J. Korean Soc. Food Nutr.
24(5), 785~789(1995)

참기름의 회분식 착유의 최적화

민용규† · 정헌상
충북대학교 식품공학과

Optimization of Batch Expression of Sesame Oil

Young-Kyoo Min† and Heon-Sang Jeong
Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea

Abstracts

In order to optimize the batch expression of sesame oil, recovery of expressed oil (REO) from roasted and unroasted sesame seeds were observed at different temperature, pressure, pressing duration and moisture content, and relationship between REO and effects of expression factors were analysed. REO was high at 2.5~4.5% moisture content, 30~50°C and 30~50MPa, and decreased abruptly with increasing moisture content above 4.5 %. The optimum temperature, pressure, pressing duration and moisture content were 40.1°C, 54.4MPa, 21.7 min and 1.3% for unroasted seeds and 44.4°C, 37.8MPa, 14.4min and 2.52% for roasted seeds, respectively. REO in optimum condition was 84.6% in unroasted seed and 81.7% in roasted seed. From the statistic analysis between effects of expression factors and REO, importance of their effects was decreased in the order of moisture content, pressure, temperature and pressing duration. And also interaction effects were high in pressure×moisture content, temperature×moisture content and temperature pressure. The multiple regression equation between REO (Y) and temperature (T), pressure (P), moisture content (M), and pressing duration (D) were as follows ; $Y=18.20+35.66P+24.52M-4.45P^2-1.20TM-4.02PM-6.62M^2$, $r^2=0.89$ for unroasted sesame seed, $Y=117.93+16.40P-58.61M-2.75P^2+1.79TM-1.65PM+7.16M^2$, $r^2=0.91$ for roasted sesame seed.

Key words : sesame seed, oil expression, recovery of expressed oil

서 론

참기름은 우리나라의 전통적인 식용유로 지방질의 섭취기능 보다는 조미 · 향신료로 쓰이며(1) 그 선호도가 높고 가격이 비싸기 때문에 일반적으로 그 향미를 보전하기 위하여 압착 착유하여 식용으로 한다. 최근 현대식 착유정제 공장이 설립되어 상업적 규모로 생산되기 이전 까지 대부분 가내 공업적으로 착유되고 있어(2) 착유조건은 과학적이기 보다는 대부분 경험적으로 설정되고 있다.

기름의 추출율에 영향을 미치는 요인들에는 유지종자의 수분 함량, 크기, 껍질 함량, 전처리 유무, 압착케이크의 두께, 압착 시간, 압착 압력 및 압착 압력의 증가속도 등 여러 가지가 있으며, 이들의 영향을 연구하면 실제로 착유공정에서 높은 추출율을 올릴 수 있다(3). 이와 관련된 연구로 콩기름(4), 해바라기씨기름(5,6), Conophor Nut 기름(7), 유채기름(8), Canola 기름(9), 땅콩기름(10-12), 코코넛기름(13), 면실유(14), 미강유(15) 등의 압착착유에 관여하는 여러 가지 압착 요인의 영향을 연구하였으며, 농산물 압축의 이론적 분석(16), 유지종자 내부의 기름흐름 기작을 유체흐름 공식으로 해석하려는 연구(17,18)와 데치기와 전기쇼크에 의한 추출율 향상 연구(19) 등 많은 연구가 진행되었다. 그러나 국내에서는 들기름의 압착착유에 관한 연구(21,22) 외에는 찾아보기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 참기름의 추출에 관여하는 여러 가지 압착 요인이 기름의 추출율에 매우 크게 작용할 것에 착안하여 참깨의 수분 함량, 압착 온도, 압착 압력 및

†To whom all correspondence should be addressed

압착 시간 별로 기름의 추출율을 측정하고 압착 요인과의 상호관계를 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 참깨 (*Sesamum indicum*)는 충북 청원군에서 재배된 것으로 시중에서 구입하여 선별, 수세 과정을 거친 후 건조하여 생참깨로 사용하였고 볶은 참깨는 회전배소기 (Rotary roaster)에서 140°C로 20분간 볶아서 사용하였다. 시료의 조지방 함량은 54%였으며, 비중은 1.044이었다. 1회 착유시 사용되는 시료 15g의 압착기구 내에서의 순수 부피는 14.37cm³이었고 시료의 높이는 23.67mm이었다.

