

## 초임계 이산화탄소를 이용하여 감태로부터 Fucoxanthin 농축

이보미<sup>1</sup> · 김철진<sup>2</sup> · 김종태<sup>2</sup> · 서정주<sup>3</sup> · 김인환<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 보건과학대학

<sup>2</sup>한국식품연구원

<sup>3</sup>한국기초과학지원연구원

### Concentration of Fucoxanthin from *Ecklonia cava* Using Supercritical Carbon Dioxide

Bo-Mi Lee<sup>1</sup>, Chul-Jin Kim<sup>2</sup>, Chong-Tai Kim<sup>2</sup>, Jung-Ju Seo<sup>3</sup>, and In-Hwan Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food & Nutrition, Korea University, Seoul 136-703, Korea

<sup>2</sup>Korea Food Research Institute, Gyeonggi 463-746, Korea

<sup>3</sup>Korea Basic Science Institute, Seoul 136-713, Korea

#### Abstract

Fucoxanthin has been concentrated efficiently using supercritical carbon dioxide. First, fucoxanthin was extracted from *Ecklonia cava* using solvents. Three solvents, such as medium chain fatty acid (MCFA), medium chain fatty acid ethyl ester, and fatty acid from coconut oil were tested, and MCFA was selected as a suitable solvent to extract fucoxanthin from *Ecklonia cava*. The concentration was conducted at various pressures and temperatures. In order to concentrate fucoxanthin from extracts, MCFA was eliminated from the extract using supercritical carbon dioxide, and fucoxanthin was concentrated successfully in residue. Optimal conditions for concentrating the fucoxanthin from fucoxanthin extract were 40°C at 9.7 MPa, 45°C at 11.0 MPa, and 50°C at 12.4 MPa, respectively. The density of carbon dioxide affected the concentration of fucoxanthin from fucoxanthin extract. In this optimal conditions, the density for concentrating the fucoxanthin was 600 g/L.

**Key words:** *Ecklonia cava*, fucoxanthin, medium chain fatty acid, supercritical carbon dioxide

#### 서 론

감태(*Ecklonia cava*)는 갈조식물 다시다목(Laminariales) 미역과(Alariaceae)의 다년생 해조류로 우리나라에서는 동해남부와 제주도를 포함한 남해안 일대 연안에서 관찰되며 (1) 주로 제주 연안 수심 10 m 내외에서 서식하고 있다. 주로 전복 및 소라의 사료가 되며, 알긴산을 만드는 원료로도 이용된다. 길이는 1~2 m이며 줄기는 원기둥 모양이고 밑통은 뿌리 모양을 하고 있다. 감태는 과거에 비해 식용하는 지역이 거의 없는 실정이다.

그러나 최근 감태의 기능성 성분에 대한 연구가 지속적으로 발표되면서 이에 대한 관심이 크게 높아지고 있다. 현재 노화를 비롯한 여러 가지 성인병의 원인이 되는 자유라디칼을 억제할 수 있는 polyphenol이 감태를 비롯한 바다 식물에 phlorotannin이라는 이름으로 다량 함유되어 있다는 연구 결과가 보고되고 있다(2).

특히 감태를 포함한 대부분의 갈조류에는 fucoxanthin이라는 carotenoid계 색소가 함유되어 있다. 일반적으로 car-

otenoid계 색소들은 지용성이며 불포화도가 매우 높은 것이 특징이다. 그렇기 때문에 열산, 광조사, 금속이온, 과산화물, peroxidase 및 산화제 등에 의해서 쉽게 산화되어 파괴될 수 있다(3).

Fucoxanthin의 기능적 연구로는 대표적으로 성인의 주 지방조직인 백색지방 내 mitochondrial uncoupling protein 1(UCP1)을 발현시켜 체내에 지방이 축적되는 것을 방지한다는 것이 밝혀졌으며(4), 신경 아세포 배양액에 첨가할 경우 신경 아세포의 증식이 완전히 저해되거나 증식속도가 저하되어 강력한 항종양 활성을 갖는 물질로 평가되고 있다(5). 또한 마우스 피부 2단계 발아시험에서 fucoxanthin을 발암 promoter 처리 시 동시에 도포하여 강력하게 종양발생을 억제한다고 보고되는 등(6) 현재 활발한 연구 활동이 진행 중에 있다.

