

열처리 대두에서 분리한 대두 단백질의 기능성

윤혜현* · 전은재¹

경희대학교 조리과학과, ¹한남대학교 식품영양학과

Functional Properties of Soy Protein Isolate from Heat Treated Soybean

Hye Hyun Yoon* and Eun-Jae Jeon¹

Department of Culinary Science and Arts, Kyung Hee University

¹Department of Food & Nutrition, Hannam University

Effects of heat treatment on functional properties of soy protein were examined. Soy protein isolate (SPI) was prepared from Korean soybean varieties, *Manli* and *Taekwang*, subjected to heat treatment at 60°C for 30, 60, 90, and 120 min. pH-solubility results of SPI showed typical U-shape profiles with minimum solubility at pH 4-5 of isoelectric points of soy proteins, longer heat treatments showing slightly higher solubility. Water absorption, emulsifying activity, emulsion stability, and emulsion capacity of SPI increased, while oil absorption decreased, with heating time in *Manli* variety. *Manli* and *Taekwang* showed the highest emulsion capacities after 90- and 60-min heat treatments, respectively. Foam expansion of all SPIs increased with heating time up to 90 min. Texture profile analysis showed heat treatment up to 90 min significantly increased hardness, adhesiveness, springiness, gumminess, and chewiness, whereas significantly decreased cohesiveness of SPI gels ($p < 0.05$).

Key words: soy protein, heat treatment, functional properties, SPI, soy gel

서 론

동양에서 가장 오래된 작물인 대두는 중요한 농작물로서 미국과 전세계적으로 매년 생산량이 꾸준히 증가하고 있다(1). 식물성 단백질 중 대두단백질은 우수한 영양적 가치뿐만 아니라 용해성, 유화성, 겔화성, 기포성 등의 독특한 기능특성으로 식품에 첨가하거나 새로운 식품의 성분으로써 널리 쓰여진다. 대두 단백질의 기능적 특성을 개선하기 위한 많은 연구가 있는데 대체로 온도 변화(2-4), pH(5-8), ion 강도의 영향(3,6), 응고제 처리(9,10), 효소적 처리 및 화학적 변형(11-17)에 의한 변형 방법 및 고찰에 대한 보고들이 주요 선행 연구들이다.

한편, 모든 생물체들은 열 스트레스를 받으면 일련의 단백질들을 합성하게 되는데 이를 열충격 단백질(heat shock protein, HSP)이라 하며, HSP는 주로 열이나 다른 환경적 스트레스로부터 세포를 보호하는 역할을 한다고 알려져 있다(18).

대두를 50-60°C에서 물에 침지할 때 많은 양의 basic 7S globulin이 유출되었는데 이 단백질 중 일부가 HSP라는 연구보

고 있었으나(19-21), 대두 HSP이 생성된 후의 대두단백질의 기능성 변화에 대해서는 아직 잘 알려져 있지 않다. 한편, 밀의 HSP에 대한 연구보고(22-24)에서 열충격에 의해 합성된 HSP70이 밀가루의 반죽 특성을 변화시킨다는 보고는, 소량이지만 열에 의해 생성된 새로운 단백질(25)이 대두 분리단백질의 기능성을 변화시킬 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 대두 단백질의 기능성 변형 방법으로 대두 종자의 열처리 효과를 알아보고자 국내 장려품종 장류용 대두 2종을 다양한 조건으로 열처리한 후 열처리 대두에서 단백질을 분리함으로써, HSP를 함유한 대두 분리단백(soy protein isolate)을 제조하여 열처리 대두 단백질의 용해성, 유화성, 기포성 및 겔 특성 등 단백질의 기능성 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 재료는 우리나라 장려품종 장류용 콩인 만리(S-142)와 태광(S-151)으로 충청남도 농업기술원에서 제공받아 사용하였다.

대두의 열처리

콩과 증류수를 1:10(w/v) 비율로 250 mL 시약병에 담아 항온수조에서 열처리하였다. 열처리 조건은 선행연구(2,20)와 예비실험의 결과를 참고하여 60°C에서 시간(30, 60, 90, 120분)을

*Corresponding author: Hye Hyun Yoon, Department of Culinary Science and Arts, Kyung Hee University, 1 Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-791, Korea
Tel: 82-2-961-9403
Fax: 82-2-964-2537
E-mail: hhyun@khu.ac.kr

달리하였고 수침시간을 동일하게 하기 위하여 모든 시료의 수침시간은 120분으로 일정하게 하였다. 120분 동안 상온수(20°C)에서 침지한 시료를 열처리하지 않은 대조군으로 하였다. 침지한 후 콩과 침지액을 함께 waring blender로 갈아 동결건조 하였다.

분리대두단백(soy protein isolate, SPI) 제조

Petrucelli의 방법(26)을 이용하여 다음과 같이 분리대두 단백을 제조하였다. 동결건조한 시료는 hexane으로 탈지하여 건조시킨 뒤, 10배의 증류수로 균일하게 분산시키고 2 N NaOH로 pH 8.0을 일정하게 유지하면서 2시간 교반한 뒤 원심분리(13,300×g, 20분)한다. 상층액을 취하여 2 N HCl로 pH를 4.5로 조정하고 원심분리(3,300×g, 20분)한 뒤 침전물은 증류수로 세척한 후 동결건조하였다.

