

대두(*Glycine max*) trypsin 억제제의 불활성화 및 품종별 억제활성

류 병 우 · 한 강 완

전북대학교 농과대학 농화학과

초록: 대두 STI의 열처리에 의한 불활성화에 L-cysteine 및 sodium sulfite의 첨가 효과를 조사하고, 대두 품종별 STI활성을 측정하였으며 활성도와 단백질 및 cysteine 함량 그리고 소화율과의 관계를 비교하였다. 열처리에 의한 STI의 불활성화에 L-cysteine과 sodium sulfite의 첨가는 불활성화 효과를 크게 증가시켰으며 대두 품종간 불활성화 정도는 차이를 보이지 않았으며 L-cysteine과 sodium sulfite의 첨가는 불활성화된 STI의 재활성화를 크게 억제하였다. 품종별 STI의 활성도는 대두분말 g 당 64.7~86.4 TIU의 범위에 있었으며, 장백>힐>장엽, 광교>단엽>백운>단경>팔달, 새알, 덕유>황금 이었으며, 단백질 함량과 STI의 활성도와는 상관관계($r = -0.192$)가 없는 것으로 나타났다. 품종별 cysteine 함량은 힐, 장백, 단경, 단엽, 황금, 백운, 장엽, 새알, 덕유, 광교, 팔달의 순서이었으며, cysteine의 함량은 73.5~40.0 $\mu\text{mole/g}$ 대두분 이었다. 또한 cysteine함량과 STI 활성도 사이에 정의 상관($r = 0.6568^*$)을 나타냈다. 품종별 소화율은 광교, 백운, 팔달, 단경, 새알, 힐, 장엽, 덕유, 황금, 장백, 단엽의 순서이었으며 81.9~76.7% 정도이었다. 또한 소화율과 STI활성도 사이에는 부의 상관($r = -0.7695^{**}$)을 나타내었다(1990년 3월 23일 접수, 1990년 5월 25일 수리).

대두는 좋은 단백질 공급원이며 전통적으로 우리나라에서 많이 섭취되어온 식품이다¹⁾. 우유 대체음료로써 두유 소비가 증가함에 따라 대두 소비량 또한 증가하고 있다. 그러나 대두를 완전하게 영양원으로 이용하는데는 여러 장애요인이 있으며 그중 STI (soybean trypsin inhibitor)의 존재가 이러한 장애요인 중 하나로 알려져 있다²⁾.

대두에 함유되어 있는 STI의 종류가 완전히 알려져 있지 않지만, 그들의 분자량과 disulfide 결합수에 따라 Kunitz inhibitor와 Bowman-Birk inhibitor로 분류된다³⁾. Kunitz inhibitor는 181개의 amino acid(분자량 약 20,000)로 구성되어 있으며 2개의 disulfide결합을 갖고 활성부위가 Arg⁶³-Ile⁶⁴에 위치해 있으며, Bowman-Birk inhibitor는 71개의 amino acid(분자량 약 7,000)로 구성되어 7개의 disulfide 결합을 갖고 Lys¹⁶-Ser¹⁷ 그리고 Leu⁴³-Ser⁴⁴ 두 곳에 활성부위를 갖고 있다. Disulfide 결합은 단백질 구조를 안정시키는데 기여하고 있으므로⁵⁾ 열에 의한 절단 또는 thiol기의 치환으로 변성이 쉽게 일어날 것으로 기대된다. 이런 이유 때문에 STI의 제거 또는 불활성화에 대한 많은 연구가 열변성을 기초로 해서 이루어졌다⁶⁻⁹⁾. 그러나

