

혈중 인슐린 및 렙틴이 한우 지방형질에 미치는 효과

김형철¹ · 이승환^{1*} · 당창권¹ · 임다정² · 최봉환² · 장선식¹ · 조영무¹ · 전기준¹ · 박응우³ · 조용민³ · 이준현⁵ · 양보석¹ · 흥성구⁴

¹농촌진흥청 국립축산과학원 한우시험장, ²농촌진흥청 국립축산과학원 동물유전체과, ³농촌진흥청 국립축산과학원 생명환경부, ⁵충남대학교 동물자원생명과학과

Effects of plasma insulin, and leptin on fat traits in Hanwoo (Korean cattle)

Hyeyong Cheul Kim¹, Seung Hwan Lee^{1*}, Chang Gwan Dang¹, Dajeong Lim², Bong Hwan Choi², Sun Sik Chang¹, Young Moo Cho¹, Gi Jun Jeon¹, Eung Woo Park³, Yong Min Cho³, Jun Heon Lee⁵, Boh Suk Yang¹, Seong Koo Hong⁴

¹Hanwoo Experiment Station, NIAS, RDA

²Animal Genome & Bioinformatics Division, NIAS, RDA

³Rural Development Administration

⁴Department of Life and Environment, NIAS, RDA

⁵Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University

Received on 12 March 2012, revised on 13 June 2012, accepted on 18 June 2012

Abstract : The objective of this study was to examine the effect of plasma leptin and insulin concentrations on fat traits in Hanwoo. If a biological indicator such as plasma leptin and insulin was identified, it would be a useful biological marker that can be predicted marbling score in young animal. The relationship between plasma hormone (leptin and insulin) and fat traits (marbling score, back fat thickness and P8 fat thickness) was investigated. The experiment studies 100 Hanwoo that were randomly sampled from Hanwoo Experimental Station Herd. The concentration of plasma insulin was significantly associated with marbling score ($P=0.02$) but was not significantly with back fat thickness ($P=0.07$) and P8 fat thickness ($P=0.09$). Statistical model determinant that plasma insulin concentration account for phenotypes was moderate on marbling score (5%), back fat thickness (3%) and P8 fat thickness (9%). On the other hand, plasma leptin concentration was significantly associated with marbling score ($P=0.03$) and back fat thickness ($P=0.02$), but was not significant on P8 fat thickness (0.07). Statistical model determinant that plasma leptin concentration accounting for phenotypes was moderate effect on marbling score (3%) and back fat thickness (2%), but it has a slightly bigger effect on P8 fat thickness (7%). In conclusion, the plasma leptin and insulin seems to have an effect on fat traits (marbling score, backfat thickness and P8 fat thickness) in Hanwoo.

Key words : Hanwoo, Leptin and insulin concentration, Marbling, Backfat thickness, P8 fat thickness

I. 서 론

쇠고기의 육질을 좌우하는 요인은 육색, 연도, 지방색, 조직감 및 상강도(마블링, 근내지방도) 등이 있으며, 이들 요인중 근육내 지방축적정도는 쇠고기의 다즙성 및 연도에 영향을 미칠 뿐 아니라, 미국(USDA, 1989), 일본(JMGA, 1988) 및 한국에서 쇠고기의 등급을 결정하는 매우 중요한 요인중 하나이다. 따라서, 쇠고기의 근내지방도를 향상시키기 위하여 소의 비육기간 연장 및 고에너지 사료급여프

로그램과 같은 다양한 연구가 진행되고 있다(Kim 등, 2005). 그러나, 이러한 방법으로 근내지방은 향상되었지만, 등지방 및 내장지방과 같은 불가식지방의 증가로 쇠고기 생산에 있어서 비효율적인 결과를 초래하고 있다. 이에따라, 최근 근육내 지방특이적인 유전자 및 근육내 지방축적에 대한 유전학적인 메커니즘을 규명하기 위하여 Lee 등(2006)은 한우 비육전·후기에 있어서 근육내 지방산(fatty acid) 및 당(glucose)의 대사경로에 주요유전자들의 발현을 분석한 결과, 세포내로 지방산을 전달하는 FABP4 유전자의 발현이 비육후기에 급격하게 증가하는 것을 관찰하였다. 또한 Wang 등(2005)은 육우중 근내지방축적이 가장 우수하