용해도 특성

Franzen과 Kinsella(11)의 방법에 따라 SPI 0.3 g에 0.1 M NaOH 30 mL을 섞은 후 3 mL씩 나누어 담은 뒤 1 M HCl를 첨가하여 pH 1.5-12까지 조정하면서 1시간 동안 교반하였다. 각 시료를 원심분리(27,000×g, 20분)한 후, 상층액을 취하여 BCA 방법으로 단백질 정량을 하여 용해도 값을 구하였다.

수분흡수력

Lin 등(27)과 Fleming 등(28)의 방법에 따라 SPI 1 g과 증류수 10 mL를 homogenizer(ULTRA-TURRAX T25 Basic, IKA, Germany)로 1분간 균질화 한 후, 30분 동안 교반한 뒤 원심분리(1,610×g, 25분)한다. 수분흡수력은 유리된 물의 부피를 잰 뒤 단백질 g당 흡수된 물의 mL로 나타내었다.

유지흡수력

Lin 등(27)의 방법에 따라 SPI 500 mg에 대두유 3 mL를 첨가하여 vortex한 뒤 homogenizer에서 1분간 균질화 하였다. 30분 동안 방치한 뒤 원심분리(1,610×g, 25분)한 후, 유리된 대두유의 부피를 재어 단백질 g당 흡수된 기름의 mL를 유지흡수력으로 나타내었다.

유화특성

Yatsumatsu 등(29)의 방법에 따라 SPI 0.7 g에 증류수 10 mL을 넣은 뒤 대두유 10 mL을 첨가하여 균질화(24,000 rpm, 1분)하였다. 균질화 된 suspension은 15 mL 원심관에 둘로 나누어 담아 각각 유화활성도와 유화 안정성 측정에 사용하였다. 유화활성도(EA, emulsion activity)는 원심분리(1,300×g, 5분)한 후 전체 부피에 대한 유화층의 부피를 %로 나타내었고, 유화안정성(ES, emulsion stability)은 80°C에서 30분간 가열하고 15°C에서 방냉 한 후 원심분리(1,300×g, 5분)하여 전체 부피에 대한 유화층의 부피를 %로 나타내었다.

유화 형성력(EC, emulsion capacity)는 Swift 등(30)의 방법에 따라 SPI 50 mg, 증류수 5 mL와 methyl red 10 mg을 섞어 균질화(12,000 rpm, 30초)한 후 대두유를 1 mL/sec 속도로 뷰렛을 이용하여 첨가하였다. 전환점(inversion point, O/W→W/O)에서 대두유 부피를 기록하여 단백질 1g의 유화에 필요한 대두유의 부피(mL)를 유화형성력 값으로 나타내었다.

기포특성

기포팽창력(FE, foam expansion) 및 기포안정성(FS, foam sta-

bility)은 Franzen과 Kinsella(11)의 방법에 따라 SPI 0.3 g에 증류수 30 mL를 waring blender 에서 섞은 뒤 100 mL 메스실린더에 넣어 준비한 다음 homogenizer로 균질화(24,000 rpm, 1분)하였다. 기포팽창력은 균질화 후 기포의 높이를 측정하였고, 기포안정성은 균질화 후 24°C에서 30분 동안 방치한 후의 기포 높이를 측정하였다.

겔 특성

분리대두단백 겔은 Renkema 등(8)의 방법을 변형시켜 제조하였는데, 14% SPI 용액을 균질화하여 2 N NaOH로 pH 7.6로 조정된 뒤 원심분리(1,000×g, 1분)하고 다시 균질화하였다. 용액을 cap tube(높이 35 mm, 내경 10 mm)에 2 mL 용량씩 담아 90°C에서 30분간 가열한 뒤 15°C의 항온수조에서 냉각시켜 다시 4°C에서 24시간 동안 방치하였다. 겔 형성력은 Puppo 등(30)의 방법으로 겔을 형성하는 SPI의 최소농도를 구하기 위해 6, 8, 9, 10, 11와 12%(w/w)의 농도로 겔을 제조한 뒤 급냉시킨 후 4°C에서 1시간 동안 방치하면서 cap tube를 거꾸로 뒤집어 용액이 흘러내리지 않는 상태의 시료를 최소농도로 정하였다. TPA(texture profile analysis)특성은 TPA analyser(TA-XT2, Stable Micro system, England)로 직경이 2 mm인 probe(Part No. P/2)를 사용하여 측정하였다. 측정조건은 5 kg의 full-scale load를 적용하였고 pretest speed, test speed, post test speed 는 모두 5.0 mm/sec로 원래 높이의 80%를 3초 동안 압축하였다.

통계처리

실험 결과는 SPSS(version 10.0) 프로그램을 이용하여 분산분석을 하였으며 Duncan의 다범위 검정으로 시료 차이에 대한 유의성을 5%에서 판정하였다.

