

## 건조 고등어 섭취가 마우스의 간 및 신경조직의 지방산 조성에 미치는 영향

최형주 · 김경근<sup>1</sup> · 임선영\*

한국해양대학교 해양환경생명과학부, <sup>1</sup>한국해양대학교 기관시스템공학부

Received February 5, 2007 / Accepted March 7, 2007

**Effect of intake of dried mackerel on fatty acid compositions in liver and nervous tissue.** Hyung Ju Choi, Kyung Kun Kim<sup>1</sup> and Sun Young Lim. *Division of Marine Environment & Bioscience, Korea Maritime University, Busan, Korea, <sup>2</sup>Division of Marine System Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea* – The purpose of this investigation was to determine the effect of feeding dried mackerel as a means of increasing the intake of these n-3 polyunsaturated fatty acids on fatty acid compositions in liver and nervous tissue. Twenty male mice aged at 4 weeks were fed on the control (5% palm oil, control group) and 5% dried mackerel diets (mackerel group) for four weeks. In fatty acid compositions of liver and cortex, levels of total n-3 fatty acid, specially docosahexaenoic (22:6n-3, DHA) and eicosapentaenoic (20:5n-3, EPA) acids, were increased in the mackerel group compared to the control group, while docosapentaenoic acid (22:5n-6, DPAn-6) levels were decreased ( $p < 0.05$ ). In cerebellum and retina, levels of DHA were not significantly different between the control and mackerel groups, but levels of total n-6 fatty acids and arachidonic acid (20:4n-6, AA) were decreased in the mackerel group. These results indicated that intake of 5% dried mackerel increased levels of n-3 polyunsaturated fatty acids in cortex. Thus, we will investigate the relationship between brain function and cortex fatty acid compositions following intake of mackerel by assessing discrimination leaning ability.

**Key words** – Mackerel, brain, retina, docosahexaenoic acid, eicosapentaenoic acid

### 서 론

등 푸른 생선에 많이 함유된 docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) 및 eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3)와 같은 n-3계 지방산은 인간의 건강과 질병에 중요한 역할을 하고 있다는 것이 알려지면서 여러 가지 연구가 활발하게 이루어져 왔다. 예를 들면, 혈소판 응집억제[1,38], 혈압감소[17,36], 동맥경화 감소[1], 혈액 중 콜레스테롤 농도의 저하[9,14,16,17] 및 중성지방 저하작용[9,13,16,25,27] 등의 생리효과가 있다고 보고되었다. 또한 순환기 질환 예방을 위해서 식물성 기름에 다량 함유되어 있는 n-6계 지방산인 linoleic acid (LA, 18:2n-6)가 권장되어 왔으나, DHA 및 EPA와 같은 n-3계 지방산이 LA보다 더 효과적인 것으로 알려져 있어[5,13,15], n-3계 지방산의 섭취가 점점 늘어가는 추세이다. 특히 DHA는 뇌와 망막에 높은 농도로 존재하는 것을 미루어 보아(20~25%), 이들 장기에서 n-3 계열의 다가불포화지방산은 신경세포막을 구성하는 중요한 물질로써 신경세포들 간의 신경전달에 필수적인 역할을 담당하는 것으로 보고되었다[3,4,12]. N-3계 지방산이 결핍된 식이를 2세대에 걸쳐 섭취시킨 경우에 n-3계 지방산을 충분히 식이를 통해 섭취한 경우보다 특히 뇌에서 DHA의 결핍이 증명되었으며, 이는 시각이나 후각 기능에 영향을 미친다는 것이 보고되었다[11].

유아들은 어머니의 태반에서부터 수유기까지 어머니로부터 DHA를 공급받아 뇌의 회백질(뇌신경조직), 신경세포, 안구의 신경조직들을 형성하는 것으로 알려져 있어 임산부에게 DHA를 함유하고 있는 생선을 섭취하는 것이 권장되고 있다[10]. 또한 DHA는 실험동물의 기억 학습능력을 비롯한 뇌 기능 향상에 기여하며[26,33,34], 뇌신경을 활성화해 머리를 좋게 하고 치매 예방에 효과가 있으며 시력도 좋게 한다고 알려져 있다[2,11,23,31,35,37]. 한편, EPA는 혈전 형성을 막아 동맥경화, 뇌졸중 등을 예방해주어 순환계를 건강하게 유지시키는데 중요한 역할을 하는 지방산으로써, 심장보호 및 기능 활성화와 중성지방과 LDL-콜레스테롤 수치를 낮추는데 효과가 있다[9,38]. 생체에 필요한 콜레스테롤은 주로 간에서 생성되는데 다가불포화지방산을 섭취하면 간에서 지방산의 합성이 억제되고 장관 내 콜레스테롤의 흡수를 저해하며 조직세포로부터 콜레스테롤이 제거되고 이런 콜레스테롤은 주로 담즙산의 형태로 전환되어 소화관 내의 담즙으로 배설된다[7,28].