자연식품의 해조류는 대부분 비소화성 복합 다당류로서 산과 알칼리에 비교적 안정하며 특수한 효소성분에 의해서만 잘 분해됨으로 유효성분을 분리하는데 제한이 따른다. 일반적으로 천연물 내의 유효성분을 추출하기 위해서는 압

\*Corresponding author. E-mail: k610in@korea.ac.kr  
Phone: 82-2-940-2855, Fax: 82-2-941-7825

착법, 수증기 증류법 및 용매 추출법이 이용되어 왔다. 현재 가장 많이 사용되는 용매 추출법은 적당한 용매의 선택도 중요하고 추출물에서 용매와 용질을 분리하기 위해서 새로운 분리공정을 거쳐야 하기 때문에 이 공정에서 용매와 용질의 손실과 변질을 피하기 어렵고 용매의 회수가 용이하지 않아 용질 중 용매 일부가 남아있을 가능성도 우려된다(7).

이러한 단점으로 보완하기 위하여 본 연구에서는 무독성인 식물성 유지를 이용하여 감태 내 fucoxanthin을 추출하고 획득된 추출물은 초임계 이산화탄소 공정을 거쳐 추출에 이용되었던 유지류만을 선택하여 분리함으로써 색소성분의 파괴 없이 농축이 가능하다는 것을 확인하였다. 초임계 용매 공정은 증류법에 비하여 분리에 소요되는 에너지양이 적고 열에 변하기 쉬운 성분의 변질을 막을 수 있으며 용매추출법에 비하여 용매의 회수가 용이하고 무독성 및 비활성이기 때문에 순도와 독성문제가 까다로운 식품 및 의약품 등에 유리하다. 따라서 본 연구는 초임계 공정을 통하여 fucoxanthin을 농축함으로써 천연색소 시장에서 새로운 고부가가치 제품의 생산을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

Fucoxanthin 색소의 추출에 사용한 감태는 2007년 제주도 연안 해조류를 채집하여 이를  $-80^{\circ}\text{C}$ 의 냉동고에 보관하면서 시료로 사용하였다. 감태로부터 fucoxanthin 추출에 사용된 용매로서 상업적으로 이용되는 중쇄지방(medium chain triglyceride) 및 야자유(coconut oil)를 가수분해하여 얻은 지방산(fatty acid)들과 중쇄지방으로부터 제조된 중쇄지방산 에틸에스터(medium chain fatty acid ethyl ester)가

사용되었다. 야자유 및 중쇄지방은 시중에서 구입하여 사용하였으며, 그 이외에 분석시약은 특급이상이 사용되었다.

### 식품성분 유래 용매를 이용 감태로부터 fucoxanthin 추출

식물성 유지의 한 종류인 중쇄지방 유래 지방산 및 에틸에스터, 야자유 유래 지방산을 이용하여 감태로부터 fucoxanthin을 추출하는 과정은 다음과 같았다. 감태 30 g에 대하여 각 유지 성분을 60 g씩 가한 후 균질기(R2R 2051, Heidolph Instrument GmbH & Co. KG, Schwabach, Germany)를 이용하여 500 rpm에서 1분간 균질화를 실시하였다. 그 후 8,000 rpm에서 10분간 원심분리를 하여 상등액을 취하였다.

### Fucoxanthin 함량 측정 방법

Fucoxanthin 함량 측정은 carotenoid계 색소의 분광학적 특성에 기인하여 450 nm에서 spectrophotometer(V-630, JASCO Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정되었다. 감태 추출물은 3가지 각각의 추출 용매(중쇄지방산, 중쇄지방산 에틸에스터, 야자유 지방산)에 용해시킨 후 fucoxanthin의 extinguish coefficient 값인  $E(1\%, 1\text{ cm})=1140$ 로부터 추출물 내 fucoxanthin 함량을 측정하였다.

