

유기산이 두유박의 압착 탈수율에 미치는 영향

변유량 · 조원일* · 이윤수** · 권익부**

연세대학교 식품 · 생물공학과 및 생물산업소재연구센터
*제일제당(주) 건강식품연구소, **롯데그룹 중앙연구소

The Effect of Organic Acids on Dewatering Efficiency of Soybean Milk Residue by Hydraulic Press

Yu Ryang Pyun, Won Il Cho*, Yoon Su Lee** and Ick Boo Kwon**

Department of Food and Biotechnology and Bioproducts Research Center, Yonsei University
*Cheiljedang Corporation Foods R & D Center, **Lotte Group R & D Center

Abstract

The efficiency of dewatering of soybean milk residue was improved by hydraulic pressing after pH adjustment to 4.5 with organic acids such as acetic and lactic acids. Water content of raw soybean milk residue was reduced from 80% to 72% by pressing after pH adjustment, while only to 78% by the conventional hydraulic press. The water content of the residue after pH adjustment was further reduced to 63% by hydraulic pressing with ohmic heating. The pH adjustment facilitated separation of cake from the filter cloth and reduced the solid content of the expressed liquid from 10 to 3%.

Key words: soymilk residue, dewatering, ohmic heating

서 론

두유 및 두부 공장의 폐기물인 두유박을 단백질, 식이섬유 공급원과 같은 식품소재로 재이용하기 위하여 해결하여야 하는 선결 조건은 효율적인 탈수법의 개발이며, 다음은 경제적인 건조방법을 개발하여야 한다⁽¹⁻³⁾. 즉 두유박은 수분함량이 약 80%로 매우 높기 때문에 저렴한 기계적인 방법에 의하여 수분 함량을 가능한 만큼 감소시킨 후 건조하는 공정이 효율적일 것이다. 두유박의 탈수법은 일본에서 wire filter press, 고압 belt press, screw press 등으로 압착하는 기계적 탈수법이 연구되고 있으며⁽⁴⁾ 류⁽⁵⁾는 기계적 압착 후 extrusion cooking하는 방법을 연구하였다.

두유박은 단백질, 당질, 섬유, 유지와 물이 혼합된 에멀전으로서 안정하기 때문에 기계적 압착만으로는 효과적으로 탈수되지 않으며, 탈수율을 향상시키기 위해서는 에멀전을 파괴시키지 않으면 안된다⁽⁷⁾. 대두 단백질은 산성 아미노산이 많기 때문에 중성 부근에

서 단백질 성분의 많은 부분은 (-)전하를 가지므로 탈수 조작을 하기 전에 두유의 pH를 대두 단백질의 등전점 부근으로 조절함으로써 탈수 효율을 현저히 향상시킬 수 있음이 여러 연구자들에 의하여 제안되었다^(7,8). 탈수처리 후 두유박을 유효하게 이용하기 위해서는 전처리 방법에 자연히 제한을 받으며, 여과제나 응집제를 사용할 수 없다. pH 조절방법은 산 또는 알칼리를 첨가하는데 소요되는 경비가 허용하는한 제한을 받지 않으며, 또한 pH 조절에 의하여 살균되지는 않아도 저장성을 향상시킬 수 있다.

기계적 압착법 이외에 두유박이 가진 전기적 성질을 이용하여 두유박에 직류를 통하여 탈수하는 전기탈수법이 보고되었다⁽⁶⁾. 그러나 직류에 의하면 전기분해의 위험성이 있으며 직류전원이 별도로 필요로 하는 등 불리한 점이 있으므로 본 연구자들은 일반 상용 교류전원을 이용하여 두유박의 탈수율을 현저히 향상시키는 ohmic heating 탈수법을 개발하였다. 단순 기계적 압착만으로는 초기 수분 80%의 두유박을 수분 74~78%까지 감소시킬 수 있었으나 기계적 압착과 동시에 60 Hz, 100 V의 일반 교류를 통하여 ohmic heating한 결과 70%까지 탈수되어 탈수 효율이 현저

Corresponding author: Yu-Ryang Pyun, Department of Food and Biotechnology, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

히 향상되는 결과를 얻었다⁹⁾.

