

대두제품 기능성 성분의 조리 중 변화

김 정 인

(인제대학교 식품생명과학부)

요 약

대두에는 이소플라본(isoflavone), 콩단백질, 올리고당(oligosaccharides), 식이섬유(dietary fiber), protease inhibitor, 사포닌(saponin), 피틴산(phytic acid), 피니톨(pinitol) 등과 같은 다양한 기능성 성분이 함유되어 있다. 대두 이소플라본의 경우, boiling, steaming, roasting의 가열 방법 중 roasting이 손실을 최소화하는 가열방법이며, 대두제품 중에는 대두, natto, 두부, 두유, 된장, 고추장 순으로 함량이 감소한다. 대두나 단순 대두 가공품의 경우는 glucoside의 비율이 높은 것에 비하여, natto를 제외한 발효 대두에 있어서 aglycone의 함량이 상대적으로 더 높게 나타난다. 대두 올리고당 함량(%)은 생대두분말(2.87)>대두(2.75)>두유(2.59)>두부(0.56)>natto(0.34) 순으로 높다. 생대두의 경우 상당량의 BBPI(Bowman-Birk protease inhibitor)가 함유되어 있으나 다양한 가공, 조리 공정을 거친 대두 가공제품의 경우 대부분의 BBPI가 소실 또는 불활성화 되는 것으로 나타난다. 대두 phytate는 열과 수침에 비교적 안정하나, 발효기간이 길어지면 함량이 감소한다. 대두 피니톨은 수용성이며 열 및 산, 알칼리 조건에서 매우 안정하다. 대두는 생으로 섭취하지 않고 익혀서 먹거나, 다양한 대두제품의 형태로 섭취하므로, 생리활성을 기대하며 대두제품을 섭취할 때, 대두의 조리 및 가공 과정이 기능성 성분에 미치는 영향을 고려하는 것이 필요하다고 사료된다.

서 론

대두는 오랫동안 아시아인이 섭취해 온 주요 식품의 하나이다. 대두는 양질의 식물성 단백질 공급이면서 불포화지방산의 비율이 높고, 이소플라본(isoflavone), 콩단백질, 올리고당(oligosaccharides), 식이섬유(dietary fiber), protease inhibitor, 사포닌(saponin), 피틴산(phytic acid), 피니톨(pinitol) 등과 같은 다양한 기능성 성분을 함유하고 있다. 대두의 생리활성 성분은 항산화효과, 일부 암의 억제효과, 골다공증 개선효과, 심혈관질환 개선효과, 항당뇨효과 등을 나타내므로, 전세계적으로 대두에 대한 관심이 증대하고 대두 섭취를 증가시키려고 노력하고 있다. 대두의 콜레스테롤 저하효과를 입증하는 연구결과를 바탕으로 미국 FDA에서는 대두함유제품에 대해 “food rich in soy protein as part of a low-fat diet may help reduce the risk of heart disease” 라는 health claim을 허가하였으며, “대두를 25g/d 섭취하면 순환기계 질환을 예방할 수 있다”라는 표기를 허가하였다(FDA, 2000). 그런데 대두는 생으로 섭취하지 않고 익혀서 먹거나, 두부, 두유, 된장, 청국장, 간장 등 다양한 가공 제품의 형태로 섭취하게 된다. 따라서 대두의 우수한 생리활성을 기대하며 대두제품을 섭취할 때, 대두의 조리 및 가공 과정이 생리활성을 나타내는 기능성 성분에 미치는 영향을 이해할 필요가 있다.

본 론

1. Isoflavone

식물 phenolic 화합물 중 하나인 flavonoid는 식물계에 가장 널리 분포하고 있는 물질이며, isoflavone은

flavonoid의 배당체중의 하나이다. 대두는 항산화 및 항암 기능성 물질로서 크게 각광을 받고 있는 isoflavone의 주요 공급 식품이다(Liu, 1997). 대두에 존재하는 주요 isoflavone 종류는 12종이 분리되었으며(Fig. 1) 이중 대표적인 것이 daidzein, genestein, glycitein 등이다. 대두에 존재하는 isoflavone은 대부분 malonyl 유도체 형태로 존재한다. isoflavone은 대두의 씹쓸하고 비린내처럼 좋지 않는 맛을 내는 성분인데, 항산화능, 항암효과, 골다공증 예방효과, 심혈관 질환 예방효과를 나타낸다고 보고되었다. Genestein은 암세포 증식에 관여하는 효소인 protein tyrosine kinase와 DNA topoisomerase II의 작용을 저해하여 발암억제 효과를 나타내며, estrogen receptor와 결합하여 estrogen을 필요로 하는 유방암 세포의 발생을 억제하는 것으로 보고되었다(Liu, 1997). Daidzein은 뼈의 재흡수를 억제하고 genestein이 약한 estrogen 활성을 발휘하여 골다공증 예방효과를 나타내는 것으로 보고되었다. 또한 isoflavone은 콩 뿌리의 질소고정을 촉진하고, phytoalexin의 전구물질로 작용하여 작물의 내병성 증진에 기여한다고 보고되었다.

