

저온 진공 건조기를 이용하여 건조된 고등어의 투여가 마우스 혈청과 조직의 지질 및 지방산 조성에 미치는 영향

최형주¹ · 김창복² · 김경근² · 임선영^{1*}

¹한국해양대학교 해양환경생명과학부

²한국해양대학교 기관시스템공학부

Effect of Low Temperature Vacuum Dried Mackerel Intake on Lipid Profiles and Fatty Acid Compositions in Serum, Heart, Kidney and Adipose Tissue in Mice. Hyung-Ju Choi¹, Chang-Bok Kim², Kyung-Kun Kim² and Sun-Young Lim^{1*}.
¹Division of Marine Environment & Bioscience, Korea Maritime University, Busan, Korea,
²Division of Marine System Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea.

Abstract This study was designed to investigate the possibility of the use of dried mackerel, which is enriched with docosahexaenoic (22:6n-3, DHA) and eicosapentaenoic (20:5n-3, EPA) acids, as a means of increasing the intake of these n-3 polyunsaturated fatty acids, and to investigate the effect of the consumption of mackerel on tissue triglyceride, cholesterol contents and fatty acid compositions. Twenty male mice were fed on 5% palm oil (control group) and 5% dried mackerel (mackerel group) diets for four weeks. Total triglyceride, cholesterol and LDL-cholesterol levels tended to decrease in serum, heart and kidney of the mackerel group compared to the control group, while HDL-cholesterol levels were increased with the intake of mackerel. In fatty acid compositions of serum and heart, the mackerel group showed increased percentages of n-3 fatty acids, especially DHA and EPA, and decreased percentages of arachidonic (20:4n-6, AA) and docosapentaenoic (22:5n-6, DPAn-6) acids compared to the control group ($p < 0.05$). There was a similar tendency in kidney and adipose tissue but AA levels were not significantly different between the control and mackerel groups. These results indicate that intake of dried mackerel as the n-3 vehicle for increasing tissue n-3 fatty acids may be associated with improvement in lipid metabolism.

Key words : Mackerel, low temperature vacuum dryer, cholesterol, triglyceride, docosahexaenoic acid

서 론

고등어 (*Scomber japonicus*)는 정어리, 전갱이, 꽁치와 함께 4대 등 푸른 생선으로 '바다의 보리'라고 불릴 정도로 그 영양가를 인정받고 있다. 단백질, 지방, 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨, 비타민 A, 비타민 B, 비타민 D 등의 영양가가 풍부한 고등어는 값이 저렴하여 서민들에게 친근하며 우리나라 바다에서 어획량이 많은 생선 중의 하나이며 조리가 간편하여 간(소금)에 절인 고등어구이나 조림, 튀김 등으로 오랜 세월

동안 우리의 좋은 음식이 되어왔다.

고등어에 많이 함유되어 있는 n-3계 지방산은 혈소판 응집억제 [1,32] 혈압감소 [12,30], 동맥경화 감소 [1], 혈액 중 콜레스테롤 농도의 저하 [8,10-12] 및 중성지방 저하작용 [5,8,10-11,23-24] 등의 생리효과가 있다고 보고되었다. N-3계 지방산 중 특히 docosahexaenoic acid (DHA)와 eicosapentaenoic acid (EPA)는 혈액 내의 중성지방 수치와 혈액이 엉키는 성질을 감소시켜 심장질환의 발병위험을 낮추어 심혈관에 대한 사망의 위험성을 줄일 수 있는 것으로

* Corresponding author

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

E-mail: sylim@hhu.ac.kr

알려져 있다 [8,32]. DHA는 분자구조상 세포막을 유동적으로 만들어 혈액을 흐르기 좋은 형태로 만들어 주고, 동시에 LDL-콜레스테롤을 제거해 동맥경화를 예방함으로써 혈압을 낮추는 효과가 있다. 또한 뇌신경을 활성화해 머리를 좋게 하고 치매 예방에 효과가 있으며 시력도 좋게 한다고 알려져 있다 [3,9,20,27,29,31]. EPA는 혈관에서 피가 엉기는 것을 막아 동맥경화, 뇌졸중 등을 예방해주며 순환계를 건강하게 유지시키는데 중요한 역할을 하는 지방산으로 심장보호 및 기능 활성화와 LDL-콜레스테롤 수치를 낮추는데 효과가 있다 [8,32]. 또한 고등어는 지방 산화를 막는 천연 항산화제인 비타민 E를 함유하고 있어 n-3계 지방산의 단점인 자동산화의 용이성을 감소시킬 수가 있다 [17]. 이 밖에도 본 저자의 선행된 연구에서 고등어 메탄올 추출물이 Ames test에서 돌연변이유발 억제효과를 나타내었고 인체 위암 및 결장암세포 증식 억제효과가 있음을 보고하였다 [18].