N-3계 다가불포화지방산은 구조상 이중결합이 많아 체내 외에서 쉽게 산화된다는 단점이 있지만, 고등어는 이런 산화를 막는 천연 항산화제인 비타민 E를 함유하고 있어 자동산화의 용이성을 감소시킬 수가 있다[20]. 다만 DHA는 자연계의 담수 또는 해수 중에 서식하는 플랑크톤 및 해조류에서만 생합성이 되며, 인간을 포함한 고등동물에서는 합성되지 않아 음식을 통해 섭취해야 하는 필수 지방산 중 하나이다. DHA는 생체 내에서 전구물질인  $\alpha$ -linolenic acid (LNA, 18:

#### \*Corresponding author

Tel : +82-51-410-4757, Fax : +82-51-404-3988

E-mail : sylim@hhu.ac.kr

3n-3)의 불포화 및 탄소사슬의 연장반응을 거치면서 생합성된다. 이렇듯 n-3계 지방산을 섭취해야 하며, 그 필요량을 충족시키기 위해서 미국, 유럽뿐만 아니라 우리나라에서도 DHA 등 n-3계 지방산을 상품화한 캡슐로 제조하여 건강식품으로 판매가 되고 있다. 본 연구에서는 n-3계 지방산을 많이 함유하고 있는 고등어를 선택하여, 기존의 열풍건조기계의 단점인 높은 온도에 의한 영양소 손실을 막기 위하여 저온 진공 건조기[19]를 도입하였다. 건조된 고등어를 마우스에 섭취시켜 고등어에 의한 뇌, 망막 및 간에서의 지방산 조성 변화를 알아보려고 한다.

### 재료 및 방법

#### 실험동물 및 실험식이

본 실험에서는 체중이 약 18±0.1 g인 4주령 ICR 종의 수컷 마우스 20마리를 (주)중앙실험동물로부터 구입하였다. 마우스들의 체중을 고려하여 각 그룹 당 10마리씩 나누어 4주간 적정 환경인 온도 23±1℃, 명암은 12시간 cycle로 자동 조절되게 하였고, 식수와 실험 식이는 자유롭게 섭취하게끔 하여 사육하였다. 본 실험에 사용된 고형사료는 AIN-93[29]에 따른 표준식이로, 지방의 급원을 변형하여 (주)한샘 R&D 식이 회사에 의뢰해 pellet으로 조제하였다. 대조군(Control군)의 경우 지방 함량을 5%로 조절하고 주요 지방으로 palm oil을 사용하였고, 고등어군(Mackerel군)의 경우 고등어가 함유하고 있는 3대 에너지원 영양소들의 함량을 고려하여 나머지를 palm oil로 대체하였다(Table 1). 식이섭취량과 체중은 전 실험기간 동안 매일 일정시간에 측정하였으며, 식이효율(food efficiency ratio, FER)은 실험기간 동안의 체중증가량을 식이섭취량으로 나누어 다음과 같이 산출하였다.

$$FER (\%) = \frac{\text{총 실험기간의 체중증가량 (g)}}{\text{총 실험 기간의 식이섭취량 (g)}} \times 100$$

#### 재료

2005년 1월에 남해안에서 잡힌 선도가 양호하며 어체의

Table 1. Diet compositions of the experimental groups

|                       | Control | Mackerel |
|-----------------------|---------|----------|
|                       | g/kg    |          |
| Corn starch           | 488     | 486.4    |
| Casein                | 200     | 183.7    |
| Sucrose               | 150     | 150      |
| Cellulose             | 50      | 50       |
| Mineral mix           | 40      | 40       |
| Vitamin mix           | 20      | 20       |
| L-methionine          | 2       | 2        |
| Palm oil              | 50      | 17.9     |
| Dried mackerel powder |         | 50       |

중량(540g)이 비슷한 고등어 10 마리를 구입하였다. 신선한 상태에서 머리와 꼬리, 내장을 제거한 후 뼈를 중심으로 반으로 나누어 각각 3등분으로 포를 떴다. 포를 뜬 고등어를 저온 진공 건조기를 이용하여 40℃에서 40 torr의 압력으로 5 mm 두께로 30시간 건조하였다. 건조된 고등어 파우더는 실험 사용 전까지 -75℃에 냉동 보관되었다. 건조된 고등어의 지방산 분석 결과, 총 포화지방산 24%, 총 monounsaturated 16.5%, AA 2.64%, EPA 10.6% 및 DHA 16.6%로 나타났다.

#### 실험동물의 희생 및 시료의 채취

4주간의 사육기간이 완료된 후, 실험동물을 단두 절단하여 채혈한 후 즉시 해부하여 간, 소뇌, 대뇌 피질 및 망막을 적출하였다. 적출한 장기들은 중량을 측정 후, 액체 질소가스에서 급속 냉동하여 추후 실험 전까지 -75℃에서 냉동 보관하여 분석에 이용하였다.

