

흑목이 버섯 다당류의 탈색에 사용된 활성탄으로부터 흑갈색 색소의 용매 침출 특성

김현민 · 허원 · 이신영*
강원대학교 생물공학과

Solvent Leaching Characteristics of Dark Brownish Pigment from Activated Charcoal used in Decolorization of Crude Polysaccharide from *Auricularia auricula*

Hyeon-Min Kim, Won Hur, and Shin-Young Lee*

Department of Bioengineering and Technology, Kangwon National University

Abstract

A dark brownish pigment in the crude polysaccharide from *Auricularia auricula* was adsorbed by activated charcoal. The leaching of the pigment adsorbed on activated charcoal and regeneration of activated charcoal used was investigated with eight kinds of solvents. The highest leaching capacity was obtained with the alkaline solution (KOH). The optimum volume of 1 M KOH solution per activated carbon was 45 mL/g, and the treatment for 10 min during single stage leaching was sufficient to achieve the leaching equilibrium. Second-order kinetic model provided the best fitting for the pigment leaching. The pigment leaching capacity of 88.9% was obtained by seven times of treatment with 1 M KOH solution at 25°C, while at 95°C, leaching capacity of 82.6% was achieved with single stage alone showing the significant increase of leaching capacity with increasing temperature. The regenerated activated charcoal was nearly as effective as fresh activated charcoal in pigment adsorption of crude polysaccharide from *Auricularia auricula*.

Key words: *Auricularia auricula*, activated carbon, solvent leaching, pigment, regeneration

서 론

일반적으로 색소물질은 동·식물 및 미생물 등의 각종 생물체에서 여러 목적으로 생성되며, 꽃의 경우는 종족보존을 위해 번식매개자를 유혹할 목적으로 색소를 만든다(Lee 2007, Grotewold 2006). 반면, 버섯을 포함한 미생물의 경우는 색소가 생존을 위한 방어물질로서 작용한다(Hunt & Fogel, 1983). 예로서, 흑곰팡이류가 생성하는 흑색 색소인 melanin의 경우는 버섯의 2차 대사산물로서, 1986년 구소련의 체르노빌 원전폭발 사건 당시, 유일하게 살아남은 버섯종에서 발견되었고, 이 색소물질이 극한 외부환경으로부터 개체를 보호하는 역할을 수행함이 밝혀졌다(Mironenko et al., 2000).

통상 생물체로부터 얻어지는 각종 색소물질은 그 기능과 사용목적에 따라 식품, 의류 및 화장품 소재 등으로 광범위하게 이용되고 있는데, 특히 최근에는 검은 색의 색소성분이 크게 주목받고 있다. 이는 과거에는 흑색이 상품가치의 하락 등을 이유로 제거되어야 하는 성분이었지만 점차 흑미, 검은 콩, 검은 깨, 흑마늘 등의 식품이용에서 볼 수 있는 바와 같이, 흑색성분의 강력한 항산화능이 밝혀짐으로써 오히려 흑색에 관심을 보이는 소비층이 늘어났기 때문이다(Chung & Lee, 2003).

이와 관련하여 흑색을 띠는 대표적 버섯의 하나인 흑목이 버섯(*Auricularia auricula*)은 오랫동안 식품소재로 사용되어왔음에도 불구하고 흑색성분에 대해서는 별로 보고된 바가 없다. 따라서 최근의 흑색소 성분에 대한 높은 관심이나 소비육구 추세에의 대응 측면은 물론, 향후 흑목이 버섯의 산업적 이용의 확대나 용도를 개발하기 위해서 검토의 필요성이 있다.

그동안 Kim et al.(2009)은 흑목이 버섯 자실체로부터 열수추출에 의해 다당 분획물을 얻었으며, 이 다당의 정제율을 높이기 위해 활성탄을 이용한 흡착실험으로 색소성분

Corresponding author: Shin-Young Lee, Department of Bioengineering and Technology, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea
Tel: +82-33-250-6273; Fax: +82-33-243-6350
E-mail: sylee@kangwon.ac.kr
Received August 13, 2009; revised November 10, 2009; accepted November 10, 2009

의 탈색을 보고한 바 있다.

본 연구에서는 후속 연구로서 활성탄 흡착 후의 잔존된 흑목이 버섯의 흑색 색소성분을 회수하기 위한 공정을 조사, 검토하고자 하였다. 즉, 흡착공정에 사용된 활성탄으로부터 색소성분의 효율적인 회수와 함께, 활성탄의 재생이 가능하며, 또 적절한 처리과정을 통해 침출용매를 재사용할 수 있는 용매침출공정(Cooney et al., 1983)을 시도하였고, 이의 최적 공정조건 및 특성을 조사하였다. 아울러, 다단침출 공정 후 색소가 제거된 활성탄의 재생 여부를 조사함으로써 궁극적으로 흑목이 색소의 효율적 용매추출공정을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구의 재료는 건조된 흑목이 버섯(*Auricularia auricula*)이며, 중국 길림성 산의 것을 직접 구입한 것을 (주)화인코(Korea)로부터 제공받아 사용하였다. 건조 시료는 분쇄기(Hanil Co., HMF-390, Incheon, Korea)로 분쇄하여 분말(100 mesh)화하여 desiccator에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