이상의 보고들을 종합해 보면 고등어는 건강식품으로 대두되며 고등어의 영양학적 재인식과 대중화 보급을 위해 기존의 염장 고등어 형태의 한정된 조리에서 벗어나 최근 웰빙 문화와 더불어 간편하면서도 고등어가 원래 가지고 있는 양질의 영양소가 유지된 형태의 가공식품 개발이 필요하다고 여겨진다. 그 예로 식품을 건조시키는 방법으로 현재까지 개발되어 보급되고 있는 건조기계는 주로 열에너지의 공급방법으로 열풍과 건조물을 직접 접촉시켜 건조물 재료에 열에너지가 전달되어지는 방법인데 공급되는 열풍에너지의 높은 온도와 낮은 습도를 건조물 재료의 낮은 온도와 높은 온도에 접촉시키므로 열전달에 의한 수분증발을 유도하여 건조시키는 대류 전열 열풍건조기가 주종을 이루고 있다. 그러나 이러한 건조기계는 열풍이 순환되므로 송풍이 필요하게 되고 순환되면서 증발된 수분에 의해 습도가 높아져 열풍을 배기해야 하므로 다량의 습한 열에너지가 밖으로 버려지게 되므로 건조 장치에서 높은 열효율을 기대할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기존의 열풍건조기계의 단점을 보완하고 높은 온도에 의한 영양소 손실을 막기 위하여 저온 진공 건조기 [16]를 도입하여 고등어를 건조 시킨 후 마우스에 섭취시켜 고등어에 의한 혈청, 심장, 신장 및 지방조직에서의 지방산 함량 변화와 지질대사 개선효과를

알아보고자 한다.

재료 및 방법

재료

2004년 12월 남해안에서 잡힌 선도가 양호하고 어체의 중량(540 g)이 비슷한 고등어 10 마리를 구입하였다. 신선한 상태에서 머리와 꼬리, 내장을 제거한 후 뼈를 중심으로 반으로 나누었다. 반으로 나눈 고등어는 3 등분으로 포를 떼으며 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 29%, 총 monounsaturated 18.7%, arachidonic acid (AA) 2.3%, EPA 7.5% 및 DHA 19.1%로 나타났다.

실험동물 및 실험식이

본 실험에서는 체중 약 18±0.1 g의 3주령 ICR 종의 수컷 마우스 20마리를 (주)중앙실험동물로부터 구입하였다. 20마리의 마우스를 체중을 고려하여 각 그룹 당 10 마리씩 나누어 4 주간 사육하였다. 사육 조건은 적정 환경인 온도 23±1℃로 하였으며, 명암은 12시간 cycle로 자동 조절되게 하였고 식수와 실험 식이는 자유섭취하게 하였다. 본 실험에 사용된 고형사료는 AIN-93 [26]에 따른 식이로 지방의 급원을 변형하여 (주)한삼 R&D 식이회사에 의뢰하여 pellet으로 조제하였다. 대조군(Control군)의 경우 지방 함량을 5%로 조절하고 주요 지방으로 palm oil를 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 측정하였다. 식이효율(food efficiency ratio, FER)은 실험기간 동안의 체중증가량을 식이섭취량으로 나누어 다음과 같이 산출하였다.

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

실험동물의 희생 및 시료의 채취

사육기간 4 주가 완료된 후 실험동물을 단두 절단

Table 1. Diet compositions of the experimental groups

	Control (g/kg)	Mackerel (g/kg)
Corn starch	488	483
Casein	200	175
Sucrose	150	150
Cellulose	50	50
Mineral mix	40	40
Vitamin mix	20	20
DL-Methionine	2	2
Palm oil	50	30
Dried mackerel powder		50

하여 채혈한 후 즉시 해부하여 심장, 신장, 지방조직을 적출하였다. 적출한 심장, 신장, 지방조직은 중량을 측정 후, 액체 질소가스에서 급속 냉동하여 추후 실험 전까지 -75°C에서 냉동 보관하여 분석에 이용하였다.

