

한우 간 및 등심 조직에서 불포화지방산의 조성비율과

Stearoyl-CoA Desaturase mRNA의 발현 양상

이승환*, ** 윤두학* · 황수한** · 정은영** · 김언현*** · 이창수**

농촌진흥청 축산연구소*, 건국대학교 응용생화학과** · 축산학과***

Relationship between Monounsaturated Fatty Acid Composition and Stearoyl-CoA Desaturase mRNA Level in Hanwoo Liver and Loin Muscle

S. H. Lee***, D. H. Yoon*, S. H. Hwang**, E. Y. Cheong**, O. H. Kim*** and C. S. Lee**

National Livestock Research Institute, Suwon, R.D.A.*

Department of Applied Biochemistry** and Animal Science, Konkuk University***

ABSTRACT

The Stearoyl-CoA Desaturase(SCD) is a key enzyme, which converting palmitic acid(16:0) and stearic acid(18:0) to palmitoleic acid(16:1) and oleic acid(18:1), respectively. The concentration of oleic acid(18:1) in meat of beef cattle could influence both palatability and perception of meat. This experiment has conducted to determine relationship between the compositions of monounsaturated fatty acids and the SCD mRNA level in bovine liver and loin muscle tissue. The compositions of palmitoleic acid(16:1) and oleic acid(18:1) in loin muscle were 5% and 46% of total lipid and in liver were 2% and 20% of total lipid, respectively. On the other hand, the compositions of palmitic acid(16:0) and stearic acid(18:0) in loin muscle were 25% and 45% of total lipid and in liver were 14% and 43% of total lipid, respectively. The ratio of monounsaturated to saturated fatty acids(the desaturation index) was used as a measure of SCD activity in tissues. The average desaturation index in loin muscle was higher about 3.6-fold than that in liver. The desaturation index of oleate/stearate and palmitoleate/palmitate in loin muscle were higher 8-fold and 1.8-fold than those in liver, respectively, showing that the substrate specificity of SCD enzyme was very different between liver and muscle tissues. To determine whether the composition of monounsaturated fatty acids in liver and muscle are dependent on SCD expression, SCD mRNA level was examined by RT-PCR analysis. The SCD mRNA level in loin muscle was higher about 3-fold than that in liver. Thus, the quantitative relationship between the desaturation index of fatty acid and SCD mRNA was observed in liver and muscle. The difference in the compositions of monounsaturated fatty acids between bovine liver and muscle tissues may be due to different level of Stearoyl-CoA Desaturase mRNA.

(Key words : Stearoyl-CoA Desaturase mRNA, Fatty acid, The desaturation index)

I. 서 론

식육의 품질은 등급판정시에는 육색, 지방색, 조직감, 단단함, 구성 및 근내지방도 등에 의해 결정되고(이, 1995), 최종 소비자들에 의해 판정

될 때 영향을 미치는 주요 요인들은 보수성, 육색, 조직감, 사후 pH의 변화 등이 있으며, 이러한 요인들은 관능적 특성의 기준이 되는 연도, 다큐성, 풍미 등과 밀접하게 관련된다(Van der Wal 등, 1997).

Corresponding author : Chang Soo Lee, Department of Applied Biochemistry, College of Natural Science, Konkuk University, Chung-Ju, Korea, E-mail: cslee@kku.edu

Waldman(1965)은 고기의 다습성은 myristic acid(14:0)와 palmitic acid(16:0)의 양이 많을수록 떨어지며, 불포화지방산의 비율이 많을수록 다습성이 좋아진다고 보고하였다. 한편, Dryden 등(1970)과 Studivant 등(1992)은 oleic acid(18:1)를 높은 비율로 함유하고 있는 고기가 맛에 있어서 좋은 평가를 받을 수 있다고 보고함으로 고기내에 불포화지방산의 증가가 고기의 맛과 향미에 중요하게 관여함을 시사하였다. 또한 May 등(1992)은 지방 함량은 소비자의 관능적 특성에 크게 영향을 미친다고 하였고, 박 등(2000)은 한우 비거세우 및 거세우에서의 근육 내 지방 함량이 증가할수록 다습성, 연도, 향미가 개선된다고 보고하였다. 이러한 사실로 볼 때 근내지방을 구성하고 있는 지방산중에서 단일불포화지방산 특히, oleic acid(18:1)는 고기의 풍미 및 다습성에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하고 있음을 알 수 있다. 또한 Flynn 등(1992)은 oleic acid(18:1)의 함량이 높은 돼지고기(총 지방산 중 54%)를 guinea pig에 급여하였을 때, 체내 low density lipoprotein과 cholesterol의 함량이 저하된다고 보고하였다. 따라서, 쇠고기의 지방산조성 중 oleic acid(18:1)와 같은 18-탄소 지방산을 증가시킬 목적으로 사료급여 방법에 따른 많은 연구가 진행되었다(Sumida 등, 1972; Westerling과 Hedrick, 1979; Marmer 등, 1984). 그러나 그 변화율이 18-탄소 지방산 중 단일불포화지방산인 oleic acid(18:1)에 대해서는 상대적으로 변화가 적었다. 그 이유는 식이성 불포화지방산이 반추위내 미생물에 의해 가수분해되어 포화지방산으로 흡수되기 때문이다(Huerta-Leidenz 등, 1991). 따라서 반추동물에서 단일불포화지방산의 함량을 증가시키는 것은 매우 어렵다고 판단되어 새로운 사료급여 방식과 아울러 소의 개량 육종을 통해서 18-탄소 지방산의 함량을 증가시키려는 또 다른 접근이 시도되고 있다(Huerta-Leidenz 등, 1996, Lori 등, 1991). 그러나, 지방산의 조직침착이나, 포화지방산을 불포화지방산으로 전환시키는데에 대한 유전학 및 생화학적인 기작에 대한 연구는 미비한 실정이다.