흑색소 성분의 흡착 및 용출 실험

흑목이 버섯 자실체로부터의 조 다당(crude polysacchride) 추출물은 Kim et al.(2009)의 방법에 따라 조제하였고, 이로부터 흑갈색 색소성분을 활성탄(Duksan Pure Chemicals Co., Ltd, Korea, 분말상)을 이용한 흡착공정에 의해 다음과 같이 흡착시켰다. 즉, 50 mL 비이커에 조 다당 용액(pH 7.0) 1 mL 당 16.7 mg의 활성탄을 첨가하여 40°C에서 10분간 자석교반기(Digital hot plate/stirrer, Cole Parmer, Vernon Hills, IL, USA)로 교반(300 rpm)하였다. 이때, 조 다당 용액의 농도는 3 mg/mL이었고 용액의 부피는 20 mL이었다. 용출실험은 흡착공정에 사용되었던 활성탄(초기 건조 활성탄 무게: 334 mg)에 증류수, 중성 용매 및 알칼리성 용매 10 mL씩을 첨가한 후 자석 교반기로 실온에서 300 rpm으로 60분간 교반하여 실시하였다. 그 후, 원심분리기(Super 25K, Hanil Science Industrial Co., Ltd., Incheon, Korea)로 원심분리(12,000×g, 20분)하였고, 분광광도계(UV-Vis spectrophotometer, Varian Cary1E, Sydney, Australia)로 용출용매의 230 nm에서의 흡광도 값을 측정하였다.

흡착 전 시료용액의 230 nm에서의 흡광도 값을 기준으로 흡착 후 남아있는 용액의 흡광도 값을 빼주어 활성탄에 흡착된 색소의 선택강도(color intensity)로 하였으며, 침출효율은 다음과 같이 흡착 색소의 선택강도에 대한 침출공정 후 용출된 용액의 흡광도 값의 비로부터 계산하였다.

Capacity of leaching

$$= \frac{A_{230nm} \text{ of solution after leaching}}{\text{Color intensity of adsorbed pigment}} \times 100 \quad (1)$$

용출실험에 사용한 중성 용매는 acetone, methanol 및 ethanol 수용액이었으며, 20-100%(v/v) 농도로 각각 시행하였다. 또, 알칼리 용매는 탄산나트륨(Na₂CO₃), 탄산칼륨(K₂CO₃), 수산화나트륨(NaOH) 및 수산화칼륨(KOH)을 1 M 농도로 사용하였고, 사용된 모든 시약은 특급 시약(Special grade, Carlo Erba Reagenti Co. Ltd, Italy)이었다.

한편, 침출된 고체는 다시 신선한 침출용매와 동일시간 동안 반복 접촉시키는 다단침출공정(Aikat & Bhattacharyya, 2001)을 수행하여 반복하였다.

최적 용출조건에 대한 검토 실험

우수 용출 용매로 확인된 KOH 용매에 대한 색소 침출의 최적 조건을 구하기 위하여 용출 용매의 농도, 부피 및 온도에 대한 용출효과를 조사하였다. 용매 농도는 1-5 M로 변화시켰으며, 부피는 3-30 mL로 변화시켜 실험하였고, 온도는 항온수조를 이용하여 25, 40, 55, 70, 80 및 95°C에서 일정온도를 유지하면서 실시하였다.

색소용출의 kinetic model 및 해석

흡착된 활성탄에 1 M KOH 용액을 15 mL씩 첨가하여 각각 1, 2, 4, 8, 10 및 20분 간격으로 용출실험을 실시하였다. 이 때, 온도는 25°C를 유지하였으며, 이의 색소용출에 대한 kinetic model은 불균일 액체-고체계에서의 용해 및 침출에 대해 널리 적용되는 다음의 1차 또는 2차 속도 방정식에 따랐다(Aikat & Bhattacharyya, 2001; Rakotondramasy-Rabesiaka et al., 2007).

$$\text{First-order equation : } \log(C_s - C_t) = \log C_s - \frac{k_1}{2.303} t \quad (2)$$

$$\text{Second-order equation : } \frac{t}{C_t} = \frac{1}{k_2 C_s^2} + \frac{1}{C_s} t \quad (3)$$

여기서 C_s와 C_t는 각각 활성탄에 흡착된 색소의 농도 및 임의 시간 t에서 용출액의 색소농도(230 nm에서의 흡광도 값)이다. 또, k₁ 및 k₂는 각각 1차 및 2차 속도상수이다.