*Corresponding author: 이승환 Tel: +82-33-330-0717

E-mail address: slee46@korea.kr

다고 알려진 일본 흑모화우와 유우인 홀스타인종의 등심조직으로부터 근육내 지방합성과 관련된 유전자가 현저하게 발현이 증가함을 조사하였다. 이러한 근내지방 특이 발현 유전자의 탐색은 근육내 지방합성에 대한 생리·생화학적인 기작을 규명하는 것 외에 그 유전자내에 존재하며 가축 집단내 경제형질 관련 유전분산을 가지고 있는 SNP을 발굴하여 가축 분자육종모델에 이용 가능할 것이다.

골격근(skeletal muscle)은 인슐린촉매에 의한 당(glucose) 소비 및 지방대사에 있어서 가장 중요한 조직이다. 최근, 사람에 있어서 인슐린 유도 당대사의 결합은 근육내 지방축적과 강한 상관관계가 있음이 보고되고 있다(Hegarty 등, 2003; Stannard와 Johnson, 2003). Kersten(2001)에 따르면 혈중 인슐린(Insulin) 및 렙틴(Leptin)농도가 세포내 지방합성을 촉진 혹은 억제하는 호르몬으로 작용한다고 보고하고 있다. 특히, Fig 1에서 보는바와 같이 인슐린은 지방세포내 당(glucose)의 유입을 촉진함으로써 지방합성 및 당대사관련 여러 효소들의 작용을 활성화 하여 세포내 지방합성을 촉진한다. 반면, 사람에게 있어서 렙틴은 식욕을 억제함으로서 지방세포의 활성화 및 지방산의 저장을 제한하는 역할을 한다고 알려져 있다(Kersten, 2001). 따라서, 인슐린은 지방합성을 증가시키고, 렙틴은 지방합성 및 저장을 억제하는 효과를 가지고 있다. 현재까지 가축에 있어서 혈중 인슐린 농도는 가축의 나이(age), 생체중(body weight)에 따라서 증가한다고 보고되어 있다(Trenkle, 1970; Martin 등, 1979). Grigsby와 Trenkle(1986) 및 Beeby 등(1988)은 생애 초기에 성숙되는 소형품종이 생애 후기에 성숙되는 대형품종보다 인슐린농도가 높다고 보고하였으며, Trenkle 와 Topel(1978)은 혈중 인슐린 농도는 도체의

지방형질과 정의 상관을 보였으며, 도체의 육량형질과 부의 상관을 보고하였다. 가축의 근내지방 및 등지방두께와 렙틴과의 상관성을 분석한 결과 정의 상관을 보고하였다(Brandt 등, 2007).

가축에 있어서 근내지방과 같은 육질을 결정하는 형질은 가축을 도축하여 얻을 수 있는 형질로서 이들 형질의 유전적 개량을 촉진시키기 위한 많은 연구가 시도되고 있다. 특히, 어린송아지때 혈액으로부터 DNA를 추출하여 고밀도 SNP 패널을 이용한 유전체선발기법 및 근내지방을 조절하는 호르몬(성장호르몬, 렙틴 등)과 같은 생물학적 지표(Biological indicator)를 활용한다면 어린송아지때 이러한 생물학적 지표를 활용한 가축의 근내지방을 예측할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 한우시험장 본장 축군으로부터 임의 선발된 한우집단에 대하여 혈중 인슐린 및 렙틴의 농도를 측정하여 도축 후 지방형질과의 연관성을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에서 사용된 공시동물은 국립축산과학원 한우시험장 축군중 2005년부터 2006년까지 사양된 한우 축군 중 거세우 100마리를 임의 선발하여 24개월령에 초음파 측정 및 채혈하였으며, 혈액으로부터 혈장을 분리한 후 곧바로 액체질소에서 동결하여 -70°C 에 보관하여 실험에 이용하였다.