혈청 및 조직의 지질 분석

심장과 신장은 homogenizing buffer (154 mM KCl, 50 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA, pH 7.4)로 균질화한 다음 4°C의 3,000 rpm에서 10 분간 원심분리 (Combi-514R, 한일산업, 한국)하였다. 원심분리 후 상층액을 취하여 분석 전까지 -80°C에 보관하였다. 중성지방(triglyceride) 함량은 표준 효소법에 의해 kit 시약(신양화학약품주식회사, 한국)을 사용하여 분석하였다 [19]. 즉 시료에 발색시약을 첨가하여 혼합한 후 37°C 항온수조에서 5분간 반응시켜 발색시킨 뒤 흡광도계(Thermo Spectronic, Waltham, USA) 505 nm에서 흡광도를 측정하였다. 중성지방의 표준 용액을 농도별로 준비한 것을 위의 방법과 동일하게 발색시켜 표준곡선을 만든 후, 시료의 흡광도와 비교하여 중성지방 함량을 구하였다.

총 콜레스테롤 함량은 위의 방법과 동일한 방법으로 표준 효소법에 의해 kit 시약(신양화학약품주식회사, 한국)을 사용하여 분석하였다 [2]. 시료의 흡광도를 총 콜레스테롤의 농도별 표준용액 표준곡선과 비교하여 시료의 총 콜레스테롤 함량을 구하였다. HDL-콜레스테롤 함량은 시료와 침전시액(phosphotungstic acid-MgCl₂)을 1:1의 비율로 잘 혼합하여 실온에서 10분 이상 방치 후 300 rpm에서 10분간 원심 분리하여 그 상층액을 시료로 표준 효소법에 의해 kit(신양화학약품주식회사, 한국)를 사용하여 555 nm에서

흡광도를 측정하였다. 시료의 흡광도를 HDL-콜레스테롤의 농도별 표준용액 표준곡선과 비교하여 시료의 HDL-콜레스테롤 함량을 구하였다. LDL-콜레스테롤 함량은 다음 Friedewald [7]식을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{LDL-cholesterol (mg/dl)} = \text{total cholesterol} - (\text{HDL-cholesterol} + \text{triglyceride}/5)$$

조직의 지방산 추출

지방산 분석은 Folch 등 [6]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 NaH₂PO₄ 1.4 ml를 넣고 교반하여 4°C, 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 [21]에 따라 추출된 지질에 methylation용 시약인 boron trifluoride methanol(BF₃) 1 ml와 hexane 0.4 ml를 가한 후 1시간동안 100°C에서 가열하였다. 1시간 후 실온까지 충분히 냉각시킨 다음 hexane 2 ml와 증류수 2 ml를 가한 후 다시 4°C, 3,000 rpm에서 3분간 원심분리 후 상등액을 얻었다.

Gas Chromatography를 이용한 지방산 분석

상등액을 질소가스 하에서 조금 증발시킨 후, 상등액 1 µl를 취하여 지방산 분석용 VARIAN CP-3380 gas chromatography에 주입하여 지방산을 분석하였다 [28]. 지방산 분석에 사용한 표준용액은 미국 Nu-Check사의 462 standard를 이용하였다. 이용된 column은 silica capillary column(60 m × 0.32 mm inner diameter × 0.10 µm film thickness) 이다. 기기의 분석조건은 detector (FID) 250°C, oven (initial 130°C, 분당 증가율은 175°C까지 4°C/min, 210°C까지 1°C/min, 245°C까지 30°C/min), injector 250°C 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 대조군(control)과 고등어를 첨가한 식이(고등어군)를 4주간 공급한 마우스의 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율은 Table 2와 같다. 실험기간동안 체중증가량과 식이섭취량은 대조군(control)에 비해 고등어군의 경우 다소 높은 경향을 보였으나 유의적 차이가 없었다.

혈청 및 조직 균질물의 중성지방, 총콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 함량

마우스에 각 식이를 4주간 섭취시킨 후 대조군(control)과 고등어가 첨가된 식이군의 혈청, 심장, 및 신장을 취하여 중성지방, 총콜레스테롤, LDL-콜레스테롤 및 HDL-콜레스테롤 함량을 측정된 결과는 Table 3과 같다. 혈청, 심장 및 신장 균질물에서 고등어군의 중성지방의 함량이 대조군(control)보다 낮았으나 유의성은 없었다. 총 콜레스테롤과 LDL-콜레