사용된 활성탄의 재생실험

활성탄의 재사용 여부는 다단침출공정 후 남아있는 활성탄을 증류수로 1회 수세한 후, 70°C dry oven에서 건조하고, 신선한 활성탄과 비교하여 결정하였다. 즉, 흑목이 버섯의 흑색소 함유 다당 추출물(3 mg/mL) 20 mL에 색소성분의 탈색 시 사용된 활성탄(건조)과 혼합하였다. 40°C에서 10분간 자석교반기를 이용하여 300 rpm으로 교반한 후, 원심분리하여 얻은 상등액의 230 nm에서의 선택강도를 측정하였다. 신선한 활성탄을 이용하여 마찬가지로 실험하였고,

다음 식 (4) 및 (5)를 사용하여 각각 흡착효율 및 다당 정제율을 계산하였으며, 재사용 활성탄의 재생 정도는 신선한 활성탄과 비교하여 판단하였다.

$$\text{Remaining color intensity(\%)} = \frac{A_{230} \text{ of initial sample solution before adsorption}}{A_{230} \text{ of final sample after adsorption}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Fold purification of polysaccharide} = \frac{\text{Polysaccharide content after adsorption}}{\text{Polysaccharide content before adsorption}} \quad (5)$$

이 때, 다당함량은 Ebarandu et al.(2005)의 비색법에 따라 glucomannan 함량으로 측정하였다.

본 실험의 모든 실험은 3회 반복 측정하였으며, 평균값± 표준오차값으로 나타내었다.

결과 및 고찰

침출 용매의 선정

활성탄에 흡착된 성분은 침출 용매에 대한 용해도에 따라 침출량이 달라지므로, 흡착된 색소성분에 대한 최적용매를 찾기 위해 3종의 중성용매, 4종의 알칼리용매 및 증류수(대조군) 등 총 8종의 용매를 사용하여 용매선정실험을 하였다.

Fig. 1은 침출용매로 널리 이용되는 중성용매인 아세톤, 메탄올 및 에탄올 용매를 사용한 경우의 침출실험 결과이며, 용매의 % 농도에 따라 침출량도 달라지므로(Aikat & Bhattacharyya, 2001) 20, 40, 60, 80 및 100%의 각 용매별 농도(v/v)로 제조 후 침출 실험하였다.

아세톤의 경우에는 20%농도일 때, 색소용출값이 0.073으로 가장 높았으나 이보다 더 높은 농도에서는 급격히 감소하여 0.02 미만의 매우 낮은 값을 보였다. 메탄올의 경우에는 40% 농도일 때, 0.063으로 최대값을 보였으나 매우 낮았고, 이 농도 전후에서 더욱 낮아져 색소용출이 거의

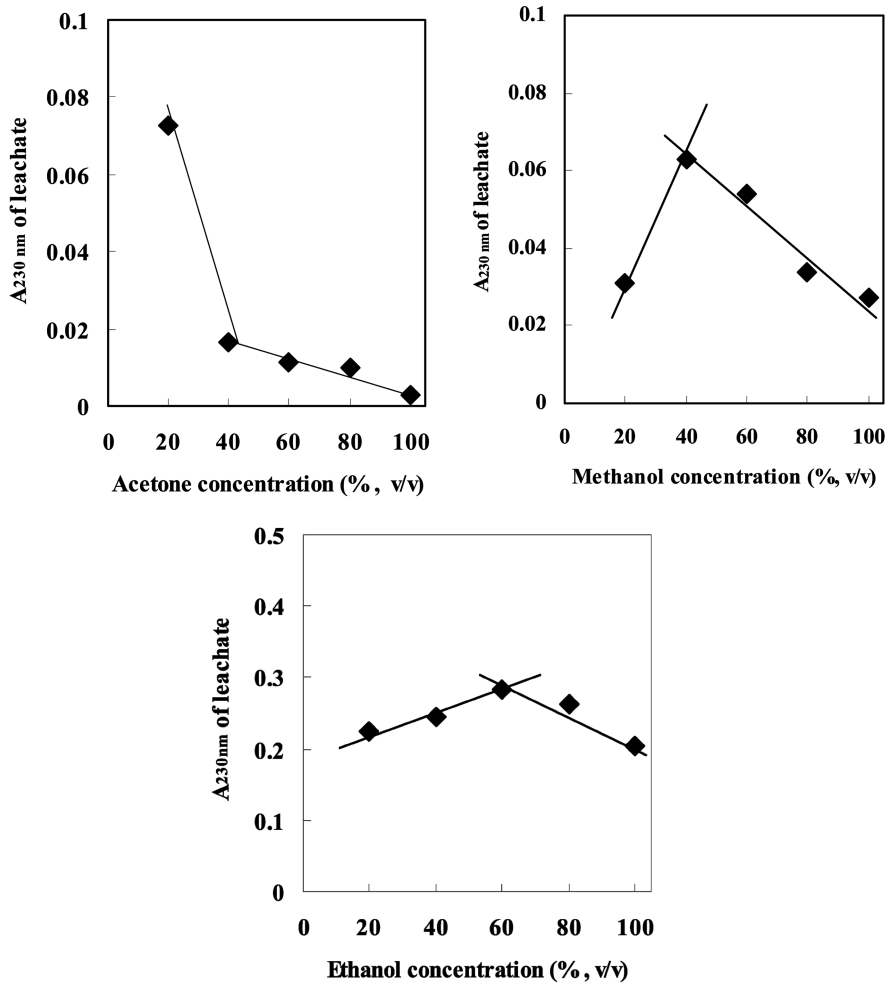


Fig. 1. Effect of acetone, methanol and ethanol concentration on leaching of the pigment. Used activated charcoal (334 mg initial dry weight) was treated with various concentrations of each solution (10 mL) at 25°C

