

농산부산물을 이용한 식용유지 정제용 흡착제 개발

최 은 수¹ · 길 복 임^{2*}

¹명지대학교 기계공학과, ²안양대학교 식품영양학과

Development of Adsorbents for Edible Oil Refining using Agricultural Byproducts

Eunsoo Choi¹ and Bogim Gil^{2*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Myong-ji University, Yongin 449-728, Korea

²Dept. of Food and Nutrition, Anyang University, Anyang 430-714, Korea

Abstract

The purpose of this study was the development of adsorbents for the refining of edible oil using agricultural byproducts such as rice hull, barley hull, and soybean hull as well as evaluation of their adsorptive effects against free fatty acids and lutein, the major impurities of soybean oil. Ash-type and carbon-type adsorbents were produced from the hulls. Ash-type adsorbents such as rice hull ash (RHA), barley hull ash (BHA) and soybean hull ash (SHA) were effective for the removal of free fatty acids; the acid value of degummed soybean oil was decreased by 86% upon treatment with 5% SHA. However, carbon-type adsorbents such as rice hull carbon (RHC), barley hull carbon (BHC), and soybean hull carbon (SHC) were effective for removing lutein, resulting in a 52% decrease in the lutein content of degummed soybean oil upon treatment with 5% SHC. Whereas ash-type adsorbents were composed of mesopores or macropores with small surface areas and total pore volume, carbon-type adsorbents were mainly composed of micropores with large surface areas and total pore volume.

Key words : Adsorbents, edible oil, free fatty acid, lutein.

서 론

유지 원료에서 추출된 원유(crude oil) 중에는 식용으로 사용하기에 부적합한 유리지방산, 인지질, 검질, 단백질, 색소체, 콜레스테롤, 스테롤, 탄화수소, 케톤, 알데하이드 등의 각종 미량 성분들이 콜로이드상의 확산 상태로서 원유 중에 함유되어 있다(Erickson *et al* 1980). 이러한 미량성분들을 효과적으로 분리·제거하여 식용유로서의 이용가치를 높이고 품질을 향상시키면서 최종 정제 식용유로 만들기 위해서는 유지 정제 공정이 필요하다. 원유 중에 함유되어 있는 각종 미량 성분들은 일반적으로 단계별 정제 공정인 탈검, 탈산, 탈색, 탈취 공정을 거치면서 제거된다. 탈검공정에서는 인지질, 검질, 스테롤 등이 제거되고, 탈산 공정에서는 유리지방산, 유용성 인지질, 착색 성분, 금속염 등이, 탈색 공정에서는 색소와 금속 화합물 등이 제거되며, 탈취 공정에서는 잔존하는 유리지방산, 색소뿐만 아니라 불검화물과 불필요한 냄새 성분 등이 제거된다.

현재 상업적으로 사용되는 탈산 공정은 가성소다를 첨가하여 유지 중의 유리지방산을 비누 형태로 만들어 원심분리

하여 제거한 후, 유지 중에 잔류하는 비누 성분은 수세 공정을 거쳐 물로 씻어 내게 되는데, 유지 중에 수분을 혼재시킴으로써 유지의 산화 안정성을 저하시키는 문제점을 가지고 있다(Snyder & Kwan 1987). 새로운 탈산 공정의 하나가 탈검유에 흡착제를 첨가하여 유리지방산을 제거하려는 시도이다(Yates *et al* 1997). 흡착제를 이용하면 수세 공정을 생략할 수 있어 유지 내로 수분이 혼입되는 것을 근본적으로 차단할 수 있으며, 부수적으로 색소 성분이나 금속 화합물, 인지질 등도 함께 제거되므로 탈색 공정을 경미하게 처리할 수 있는 장점이 있으므로 유지 정제 공정이 단순화되고 비용도 절감될 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 현재 식용유지의 탈산공정에 흡착제가 사용되지 않고 있는데, 그 이유는 공정에 사용되는 금속 실리케이트 등의 흡착제가 주로 수입에 의존해야 하는 고가의 제품이기 때문이다.