Stearoyl-CoA desaturase(SCD)는 고등동물에서

불포화지방산의 합성을 조절하는 주요 효소이다. SCD 효소는 palmitic acid(16:0)와 stearic acid(18:0)를 기질로 하여 palmitoleic acid(16:1)과 oleic acid(18:1)를 합성한다. Palmitoleic acid(16:1)과 oleic acid(18:1)는 체내 대표적 지방저장형태인 triglyceride의 주요 구성성분으로 전체 불포화지방산 중 58%를 차지하는 중요한 지방산이다(Kaestner 등, 1989). SCD 효소에 의한 포화지방산에서 불포화지방산으로의 전환반응은 주로 간 조직과 지방 조직에서 일어나며, 진사슬의 불포화지방산을 형성하는 최초의 조절효소이며, 조직내 이 효소활성의 변화는 세포막의 인지질의 조성과 조직내 중성지질의 조성변화에 영향을 준다(Ntambi, 1995). 일반적으로 지질합성은 지방 조직은 물론 간 조직에서 활발히 일어나며, SCD 효소활성 역시 두 조직에서 매우 높게 나타난다. 그러나 반추위 동물인 소의 간 조직과 지방 조직에서 SCD 효소활성을 측정한 결과, 지방 조직에서는 매우 높게 검출되나 간 조직에서는 활성이 거의 나타나지 않음을 Lori 등(1991)은 보고하였다. 이와 같이 SCD 효소활성은 종에 따라서 조직에서 발현되는 양상이 매우 다르게 나타남을 알 수 있다. 또한 Ikeda(2002) 등은 골격근에서 합성된 triglyceride는 글리코겐과 함께 주요 에너지원으로 사용되어지며, 잉여의 triglyceride는 근육내 지방으로 근육사이에 저장된다고 보고하였다. 이러한 사실로 볼 때, 근육 조직내에서도 oleic acid(18:1)가 주요성분인 triglyceride 합성이 이루어진다고 하겠다. 따라서, 본 연구에서는 한우의 간 조직과 등심 조직에서의 불포화지방산의 조성비율과 oleic acid 합성효소인 SCD mRNA 발현량과의 상호 관련성을 살펴보고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 한우의 간 및 등심 조직은 축산연구소에서 생후 3개월령에 거세하여 자유채식으로 18개월령까지 사양 후 도축한 도체로

부터 확보하였고, 각 조직은 액체질소에서 동결하여 -70°C에 보관하였다.

2. 실험방법

(1) total RNA 추출

한우 조직으로부터 total RNA 분리는 Acid Guanidium Thiocyanate-Phenol-Chloroform 방법을 사용하였다(Chomczynski와 Sacchi, 1987). 즉, 한우 조직 0.5 g을 변성용액 2 ml과 혼합하여 glass homogenizer를 이용하여 균질화한 다음 500μl씩을 취한 후 1.5 ml microcentrifuge 투브에 분주하여 2 M sodium acetate(pH4.0), phenol (water-saturated), chloroform-isoamyl alcohol(49:1)을 첨가하여 5분간 vortexing 한 후 얼음물에 15분간 정치하였다. 그 후 12,000 rpm으로 10분간 원심분리하여 생긴 상층액을 투브에 옮겨 2 배량의 isopropanol을 첨가하여 잘 섞어준 후 다시 12,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 수집된 pellet을 변성용액(200μl)에 녹였다. 에탄올을 첨가하여 RNA를 침전시킨 다음 12,000 rpm으로 15분간 원심분리하여 생긴 pellet을 DEPC (0.1%)로 처리된 증류수 50μl에 녹여 -70°C에 보관하였다.