스테롤의 경우에서도 고등어군의 혈청, 심장 및 신장 균질물에서 대조군보다 낮은 함량을 나타내었으나 유의적 차이는 보이지 않았다. 한편, HDL-콜레스테롤 함량의 경우, 고등어군의 혈청과 심장에서 대조군(control)보다 높은 경향을 나타내었지만 유의적 차이를 나타내지 않았다. Kim과 Park [13]은 지방 급원을 달리하여 n-6 급원인 옥수수유, linolenic acid 급원인 들깨유 및 EPA+DHA 급원인 어유를 여성에게 2주간 섭취시켰을 때 혈장 총콜레스테롤은 어유 급여 시 가장 많이 감소되었으며 옥수수급여에 의해 유의적인 증가를 나타내었고 혈청 중성지방 함량은 어유에 의해 유의적으로 감소하였으며 다음으로 들깨유, 옥수수유 순이었다고 보고하였다. 여성을 대상으로 하는 Park과 Han의 연구결과에서도 어유 섭취에 의해 HDL-콜레스테롤은 증가하였고 혈청 중성지방의 농도는 감소하였다고 보고하였다 [25]. 동물실험에서도 정어리유, 대두유, 돈지에 의한 쥐의 혈액 지질에 미치는 영향을 조사한 결과, 혈장 총콜레스테롤과 중성 지방함량은 정어리유 급여 시 낮게 나타났다고 보고하였다 [4]. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 n-3 지방산은 혈액 중 중성지방과 콜레스테롤 함량의 저하를 유도하고 HDL-콜레스테롤 함량을 상승시키는 것을 알 수가 있었다. 본 연구에서 대조군과 고등어군 간의 이들 지질 함량의 유의적 차이를 관찰할 수가 없었으나 이상의 연구결과들과 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 요인으로서는 기존의 연구에서 어유만을 사용한 것과 대조적으로 본 연구에서는 건조 고등어 가공식품으로 섭취하였으므로 어유에 비해 다소 덜 농축된 DHA 혹은 EPA 농도에 기인하는 것으로 여겨지며 향후 건조 고등어의 함량 증가에 따른 생화학적 변화에 대해서 연구가 계속 필요하다고 사료된다.

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 ¹	5.42±0.17	0.21±0.04
Mackerel	1.11±0.23	6.21±0.38	0.19±0.04

¹Each variable represents the mean±SEM, n=10.

Table 3. Lipid profiles in serum, and heart and kidney homogenates in the experimental groups

		Triglyceride (mg/dL)	Cholesterol (mg/dL)		
			Total	LDL	HDL
Serum	Control	111.8±9.90 ¹	134.6±10.79	25.96±5.41	86.32±7.40
	Mackerel	110.3±4.69	128.3±3.97	18.10±3.98	94.03±5.96
Heart Homogenates	Control	144.1±6.26	47.6±1.59	11.4±3.20	26.2±1.52
	Mackerel	141.9±27.47	42.7±5.60	7.5±1.93	28.4±3.40
Kidney Homogenates	Control	152.1±19.47	37.2±5.03	6.80±1.66	4.9±0.31
	Mackerel	124.5±8.13	28.0±2.06	4.32±1.13	4.0±0.41

¹Each variable represents the mean±SEM, n=10.

혈청 및 조직의 지방산 조성

고등어에 많이 함유된 n-3 지방산이 조직의 지방산 조성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 대조군(control)과 고등어를 첨가한 식이를 섭취한 고등어군의 마우스로부터 혈청, 심장, 신장, 지방조직을 취해 이들 조직들의 지방산 조성을 비교 검토하였다(Table 4-7). Table 4에는 혈청 지방산 조성을 나타내고 있으며 총 포화지방산, 총 monounsaturated 지방산 및 총 지방산 함량에는 대조군(control)과 고등어군 간에 유의적 차이가 없었다. 고등어군의 총 n-6 지방산 함량은 대조군보다 19%로 감소한 반면 총 n-3 지방산의 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 180%로 증가하였다($p<0.05$). N-6 계열 지방산 중에서 18:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-6, 22:4n-6 및 22:5n-6의 함량은 대조군(control)에 비해 고등어군에서 각각 27%, 21%, 32%, 36% 및 62%로 감소하였다($p<0.05$). N-3 계열 지방산 중에서 20:5n-3, 22:5n-3의 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 더 높게 나타났으며 특히 22:6n-3의 함량은 대조군(control)

Table 4. Effect of mackerel intake on mouse serum fatty acid compositions (wt % of total fatty acids)

