

원적외선 조사와 열처리가 탈지대두박 추출물의 항산화능에 미치는 영향

임아람 · 정은실 · 김소영 · 이승철*

경남대학교 식품생명공학부

Effect of Far-Infrared Irradiation and Heat Treatment on the Antioxidant Activity of Extracts from Defatted Soybean Meal

A-Ram Rim, Eun-Sil Jung, So-Young Kim and Seung-Cheol Lee*

Division of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

Received June 24, 2005; Accepted September 13, 2005

The effect of far-infrared (FIR) irradiation and heat treatment on the antioxidant activity of extracts from defatted soybean meal (DSM) was evaluated. DSM were placed in pyrex petri dishes (8.0 cm diameter) and irradiated at 150°C for 5, 10, 15, 20, 40 or 60 min with a FIR heater or simple heater. After FIR irradiation or simple heat treatment at same conditions, methanol extracts of DSM were prepared and total phenol contents (TPC), radical scavenging activity (RSA) and reducing power of the extracts were determined. The antioxidant activities of the extracts increased as the time of heating or FIR-irradiation increased. When DSM were FIR-irradiated at 150°C for 15 min, the values of TPC, RSA, and reducing power of the extracts increased from 31.62 mg/ml to 57.51 mg/ml, 11.6% to 53.1%, and 0.068 to 0.147, respectively, compared to the untreated controls. Simple heat treatment of DSM under the same conditions (150°C for 15 min) also increased the TPC, RSA, and reducing power of the extracts from 58.04 mg/ml, 65.2% and 0.160, respectively. The results indicated that appropriate FIR-irradiation or heat treatment on DSM increased the antioxidant activities of methanolic extracts.

Key words: Defatted soybean meal, far-infrared, heat treatment, antioxidant activity

서 론

대두(*Glycine max* (L.) Merrill)는 동양에서 가장 오래된 작물로 양질의 단백질과 다양한 생리활성 등이 관심을 받는 우수한 식품으로 우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 매년 생산량이 꾸준히 증가하고 있다.¹⁾ 현재 대두는 주성분인 단백질의 이용보다 콩기름 생산에 주로 사용되고 있으며, 유지 추출의 부산물로 탈지대두박이 대량 생산되고 있다. 탈지대두박의 전세계 생산량은 2000년에 약 1억톤 이상이었으며, 국내 생산량도 연간 100만톤 이상으로 추정되는데, 이런 탈지대두박에는 단백질이 약 50%, 탄수화물이 25~30% 함유되어 있으며, 이외의 대부분 영양소도 많이 남아 있으므로 간장이나 두부 등의 대두 가공식품 소재 및 생리활성물질들도 포함되어 있으므로 식품영양학적 관점에서 매우 중요한 소재라고 할 수 있다.²⁾

대두의 여러 생리활성 기능 중 항산화능도 여러 연구자들에 의해 조사되었는데, 주로 isoflavonoid화합물과 polyphenol 화합물들로서 chlorogenic acid, isochlorogenic acid, caffeic acid가 상당한 항산화 효과를 갖는 것으로 보고되었으며,³⁾ 이외에도 대두의 펩티드 및 아미노산, 인지질 등도 항산화 효과에 기여하는 것으로 알려져 있다.^{4,5)} 대두에 존재하는 대부분의 아미노산은 낮은 농도에서 상당한 항산화능을 보이며, 페놀화합물의 synergist로서의 작용을 한다고 보고되었다.⁶⁾

한편, 원적외선은 약 3.0-1,000 μm의 파장을 가지고 있으며, 가열과 비가열의 방법으로 이용되며, 식품의 가열 건조, 식품의 선도유지, 식품의 숙성, 식품의 풍미향상 등에 적용되고 있다. 원적외선은 생물적으로 활성이 있으며, 물질의 중심까지 고르게 열을 전달하는 특성을 가지고 있다.⁷⁾ Niwa와 Miyachi는 천연 항산화 물질들은 중합체인 polyphenol, tocopherol, flavonoid 등의 고분자를 가지고 있는데 원적외선 처리가 이들을 저분자로 유리시킨다고 보고한 바 있으며,⁸⁾ 본 연구진도 원적외선 처리에 의하여 왕겨의 고분자 polyphenol들이 유리되어 항산화능이 증가되었다는 결과를 보고한 바 있다.⁹⁾ 또한, 일반적인 열