열처리에 의해서도 STI의 완전 파괴가 어려우며, 열처리 후에 식품에 잔류되어 있는 STI의 역효과의 가능성에 대해서도 충분히 알려져 있지 않다. 더욱이 STI의 불활성화를 위한 여러 조건들은 cysteine, arginine 또는 lysine 같은 중요한 amino acid을 파괴하게 된다^{10, 11)}. 실제로 가공하지 않은 대두에 장내가스 발생을 일으키는 raffinose, stachyose같은 과당류, 불포화 지방산에 작용하여 불쾌취를 발생하는 lipoxygenase 같은 비영양 요소를 제거하기 위하여 사용한 열처리 정도는 cysteine을 제 1제한 amino acid로 만들기에 충분하다^{10, 12)}. 따라서 대두 단백질의 영양적 손실없이 효과적으로 비영양 요소를 파괴하거나 불활성화 시키는 방안이 요구된다.

본 연구는 우리나라에서 많이 재배되는 대두중 STI의 열처리에 의한 불활성화 효과를 증가시키기 위하여 L-cysteine과 sodium sulfite의 사용 가능성을 찾아보고 STI의 활성 및 소화율을 비교하여 대두의 효율적 이용방안을 마련하는데 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

공시대우

본 실험에 사용한 대두(*Glycine max*)는 호남작물시험장에서 1988년에 수확한 대두를 품종별로 구입 후 증류수로 세척하여 상온에서 48시간 건조시킨 후 마쇄기(Cycolotec 1093 sample mill)로 80mesh가 되도록 마쇄한 다음 4°C 냉장 보관하였으며 백운, 광고, 덕유 단경 흰, 팔달, 새알, 장엽, 단엽, 황금으로 11품종이었다.

STI의 불활성화

400mg 대두 분말과 L-cysteine, sodium sulfite 각 일정량(0.2~2.0mM)을 60ml 0.5M Tris-HCl 완충용액에 현탁시킨 후 온도와 시간을 달리하면서 열처리하고 미리 준비한 냉수로 냉각시켰다. 이 현탁액 0.05ml를 취해서 대조구와 병행하여 STI의 활성도를 측정하였다.

Trypsin 활성도 측정

Trypsin 활성도 측정 방법은 Mikola와 Suolinna¹³⁾의 방법을 일부 수정하여 사용하였으며 trypsin 활성도의 억제정도는 기질로써 BAPNA(N-benzoyl-DL-arginine-p-nitroanilide)를 사용해서 pH 8.2, 37°C에서 측정하였으며 측정방법은 불활성화 시킨 대두 분말 현탁액 0.05ml와 0.05M tris-HCl(0.02M CaCl₂ 함유) 완충용액 0.45ml 그리고 trypsin 용액(100µg/ml 0.001M HCl) 0.25ml를 Spectronic 20 측정용 cuvette에 넣고 37°C 수조 내에서 5분간 incubation시켰다. 반응을 시작하기 위해서 미리 37°C에서 incubation 시킨 BAPNA용액 3ml를 신속하게 첨가한 후부터 410nm에서 10분 후에 흡광도를 측정하였으며, 대조구는 5분과 10분 후에 흡광도를 측정하였다. 1 TU(trypsin unit)는 37°C, pH 8.2에서 BAPNA를 1분간에 1µmole 분해하는 trypsin의 양으로 정하고 TU는 Bergmeyer¹⁴⁾ 방정식을 사용하여 화학량론적으로 계산하였으며 본 실험에 사용한 trypsin(from bovine pancrease Type I, Sigma Co.)의 활성도는 BAPNA 분해산물인 p-nitroaniline의 mole 흡광계수 8.355cm²/mole을 사용하였을 때 1.05 TU이었으며 분 당 1 TU의 흡광도 변화량은 2.227이었다.

STI의 활성도 계산

STI의 활성도는 1 TU를 감소시키는 STI의 활성으로 정할 때 시료의 trypsin 억제 활성도를 계산하기

위해서 아래 식을 사용하였으며 A₄₁₀은 410nm에서 측정한 흡광도 값이며 V₀는 STI 부재시 trypsin에 의한 BAPNA의 분해율, V_i는 STI 존재시 trypsin에 의한 BAPNA의 분해율이며 본 실험에서는 대두분말 g 당 TIU(trypsin inhibitor unit)로 표시하였다.