경제적인 식품용 흡착제는 실리카를 다량 함유하고 있으면서도 가격이 싸고 환경친화적인 소재일 경우 경쟁력을 가질 수 있는데, 이러한 소재 중의 하나가 바로 왕겨, 보리외피, 두류외피 등의 농산부산물이다. 이런 외피에는 회분이 13~21% 들어 있는데 회분의 거의 90% 이상이 실리카 성분이다(Kalapathy *et al* 2000). 외피에 실리카 성분이 다량 함유되어 있음에도 불구하고 지금까지 산업용 소재로 널리 이용되지

* Corresponding author : Bogim Gil, Tel : +82-31-467-0919, Fax : +82-31-463-1371, E-mail : gilbg@anyang.ac.kr

못한 것은 미네랄 실리케이트에 비해 그 효율이 60% 정도로 낮기 때문이었다(Kamath & Proctor 1998). 이에 본 연구는 농산부산물인 곡류 및 두류 외피에 적당한 열처리 및 활성화처리를 하여 다양한 크기의 다공성 표면을 가진 회화재 및 활성탄 형태의 흡착제를 제조하여 식용유지의 불순물인 유리지방산과 색소 성분인 lutein에 대한 흡착 효과를 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료

농산부산물은 국내 생산량이 많은 왕겨, 보리외피와 식용유 착유시 부산물로 생산되는 대두외피를 실험에 사용하였다. 왕겨는 경기도의 미곡종합처리장, 보리외피는 전남 보성농협, 대두외피와 탈검유는 (주)신동방으로부터 제공받았다.

본 연구에서 개발한 흡착제와의 비교실험을 위해 상업적으로 판매되는 흡착제인 실리카 (70~230 mesh, Merck)와 활성탄(8~32 mesh, Yakuri pure chemicals, Ltd)을 구입하여 사용하였다.

2. 흡착제 제조

1) 회화재

Kim *et al*(2008)의 방법에 따라 농산부산물을 waring blender를 이용하여 일정한 크기(1.0~2.0 mm)로 분쇄하고 전기로에서 탄화시킨 후 500℃ 회화로에서 10시간 동안 회화시켰다. 왕겨, 보리외피, 대두외피를 이용하여 만든 회화재를 RHA(rice hull ash), BHA(barley hull ash), SHA(soybean hull ash)로 각각 명명하였다.

2) 활성탄

일정한 크기(1.0~2.0 mm)로 분쇄하고 110℃ oven에서 건조시킨 농산부산물을 흑연 보트에 담아 튜브형 전기로에 넣고 질소가스를 100 mL/min으로 흘려보내면서 상온에서 700℃까지 10℃/min으로 승온시키고, 700℃에서 2 h 동안 1차 탄화시켰다. 탄화시료와 활성화제 KOH의 비율이 1:2가 되도록 하여 탄화시료 50 g을 활성화제 수용액에 침적시킨 후, 110℃ oven에서 overnight 건조시키고 흑연 보트에 담아 질소가스를 100 mL/min으로 흘려보내면서 850℃까지 10℃/min으로 승온시키고, 이 온도에서 3 h 동안 유지하면서 2차 탄화시켰다. 실온으로 냉각시킨 후 증류수로 씻어 여분의 KOH를 제거한 후 110℃ oven에서 overnight 건조시켜 사용하였다. 왕겨, 보리외피, 대두외피를 이용하여 만든 활성탄을 RHC(rice hull carbon), BHC(barley hull carbon), SHC(soybean hull carbon)로 각각 명명하였다.

3. 흡착제 처리

탈검 대두유 100 g을 250 mL 삼각플라스크에 넣고 흡착제를 각각 0, 1, 2, 3, 4, 5%씩 정확히 넣었다. 시료를 넣은 삼각플라스크를 32℃ shaking incubator에서 240 rpm으로 30분간 교반한 후 30분간 정치시켰다. 여과지(Whatman No. 41)를 통과시켜 흡착제를 제거한 대두유는 질소 충전하여 -70℃에 보관하면서 실험에 사용하였다.