### 초임계 이산화탄소를 이용 감태로부터 fucoxanthin 농축

Fucoxanthin 추출용매로 선정된 중쇄지방산을 이용하여 추출된 fucoxanthin 추출물을 대상으로, 농축이 실시되었다. 농축에는 초임계 유체 추출장치(Fig. 1)가 사용되었으며, 농축 과정은 다음과 같았다. Fucoxanthin 추출물 30 g을 액체 전용 초임계 고압 추출기에 넣고  $35\sim 60^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위와 9.7~12.4 MPa의 압력범위에서 농축하였다. 이상의 조건으로부터 농축 공정 중 추출물에서 제거되어 나온 지방산의 함량과 그 지방산이 함유하고 있는 fucoxanthin의 함량을

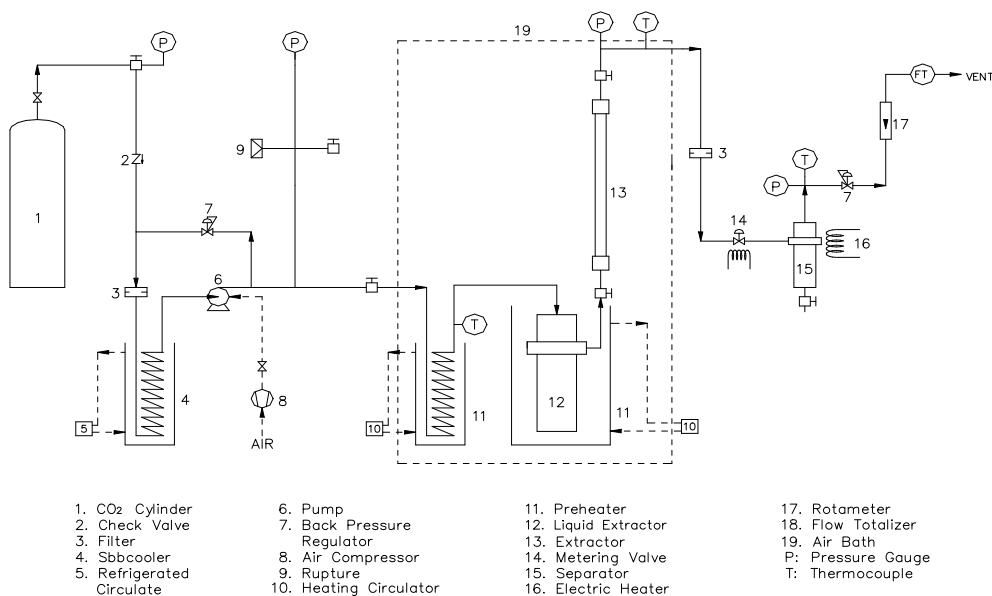


Fig. 1. Schematic diagram of apparatus of supercritical carbon dioxide extraction.

측정하였다. 또한 최종 농축된 잔여물의 fucoxanthin의 함량을 조사하여 농축 정도를 확인하였다.

### 결과 및 고찰

식품성분 유래 용매를 이용 감태로부터 fucoxanthin 추출 중쇄지방산 및 중쇄 지방산 에틸에스터, 야자유 유래 지방산을 추출 용매로 하여 감태로부터 fucoxanthin 추출 효율이 조사되었다. 기존의 fucoxanthin 관련 연구에서는 fucoxanthin 색소의 추출을 위하여 methanol과 같은 유기용매가 주로 사용되었으나(6,8) 본 연구에서는 일반적으로 사용하는 유기용매가 아닌 식물성 유지 유래 지방산 또는 그 에스터를 추출용매로 선택하였으며 선정된 용매는 본 실험실에서 연구된 초임계 이산화탄소를 이용하여 수박으로부터 lycopene을 농축하는 방법을 응용하여 적용하였다(9).

식품성분 유래 용매를 이용한 fucoxanthin 추출효율의 결과는 Fig. 2와 같다. 중쇄 지방산을 이용하였을 경우 추출물 1 g당 fucoxanthin 함량이 45.8  $\mu\text{g}$ 으로 가장 높은 함량을 나타내었으며, 야자유 지방산은 31.1  $\mu\text{g}$ , 중쇄지방 에틸에스터의 경우에는 21.7  $\mu\text{g}$ 으로 나타나 중쇄지방 유래 지방산을 이용하여 추출하였을 경우 가장 효과적인 것으로 나타났다. 이전의 연구에서 수박으로부터 같은 방법을 이용하여 lycopene을 추출하였을 경우 중쇄지방 유래 에틸에스터가 효과적인 것으로 나타났다(9).