착유장치 및 기구

착유장치는 민 등(21,22)이 사용한 Instron (Model 1350)이었으며, 착유기구는 스테인레스 스틸로 실린더와 바닥판을 만들고 나사로 연결하였다. 실린더의 내경은 27.8mm이었으며, 시료를 지지해 주는 디스크에는 직경 2mm의 구멍을 50개 뚫었고 고형물의 유출을 방지하기 위해 60mesh 망을 2장씩 넣어 착유하였다.

압착조건

압착 온도는 민 등(21)과 같은 방법으로 압착기구에 heating jacket를 부착하여 30, 40, 50 및 60°C (±2°C)로 조절하였으며, 압착압력은 Instron(Model 1350)으로 10, 30, 50 및 70MPa로 조절하였다. 압착시간은 정해진 압력에 도달한 후 부터 5, 7, 9 및 11분, 시료의 수분 함량은 전술한 시료에 적당량의 증류수를 첨가하여 3~4°C의 냉장고에서 시료 전체가 평형수분 함량에 도달하도록 7일간 저장하면서 2.5, 4.5, 6.5 및 8.5% (w.b., 0.2%)로 조절하였다.

착유방법

수분 함량이 조절된 참깨 15g을 압착기구의 실린더에 넣고 온도를 조절한 후 Instron으로 정해진 압력으로 조절한 다음 정해진 압착 시간 별로 압착하였다.

기름의 추출율

각각의 압착 조건에서 참깨의 착유 전 총 조지방과 착유 후의 잔여 조지방과의 차로서 기름의 추출율을 계산하였다.

통계분석

압착 요인과 착유된 기름의 추출율과의 관계를 통계 프로그램 (SAS, Statistical Analysis System)을 이용하여 분석하였으며, 최적 조건은 반응표면분석 (RSREG, Response Surface Regression)으로 결정하였다.

결과 및 고찰

기름의 추출율

수분 함량이 조절된 생참깨와 볶은 참깨를 압착기구에 넣고 온도를 조절한 다음 압력을 일정하게 증가시키며 압착하였다. 이때 수분 함량 및 압력에 따른 기름의 추출율을 온도 및 압착 시간 별로 측정하였으며, 압착시간을 5, 7, 9 및 11분으로 증가시켜도 기름의 추출율의 변화는 들깨 (21)와 마찬가지로 작았기 (약 2%) 때문에 압착 시간 11분에서의 추출율만을 Table 1에 나타내었다. 압착 온도 30°C에서 압착 압력에 따른 생참깨의 추출율은 압력을 10에서 50MPa로 증가시킴에 따라 8.6~15.1% 증가하지만 50에서 70MPa로 증가시키면 0.6~3.5% 감소하여 압력이 낮은 곳에서 변화가 컸는데 이러한 현상은 압력이 높아짐에 따라 참깨 조직이 유출구를 막아 기름의 유출을 방해하기 때문이라 생각된다. 볶은 참깨의 추출율도 생참깨와 유사한 경향을 나타내었지만 압력에 따른 변화가 생참깨에 비해 작았는데 이는 열처리에 따른 세포파괴 및 열변성에 기인된 결과라 생각된다. 생참깨의 추출율은 수분 함량을 2.5에서 4.5%로 증가시키면 2~5.2% 증가하지만 4.5에서 8.5%로 증가시키면 24.9~47.9% 감소하였다. 볶은 참깨의 추출율은 수분 함량이 증가할수록 본 실험의 압력에서 모두 감소하였다. 이러한 수분 함량의 영향에 대하여 Filhes (20)는 수분은 구형 씨앗의 친수성 표면에서 기름을 제거시키는 작용에 의해 추출율을 증가시킨다고 보고하였으나 아직 수분의 중요 작용 메카니즘은 확실하게 밝혀지지 않았다. 생참깨는 수분 함량이 8.5%, 볶은 참깨는 6.5와 8.5%에서 50MPa 이상이 되면 압착케이크가 디스크의 구멍을 통해 밀려나와 기름의 추출율을 측정하지 못하였데 이는 온도와 수분의 상호작용의 영향이라 생각되는데 수분을 많이 함유한 시료의 조직이 약해지고 온도 증가에 따라 수분의 팽압이 증가하였기 때문이라 생각된다.