시료중의TIU =

$$\frac{V_0 - V_i}{2.227} = \frac{A_{410}(\text{no inh})}{t_5} - \frac{A_{410}(\text{inh})}{t_{10}} \div 2.227$$

In vitro 소화율 측정

Satterlee¹⁵⁾의 방법에 따라 대두 단백질을 추출 동결 건조시켜 대두 단백질추출물을 제조하여 단백질 분해 효소를 첨가할 때 유리되는 amino acid와 carboxyl기 등에 의해서 저하되는 pH를 Hsu 등¹⁶⁾의 방법에 따라 측정하여 소화율을 구하였다.

Cysteine 함량 측정

공시 대두 분말을 hexane으로 탈지한 후 0.5g을 칭량하여 25mg phenol을 함유한 88% formic acid 4.5 ml에 3% hydrogen peroxide 0.5ml를 가한 혼합산화제(oxidation mixture) 5ml를 가하여 밀봉하고 0°C에서 16시간 보관한다. 이 용액에 sodium metabisulfite 0.84g과 50ml 6N-HCl(1mg phenol/ml 함유)을 가하고 냉각 장치에 연결시켜 110°C에서 23시간 가수분해시켰다. 이 용액을 7.5N-NaOH를 사용하여 pH 2.2로 맞추고 일정량을 취하여 sodium citrate 완충용액으로 동일희석율로 희석하여 0.2µm membrane filter로 여과 후 amino acid 자동분석기(LKB 4105 alpha)로 분석하여 표준 cysteine과 비교 정량하였다.

단백질의 정량

A.O.A.C.¹⁷⁾의해서 Micro-Kjeldahl법으로 질소의 양을 구하고 이에 6.25를 곱한 수치를 단백질 양으로 하였다.

결과 및 고찰

STI의 불활성화

대두중에 함유되어 있는 STI가 trypsin의 활성 억제 작용을 나타내기 위해서는 3차 구조를 가져야 하므로 STI의 구조를 변화 시킴으로써 활성을 감소 시키거나 불활성화시킬 수 있다. 가장 바람직한 방법은 단백질의 folding, 안정성, 구조형성에 중요한 작용을 하는 disulfide결합을 절단하여 3차 구조에 변화를 일