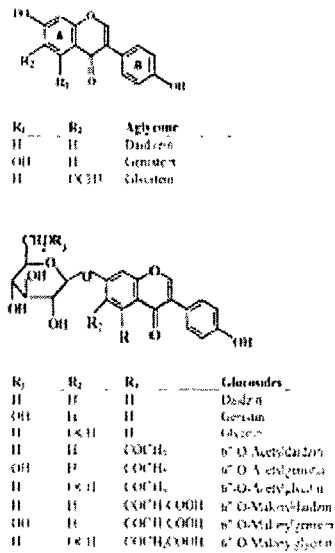


Fig. 1. Structures of the 12 isoflavones in soybean.

대두의 isoflavone 함량은 품종 및 재배지역에 따라 차이를 나타내는데, 국산콩의 isoflavone 함량은 46-418 mg%로 보고되었다(최 등, 1997; 김 등, 1996). 김 등(1999)은 국내산 대두 중 장류 및 두부콩(황금콩, 진품콩), 콩나물콩(단엽콩, 은하콩), 대립검정콩(검정콩 1호), 소립검정콩(다원콩), 신팔달콩 2호, 쥐눈이콩의 isoflavone을 정량한 결과 함량은 건조중량 기준으로 371.9 µg/g(다원콩) - 2398.9 µg/g(신팔달콩 2호)로 나타났다(Table 1). 신팔달콩 2호의 경우 각 isoflavone 함량은 daidzein 834.6 µg/g, genistein 1278.5 µg/g, glycitein 285.8 µg/g으로 나타났다. 문 등(1996)의 연구에 의하면 광안콩, 진품콩, 신팔달 2호, 신팔달콩, 단엽콩, 태광콩, 황금콩, 만리콩, 보광콩, 은하콩, 검정콩의 isoflavone 함량은 308.2-1143.2 µg/g으로 나타났으며, 이 중 단엽콩의 isoflavone 함량이 가장 높은 것으로 나타났다. 콩 전체로 볼 때 daidzein과 genestein의 함량 비율은 1-2 정도로 나타났다. 콩 종실의 isoflavone 배당체의 종류별 분포는 malonyl genistin과 malonyl daidzein이 70% 이상으로 대부분을 차지하였으며 acetyl 배당체와 aglycone 형태는 미량 존재하는 것으로 보고되었다.

Table 1. Isoflavone contents of various soybeans

종류	Isoflavone (µg/g, dbt)			
	Daidzein	Genestein	Glycitein	Total
광안콩	158.7	390.1	67.4	616.1
진품콩	507.8	652.9	111.1	1271.9
단엽콩 2호	834.6	1278.5	285.8	2398.9
단엽콩	720.8	854.7	264.0	1779.5
은하콩	408.8	599.1	258.9	1266.9
황금콩 1호	213.2	336.6	78.6	628.4
만리콩	98.5	216.6	56.8	371.9
보광콩	614.9	854.5	186.2	1655.6

대두제품의 isoflavone 함량은 대두제품의 종류와 가공공정에 따라 차이가 있으며, roasting등 건열처리시 acetyl화된 형태가 우세하고 발효식품은 발효과정에서 당이 분해되어 aglycone 형태가 대부분인 것으로 보고되었다(문 등, 1996; 최 & 손, 1998; 김 등, 1999).

대두를 4°C와 25°C에서 수침(soaking)시킨 경우(0-12시간), isoflavone 함량이 10-20% 감소하였으며, 수침 중 배당체의 일부분이 β-glucosidase에 의하여 가수분해되어 aglycone의 비율이 증가하였다(김, 2000). 대두를 4°C에서 12시간 수침한 대두를 상압증자(95°C) 및 가압증자(121°C, 1.5Ib) 처리한 후 증자공정(steaming)이 isoflavone 함량

에 미치는 영향을 측정된 결과, 증자초기(15분)에 고형물 용출로 인해 증량수율의 감소가 심했고 isoflavone 함량이 20-50% 감소되었으며, 온도의 영향은 크지 않았다. 백태와 흑태를 수침한 후 60분간 습식 열처리(boiling)한 결과, isoflavone 함량이 백태의 경우 30%, 흑태의 경우 51%가 감소하여, boiling의 경우 steaming보다 isoflavone 손실이 더 큰 것으로 나타났다. 한편 대두를 16분간 건식 열처리(roasting)한 결과, isoflavone 손실이 크지 않은 것으로 나타났다. 대두를 4%, 7% 초산용액에 침지시킨 결과, isoflavone 함량은 침지 초기(2일)에 25% 정도 감소하고, 그 후 8일까지 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 발효과정이 isoflavone 함량에 미치는 영향을 조사한 결과, 메주에는 건물량으로 원료 콩의 85% 정도의 isoflavone이 함유되어 있으며, 원료 콩과 다르게 메주에는 상당량이 aglycone 형태로 전환되어 존재하는 것으로 나타났다.