4. 산가 및 루테인 함량

유지의 산가는 AOCs Cd 3a-63 방법(AOCS 1990)으로 측정하였다. 시료 10.0±0.05 g을 정확히 취해 isopropanol : toluene (1:1, v/v) 혼합 용액 125 mL와 섞은 후 isopropanol에 녹인 1% phenolphthalein 용액 2 mL를 지시약으로 사용하여 표정화한 0.1 N KOH 용액으로 적정하였다. 다음 식에 따라 산가를 계산하였다.

$$\text{Acid valu(mg KOH/g oil)} = \frac{(S-B) \times N \times 56.1}{W}$$

S : 실험에서 소비된 KOH

B : 대조 실험에서 소비된 KOH

N : KOH의 농도 계수

W : 시료의 무게, g

유지의 주된 색소인 lutein 함량은 Proctor & Harris(1996)의 방법을 변형하여 측정하였다. 흡착제로 처리한 유지 0.7±0.005 g을 정확히 취하여 클로로포름과 메탄올을 3:1(v/v)로 섞은 용매 5 mL와 잘 혼합한 뒤 UV-visible spectrophotometer로 445 nm에서 흡광도를 측정하였다. 정확한 농도는 standard curve를 이용하여 계산식으로 구하였다.

5. 흡착제의 세공 분포

흡착제의 비표면적 및 세공구조는 자동 흡착 장치(Micro-metrics ASAP2020 volumetric system, Norcross, GA)를 사용하여 77K에서 N₂ 가스 흡착 자료로부터 구하였다. 질소가스의 흡착과 탈착을 이용하여 측정하는 비표면적은 P/P₀를 0.075, 0.1, 0.125로 잡고 Braunauer-Emmet-Teller(BET) 방법(Braunauer *et al* 1938)으로 구하였고, 미세 세공(micropore)의 부피 및 세공 분포(pore size distribution)는 Horvath-Kawazoe (HK) 방법(Rouquerol *et al* 1999)에 의해 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 흡착제 종류별 유리지방산 제거 효과

분말 상태의 흡착제를 탈검유에 1~5% 처리하여 유리지

방산에 대한 흡착 효과를 분석하였다. 흡착제 처리 농도를 증가시키더라도 계속적으로 비례하여 흡착 효과가 증가하는 것이 아니며 식용 유지도 흡착제에 흡수되어 손실이 커지므로 예비실험을 거쳐 흡착 효율도 좋고 유지 손실도 최소화할 수 있는 처리 농도인 5%를 흡착제 최대 처리 농도로 이용하였다. 또한 본 연구에서는 주로 유리지방산과 색소 성분인 루테인의 제거 효과를 알아보는 것이 목적이므로 미리 탈검공정으로 인지질 성분을 제거한 탈검유를 공급받아 사용하였다. 회화재 형태의 흡착제인 왕겨회화재(RHA), 보리외피 회화재(BHA), 대두외피 회화재(SHA) 및 실리카의 유리지방산 제거 효과는 Fig. 1과 같다. 본 연구에서 개발한 회화재 형태의 흡착제는 주성분이 실리카이므로(Kalapathy *et al* 2000) 상업적으로 판매되는 흡착제 중 실리카를 구입하여 유리지방산 흡착능을 비교하였다.

회화재 처리 농도가 증가할수록 유리지방산 흡착 효과도 증가하여 대두유의 산가가 감소하였는데, SHA와 BHA의 유리지방산 흡착 효과가 컸고, RHA와 실리카의 효과는 작았다. SHA와 BHA는 5% 처리시 탈검 대두유의 산가를 82~86% 감소시키는데 비해 RHA는 29%, 실리카는 19% 감소시켰다.