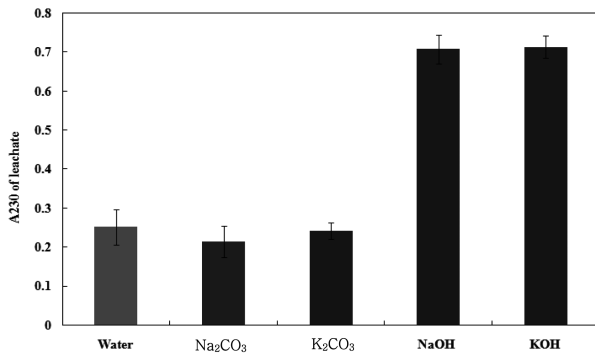


Fig. 2. Effect of different alkaline solvents on leaching of the pigment. Used activated charcoal (334 mg initial dry weight) was treated with same concentration (1 M) of solutions at 25°C

없음을 보였다. 이와 같이 더 낮거나 높은 용매농도의 양 쪽에서 용출값의 감소를 보이는 것은 극성변화에 따른 용해도의 차이나 타 성분의 치환에 의해 목적성분이 쉽게 활성탄에 흡착되는 열역학적 특성에 기인하는 것으로 알려져 있다(Shukla et al., 2000; Aikat & Bhattacharyya, 2001). 에탄올의 경우에도 60% 농도일 때, 0.283의 최대값을 보였고, 이 농도 전후에서 농도 의존적으로 낮아졌다. 그러므로 60% 에탄올이 사용한 중성 용매 중에서는 상대적으로 가장 높은 용출값을 나타내었지만 이 경우도 비교적 매우 낮은 용출능에 불과하였다.

따라서 탄산칼륨, 탄산나트륨, 수산화칼륨 및 수산화나트륨의 4종의 알칼리용매(1 M)를 이용한 용출을 시도하였으며, 용출된 용액의 흡광도 값으로 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다.

용출능을 나타내는 흡광도 값의 세기는 수산화칼륨(0.713)>수산화나트륨(0.708)>탄산칼륨(0.242)>탄산나트륨(0.215)의 순으로 수산화칼륨 및 수산화나트륨의 두 용매가 활성탄에 흡착된 색소성분의 용출에 적합한 용매임을 알 수 있었다. 이들 용매의 용출능은 대조군인 증류수 및 중성 용매 중 가장 높은 값을 나타낸 에탄올에서의 흡광도 값(0.25, 0.28)과 비교하여 약 3배나 향상된 값 범위이었다. 그러므로 용출 목표성분인 색소성분은 증류수와 아세톤, 메탄올 및 에탄올 등의 유기용매에는 용출되지 않고, 강알칼리인 수산화칼륨이나 수산화나트륨 용매에 잘 용출되는 것으로 나타났다.

Park & Hong(2002)은 황적색계통의 safflower yellow와 precarathamini의 추출용매로 탄산나트륨 및 탄산칼륨의 약알칼리성 용매가 최적이라고 하였다. 반면, Fuleki & Francis(1968)와 Lee et al.(2000)은 적자색계통의 안토시아닌의 경우에 에탄올, 메탄올 등 중성용매가 최적 추출용매라고 보고하였다. 따라서 본 결과는 이들 색소와는 차이를 보였다. 본 실험 결과와 같이 강알칼리성(수산화나트륨, 수산화칼륨) 용매에 높은 용해도를 지니는 것으로는 흑갈색계통의 멜라닌 색소의 경우에 보고된 바 있다(Lee et al.,

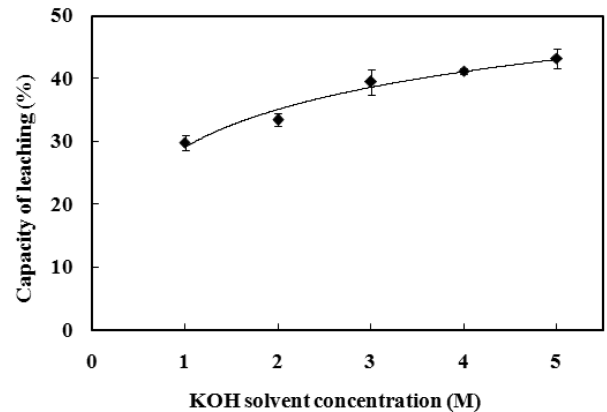


Fig. 3. Effect of concentration of KOH solution on single-stage leaching of the pigment

1998, Selvakumar et al., 2008).

최적 용출조건의 검토

일반적으로 활성탄에 흡착된 성분의 용출은 용출용매의 농도, 부피 및 온도 등 외부적인 조건에 의해 영향을 받는다(Purkait et al., 2007).

