한아미노산으로 大豆蛋白質이 영양적 목적을 위해서 쓰일 때에는 methionine의 強化가 고려되어야

Table III

Amino Acid Composition of Soybean Protein Products
Grams amino acid/16g

Amino acid	Meal*	Nitrogen concentrate ⁺	Isolate ⁺
Essential			
Lysine	6.9	6.3	6.1
Methionine	1.6	1.4	1.1
Cystine	1.6	1.6	1.0
Tryptophan	1.3	1.5	1.4
Threonine	4.3	4.2	3.7
Isoleucine	5.1	4.8	4.9
Leucine	7.7	7.8	7.7
Phenylalanine	5.0	5.2	5.4
Valine	5.4	4.9	4.8
Nonessential			
Arginine	8.4	7.5	7.8
Histidine	2.6	2.7	2.5
Tyrosine	3.9	3.9	3.7
Serine	5.6	5.7	5.5
Glutamic acid	21.0	19.8	20.5
Aspartic acid	12.0	12.0	11.9
Glycine	4.5	4.4	4.0
Alanine	4.5	4.4	3.9
Proline	6.3	5.2	5.3
Ammonia	2.1	1.9	2.0

* From Rackis et al.

+ From technica, bulletins.

하며, Cystine함량 역시 낮지만, 이 아미노산은 앞에서 말한 isolate의 gelling성질에 관계한다.

7. 맺 음

大豆蛋白質은 경제적인 蛋白質源이고, 또한 營養的으로 우수하고 다양한 機能的인 우수성을 가지고 있어서 食品工業에서 大豆蛋白質의 活用은 앞으로 크게 확대될 것으로 생각된다. 따라서 大豆蛋白質의 活용에는 그의 機能的 性質에 대한 지식이 요구될 것으로 생각되는 바 大豆蛋白質의 機能的 性質을 理解하는데 도움이 될 大豆蛋白質의 物理化學的 性質에 대하여 論及하여 보았다.