곡류나 대두 외피를 500℃ 정도의 고온에서 회화시키면 세포구조가 팽창, 붕괴되어 무질서한 비결정의 구조로 바뀌어 흡착 효과가 증가한다(Hong *et al* 2000, Proctor A 1990). Gnanasambandam & Proctor(1997)는 어떤 처리도 거치지 않은 대두외피보다는 삶거나 가열한 대두외피가 식용유지 중의 유리지방산이나 과산화물에 대해서 더 큰 흡착 효과를 보이지만 색소 물질은 흡착하지 않는다고 보고하였다.

활성탄 형태의 흡착제인 왕겨 활성탄(RHC), 보리외피 활성탄(BHC), 대두외피 활성탄(SHC) 및 상업용 활성탄의 유리

지방산 제거 효과는 Fig. 2와 같다. 본 연구에서 개발한 활성탄 이외에 상업적으로 판매되는 흡착제 중 상업용 활성탄을 구입하여 유리지방산 흡착능을 비교하였다. 회화재 형태의 흡착제 처리와 달리 활성탄 형태의 흡착제는 처리 농도를 증가시켜도 유리지방산 흡착 효과가 증가하지 않았다. RHC는 5% 처리시 탈검 대두유의 산가를 16%, BHC와 SHC는 8~10% 감소시켰으나 상업용 활성탄은 거의 영향을 주지 않았다.

따라서 흡착제 종류에 따른 식용 유지 중의 유리지방산에 대한 흡착 효과는 활성탄 형태의 흡착제보다 회화재 형태의 흡착제가 뛰어나며, 회화재 형태 중에서도 SHA와 BHA가 RHA보다 흡착 효과가 더 좋았다. 또한 본 연구에서 제조된 회화재 형태의 흡착제는 기존에 흡착 효과가 우수한 것으로 알려진 실리카보다도 유리지방산 제거 효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다.

2. 흡착제 종류별 Lutein 제거 효과

회화재 형태의 흡착제인 왕겨회화재(RHA), 보리외피 회화재(BHA), 대두외피 회화재(SHA) 및 실리카의 lutein 제거 효과는 Fig. 3과 같다. 실리카의 처리 농도가 증가할수록 탈검 대두유의 lutein 함량도 감소하여 5% 처리시 약 25% 감소 효과가 나타났다. RHA, BHA, SHA는 5% 처리 농도에서 약 7~8%의 미미한 감소 효과를 보였다. 반 실활성탄 형태의 흡착제의 경우, 5% 처리 농도에서 RHC는 56%로 가장 큰 흡착 효과를 보였으며, BHC는 41%, SHC는 52%, 상업용 활성탄은 49%의 lutein 함량 감소를 나타냈다(Fig. 4). 따라서 lutein에 대한 흡착 효과는 회화재 형태의 흡착제보다 활성탄 형태의 흡착제가 훨씬 뛰어나다는 것을 알 수 있었다.

식용유지 정제과정 중 상업적 탈색 공정에서는 고온 감압

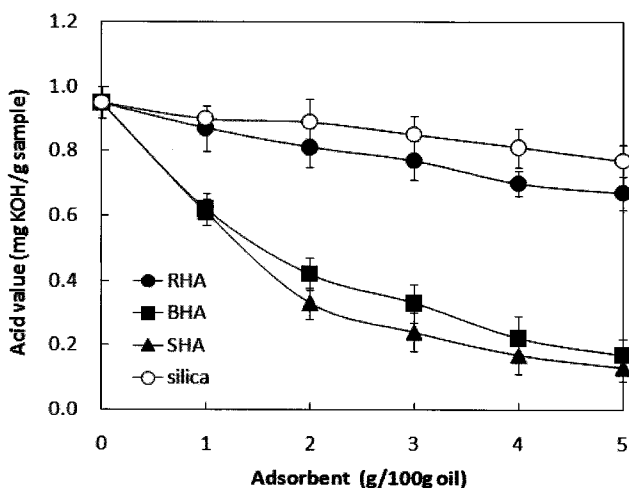


Fig. 1. The effect of ash type adsorbents on the acid value of degummed soybean oil according to the concentration of adsorbents.