용매 선정 실험을 통해 얻어진 최적 용매인 KOH는 1 M 농도에서 진행되었으므로 용매 농도의 영향을 조사하였다. 즉, KOH 용매의 농도를 1, 2, 3, 4 및 5 M로 제조하여 용출하였을 때, 각각의 농도에 따른 용출효율을 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 3과 같다.

용출효율이 1 M KOH 용액에서는 29%이었으나, 농도 증가에 따라 용출효율이 증가하여 5 M에서 43%이었다. 그러나 그 값의 차이는 약 1.5배에 불과하여 고농도 KOH 시약의 조제에 따른 경제성을 고려할 때, 1 M을 적정 농도로 선정하였으며 이후의 용출 조건 실험에서는 1 M KOH 용액을 이용하였다.

한편, 용출 용매의 부피에 따른 용출효율을 조사하기 위해 1 M KOH 용액의 부피(3-30 mL) 변화에 따른 용출된 용매의 색소량을 측정 한 결과는 Fig. 4와 같다.

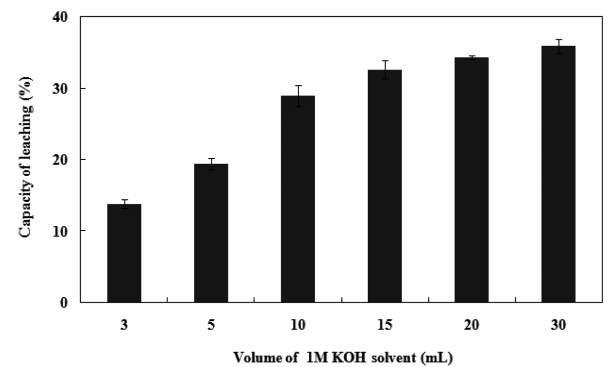


Fig. 4. Effect of added volume of 1 M KOH solution on single-stage leaching of the pigment

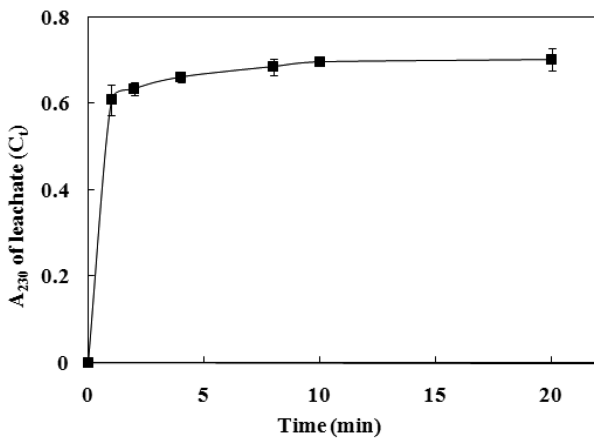


Fig. 5. Effect of contact time on single-stage leaching of the pigment by 1 M KOH solution (15 mL) at 25°C

용출 용액의 부피가 증가함에 따라 용출효율이 증가하는 경향을 보였으나 15 mL 이상에서는 미미하게 증가되어 용매부피에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 그러므로 최적의 용매 부피는 15 mL로 하였고, 이를 활성탄 1 g당 (초기 건조 활성탄 무게: 334 mg)으로 환산하면, 약 45 mL이었다.

용출의 동력학적 해석

색소성분의 용출동력학을 알아보기 위해 용출용액(1 M KOH)의 흡광도 값의 경시변화를 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

색소성분은 초기 2분 이내에 매우 빠르게 용출되었으며, 이후 미미하게 증가되어 10분 후 용출평형 값(0.70)에 도달하였다. 이와 같이 매우 빠른 용출은 흡탈착 공정의 물리적 흡탈착과 관련되는 비교적 낮은 활성화 에너지에 기인하는 것으로 알려지고 있다(Maggs, 1968).

한편, 활성탄에 흡착된 색소의 용출용매로 용해 또는 침출은 고상 및 액상사이의 계면에서 일어나는 불균일 반응

으로 볼 수 있으며, 이러한 불균일 액체-고체계에서의 용해 및 침출의 동력학적 모델식으로는 1차 또는 2차 속도 방정식이 주로 적용되었다(Aikat & Bhattacharyya, 2001; Ho et al., 2005; Harouna-Oumarou et al., 2007; Rakotondramasy-Rabesiaka et al., 2009).

따라서 1차 속도식에 대한 $\log(C_s - C_t)$ vs. t 및 2차 속도식에 대한 t/C_t vs. t 의 관계를 조사하여 도시하였으며, 그 결과는 Fig. 6과 같다.

1차 및 2차 모델식은 모두 직선관계를 나타내었으나 각각의 R^2 값은 0.8004 및 0.9998로 2차 속도 모델식이 더 적합성이 높음을 보였으며, 특히 2차 속도 모델식에서 평형 용출량의 계산값(0.700)과 실험값(0.703)은 잘 일치하였다.