#### 조직의 지방산 추출

지방산 분석은 Folch 등[8]을 변형하여 실시하였으며 간단히 요약하면 다음과 같다. 생체조직을 butylated hydroxy toluene (BHT)를 함께 함유한 메탄올로 교반하여 균질화하였다. 균질물을 1 ml 취한 후 chloroform 2 ml와 0.2 M NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.4 ml를 넣고 교반하여 4℃, 3,000 rpm에서 3분간 원심분리 후 지질층을 얻었다. 이와 같은 방법을 한 번 더 진행한 뒤 최종적으로 질소가스를 이용하여 서서히 지질층의 유기용매를 완전히 날린 다음 지질을 얻었다. Morrison과 Smith의 방법[24]에 따라 추출된 지질에 methylation용 시약인 boron trifluoride (BF<sub>3</sub>) methanol 1 ml와 hexane 0.4 ml를 가한 후 1시간동안 100℃에서 가열하였다. 1시간 후 실온까지 충분히 냉각시킨 다음 hexane 2 ml와 증류수 2 ml를 가한 후 다시 4℃, 3,000 rpm에서 3분간 원심분리 후 상등액을 얻었다.

#### Gas Chromatograph를 이용한 지방산 분석

상등액을 질소가스 하에서 조금 날린 후, 상등액 1 µl를 취하여 지방산 분석용 VARIAN CP-3380 gas chromatography에 주입하여 지방산을 분석하였다[32]. 지방산 분석에 사용한 표준용액은 미국 Nu-Check사의 462 standard를 이용하였다. 이용된 column은 silica capillary column (60 m × 0.32 mm inner diameter × 0.10 µl film thickness)이다. 기기의 분석조건은 detector (FID) 250℃, oven (initial 130℃, 분당 증가율은 175℃까지 4℃/min, 210℃까지 1℃/min, 245℃까지 30℃/min), injector 250℃ 그리고 carrier gas는 질소를 사용하였다. 지방산 분석은 표준용액의 retention time시간과 비교하여 정성하였고 내부 표준물질(22:3n-3 methyl ester)을 이용하여 총 지방산을 정량하였으며 개개의 지방산들은 전체 peak area의 퍼센트로 산출하였다.

**통계처리**

본 실험결과는 각 항목에 따라 mean±SEM으로 나타내었고, 각 군별로 유의성 검증을 위해서 Statistica program을 이용하여 p<0.05 수준에서 one-way ANOVA로 검증하였다.

**결과 및 고찰**

**체중증가량, 식이섭취량 및 식이효율**

실험기간동안 대조군과 고등어를 첨가한 식이(고등어군)를 4주간 공급한 마우스의 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율은 Table 2와 같다. 실험기간동안 체중증가량과 식이섭취량은 control군에 비해 mackerel군의 경우 다소 높은 경향을 보였으나 유의적 차이가 없었다.

**간 및 신경조직 지방산 조성**

고등어에 많이 함유된 n-3 지방산이 조직의 지방산 조성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 대조군과 고등어를 첨가한 식이를 섭취한 고등어군의 마우스로부터 간, 대뇌 피질, 소뇌 및 망막을 취해 이들 조직들의 지방산 조성을 비교 검토하였다(Table 3-6). Table 3에는 간의 지방산 조성을 나타내고 있으며 총 포화지방산, 총 monounsaturated 지방산 함량에는 대조군과 고등어군 간에 유의적 차이가 없었으나, 총 지방산 함량에서는 고등어군에서 대조군보다 28%로 감소하였다(p<0.05). 총 n-6 지방산의 함량은 두 군 간에 유의적 차이가 없었으나, 18:3n-6과 docosapentaenoic acid (22:5n-6, DPAn-6)의 함량은 대조군에 비해 고등어군에서 각각 22%, 67%로 감소하였고 반면 20:2n-6의 함량은 63%로 증가하였다(p<0.05). 총 n-3 지방산의 함량은 고등어군에서 대조군보다 211%로 증가하였고 그 중에서 18:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3 및 DHA의 함량은 고등어군에서 대조군보다 상당히 증가하였다(p<0.05). 본 저자의 선행된 연구에서 n-3계 지방산이 결핍된 식이를 섭취한 쥐는 n-3계 지방산이 적절히 섭취한 쥐들보다 이유기 때 간의 DHA는 65%로 감소한 반면 DPAn-6의 함량은 59% 증가하였고 성숙기 때의 DPAn-6의 함량이 143%까지 증가하였음을 보고하였다[21]. Kim 등은 n-3계 다가불포화지방산 함유 비율이 높은 정어리유와 n-6계 다가불포화지방산 함유비율이 높은 홍화유를 동량 혼합 급여하였을 때, 간과 뇌 등 주요 장기 및 조직의 지질개선 효과가 높

았다고 보고하였다[18]. Ruiter 등은 새끼 돼지들에게 olive 기름과 고등어 기름을 하루에 100 g씩 4주 동안 섭취를 시켰을 때, 고등어 기름을 섭취한 그룹이 간, 혈청 및 심장 근육의 지방산 구성에서 n-3계 지방산의 함량이 더 높았고 n-6계 지방산과 n-9 지방산의 함량은 낮게 나타났으며, 또한 혈중 hemoglobin, 혈장 glucose 및 혈청 중성지질의 함량 역시 낮게 나타났다고 보고하였다[30].