전술한 바와 같이 두유박에 유기산을 첨가하여 pH를 등전점 부근으로 조절함으로써 탈수율이 향상될 뿐 아니라 두유박의 저장성이 증가될 것으로 기대되며 또한 두유박의 전기 전도도가 증가되어 많은 Joule 열을 발생시킬 수 있어 탈수율이 더욱 향상되며 Joule 열에 의한 살균효과도 얻을 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 각종 유기산으로 두유박의 pH를 조절한 후 단순 압착했을 때와 ohmic heating과 병용했을 때 압착 효율에 미치는 영향을 연구하였다.

재료 및 방법

재료

시료로 사용한 두유박은 수분함량 79%, 조단백질 함량 32.4%, 조지방 함량 14.6%, 탄수화물 49.3%, 회분 함량 3.7%, pH 7.0인 L社 두유공장의 부산물이다. 최종 여과기에서 배출되는 약 86°C의 신선한 두유박을 채취하여 급냉시킨 후 약 5°C의 냉장고에 보관하여 신선한 상태로 시료를 유지시키면서 실험재료로 사용하였다.

방법

탈수 압착기는 전보⁹⁾에서 보고한 바와 같이 5~50 kg/cm² 정도의 압력을 낼 수 있는 유압식 압착기 (hydraulic press)를 부착하여 자체 제작하여 사용하였다. 압착 실린더의 다공판에 치즈 제조용 여과포를 덮고 시료 100~200 g을 채운 다음 다시 여과포를 덮은 후 유압 실린더를 밀어 올려 일정한 압력을 걸어주어 압착하였다.

탈수 효과는 압착 두유박의 수분함량 측정 또는 유압 실린더 하부로 배출되는 압착 즙액량으로 측정하였다. 시료는 무처리 상태 또는 시료에 여러가지 유기산 및 광산을 첨가하여 pH를 3.5~7 범위로 조절한 후 압착하였다.

압착 전후의 두유박의 수분함량은 60°C에서 진공건조하여 구하였으며, 시료 및 압착 두유박의 pH는 분석시료 10 g에 8배의 증류수를 부어 현탁상태로 만든 후 pH meter (model 420A, ORION, Japan)로 측정하였고, 압착 즙액의 pH는 바로 그 상태로 측정하였다.

온도 센서로는 1 mm 구리-콘스탄탄 열전쌍(T-type thermocouple, Omega Eng. Co.)과 서미스터 온도계를 사용하였다. 열전쌍을 이용한 온도 측정에서는 정확성을 기하기 위하여 센서의 전류를 amplifier (Omega Eng. Co.)로 증폭시킨 후 저역 filter를 거쳐 A/D con-

verter에서 digital 신호로 바꾸어 286 PC에 입력하였다. 전압, 전류 등 전기적 요소들은 digital multimeter (model 3500T, DM 303 TR, Korea) 2대를 사용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

시료의 pH 조절이 압착 탈수율에 미치는 영향

각종 유기산으로 두유박 시료의 pH를 3.5~7.0 범위에서 조절하였을 때 pH가 탈수 효과에 미치는 영향을 Fig. 1에 나타내었다. 초기 수분함량 78%, 두께 15 mm의 시료 130 g을 5 kg/cm²의 압력으로 10분간 압착하였을 경우 pH를 조절하지 않은 pH 7.0의 생두유박의 수분함량은 초기 수분함량에 비하여 1% 밖에 감소되지 않았다. 그러나 젖산으로 pH를 조절한 경우 pH가 저하됨에 따라 탈수효율은 증가되어 대두단백질의 등전점 부근에서 압착 두유박의 수분함량은 72%로 감소하여 탈수효과가 가장 우수하였다. pH 4.5 이하의 산성에서는 등전점을 벗어날수록 탈수효율이 감소하였다. 대두단백질의 대부분은 (-)전하를 띠고 있으나 pH 4.5 부근의 등전점에서는 전하가 0에 접근하여 등전점 이하의 산성에서는 (+)전하를 띠게 된다. 한편 대표적으로 젖산을 사용한 경우 pH 4.5에서 탈수율이 우수하므로 염산, acetic acid 및 citric acid를 사용하여 pH를 등전점인 4.5까지만 조절하여 탈수율을 측정 비