김(2000)의 연구에서 국내에서 시판되는 대두의 비발효 가공제품인 두유, 두부와 발효식품인 된장, 고추장, 간장 및 막장의 isoflavone 함량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 두부의 경우 건량 기준으로 1265.4 µg/g의 isoflavone 함량을 보였으며 이중 14~21%가 aglycone 형태로 존재하였다. Wang과 Murphy(1996)는 두부 제조과정 중 응고 후 압착에 의해 순물이 분리될 때 수용성인 isoflavone의 손실이 일어난다고 보고하였다. 한편 응고제 첨가 후 압착을 하지 않은 시판 순두부와 연두부에서는 일반 두부보다 isoflavone 함량이 높았다. 따라서 비지가 발생하지 않고 순물의 분비량이 적은 콩 전체를 이용하는 전두부(whole soybean tofu) 방법이 isoflavone 이용에 효과적인 것으로 나타났다. 두유(두유액(고형분 7%) 95.18%)의 isoflavone의 총 함량은 124 µg/ml, daidzein 48.8 µg/ml, genistein 71.5 µg/ml, glycitein 3.7 µg/ml aglycone의 함량은 1.3%로 나타났다. 두유 제조회사와 두유액함량에 따라 두유의 isoflavone 함량은 65-124 µg/ml, aglycone의 함량은 1-5%로 나타나 대부분의 isoflavone이 배당체 형태로 존재하는 것으로 나타났다. 문 등(1996) 연구에서 시판되는 두유의 isoflavone 함량은 건량 기준으로 89.6-110.4 µg/g, 실험실에서 제조한 두유의 경우 608.4-698.9 µg/g로 보고되었다.

Table 2. Content and composition of isoflavones of soybean products

Product	Total Isoflavone(µg/g, d.b.)				Free Isoflavone(µg/g, d.b.)				Aglycone /Glucoside
	Daidzein	Glycitein	Genistein	Sum	Daidzein	Glycitein	Genistein	Sum	
두부	399.8	166.8	698.8	1265.4	96.7	21.8	137.7	256.2	0.2
된장 (대두 50.00%)	488.6	125.9	620.7	1235.2	460.2	125.4	653.1	1238.6	1.0
고추장 (대두 5.09%)	18.6	1.9	25.0	45.5	13.8	9.4	25.2	48.4	1.0
간장 (대두 22.00%)	nd*	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
막장 두유**	313.3	90.3	368.5	762.1	358.1	93.0	513.2	964.2	1.2
(두유액 95.18%)	48.8	3.7	71.5	124.0	0.6	0	1.0	1.6	0.013

* not detected

** µg/mL

발효식품 제조시의 대두 비율이 높은 된장, 막장에서 isoflavone 함량이 높았으며 간장은 µg단위 이하의 미량을 함유하는 것으로 나타났다. 고추장에서 제품별 대두 비율이 높은 제품을 제외하고는 µg단위 이하의 미량을 함유하는 것으로 나타났다. 발효식품의 경우 발효과정에서 대부분의 배당체가 가수분해된 aglycone 형태로 존재하였다. 된장과 막장은 담금 직후부터 대부분의 isoflavone이 glycone 형태로 존재하였으며, 숙성기간이 긴 제품일수록 isoflavone 함량이 높았다. 고추장의 경우 aglycone 함량이 메주가루와 유사한 0-39% 이었으며, 25개월 숙성후에는 대부분의 isoflavone이 aglycone 형태로 존재하는 것으로 나타났다.

김 등(2002)의 연구에서 isoflavone 함량은 건량 기준으로 생대두분말>대두>natto>두부>두유>ISP(isolated soy protein)>된장>tempeh 순으로 나타났다(Table 3). Aglycone에 대한 glucoside의 비율에 있어서 일반 대두나 단순 대두 가공품의 경우는 glucoside의 비율이 월등하게 높은 것에 비하여, 발효 대두에 있어서는 natto를 제외하고는 aglycone의 함량이 상대적으로 더 높게 나타났으며, 된장의 경우 glucoside에 비하여 aglycone 함량이 더 높게 나타났다. 된장과 tempeh의 발효에 이용되는 *Aspergillus sp.*과 *Rhizopus sp.* 곰팡이는 당을 주로 이용하기 때문에 aglycone/glucoside 이소플라본의 함량비가 각각 1.184와 0.703으로 높아지고, 반면에 natto는 *Bacillus subtilis* 균이 주 미생물로 단백질 분해효소를 분비하는 특성이 있어 aglycone/glucoside의 함량비가 0.041로 다른 비발효 대두 식품과 유사한 것으로 제시되었다. 식품 내 이소플라본은 대부분 glucoside형태로 함유되어 있으며 체내 이용을 위해 장내 세균이 생성하는 β -glucosidase에 의해 glucoside 결합이 분해되어 aglycone 형태로 흡수되므로, 된장이 이소플라본의 흡수 측면에서는 도움이 될 수도 있는 가능성이 제시되었다.