대뇌 피질의 지방산 조성을 살펴보면(Table 4), 총 포화지방산과 총 지방산의 함량에는 두 군 간에 차이가 없었고 고등어군의 총 monounsaturated 지방산의 함량에서는 고등어군에서 대조군보다 12%로 증가하였다(p<0.05). 총 n-6 지방산의 함량은 고등어군에서 대조군보다 감소하였고, n-6 계열 지방산 중에서 18:2n-6 및 DPAn-6의 함량은 대조군에 비해 각각 50% 및 86%로 감소하였다(p<0.05). 총 n-3 지방산의 함량은 대조군에 비해 12%로 증가하였고 그 중에서 22:5n-3과 DHA의 함량은 고등어군에서 대조군보다 각각 100% 및 11%로 증가하였다(p<0.05). DHA는 뇌의 피질과 망막 인지질의 주요 다가불포화지방산으로, 영장류의 뇌 성장 발달은

Table 2. Body weight gain, food intake and food efficiency rate (FER) in the experimental groups

|          | Weight gain (g/day)    | Food intake (g/day) | FER       |
|----------|------------------------|---------------------|-----------|
| Control  | 1.08±0.20 <sup>1</sup> | 5.42±0.17           | 0.21±0.04 |
| Mackerel | 1.11±0.23              | 6.21±0.38           | 0.19±0.04 |

<sup>1</sup>Each variable represents the mean ± SEM, n=10.

Table 3. Effect of mackerel intake on mouse liver fatty acid composition

|                              | Control                | Mackerel               |
|------------------------------|------------------------|------------------------|
| Fatty acids                  |                        |                        |
|                              | wt %                   |                        |
| Total Sat. <sup>2</sup>      | 29.5±2.53 <sup>1</sup> | 33.6±0.73              |
| Total Mono. <sup>3</sup>     | 35.4±1.63              | 32.1±1.49              |
| 18:2n-6                      | 5.5±0.20               | 4.5±0.44               |
| 18:3n-6                      | 0.09±0.005             | 0.07±0.01 <sup>*</sup> |
| 20:2n-6                      | 1.9±0.26               | 3.1±0.29 <sup>*</sup>  |
| 20:3n-6                      | 1.3±0.08               | 1.2±0.07               |
| 20:4n-6                      | 7.7±0.76               | 6.5±0.37               |
| 22:2n-6                      | 0.3±0.05               | 0.2±0.03               |
| 22:4n-6                      | 0.2±0.02               | 0.1±0.01               |
| 22:5n-6                      | 0.9±0.12               | 0.3±0.08 <sup>*</sup>  |
| Total n-6                    | 17.7±1.43              | 15.9±0.94              |
| 18:3n-3                      | 0.05±0.01              | 0.1±0.002 <sup>*</sup> |
| 20:3n-3                      | 0.02±0.01              | 0.02±0.005             |
| 20:5n-3                      | 0.04±0.01              | 0.1±0.01 <sup>*</sup>  |
| 22:5n-3                      | 0.03±0.01              | 0.1±0.01 <sup>*</sup>  |
| 22:6n-3                      | 1.7±0.13               | 5.6±0.39 <sup>*</sup>  |
| Total n-3                    | 1.9±0.13               | 5.9±0.40 <sup>*</sup>  |
| Total Fatty Acids (µg/mg wt) | 56.8±4.50              | 41.0±1.11 <sup>*</sup> |

<sup>1</sup>Each variable represents the mean ± SEM, n=5.

<sup>2</sup>Sat. means saturated fatty acids

<sup>3</sup>Mono. means monounsaturated fatty acids

<sup>\*</sup>p<0.05, significant effect between the control and mackerel groups

Table 4. Effect of mackerel intake on mouse cortex fatty acid composition

| Fatty acids                  | Control                | Mackerel   |
|------------------------------|------------------------|------------|
|                              | wt %                   |            |
| Total Sat. <sup>2</sup>      | 37.4±0.52 <sup>1</sup> | 37.4±0.71  |
| Total Mono. <sup>3</sup>     | 23.2±0.61              | 25.9±0.94* |
| 18:2n-6                      | 0.2±0.01               | 0.1±0.03*  |
| 20:2n-6                      | 0.4±0.03               | 0.5±0.04   |
| 20:3n-6                      | 0.4±0.01               | 0.4±0.02   |
| 20:4n-6                      | 8.1±0.19               | 7.6±0.18   |
| 22:2n-6                      | 0.3±0.05               | 0.3±0.03   |
| 22:4n-6                      | 2.9±0.09               | 2.5±0.08*  |
| 22:5n-6                      | 0.7±0.08               | 0.1±0.08*  |
| Total n-6                    | 13.1±0.33              | 11.6±0.33* |
| 20:3n-3                      | 0.1±0.03               | 0.1±0.03   |
| 22:5n-3                      | 0.1±0.002              | 0.2±0.01*  |
| 22:6n-3                      | 13.7±0.22              | 15.2±0.18* |
| Total n-3                    | 13.8±0.20              | 15.5±0.16* |
| Total Fatty Acids (µg/mg wt) | 37.1±1.93              | 33.9±1.89  |

<sup>1</sup>Each variable represents the mean ± SEM, n=5.