따라서 본 실험의 흡착된 활성탄으로부터 1 M KOH 용액을 이용한 색소의 용출공정은 2차 속도식에 따르는 것으로 판단하였다. Carneiro et al.(2004)도 톨루엔에 오염된 clay의 초임계 이산화탄소에 의한 탈착실험에서 1, 2차 모델식을 적용한 결과, 2차식이 더 양호한 결과를 나타낸다고 보고하였다. 또, Harouna-Oumarou et al.(2007) 및 Ho et al.(2005)도 *Tilia sapwood*로부터 수용성 분획물을 추출하는 침출공정이 2차 속도식이며, 불균일 고체-액체 추출공정에 있어 가장 적합한 kinetic model은 2차 속도식이라고 제시하였다. Rakotondramasy-Rabesiaka et al.(2009)도 *Fumaria officinalis*로부터 protopine의 용해가 2차 속도식으로 설명할 수 있다고 하였다. 하지만, Aikat & Bhattacharyya(2001)는 *Rhizopus oryzae*로부터 crude protease의 탈색에 사용된 활성탄을 재사용하기 위한 침출공정은 1차 속도식에 따른다고 하였다.

본 실험에서와 같은 2차 모델식의 적합성은 먼저 초기에 최대 용출이 일어나는 강력한 용해와 이어서 이 보다 훨씬 더 느린 외부로의 확산단계로 색소의 용출이 일어남을 의미하는 것으로 Fig. 5에서 본 바와 같이 색소가 초기 2분 이내에 급속히 용출된 것과 잘 일치한다.

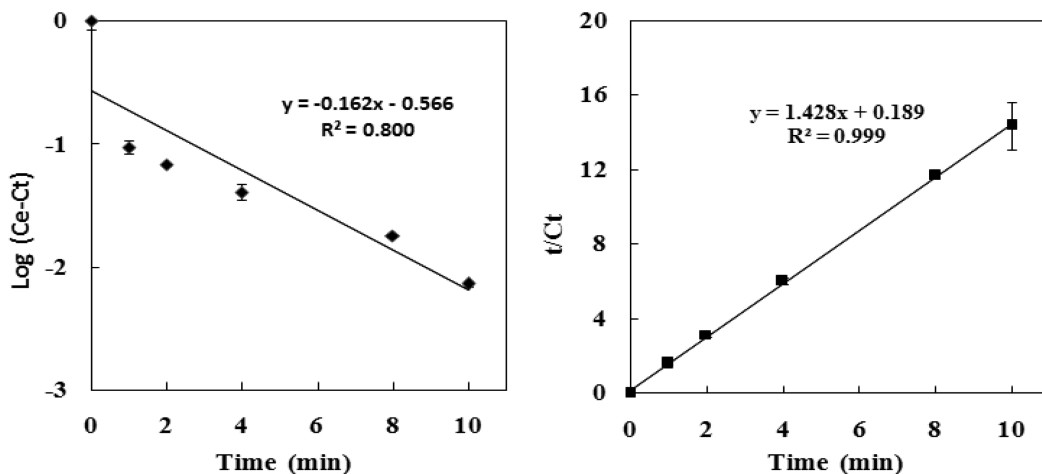


Fig. 6. Log (C_s - C_t) vs. t plot and t/C_t vs. t plot for the 1st and 2nd order kinetic models

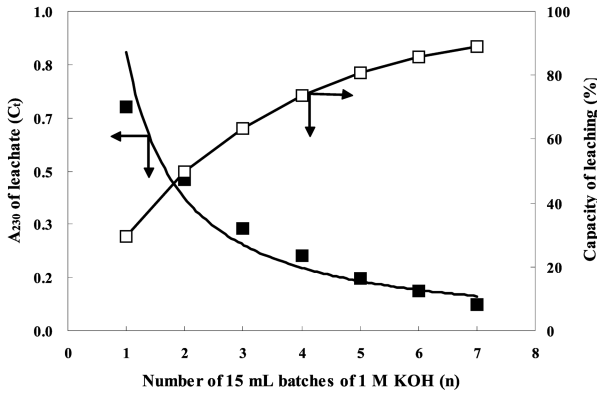


Fig. 7. Capacity of pigment leaching in multistage leaching by 1 M KOH solution. The same batch of used activated charcoal (334 mg initial dry weight) was repeatedly treated with fresh 15 mL batches of 1 M KOH solution

1 M KOH 용액을 이용한 다단 침출공정 및 침출 온도의 영향
 다단 침출공정은 흡착공정에 사용된 활성탄에 신선한 새로운 용매(1 M KOH 용액)를 반복 공급해 주어 흡착된 색소성분을 최대 용출, 회수할 수 있는 공정이다.

Fig. 7은 25°C에서 1 M KOH 용액에 대한 다단 침출공정의 각 단계별 용출된 색소량을 230 nm에서의 용출용액의 흡광도 값으로 나타낸 결과이다.

용출횟수 n 값이 커질수록 잔존 색소 용출값이 지속적으로 감소하여 용출횟수가 증가할수록 색소용출이 증가함을 보였다. 즉, 단일단계에서의 흡광도 값은 0.713으로 약 30%의 색소 용출을 보였으나 n=7일 때의 용액의 흡광도 값은 0.05 미만으로 감소되어 활성탄에 흡착된 색소 성분이 거의 용출됨을 보였다. 따라서 색소의 최대 용출을 위해서는 n=7의 다단 침출이 필요함을 나타내었으며, 이를 침출효율로 환산하면 역시 Fig. 7에서 보는 바와 같이 7단 침출에 의한 색소 용출능은 약 88.9%이었다.