결과 및 고찰

용해도 특성

대두의 열처리가 대두단백질의 용해도에 영향을 미치는지 알아보기 위하여, 장류용 콩인 만리와 태광 품종을 60°C에서 다양한 시간 동안 열처리한 후 제조한 SPI의 pH 1.5, 2-9와 pH 12에서의 용해도 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 두 품종 시료에서 모두 대두 단백질의 등전점 근처인 pH 4.0에서 가장 낮은 용해도를 보이고 pH 3.0 이하와 pH 5.0 이상에서 용해도가 급격히 증가하는 전형적인 U-shape 곡선을 보여주고 있다. 만리의 경우, 30분 열처리한 M30부터 120분 열처리한 M120는 열처리 하지 않은 M0 시료보다 실험한 전 pH에서 대체적으로 용해도가 높은 것을 볼 수 있다. 특히, pH 1.5에서는 열처리 시간이 증가할수록 용해도가 10%씩 증가하고 있으며 pH 7.0 이상의 알칼리성 영역에서는 열처리 한 SPI 시료들이 대조군 SPI보다 약 20% 높은 용해도를 나타내고 있다. 태광 품종의 경우, pH 1.5에서 대조군인 T0는 용해도가 53.78%인데 비해 30분 열처리한 후 분리한 T30는 용해도가 70.92%로 열처리 시간에 따라 용해도가 증가하는 경향을 나타내었으며 pH 2와 3에서도 열처리 시간이 증가함에 따라 용해도가 조금씩 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 알칼리 영역에서는 열처리에 의한 변화가 거의 나타나지 않았다. 대두의 주요 단백질은 globulin에 속하는 glycinin으로 염가용성이지만 대두나 탈지대두를 물로 추출하면 약 90%의 질소화합물이 가용화된다. 염용성의 glycinin이 물에 추출되는 것은 대두에 함유된 염류가 물에 용출되기 때문이며 따라서 용해성에 대한 이온강도의 영향은 매

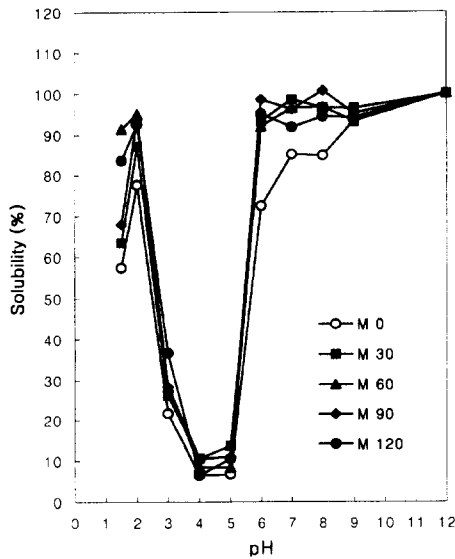


Fig. 1. Solubility profile of SPI from soybean of Manli variety.
M0, control (no heat treatment); M30, heating for 30 min at 60°C; M60, heating for 60 min at 60°C; M90, heating for 90 min at 60°C; M120, heating for 120 min at 60°C.

우 크며, 대두 단백질이 미변성 상태에서는 분자표면이 친수성 기로 둘러싸여 있어 물에 가용이나 pH를 등전점으로 맞추면 분자간의 정전기적 반발이 중화되어 응집하게 된다(26). Zhu와 Damodaran(32)은 whey protein isolate 의 경우 70°C에서 가열 시간이 증가함에 따라 전형적인 U-shape 곡선이 나타났는데 열 변성으로 인한 용해도 곡선의 변화는 변성의 결과로 단백질의 소수성이 증가한 결과이며 단백질-단백질과 단백질-용매 사이의 상호관계의 균형이 변하였기 때문으로 설명하고 있다. 대두 단백질을 60°C에서 열처리하는 경우 열변성이 일어나는 정도는 매우 작을 것으로 사료되며, 열처리에 의해 일부 가용성 단백질이 증가한 것으로 추측된다.

수분흡수력

대두를 시간을 달리하여 60°C에서 열처리한 후 SPI의 수분 흡수력을 본 결과를 Table 1(만리)과 2(태광)에 나타내었다. 만리와 태광 품종 모두 열처리 시간이 증가함에 따라 수분흡수력이 증가하였다. 만리의 경우 대조군보다 60분 열처리 시료가 0.1 mL/g 정도씩 수분흡수력이 증가하다가 90분 이후부터 유의적인 증가를 보였고, 120분 열처리한 경우는 수분흡수력이 90분 시료보다 0.59 mL/g 감소하였다. 반면, 태광의 경우는 열처