<sup>2</sup>Sat. means saturated fatty acids

<sup>3</sup>Mono. means monounsaturated fatty acids

\*p<0.05, significant effect between the control and mackerel groups

Table 5. Effect of mackerel intake on mouse cerebellum fatty acid composition

| Fatty acids                  | Control                | Mackerel   |
|------------------------------|------------------------|------------|
|                              | wt %                   |            |
| Total Sat. <sup>2</sup>      | 39.5±1.11 <sup>1</sup> | 39.3±1.61  |
| Total Mono. <sup>3</sup>     | 27.3±1.42              | 29.7±2.17  |
| 18:2n-6                      | 0.3±0.02               | 0.2±0.01*  |
| 20:2n-6                      | 0.5±0.02               | 0.6±0.04*  |
| 20:3n-6                      | 0.4±0.02               | 0.4±0.03   |
| 20:4n-6                      | 6.2±0.08               | 5.5±0.17*  |
| 22:2n-6                      | 0.2±0.01               | 0.3±0.07*  |
| 22:4n-6                      | 2.9±0.05               | 2.5±0.10*  |
| 22:5n-6                      | 0.5±0.05               | -          |
| Total n-6                    | 11.2±0.10              | 9.5±0.31*  |
| 20:3n-3                      | 0.02±0.01              | 0.02±0.01  |
| 20:5n-3                      | 0.2±0.14               | 0.02±0.01  |
| 22:5n-3                      | 0.1±0.03               | 0.3±0.05*  |
| 22:6n-3                      | 12.5±0.42              | 12.4±0.28  |
| Total n-3                    | 12.8±0.59              | 12.7±0.25  |
| Total Fatty Acids (µg/mg wt) | 32.6±0.67              | 24.7±2.63* |

<sup>1</sup>Each variable represents the mean ± SEM, n=5.

<sup>2</sup>Sat. means saturated fatty acids

<sup>3</sup>Mono. means monounsaturated fatty acids

\*p<0.05, significant effect between the control and mackerel groups

초기에 급속히 이루어져 태아기와 생후 1년 이내에 점차적으로 DHA의 전량을 축적하므로 DHA 또는 그 전구체인 n-3계 다불포화지방산이 모체와 유아 식이에 제공되어야 한다고 보고된 바가 있다[6,10]. 본 저자의 선행된 연구에서 n-3계 지방산이 결핍된 식이를 섭취한 쥐는 뇌 DHA가 이유기 때는 50%, 성숙기에는 70%까지 감소하였고 반면, n-6계열인 DPA n-6의 함량은 상당히 증가하였음을 보고하였다[21]. 이러한 지방산 조성의 변화는 실험쥐의 공간기억력 저하와 관련성이 높아 뇌의 DHA 함량이 낮은 동물의 경우 정상 범위의 DHA 함량을 가진 그룹에 비해 공간 기억력 및 후각에 기초한 기억력에 결함이 있음이 확인되었다[22].

소뇌의 지방산 조성의 경우(Table 5), 총 포화지방산과 총 monounsaturated 지방산의 함량에는 유의적 차이는 없었지만, 총 지방산 함량은 고등어군에서 대조군보다 24%로 감소하였다(p<0.05). 총 n-6 지방산의 함량은 대조군에 비해 고등어군에서 감소하였고, n-6 계열 지방산 중에서 18:2n-6, 20:4n-6 및 22:4n-6의 함량이 대조군에 비해 고등어군에서 각각 33%, 11% 및 14%로 감소하였으나 20:2n-6의 함량은 20% 증가하였다(p<0.05). 총 n-3 지방산의 함량은 두 군 간에 유의적 차이는 없었고, 22:5n-3의 함량은 대조군보다 200%로 증가하였으나, DHA 함량에는 변화가 없었다(p<0.05). 소뇌