한편, Fig. 8은 용출 온도에 따른 용출효율을 25, 30, 55, 70, 80 및 95°C에서 단일침출한 결과로, 각각 용출실

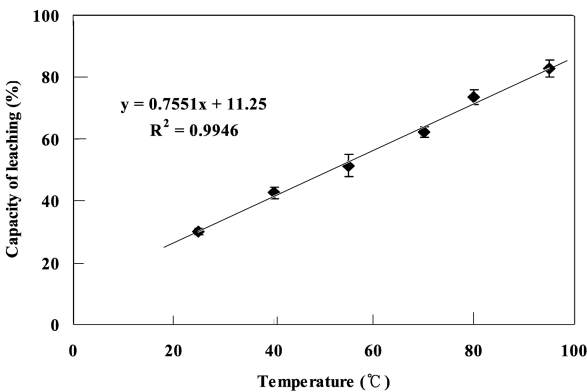


Fig. 8. Effect of temperature of initial 1 M KOH solution (15 mL) on single-stage leaching of the pigment

Table 1. Comparison of fresh and 1 M KOH-regenerated activated carbons.

| Sample (activated charcoal) | Remaining color intensity (%) | Fold purification of polysaccharide |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Dried (regenerated) | 24.75±1.27 | 1.21±0.25 |
| Fresh (control) | 21.5±0.53 | 1.25±0.59 |

험을 한 후, 흡착된 전체 색소에 대한 용출된 색소의 색소 강도로 나타낸 것이다.

단일침출에서 온도가 증가할수록 용출능도 비례하여 증가하여 25°C에서는 30%의 용출능을 나타내었으나 95°C에서는 82.6%로 약 2.7배나 증가하였다. 특히, 95°C에서 단일 침출효율의 결과는 Fig. 7에서 살펴본 25°C에서의 다단 침출공정(7단계)의 결과 값(88.9%)과 유사하였으므로, 온도를 높여줌으로써 다단침출공정의 공정 횟수를 현저하게 줄여 줄 수 있음을 알 수 있었다.

이와 같이 온도가 높아지면서 용출효율이 증가한 것은 활성탄으로부터 흡착물질이 탈착되는 반응이 흡열반응이기 때문에 온도의 상승으로 색소성분의 용출능이 증가된 것으로 보인다(Kim & Ahn, 1999). 하지만, 흡착된 색소성분의 용매에 대한 용해도가 온도가 증가할수록 높아지는 것과는 관계되는 것으로 보인다.

활성탄의 재생능 검토

색소성분 용출 후 활성탄을 건조하여 재사용하는 것은 경제성 측면에서 매우 중요한 요인이다. 따라서 재생한 활성탄에 의한 흑목이 버섯 자실체 조다당 분획물의 흑갈색 색소 성분의 흡착효율 및 다당 정제율을 신선한 활성탄(대조군)과 비교하면서 조사하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

재사용된 활성탄의 흡착효율(75.25%) 및 다당정제율(1.21배)은 신선한 활성탄(78.5% 및 1.25배)과 거의 유사하였다. 즉, 흡착효율의 차이는 3.25%에 불과하였고, 다당 정제율의 차이도 매우 미미함을 보였다. 이는 흡착공정 후 남아있는 색소 성분들의 용출과 함께 열처리에 의한 건조 조작을 통해서 활성탄표면의 미세구멍의 물질들이 제거됨으로써 신선한 활성탄과 유사한 형태로 돌아왔음을 의미한다(Pradhan & Sandle, 1999). 따라서 활성탄의 재사용이 가능하여 반복 사용할 수 있음을 확인하였으며, 향후 이 흑갈색 색소의 규명을 위한 추가 연구의 필요성이 있다고 판단하였다.

요 약

흑목이 버섯의 자실체로부터 열수추출에 의해 얻은 조다당 분획물은 흑갈색 색소를 함유하였으므로 활성탄에 의한 탈색공정이 검토된 바 있다. 하지만 활성탄에 흡착된 색소 성분의 회수 및 활성탄의 재사용이 필요하였으므로 용매추출법을 이용한 용출 실험을 실시하였다. 증류수, 중성용매