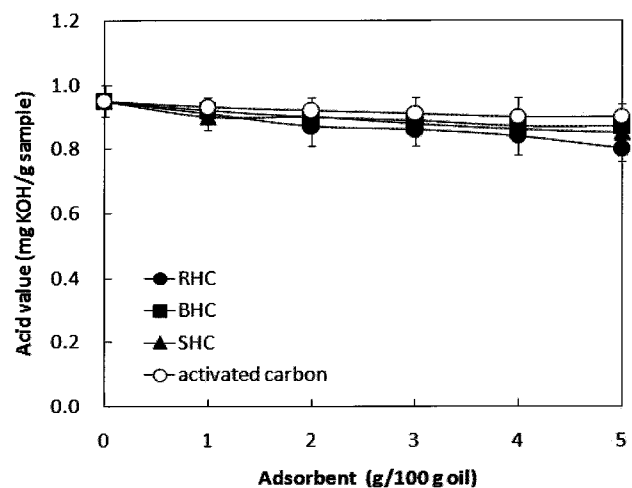


Fig. 2. The effect of carbon type adsorbents on the acid value of degummed soybean oil according to the concentration of adsorbents.

하에서 주로 활성백토나 활성탄 등의 흡착제를 이용하여 색소물질을 제거한다(Patterson HBW 1992). Ribeiro *et al*(2001)에 의하면 crude olive oil에 활성백토와 활성탄을 처리했을 때 색소 성분은 잘 흡착된 반면, 유리지방산의 흡착 효과는 낮았으며, 활성백토보다는 활성탄의 흡착능이 더 우수함을 보고하였다.

3. 흡착제의 세공분포

회화재 형태 및 활성탄 형태의 흡착제들의 세공을 분석하여 비표면적과 미세 세공 부피 및 전체 세공 부피, 평균 세공 지름 등을 Table 1에 제시하였다. 회화재 형태의 흡착제인

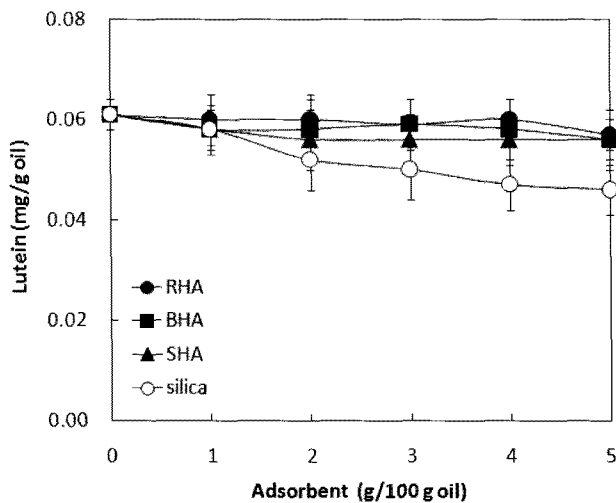


Fig. 3. The effect of ash type adsorbents on the lutein content of degummed soybean oil according to the concentration of adsorbents.

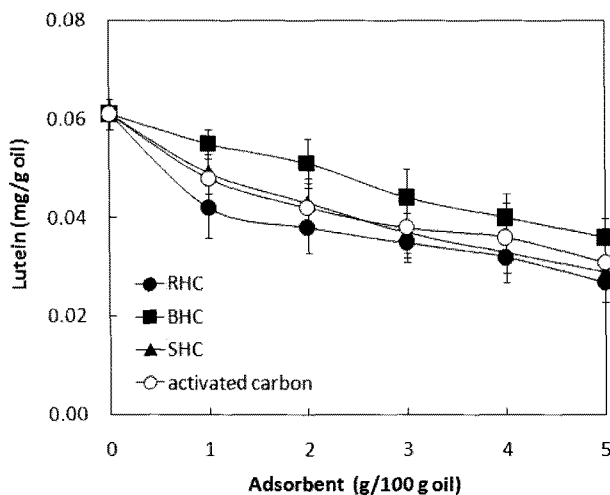


Fig. 4. The effect of carbon type adsorbents on the lutein content of degummed soybean oil according to the concentration of adsorbents.