(2) 단일가닥 cDNA 합성

단일가닥 cDNA 합성을 위해 한우의 간 조직과 등심 조직에서 추출한 total RNA를 oligo-(dT) cellulose column을 이용하여 poly(A)⁺ RNA를 분리하였다. 분리한 poly(A)⁺ RNA(5μg)을 95°C에서 10분간 열변성시킨 후 즉시 얼음에서 급속 냉각 하여, 5 × 완충용액(10 mM Tris-Cl, 50 mM KCl, 2.5 mM MgCl₂) 5μl, 6μg BSA, 10 mM DTT, random primer(400 pmol/μl) 1μl와 MMLV-Reverse Transcriptase(100 U/μl) 1μl를 첨가한 후, 전체의 양을 25μl로 맞추어 37°C에서 1시간동안 반응시킨 후 70°C에서 MMLV-Reverse Transcriptase를 불활성화시킨 뒤 RT-PCR 반응에 사용하였다.

(3) 한우 SCD primer 설계 및 합성

RT-PCR법에 의한 SCD 유전자 발현분석용

primer는 기존에 보고된 rat SCD 유전자(Thiede 등, 1986)의 단백질을 암호화하고 있는 부분 중에서 중간 상동성이 높은 염기서열로부터 제작되었다. 이 합성 primer에 의해 증폭되는 DNA 산물의 예상크기는 약 675 bp이다. 내부보정용으로 사용된 G3PDH(glyceride-3-phosphate dehydrogenase) 유전자 발현분석용 primer는 기존에 보고된 rat G3PDH 염기서열(GenBank accession No. XM228474)을 근거로 약 400 bp을 증폭할 수 있도록 아래와 같이 염기서열을 합성하였다.

Primer sequences

SCD forward :	5'-ATC ATC CTC ATG GCC CTG-3'
SCD reverse :	5'-TGG TAG TTG TGG AAG CCC-3'
G3PDH forward :	5'-ATT GAC CTC AAC TAC ATG G-3'
G3PDH reverse :	5'-AAG CAG TTG GTG GTG CAG G-3

(4) RT-PCR 분석 및 그 증폭산물의 염기서열 결정

RT-PCR법을 이용하여 mRNA를 정량할 때 PCR 증폭효율의 차이 및 PCR 반응시 plateau 효과 등의 문제점을 해결하기 위하여 내부 표준물질인 G3PDH 유전자 및 목적유전자인 SCD를 이용하였다. RT-PCR 반응조건은 최초 94°C에서 5분간 예비변성시킨 후 변성반응은 94°C 1분, 중합반응은 55°C에서 1분, 그리고 합성반응은 72°C에서 2분간으로 하였고, PCR 반응수를 20, 28, 35, 40cycle로 실시하여 plateau에 도달하기 전과 증폭효율을 검토하여 RT-PCR의 반응수를 결정하였다(Dieffenbach 등, 1995).

한우의 간 조직과 등심 조직에서 total RNA를 추출한 후 oligo-(dT) cellulose column을 이용하여 poly(A)⁺ RNA를 분리하였으며, 여기에 random primer와 역전사효소를 사용하여 단일 가닥 cDNA를 합성하여 RT-PCR 반응을 수행하였다(Fusako 등, 1995). 이로부터 얻은 DNA 증폭산물을 1.5% agarose gel 전기영동하여 밴드를 확인한 후, 검출강도의 정량은 digital camera

(Kodak DC40)를 이용하여 분석하였다. 밴드 검출강도의 상대적 정량치는 G3PDH 증폭산물의 수치를 기준치로 보정되었다. SCD RT-PCR 산물이 해당 mRNA로부터 증폭되었는지 확인하기 위하여 RT-PCR 산물을 pGEM-T vector에 클로닝하여 BigDye Terminator Cycle Sequencing Ready kit와 ABI PRISM 377 DNA Sequencer를 이용하여 염기서열을 결정하였다.

(5) 한우 조직의 지방산 분석

한우 4두로부터 간 조직과 등심 조직을 각각 0.5 g씩 절단하여 Folch법(Folch 등, 1957)으로 메탄올과 클로로포름(1:2, v/v) 용액으로 추출한 후 water bath(40°C)에서 filter paper를 이용하여 여과하였다. 여과액을 중류수와 혼합한 후 메탄올과 물층을 제거하고 클로로포름과 지질층을 질소가스를 이용하여 제거한 후 BF3-methanol (14%)를 처리하여 65°C에서 transmethylation시켜 분석하였다. 총 지방산조성 분석은 gas-liquid chromatography(Perkin-Elmer CO., USA)를 이용하였다.