*Corresponding author

Phone: +82-55-249-2684, Fax: +82-55-249-2995

E-mail: sclee@kyungnam.ac.kr

처리 공정은 식품가공이나 향기와 맛을 개선시키기 위한 목적으로 가열조작을 거치는 경우가 많은데, 대두의 경우에는 트립신 저해제, 적혈구 응집소, 항 갑상선 물질, 항 비타민 물질 및 피트산 등을 불활성화시키기 위하여 열처리 공정을 가하고 있다.^{10,11)} 본 연구에서는 국내에서 대두유 제조시 부산물로 발생하는 탈지대두박에 원적외선 처리와 일반 열처리 가하여 탈지대두박의 항산화력에 미치는 영향을 비교함으로써 일부만이 사료로 사용되고 있는 탈지대두박을 천연 항산화제로서의 이용 가능성을 확인하고자 한다.

재료 및 방법

재료. 대두는 경상남도 마산시의 대형 마켓에서 구입한 것으로 국산의 노란 콩이었다. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 시약과 gallic acid는 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고, Folin-Ciocalteu 시약은 Wako Pure Chemical Industries, Ltd.(Osaka, Japan)에서 구입하여 사용하였다. 그리고 potassium ferricyanide, methanol, 염화철은 모두 분석등급을 사용하였다.

탈지대두박의 제조. 대두를 깨끗이 수세하여 부유물을 제거한 후 하룻동안 상온에서 건조시켜, 대두 20 g을 분쇄하여 오일 추출기(Model Do-9001, Donga Oscar Co, Korea)에 넣고 100 ml의 *n*-hexane을 가하여 3회 반복하여 지질을 제거하였다. 제조된 탈지대두박은 상온에서 건조한 후, 4°C에서 저장하면서 실험에 사용하였다.

원적외선, 열처리 및 메탄올 추출물 제조. 탈지대두박 1.0 g을 유리 페트리 접시(φ 8.0 cm)에 놓고 원적외선 건조기(A-Sung Test Machine, Korea)를 이용하여 150°C에서 5, 10, 15, 20, 40, 그리고 60분씩 각각 원적외선을 조사하였다. 그리고 대조구로서 가열 건조기(A-Sung Test Machine, Korea)를 사용하여 150°C에서 탈지대두박을 동일한 시간동안 열처리하였다. 각각의 처리된 탈지대두박은 1.0 g당 100 ml의 메탄올로 shaking incubator(상온, 100 rpm)에서 12시간 추출하였다. 각각의 추출물은 1,000×g에서 15분 동안 원심분리한 후, 여과지(Whatman No. 1)에 여과하여 탈지대두박 메탄올 추출물을 준비하였다.

총 페놀 함량 측정. 총 페놀 함량은 Gutfinger¹²⁾의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 탈지대두박 메탄올 추출물 1 ml를 취하여 2% Na₂CO₃ 용액 1 ml를 가하여 3분간 방치한 후, 50% Folin-Ciocalteu 시약 0.2 ml를 가하여 반응시켜 30분간 상온에서 방치하였다. 이 혼합물을 10분간 13,400×g에서 원심분리한 후, 상정액 1 ml를 취하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 함량은 gallic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로 mg/ml 단위로 나타내었다.

라디칼 소거능 측정. DPPH 라디칼 소거능은 Blois¹³⁾의 방법에 준하여 시료 0.1 ml에 4.1×10⁻⁵ M의 DPPH 용액 0.9 ml를 가한 후 상온에서 10분간 반응시켜 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 시료의 라디칼 소거능은 아래의 식에 의해 전자 공여능으로 계산하였다.

$$\text{전자 공여능(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 O.D.}}{\text{무처리구의 O.D.}}\right) \times 100$$

환원력의 측정. 환원력은 Oyaizu¹⁴⁾의 방법에 따라 측정하였으며, 항산화 물질에 대한 철 이온의 환원력을 측정한 것이다. 1 ml의 인산염 완충용액(0.2 M, pH 6.6)에 1 ml의 탈지대두박 메탄올 추출물에 1%, potassium ferricyanide 용액 1 ml를 가하고 이 혼합물을 50°C, 20분간 반응시킨 후, 10% trichloroacetic acid 용액 1 ml를 넣었다. 반응이 끝난 혼합물을 13,400×g에서 원심 분리하여 얻은 상정액 1 ml과 메탄올 1 ml를 넣고 0.1% 염화철 용액 0.1 ml를 넣고 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

통계처리. 모든 실험은 3회 반복하여 행해졌으며, 데이터의 통계처리는 SAS(Statistical Analysis System)를 이용하여 평균과 표준편차, Newman-Keul's multiple range tests로 평균값들에 대해 유의성을 검정하였다.¹⁵⁾