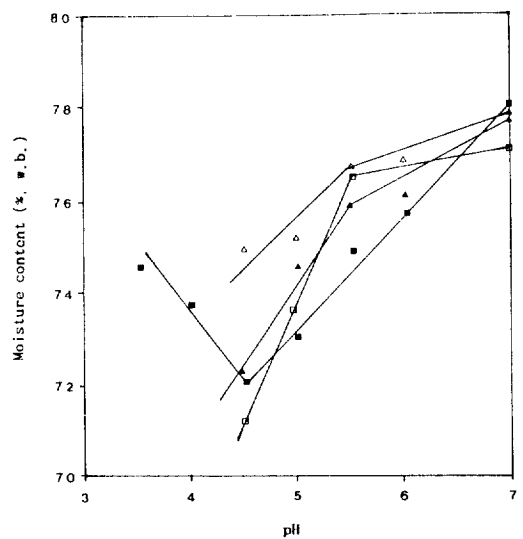


Fig. 1. Effect of pH on the moisture content of expressed cake of soybean milk residue dewatered by hydraulic expression △ : HCl, □ : Citric acid, ▲ : Acetic acid, ■ : Lactic acid

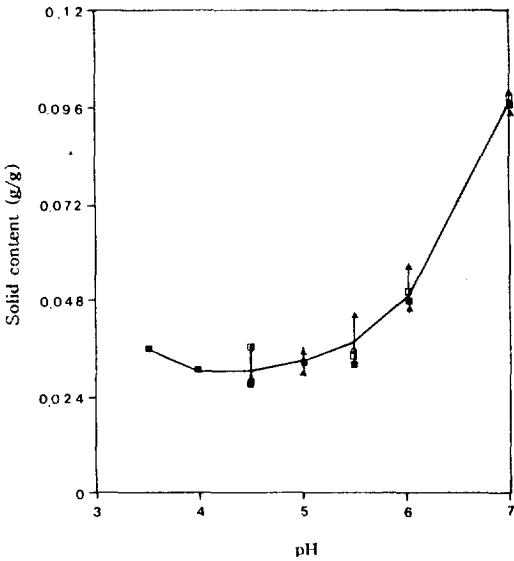


Fig. 2. Effect of pH on solid content of expressed liquid ▲ : HCl, ■ : Lactic acid, □ : Citric acid, △ : Acetic acid

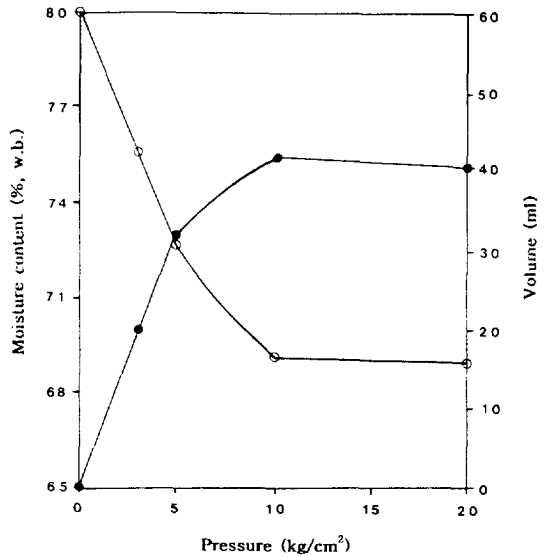


Fig. 3. Effect of pressure on the dewatering of soybean milk residue adjusted to pH 4.5 with acetic acid ○ : Moisture content of expressed cake ● : Volume of expressed liquid

교하였다. 염산과 같은 광산보다는 유기산이 효과적이었으며, pH 5.5까지는 탈수율이 완만히 저하되나 pH 5.5 이하에서는 급격히 감소하였다. pH 4.5에서 압착케이크의 수분함량은 71~72% 범위였다. 川出 등⁽⁸⁾은 pH 4~4.5의 산성 폐수와 두유박을 혼합하고 수증기 취입하여 80°C에서 10분간 가열한 후 압착 결과 압착 두유박의 수분함량을 75%까지 감소시킬 수 있었으며, 10일간 부패되지 않았다고 하였다. 또한 일본의 일부 두부공장에서는 두부 폐액을 1일 젖산발효하여 당류를 대폭 감소시킨 후 발효액을 두유박과 다시 혼합한 후 pH를 4부근으로 조정하여 roll press로 탈수하므로써 압착 두유박의 수분을 70~72%까지 저하시키는 공정을 채택하고 있다⁽⁹⁾.