이러한 추출용매의 효율은 물질의 특성에 따라 달라짐을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다. fucoxanthin의 경우 분자 내 수산기(-OH group)를 함유한 xanthophyll계 색소인 반면 lycopene의 경우 탄화수소로만 이루어져 있는 carotene계로서 fucoxanthin의 극성도가 lycopene과 비교하여 매우 큰 특성을 갖고 있다. 따라서 fucoxanthin 추출에 중쇄지방 유래 지방산이 효과적인 것은 fucoxanthin의 극성도가 lycopene에 비하여 비교적 크기 때문인 것으로 사료된다. 또한 야자유 유래 지방산은 대부분 탄소수가 12~16개 정도의 지방산을 많이 함유한 반면 중쇄지방산의 탄소수는 8~10개 정도로 상대적으로 짧기 때문에 야자유 유래 지방산에 비하여 추출 효율성이 높은 것으로 예측된다.

초임계 이산화탄소를 이용 감태로부터 fucoxanthin 농축 추출 용매로 선정된 중쇄지방산을 이용하여 감태로부터 fucoxanthin을 추출하였다. 이 추출물은 초임계 이산화탄소를 이용하여 fucoxanthin을 농축하기 위한 원료로 사용하였다. 추출물 내 fucoxanthin 함량은 g당 45.8  $\mu\text{g}$ 이었다. 대부분의 연구에 있어서 초임계 이산화탄소를 이용하여 목적으로 하는 성분을 농축하는 방법은 그 성분이 함유된 원료로부터 직접 추출하는 방법이 주로 사용되고 있다(10,11). 그러나 본 연구에서 사용된 fucoxanthin 농축 방법은 중쇄지방산을 이용하여 감태로부터 fucoxanthin을 추출하고 추출물 내 중쇄지방산을 초임계 이산화탄소에 의해 선택적으로 추출함으로써 잔류물에 fucoxanthin을 농축하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 초임계 이산화탄소 장치는 Fig. 1과 같았다. 초임계 이산화탄소를 이용하여 추출물 내 중쇄지방산을 선택적으로 추출하기 위하여 조사된 온도 및 압력 범위는 각각 35~60°C와 9.7~12.4 MPa이었다. 온도와 압력의 범위는 농축 공정에서 사용하는 이산화탄소의 일정 밀도(600 g/L)를 기점으로 밀도와 이산화탄소의 온도, 압력 그리고 추출효율과의 관계를 확인할 수 있도록 선정되었다.

각 압력 별로 3개의 온도범위에서 이산화탄소 사용량에 따른 중쇄지방산의 추출 패턴 및 추출된 지방산 내 fucoxanthin 함량이 조사되었다(Fig. 3). 초임계 이산화탄소의 물질의 용해도는 탄산가스의 밀도와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며(12) 따라서 일정한 압력에서 온도 증가에 따른 지방산의 용해도 감소는 밀도 변화에 기인한 것으로 판단된다. 9.7 MPa, 35°C의 경우에는 추출된 지방산과 fucoxanthin이 함께 추출되어 농축 효과가 떨어지는 경향을 보여주었다. 40°C의 경우에는 추출된 지방산으로 함께 추출된 fucoxanthin량은 투입된 원료 내 총 fucoxanthin 중 8.0%만이 지방산으로 추출되었으며, 따라서 잔존물 내 fucoxanthin이 효과적으로 농축됨을 알 수 있었다. 45°C의 경우에는 40°C와 같은 경향을 나타냈지만 온도 증가에 따라 지방산 추출속도가 급격히 감소하여, 2200 g의 탄산가스를 소비한 후에도 약 15 g의 지방산만이 추출되어 운전시간이 매우 길어지는 경향을 나타내었다. 이상의 결과로부터 소비된 탄산가스의 양 및 농축에 소요되는 시간 등을 고려해 볼 때 9.7 MPa의 경우에는 40°C가 fucoxanthin 농축의 최적 온도인 것으로 나타났으며, 이 조건에서 CO<sub>2</sub> 1700 g을 소비하여 지방산을 추출한 후 얻어진 잔존물 내 fucoxanthin 함량은 1026.3  $\mu\text{g/g}$ 으로 초기 원료의 농도인 45.8  $\mu\text{g/g}$ 과 비교하였을 때 약 22배가 농축되었다.