Table 3. Isoflavone contents of soy products at dry and wet basis

	mg% (dry basis)	mg% (wet basis)
Raw soybean	398.4±17.7	398.4±17.7
Soy milk	138.1±0.5	15.8±0.5
Solid Tofu	247.3±2.5	39.5±2.5
Soy flour	489.1±5.7	451.2±5.7
Isolated soy protein	109.7±0.2	101.8±0.2
Soybean paste	77.7±1.3	36.8±1.3
Natto	308.3±11.2	123.8±11.2
Fried Tempeh	25.9±0.3	24.9±0.3

Rostagno 등(2005)은 콩 isoflavone 추출물을 제조하여 저장할 때, 저장기간, 온도, UV-Vis light 등이 안정성에 미치는 영향을 조사하였다. Glucoside isoflavone은 저장조건에 큰 영향을 받지 않았으며, daidzein과 glycitein만이 UV-Vis light의 영향을 받았다. Isoflavone을 10°C 이하에서 7일간 저장할 경우 안정성이 유지되는 것으로 나타났다.

2. Oligosaccharides and dietary fiber

대두 올리고당은식이섬유와 함께 장내에서 비타민 합성촉진, 유해균 및 외부 침입균의 증식억제, ammonia와 amine의 생성을 억제할 뿐만 아니라 면역 기능을 강화하고 장관의 연동운동을 촉진함으로써 항염증 작용을 나타내고 소화와 흡수를 촉진하는 유용균인 Bifidobacteria의 성장 촉진 인자이다. 식이 섬유를 섭취하게 되면 관상동맥 질환 발생을 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 특히 수용성 섬유소는 LDL 콜레스테롤을 낮추어 주고, 장내 내용물의 점성을 높여 gastric emptying rate, intestinal transit time을 늦추고, 소장 unstirred layer를 통한 확산과 흡수를 저해하여 혈당과 콜레스테롤 조절에 도움을 준다.

대두 가공품 중의 대두 올리고당(stachyose, raffinose)의 함량을 분석한 결과 건물 100 g 내 함유된 대두 올리고당 양(%)은 생대두분말(2.87)>대두(2.75)>두유(2.59)>두부(0.56)>natto(0.34) 순으로 높았으며, ISP나 발효과정에서 당분이 미생물에 의하여 이용되는 tempeh나 된장에는 상대적으로 적은 양이 함유되어 있는 것으로 나타났다(Table 4, 김 등, 2002). 일반적으로 대두에 있어서 올리고당의 함량은 원산지에 따라서 차이를 보이는 것으로 보고되어 있는데, 건물 기준으로 미국산 콩은 3.7% 정도, 일본산 콩은 1.2-4%까지의 분포를 보이고 있다. 발효식품의 경우에는 발효과정에서 미생물에 의한 당의 부분적 또는 전부의 이용으로 올리고당의 함량 패턴이 달라진다.

Egounlety & Aworh(2003)는 생대두에 비해 수침한 대두 및 수침, 껍질 제거, 조리한 대두의 raffinose 함량은 각

각 25.41%, 47.54% 감소하였고, stachyose 함량은 각각 20.23%, 63.05% 감소한 것으로 보고하였다(Table 5). 대두를 *R. oligosporus*로 48시간 발효시킨 경우, stachyose 함량은 56.8%, raffinose 함량은 10-15.6% 감소한 것으로 나타났다(Fig. 2).

Table 4. The composition of oligosaccharides in soybean products

	% (Dry basis)			% (wet basis)			g/one serving size ¹⁾
	Raffinose	Stachyose	Total	Raffinose	Stachyose	Total	
Raw soybean	0.51	2.24	2.75	0.46	2.03	2.49	0.50
Soy milk	0.36	2.23	2.59	0.04	0.25	0.29	0.57
Solid Tofu	0.15	0.41	0.56	0.02	0.07	0.09	0.07
Soy flour	0.42	2.45	2.87	0.39	2.26	2.65	0.79
Isolated soy protein	0.08	0.11	0.19	0.07	0.10	0.17	0.05
Soybean paste	0.16	0.02	0.18	0.14	0.02	0.16	0.02
Natto	0.25	0.09	0.34	0.10	0.04	0.14	0.07
Fried Tempeh	0.05	0.12	0.17	0.05	0.12	0.16	0.05

¹⁾One serving size: raw soybean (20 g); soy milk (200 g); solid tofu (80 g); soy flour (30 g); isolated soy protein (30 g); soybean paste (15 g); natto (50 g); fried Tempeh (30 g)

Table 5. Effect of pretreatment on sucrose, raffinose and stachyose content of soybean(% dry weight basis)

Treatment	Sucrose	Raffinose	Stachyose
Raw	4.91±0.18	1.22±0.02	3.41±0.08
Soaked	3.60±0.05 (26.68%) ^b	0.91±0.03 (25.41%) ^b	2.72±0.04 (20.23%) ^b
Soaked, dehulled, washed and cooked	1.91±0.20 (61.11%) ^b	0.64±0.80 (47.54%) ^b	1.26±0.10 (63.05%) ^b

^a Mean value of three replicates.

^b Values in parentheses indicate the percentage reduction.