한편 생두유박의 pH를 유기산으로 조절한 후 압착했을 때 얻어진 압착액의 고형분 함량을 Fig. 2에 나타내었다. pH를 조절하지 않은 경우 압착액의 고형분 함량은 약 10%인데 비하여 pH가 감소함에 따라 압착액의 고형분량은 약 3%까지 현저히 감소하였다. 이는 두유박의 pH를 등전점 부근으로 조절함으로써 대두 단백질이 응고되어 에멀전 구조가 파괴되어 순수한 물분자만의 이동이 용이해졌기 때문인 것으로 생각된다^(7,8). 한편 젖산의 경우 pH 4.5 이하에서는 고형분 함량이 점차적으로 증가하는 경향을 보였는데, 이는 등전점을 벗어남으로써 단백질이 전하를 띠기 때문인 것으로 생각된다.

생두유박의 pH를 acetic acid로 탈수가 가장 잘되는 pH 4.5로 조절한 후 압착했을 때 압력과 탈수 효과의 상관성을 검토한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 초기 두께 15 mm, 130 g의 두유박을 압착했을 때 압력이 증가됨에 따라 탈수량이 증가하여 10 kg/cm²일 때 압착즙액량 42 ml, 수분 함량 69%로서 가장 높은 탈수 효율을 나타내었으며, 그 이상의 압력에서는 거의 일정하였다.

한편 acetic acid로 두유박의 pH를 4.5로 조절함으로써 압착 두유박의 여과포로부터 박리성이 현저히 향상되어 여과포로부터 압착 케이크를 깨끗이 떼어 낼 수 있었다.

두유박의 pH 조절 후 ohmic heating을 이용한 압착 탈수

전술한 바와 같이 생 두유박에 유기산을 첨가하여 pH 4.5로 조정하므로써 압착효율이 현저히 향상되었으며, 또한 압착할 때 교류를 걸어 주면 압착 수율이 향상되었다⁽⁹⁾. 따라서 두유박을 유기산으로 pH 4.5로 조절한 후 ohmic heating하면서 압착하면 압착 탈수 효율이 더욱 향상될 것으로 기대된다. 초기 수분함량 78%의 두유박의 pH를 acetic acid와 lactic acid를 첨가하여 4.5로 조절한 후 압력 5 kg/cm²로 압착하면서 주파수 60 Hz인 상용교류를 전압을 달리하여 주었을 때

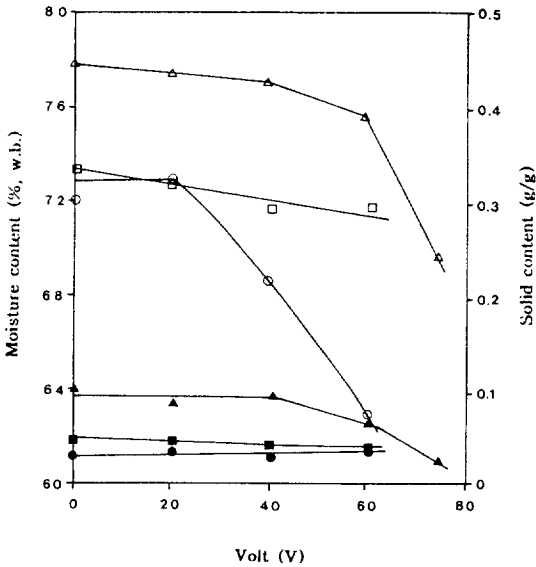


Fig. 4. Effect of voltage of alternating current on the dewatering of soybean milk residue by hydraulic expression with ohmic heating Open: Moisture content of expressed soybean milk residue, Closed: Solid content of expressed liquid, \triangle \blacktriangle : Raw sample (pH 7.0), \square \blacksquare : Sample adjusted to pH 4.5 with lactic acid, \circ \bullet : Sample adjusted to pH 4.5 with acetic acid