(6) 통계분석

한우의 간 및 등심 조직의 지방산조성 결과는 SAS program(V. 8.1)의 t-test를 이용하여 분석 처리되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 한우등심과 간 조직의 지방산 조성비율의 차이

한우의 간 조직과 등심 조직으로부터 지방산 조성비율은 생후 3개월령에 무혈거세를 실시한 후 18개월 동안 자유채식으로 사양한 개체로부터 분석되었다. 그 결과 단일불포화지방산인 경우 등심 조직에서는 palmitoleic acid(16:1)과 oleic acid(18:1)의 조성비는 각각, 총지방산의 5%와 46%로서, 이 두 지방산이 차지하는 비율이 51%에 달했다. 간 조직에서는 이러한 비율이 2%와 20%로서, 총지방산의 22%를 차지하고 있었다(Table 1). 위의 결과로부터 불포화지방

Table 1. Fatty acid composition of total lipid and the desaturation index in Hanwoo liver and loin muscle tissues

Fatty acids	Liver	Loin Muscle
Palmitic acid(16:0)	14.83±0.26	25.03±1.86*
Palmitoleic acid(16:1)	2.03±0.16	5.48±1.22*
Stearic acid(18:0)	43.80±2.03	12.03±0.96*
Oleic acid(18:1)	20.60±1.16	45.63±2.17*
Linoleic acid(18:2)	18.70±1.14	11.65±1.25*
Total MUFA	22.63	51.11*
Total SFA	58.60	37.06*
△-9 Desaturation index		
16:1 / 16:0 ratio	0.13±0.01	0.24±0.06*
18:1 / 18:0 ratio	0.47±0.05	3.89±0.51*
MUFA / SFA	0.39±0.03	1.41±0.17*

Values are mean ± SE(n = 4). * The difference is significant at $P < 0.05$ by t-test. Fatty acid composition is expressed as weight percentage of total recovered fatty acids. MUFA; monounsaturated fatty acid(16:1 + 18:1), SFA; saturated fatty acid(16:0 + 18:0). The desaturation index are expressed as the ratio of monounsaturated to saturated fatty acids for oleate/stearate and palmitoleate/palmitate.

산의 조성비율은 등심과 간 조직 사이에 매우 크게 다르다는 점을 확인할 수 있었다. 즉 단일불포화지방산은 등심 조직이 간 조직보다 약 2.3배의 높은 조성비율을 나타내고 있다. 반면에 포화지방산의 경우에 있어서는 stearic acid(18:0)의 조성비율은 등심 조직에서 12%였으나, 간 조직에서는 43%로, 등심 조직보다는 간 조직에서 약 3.6배 높은 조성비율을 보였다. 이러한 경향의 결과는 불포화지방산의 경우와는 정반대의 현상을 보이는 것이다. 즉 포화지방산의 조성비는 간 조직에서 높지만 불포화지방산은 등심 조직에서 매우 높다는 사실을 보여주고 있다.

등심 조직과 간 조직에 있어서 지방산의 불포화 정도는 SCD 효소활성의 간접지표로서 널리 활용되고 있는 palmitoleic acid(16:1)과 palmitic acid(16:0)의 비율 및 oleic acid(18:1)과 stearic acid(18:0)의 비율을 통해서 비교 분석되었다(De Antuenuo RJ 등, 1993). 그 결과 등심 조직과 간 조직에 있어서 단일불포화지방산/포화지방산

(MUFA/SFA)의 불포화도(the desaturation index)는 각각 1.41와 0.39이었다. 이를 단일불포화지방산의 종류별로 살펴보면 16:1/16:0의 불포화도는 등심 조직과 간 조직에서 각각 0.24와 0.13이었고, 18:1/18:0의 불포화도는 각각 3.89와 0.47이었다(Table 1). 이러한 결과로부터 등심 조직은 간 조직에 비해 불포화도 MUFA/SFA의 비율이 약 3.6배 높게 나타났으며, 불포화도 16:1/16:0과 18:1/18:0에서는 각각 약 1.8배와 8배로 단일불포화지방산 종류에 따라 큰 차이를 보였다. 기존 보고에 의하면 SCD 효소의 기질로서 여러 fatty acyl-CoA 중에서 palmitoyl-CoA 와 stearoyl-CoA가 이용되고 있는데, 소의 등심 조직은 간 조직보다 SCD 기질로서 stearoyl-CoA를 더 선호하였다. 즉 근육 조직의 stearoyl-CoA에 대한 기질 특이성이 간 조직보다 약 4.4 배나 높았다. 이는 조직에 따라서 SCD의 기질 특이성이 상당히 달라질 수 있다는 사실을 보여주는 결과이다. 이상과 같이 지방산 조성과 불포화도의 비교분석에 의해 소에 있어서 SCD 활성에 의한 불포화지방산의 합성은 간 조직보다 근육 조직에서 더 활발하게 일어남을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 소의 간 조직과 지방 조직에서 SCD 효소의 단백질 활성을 측정한 결과 소의 간 조직보다 지방 조직에서 매우 높게 검출됨을 보고한 Lori 등(1991)의 결과에서도 살펴 볼 수 있다.