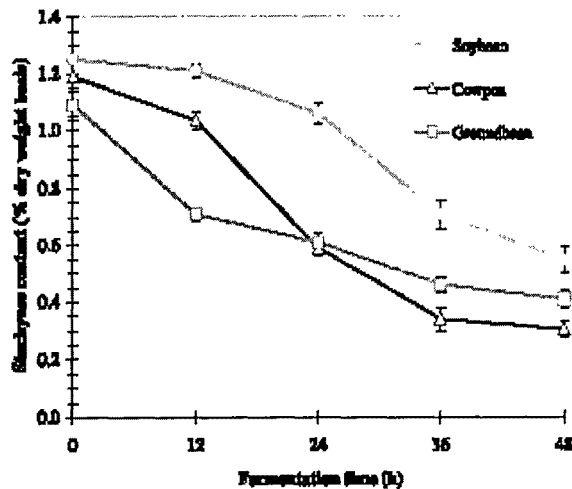


Fig. 2. Change in stachyose content of soybean during fermentation

대두 및 대두 가공품 중의 식이섬유 함량은 건물 100g당 natto, 대두 및 생대두분말에서 높게 나타났다(Table 6). 대두, 두부, 생대두분말, natto와 같은 고형 제품 내에는 식이 섬유 양이 절대적으로 많이 함유되어 있었지만 전체 식이섬유 중 수용성 섬유소의 함유 비율은 가공 과정을 통하여 불용성 식이섬유를 비지 형태로 제거하는

두유가 59%로 가장 높은 값을 보였다.

Table 6. The composition of fiber in soybean products

	% (Dry basis)			% (Wet basis)			g/one serving size ¹⁾	Sol/insoluble ratio
	Insoluble	soluble	total	Insoluble	Soluble	total		
Raw soybean	20.70	4.63	25.40	18.80	4.19	23.00	4.59	0.22
Soy milk	2.69	3.96	6.65	0.30	0.44	0.74	1.47	1.47
Solid tofu	14.20	5.90	20.10	2.27	0.94	3.21	2.57	0.42
Soy flour	18.60	5.65	24.30	17.20	5.21	22.40	6.72	0.30
Isolated soy protein	2.12	1.01	3.13	1.94	0.92	2.86	0.86	0.48
Soybean paste	7.74	4.06	11.80	6.81	3.57	10.40	1.56	0.52
Natto	43.00	22.60	65.60	17.30	9.07	26.40	13.20	0.52
Fried Tempeh	5.73	2.12	7.85	5.51	2.04	7.55	2.26	0.37

One serving size: raw soybean (20 g), soymilk (200 g), solid tofu (80 g), soy flour (30 g), isolated soy protein (30 g), soybean paste (15 g), natto (50 g), fried Tempeh (30 g)

3. Protease inhibitor

콩에는 Kunitz와 Bowman-Birk inhibitor라는 두 종류의 protease inhibitor가 존재하는데, Kunitz inhibitor는 trypsin 효소의 활성을 억제하고, Bowman-Birk inhibitor는 trypsin과 chymotrypsin의 활성을 저해한다. Trypsin inhibitor는 콩 단백질의 2S 부분에 존재하며, 분자량은 약 20,000 정도의 비교적 작은 단백질로서 동물이 섭취할 경우 장내에 분비되는 단백질 가수분해효소인 trypsin과 결합하여 효소의 작용을 방해한다. Bowman-Birk protease inhibitor (BBPI)가 항암 활성을 가지고 있으며 이러한 BBPI의 항암활성은 chymotrypsin 저해활성과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다. BBPI는 71개의 아미노산으로 구성된 단일 peptide로서 분자구조내에 7개의 disulfide bond를 형성하고 있어 열이나 산, 알칼리에 안정하고 분자량은 일반적인 trypsin inhibitor의 22,000보다 작은 8,000정도인 것으로 보고되었다.

가열처리하는 대부분의 trypsin inhibitor를 파괴시킨다. Egoulety & Aworh(2003)는 생대두에 비해 수침한 대두는 trypsin inhibitor의 함량 변화가 거의 없으며, 수침, 껍질 제거, 조리한 대두의 trypsin inhibitor의 함량 생대두에 비해 82.17% 감소한 것으로 보고하였다.