전압과 압착 효율의 관계를 살펴보았다. Fig. 4의 결과에 의하면 acetic acid 첨가 때의 탈수 효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. Acetic acid를 첨가한 경우 전압이 20 V이상으로 증가함에 따라 탈수율이 현저히 증가하여 60 V일 때 압착 두유박의 수분 함량은 63%까지 저하되어 평형압착 수분함량 60%에 접근하였다. Lactic acid의 경우에는 전압이 증가되어도 압착 효율이 크게 향상되지 않았다.

한편 유기산을 첨가하여 pH를 조절한 후 압착하면서 ohmic heating했을 때 두유박의 평균 전기 전도도의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서와 같이 acid를 첨가하여 pH 4.5로 조절함으로써 이온 성분의 함량이 늘어나 시료의 전기 전도도가 약 2배 정도 증가하였다.

전압을 변화시키면서 10분간 ohmic heating 탈수했을 때 시료의 최종 온도를 Fig. 6에 나타내었다. 산을 첨가하지 않은 생시료일 경우 60 V일 때 약 95°C에 도달하였으나 산 첨가로 pH를 조절한 경우 40 V의 낮은 전압에서 급격한 온도 상승을 나타내어 약 95°C에 도달하였다. 이와 같은 현상은 전술한 바와 같이 산 첨가에 의하여 두유박의 전기 전도도가 현저히 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 산 첨가 교

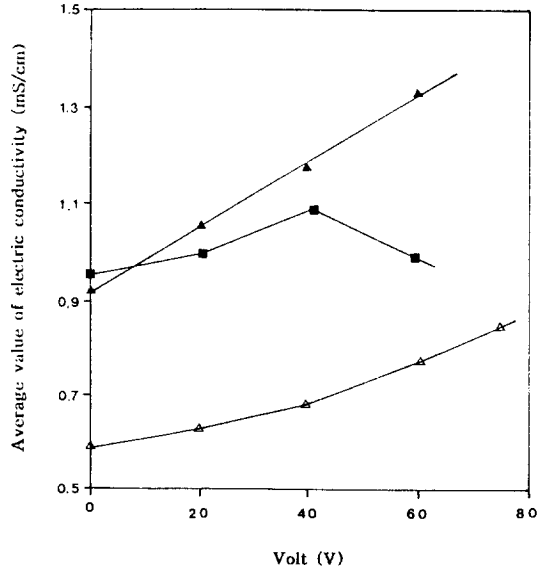


Fig. 5. Change in electric conductivity of soybean milk residue during hydraulic expression with ohmic heating \triangle : Raw sample (pH 7.0), \blacksquare : Sample adjusted to pH 4.5 with lactic acid, \blacktriangle : Sample adjusted to pH 4.5 with acetic acid

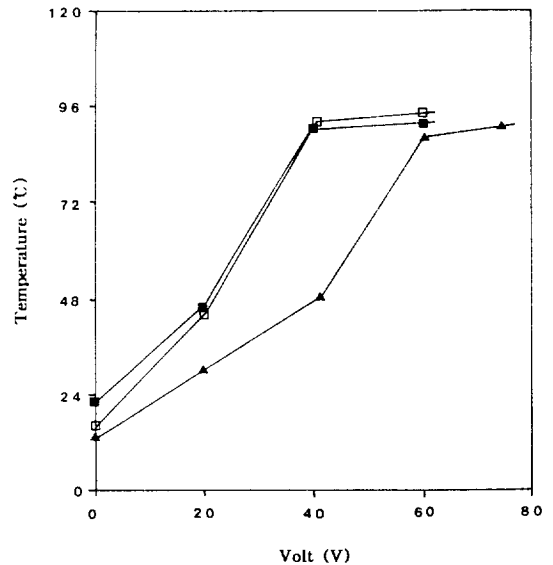


Fig. 6. Change in temperature of soybean milk residue during hydraulic expression with ohmic heating \triangle : Raw sample (pH 7.0), \blacksquare : Sample adjusted to pH 4.5 with lactic acid, \blacktriangle : Sample adjusted to pH 4.5 with acetic acid