압착 온도 40°C에서 생참깨에 대한 압력의 영향은 30°C와 유사하게 나타났지만 수분 함량의 영향은 다르게 나타났다. 즉 추출율은 수분 함량 2.5%가 4.5% 보다

Table 1. Recovery of expressed oil with different expression conditions at 11 min of pressing duration (%)

Temp. (°C)	Moisture (%)	Pressure (MPa)							
		Unroasted sesame seed				Roasted sesame seed			
		10	30	50	70	10	30	50	70
30	2.5	62.5	69.9	74.8	74.5	71.5	75.1	77.5	70.0
	4.5	61.7	75.1	76.8	76.2	54.3	63.5	54.6	50.6
	6.5	43.3	51.6	51.9	48.4	15.9	22.0	–	–
	8.5	20.0	27.2	–	–	7.9	11.2	–	–
40	2.5	68.9	77.5	79.3	78.9	62.1	76.3	75.2	74.4
	4.5	64.6	75.8	78.3	76.7	52.8	54.7	54.1	53.0
	6.5	44.8	47.9	49.3	–	15.6	16.8	–	–
	8.5	12.4	20.0	–	–	9.1	14.0	–	–
50	2.5	62.0	74.9	78.9	74.0	66.3	82.2	77.2	76.3
	4.5	64.9	74.0	76.4	75.7	38.4	40.7	39.1	–
	6.5	36.8	46.9	48.2	–	13.7	15.2	–	–
	8.5	12.6	19.5	–	–	9.0	15.7	–	–
60	2.5	65.4	75.4	78.3	80.1	64.2	67.9	66.4	65.7
	4.5	63.3	73.5	76.4	77.8	30.3	34.6	33.6	–
	6.5	33.3	36.1	44.1	–	10.9	15.2	–	–
	8.5	15.2	22.2	–	–	9.3	16.2	–	–

1~4.5% 많았으며, 수분 함량을 4.5% 이상으로 증가시키면 추출율은 급격히 감소하였다. 압착케이크가 밀려나오는 때는 수분 함량이 6.5% 보다 많고 압력이 50 MPa 보다 클 때였다. 압착온도 60°C에서는 다른 온도와는 달리 70MPa에서 가장 높은 추출율을 보였으며, 압력별 차이도 다른 온도에 비하여 크게 나타났다.

콩(4)은 수분 함량 9.5~10%, 땅콩(12)은 10~12%, 코코넛(13)은 11~12%, 미강(15)은 10%, 들깨(22)는 6.5%에서 최대 추출율을 얻었다고 보고되었지만 참깨는 2.5~4.5%일 때 최대 추출율을 얻었다. 이러한 차이점은 유지종자의 특성으로 나타나는 결과(3)라 생각되는데 유지종자의 크기, 껍질의 강도, 유지종자의 세포구성 차이 그리고 압착 조건과 수분 함량과의 상호작용이 그 원인이었으리라 생각된다.

각각의 온도에서 추출율은 압착 시간 11분에서 가장 크게 나타났다. 생참깨의 최대 추출율은 60°C, 70MPa, 수분 함량 2.5%에서 80.12%이었으며, 30°C에서는 50 MPa, 수분 함량 4.5%일 때 76.8%, 40 및 50°C에서는 50MPa, 수분 함량 2.5%에서 각각 79.3, 78.9%이었다. 볶은 참깨의 최대 추출율은 50°C, 50MPa, 수분 함량 2.5%에서 82.2%이었으며, 30°C에서는 50MPa, 수분 함량 2.5%일 때 77.5%, 40과 60°C에서는 50MPa, 수분 함량 2.5%에서 각각 76.3% 및 67.9%이었다.