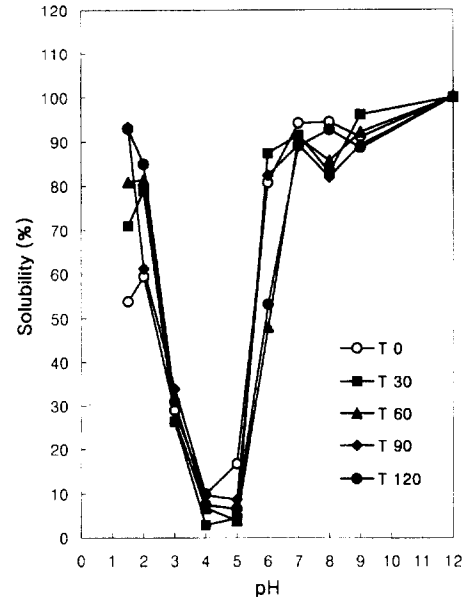


Fig. 2. Solubility profile of SPI from soybean of Taekwang variety.
T0, control (no heat treatment); T30, heating for 30 min at 60°C; T60, heating for 60 min at 60°C; T90, heating for 90 min at 60°C; T120, heating for 120 min at 60°C.

리 시간이 증가함에 따라 수분흡수력이 유의적인 차이 없이 조금씩 증가하는 결과를 나타내었다. Wang과 Kinsella(33)은 Promosoy(soy protein isolate)와 Promine(sodium soy isolate)의 수분흡수력이 각각 3.30과 6.38을 나타내어 본 실험의 대조군인 만리 2.75와 태광의 2.72보다 높은 수치를 보고하였고, Sathu 등(34)은 soybean flour는 2.4, soybean concentrate는 3.6의 수분흡수력을 보고하여 본 연구와 비슷하였다.

유지흡수력

유지흡수력은 만리의 경우 열처리 시간에 따라 전체적으로 유의적인 감소 경향을 보였으며 120분 열처리 시료는 대조군보다 1.05 mL/g 감소하였다(Table 1). 태광은 반대로 60분 까지의 열처리 시료는 대조군보다 증가하였다가, 90분에는 0.1 mL/g 감소하였고 120분 시료는 0.8 mL/g 정도 더 감소하여 60분에서 최고 유지흡수력을 나타내었다. 대두유 대신 peanut oil을 사용한 Promosoy 100과 Promine D의 경우 유지흡수력은 1.10과 1.70이었던 반면(33), 본 실험은 그에 비해 4.5배 넘는 결과를 보였으며, lupin seed의 경우(34), protein concentrate 2.86,

Table 1. Functional properties of SPI from heat treated soybean of Manli variety

Heating time (min)	WAC ¹⁾	OAC	EA	ES	EC	FE	FS
0	2.75 ± 0.14 ^a	6.07 ± 0.07 ^c	61.25 ± 0.72 ^a	59.76 ± 0.70 ^a	164.00 ± 22.30 ^a	30.11 ± 12.51 ^a	10.56 ± 1.46 ^a
30	2.84 ± 0.19 ^{ab}	5.75 ± 0.37 ^{bc}	63.45 ± 0.89 ^{ab}	63.26 ± 0.08 ^b	192.00 ± 16.04 ^a	72.22 ± 8.67 ^b	18.89 ± 4.00 ^b
60	2.97 ± 0.20 ^{ab}	5.10 ± 0.40 ^{ab}	65.46 ± 1.18 ^b	64.58 ± 0.27 ^b	204.67 ± 32.09 ^a	78.89 ± 21.19 ^b	18.33 ± 3.35 ^b
90	3.87 ± 0.03 ^c	5.17 ± 0.03 ^{ab}	65.64 ± 0.08 ^b	64.49 ± 0.03 ^b	281.33 ± 13.87 ^b	85.56 ± 18.49 ^b	16.00 ± 0.03 ^b
120	3.28 ± 0.05 ^b	4.70 ± 0.05 ^a	65.82 ± 0.48 ^b	64.39 ± 1.14 ^b	222.67 ± 7.68 ^{ab}	65.56 ± 10.59 ^b	12.33 ± 1.66 ^a

Values represent mean ± SE.

¹⁾WAC, water absorption capacity (mL/g); OAC, oil absorption capacity (mL/g); EA, emulsifying activity (%); ES, emulsion stability (%); EC, emulsion capacity (mL/g); FE, foam expansion (mL/g); FS, foam stability (mL/g).

^{abc}Means with different superscript letters within the same column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

Table 2. Functional properties of SPI from heat treated soybean of Taekwang variety

Heating time (min)	WAC ¹⁾	OAC	EA	ES	EC	FE	FS
0	2.72 ± 0.27 ^a	5.20 ± 0.03 ^a	42.00 ± 1.50 ^a	58.70 ± 1.30 ^b	242.67 ± 6.35 ^a	47.78 ± 4.84 ^a	8.90
30	2.97 ± 0.01 ^a	5.45 ± 0.43 ^a	60.90 ± 2.15 ^b	50.83 ± 2.08 ^a	226.00 ± 36.67 ^a	48.33 ± 5.09 ^a	.
60	2.88 ± 0.00 ^a	6.90 ± 0.40 ^b	59.33 ± 1.43 ^b	52.78 ± 2.77 ^{ab}	338.67 ± 13.13 ^b	52.22 ± 2.22 ^a	.
90	2.88 ± 0.07 ^a	6.80 ± 0.23 ^b	59.30 ± 1.60 ^b	56.23 ± 1.30 ^{ab}	276.67 ± 30.99 ^{ab}	55.56 ± 2.93 ^a	.
120	3.03 ± 0.05 ^a	6.05 ± 0.08 ^{ab}	56.29 ± 1.89 ^b	57.73 ± 2.65 ^{ab}	274.00 ± 16.37 ^{ab}	54.44 ± 2.93 ^a	.