류 압착 탈수법은 pH 저하에 따른 부패 미생물의 생육 억제에 따른 저장성 증가 효과 이외에 급속 가열에 의한 살균 효과도 거둘 수 있다. 이러한 보존성 향상

효과를 알아보기 위해 생두유박과 처리한 시료들을 무균 petridish에 2/3만큼 평평하게 채워넣은 다음 PE 필름으로 밀봉한 후 상온에서 저장 기간별로 색상, 취, 맛 등의 관능적 요소의 변화를 관찰하였다. 무처리의 두유박은 하루 방치 후 심한 부패 현상을 보이는데 반하여 산 첨가 교류 압착 두유박은 일주일 이상 보관하여도 부패취, 변색 등의 미생물에 의해 부패 현상이

관찰되지 않아 현저한 저장성 증가를 쉽게 확인할 수 있었다.

두유박의 pH를 lactic acid로 3.7로 조절한 후 5 kg/cm²에서 교류 압착 탈수를 할 때 압착 시간에 따른 탈수 효과를 Fig. 7에 나타내었다. 압착탈수 시간 2분에서 5분 사이 탈수 효과는 증가하는데 비해 압착즙액량이 일정한 이유는 산 첨가에 의하여 전기전도도가 증가하여 발생하는 Joule열의 발생량이 증가하여 이로 인해 수분이 수증기 형태로 계속 제거되었기 때문이다. 직류전원에 의하여 여과면적 130 cm², 탈수압력 0~5 kg/cm², 전압 0~200 V, 전류 0~30 A의 조건에서 전기침투 탈수 실험한 기초자료에 의하면 가압에 의한 탈수는 pH가 낮을수록 빨리 진행되었으며 두유박은 최대 수분함량 64.9%까지 전기침투 탈수가 가능하였고, acetic acid를 첨가하면 전기전도도가 증가하므로 전압을 낮추어 줄 수 있으며, 압착케이크의 여과포로부터 박리성이 향상되는 것으로 보고되었다⁽¹⁰⁾.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, Table 1에 나타낸 것과 같이 수분 함량 79%의 생두유박 130 g을 여과면적 90 cm², 5~20 kg/cm²의 압력으로 10분간 단순히 기계적 압착만 하였을 때 수분 함량은 75~77%로서 거의 탈수되지 않았으며, 5 kg/cm², 10분간의 가압조건으로 동일량의 시료를 기계적 압착과 동시에 60 Hz, 75 V의 전원으로 ohmic heating했을 때는 수분함량이 약 70%로 감소되어 압착 효율이 향상되었다. 한편 두유박의 pH를 acetic acid로 4.5로 조절한 후 10 kg/cm²의 압력으로 10분간 압착했을 때는 pH를 조절하지 않고

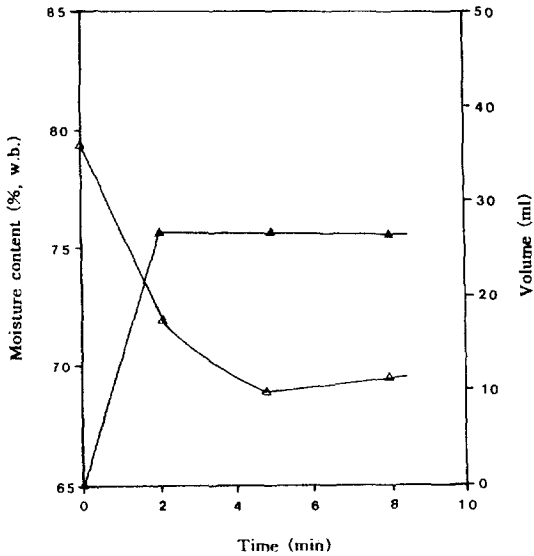


Fig. 7. Dewatering profile of soybean milk residue adjusted to pH 3.7 with lactic acid during hydraulic expression with ohmic heating \triangle : Moisture content of expressed cake, \blacktriangle : Volume of expressed liquid