RHA, BHA, SHA는 비표면적이 16~27 m²/g로 활성탄 형태의 흡착제인 RHC, BHC, SHC의 비표면적인 1,165~1,672 m²/g보다 현저히 작았다. 상업용 활성탄의 비표면적은 활성탄 형태의 흡착제에 가까운 1,253 m²/g이었지만 실리카의 비표면적은 활성탄 형태의 흡착제보다는 작지만 회화재 형태의 흡착제 보다는 큰 345 m²/g를 보였다.

흡착제들의 전체 세공 부피는 비표면적 결과와 유사하게 나타났는데 회화재 형태의 흡착제들의 0.07~0.11 cm³/g에 비해 활성탄 형태의 흡착제들은 0.54~0.67 cm³/g으로 6~8배 정도 더 컸다. 상업용 활성탄의 전체 세공 부피는 0.56 cm³/g로 다른 활성탄 형태의 흡착제들과 비슷하였지만, 실리카는 0.37 cm³/g으로 활성탄 형태의 흡착제들보다는 작았지만, 회화재 형태의 흡착제 중 가장 큰 값을 보이는 SHA의 0.11 cm³/g보다도 더 큰 값을 보였다.

흡착제의 세공은 크기에 따라 미세 세공(<20Å), 중간 세공(20~500Å), 거대 세공(>500Å)으로 분류한다(Daud & Ali 2004). 미세 세공 부피는 전체 세공 부피 값이 클수록 증가하는데 Table 1에서 특이한 것은 전체 세공 부피에 대한 미세 세공 부피의 비(V_{mi}/V_{tot})가 회화재 형태의 흡착제에서는 11~14%로 낮았고, 상업용 활성탄을 포함한 활성탄 형태의 흡착제는 71~79%로 높은 값을 보였다. 즉, 회화재 형태의 흡착제들의 세공은 미세 세공보다는 중간 세공이나 거대 세공으로 이루어졌지만, 활성탄 형태의 흡착제들은 주로 미세 세공으로 이루어졌음을 알 수 있다. 이는 Table 1의 평균 세공 지름에서도 알 수 있듯이 회화재 형태의 흡착제들의 평균 세공 크기는 137~189Å로 중간 세공 영역에 해당되지만, 활성탄 형태의 흡착제들의 평균 세공의 크기는 20~22Å로 미세 세공 영역에 근접해 있음을 알 수 있다. 실리카의 전체 세공 부피에 대한 미세 세공 부피의 비(V_{mi}/V_{tot})는 46%로 회화재 형태의 흡착제들보다는 크지만, 활성탄 형태의 흡착제들보다는 작으며, 평균 세공 지름도 101Å으로 중간 세공 영역에 속하나 회화재 형태의 흡착제들보다는 세공 크기가 작은 것으로 나타났다.

흡착제에 화학적 처리나 물리적 처리를 통하여 비표면적이나 세공 부피를 증가시키면 흡착능도 비례하여 증가한다(Farook & Ravendran 2000). 그러나 본 연구에서는 흡착제의 세공의 크기에 따라 흡착되는 물질의 종류가 달라짐을 알 수 있다. 회화재 형태의 흡착제들은 비표면적과 전체 세공 부피는 작으나 세공의 크기가 큰 중간 세공이나 거대 세공으로 주로 이루어져 있어 이런 특성이 Fig. 1, 2의 결과에서 볼 수 있듯이 유지 중에 불순물로 함유되어 있는 유리지방산 흡착과 관련이 있는 것으로 보인다. 이는 유리지방산과 같은 식품 성분은 미세 세공이 아닌 보다 큰 세공에 쉽게 접근하여 흡착된다는 Aygun *et al*(2003)의 보고와도 일치한다. 반면에 색소 성분인 lutein은 회화재 형태의 흡착제 처리에서는 거의