으키는 것이다. 열처리하는 disulfide결합의 절단에 용이하게 이용될 수 있으며 정제된 Kunitz-inhibitor의 열처리에 의한 불활성화는 95°C에서 1시간 처리한 경우 90%까지 불활성화되었다. 그러나 대두분말(장백)의 경우 1시간 열처리한 경우 65°C까지는 10%이내의 불활성화 효과를 보이고 95°C는 55%의 불활성화 효과를 나타냈다 (Fig. 1). 이는 Tanahashi 등¹⁸⁾이 대두로부터 gel filtration에 의해 분리된 STI가 100°C 15분 열처리에 50% 이상 열에 안정하다는 보고와, Lei 등¹⁹⁾이 대두 물추출물중의 STI가 80°C 1시간 열처리한 경우 70%가 파괴된다고 보고한 것과 유사한 경향이였으나, Bansal 등²⁰⁾의 Chickpea (*Cicer arietinum* L.)의 STI가 100°C, 20분 처리로 완전 파괴되었다는 보고와는 상이하였다. 한편 SIT의 불활성화에 L-cysteine과 sodium sulfite의 영향을 조사하기 위하여 대두분말 물 추출물에 농도별로 첨가하였을 때 불활성화 효과를 크게 증가시켰으며 (Fig. 2), ascorbic acid와 methionine은 불활성화 효과를 나타내지 않았는데 이는 불활성화 효과를 증가시키기 위해서는 환원력과 thiol기를 동시에 갖고 있어야 함을 나타낸다. 따라서 L-cysteine과 sodium sulfite가 최대 불활성화 효과를 보이는 농도인 1.0mM과 0.4mM을 정제된 Kunitz STI와 대두 분말에 첨가 할 때 불활성화 효과를 크게 증가시켰으며 sodium sulfite가 L-cysteine보다 불활성화 증가 효과가 약간 우수한 것으로 나타났다. 또한 정제된 Kunitz STI는 75°C에서 L-cysteine과 sodium sulfite의 첨가에 의해서 97% 이상 불활성화 되었으며 대두 분말의 경우 대조구와 L-cysteine 및 sodium sulfite를 첨가하였을 경우 75°C에서 각각 22%, 77%, 83%씩 불활성화 되었다 (Fig. 3). 이와 같은 결과는 대두 (nutrisoy 7B) STI가 N-acetyl-L-cysteine에 의하여 효과적으로 불활성화 된다고 보고한 Friedman 등²¹⁾의 보고와 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 Friedman과 Gumbmann²²⁾은 75°C 1시간 처리에서 0.03M sodium sulfite가 STI를 거의 완전히 불활성화 시켰다고 보고하였으며 Sessa 등²³⁾은 0.6mM sodium metabisulfite와 0.5% glutaraldehyde를 0.6mM 혼합 처리했을 경우 99% 이상을 불활성화 시킬 수 있었다고 보고한 것과 비교 할 때 본 실험에서는 75°C 1시간 처리에서 0.4mM sodium sulfite와 1.0mM L-cysteine이 가장 바람직한 처리 농도이었으나 STI의 불활성화 효과는 약간 낮았다.

이와 같이 L-cysteine 및 sodium sulfite의 첨가에 의한 STI의 불활성화는 낮은 온도에서도 가능하므로

대규모의 STI 불활성화가 필요한 경우 적은 에너지가 소요되므로 경제적이며, 열처리에 따른 함황 amino acid의 파괴에서 오는 영양적 손실은 cysteine을 첨가함으로써 어느 정도 보완 할 수 있을 것으로 생각된다.

한편 L-cysteine과 sodium sulfite의 첨가에 의해 STI의 불활성화에 미치는 pH의 영향을 조사해 본 바 실험된 전 pH범위에서 불활성화 효과를 크게 증가시켰으며 pH 값이 커질수록 불활성화 효과가 증가되는 경향이였다 (Table 1). 이는 Friedman 등²¹⁾의 보고와

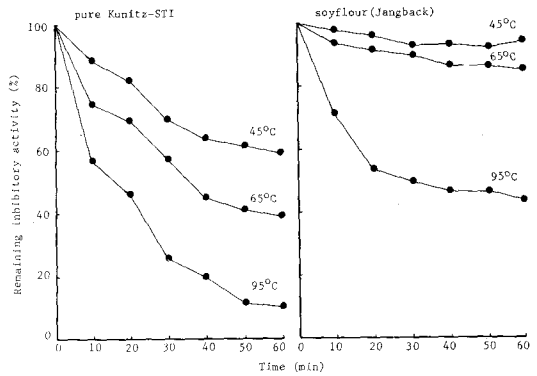


Fig. 1. Effect of heating on inactivation of Kunitz soybean trypsin inhibitor and soyflour at pH 8.2. Concentration of inhibitor was 0.15mg/ml.