Table 1. The comparison of dewatering effect of hydraulic expression with and without ohmic heating and pH adjustment

Method	Measuring value	Moisture content of expressed cake (%)	Volume of expressed liquid (ml)	Solid content of expressed liquid (%)
Hydraulic expression		74.5~77.9	5.0~13.3	10.4
Hydraulic expression + ohmic heating		69.8	12.0	3.3
Hydraulic expression + pH adjustment to 4.5 with acetic acid		69.2	40.0	2.9
Hydraulic expression + ohmic heating + pH adjustment to 4.5 with acetic acid		63.1	24.0	3.8

ohmic heating했을 때와 거의 동일한 수준으로 탈수되었으며, 두유박의 pH 조절과 동시에 60 Hz, 60 V로 ohmic heating하면서 5 kg/cm²의 압력으로 10분간 압착하였을 때 두유박의 수분함량은 63%까지 감소하여 생두유박 총수분함량의 약 1/2이 탈수되는 우수한 결과를 보였다.

요 약

두유 공장의 부산물로 생산되는 두유박의 효율적인 탈수 방법을 개발하기 위하여 유기산 첨가에 의한 pH 조절, 압착조건, ohmic heating 등이 탈수 효과에 미치는 영향을 연구하였다.

두유박 시료의 pH를 유기산을 이용하여 3.5~7.0 범위에서 조절하였을 때 대두 단백질 등전점인 pH 4.5 근방에서 탈수 효과가 가장 우수하여 함유율 70~72%까지 탈수되었으며, 압착액의 고형분 함량은 3%까지 현저히 감소하였으며, 여과포로부터의 박리성도 향상되었다. Acetic acid로 두유박의 pH를 4.5로 조절한 후 압착했을 때 압착 압력이 10 kg/cm²일 때 수분 함량은 69%까지 감소되었으며, 그 이상의 압착압력에서는 일정하였다. 생두유박의 pH를 acetic acid로 4.5로 조절한 후 60 V, 60 Hz의 교류전류를 통하면서 5 kg/cm²의 압력으로 10분간 압착했을 때 수분함량은 63%까지 탈수되었으며, 탈수시간도 단축되었다. 또한 우수한 탈수효과 이외에도 Joule열에 의해 중심부 온도가 95~

100°C까지 상승하므로 살균 효과도 거둘 수 있어 저장성이 현저히 증가하였다.

문 헌

1. 정성수, 장호남, 박무영 : 압착여과와 열풍에 의한 비지의 건조. 한국식품과학회지, **10**, 1 (1978)
2. Suzuki, K., Fujigami, A., Kubota, K. and Hosaka, H.: Drying of Okara in a vibro-fluidized bed dryer. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **27**(8), 23 (1980)
3. 김우정, 김동희, 오훈일 : 용매처리에 의해 건조된 두유 비지의 이화학적성질에 관한 연구. 한국식품과학회지, **16**, 261(1984)
4. 古谷伊之助 : 豆乳の抽出殘渣を乾燥する方法. 日本國特許 昭60-9461, 149 (1985)
5. 川野隆嗣 : 豆腐製造工程からの副生資源の利用技術. 食品機械裝置, **30**(3), 55 (1993)
6. 류기형 : 압출성형공법을 이용한 비지의 처리 및 중간소 재식품화. 한국콩연구회지, **12**(2), 43 (1995)
7. 編東郭 : おからの處理法について. 食品と開發, **24**(5), 64 (1990)
8. 川出啓之 : 大豆抽出殘渣の處理法. 日特許公報, 平2-58908
9. 조원일, 변유량, 이윤수, 권익부 : Ohmic heating을 이용한 두유박의 압착탈수. 한국식품과학회지, **28**, 324 (1996)
10. 森矣孝郎 : 大豆加工副産物高度利用研究開發事業報告書, 食品産業センタ, 東京 (1992)
11. 변유량, 조원일, 권익부, 이윤수, 이윤수 : 콩비지의 처리 방법, 공고번호 95-12614 (1995)

(1995년 12월 30일 접수)