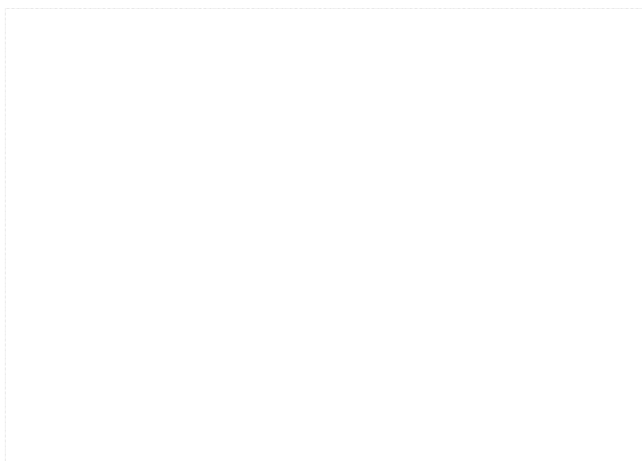


Fig. 2. Contents of fucoxanthin in extracts obtained from *Ecklonia cava* using different solvents. A: medium chain fatty acid, B: medium chain fatty acid ethyl ester, C: fatty acid from coconut oil.

9.7 MPa, 35°C의 경우에는 추출된 지방산과 fucoxanthin이 함께 추출되어 농축 효과가 떨어지는 경향을 보여주었다. 40°C의 경우에는 추출된 지방산으로 함께 추출된 fucoxanthin량은 투입된 원료 내 총 fucoxanthin 중 8.0%만이 지방산으로 추출되었으며, 따라서 잔존물 내 fucoxanthin이 효과적으로 농축됨을 알 수 있었다. 45°C의 경우에는 40°C와 같은 경향을 나타냈지만 온도 증가에 따라 지방산 추출속도가 급격히 감소하여, 2200 g의 탄산가스를 소비한 후에도 약 15 g의 지방산만이 추출되어 운전시간이 매우 길어지는 경향을 나타내었다. 이상의 결과로부터 소비된 탄산가스의 양 및 농축에 소요되는 시간 등을 고려해 볼 때 9.7 MPa의 경우에는 40°C가 fucoxanthin 농축의 최적 온도인 것으로 나타났으며, 이 조건에서 CO<sub>2</sub> 1700 g을 소비하여 지방산을 추출한 후 얻어진 잔존물 내 fucoxanthin 함량은 1026.3  $\mu\text{g/g}$ 으로 초기 원료의 농도인 45.8  $\mu\text{g/g}$ 과 비교하였을 때 약 22배가 농축되었다.



Fig. 3. Extraction of medium chain fatty acid (MCFA) and fucoxanthin as a function of consumed CO<sub>2</sub> using supercritical carbon dioxide at different temperature and pressures.

11.0 MPa의 압력에서는 40°C, 45°C, 50°C 3가지 온도에서 fucoxanthin 농축 효과가 조사되었다. 9.7 MPa의 결과와 마찬가지로 온도 증가에 따라 지방산 용해도의 급격한 감소를 보였으며, 3가지 온도 중 이산화탄소 밀도가 가장 높은 40°C의 경우 추출된 지방산과 fucoxanthin이 같이 혼입되어 추출되어 농축 효과가 떨어졌으며, 45°C의 경우에는 9.7 MPa, 40°C와 유사한 경향을 나타내어 fucoxanthin 농축에 효과적인 것으로 나타났다. 한편 50°C에서는 잔존물 내 fucoxanthin이 효과적으로 농축되었으나, 지방산 추출속도가 감소되어 소비되는 이산화탄소의 양 및 추출시간을 고려해 볼 때 11.0 MPa의 압력에서는 45°C가 최적 농축온도로 나타났다. 이 조건에서 CO<sub>2</sub> 1432 g을 소비하여 지방산을 추출한 후 얻어진 잔존물 내 fucoxanthin 함량은 1064.3 µg/g으로 초기 원료와 비교하였을 때 약 23배 농축되었다.