	Control	Mackerel
Fatty acids		
Total Sat. ²	22.9±0.96 ¹	23.4±0.61
Total Mono. ³	31.4±1.06	36.3±1.85
18:2n-6	10.2±0.48	7.4±0.31*
18:3n-6	0.1±0.01	0.1±0.01
20:2n-6	3.5±0.18	5.3±0.48*
20:3n-6	1.9±0.09	1.5±0.07*
20:4n-6	9.4±0.70	6.4±0.62*
22:2n-6	0.6±0.11	0.5±0.18
22:4n-6	0.11±0.02	0.07±0.004*
22:5n-6	0.8±0.11	0.3±0.01*
Total n-6	26.5±1.25	21.5±1.13*
18:3n-3	0.04±0.01	0.04±0.003
20:3n-3	0.1±0.02	0.04±0.01
20:5n-3	0.04±0.004	0.2±0.01*
22:5n-3	0.03±0.01	0.1±0.01*
22:6n-3	1.3±0.07	3.7±0.30*
Total n-3	1.5±0.07	4.2±0.30*
Total Fatty Acids ($\mu\text{l/ml}$ wt)	3.5±0.18	3.5±0.06

¹Each variable represents the mean±SEM, n=5.

²Sat. means saturated fatty acids

³Mono. means monounsaturated fatty acids

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

에 비해 185% 증가하였다($p<0.05$). Choi 등 [4]의 연구에서 정어리를 실험동물에 급여 했을 때 대두유 및 돈지를 급여한 군들보다 적혈구 인지질의 지방산 조성에서 n-3 지방산은 증가하고 n-6 지방산은 감소하였다고 보고하였다. N-3계 EPA와 DHA의 함유 비율이 높은 정어리류와 n-6계 linoleic acid의 함유 비율이 높은 홍화유의 혼합급여가 고지질 식이 흰쥐의 혈청의 지방산 대사에 미치는 영향에 관한 연구에서 혈청 인지질, 중성지질 및 콜레스테롤 에스테르의 지방산 조성은 홍화유의 혼합비율이 증가함에 따라 n-3계 지방산 및 EPA/AA 비율은 감소되는 반면 n-6계 지방산 및 arachidonic acid (AA)/고도의 불포화지방산 비율은 증가되는 경향 [15]을 나타내었으며 혈청 콜레스테롤, LDL 콜레스테롤 및 중성지질의 농도는 어유 혼합 식이군에서 낮았다고 보고하였다 [14].

Table 5는 심장의 지방산 조성을 나타내고 있으며, 총 포화지방산과 총 지방산의 함량에는 두 군 간에 차이가 없었고 고등어군의 총 monounsaturated 지방산의 함량에서는 대조군(control)에 비해 유의적으로

Table 5. Effect of mackerel intake on mouse heart fatty acid compositions (wt % of total fatty acids)

	Control	Mackerel
Fatty acids		
Total Sat. ²	34.2±1.77 ¹	36.2±0.82
Total Mono. ³	33.2±2.54	22.8±2.50*
18:2n-6	4.9±0.28	3.3±0.28*
18:3n-6	0.1±0.01	0.2±0.02*
20:2n-6	1.0±0.08	1.7±0.30
20:3n-6	0.6±0.06	0.6±0.06
20:4n-6	9.0±1.00	8.0±1.02
22:2n-6	0.3±0.03	0.3±0.03
22:4n-6	0.5±0.04	0.3±0.03*
22:5n-6	2.0±0.15	0.2±0.15*
Total n-6	18.4±1.32	14.7±1.49
20:3n-3	0.02±0.002	0.02±0.004
20:5n-3	-	0.1±0.01
22:5n-3	0.3±0.02	0.8±0.08*
22:6n-3	4.9±0.42	14.5±1.58*
Total n-3	5.3±0.45	15.4 ±1.67*
Total Fatty Acids ($\mu\text{g/mg}$ wt)	29.5±3.24	22.4±2.24

¹Each variable represents the mean±SEM, n=5.

²Sat. means saturated fatty acids

³Mono. means monounsaturated fatty acids

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

감소하였다($p<0.05$). 총 n-6 지방산의 함량의 경우 유의적 차이는 없었으나, n-6 계열 지방산 중에서 18:2n-6, 22:4n-6 및 22:5n-6의 함량은 대조군(control)에 비해 각각 33%, 40% 및 90%로 감소하였고 반면 18:3n-6의 함량은 100%로 증가하였다($p<0.05$). 총 n-3 지방산은 대조군(control)에 비해 191%로 증가하였고 그 중에서 22:5n-3과 22:6n-3의 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 각각 167% 및 196%로 증가하였다($p<0.05$). Murphy 등 [22]은 guinea pig를 이용하여 심장을 추출한 후 지질부분을 인지질과 중성지질로 나누어 살펴본 실험에서 어유를 첨가한 식이군의 경우 대조군(control)에 비하여 심장 인지질의 총 monounsaturated 지방산의 증가와 중성지질의 총 포화지방산의 감소를 보고하였고 인지질과 중성지질의 n-6/n-3 비의 감소를 관찰하였다.