는 동물의 평형 조정 능력을 담당하는 것으로, n-3 지방산 결핍에 의한 소뇌 DHA 함량의 저하는 평형 조정 능력에도 영향을 끼칠 것으로 예상되며, 여기에 대해서는 향후 연구 할 예정이다. Table 6은 망막의 지방산 조성을 나타내고 있으며, 총 포화지방산, 총 monounsaturated 지방산, 총 n-3 지방산 및 총 지방산의 함량에는 유의적 차이가 없었다. 고등어군의 총 n-6 지방산의 함량은 대조군보다 17% 감소하였고, n-6 계열 지방산 중에서 18:2n-6, 20:4n-6 및 22:4n-6의 함량은 고등어군에서 대조군보다 각각 20%, 17% 및 31%로 감소하였다(p<0.05). N-3 계열 지방산 중에서 20:5n-3과 22:5n-3의 함량이 대조군에 비해 고등어군에서 증가하였으나, DHA의 함량에는 변화가 없었다(p<0.05). Lim 등의 연구에서 n-3계 지방산이 결핍된 식이를 섭취한 쥐는 망막의 지방산 구성이 총 n-6계 지방산의 함량은 상당히 증가하였으나 DHA 등 총 n-3 지방산의 함량은 상당히 감소하였다고 보고하였다[21]. 망막과 소뇌에서 5% 고등어 섭취에 의한 DHA 함량에 변화가 없는 것은 고등어 섭취량이 충분하지 못한 것으로 여겨지며, 향후 건조 고등어 함량을 높여 이들에 의한 신경조직의 지방산 변화와 뇌 기능 개선효과와의 상호관련성을 연구할 필요가 있다고 사료된다.

Table 6. Effect of mackerel intake on mouse retina fatty acid composition

|                                 | Control                | Mackerel              |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Fatty acids                     |                        |                       |
|                                 | wt%                    |                       |
| Total Sat. <sup>2</sup>         | 40.6±0.51 <sup>1</sup> | 38.7±0.77             |
| Total Mono. <sup>3</sup>        | 14.2±0.56              | 13.9±0.57             |
| 18:2n-6                         | 0.5±0.03               | 0.4±0.05*             |
| 18:3n-6                         | 0.04±0.004             | 0.03±0.02             |
| 20:2n-6                         | 0.4±0.02               | 0.5±0.04 <sup>†</sup> |
| 20:3n-6                         | 0.4±0.02               | 0.3±0.02              |
| 20:4n-6                         | 8.1±0.21               | 6.7±0.23 <sup>†</sup> |
| 22:2n-6                         | 0.6±0.14               | 0.7±0.13              |
| 22:4n-6                         | 1.3±0.02               | 0.9±0.02 <sup>†</sup> |
| Total n-6                       | 11.4±0.27              | 9.5±0.36 <sup>†</sup> |
| 20:5n-3                         | 0.1±0.004              | 0.3±0.02 <sup>†</sup> |
| 22:5n-3                         | 0.3±0.02               | 0.5±0.02 <sup>†</sup> |
| 22:6n-3                         | 27.9±0.93              | 29.8±1.02             |
| Total n-3                       | 28.3±0.94              | 30.6±1.01             |
| Total Fatty Acids<br>(µg/mg wt) | 17.5±1.80              | 18.3±0.71             |

<sup>1</sup>Each variable represents the mean ± SEM, n=5.

<sup>2</sup>Sat. means saturated fatty acids

<sup>3</sup>Mono. means monounsaturated fatty acids

<sup>†</sup>p<0.05, significant effect between the control and mackerel groups

### 요 약

본 연구에서는 n-3계 지방산이 풍부하게 함유된 고등어를 기존의 열풍건조기의 단점을 보완하고 높은 온도에서 손실되는 영양소를 막기 위해 저온진공건조기를 도입하여 건조시킨 후, 건조고등어의 섭취에 의한 간 및 신경조직에서의 지방산 조성 변화를 알아보고자 하였다. 간 지방산 조성의 경우, 고등어군의 총 n-6 지방산 함량은 두 군에서 유의적 차이는 없었으나 총 n-3 지방산의 함량은 고등어군에서 대조군보다 증가하였다. N-3 계열 지방산 중에서 특히 DHA의 함량은 대조군에 비해 229% 증가하였다(p<0.05). 대뇌 피질의 지방산 조성의 경우, 고등어군의 총 monounsaturated 지방산은 대조군에 비해 유의적으로 증가하였으나, 총 n-6 지방산의 함량은 감소하였다(p<0.05). 반면 총 n-3 지방산은 대조군에 비해 12%로 증가하였고 그 중에서 22:5n-3와 DHA의 함량은 고등어군에서 대조군보다 증가하였다(p<0.05). 소뇌의 지방산 조성의 경우, 총 지방산 함량과 총 n-6 지방산의 함량이 고등어군에서 대조군보다 감소하였고, 총 n-3 지방산의 함량은 두 군 간에 유의적 차이는 없었으나 n-3계 지방산 중 22:5n-3의 함량은 200%로 증가하였다(p<0.05). 망막의 지방산 조성의 경우, 고등어군의 총 n-6 지방산의 함량은 대조