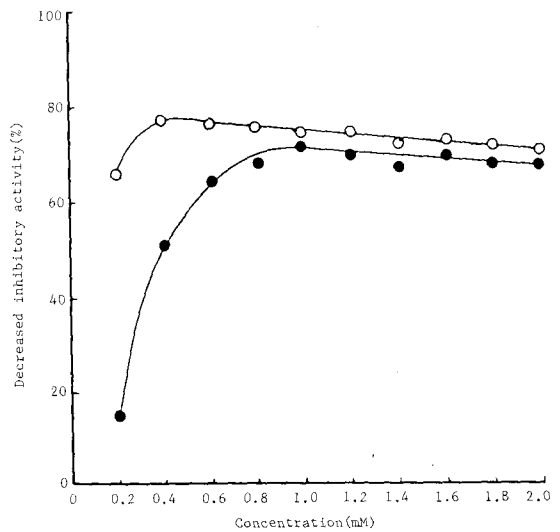


Fig. 2. Effect of L-cysteine and sodium sulfite on inhibitory activity of STI in soyflour (Jangback). ○-○: L-cysteine, ●-●: Sodium sulfite. Condition: 400mg soyflour in 60ml Tris buffer, heating for 1 hr at 85°C.

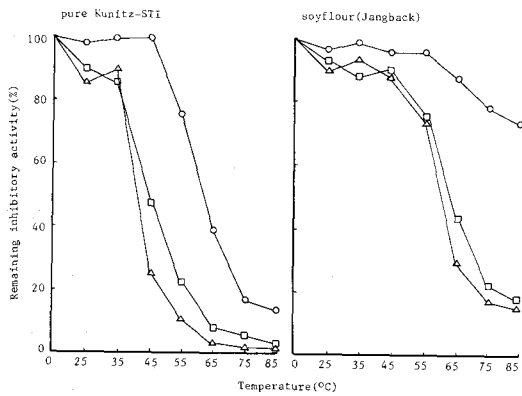


Fig. 3. Effect of heating and L-cysteine, sodium sulfite on trypsin inhibitory activity of pure Kunitz STI and soyflour. The 100% value is for untreated STI and soyflour. ○-○:No treatment, □-□:0.1mM L-cysteine, and △-△:0.4mM sodium sulfite.

같은 경향이였으며, 특이한 점은 pH 9.5~10.5범위에서는 열처리만으로 STI의 80%정도가 불활성화 되었

다. 이는 Asquith와 Otterburn²⁵⁾이 pH 10이상에서는 thiol기의 부재에도 disulfide결합이 절단 된다는 보고와 밀접한 관계가 있음을 나타낸다. pH값이 커질수록 STI 불활성화 효과가 증가된다는 경향과 pH 10 이상에서 열처리에 의해서 대부분의 STI가 불활성화 되는 점으로 보아 불활성화과정은 disulfide 결합의 환원적 절단, thiol기 치환에 의한 절단 및 alkali에 의한 붕괴같은 복합요인에 의해서 이루어지는 것으로 생각된다.

품종별 STI 불활성화

품종별 STI의 불활성화는 모든 품종에서 73~80% 정도 파괴되는 것으로 나타났다(Fig. 4). 이는 '강 등²⁶⁾이 대두와 강남콩의 경우 20~28% 정도 trypsin 억제 활성이 잔존한다는 보고와 일치하며, 본 실험에서 순수분리한 STI가 아닌 조추출물 사용하였지만 Liener와 Kakade³⁾의 연구 결과에 의하면 각 두류간 STI의 불활성화 정도가 다른 것처럼 대두도 20~27% 정도 STI가 잔존하는 것으로 나타났다.

Table 1. Effect of pH on inactivation of STI by addition of L-cysteine and sodium sulfite in soyflour(Jangback)

pH	Activity of STI*/g soyflour (TIU**)			Inhibited activity of STI (%)		
	Heat	Heat + L-cysteine	Heat + sodium sulfite	Heat	Heat + L-cysteine	Heat + sodium sulfite
5.4	75.6	38.4	37.8	12.5	55.6	56.3
6.5	84.3	47.5	46.1	2.4	46.6	46.6
7.5	80.3	40.1	37.7	7.1	53.5	56.4
8.5	76.9	20.9	20.4	11.0	75.8	76.4
9.5	38.7	18.0	17.8	55.2	79.2	79.4
10.5	18.2	18.0	17.9	78.9	79.2	79.3

*STI : Soybean trypsin inhibitor.