홍 등(2000)은 대두의 chymotrypsin 저해활성은 8,462-14,979 U/g으로 나타났으며 BBPI 함량은 400-780 mg%로 보고하였다. 김(2000)의 연구에서 대두 가공단계별 protease 저해활성의 변화를 검토해 본 결과 증자, 증숙, 볶음 처리와 같은 가열공정과 발효공정 중에 상당량이 소실되는 것으로 나타났다. BBPI는 열처리 공정에 의해 빠르게 활성이 소실되었으며 특히 건열처리에서 그 정도가 심하였고 반면 식초콩, 수침, 콩나물, 두부 제조 공정에서는 상당량의 protease 저해 활성이 잔존하는 것으로 나타났다. 대두를 12시간 수침한 경우 BBPI 손실량은 4-10% 이었으며, 대두를 8일간 초산에 침지한 경우 BBPI 손실량은 30%정도로 나타났다. 시판 두부와 두유 제품의 경우 1종의 두부 제품에서 1,767 U/g의 chymotrypsin 저해 활성과 100 mg%이하의 BBPI함량이 검출된 것을 제외하고 거의 모든 제품에서 chymotrypsin 저해활성 및 BBPI가 미량 검출되거나 검출되지 않았다(table 7, 홍 등, 2000). 이들 대두 가공 제품의 경우에 대부분이 제조공정에서 가열처리를 거치게 되므로 이로 인한 chymotrypsin 저해활성의 소실 및 BBPI의 변형이 그 원인인 것으로 제시되었다. 그 밖의 간장, 고추장 및 된장과 같이 대두를 이용한 전통 발효식품의 경우에도 chymotrypsin 저해활성 및 BBPI를 미량 또는 거의 검출되지 않았다. 탁지. 대두박의 경우 국내에서 제조된 제품에서는 chymotrypsin저해 활성과 BBPI가 거의 검출되지 않았으나 냉추출법을 사용한 외국산 탁지 대두박의 경우 42.22 U/g의 chymotrypsin 저해활성과 280 mg%의 BBPI 함량이 검출되었다. 전두부 제조용 대두 미세분말의 경우 생대두와 마찬가지로 12,149 U/g의 chymotrypsin저해활성과 372 mg%의

BBPI 함량을 나타내었다. 반면 식품첨가물로 사용되는 SPI, SPC 등의 대두 농축품의 경우 제조과정 중에 대부분의 BBPI가 소실되는 것으로 나타났다. 따라서 생대두의 경우 상당량의 BBPI가 함유되어 있으나 다양한 가공, 조리 공정을 거친 대두 가공제품의 경우 대부분의 BBPI가 소실 또는 불활성화 되는 것으로 나타났으며 특히 가열처리가 중요한 영향을 미치는 것으로 제시되었다. 일반적으로 정제된 BBPI의 경우 높은 열안정성을 나타내는 것으로 알려져 있으나 식품으로 가공 처리되는 과정에서의 BBPI의 소실이 큰 것은 가열처리시 BBPI가 단백질로서 다른 대두 성분들과 반응하여 색깔이나 향미를 나타내는 새로운 물질로 변형되기 때문인 것으로 제시되었다.

4. Saponins

Saponin은 배당체 화합물의 일종으로 steroid 또는 triterpenoid에 1개 이상의 당분자가 결합한 구조를 가지고 있다. 콩에 존재하는 saponin을 aglycone 구조를 기준으로 분류하면 A, B, E의 세 그룹으로 분류되고, group B saponin 중 DDMP가 부착된 것과 부착되지 않은 것이 있다(Koudo et al., 1993; 김, 2003). 콩의 사포닌 함량은 무게로 환산해서 약 5% 정도이다. Saponin은 담즙산과 응고되어 콜레스테롤을 저하시키고, 간 손상에 대한 방어적 역할을 하며, 항암작용, 특히 결장암 세포증식을 억제하는 효과, 면역 증진 효과가 있다고 보고 되었다. 콩 사포닌 중 DDMP 사포닌이 대부분의 생리활성을 나타내며, group A 사포닌은 오히려 영양소 이용률 감소 등의 반 영양적 요소인 것으로 알려져 있다.

Hu 등 (2002)은 대두 46품종의 종실내 평균 사포닌 함량은 $4.04 \pm 0.91 \mu\text{mol/g}$ 이며 범위는 2.50-5.85 $\mu\text{mol/g}$ 을 나타내며, 이 중 DDPM 사포닌이 사포닌의 85-94%를 차지한다고 보고하였다. 대두 가공품 중의 총 사포닌 함량을 sulfuric acid-vanillin법으로 분석한 결과, 함량(%), dry basis)은 ISP(1.65)>natto(1.39)>두부(0.60)>대두(0.54)>생대두분말(0.52)>두유(0.49)>된장(0.19)>tempeh(0.02) 순으로 나타났다(Table 8, 김 등, 2002) 대두 가공품에 비하여 분리대두 단백질(ISP)과 natto에 높은 함량을 보였다. Natto에서 상대적으로 총 사포닌 함량이 높게 나타난 것은 단백질을 기질로 하는 natto균이 상대적으로 사포닌 배당체에 대한 가수분해가 적음에 기인하는 것으로 제시되었다.

Table 8. The saponin content of soybean products

	lecithin			saponin		
	% (dry basis)	% (wet basis)	g/one serving ¹⁾	% (dry basis)	% (wet basis)	g/one serving size ¹⁾
Raw soybean	0.58±0.00	0.52	0.10	0.54±0.06	0.49	0.10
Soy milk	0.46±0.02	0.05	0.10	0.49±0.03	0.05	0.11
Solid Tofu	1.13±0.01	0.18	0.14	0.60±0.17	0.10	0.08
Soy flour	0.14±0.01	0.13	0.04	0.52±0.01	0.48	0.15
Isolated soy protein	0.63±0.01	0.58	0.17	1.65±0.31	1.51	0.45
Soybean paste	0.02±0.00	0.02	0.00	0.22±0.00	0.19	0.03
Natto	0.10±0.01	0.04	0.02	1.39±0.12	0.56	0.28
Fried Tempeh	0.09±0.00	0.09	0.03	0.02±0.01	0.02	0.01