군보다 감소하였으나, 총 n-3 지방산의 함량은 유의적 차이가 나타나지 않았다. 반면, n-3계 지방산 중에서 20:5n-3과 22:5n-3이 각각 200%, 67%로 증가하였다(p<0.05). 이상의 결과로부터 n-3 지방산을 많이 함유한 건조 고등어 식이는 간 및 신경조직의 총 n-3 지방산의 함량을 증가시켰고, 특히 간, 대뇌 피질에서의 DHA의 함량을 증가시켰다. 이상의 결과를 토대로 건조 고등어 섭취는 뇌의 DHA 함량을 증가시켰으므로 향후 공간 기억력 테스트를 행하여 고등어 섭취에 의한 뇌 기능 개선 효과와 뇌의 DHA 함량 증가와의 상호 연관성에 대하여 검토할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 해양수산부 Sea Grant 연구개발사업비 지원(과제관리번호 SGCP-2005-05-LA05)에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- Adan, Y., K. Shibata, M. Sato, I. Ikeda and K. Imaizumi. 1999. Effects of docosahexaenoic and eicosapentaenoic acid on lipid metabolism, eicosanoid production, platelet aggregation and atherosclerosis in hypercholesterolemic rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **63**, 111-119.
- Bourre, J. M., M. Francois, A. Youyou, O. Dumont, M. Piciotti, G. Pascal and G. Durand. 1989. The effects of dietary alpha-linolenic acid on the composition of nerve membranes, enzymatic activity, amplitude of electrophysiological parameters, resistance to poisons and performance of learning tasks in rats. *J. Nutr.* **119**, 1880-1892.
- Bourre, J. M., O. Dumont, G. Pascal and G. Durand. 1993. Dietary alpha-linolenic acid at 1.3 g/kg maintains maximal docosahexaenoic acid concentration in brain, heart and liver of adult rats. *J. Nutr.* **123**, 1313-1319.
- Bourre, J. M., O. S. Dumont, M. J. Piciotti, G. A. Pascal and G. A. Durand. 1992. Dietary alpha-linolenic acid deficiency in adult rats for 7 months does not alter brain docosahexaenoic acid content, in contrast to liver, heart and testes. *Biochim. Biophys. Acta* **1124**, 119-122.
- Bronsgest-Schoute, H. C., C. M. Van Gent, J. B. Luten and A. Ruiter. 1981. The effect of various intakes of ω3 fatty acids on the blood lipid composition in healthy human subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* **34**, 1752-1757.
- Choi, W. J., H. S. Kim, S. H. Kim, I. S. Su, G. J. Kim and S. Y. Chung. 1994. Effects of feeding the mixture of linseed and sunflower seed oil on the fatty acid composition in lipid of brain and heart in dietary hyperlipidemic rats. *J. Kor. Soc. Food Nutr.* **23**, 205-211.
- Connor, W. E. and S. L. Connor. 1982. The dietary treatment of hyperlipidemia. Rationale, technique and efficacy. *Med. Clin. North Am.* **66**, 485-518.
- Folch, J., M. Lees and G. H. Sloane Stanley. 1957. A

- Simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226**, 497-509.
9. Froyland, L., H. Vaagenes, D. K. Asiedu, A. Garras, O. Lie and R. K. Berge. 1996. Chronic administration of eicosa-pentaenoic acid and docosahexaenoic acid as ethyl esters reduced plasma cholesterol and changed the fatty acid composition in rat blood and organs. *Lipids* **31**, 169-178.
  10. Green P. and E. Yavin. Mechanisms of docosahexaenoic acid accretion in the fetal brain. *J. Neurosci. Res.* **15**, 129-136.
  11. Greiner, R. S., T. Moriguchi, B. M. Slotnick, A. Hutton and N. Salem. 2001. Olfactory discrimination deficits in n-3 fatty acid-deficient rats. *Physiol. Behav.* **72**, 379-385.
  12. Hamosh, M. and N. Salem. 1998. Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids. *Biol. Neonate* **74**, 106-120.
  13. Harris, W. S., W. E. Connor and M. P. McMurry. 1983. The comparative reductions of the plasma lipids and lipoproteins by dietary polyunsaturated fats : Salmon oil versus vegetable oils. *Metabolism.* **32**, 179-184.
  14. Harris, W. S., W. E. Connor, S. B. Inkeles and D. R. Illingworth. 1984. Dietary omega-3 fatty acids prevent carbohydrate-induced hypertriglyceridemia. *Metabolism* **33**, 1016-1019.
  15. Herold, P. M. and J. E. Kinsella. 1986. Fish oil consumption and decreased risk of cardiovascular disease : a comparison of findings from animal and human feeding trials. *Am. J. Clin. Nutr.* **43**, 566-598.
  16. Illingworth, D. R., W. S. Harris and W. E. Connor. 1984. Inhibition of low density lipoprotein synthesis by dietary omega-3 fatty acids in humans. *Arteriosclerosis* **4**, 270-275.
  17. Kestin, M., P. Clifton, G. B. Belling and P. J. Nestel. 1990. N-3 fatty acids of marine origin lower systolic blood pressure and triglycerides but raise LDL cholesterol compared with n-3 and n-6 fatty acids from plants. *Am. J. Clin. Nutr.* **51**, 1028-1034.
  18. Kim, H. S., S. H. Kim, G. J. Kim, W. J. Choi and S. Y. Chung. 1993. Effects of the feeding mixed oils with various level of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acid on the lipid components of liver, brain, testis and kidney in dietary hyperlipidemic rats. *J. Kor. Soc. food Nutr.* **22**, 685-691.
  19. Kim, K. K. 1999. Thermal characteristics of agriculture and fisheries by low temperature vacuum dryer. *Proceedings of the KSME 1999 Spring Annual Meeting*, pp 1-6.
  20. Kim, Y. K. and K. J. Joo. 1994. EPA, DHA and tocopherols contents in fish oil products and fishes. *J. Kor. Soc. Food Nutr.* **23**, 68-72.
  21. Lim, S. Y. 2005. Effect of n-3 fatty acid deficiency on fatty acid composition in brain, retina and liver using a novel artificial rearing system. *J. Kor. Soc. food Sci. Nutr.* **34**, 466-475.
  22. Lim, S. Y., J. Hoshiba, T. Moriguchi and N. Salem. 2005. N-3 fatty acid deficiency induced by a modified artificial rearing method leads to poorer performance in spatial learning tasks. *Pedia. Res.* **58**, 741-748.
  23. Moriguchi, T., R. S. Greiner and N. Salem. 2000. Behavioral deficits associated with dietary induction of decreased brain docosahexaenoic acid concentration. *J. Neurochem.* **75**, 2563-2573.
  24. Morrison, W. R. and L. M. Smith. 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *J. Lipid Res.* **5**, 600-608.
  25. Nelson, G. J., P. C. Schmidt, G. L. Bartolini, D. S. Kelley and D. Kyle. 1997. The effect of dietary docosahexaenoic acid on plasma lipoproteins and tissue fatty acid composition in humans. *Lipids* **32**, 1137-1146.
  26. Neuringer, M. and W. E. Connor. 1986. N-3 fatty acids in the brain and retina ; Evidence for their essentiality. *Nutr. Rev.* **44**, 285-294.
  27. Newman, R. E., W. L. Bryden., E. Fleck, J. R. Ashes, W. A. Buttemer, L. H. Storlien and J. A. Downing. 2002. Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism: metabolism and abdominal fat deposition. *Br. J. Nutr.* **88**, 11-18.
  28. Paul R., C. S. Ražnesha, J. Ganguly. 1980. On the mechanism of hypocholesterolemic effects of polyunsaturated lipids. *Adv. lipid Res.* **17**, 155-171.
  29. Reeves P. G., F. H. Nielsen and G. C. Fahey. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J. Nutr.* **123**, 1939-1951.
  30. Ruiter A., A. W. Jongbloed, C. M. van Gerit, L. H. Danse, S. H. Metz. 1978. The influence of dietary mackerel oil on the condition of organs and on blood lipid composition in the young growing pig. *Am. J. Clin. Nutr.* **31**, 2159-2166.
  31. Salem, N., B. Litman, H. Y. Kim and K. Gawrisch. 2001. Mechanisms of action of docosahexaenoic acid in the nervous system. *Lipids* **36**, 945-959.
  32. Salem, N., M. Reyzer and J. Karanian. 1996. Losses of arachidonic acid in rat liver after alcohol inhalation. *Lipids* **31**, 153-156.
  33. Singh, G. and R. K. Chandra. 1988. Biochemical and cellular effects on fish and fish oils. *Prog. Food Nutr. Sci.* **12**, 371-419.
  34. Tinoco, J. 1982. Dietary requirements and functions of alpha-linolenic acid on animals. *Prog. Lipid Res.* **21**, 1-45.
  35. Tinoco, J., R. Babcock, I. Hincenbergs, B. Medwadowski and P. Miljanich. 1978. Linolenic acid deficiency: Changes in fatty acid patterns in female and male rats raised on a linolenic acid-deficient diet for two generations. *Lipids* **13**, 6-17.
  36. Weber, P. C. and A. Leaf. 1991. Cardiovascular effects of omega 3 fatty acids. In: Simopoulos, A. P., Kifer, R. R., Martin, R. E. and Barlow, S. (eds), *Health effects of ω3 polyunsaturated fatty acids in seafoods. World Review of Nutrition and Dietetics*, Basel, Karger, Vol. 66, pp 218-232.
  37. Weisinger, H. S., A. J. Vingrys and A. J. Sinclair. 1996. Effect of dietary n-3 deficiency on the electroretinogram in the guinea pig. *Ann. Nutr. Meta.* **40**, 91-98.
  38. Yamada, N., J. Shimizu, M. Wada, T. Takita and S. Innami. 1998. Changes in platelet aggregation and lipid metabolism in rats given dietary lipids containing different n-3 polyunsaturated fatty acids. *J. Nutr. Sci. Vitaminol (Tokyo).* **44**, 279-289.