Values represent mean ± SE.

¹⁾WAC, water absorption capacity (mL/g); OAC, oil absorption capacity (mL/g); EA, emulsifying activity (%); ES, emulsion stability (%); EC, emulsion capacity (mL/g); FE, foam expansion (mL/g); FS, foam stability (mL/g).

^{a-c}Means with different superscript letters within the same column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

defatted protein concentrate의 3.89보다 본 실험이 1.5-2배 정도 큰 값을 나타내었는데 이는 시료 및 실험방법의 차이에서 비롯된 것으로 추측된다.

유화 특성

만리와 태광 품종의 대두를 60°C에서 열처리 시간에 따른 SPI를 제조하여 유화특성을 살펴본 결과는 각각 Table 1과 2에 나타내었다. 만리의 경우 열처리 시간이 증가함에 따라 유화활성도(EA)가 증가하여 60분 이상의 열처리 시료들은 대조군보다 유의적인 증가를 보였다. 유화안정성(ES)도 대조군에 비해 30분 이상 열처리함에 의해 유의적인 증가를 보였고, 유화형성력(EC)은 90분까지는 시간에 따라 증가추세를 보이다가 120분 시료는 유화형성력이 감소하였다. 태광의 경우도 30분 이상의 열처리에 의해 유화활성도가 대조군보다 증가하였으며 유화안정성은 열처리 시간에 따라 감소(30분) 하였다가 증가(60분 이상)하는 변화를 나타내었다. 유화형성력은 60분 시료의 경우 대조군보다 유의적으로 높은 값을 보였으며 90분과 120분 시료는 다시 약간 감소하여 60분에서 최고값을 나타내었다. Wang과 Kinsella(33)는 대두단백질이 가열에 의해 emulsion이 활성화되고 안정화된다고 하였는데, 이는 변성에 의해 소수성 부분이 노출되기 때문에 해석하였다. Franzen과 Kinsella(11)의 연구보고에 의하면 SPI(Promine D)로 유화특성을 측정하였을 때 74.7%의 유화활성도와 73.2%의 유화안정성을 나타내어 본 실험의 대조군보다 10-20% 정도 큰 값을 보여주었다.

기포 특성

열처리에 따른 만리와 태광의 SPI 기포특성을 살펴본 결과는 각각 Table 1과 2에 제시하였다. 만리의 경우, 대조군보다 열처리 시간이 길어짐에 따라 기포팽창력(FE)이 증가하였으며 90분 열처리 한 SPI가 최대 기포팽창력 값을 나타내었는데 이때의 값은 대조군보다 3배에 가까운 수치로 대두의 열처리에 의해 SPI의 기포팽창력이 매우 증가함을 알 수 있었다. 또한 기포 안정성(FS)의 경우도 대조군이 가장 낮은 수치를 보였으며 30분에서 최대값을 보였고 시간이 지남에 따라 점점 감소하였다. 태광의 경우 기포팽창력은 유의적인 차이는 없지만 열처리 시간에 따라 약간씩 증가하는 경향을 보인데 반해 기포 안정성은 대조군을 제외한 모든 시료들의 기포가 안정성을 쉽게 잃고 꺼져버려 측정이 불가능하였다. 일반적으로 단백질의 농도가 증가할수록 기포를 잘 형성하고 안정성도 증가한다고 알려져 있으며 부분적인 열 변성에 의해 단백질의 기포특성이 증가한다. Zhu와 Damodaran(32)은 WPI(whey protein isolate)를 70°C에서 1분 가열하면 기포 안정성이 증가하였지만, 90°C에서

5분 가열하였을 때에는 기포 안정성이 감소하였다고 보고하면서 감소 이유를 disulfide-sulfhydryl 교환반응으로 인한 단백질의 중합반응이 확장되어 형성된 고분자 중합체들이 거품형성동안 공기-물 계면에 흡착되지 않는다는데 기인한다고 설명하였다.