Table 1. Surface area, pore volume and average pore diameter calculated by the BET equation and the *t*-plot

Sample		BET surface area (m ² /g)	Pore volume(cm ³ /g)			Avr. pore diameter (Å)
Type	Name		Total(<i>V</i> _{tot})	Micro(<i>V</i> _{mi})	<i>V</i> _{mi} / <i>V</i> _{tot} (%)	
Ash	RHA	16	0.07	0.008	11	188.8
	BHA	20	0.08	0.011	14	165.4
	SHA	27	0.11	0.014	13	136.8
Carbon	RHC	1,672	0.67	0.51	76	21.4
	BHC	1,165	0.54	0.43	79	22.1
	SHC	1,400	0.65	0.46	71	20.6
Commercial	Activated carbon	1,253	0.56	0.41	73	32.5
	Silica	345	0.37	0.17	46	101.4

감소 효과가 없고 활성탄 형태의 흡착제에서 감소 효과를 보인 것으로 보아, 미세 세공에 흡착되는 특성이 있는 것으로 보인다. 따라서 흡착제를 이용하여 식용 유지를 정제할 때는 회화재 형태와 활성탄 형태의 흡착제들을 혼합하여 사용하면 유리지방산과 lutein을 동시에 제거할 수 있을 것이다. 그동안 발표된 선행 연구들은 주로 왕겨를 단순 탄화나 회화시켜 식용 유지의 유리지방산 등을 흡착시켜 제거하는 연구였다. 본 연구에서는 왕겨뿐만 아니라 보리의피와 대두의피에 대해서도 최적의 회화 조건과 활성탄 제조 조건을 적용하여 생산한 회화재 형태와 활성탄 형태의 흡착제를 이용하여 식용 유지의 유리지방산과 색소 성분인 루테인을 흡착 제거하였다. 또한 흡착제의 비표면적과 세공 분포를 분석하여 세공 크기에 따른 흡착 효능의 차이를 규명하고자 하였다. 그러나 좀 더 자세한 흡착 특성을 규명하기 위해서는 향후 흡착제 표면의 작용기 및 그들의 정전기적 변화에 대한 연구가 요구된다.

요 약

본 연구는 농산부산물인 왕겨, 보리의피, 대두의피에 적당한 열처리 및 활성화 처리를 하여 다양한 크기의 다공성 표면을 가진 회화재 및 활성탄 형태의 흡착제를 제조하여 식용 유지의 불순물인 유리지방산과 색소 성분인 lutein에 대한 흡착 효과를 살펴보았다. 회화재 형태의 흡착제인 왕겨 회화재(RHA), 보리의피 회화재(BHA), 대두의피 회화재(SHA)는 처리 농도가 증가할수록 유리지방산 흡착 효과도 증가하여 대두유의 산가가 감소하였는데 SHA와 BHA의 유리지방산 흡착 효과가 컸고 RHA와 실리카의 효과는 작았다. SHA와 BHA는 5% 처리시 탈검 대두유의 산가를 82~86% 감소시킨데 비해 RHA는 29%, 실리카는 19% 감소시켰다. 회화재 형태의 흡착제 처리와 달리 활성탄 형태의 흡착제인 왕겨 활성탄