2. 한우등심과 간 조직의 SCD mRNA의 발현량 차이

앞에서의 지방산 조성의 분석 결과, SCD 효소활성의 간접지표인 단일불포화지방산 불포화도가 등심 조직이 간 조직보다 약 3.6배 높게 나타났다(Table 1). 이러한 불포화지방산 조성비의 조직 간 차이가 포화지방산에서 불포화지방산으로 전환하는 효소인 SCD의 mRNA 발현량의 차이와 어떤 관련성이 있는지를 구명하기 위하여 RT-PCR 기법을 이용하여 그 발현량을 분석하였다. SCD mRNA의 발현량 분석에 앞서서 RT-PCR법을 이용하여 mRNA를 정량시 PCR 증폭효율의 차이 및 PCR 반응시 plateau

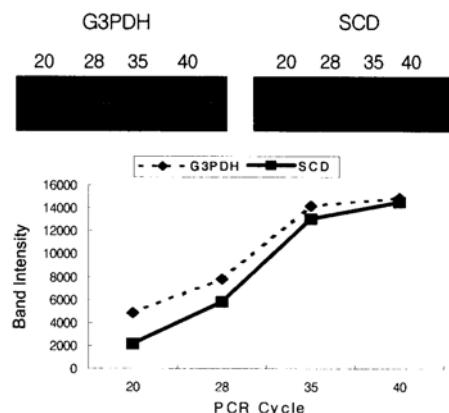


Fig. 1. Comparison of RT-PCR amplification efficiencies of the G3PDH gene and SCD(Stearoyl-CoA Desaturase) gene. RT-PCR amplification efficiencies of cDNA obtained from Loin Muscle at the PCR round(X axis) are band intensity values obtained by using an Kodak digital camera DC40.

효과 등을 해결하기 위하여 내부 표준유전자인 G3PDH 및 목적유전자인 SCD를 PCR반응수를 달리하여 반응을 실시하였다(Fig. 1). 유전자 G3PDH 및 SCD 모두 PCR 반응수가 35일 때, 그 증폭산물이 최고에 달하였으며, 두 유전자간 PCR 증폭효율이 서로 유사한 부분은 28-30cycle 사이였다. 따라서, RT-PCR 반응수는 30cycle에서 수행하였다. RT-PCR을 이용하여 정량한 결과, 한우 조직에서 SCD mRNA는 등심 조직이 간 조직 보다 약 3배 가량 많게 발현됨을 확인할 수 있었다(Fig. 2). 또한 PCR 증폭산물이 한우 유래의 SCD 유전자 산물인지 확인하기 위하여 염기서열을 결정한 결과 간 조직 및 등심 조직의 PCR 산물이 모두 기존에 보고된 *Bos taurus* SCD mRNA(GenBank Accession No. AY241933)와 100% 상동성을 가짐을 확인하였다.

이 결과는 단일불포화지방산의 불포화도(MUFA/SFA)가 등심 조직이 간 조직에 비해 약 3.6배 높게 나타났던 앞의 시험결과와도 유사한 경향을 보이고 있는 것이다. 즉 SCD mRNA

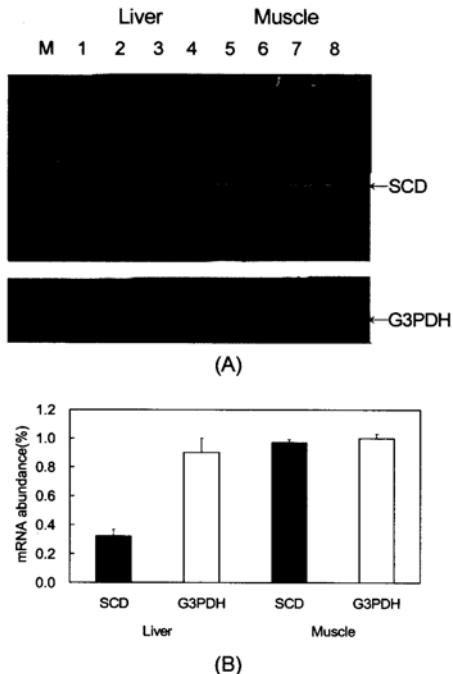


Fig. 2. SCD mRNA expression in liver and muscle of Hanwoo. (A) RT-PCR was performed with specific primers for Stearoyl-CoA Desaturase and G3PDH genes. Lane M; *Hae*III-digested Φ X174 DNA marker, lanes 1-4; RT-PCR products of Hanwoo liver, lanes 5-8; RT-PCR products of Hanwoo muscle. (B) Abundance of SCD and G3PDH mRNA were quantified Kodak DC40 densitometry. The results are expressed as % maximum SCD or G3PDH mRNA.