¹⁾One serving size: raw soybean (20 g), soy milk (200 g), solid tofu (80 g), soy flour (30 g), isolated soy protein (30 g), soybean paste (15 g), natto (50 g), fried tempeh (30 g)

Table 7. Chymotrypsin inhibitory activities and BBPI contents of soybean products

Products	Company	C. I. A. ¹⁾ (units/g)	BBPI contents (mg%)
Soybean sprout	A	13249	803
	B	12462	718
	C	10695	588
	D	10834	529
	E	11608	690
Tofu	A	trace ²⁾	< 10
	B	1767	69
	C	trace	24
Soy milk	A-1	trace	trace
	A-2	trace	trace
	A-3	trace	N. D.
	A-4	trace	N. D.
	A-5	trace	trace
	S-1	trace	trace
S-2	N. D. ³⁾	N. D.	

¹⁾ C. I. A. : Chymotrypsin inhibiting activity, 1 unit is the amount of inhibitor to inhibit 1 μg of chymotrypsin for 10 min at 37 $^{\circ}\text{C}$.

²⁾ C. I. A. was less than 1000 units.

³⁾ Not detected.

5. Phytic acid

피틴산(phytate)는 대두에 존재하는 인(phosphorus)의 주요급원이다. 피틴산은 대두 식품 중에 1~1.5% 들어있다. 피틴산은 칼슘, 마그네슘, 철, 아연, 망간과 같은 무기질의 체내 흡수를 방해한다고 보고되었고, 알칼리 조건에서 음전하를 띤 단백질과 complex를 형성한다고 보고되었다. 피틴산은 소장에서 발암원으로 작용하는 유리기(free radical)를 생성하는 철과 함께 불용성 복합체를 형성함으로써 항산화제 역할을 하는 것으로 알려지고 있다.

Phytate는 열에 비교적 안정하다(Liu, 1997). 대부분의 phytic acid는 115°C에서 4시간 autoclave하면 대부분의 phytic acid가 파괴된다. 실제 이러한 극단적인 조건은 대두의 아미노산 또한 파괴하므로 조리과정으로 적합하지 않다. 대두의 endogenous phytase는 활성이 낮으므로 수침은 phytate의 안정성에 거의 영향을 주지 않으나, 수침은 도를 증가시키면 phytate 손실량이 증가한다. Beleia *et al.*(1993)은 대두 (cotyledon)를 50°C에서 16시간동안 수침시킨 경우 phytate phosphorus의 평균 손실량은 26%라고 보고하였다.

대두제품의 phytate함량을 원료 대두 중의 phytate 함량(2.4%, dw basis)을 기준으로 한 상대량으로 표현하였을 때, 대두 발효 식품 중 2~3개월간 발효기간을 거친 간장과 된장의 phytate 함량은 원료콩의 약 40%수준(건조물 기준)으로 매우 낮았고 이틀간 발효시킨 청국장은 콩의 94%, 메주는 83% 수준으로 약간 낮았다(김 등, 1994). 일반적으로 phytate 함량은 미생물에 의해 감소되는데, 대두의 발효 기간의 길이에 따라 phytate의 분해 정도가 다르다는 것을 알 수 있다. Wang등(1980)은 발효 식품인 tempeh, 간장, 된장 등의 제조에 쓰이는 다양한 곰팡이중 *Aspergillus oryzae*가 phytase를 가장 잘 생성한다고 보고하였다. 탈지 대두부분의 phytate함량은 원료콩과 비교할 때 거의 같았다. Egounlety & Aworh(2003)는 수침한 대두 또는 수침, 껍질 제거, 조리한 대두의 phytic acid 함량이 생대두와 큰 차이가 나지 않음을 보고하였다. 대두를 *R. oligosporus*로 48시간 발효시킨 경우, phytic acid 함량은 50% 정도 감소한 것으로 나타났다(Table. 9)

Table 9. Effect of pretreatment and fermentation on phytic acid content of soybean cowpea and groundbean(% dry weight basis)^a

Treatment	Soybean
Raw	1.27±0.08
Soaked	1.71±0.12
Dchulled and cooked(unfermented)	1.54±0.08
Fermented	
12 h	1.35±0.04
24 h	1.3±0.07
30 h	- ^b
36 h	0.88±0.06 (30.71%) ^c
48 h	0.61±0.07

^a Mean value of three replicates.

^b Data not available.

^c Values in parentheses indicate the percentage reduction.

6. Pinitol

피니톨(pinitol, 3-O-methyl-chiro-inositol)은 myo-inositol의 구조 이성체인 카이로이노시톨(chiro-inositol)의 methyl ether 형이다. 피니톨은 인슐린 신호전달체계를 보충하여 혈당저하 효과를 나타낸다(신 & 전, 2004). 또한 피니톨은 당뇨병성 백내장 예방효과 및 간 손상 억제효과를 나타낸다. 피니톨은 수용성이며, 열 및 산, 알칼리 조건에서도 매우 안정하다. 피니톨 수용액(10.0 g/L) pH 3-11의 조건에서(25°C) 24 hr 방치 후 농도를 측정 한 결과, pH 변화는 피니톨의 안정성에 영향을 주지 않았다(Fig. 3). 피니톨 수용액(10.0 g/L) 30-100°C의 조건에서(pH 7.0) 24 hr 방치 후 농도를 측정 한 결과, 피니톨은 열에 안정하였다(Fig. 4).