(RHC), 보리의피 활성탄(BHC), 대두의피 활성탄(SHC)은 처리 농도를 증가시켜도 유리지방산 흡착 효과가 증가하지 않았다. RHC는 5% 처리시 탈검 대두유의 산가를 16%, BHC와 SHC는 8~10% 감소시켰으나, 상업용 활성탄은 거의 영향을 주지 않았다. 흡착제 종류별 lutein 제거 효과에서는 회화재 형태의 흡착제의 경우 7~8%의 미미한 감소를 보인 반면, 활성탄 형태의 흡착제의 경우 5% 처리 농도에서 RHC는 56%로 가장 큰 흡착 효과를 보였고, BHC는 41%, SHC는 52%, 상업용 활성탄은 49%의 lutein 함량 감소를 나타냈다. 따라서 lutein에 대한 흡착 효과는 회화재 형태의 흡착제보다 활성탄 형태의 흡착제가 훨씬 뛰어난 것을 알 수 있었다. 회화재 형태의 흡착제들은 비표면적과 전체 세공 부피는 작으나 세공의 크기가 큰 중간 세공이나 거대 세공으로 주로 이루어져 있고, 이런 특성이 유지 중에 불순물로 함유되어 있는 유리지방산 흡착과 관련이 있는 것으로 보인다. 반면에 색소 성분인 lutein은 회화재 형태의 흡착제 처리에서는 거의 감소 효과가 없고 활성탄 형태의 흡착제에서 감소 효과를 보인 것으로 보아 미세 세공에 흡착되는 특성이 있는 것으로 보인다. 따라서 흡착제를 이용하여 식용유지를 정제할 때는 회화재 형태와 활성탄 형태의 흡착제들을 혼합하여 사용하면 유리지방산과 lutein을 동시에 제거할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 안식년 기간 중 연구되었습니다.

문 헌

- AOCS (1990) *Official Methods and Recommended Practices* (4th ed.). American Oil Chemists' Society, Illinois, USA.
Aygün A, Yenisoğlu-Karakas S, Duman I (2003) Production of

- granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials* 66: 189-195.
- Braunauer S, Emmette P, Teller E (1938) Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society* 60: 309-319.
- Daud WMAW, Ali WSW (2004) Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell. *Bioresource Technology* 93: 63-69.
- Erickson DR, Pryde EH, Brekke OL, Mounts TL, Falb RA (1980) Handbook of soybean processing and utilization. American Soybean Association and American Oil Chemists' Society, USA. pp 89-104.
- Farook A, Ravendran S (2000) Saturated fatty acid adsorption by acidified rice hull ash. *J Am Oil Chem Soc* 77: 437-440.
- Gnanasambandam R, Proctor A (1997) Soy hull as an adsorbent source in processing soy oil. *J Am Oil Chem Soc* 74: 685-692.
- Hong Y, Proctor A, Shults J (2000) Acid-treated soy hull carbon structure and adsorption performance. *J Am Oil Chem Soc* 77: 785-790.
- Kalapathy U, Proctor A, Shultz J (2000) A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource Technology* 73: 257-262.
- Kamath SR, Proctor A (1998) Silica gel from rice hull ash: preparation and characterization. *Cereal Chemistry* 75: 484-487.
- Kim M, Yoon SH, Choi E, Gil B (2008) Comparison of the adsorbent performance between rice hull ash and rice hull silica gel according to their structural differences. *LWT-Food Science and Technology* 41: 701-706.
- Patterson HBW (1992) Bleaching and purifying fats and oil. Theory and practice. AOCS Press, Champaign IL, USA. pp 242-245.
- Proctor A (1990) X-ray diffraction and scanning electron microscope studies of processed rice hull silica. *J Am Oil Chem Soc* 67: 576-584.
- Proctor A, Harris CD (1996) Soy hull carbon as adsorbent of minor crude soy oil components. *J Am Oil Chem Soc* 73: 527-529.
- Ribeiro MHL, Lourenco PAS, Monterio JP, Ferreira-Dias S (2001) Kinetics of selective adsorption of impurities from a crude vegetable oil in hexane to activated earths and carbon. *Eur Food Res Technol* 213: 132-138.
- Rouquerol F, Rouquerol J, Sing KS (1999) Adsorption by powders and porous solids; principles, methodology and applications. Academic Press, London.
- Snyder EH, Kwan TW (1987) Soybean utilization. Van Nostrand Reinhold Company, New York. pp 104-129.
- Yates RA, Cadwell JD, Perkins, EG (1997) Diffuse reflectance fourier transform infrared spectroscopy of triglycerol and oleic acid adsorption on synthetic magnesium silicate. *J Am Oil Chem Soc* 74: 289-292.

접 수: 2010년 2월 9일
 최종수정: 2010년 5월 10일
 채 택: 2010년 5월 25일