젤 특성

만리와 태광 품종의 대두를 시간에 따라 열처리한 후 SPI를 제조하여 겔 형성력을 살펴본 결과(Table 3), 만리의 경우는 90분과 120분 열처리에 의해 최소 겔형성 단백질 농도가 대조군의 11%에서 10%로 1% 낮아졌으며, 태광의 경우는 대조군 10%, 60분 11%, 90분 12%로 겔형성 최소농도가 증가하다가 90분과 120분 열처리 시료는 다시 10% 농도에서 겔을 형성하였다. Table 4는 만리를 시간에 따라 열처리를 한 후 얻은 SPI로 겔을 제조하여 얻은 TPA 결과이다. 열처리 시간이 증가함에 따라 경도(hardness)는 증가하여 60분 시료겔은 대조군보다 유의적으로 단단한 겔을 형성하였고, 90분 시료의 겔은 대조군보다 4배가 넘는 높은 값을 나타내었다. 부착성(adhesiveness)도 대체적으로 시간에 따라 증가하였으며 90분일 때 가장 낮은 값, 즉 부착성이 유의적으로 큰 결과를 나타내었다. 탄성(Springiness)은 대조군에 비해 큰 변화는 없었으며 30분 열처리에 의해 약간 감소하였다가 그 이상의 열처리에 의해 대조군과 비슷한 값을 나타내었다. 응집성(cohesiveness)은 다른 특성들과 반대로 보였는데 열처리 시간이 증가함에 따라 감소하였으며 90분시료가 최소값을 나타내어 대조군보다 2배 정도 낮은 값을 보였고 120분 시료는 다시 대조군과 차이가 없는 응집성을 나타내었다. 검성(gumminess)과 씹힘성(chewiness)은 열처리에 의해 유의적으로 증가하여 90분 시료에서 최대값을 나타내었고 대조군의 2배 이상의 증가를 보였다.

Table 5는 태광을 시간에 따라 열처리한 후 얻어진 SPI로 겔을 제조하여 TPA 측정을 한 결과이다. 경도는 열처리 시간이 증가함에 따라 유의적으로 증가하여 90분 시료가 가장 큰 경

Table 3. The least concentration for gelation of SPI from heat treated soybean of Manli and Taekwang varieties

Samples	Manli	Taekwang
	SPI (%)	SPI (%)
Heating time (min) at 60°C		
0	11	10
30	11	11
60	11	12
90	10	10
120	10	10

Table 4. Texture profile parameters of SPI gel from heat treated soybean of *Manli* variety

Heating time (min)	Hardness (g)	Adhesiveness (g/s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
0	65.30 ± 9.04 ^a	-26.72 ± 3.28 ^c	0.88 ± 0.08 ^b	0.35 ± 0.06 ^c	21.26 ± 1.39 ^a	18.99 ± 2.83 ^a
30	63.84 ± 1.43 ^a	-26.27 ± 2.28 ^c	0.66 ± 0.04 ^a	0.31 ± 0.07 ^c	19.56 ± 2.60 ^a	12.96 ± 1.99 ^a
60	146.90 ± 4.56 ^b	-39.66 ± 4.71 ^b	0.92 ± 0.02 ^b	0.20 ± 0.01 ^b	28.96 ± 1.58 ^b	26.62 ± 1.60 ^b
90	281.03 ± 21.76 ^c	-47.97 ± 3.33 ^a	0.96 ± 0.03 ^b	0.15 ± 0.01 ^a	40.54 ± 1.89 ^c	39.05 ± 1.97 ^c
120	87.63 ± 0.84 ^a	-42.28 ± 1.34 ^{ab}	0.90 ± 0.05 ^b	0.32 ± 0.01 ^c	29.14 ± 1.03 ^b	26.15 ± 2.09 ^b

Values represent mean ± SE.

^{a-c}Means with different superscript letters within the same column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

Table 5. Texture profile parameters of SPI gel from heat treated soybean of *Taekwang* variety

Heating time (min)	Hardness (g)	Adhesiveness (g/s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
0	186.08 ± 0.55 ^b	-48.06 ± 0.85 ^b	0.99 ± 0.00 ^b	0.31 ± 0.02 ^c	56.76 ± 0.33 ^{bc}	56.53 ± 0.32 ^{bc}
30	121.92 ± 3.18 ^a	-45.35 ± 3.11 ^b	0.93 ± 0.03 ^a	0.27 ± 0.01 ^{bc}	33.60 ± 2.66 ^a	31.37 ± 3.27 ^a
60	228.56 ± 7.90 ^c	-57.83 ± 2.76 ^{ab}	0.99 ± 0.04 ^b	0.23 ± 0.03 ^b	50.95 ± 4.89 ^b	50.61 ± 4.97 ^b
90	482.63 ± 19.09 ^d	-68.58 ± 7.33 ^a	0.97 ± 0.08 ^{ab}	0.14 ± 0.01 ^a	68.37 ± 5.96 ^c	66.38 ± 6.08 ^c
120	235.80 ± 6.44 ^c	-69.40 ± 3.84 ^a	0.97 ± 0.07 ^{ab}	0.21 ± 0.03 ^b	49.48 ± 5.22 ^b	48.07 ± 5.46 ^b

Values represent mean ± SE.