2. 시험사료 및 사양관리

시험사료는 시판 배합사료와 벚짚을 이용하였으며, 시험축은 콘크리트 재질 바닥의 톱밥 우사에서 개체별 집단 사료급여 관리를 실시하였다(Table 1). 시험사료는 일일 2회(오전 9시 및 오후 5시) 급여하였다. 배합사료는 생후 15~21개월령에는 체중의 1.7~1.8% 수준으로 급여하였으며, 생후 22개월령 후에는 자유채식을 하였다. 벚짚의 급여량은 15개월령에 2.2 kg/두/일에서 월령이 경과함에 따라 점진적으로 감소시켜 0.6 kg까지 제한하였다.

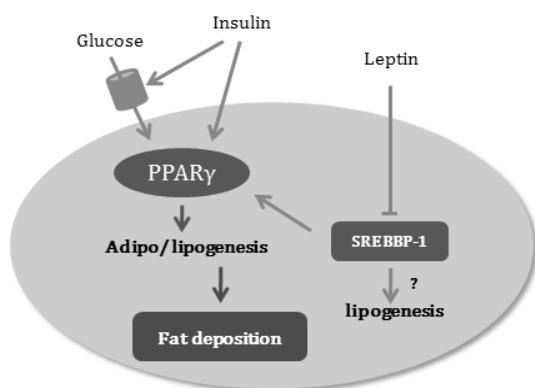


Fig. 1. Regulation of lipogenesis in adipocytes. The effects of hormones on the expression of lipogenic genes are mostly mediated by SREBP-1 and PPAR γ (Kersten, 2001).

Table 1. Ingredient and chemical composition of the experimental diet.

Item	Concentrate	Rice straw
Ingredient (%)		
Corn grain	24.38	
Wheat grain	16.00	
Barley grain	1.70	
Molasses	5.00	
Tapioca	7.73	
Wheat flour and bran	9.05	
Corn gluten feed	15.65	
Soybean meal	11.35	
Lupin	6.00	
Ultra fat and tallow	0.60	
Trace materials	2.54	
Chemical Composition (%)		
Dry matter	90.52±0.12	91.43±0.08
Crude protein	14.08±0.23	4.39±0.14
Ether extract	4.80±0.02	2.36±0.01
Crude ash	9.41±0.05	13.07±0.12
Crude fiber	5.54±0.56	29.57±0.09
Neutral detergent fiber	28.05±0.68	70.21±0.96
Acid detergent fiber	11.10±0.17	38.13±0.40

3. 초음파를 이용한 도체형질 측정

본 연구 공시된 한우는 채혈 후 1주일내 초음파 측정하여 근내지방도, 등지방두께, P8 지방두께를 측정하였다. 초음파 측정은 Palco 100과 real time B-mode(3.5 MHz, 18 cm) linear probe를 이용하였으며, 근내지방도 및 등지방두께를 측정하기 위하여 13번째 thoracic vertebrae와 첫 번째 lumbar vertebrae 사이에서 측정하였고, P8지방 두께는 요각과 좌골 사이에서 측정하였다.

4. 혈중 인슐린 및 렙틴 분석

채혈된 혈액으로부터 혈장을 분리하여 anti-bovine insulin serum(Code No. 270400, 이원의료재단, Korea)을 이용하여 방사면역측정법으로 인슐린 농도를 측정하였다(Sasaki and Takahashi, 1980). Bovine insulin(catalog number 890-8125IG, 28.2 IU/mg, GIBCO BRL, Gaithersburg, MD)을 참조 표준으로 사용하였고, [125I] human insulin (code number IM 166, Amersham, Little Chalfont, UK)을 tracer로 사용하였다. 혈장 렙틴 농도는 Human Leptin

RIA kit(Linco Research, Inc., St. Charles, USA)를 사용하여 경쟁적 방사선 면역법으로 측정하였으며 제조사의 지시된 방법에 따라 분석하였다. 시험관에 혈장을 100 μL 분주한 다음 125I-human leptin와 rabbit anti-human leptin 항혈청을 각각 100 μL씩 넣고 진탕시킨 다음 4°C에서 밤새 방치한다. 4°C 침전액을 넣고 진탕시킨 다음 원심 분리하여 상층액을 완전히 버린 다음 반응산물을 감마 카운터(Micromedic System Inc., USA)에서 1분 동안 측정하였다.