**TIU : Trypsin inhibitor unit.

Condition : 400mg soyflour(Jangback), 0.8mM L-cysteine and sodium sulfite in 60ml of appropriate buffer, heating for 1 hr at 75°C, pH 5.4 ; 0.5M citrate-phosphate, pH 6.5~7.5 ; 0.5M Clark & Lubs, pH 8.5 ; 0.5M tris, pH 9.5~10.5 ; 0.05M borate.

STI의 재활성화

STI를 불활성화 시킨후 재활성화 정도를 시간경과에 따라 측정하면 L-cysteine과 sodium sulfite를 첨가해서 불활성화 시켰을 경우에는 재활성화가 크게 억제되었다(Table 2). 이는 STI의 분자내에서 disulfide의 치환은 많은 수의 disulfide결합의 재배열을 초래하게 되어 본래의 STI와 구조적으로 다른 혼합된 형태를 만들게된다. 그래서 비록 본래의 구조로 되돌아 가려 할지라도 여분의 thiol, 치환된 disulfide의 존재에 의해

방해받게 되어 재활성화가 어려운 것으로 생각되며 L-cysteine이 sodium sulfite보다 재활성화 억제 능력이 우수한 것으로 나타났는데 이는 물질의 분자 구조적 차이와 억제제에 대한 친화성의 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

단백질 함량과 STI의 활성

대두 품종들의 g당 STI 활성도는 장백>힐>장영, 광교>단엽>백운>단경>팔달, 새알, 덕유>황금 이었으며, 64.7~86.4 TIU의 범위에 있었다(Table 3). 한

편 강 등²⁰⁾은 16종의 한국산 두류에서 단백질 함량이 많을수록 STI의 활성도가 크다고 보고한 바 있으며

본 실험에서 대두 품종별 단백질 함량과 STI의 활성도와의 상관관계($r=-0.192$)가 없는 것으로 나타났다.

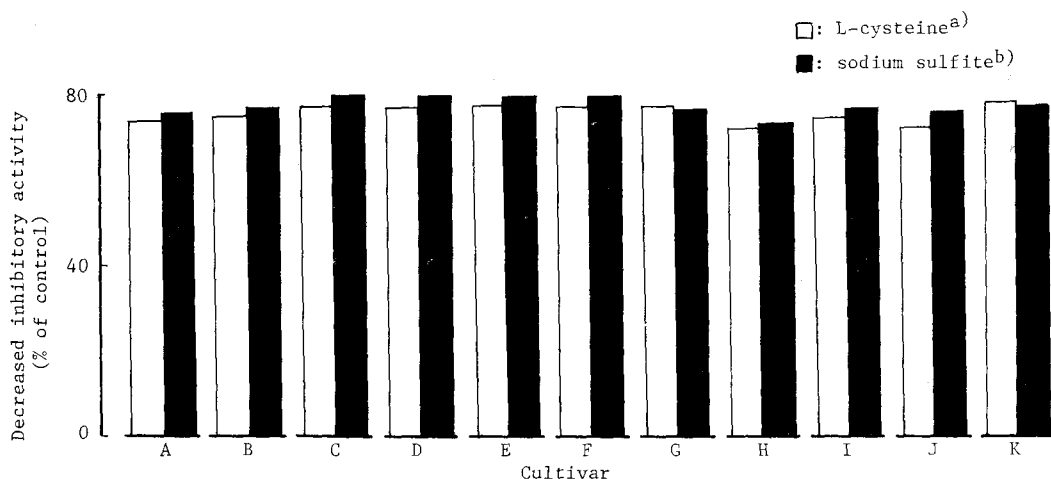


Fig. 4. Effect of L-cysteine and sodium sulfite on inactivation of STI by heating in soybean cultivars.