신장의 지방산 조성의 경우(Table 6), 총 포화지방산, 총 monounsaturated 및 총 n-6 지방산의 함량에는 유의적 차이는 없었지만, 총 지방산 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 감소하였다($p<0.05$). N-6

계열 지방산 중에서 18:2n-6, 22:4n-6 및 22:5n-6의 함량은 대조군(control)에 비해 고등어군에서 각각 43%, 33% 및 58%로 감소하였고 20:2n-6의 함량은 80% 증가하였다($p<0.05$). 총 n-3 지방산의 함량은 대조군(control)에 비해 고등어군에서 98% 증가하였고 n-3 계열 지방산 중에서 20:5n-3과 22:6n-3의 함량은 대조군(control)보다 각각 233%, 105%로 증가하였다($p<0.05$). Table 7은 지방조직의 지방산 조성을 나타내고 있으며, 총 포화지방산과 총 지방산의 함량에는 유의적 차이가 없었고 총 monounsaturated 지방산의 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 16%로 증가하였다($p<0.05$). 고등어군의 총 n-6 지방산의 함량은 대조군(control)보다 32% 감소하였고 n-6 계열 지방산 중에서 18:2n-6의 함량은 대조군(control)보다 37% 감소하였다($p<0.05$). 총 n-3 지방산 및 특히 DHA 함량은 고등어군에서 매우 높은 수치를 나타내었다. 이상의 결과를 종합하면 n-3 지방산을 많이 함유한 건조 고등어 식이는 심장 및 신장의 n-3 지방산의 함량을 증가시켰으나 이상의 증가된 n-3 지방

Table 6. Effect of mackerel intake on mouse kidney fatty acid compositions (wt % of total fatty acids)

	Control	Mackerel
Fatty acids		
Total Sat. ²	35.3±1.37 ¹	33.6±0.75
Total Mono. ³	35.7±1.66	34.6±1.41
18:2n-6	4.0±0.20	2.3±0.10*
18:3n-6	0.03±0.004	0.04±0.005
20:2n-6	0.5±0.03	0.9±0.09*
20:3n-6	0.5±0.05	0.5±0.05
20:4n-6	5.7±0.49	6.0±0.34
22:2n-6	0.5±0.12	0.2±0.03
22:4n-6	0.3±0.03	0.2±0.01*
22:5n-6	1.2±0.17	0.5±0.10*
Total n-6	12.8±0.85	10.7±0.60
18:3n-3	0.1±0.01	0.1±0.01
20:3n-3	0.02±0.01	0.01±0.003
20:5n-3	0.03±0.01	0.1±0.01*
22:5n-3	0.2±0.08	0.2±0.02
22:6n-3	4.1±0.60	8.4±0.74*
Total n-3	4.4±0.63	8.7 ±0.76*
Total Fatty Acids (μg/mg wt)	53.8±3.92	41.7±1.51*

¹Each variable represents the mean±SEM, n=5.

²Sat. means saturated fatty acids

³Mono. means monounsaturated fatty acids

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

Table 7. Effect of mackerel intake on mouse adipose tissue fatty acid compositions (wt % of total fatty acids)

	Control	Mackerel
Fatty acids		
Total Sat. ²	67.9±1.70 ¹	66.6±0.90
Total Mono. ³	16.0±0.62	18.6±0.10*
18:2n-6	4.9±0.28	3.1±0.20*
18:3n-6	0.02±0.003	0.02±0.005
20:2n-6	0.3±0.02	0.3±0.04
20:3n-6	0.03±0.01	0.03±0.01
20:4n-6	0.1±0.04	0.1±0.03
22:2n-6	0.9±0.26	0.7±0.09
22:4n-6	0.01±0.01	0.02±0.01
Total n-6	6.3±0.32	4.3±0.25*
18:3n-3	0.1±0.03	0.1±0.05
20:3n-3	-	0.003±0.001
20:5n-3	-	0.003±0.002
22:5n-3	-	0.02±0.01
22:6n-3	0.02±0.01	0.1±0.02*
Total n-3	0.1±0.03	0.2 ±0.04
Total Fatty Acids (μg/mg wt)	433.7±75.7	304.4±61.3

¹Each variable represents the mean±SEM, n=5.

²Sat. means saturated fatty acids

³Mono. means monounsaturated fatty acids

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

산은 각 조직의 중성지질, 총콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 농도의 감소와 HDL-콜레스테롤 농도의 증가에서는 유의적 차이를 보이지 않았으므로 이는 고등어 섭취수준이 5%로서 낮았기 때문이므로 섭취 수준을 더욱 늘려 준다면 유의차가 있었을 것으로 생각되며 향후 n-3 지방산의 급원으로 건조 고등어의 활용도가 기대된다.