발현량이 많은 조직은 그 발현량이 적은 조직보다 높은 불포화지방산 함량을 포함하고 있음을 알 수 있다. Cameron 등(1994)은 앵거스와 아메리칸 화우의 여러 조직에서 SCD mRNA의 발현량을 Northern blot법으로 조사한 결과 등심 조직과 지방 조직에서는 SCD mRNA 발현량이 높은 반면에 간 조직에서는 그렇지 않았음을 보고하였다. 또한 Lori 등(1991)은 조직간 SCD

효소의 단백질활성을 측정한 결과 등심 조직과 지방 조직에서 그 활성이 높게 검출되었으나, 간 조직에서는 거의 검출되지 않았음을 보고하였다. 탄수화물이나 지방산의 사료급여로 SCD 단백질의 발현증가는 SCD mRNA의 유도와 병행하여 일어난다고 한다(Ntambi, 1995). Ikeda 등(2002)은 꼴격근에서 triglyceride의 합성이 지방합성 유전자의 전사조절인자로 알려진 SREBP-1의 촉진으로 인한 LPL, ACC-1 및 SCD 유전자들의 발현량 증가로 촉진된다고 보고하였다. 이러한 기존의 연구결과와 본 실험 결과를 통해서 고찰해 볼 때에 한우의 등심 조직은 간 조직보다 높은 SCD mRNA의 발현량으로 인해 그 발현산물인 SCD 효소단백질이 증가함에 따라서, triglyceride내의 단일불포화지방산의 합성이 증가되는 것으로 사료된다. 본 연구실에서 실험한 한우 성장단계별 등심 조직의 지방산 조성을 분석한 결과 성장에 따라서 oleic acid 조성비의 증가와 더불어, SCD mRNA 발현량도 증가함을 관찰할 수 있었다 (Lee 등, 미발표 결과). 즉 조직간 단일불포화지방산 조성비의 차이는 조직내 SCD 효소의 발현량 증가에 기인함을 시사하고 있다. 이러한 사실로 볼 때 SCD mRNA의 양적인 변화는 조직간 불포화지방산의 조성을 영향을 미치는 것으로 사료된다. SCD 유전자의 발현조절은 전사조절인자인 SREBP-1을 경유하여 인슐린호르몬에 의존적이며, 높은 불포화지방산에 의해 억제되고, peroxisome proliferator에 의해 유도되고 있음이 보고되고 있다(Nakamura 등 2002).

한우의 간 조직에서 stearic acid(18:0)의 조성비가 높고, oleic acid(18:1)가 낮았던 이유는 낮은 SCD mRNA 발현량과 이에 따른 낮은 SCD 효소활성에 기인하며, 반대로 등심 조직에서 oleic acid(18:1)의 조성비가 높았던 것은 조직내 높은 SCD mRNA 발현량과 이에 따른 높은 효소활성의 결과로 추정되어 진다. 이렇게 한우의 조직간 SCD mRNA 발현량의 차이로 인해, 간 조직에서는 단일불포화지방산인 palmitoleic acid(16:1)과 oleic acid(18:1)의 합성이 상대적으로 매우 미약하였으며, 등심 조직에서는 단일

불포화지방산의 합성이 활발하게 일어나는 것으로 사료되어진다. Table 1에 나타나 있는 바와 같이 간 조직과 등심 조직 간의 stearic acid(18:0)과 oleic acid(18:1)의 조성비의 차이가 이러한 결과를 뒷받침해 주고 있다.

쇠고기내의 oleic acid(18:1)는 품종에 따라 차이가 확인하고 지방 품질 및 쇠고기의 기호성을 결정하는 주요한 요인이 된다고 보고되고 있다 (Yoshimura와 Namikawa, 1983). 특히 Dryden과 Marchello(1970)는 높은 oleic acid(18:1) 함량을 가진 등심 조직이 관능검사에서 높은 값을 얻을 수 있다고 보고하고 있다. 따라서 쇠고기의 풍미와 다습성은 oleic acid(18:1)의 함량을 증가시킴으로서 향상시킬 수 있을 것이다. 거세한 일본 흑모화우는 지방 조직에서 단일불포화지방산 중 oleic acid(18:1)의 함량이 거세한 흔스타인, 갈모화우 그리고 샤로레보다 훨씬 많다고 하였다(Huerta-Leidenz 등, 1996). 그 이유로서 첫째로 식이성 지방산을 많이 흡수하거나, 둘째로 지방 조직내 SCD 활성이 많기 때문이라고 설명하고 있다(Studivant 등, 1992). 그러나 송 등(2000)이 한우의 비육기 동안 농후사료 급여수준을 달리하여 식이성 지방산을 공급하여도 육 조직의 지방산 조성과 USFA/SFA의 비율은 영향을 받지 않는다고 보고하였다. 또한 Smith (1991)는 식이성 지방인 myristoleic acid(14:1)과 palmitoleic acid (16:1)은 소화되면서 반추위 소화관에 서식하는 미생물에 의해서 대부분 수소화(hydrogenate)되어, 포화지방산으로 전환되기 때문에 단순한 식이성지방산의 섭취 및 사료급여 방식으로는 지방산 조성을 변화시키기 어렵다고 하였다. 따라서 소의 조직 내에서 불포화지방산인 oleic acid(18:1)의 합성 능력은 조직내 SCD 효소단백질의 발현량 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 이러한 사실들을 종합하여 볼 때, 소 품종간 그리고 개체간에도 지방산의 합성과 축적에 관련된 대사효소의 유전적 발현능력에 차이가 존재함을 시사하는 것이다. 따라서 향후 근육내 불포화지방산 대사와 관련하여 SCD 유전자의 염기변이 발굴 및 그 변이와 육질형질과의 관련성 그리고 SCD 유전자의 발현조절 영역 및 조절인자에 관한