4. 통계분석

한우 혈액내 인슐린 및 렙틴농도와 지방형질(근내지방도, 등지방 및 P8지방)과 연관성분석을 위한 통계분석은 R-통계 팩키지(R Development Core Team 2005)의 선형 모형(GLM)을 이용하여 분석하였다. 분석모형은 다음과 같이 설정하였다.

$$\text{Phenotypes} = \mu + \text{Leptin(Insulin)} + e$$

여기서, *Phenotypes*=한우 지방형질(근내지방도, 등지방 및 P8지방) 관찰값, μ =각 형질의 전체평균, e =임의오차(랜덤효과). 임의 선발된 집단으로 얻은 관찰값의 독립성, 정규성 및 등분산성을 위하여 회귀진단을 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 혈중 인슐린농도와 지방형질간의 상관

본 연구에서 사용된 임의 선발된 한우집단의 혈중 인슐린, 렙틴농도에 대한 표현형의 회귀분석에 있어서, 데이터의 표준화, 정규화 및 독립성을 검증하는 회귀진단을 수행하였다(Figure 2). 회귀진단에 있어서 데이터의 독립성은 한우시험장 보유 축군으로부터 혈통, 성별 및 나이등을 고려하여 100마리를 임의 선발하였기 때문에 독립성은 인정이 되며, 데이터의 표준화 및 정규성을 분석하기 위하여 잔차플롯등의 회귀진단을 한 결과 Fig. 2에서 보는바와 같이 데이터의 표준화 및 정규분포를 만족하는 것으로 분석

되었다. 한우 근내지방, 등지방두께 및 근내지방 추정의 간접지표로 사용되고 있는 P8 지방두께와 같은 지방형질에 대해서 혈중 인슐린 및 렙틴이 미치는 효과를 분석한 결과, 한우에 있어서 혈중 인슐린 농도는 근내지방, 등지방 및 P8지방 두께와 정의 상관을 보였다(Fig. 3(A), (B), (C)). 특히, 등지방두께($P=0.07$) 및 P8지방두께($P=0.09$)에서는 통계적 유의차를 보이지 않았지만, 근내지방($P=0.02$)에서 통계적 유의차를 보였다. 이러한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같이 등지방두께와 P8지방두께에 있어서 표현형 평균에 대한 표준편차 값이 임의선발된 한우에서 매우 크게 분포하고 있기 때문인 것으로 사료된다. 혈중 인슐린농도와 표현형간 회귀분석결과 혈중 인슐린이 1단위에 대해서 근내지방도 0.05, 등지방 0.12 및 P8지방두께 0.23정도 상승하는 것으로 분석되었다(Table 3). 등지방두께와 P8지방두께에 대해서는 통계적 유의차를 보이지 않았지만, 근내지방에서 혈중 인슐린 농도는 유의차를 보였으며, 회귀분석을 통하여 추정된 근내지방에 대한 혈중 인슐린농도의 추정값은 근내지방의 전체 표현형 분산의 약 2% 만을 설명