이상의 방법으로 12.4 MPa에서 최적 fucoxanthin 농축 온도를 조사한 결과 50°C가 최적 온도로 나타났다. 이 조건에서 1163.5 g의 CO<sub>2</sub>를 이용하여 지방산을 추출한 후 얻어진 잔존물 내 fucoxanthin 함량은 1246.9 µg/g으로 추출물의 농도인 45.8 µg/g에 비하여 약 27배가 농축됨을 확인할 수 있었다. 3가지 압력에서 얻어진 최적조건의 잔존물 내 fucoxanthin 함량에 차이를 나타낸 것은 추출된 지방산량이 다소 다르기 때문이다. 예로서 Fig. 3에서와 같이 9.7 MPa, 40°C의 경우에는 총 지방산 추출량이 28.97 g, 11.0 MPa, 45°C의 경우에는 29.03 g, 12.4 MPa, 50°C의 경우에는 29.22 g으로 12.4 MPa, 50°C에서 지방산이 가장 많이 추출되었다.

따라서 12.4 MPa, 50°C에서 얻어진 잔존물 내 fucoxanthin의 농도가 가장 높은 것은 이러한 이유 때문인 것으로 사료된다.

초임계 이산화탄소를 이용하여 천연물질로부터 색소를 추출한 연구는 실제로 다수 보고되어 있다. 초임계 이산화탄소와 에탄올 보조용매를 사용하여 우렁쉥이 껍질로부터 carotenoid계 색소인 β-carotene을 추출한 연구(12)에서는 35°C에서 350 bar, 약 35 MPa의 조건을 최적 지점으로 나타내었다. Fucoxanthin과 같은 계열 색소의 추출을 목적으로 함에 있어서 비교적 높은 압력에서도 파괴 없이 생리적 기능을 가진 기능성 물질을 분리할 수 있음을 보여주었다. 또한 초임계 이산화탄소로 다시마의 지방질을 추출한 연구(7) 역시 소량의 보조용매를 사용하여 시료크기, 온도, 압력, 유량에 따른 추출효율을 조사하였다. 그 결과 일정 압력과 유량에서 온도가 낮을수록 추출수율이 소량 증가하였으나 추출 압력을 증가시키면 추출수율은 크게 증가함을 보였다. 그러나 본 연구는 보조용매를 사용하지 않았을 뿐만 아니라 기존의 연구들보다 훨씬 낮은 압력범위(9.7~12.4 MPa)에서 fucoxanthin을 효과적으로 농축할 수 있었다.

초임계 유체 추출에서 용해도에 가장 큰 영향을 미치는 밀도의 변화를 본 연구에서 실시된 온도 압력 범위에서 조사하여 보았다(Fig. 4). 그 결과 fucoxanthin 농축에 높은 효율을 나타낸 압력 및 온도 조건들 즉 9.7 MPa에서 40°C, 11.0 MPa에서 45°C, 12.4 MPa에서 50°C의 경우 모두 탄산가스 1 L당 600 g 정도의 밀도를 가지고 있었다. 기존의 연구에서

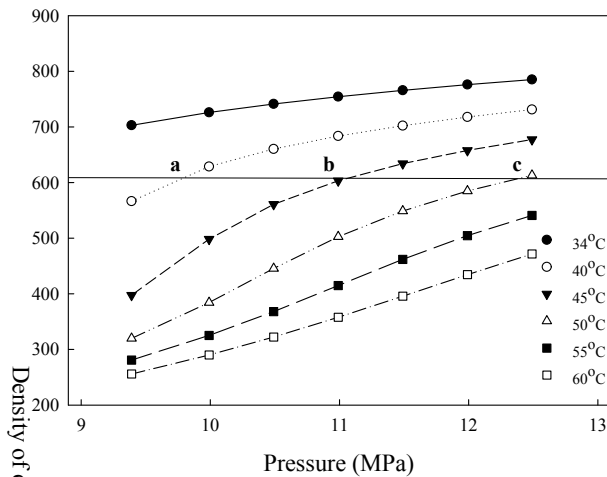


Fig. 4. Density of carbon dioxide at different pressures and temperatures. Optimum conditions; a: 9.7 MPa, 40°C, b: 11.0 MPa, 45°C, c: 12.4 MPa, 50°C.