A : Backwoon, B : Danyeab, C : Kwangkyo, D : Paldal, E : Duckyu, F : Jangback, G : Hill, H : Saeal, I : Dankyung, J : Hwangkeum, and K : Jangyeab. Condition : Heating for 1hr at 85°C. a) : Concentration of L-cysteine was 1.0mM. b) : Concentration of sodium sulfite was 0.4mM.

Table 2. Effect of L-cysteine and sodium sulfite on reactivation of inactivated soybean trypsin inhibitor in soyflour (Jangback)

Temperature (°C)	Treatment	12hr after inactivation		72hr after inactivation	
		Inhibitory activity (TIU*/g soyflour)	Reactivation (%)	Inhibitory activity (TIU/g soyflour)	Reactivation (%)
4	Heat ^{a)}	68.8	32.6	71.9	44.4
	Heat + L-cysteine ^{b)}	28.7	1.4	29.5	2.7
	Heat + sodium sulfite ^{c)}	28.9	8.0	31.4	12.0
25	Heat	64.9	17.6	71.4	42.5
	Heat + L-cysteine	28.9	1.7	30.0	3.6
	Heat + sodium sulfite	31.6	12.3	35.7	18.9

* TIU : Trypsin inhibitor unit.

a) Heating for 1 hr at 85°C.

b) Heating for 1hr at 85°C with 0.8mM L-cysteine.

c) Heating for 1 hr at 85°C with 0.8mM sodium sulfite.

Cysteine 함량과 STI의 활성

품종별 cysteine 함량은 힐, 장백, 단경, 단엽, 황금, 백운, 장엽, 새알, 덕유, 광교, 팔달의 순서이었으며, 각각 73.5, 64.9, 62.5, 60.8, 57.9, 56.4, 53.6, 51.5, 44.9, 44.0, 40.0, 40.0 μ mole/g 대두분말 이었다. 한편 노

등²⁰⁾은 cysteine 함량이 높을수록 STI 및 SCI(soybean chymotrypsin inhibitor)의 활성도가 커지는 정의 상관관계가 있다고 보고했으며 본 실험에서도 품종별 cysteine 함량과 STI의 활성도와의 관계는 정의 상관($r=0.6568^*$)을 나타내었다.

Table 3. Inhibitory activity of STI* and content of crude protein in g⁻¹ soyflour.

Cultivar	Inhibitory activity (TIU**/g soyflour)	Protein content (mg/g soyflour)
Backwoon	71.9	320.5
Danyeab	74.1	366.5
Kwangkyo	77.0	322.9
Paldal	65.6	353.9
Duckyu	65.2	325.0
Jangback	86.4	337.8
Hill	81.2	334.3
Sacal	65.4	336.0
Dankyung	69.6	325.0
Hwangkeum	64.7	318.8
Jangyeab	77.7	318.5

* STI : Soybean trypsin inhibitor.

** TIU : Trypsin inhibitor unit.

소화율과 STI의 활성

품종별 in vitro 소화율은 광교, 백운, 팔달, 단경, 새알, 힐, 장엽, 덕유, 황금, 장백, 단엽의 순서이었으며, 각각 81.0, 80.5, 80.1, 79.8, 79.4, 79.2, 79.0, 78.7, 78.5, 76.7%이었으며, 소화율과 STI의 활성도와의 관계는 부의 상관($r = -0.7695^{**}$)을 나타냈다. 한편 본 실험에 사용한 소화율 측정법은 rat-apparent digestibility와 높은 상관($r = 0.90^{**}$)을 지닌 결과를 구할 수 있으며, 특히 STI 함량과 가열처리에 민감한 장점이 있음을 류와 이²⁸⁾가 지적한 바 있으며 양²⁹⁾은 콩나물 콩의 소화율과 STI의 활성도의 관계가 부의 상관을 나타낸다고 보고하여 본 실험과 같은 결과이다.