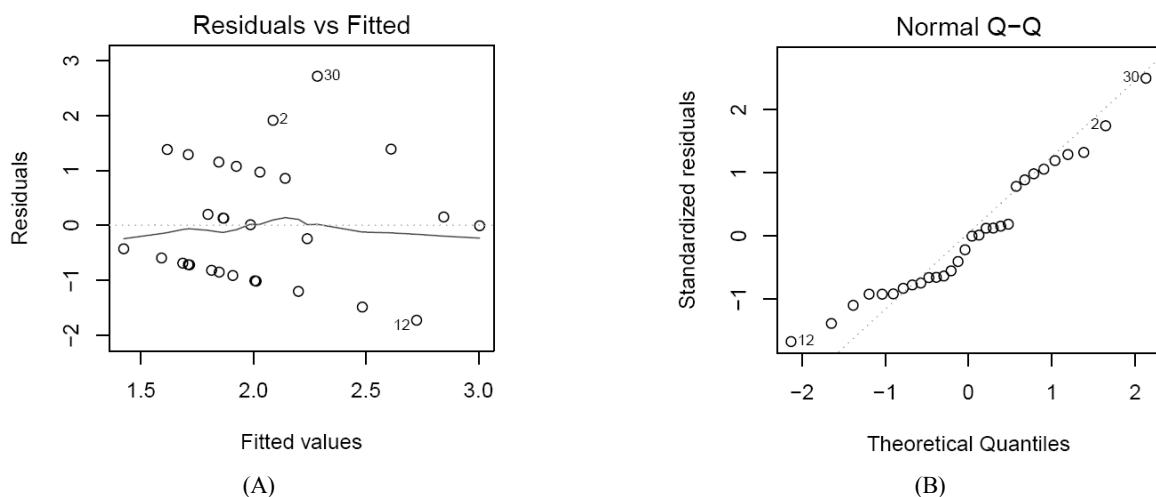


Fig. 2. Diagnostics of generalized linear models for the plasma leptin concentration. (A) and (B) are diagnostic residual plot and Q-Q plot of this linear model.

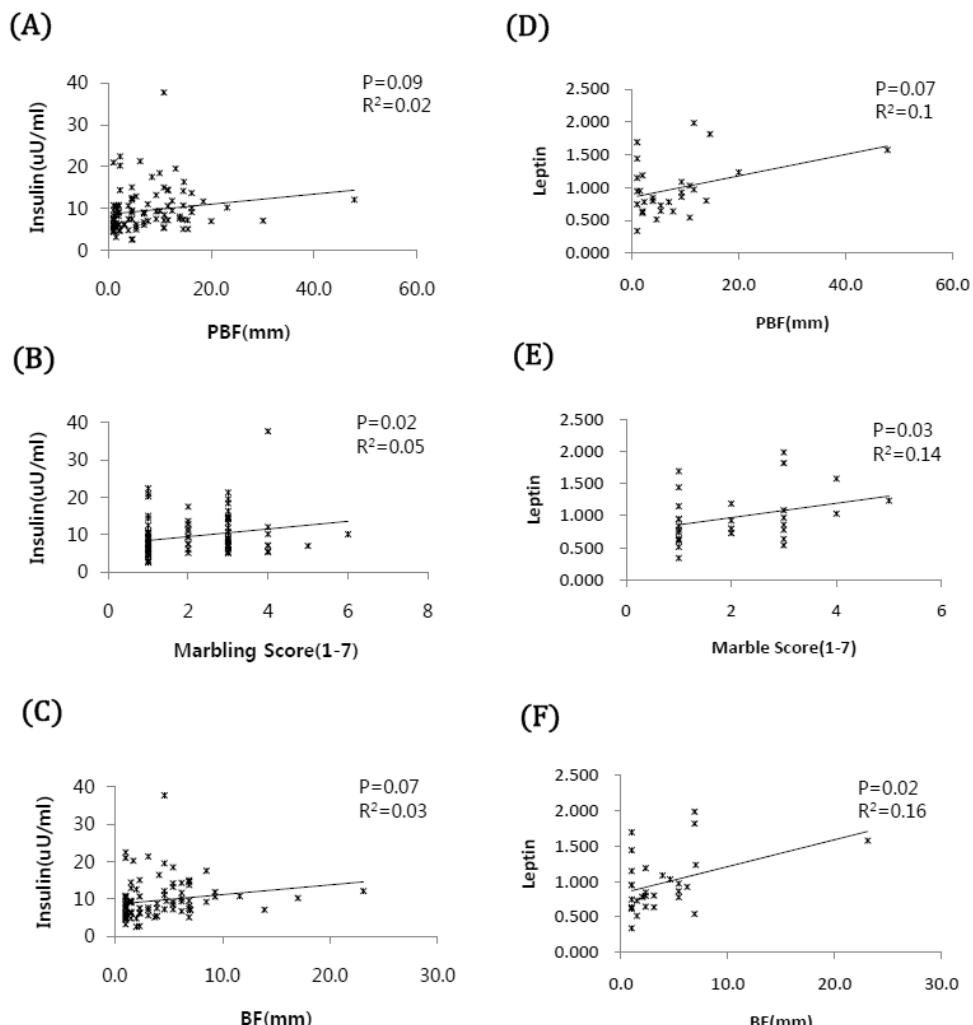
Table 2. Summary statistics for phenotypes of randomly sampled animal (n=100) in this study

Traits	No of Record	Means	SD	Min	Max
Marbling score, 1-7	100	2.01	1.1	1	7
Back fat, mm	100	3.8	3.5	1	23.1
P8 fat thickness, mm	100	7.3	7.2	1	47.1
Plasma Insulin, UL/ml	100	9.5	5.1	2.6	37.7
¹ Plasma Leptin, ng/ml	30	0.97	0.39	0.3	2.0

¹Data for blood leptin level were excluded because the results of 70 out of 100 cattle were less than detection limit.