^{a-d}Means with different superscript letters within the same column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

도를 나타내었다. 부착성도 열처리 시간이 증가함에 따라 지속적으로 증가하였다. 탄성은 대조군과 60분 시료에서 0.99로 가장 큰 값을 나타내었으며 만리의 경우와 마찬가지로 응집성도 열처리 시간이 증가함에 따라 감소하였는데 90분에서 최저값을 보였고 120분에서 다시 약간 증가하였다. 검성과 씹힘성은 30분 열처리에 의해 대조군보다 유의적으로 낮아졌다가 60분 시료는 대조군과 비슷한 값을 보였고 90분 시료는 더 증가하여 최고값을 나타내었으며 120분 시료는 대조군, 60분 시료와 비슷한 값을 나타내었다. Hermansson(35)에 의하면, 겔 경도는 disulfide 결합에 의해 증가하며 따라서 단백질 농도 및 함황 아미노산의 농도가 증가할수록 높아진다고 하였다. 대두 단백질은 cysteine 등의 함황 아미노산 함량은 적지만 가열등에 의해 변성이 일어나면 내부의 잔기가 분자 표면에 노출되어 disulfide 결합을 형성할 수 있게 된다. Kagawa 등(20)은 60°C에서 8시간 동안 열처리 한 후에 용출된 단백질은 총 단백질의 5% 정도 이었으며 그 중 90%는 basic 7S globulin이었음을 보고하였다. 보통 대두는 3%의 basic 7S globulin을 포함하고 있으므로 열처리를 통해 basic 7S globulin이 약 2.5배 증가한 셈인데, basic 7S globulin은 전체 아미노산 중 약 5.8%가 cysteine이고, 2.3%가 methionine으로 함황 아미노산이 다른 대두단백질보다 월등히 풍부한 특징이 있다⁽¹⁹⁾. 따라서 열처리를 통해 2.5배의 basic 7S globulin의 증가가 일어나면 약 30%의 함황 아미노산이 증가하는 변화가 일어날 수 있으므로 대두 열처리에 의한 겔 경도의 증가 및 다른 겔 특성 변화가 일어나는 것으로 사료된다.

요 약

대두 단백질의 기능성 변형 방법의 하나로 대두를 열처리 함에 의해 대두 단백질의 기능 특성에 어떠한 변화가 있는지 알아보기 위하여 대두를 60°C에서 30, 60, 90과 120분 침지한 후 대두 분리 단백질(SPI)을 제조하여 열처리하지 않은 대조군과 여러 가지 기능성을 비교하였다. 용해도 특성은 pH 4.5의 등전점

부근에서 최소의 용해도를 보였고 등전점 이하와 이상에서는 비교적 90% 넘는 높은 용해도를 나타내었다. 만리와 태광에서 모두 열처리 시간이 증가함에 따라 등전점 이하의 pH에서 용해도가 증가하였다. 수분흡수력도 열처리 시간이 증가함에 따라 증가하였고 만리의 경우 90분 시료에서 가장 높은 수분흡수력을 나타내었다. 유지흡수력은 만리의 경우 열처리 시간이 증가함에 따라 감소하였고 태광의 경우에는 60분 시료에서 최대값을 나타내었다. 유화 특성은 만리의 경우 열처리에 의해 유화활성도, 유화안정성과 유화형성력이 모두 대조군보다 유의하게 증가하였고, 태광의 경우에는 열처리에 의해 유화활성도와 유화형성력이 유의적으로 증가하였다. 만리의 경우 기포 팽창력과 기포안정성이 열처리에 의해 증가하였고, 만리와 태광 모두 기포팽창력이 90분 시료에서 최대값을 보였으며, 태광은 열처리에 의해 매우 불안정한 기포 안정성을 보였다. 겔의 TPA 결과, 열처리 시간이 증가함에 따라 경도, 부착성, 탄성, 검성 및 씹힘성이 증가하였고 특히 모든 특성이 대체로 90분 시료에서 최고값을 보였다. 그러나 응집성은 열처리 시간이 증가함에 따라 감소하였다. 이상의 결과로 대두의 열처리에 의해 대두 단백질의 기능성이 변화하는 것을 알 수 있었고, 대두를 첨가물이나 식품가공재료로 사용할 때 이러한 변화를 고려하여 유용하게 활용할 수 있으리라 생각된다.

문 헌

1. Liu K. Expanding soybean food utilization. Food Technol. 54: 46-58 (2000)
2. Saio K, Terashima M, Watanabe T. Changes in basic groups of soybean proteins by high temperature heating. J. Food Sci. 40: 541 (1975)
3. Iwabuchi S, Yamauchi F. Effect of heat and ionic strength upon association-association of soybean protein functions. J. Food Sci. 49: 1289 (1984)
4. Utsumi S, Kinsella JE. Structure-function relationships in food proteins: subunit interactions in heat-induced gelation of 7S, 11S and soy isolate proteins. J. Agric. Food Chem. 33: 297-303 (1985)