(3종) 및 알칼리 용매(4종) 등 8종 용매에 의한 1단 침출 실험 결과, 색소성분의 용해성은 1 M KOH 용액이 가장 우수하였다. 이러한 최적 용매인 1 M KOH 용액을 이용하여 용액의 부피 및 시간에 따른 용출효과를 조사한 결과, 용액의 부피는 활성탄 1 g당 45 mL에서 최적의 용출량을 보였으며, 10분 이내에 빠르게 용출평형에 도달하였고, 용출공정의 용출속도는 2차 속도식으로 나타낼 수 있었다. 또, 25°C에서 1 M KOH 용액에 의한 다단침출의 실험 결과, 7단계 침출에서 최종 용출효율은 88.9%이었다. 그러나 온도가 증가할수록 용출효율이 급격히 높아져 95°C에서는 단일용출만으로 82.6%의 용출효율을 보였다. 한편, 용출 후의 재사용된 활성탄의 흡착효율(75.3%)은 신선한 활성탄(78.5%)과 거의 비슷하였고, 다당 정제율도 거의 비슷하여(1.21-1.25배) 재생 가능성을 보였다. 따라서, 흑목이 버섯의 흑갈색 성분의 탈색 후 흡착된 활성탄으로부터 용매추출을 이용한 효율적인 색소성분의 회수 및 활성탄 재생 공정의 가능성이 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단에서 시행한 지역혁신인력양성사업(2007-2009)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Aikat K, Bhattacharyya BC. 2001. Regeneration of activated charcoal used in decolorization and purification of crude protease from *Rhizopus oryzae*. *Biotechnol. Lett.* 23: 1915-1919.
- Carneiro DGP, Mendes MF, Coelho GLV. 2004. Desorption of toluene from modified clays using supercritical carbon dioxide. *Brazilian J. Chem. Eng.* 21: 641-646.
- Chung YA, Lee JK. 2003. Antioxidative properties of phenolic compounds extracted from black rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 948-951.
- Cooney DO, Nagerl A, Hines AL. 1983. Solvent regeneration of activated carbon. *Water Res.* 17: 403-410.
- Fuleki T, Francis FJ. 1968. Quantitative methods for anthocyanins, 1. extraction and determination of total anthocyanins in cranberry. *J. Food Sci.* 33: 72-76.
- Grotewold E. 2006. The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57: 761-780.
- Harouna-Oumarou HA, Fauduet H, Porte C, Ho YS. 2007. Comparison of kinetic models for the aqueous solid-liquid extraction of *Tilia sapwood* in a continuous stirred tank reactor. *Chem. Eng. Commun.* 194: 537-552.
- Ho YS, Adamou Harouna-Oumarou H, Fauduet H, Porte C. 2005. Kinetics and model building of leaching of water-soluble compounds of *Tilia sapwood*. *Sep. Purif. Technol.* 45: 169-173.
- Hunt G, Fogel R. 1983. Fungal hyphal dynamics in a western oregon douglas-fir stand. *Soil Biol Biochem.* 15: 641-649.
- Kim HM, Hur W, Lim KB, Lee SY. 2009. Adsorption characteristic of brownish dark coloured compounds from the hot water extract of *Auricularia auricula* fruit body. *Food Eng. Prog.* 13: 138-146.
- Kim SD, Ahn YH. 1999. Thermal regeneration kinetics of spent activated carbon loaded with p-xylene. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 21: 547-555.
- Lee D. 2007. *Nature's Palette*. University of Chicago Press, London, UK.
- Lee HJ, Ban SY, Yoo HJ. 1998. Fabrics dyeing using natural dyestuff manufactured from squid ink. *J. Korean Soc. Clothing and Textiles* 22: 1011-1019.
- Lee JW, Lee HH, Rhim JW, Jo JS. 2000. Determination of the conditions for anthocyanin extraction from purple-fleshed sweet potato. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 790-795.
- Maggs FAP, Davidson HW, Wiggs PKC, Churchhouse AH, Bradley RS, 1968. Activated charcoal (active carbon). In: *Manufactured Carbon*. Pergamon Press, London, UK, pp. 81-101.
- Mironenko NV, Alekhina IA, Zhdanova NN, Bulat SA. 2000. Intraspecific variation in gamma-radiation resistance and genomic structure in the filamentous fungus *Alternaria alternata*: a case study of strains inhabiting Chernobyl reactor, 4. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 45: 177-187.
- Park MS, Hong IK. 2002. Analysis of color difference by mixed solvent composition in natural dyes extraction process. *J. Korean Ind. Eng. Chem.* 13: 844-851.
- Pradhan BK, Sandle NK. 1999. Effect of different oxidizing agent treatments on the surface properties of activated carbons. *Carbon* 37: 1323-1332.
- Purkait MK, Maiti A, Dasgupta S, De S. 2007. Removal of congo red using activated carbon and its regeneration. *J. Hazard. Mater.* 145: 287-295.
- Rakotondramasy-Rabesiaka L, Havet JL, Porte C, Fauduet H. 2007. Solid-liquid extraction of protopine from *Fumaria officinalis* L.-analysis determination, kinetic reaction and model building. *Sep. Purif. Technol.* 54: 253-261.
- Rakotondramasy-Rabesiaka L, Havet JL, Porte C, Fauduet H. 2009. Solid-liquid extraction of protopine from *Fumaria officinalis* L.-kinetic modelling of influential parameters. *Ind. Crop. Prod.* 29: 516-523.
- Selvakumar P, Rajasekar S, Periasamy K, Raaman N. 2008. Isolation and characterization of melanin pigment from *Pleurotus cystidiosus*. *World J. Microb. Biot.* 24: 2125-2131.
- Shukla R, Cheryan M, DeVor RE. 2000. Solvent extraction of zein from dry-milled corn. *Cereal Chem.* 77: 724-730.