결과 및 고찰

총 페놀함량의 변화. 페놀성 물질은 식물계에 널리 분포되어 있는 2차 대사산물로서 다양한 구조와 분자량을 가진다. 식물체에 존재하는 페놀 화합물은 수산기를 통한 수소 공여와 페놀 고리 구조의 공명 안정화에 의해 항산화 능력을 나타낸다.¹⁶⁾ 대두는 대표적인 항산화 성분으로 페놀 화합물들, 즉 flavonoids와 phenolic acids들이 함유되어 있다. 대두내 flavonoids는 모두 isoflavonoids라는 점에서 매우 독특하며, 대두에 존재하는 phenolic acids들에는 chlorogenic acid, isochlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid, p-coumaric acid, syringic acid 등이 있다. 특히, chlorogenic acid, isochlorogenic acid 및 caffeic acid는 상당한 항산화효과를 나타내는 것으로 알려져 있으며, chlorogenic acid와 그 가수분해물인 caffeic acid는 대두내 존재하는 중요한 항산화 성분으로 isoflavone보다 높은 항산화 효과를 나타낸다고 한다. 이런 항산화 성분들은 세포 내에서 호흡 등에 의하여 생성된 free radical인 superoxide, hydroxyl radical, hydroperoxide들을 불활성화시켜 생체막 산화에 의한 세포 기능의 파괴를 억제해 준다.¹⁷⁾

탈지대두박에 대한 원적외선 조사 및 일반 열처리의 효과를 비교하기 위해 총 페놀함량의 변화를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 원적외선 조사구의 경우 무처리구의 총 페놀함량 31.62 mg/ml에 비해 조사 15분에서 57.51 mg/ml로 1.82배 증가하였으며, 그 후부터는 감소하였다. 이에 반해 일반 열처리구의 경우는 처리 5분의 경우 59.92 mg/ml로 무처리구에 비하여 1.90배 증가하였으며, 20분까지 열처리하였을 때까지 일정하게 유지하였으며, 그 후부터는 점차 감소함을 보여 주었다. 본 연구와 같은 조건으로 원적외선을 왕겨에 처리한 경우, 무처리구의 메탄올 추출물과 원적외선 처리한 후 총 페놀 함량을 비교해 보았을 때 58%가 증가하였다.⁹⁾ 한편, 일반 열처리는 왕겨의 총 페놀 함량을 증가시키지 못하였으나,⁹⁾ 참깨박의 원적외선 처리구보다 열처리구에 총페놀 함량 및 항산화 활성이 증가시켰다

Table 1. Effect of FIR-irradiation and heat treatment on total phenolic contents of methanol extract from defatted soybean meal (unit: mg/ml)

	Time (min)							SEM
	0	5	10	15	20	40	60	
FIR-irradiation	31.62 ^f	51.50 ^{bz}	53.25 ^{bz}	57.51 ^a	48.93 ^c	45.00 ^{dy}	39.09 ^e	1.11
Heat treatment	31.62 ^d	59.92 ^{ay}	58.81 ^{ay}	58.04 ^a	47.95 ^b	36.50 ^{ez}	36.42 ^e	0.83
SEM	0.12	1.15	0.42	0.71	1.31	0.31	1.26	

FIR-irradiation and heat treatment were carried out at 150°C.

^{a-f}Different letters within a row are significantly different ($p < 0.05$), $n = 3$.

^{y-z}Different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$), $n = 3$.

Table 2. Effects of FIR irradiation and heat treatment on DPPH radical scavenging activity of methanol extract from defatted soybean meal (unit: %)

	Time (min)							SEM
	0	5	10	15	20	40	60	
FIR-irradiation	11.6 ^c	25.8 ^{dz}	40.8 ^{cz}	53.1 ^{az}	50.9 ^{ay}	50.8 ^{ay}	45.4 ^b	1.38
Heat treatment	11.6 ^f	37.9 ^{ay}	55.7 ^{by}	65.2 ^{ay}	48.5 ^{cz}	42.0 ^{dz}	38.8 ^e	0.95
SEM	0.23	0.69	2.58	0.77	0.27	0.3	1.11	

FIR-irradiation and heat treatment were carried out at 150°C.

^{a-f}Different letters within a row are significantly different ($p < 0.05$), $n = 3$.

^{y-z}Different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$), $n = 3$.