이상의 결과를 종합해 보면 생참깨는 수분 함량 2.5~4.5%, 40~50°C, 30~50MPa일 때, 볶은 참깨는 수분 함량 2.5%, 30~40°C, 10~30MPa일 때 추출율이 높았다. 수분 함량이 4.5% 이상이 되면 추출율은 압력별로 급격히 감소하였으며 수분 함량 6.5% 이상, 온도 40°C 이상이 되면 압착케이크가 밀려나와 착유가 이루어지지 못하였다. 이러한 결과에서 참깨의 압착에 관여하는 물리적 성질 중 온도와 수분은 추출율에 대해 서로 반대의 관계가 있으며, 생참깨와 볶은 참깨의 차이는 열처리에 의한 구조적 변화가 그 원인이었으리라 생각된다.

통계분석

생참깨의 압착 착유에 관여하는 압착 요인과 기름의 추출율과의 관계를 분산분석한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같이 압착 요인의 단일효과 및 상호작용 효과는 압착 시간, 온도×압착 시간, 압력×압착 시간, 압착 시간×수분 함량을 제외하고는 모두 1%이내의 높은 유의성이 있었다. 단일 효과 중 기름의 추출율에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 수분 함량이었으며 그 다음으로는 압력, 온도 순이었다. 상호작용 효과는 단일 효과 보다는 적은 영향을 미치고 있지만 그 중 가장 큰 영향을 미치는 요인은 압력×수분 함량이었으며 그 다음으로는 온도×수분 함량, 온도×압력 순이었다. 볶은 참깨에 대한 분산분석 결과(Table 3) 생참깨와 마찬가지로 기름의 추출율에 가장 큰 영향을 미치는 것은 수분 함량이었으며 그 다음으로는 압력과 온도 순이었

Table 2. Analysis of variance of expression factors for recovery of expressed oil from unroasted sesame seeds

Variation	DF	Sum of squares	Mean square	F-Value
T[a]	3	755.1	251.9	13.3 **
P[b]	3	5968.9	1989.6	104.0 **
D[c]	3	101.6	33.9	1.8
M[d]	3	181544.6	60518.2	3163.5 **
T×P	9	875.6	97.3	5.1 **
T×D	9	0.4	0.0	0.0
T×M	9	3382.1	375.8	19.6 **
P×D	9	3.9	0.4	0.1
P×M	9	15805.9	1756.2	91.8 **
D×M	9	11.4	1.3	0.1
Model	66	208459.0	3158.5	165.1 **

[a]Temperature (°C), [b]Pressure (MPa), [c]Pressing duration (min), [d]Moisture content (%), **p<0.01

Table 3. Analysis of variance of expression factors for recovery of expressed oil from roasted sesame seeds[1]

Variation	DF	Sum of squares	Mean square	F-Value
T	3	4110.8	1370.3	85.6 **
P	3	6706.3	2235.4	139.6 **
D	3	36.2	12.1	0.8
M	3	184009.9	61336.6	3830.9 **
T×P	9	767.8	85.3	5.3 **
T×D	9	0.4	0.0	0.0
T×M	9	9022.8	1002.5	62.8 **
P×D	9	3.0	0.3	0.0
P×M	9	4865.9	540.9	33.8 **
D×M	9	11.7	1.3	0.1
Model	66	209534.9	3174.8	198.3 **

[1]Refer to Table 2 for abbreviations

고 그 영향은 생참깨 보다 컸다. 압착 시간은 생참깨와 마찬가지로 영향을 미치지 못하였다. 상호작용 효과는 온도×수분 함량이 컸으며, 그 다음으로 압력×수분 함량의 효과이었다. 그 외에는 생참깨와 유사하였다. 들깨 (21,22)와 비교해 보면 들깨는 단일 효과 중에 압력의 영향이 가장 크게 나타났지만 참깨는 수분 함량이 가장 큰 영향을 미쳤다. 이러한 현상은 유지종자의 물리적 특성의 차이에 따른 결과라 생각된다 (3). 상호작용 효과는 들깨와 마찬가지로 온도×수분 함량과 압력×수분 함량이 컸다.