참 고 문 헌

- 김형갑, 김명찬, 장권열, 김종규 : 한국식품과학회지, 14(2) : 106 (1982)
- 이서래 : 한국식품연구문헌총람(2), (1968~1976), p. 55, 한국식품과학회 (1977)
- Liener, I.E. and Kakade, M.L. : In 'Toxic Constituents of Plant Foodstuff', Liener, I.E.(ed), p. 7, Academic Press, N.Y. (1980)
- Wolf, W.J. : J. Am. Oil Chemist's Soc., 54 : 112A (1977)
- Liu, T.Y. : In 'The Role of Sulfur in Proteines', Neurath, H. and Hill, R.L.(ed), 3rd Ed, Vol. 3, p. 240, Academic Press, N.Y. (1977)
- Borchers, R., Nelson, S.O., Mange, L.D. and Stetson, L.E. : J. Food Sci., 37 : 333 (1972)
- Collins, J.L., and Beaty, B.F. : J. Food Sci., 45 : 542 (1980)
- Rackis, J.J., Wolf, W.J. and Baker, E.C. : In 'Nutritional and Toxicological Significance of Enzyme Inhibitors in Foods', Friedman, M.(ed), p. 229, Plenum Press, N.Y. (1986)
- Friedman, M. and Gumbmann, M.R. : In 'Nutritional and Toxicological Significance of Enzyme Inhibitor in Food', Friedmann, M.(ed), p. 357, Plenum Press, N.Y. (1986)
- Rios-Iriarte, B.J. and Barnes, R.H. : Food Technol., 20 : 836 (1966)
- Skrede, A. and Krogdahl, A. : Nutr. Repts. Int., 32 : 479 (1985)
- Kakade, M.L., Arnold, R.L., Liener, I.E. and Waibel, E.E. : J. Nutr., 99 : 34 (1969)
- Mikola, J. and Suolinna, E.E. : European J. Biochem., p. 555 (1969)
- Bergmeyer, H.U. : In 'Method of Enzymatic Analysis', 2nd Ed, Vol. 1, p. 310, Academic Press, N.Y. (1974)
- Satterlee, L.D., Bembers, M. and Kendrick, J.G. : J. Food Sci., 40 : 81 (1957)
- Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D. and Miller, G.A. : J. Food Sci., 42(5) : 1269 (1977)
- A.O.A.C. : Official Methods of Analytical Chemists, p. 259, Washington, D.C. (1984)
- Tanahashi, K., Takano, K., Matsumoto, S., Kamoi, I. and Obara, T. : Nogaku Shuho(Tokyo Nogyo Daigaku), 32(2) : 164 (1987)
- Lei, M.G., Bassette, R. and Reeck, G.R. : J. Agric. Food Chem., 29 : 1196 (1981)
- Bansal, K.K., Dhindsa, K.S. and Batra V.I.P. : J. Food Sci. Technol., 25(1) : 46(1988)
- Friedman, M., Grosjean, O.K.K. and Zahnley, J.C. : J. Food Agric., 33 : 165 (1982)
- Friedman, M. and Gumbmann, M.R. : J. Food Sci., 51(5) : 1239 (1986)
- Sessa, D.J. and Ghantous, P.E. : J. Am. Oil Chem. Soc., 64(12) : 1682 (1987)
- Bower, V.E. and Bates, R.G. : J. Res. Natn. Bur. Stand., 55 : 197 (1955)
- Asquith, R.S. and Otterburn, M.S. : In 'Protein Cross-linking : Nutritional and Medical Consequences', Friedman, M.(ed), p. 93, Plenum, N.Y. (1977)
- 강명희, 김용화, 이서래 : 한국식품과학회지, 12(1) : 24 (1980)
- 노법석, 이홍석, 김수일 : 한국농화학회지, 32(2) : 116 (1989)
- 류홍수, 이강호 : 한국영양식량학회지, 14(2) : 8