Table 3. Effects of FIR irradiation and heat treatment on reducing power of methanol extract from defatted soybean meal (unit: Abs)

	Time (min)							SEM
	0	5	10	15	20	40	60	
FIR-irradiation	0.068 ^d	0.126 ^c	0.131 ^{ba}	0.147 ^{az}	0.140 ^{ba}	0.137 ^{bacy}	0.131 ^{bcy}	0.003
Heat treatment	0.068 ^d	0.137 ^b	0.137 ^b	0.160 ^{ay}	0.145 ^{ba}	0.090 ^{ez}	0.082 ^{ez}	0.009
SEM	0.003	0.063	0.003	0.002	0.005	0.007	0.007	0.003

FIR-irradiation and heat treatment were carried out at 150°C.

^{a-d}Different letters within a row are significantly different ($p < 0.05$), $n = 3$.

^{y-z}Different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$), $n = 3$.

는 보고한 바 있다.¹⁸⁾ 식물체에는 많은 종류의 페놀 화합물이 존재하며, hydroxycinnamic acid를 비롯한 대부분의 페놀 화합물은 세포벽 다당류, 리그닌 등과 ester 결합되어 있거나 중합체로 존재한다.¹⁹⁾ 따라서 상기 결과는 식물에 존재하는 페놀 화합물은 다양한 결합 형태로 존재하고, 이들은 적정 처리 조건에 의해 유리될 수 있음을 의미한다. 한편, 원적외선 처리나 열처리의 시간이 경과할수록 총페놀 함량이 감소하는 것은 이 처리가 150°C의 고온에서 행해지므로 장시간의 고온 노출로 인해 페놀 화합물이 불안정하기 때문으로 추정된다.

라디칼 소거능의 변화. DPPH는 α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl 라디칼의 소거 특성을 이용한 것으로 가장 널리 이용되는 항산화 효과 측정 방법 중 하나이다. DPPH는 안정한 라디칼로 cysteine, glutathione과 같은 함유황아미노산과 아스코르브산, 토코페롤, hydroquinone, pyrogallol과 같은 polyhydroxy aromatic compounds, aminophenol과 같은 aromatic amine등에 의해서 환원되어 짙은 자색이 탈색되므로 수소공여능 또는 유리기 소거 작용을 측정하는데 널리 사용되고 있다.²⁰⁾

원적외선 조사 및 열처리된 탈지대두박 메탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거능을 Table 2에 나타내었다. 탈지대두박에 대한 원적외선 조사는 그 메탄올 추출물의 라디칼 소거능을 증가시켰다. 예를 들어, 탈지대두박의 무처리구의 라디칼 소거능은

11.6%이었으나, 원적외선을 15분간 조사한 경우에서 4.5배 증가하여 53.1%의 활성을 나타내었다. 원적외선 조사에 의한 라디칼 소거능의 증가는 40분까지 유지하였으나 60분간 처리한 경우는 45.4%로 감소하였다. 또한, 일반 열처리구도 탈지대두박 추출물의 항산화능을 향상시켰는데, 150°C에서 15분간 열처리하였을 때 65.2%로 가장 높은 활성을 보였다.

이상의 결과는 Table 1의 총 페놀함량의 결과와 매우 유사한 경향을 보였다. 이는 탈지대두박의 라디칼 소거능은 페놀 화합물과 밀접한 관계가 있으며, 원적외선 처리와 일반 열처리에 의한 페놀 화합물의 증가로 탈지대두박의 항산화능을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

환원력의 변화. 환원력은 항산화력과 밀접한 관계에 있으며, 일반적으로 reductone의 존재와 연관이 있다.²¹⁾ 다양한 탈지대두박의 메탄올 추출물의 환원력을 Table 3에 나타내었다. 무처리구의 환원력은 0.068(흡광도)을 나타낸 반면, 원적외선 조사 및 열처리를 15분간 한 경우에 각각 0.147, 0.160으로 증가하였다. 그러나, 원적외선 조사와 열처리 시간이 20분 이상으로 길어지면 환원력은 감소하는 경향을 나타내었다. 환원력의 분석 결과는 Table 1, Table 2의 총페놀 함량 및 라디칼 소거능과 비슷한 경향을 보였다.

이상의 결과로 원적외선 조사와 열처리는 탈지대두박의 항산

화능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 항산화능의 변화는 페놀 화합물의 변화와 유사한 경향을 보이며, 원적외선 조사 및 열처리는 탈지대두박의 메탄올 추출물의 페놀 함량을 증가시킬 수 있었다. 탈지대두박은 식품 소재로 널리 이용되고 있어 원적외선 조사나 열처리 같은 적당한 전처리 과정을 통하여 기능성을 향상시킬 수 있으리라 기대한다.