보고된 바와 같이(13,14) 본 연구에서도 초임계 이산화탄소를 이용한 물질의 용해도는 온도와 압력에 의해 변화되는 이산화탄소의 밀도와 높은 상관관계를 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면 유기용매가 아닌 식품 유래 중쇄지방산을 이용하여 감태로부터 fucoxanthin을 추출한 후, 초임계 이산화탄소를 이용하여 fucoxanthin 추출물 내 중쇄지방산을 효과적으로 분리해냄으로써 잔존물 내에 fucoxanthin을 농축할 수 있었다.

## 요 약

초임계 이산화탄소를 이용하여 감태 내 지용성 색소인 fucoxanthin을 추출 및 농축하기 위하여 식물성 유래 지방산인 중쇄지방산이 선택되었다. 중쇄지방산을 이용하여 감태로부터 추출된 fucoxanthin 추출물로부터 초임계 이산화탄소를 이용하여 중쇄지방산만을 효과적으로 추출, 분리함으로써 잔존물 내에 효과적으로 fucoxanthin을 농축할 수 있었다. Fucoxanthin 농축에 높은 효율을 나타낸 세 가지 압력 및 온도 조건들로는 9.7 MPa에서 40°C, 11.0 MPa에서 45°C, 12.4 MPa에서 50°C로 나타났다. 이 세 가지 온도 및 압력조건에서의 이산화탄소의 밀도는 거의 유사한 값을 나타내었다. 이상의 결과를 종합해보면 초임계 이산화탄소를 이용한 fucoxanthin의 농축에는 이산화탄소의 밀도가 매우 중요한 인자인 것으로 확인되었다.

## 감사의 글

본 논문은 한국식품개발연구원의 지원에 의하여 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

## 문 헌

1. 강제원. 1968. 한국동식물도감(해조류). 제8권. 삼화출판사, 문교부. p 155-157.
2. Kim JA, Lee JM. 2004. The changes in the chemical components and antioxidant activities in *Ecklonia Cava* according to the drying methods. *J Korea Home Economics Assoc* 42: 193-206.
3. Di Mascio P, Kaiser S, Sies H. 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch Biochem Biophys* 274: 532-538.
4. Maeda H, Hosokawa M, Sashima T, Funayama K, Miyashita K. 2005. Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues. *Biochem Biophys Res Commun* 332: 392-397.
5. Krinsky NI. 1993. Micronutrients and their influence on mutagenicity and malignant transformation. *Ann New York Acad Sci* 686: 229-234.
6. Kim SJ, Kim HJ, Moon JS, Kim JM, Kang JG, Jung ST. 2004. Characteristic and extraction of fucoxanthin pigment in *Undaria pinnatifida*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 847-851.
7. Lee SH, Cheon JK, Ju CS. 2000. Lipid extraction of sea tangle with supercritical carbon dioxide. *Food Engineering Progress* 4: 19-24.
8. Kanami M, Takashi O, Masanori H, Naohiro O, Hideyuki H, Mitsumasa T, Takenori K. 2004. Fucoxanthin and its metabolites in edible brown algae cultivated in deep seawater. *Mar Drugs* 2: 63-72.
9. Kim CJ, Kim IH, Jo YJ, Kim JT, Kim IH, Oh HJ, Kim SS. 2008. Development of lycopene recovery by supercritical carbon dioxide extraction. *KR patent* 1020080069284.
10. Wang L, Weller CL, Schlegel VL, Carr TP, Cuppett SL. 2008. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of lipids from grain sorghum dried distillers grains with solubles. *Bioresour Technol* 99: 1373-1382.
11. Cadoni E, Rita D, Giorgi M, Medda E, Poma G. 2000. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of lycopene and beta-carotene from ripe tomatoes. *Dyes Pigm* 44: 27-32.
12. Kang IS, Youn HS, Park JY, Chun BB. 2006. Extraction of β-carotene from ascidian tunic (*Halocynthia roretzi*) using supercritical carbon dioxide and co-solvent. *Korean J Biotechnol Bioeng* 21: 194-198.
13. 윤정로. 1994. 초임계유체추출의 응용/유지식품. 식품과학과 산업 27: 2-10.
14. Gómez-Prieto M, Caja M, Santa-María G. 2002. Solubility in supercritical carbon dioxide of the predominant carotenes of tomato skin. *J Am Oil Chem Soc* 79: 897-902.

(2009년 7월 21일 접수; 2009년 9월 29일 채택)