연구도 필요하리라 사료된다.

IV. 요 약

쇠고기내의 oleic acid(18:1)의 함량은 고기의 향미와 다습성에 영향을 미치며, 그 함량이 높으면 혈중 콜레스테롤을 낮출 수 있는 요인이 된다. 본 연구는 한우의 간 조직과 등심 조직에서 불포화지방산의 조성과 불포화지방산 합성효소의 mRNA 발현량의 차이를 비교분석하여 그 상호 관련성에 대해 조사하였다. 단일불포화지방산인 palmitoleic acid(16:1)과 oleic acid (18:1)의 조성은 등심 조직에서 총 지방산의 51%를 차지하고 있었으나, 지방대사가 활발한 간 조직에서는 22%에 지나지 않았다. 반면에 포화지방산인 palmitic acid(16:0)과 stearic acid (18:0)의 조성비는 등심 조직과 간 조직에서 각각 37%와 58%를 차지하였다. 이같이 단일불포화지방산의 조성은 조직간 현격한 차이가 나타나며, 조직내 stearoyl-CoA desaturase(SCD) 활성을 나타내는 포화지방산에 대한 불포화지방산의 비율인 불포화도(the desaturation index)를 살펴보면 등심 조직은 간 조직보다 약 3.6배 높았다. SCD는 palmitic acid(16:0)과 stearic acid(18:0)를 기질로 하여 palmitoleic acid(16:1)과 oleic acid (18:1)로 전환하는 중요한 효소이다. 등심 조직과 간 조직에서 단일 불포화지방산의 조성비 차이가 SCD mRNA의 발현량과 어떤 관련성을 가지는지를 RT-PCR 법을 이용하여 분석되었다. 그 결과, SCD mRNA는 등심 조직에서 간 조직보다 약 3배 많이 발현되었다. 이상과 같이 한우 등심 조직과 간 조직에서 단일불포화지방산의 조성의 현격한 차이는 SCD 활성지표인 지방산의 불포화도(3.6 배 차이)와 SCD mRNA 발현량(3배 차이)과 상호 밀접한 관련성으로 해석할 수 있었다.

V. 인 용 문 현

- Cameron, P. J., Rogers, M., Oman, J., May, S. G., Lunt, D. K. and Smith, S. B. 1994. Stearoyl Coenzyme A desaturase enzyme activity and mRNA levels are not different in subcutaneous adipose tissue from Angus and American Wagyu steers. *J. Anim. Sci.* 72:2624-2628.