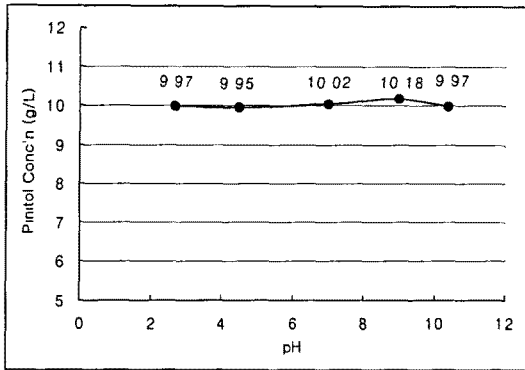


Fig. 3. Stability of pinitol at various pH

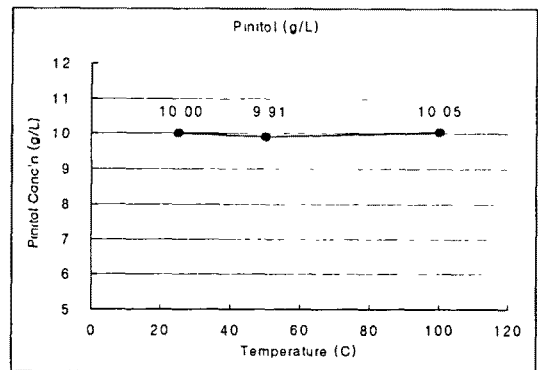


Fig. 4. Heat stability of pinitol

참고문헌

- 김성란, 홍희도, 김성수. 콩 및 콩제품 중의 isoflavone 함량과 특성. 한국콩연구회지.16(2).35-46.1999
- 김성란, 홍희도, 김성수. 대두 및 대두 가공제품 중의 Bowman-Birk protease inhibitor 함량 Korea Soybean Digest 17(1).61~68. 2000
- 김성란. 콩의 생리활성 배당체의 기능성 탐색 및 활용기술 연구. 농림부 농림기술개발사업 보고서. 2000
- 김용호. 콩 Saponin의 생리활성 기능과 함량변이. Korean J. Crop Sci., 48(s).49-57. 2003
- 김정상. 콩의 생리활성에 관한 최근 연구동향. 한국콩연구회지. 13(2):17-24. 1996
- 김천희, 박접선, 손현수, 정재원. 대두 가공품 1회분량 내 이소플라본, 사포닌, 식이섬유, 대두 올리고당 및 레시틴의 함량-상업용 대두 가공품 1회 분량 당의 생리활성 물질 함량 분석. 한국식품과학회지 34(1).96-102, 2002
- 김희승, 윤재영, 이서래. 대두의 조리 가공에 따른 phytate 함량 acI 단백질 소화율. 한국식품과학회지. 26(5).603-607. 1994
- 문보경. 전기숙. 황인경. 콩의 종류와 가공조건에 따른 isoflavone 함량변화. 한국조리과학회지.12(4).527-524. 1996
- 신용철, 전영중. 대두에서 분리한 피니톨의 생리활성. 식품산업과 영양 9(1):28-35. 2004
- 최연배, 손현수. 두유제조공정에서 생산되는 대두 침지액으로부터 이소플라본의 회수. 한국식품과학회지. 29(3):522-526. 1997
- 최연배, 손현수. 대두 가공식품중의 이소플라본 함량. 한국식품과학회지. 30(4):745-750. 1998
- Beleia A, Thao LT, Eda EI. Lowering phytic phosphorus by hydration of soybeans. J Food Sci 58:375-388. 1993
- Egounlety M, Aworh OC, Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean(*Glycine max Merr.*), cowpea(*Vigna unguiculata L Walp*) and groundbean(*Macrotyloma geocarpa Harms*), J Food Engineering 56:249-254, 2003
- FDA, FDA Consumer Jan/Feb. 2. 2004
- Hu J, Lee SO, Hendrich S, Murphy PA. Quantification of the group B soysaponins by HPLC. J. Agric. Food Chem. 50:2597-2594. 2002
- Koudo SM, Tonomura T, Masahide C *et al.* Isolation and structural elucidation of DDMP-conjugated saponins as genuine saponins from soybean seeds. *Breeding Sci* 49:167-171. 1993
- Liu K. Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization. Chapman & Hall. 1997
- Rostagno MA, Palma M, Barroso CG. Short-term stability of soy isoflavones extracts: Sample conservation aspects. Food Chem 93:557-564. 2005
- Wang HJ, Murphy PA. Mass balance study of isoflavones during soybean processing. J. Agric. Food Chem. 44(8):2377-2383. 1996
- Wang HL, Swain EW, Hesseltine CW. Phytase of molds used in oriental food fermentation. J. Food Sci 45.1262. 1980