5. Thanh VH, Shibasaki K. Beta-conglycinin from soybean proteins. *Biochim. Biophys. Acta* 490: 370 (1977)
6. Sato W, Kamata Y, Fukuda M, Yamauchi F. Improved isolation method and some properties of soybean gamma-conglycinin. *Phytochemistry* 23: 1523-1527 (1984)
7. Yamauchi F, Sato K, Yamauchi T. Isolation and partial characterization of a salt extractable globulin from soybean seeds. *Agric. Biol. Chem.* 48: 645-649 (1984)
8. Vierling E. The roles of heat shock proteins in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol.* 42: 579-620 (1991)
9. Mansfield MA, Key JL. Synthesis of the low molecular weight heat shock proteins in plants. *Plant Physiol.* 84: 1007-1017 (1987)
10. Jinn TL, Yeh YC, Chen YM, Lin CY. Stabilization of soluble proteins in vitro by heat shock proteins-enriched ammonium sulfate fraction from soybean seedlings. *Plant Cell Physiol.* 30(4): 463-469 (1989)
11. Smith PK, Krohn RI, Hermanson GT, Malia AK, Gartner FH, Provenzano FH, Fujimoto EK, Goeke NM, Olson BJ, Klenk DC. Measurement of protein using bicinchoninic acid. *Anal. Biochem.* 150: 76-85 (1985)
12. Laemli UK. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685 (1970)
13. Varriano-Marston, De Omana E. Effects of sodium salt solutions on the chemical composition and morphology of black beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Food Sci.* 44: 531-537 (1979)
14. Lee YH, Jung HO, Rhee CO. Solids loss with water uptake during soaking of soybeans. *Korean J. Food Sci. Technol.* 19: 492-498 (1987)
15. Kagawa H, Hirano H, Tomotake M, Kikuchi F. A seed protein induced by heat treatment in soybean (*Glycine max* L.). *Food Chem.* 48: 159-163 (1993)
16. Park YG, Park BD, Choi KS. Changes in ultrastructure of tissues, characteristics of protein and soybean curd yield with increased soaking time during soybean curd processing. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 14(4): 381-386 (1985)
17. Kim JG, Kim SK, Lee JS. Fatty acid composition and electrophoretic patterns of protein of Korean soybeans. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20(2): 263-271 (1988)
18. Petrucci S, Aon MC. pH-induced modifications in the thermal stability of soybean protein isolates. *J. Agric. Food Chem.* 44: 3005-3009 (1996)
19. Hirano H, Kagawa H, Okubo K. Characterization of proteins released from legume seeds in hot water. *Phytochemistry* 31(3): 731-735 (1992)
20. Kagawa H, Hirano H, Tomotake M, Kikuchi F. A seed protein induced by heat treatment in soybean (*Glycine max* L.). *Food Chem.* 48: 159-163 (1993)
21. Jinn TL, Chen YM, Lin CY. Characterization and physiological function of class I low-molecular-mass, heat-shock protein complex in soybean. *Plant Physiol.* 108: 693-701 (1995)
22. McElwain EF, Spiker S. Molecular and physiological analysis of a heat-shock response in wheat. *Plant Physiol.* 99: 1455-1460 (1992)
23. Stone PJ, Grast PW, Nicolas ME. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. III. grain protein composition and dough properties. *J. Cereal Sci.* 25: 129-141 (1997)
24. Blumenthal C, Stone PJ, Gras PW, Bekes F, Clarke B, Barlow EWR, Appels R, Wrigley CW. Heat-shock protein 70 and dough quality changes resulting from heat stress during grain filling in wheat. *Cereal Chem.* 75: 43-50 (1998)
25. Lin CY, Roberts JK, Key JL. Acquisition of thermotolerance in soybean seedlings: synthesis and accumulation of heat shock proteins and their cellular. *Plant Physiol.* 74: 152-160 (1984)
26. Petrucci S, Aon MC. Soy protein isolate components and their interactions. *J. Agric. Food Chem.* 43: 1762-1767 (1995)
27. Lin MJ, Humbert ES, Sosulski FW. Certain function properties of sunflower meals. *J. Food Sci.* 39: 368-375 (1974)
28. Fleming SE, Sosulski FW, Kilara A, Humbert ES. Viscosity and water absorption characteristics of slurries of sunflower and soybean flours, concentrate and isolates. *J. Food Sci.* 39: 188-194 (1974)
29. Yatsumatsu K, Sawada K, Moritake S, Toda J, Ishii K. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agric. Biol. Chem.* 36: 719-726 (1972)
30. Swift CE, Lockett C, Fryar J. Comminuted meat emulsions: The capacity of meats for emulsifying fat. *Food Technol.* 15: 468-476 (1961)
31. Puppo MC, Lupano CE, Aon MC. Gelation of soybean protein isolates in acidic conditions: Effect of pH and protein concentration. *J. Agric. Food Chem.* 43: 2356-2361 (1995)
32. Zhu H, Damodaran S. Heat-induced conformational changes in whey protein isolate and its relation to foaming properties. *J. Agric. Food Chem.* 42: 846-855 (1994)
33. Wang JC, Kinsella JE. Functional properties of novel proteins: alfalfa leaf protein. *J. Food Sci.* 41: 286-292 (1976)
34. Sathe SK, Deshpande SS, Salunkhe DK. Functional properties of lupin seed (*Lupinus mutabilis*) proteins and protein concentrates. *J. Food Sci.* 47: 491-497 (1982)
35. Hermansson AM. Soy protein gelation. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 63: 658-666 (1986)

(2003년 8월 8일 접수; 2003년 10월 9일 채택)