2. Chomczynski, P. and Sacchi, N. 1987. Single-step method of RNA isolation by acid guanidinium thiocyanate-phenol-chloroform extraction. *Anal. Biochem.* 162:156-160.
 3. Dieffenbach, C. W. and Dveksler, G. S. 1995. PCR Primer: A Laboratory Manual. CSHL Press.
 4. Dryden, F. D. and Marchello, J. A. 1970. Influence of total lipid and fatty acid composition upon the palatability of three bovine muscles. *J. Anim. Sci.* 31:36-41.
 5. De Antuono R. J., Cantrill R. C., Huang Y. S., Elliot, M. and Horrobin, D. F. 1993. Relationship between mouse liver delta 9 desaturase activity and plasma lipids. *Lipids.* 28(4):285-290.
 6. Flynn, T. T., Kubena, K. S. and Rhee K. S. 1992. Modification of plasma and hepatic lipids of guinea pigs by feeding high oleic acid pork compared with regular pork. *J. Nutr.* 122(9):1855-1861.
 7. Folch, J., Lees, M. and Sloane stanley, G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.* 226:497-509.
 8. Fusako, U., Shioichi, I., Noboru, S., Hiroyuki, S., Koichi, S., Teruo, S. and Toshio, T. 1995. Up-regulation of dystrophin mRNA by exposure to dibutyryl cAMP in the C2C12 muscle cell line. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 210:654-659.
 9. Huerta-Leidenz, N. O., Cross, H. R., Savell, J. W., Lunt, D. K., Baker, J. F. and Smith, S. B. 1996. Fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from male calves at different stages of growth. *J. Anim. Sci.* 74:1256-1264.
 10. Huerta-Leidenz, N. O., Cross, H. R., Lunt, D. K., Pelton, J. W., Savell, J. W. and Smith, S. B. 1991. Growth, Carcass Traits, and Fatty acid profiles of adipose tissues from steers fed whole cottonseed. *J. Anim. Sci.* 69:3665-3672.
 11. Ikeda, S., Miyazaki, H., Nakatani, T., Kai, Y., Kamei, Y., Miura, S., Tsuboyama-Kasaoka, N. and Ezaki, O. 2002. Up-regulation of SREBP-1c and lipogenic genes in skeletal muscle after exercise training. *Biochemical and Biophysical Research Communications.* 296:395-400.
 12. Kaestner, K. H., Ntambi, J. M., Kelly, T. J. and Lane, M. D. 1989. Differentiation-induced gene expression in 3T3-L1 preadipocytes. A second differentially expressed gene encoding stearoyl-CoA desaturase. *J. Biol. Chem.* 264:14755-14761.
 13. Lori, C., John, S., Lunt, D. K. and Smith, S. B. 1991. Fatty acid elongation and desaturation enzyme activities of bovine liver and subcutaneous adipose tissue microsome. *J. Anim. Sci.* 69:1064-1073.
 14. Marmer, W. N., Maxwell, R. J. and Williams, J. E. 1984. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. *J. Anim. Sci.* 59: 109-121.
 15. May, S. G., Dolezal, H. G., Gill, D. R., Ray, F. K. and Buchanan, D. S. 1992. Effects of days fed, carcass grade traits and subcutaneous fat removal on postmortem muscle characteristics and beef palatability. *J. Anim. Sci.* 70:444-453.
 16. Nakamura, M. T. and Nara, T. Y. 2002. Gene regulation of mammalian desaturases. *Biochem. Soc. Transactions* 30:1076-1079.
 17. Ntambi, J. M. 1995. The regulation of stearoyl-CoA desaturase. *Prog. Lipid Res.* 34:139-150.
 18. Smith, S. B. 1991. In Fat and Cholesterol Reduced Foods. Technologies and Strategies, eds. C. Haberstroh & C. E. Morris. Gulf, Houston, TX, P. 75-80.
 19. Sturdivant, C. A., Lunt, D. K., Smith, G. C. and Smith, S. B. 1992. Fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular adipose tissue and M. longissimus dorsi of Waygu cattle. *Meat Sci.* 32:449-458.
 20. Sumida, D. M., Vogt, D. W., Cobb, E. H., Iwanaga, I. I. and Reimer, D. 1972. Effect of breed type and feeding regime on fatty acid composition of certain bovine tissues. *J. Anim. Sci.* 35:1058-1064.
 21. Thiede, M. A., Ozols, J. and Strittmatter, P. 1986. Construction and sequence of cDNA for rat liver stearoyl Coenzyme A desaturase. *J. Biol. Chem.* 261:13230-13235.
 22. Van der Wal, P. G., Engel, B. and Hulsege, B. 1997. Causes for variation in pork quality. *Meat Sci.* 46(4):319-322.
 23. Waldman, R. C., Suess, G. G., Lewis, R. W., Bray, R. W. and Brungardt, V. H. 1965. Certain fatty acids of bovine tissue and their association with carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 24:869 (Abstr).
 24. Westerling, D. B. and Hendrick, H. B. 1979. Fatty acid composition of bovine lipids by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *J. Anim. Sci.* 48:1343-1348.
 25. Yoshimura, T. and Namikawa, K. 1983. Influence of breed, sex and anatomical location on lipid and fatty acid composition of bovine subcutaneous fat. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 54:97-100.
 26. 박범영, 조수현, 유영모, 김진형, 이종문, 정석근, 김용곤. 2000. 한우 배최장근내 지방함량이 한우 육의 이화학적 특성에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지. 42(2):189-194.
 27. 송만강, 김내수, 정정수, 최상일, 원유석, 정재경, 최성호. 2000. 농후사료 급여수준이 거세 한우의 증체와 부위별 지방 조직의 지방산 조성에 미치는 효과. 동물자원과학회지. 42:859-870.
 28. 이무하. 1995. 식육생산 사슬을 통한 식육품질의 이해. 선진문화사. 서울.
- (접수일자 : 2003. 10. 27. / 채택일자 : 2004. 2. 4.)