압착 요인과 기름의 추출율 사이의 상관관계를 분석한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 생참깨 및 볶은 참깨의 압착요인 중 수분 함량과 기름의 추출율과의 상관계수는 각각 -0.88, -0.89로 수분 함량이 증가할수록 기름의 추출율은 감소하는 부의 상관을 보였다 ($p<0.01$). 또한 온도와 압력은 부의 상관을 그리고 압착 시간은 정의 상관을 보였지만 유의성은 없었다.

Table 4. Correlation coefficient between expression factors and recovery of expressed oil form unroasted and roasted sesame seeds[1]

Samples	T	P	D	M
Unroasted seed	-0.06	-0.06	0.02	-0.88**
Roasted seed	-0.14*	-0.13*	0.01	-0.89**

[1]Refer to Table 2 for abbreviations
*p<0.05, **p<0.01

압착 요인과 기름의 추출율 간의 회귀분석 결과 다음과 같은 관계가 있었다.

생참깨 :

$Y=18.20+35.66P+24.52M-4.45P^2-1.20TM-4.02PM-6.62M^2$ ($r^2=0.89$)

볶은 참깨 :

$Y=117.93+16.40P-58.61M-2.75P^2+1.79TM-1.65PM+7.16M^2$ ($r^2=0.91$)

여기서 Y는 기름의 추출율, T는 온도, P는 압력, D는 압착 시간, M은 수분 함량 그리고 r^2은 중상관계수이다. 위의 회귀식에서 보는 바와 같이 생참깨와 볶은 참깨의 기름의 추출율은 압력과 수분 함량이 가장 큰 영향을 미치는 중요한 요인이었으며, 수분 함량×온도 및 수분 함량×압력의 상호작용 효과도 중요하게 나타났다. 그러나 압착 시간은 영향을 미치지 못하였다.

각각의 압착 조건과 그 때의 기름의 추출율과의 관계를 반응표면 분석을 실시하고 최적 조건을 구한 결과 생참깨는 압착 온도 40.1°C, 압착 압력 54.4MPa, 압착 시간 21.7분, 수분 함량 1.3%이었으며, 볶은 참깨는 44.4 °C, 37.8MPa, 14.4분, 2.52%이었으며, 최적 조건에서의 추출율은 생참깨와 볶은 참깨가 각각 84.6, 81.7%이었다.

요 약

참기름의 회분식 압착 최적화와 압착요인들의 상호관계를 구명하기 위하여 생참깨와 볶은 참깨를 온도 (30, 40, 50, 60°C), 압력 (10, 30, 50, 70MPa), 압착 시간 (5, 7, 9, 11min) 및 수분 함량 (2.5, 4.5, 6.5, 8.5%) 별로 압착하였다. 추출율은 수분 함량 2.5~4.5%, 30~50°C, 30~50MPa일 때 높았으며, 수분 함량을 4.5% 이상으로 증가시키면 급격히 감소하였다. 최적 조건은 생참깨가 온도 40.1°C, 압력 54.4MPa, 압착 시간 21.7분, 수분 함량 1.3%이었으며, 볶은 참깨는 각각 44.4°C, 37.8MPa, 14.4분, 2.52%이었다. 최적 조건에서의 추출율은 생참

깨가 84.6%, 볶은 참깨가 81.7%이었다. 통계분석 결과 수분 함량이 기름의 추출율에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 그 다음으로는 압력, 온도 순이었다. 상호작용 효과는 압력×수분 함량, 온도×수분 함량, 온도×압력의 영향이 컸다. 온도(T), 압력(P), 압착 시간(D) 및 수분 함량(M)과 기름 추출율(Y) 간에는 생참깨가 $Y=18.20+35.66P+24.52M-4.45P^2-1.20TM-4.02PM-6.62M^2$, $r^2=0.89$, 볶은참깨가 $Y=117.93+16.40P-58.61M-2.75P^2+1.79TM-1.65PM+7.160M^2$, $r^2=0.91$의 관계를 보였다.