초 록

원적외선 조사 및 일반 열처리가 탈지대두박의 항산화능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 150°C에서 각각 5, 10, 15, 20, 40 그리고 60분간 처리한 후, 메탄올 추출물을 제조하여 총 페놀함량, DPPH 라디칼 소거능 그리고 환원력을 측정하였다. 이들 측정 결과, 무처리구 31.62 mg/ml, 11.6%, 0.068에 비해 원적외선을 150°C에서 15분간 조사한 처리구는 각각 57.51 mg/ml, 53.1%, 0.147로 증가하였다. 한편, 150°C에서 15분간 일반 열처리한 시료의 경우는 각각 58.04 mg/ml, 65.2%, 0.160로 증가하였다. 그러나 원적외선 조사 및 일반 열처리를 20분간 이상하면 점차 감소하는 경향을 보였다. 이상의 결과는 적당한 조건에서의 원적외선과 열처리 조사가 탈지대두박에 존재하는 페놀 화합물의 추출을 촉진하며 항산화능을 향상시킴을 의미한다.

Key words: 탈지대두박, 원적외선 처리, 열처리, 항산화 활성

감사의 글

본 연구는 2005학년도 경남대학교 학술논문게재연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Liu, K. (2000) Expanding soybean food utilization. *Food Technol.* **54**, 46-58.
- Kwon, H. J. (1999) Bioactive compounds of soybean and their activity in angiogenesis regulation. *Korea Soybean Digest* **16**, 63-68.
- Hayes, R. E., Bookwalter, G. N. and Bagley, E. B. (1977) Antioxidant activity of soybean flours and derivatives-A review. *J. Food Sci.* **42**, 1527-1632.
- Naim, M., Gestetner, B., Zilkah, S., Birk, Y. and Bondi, A. (1974) Soybean isoflavones. characterization, determination, and antifungal activity. *J. Agric. Food Chem.* **22**, 806-810.
- Sangor, M. R. and Pratt, D. E. (1974) Lipid oxidation and fatty acid changes in beef combined with vegetables and textured vegetable protein. *J. Am. Diet. Assoc.* **64**, 268-270.
- Marcure, R. (1962) The effect of some amino acids on the oxidation of linoleic acid and its methyl ester. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **39**, 97-101.
- Inoue, S. and Kabaya, M. (1989) Biological activities caused by far-infrared radiation. *Int. J. Biometeorol.* **33**, 145-150.
- Niwa, Y. and Miyachi, Y. (1986) Antioxidant action of natural health products and chinese herbs. *Inflammation* **10**, 79-91.
- Lee, S. C., Kim, J. H., Jeong, S. M. and Kim, D.R. (2003) Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of rice hulls. *J. Agric. Food Chem.* **51**, 4400-4403.
- Savage, W. D., Wei, J. W., Sutherland, J. W. and Schmide, S. J. (1995) Biologically active components in activation and protein insolubilization during heat processing of soybeans. *J. Food Sci.* **60**, 113-131.
- Barampama, Z. and Simare, R. E. (1994) Oligosaccharides, antinutritional factors and protein digestibility of dry beans as affected by processing. *J. Food Sci.* **59**, 833-837.
- Gutfinger, T. (1981) Polyphenols in olive oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **58**, 966-968.
- Blois, M. S. (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* **181**, 1199-1200.
- Oyaizu, M. (1986) Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine. *Jap. J. Nutr.* **44**, 307-315.
- SAS Institute. (1995) SAS/STAT User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shahidi, F. and Wanasundara, P. K. (1992) Phenolic antioxidant. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **32**, 67-103.
- Yu, B. P. (1994) Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. *Physiological Rev.* **74**, 139-162.
- Jeong, S. M., Kim, S. Y., Kim, D. R., Nam, K. C., Ahn, D. U. and Lee, S. C. (2004) Effect of seed roasting conditions on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *J. Food Sci.* **69**, 377-381.
- Herrmann, K. (1989) Occurrence and content of hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acid compounds in foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **28**, 315-347.
- Kang, M. H., Park, C. G., Cha, M. S., Seong, N. S., Chung, H. K. and Lee, J. B. (2001) Component characteristics of each extract prepared by different extract methods from by-products of *Glycyrrhiza uralensis*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **30**, 138-142.
- Yoshino, M. and Murakami, K. (1998) Interaction of iron with polyphenolic compounds, application to antioxidant characterization. *Anal. Biochem.* **257**, 40-44.