요 약

본 연구에서는 기존의 열풍건조기계의 단점을 보완하고 높은 온도에 의한 영양소 손실을 막기 위하여 저온 진공 건조기를 도입하여 고등어를 건조 시킨 후 마우스에 섭취시켜 고등어에 의한 혈청, 심장, 신장 및 지방조직에서의 지방산 조성 변화와 지질대사 개선효과를 알아보려고 하였다. 고등어군의 혈청, 심장 및 신장 균질물에서 중성지질, 총 콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤의 함량이 대조군(control)보다 낮은 경향이었으며 HDL-콜레스테롤 함량의 경우 고등어군의 혈청과 심장 균질물에서 대조군(control)보다 높은 경향을 나타내었다. 혈청 지방산 조성의 경우, 고등어군의 총 n-6 지방산 함량은 대조군(control)보다 감소한 반면 총 n-3 지방산의 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 증가하였다. N-3 계열 지방산 중에서 특히 22:6n-3의 함량은 대조군(control)에 비해 185% 증가하였다($p < 0.05$). 심장의 지방산 조성의 경우, 고등어군의 총 monounsaturated 지방산의 함량에서는 대조군(control)에 비해 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 총 n-6 지방산은 유의적 차이는 없었으나, 총 n-3 지방산은 대조군(control)에 비해 증가하였고 그 중에서 22:5n-3와 22:6n-3의 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 증가하였다($p < 0.05$). 신장의 지방산 조성의 경우, 총 지방산 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 감소하였고 총 n-3 지방산의 함량은 대조군(control)에 비해 고등어군에서 증가하였으며 그 중에서 22:6n-3의 함량은 105%로 증가하였다($p < 0.05$). 지방조직의 지방산 조성의 경우, 총 monounsaturated 지방산의 함량은 고등어군에서 대조군(control)보다 증가하였고 고등어군의 총 n-6 지방산의 함량은 대조군(control)보다 감소하였으나($p < 0.05$), 총 n-3 지방산들 중 DHA 함량은 고등어군에서 매우 높은 수치를 나타내었다. 이