문 헌

1. 신효선 : 한국 유지산업의 전망. 한국식품과학회지, **18**, 19 (1985)
2. 이준식 : 식용유지 가공공정기술의 현황과 발전방향. 식품과학과 산업, **23**, 31 (1990)
3. Baily, A. E. : Industrial oil and fat product. 4th ed., Interscience, p.175 (1982)
4. Khan, L. M. and Hanna, M. A. : Expression of soybean oil. *Transaction of the ASAE*, **27**, 190 (1984)
5. Singh, M. S., Frasaie, A., Stewart, L. E. and Douglass, L. W. : Development of mathematical models to predict sunflower oil expression. *Transaction of the ASAE*, **27**, 1190 (1984)
6. Farsaie, A. and Singh, M. S. : Energy models for sunflower oil expression. *Transactions of the ASAE*, **28**, 275 (1985)
7. Fasina, O. O. and Ajibola, O. O. : Mechanical expression of oil from conophor nut (Tetracarpidium Conophorum). *J. Agric. Engng. Res.*, **44**, 275 (1989)
8. Sukumaran, C. R. and Singh, B. P. N. : Compression of a bad of rapeseeds : The oil-point. *J. Agric. Engng. Res.*, **42**, 77 (1989)
9. Vivek, S. V. and Sosulski, F. W. : Mechanics of oil expression from canola. *JAOCS*, **65**, 1169 (1988)
10. Sivakumaran, K., Goodrum, J. W. and Bradley, R. A. : Expeller optimization for peanut oil production. *Transactions of the ASAE*, **28**, 316 (1985)
11. Sivakumaran, K. and Goodrum, J. W. : Influence of internal pressure on performance of a small screw expeller. *Transactions of the ASAE*, **30**, 1167 (1987)
12. Hammonds, T. W., Harris, R. V. and Head, S. W. : The effect of water on the extraction of oil from groundnut paste using a plate press. *Tropical Science*, **31**, 65 (1991)
13. Hammonds, T. W., Harris, R. V. and Head, S. W. : The influence of moisture content on the expression of oil from fresh, great coconut. *Tropical Science*, **31**, 73 (1991)
14. Koo, E. C. : Studies on expression on vegetable oils. Expression of soya bean oil. *J. Chem. Engr.(China.)*, **4**, 15 (1937)
15. Sivala, K., Vasudeva Rao, V., Sarangi, S., Mulcherjee, R. K. and Bhole, N. G. : Mathematical modeling of rice bran oil expression. *J. Food Process Engng.*, **14**, 51 (1991)
16. Faborode, M. O. and O'Callaghan, J. R. : Theoretical analysis of the compression of fibrous agricultural materials. *J. Agric. Engng. Res*, **35**, 175 (1986)
17. Shirato, M., Sambuichi, M., Kato, H. and Aragaki, T. : Internal flow mechanism in filter cakes. *AICHE J.*, **15**, 405 (1969)
18. Mrema, G. C. and McNalty, P. B. : Mathematical model of mechanical oil expression from oil seeds. *J. Agric. Engng. Res.*, **31**, 361 (1985)
19. McLellan, M. R., Kime, R. L. and Lind, L. R. : Electroplasmolysis and other treatments to improve apple juice yield. *J. Sci. Food Agric.*, **57**, 303 (1991)
20. Filhes, A. : Influence of physio-chemical factors in extraction. *Oleagineux*, **5**, 705 (1950)
21. 민용규, 정헌상 : 온도와 압력이 들깨종자의 압착착유에 미치는 영향. 한국식품과학회지, **25**, 28 (1993)
22. 민용규, 정헌상 : 들깨종자의 압착착유에 미치는 온도와 수분함량의 상호작용 효과. 한국농화학회지, **37**, 14 (1994)

(1995년 6월 20일)