상의 결과로부터 n-3 지방산을 많이 함유한 건조 고등어 식이는 혈청, 심장 및 신장의 n-3 지방산의 함량을 증가시켰으며 이렇게 증가된 n-3 지방산은 각 조직의 중성지질, 총콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 농도의 감소와 HDL-콜레스테롤 농도의 증가 경향과 밀접한 관련이 있는 것으로 여겨지며 향후 n-3 지방산의 급원으로 건조 고등어의 활용도가 기대된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. Adan, Y., Shibata, K., Sato, M., Ikeda, I. and Imaizumi, K. 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.
2. Allain, C. C., Poon, L. S., Chan, C. S. G., Richmond, W. and Fu, P. C. 1974. Enzymatic determination of total serum cholesterol. *Clin. Chem.* **20**, 470-475.
3. Bourre, J. M., Francois, M., Youyou, A., Dumont, O., Picciotti, M., Pascal, G. and Durand, G. 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.
4. Choi, I. S. and Jin, B. H. 1987. Effects of sardine oil on plasma lipids, fatty acid composition of erythrocyte membrane phospholipids and lipid peroxide levels of plasma and liver in rats. *Kor. J. Nutr.* **20**, 330-340.
5. Choi, J. S. and Park, H. S. 1990. Influence of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on plasma lipid-lowering effect and peroxidation level in rats. *Kor. J. Nutr.* **23**, 408-417.
6. Folch, J., Lees, M. and Sloane Stanley, G. H. 1957. A Simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226**, 497-509.
7. Friedewald, W. T., Levy, R. I. and Fredrickson, D. S. 1972. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin. Chem.* **18**, 499-502.
8. Froyland, L., Vaagenes, H., Asiedu, D. K., Garras, A., Lie, O. and Berge, R. K. 1996. Chronic administration of eicosapentaenoic 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.
9. Greiner, R. S., Moriguchi, T., Slotnick, B. M., Hutton, A. and Salem, N. 2001. Olfactory discrimination deficits in n-3 fatty acid-deficient rats. *Physiol. Behav.* **72**, 379-385.
 10. Harris, W. S., Connor, W. E., Inkeles, S. B. and Illingworth, D. R. 1984. Dietary omega-3 fatty acids prevent carbohydrate-induced hypertriglyceridemia. *Metabolism* **33**, 1016-1019.
 11. Illingworth, D. R., Harris, W. S. and Connor, W. E. 1984. Inhibition of low density lipoprotein synthesis by dietary omega-3 fatty acids in humans. *Arteriosclerosis* **4**, 270-275.
 12. Kestin, M., Clifton, P., Belling, G. B. and Nestel, P. J. 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.
 13. Kim, C. J. and Park, H. S. 1991. Influence of different dietary fats and fat unsaturation on plasma lipid composition in healthy young women. *Kor. J. Nutr.* **24**, 179-188.
 14. Kim, H. S. and Chung, S. Y. 1992. Effects of feeding the mixed oils of butter, sardine and safflower on the lipid components in serum and activities of hepatic functional enzymes in rats. *J. Kor. Soc. Food Nutr.* **21**, 608-616.
 15. Kim, H. S., Kim, S. H. and Chung, S. Y. 1992. Effects of the feeding mixed oils of the butter, sardine and safflower oils on fatty acid metabolism of serum and liver in rats. *Kor. Soc. Food Nutr.* **21**, 617-626.
 16. 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.
 17. Kim, Y. K. and Joo, K. J. 1994. EPA, DHA and tocopherols contents in fish oil products and fishes. *J. Kor. Soc. Food Nutr.* **23**, 68-72.
 18. Kong, C. S., Bak, S. S., Jung, K. O., Kil, J. H., Lim, S. Y. and Park, K. Y. 2005. Antimutagenic and anticancer effects of salted mackerel with various kinds of salts. *J. Kor. Fish Soc.* **38**, 281-285.
 19. McGowan, M. W., Artiss, J. D., Strandbergh, D. R., Zak, B. 1983. A peroxidase-coupled method for the colorimetric determination of serum triglycerides. *Clin. Chem.* **29**, 538-542.
 20. Moriguchi, T., Greiner, R. S. and Salem, N. 2000. Behavioral deficits associated with dietary induction of decreased brain docosahexaenoic acid concentration. *J. Neurochem.* **75**, 2563-2573.
 21. Morrison, W. R. and Smith, L. M. 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boronfluoride-methanol. *J. Lipid Res.* **5**, 600-608.
 22. Murphy, M. G., Wright, V., Ackman, R. G. and Horackova, M. 1997. Diets enriched in menhaden fish oil, seal oil, or shark liver oil have distinct effects on the lipid and fatty-acid composition of guinea pig heart. *Mol. Cell. Biochem.* **177**, 257-269.
 23. Nelson, G. J., Schmidt, P. C., Bartolini, G. L., Kelley, D. S. and Kyle, D. 1997. The effect of dietary docosahexaenoic acid on plasma lipoproteins and tissue fatty acid composition in humans. *Lipids* **32**, 1137-1146.
 24. Newman, R. E., Bryden, W. L., Fleck, E., Ashes, J. R., Buttemer, W. A., Storlien, L. H. and Downing, J. A. 2002. Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism: metabolism and abdominal fat deposition. *Br. J. Nutr.* **88**, 11-18.
 25. Park, H. S. and Han, S. H. 1988. Effect of n-3 polyunsaturated fatty acids on serum lipoprotein and lipid compositions in human subjects. *Kor. J. Nutr.* **21**, 61-74.
 26. Reeves P. G., Nielsen, F. H. and Fahey, G. C. 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.
 27. Salem, N., Litman, B., Kim, H. Y. and Gawrisch, K. 2001. Mechanisms of action of docosahexaenoic acid in the nervous system. *Lipids* **36**, 945-959.
 28. Salem, N., Reyzer, M. and Karanian, J. 1996. Losses of arachidonic acid in rat liver after alcohol inhalation. *Lipids* **31**, 153-156.
 29. Tinoco, J., Babcock, R., Hincenbergs, I., Medwadowski, B. and Miljanich P. 1978. Linolenic acid deficiency: Changes in fatty acid patterns in female and male rats raised on a linolenic acids-deficient diet for two generations. *Lipids* **13**, 6-17.
 30. Weber, P. C. and Leaf, A. 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 ω 3 polyunsaturated fatty acids in seafoods*. *World Review of Nutrition and Dietetics*, Basel, Karger, Vol. 66, pp 218-232.
 31. Weisinger, H. S., Vingrys, A. J. and Sinclair, A. J. 1996. Effect of dietary n-3 deficiency on the electroretinogram in the guinea pig. *Ann. Nutr. Meta.* **40**, 91-98.
 32. Yamada, N., Shimizu, J., Wada, M., Takita, T. and Innami, S. 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.