Table 3. Regression coefficient of fat traits on plasma insulin and leptin concentration

Items	Marbling, 1-7			Back fat thickness, mm			P8 fat thickness, mm		
	Estimate	S.E	P-value	Estimate	S.E	P-value	Estimate	S.E	P-value
Insulin	0.05	0.02	0.02	0.12	0.17	0.07	0.23	0.14	0.09
Leptin	0.11	0.06	0.07	0.04	0.01	0.02	0.01	0.007	0.03

**Fig. 3.** Relationship between circulating plasma leptin and insulin concentration and fat traits of longissimus thoracis (LT) muscle in Hanwoo.

하는 것으로 사료된다(그림 3(A), (B), (C)).

혈중 인슐린 농도는 근육의 지방대사에 매우 중요한 역할을 담당하고 있으며 세포의 초기 지방합성을 촉진시키는 전사조절인자인 *PPAR γ* 의 발현을 촉진시켜서 근육내 지방합성을 촉진시키는 역할을 한다(Kersten, 2001). 현재까지, 가축에서 혈중 인슐린 농도와 도체형질간의 연관성 분석결과는 다수가 보고되고 있다. 특히, 혈중 인슐린 농도는 가축의 나이와 체중에 따라 현저하게 증가된다고 보고되어지고 있고(Trenkle, 1970; Martin 등 1979), 소형종이며

조기성숙되는 품종이 대형종보다 인슐린농도가 현저히 증가되는 것으로 보고되고 있다(Roy 등 1983, Grigsby와 Trenkle, 1986). 즉 가축의 근내지방은 리무진, 심멘탈 등과 같은 대형종보다 앵거스, 일본흑모화우 및 한우등과 같은 소형종에서 현저히 좋은 이유를 이러한 생리학적 원인 때문일 것으로 사료된다. 특히, Matsuzaki 등(1997)은 유전적으로 근내지방이 높은 일본흑모화우와, 그 외 품종인 갈모화우 및 홀스타인종에 대해서 성장단계별 혈중인슐린 농도를 측정하였다. 그결과, 일본 흑모화우가 일본 갈모화우나 홀스

타인보다 근내지방이 형성되기 시작하는 300 kg 시점에서 혈중 인슐린농도가 유의적으로 상승하는 결과를 보였다. 이러한 결과는 혈중 인슐린 농도가 근내지방형성시 지방합성을 촉진시키는 하나의 요인으로 사료된다.

2. 혈중 렙틴농도와 지방형질간의 상관

그림 3(D, E, F)에서 보는바와 같이 혈중 렙틴과 한우 지방형질과의 연관성을 분석한 결과, 한우의 근내지방 ($P=0.03$)과 등지방두께($P=0.02$)에서 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 그러나, P8 지방두께($P=0.07$)에서는 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다. 특히, P8지방두께 ($P=0.07$)에서는 통계적 유의차를 보이지 않았지만, 등지방 두께(0.02) 및 근내지방($P=0.02$)에서 통계적 유의차를 보였다(그림 3(D), (E), (F)). 혈중 렙틴농도와 표현형간 회귀분석결과 혈중 렙틴농도 1단위에 대해서 근내지방도 0.11, 등지방 0.04 및 P8지방두께 0.01정도 상승하는 것으로 분석되었다(표 3). 따라서, 등지방두께와 근내지방도에서 회귀분석에서 추정된 등지방두께와 근내지방도에 대한 혈중 렙틴농도의 추정값은 전체 렙틴 농도의 표현형분산에 대해서 근내지방 3%, 등지방 16%를 설명하는 것으로 분석되었다(그림 3(D), (E), (F)). 이러한 결과는 렙틴농도와 한우의 지방형질간의 통계적 유의성이 인정되고, 특히 렙틴 농도는 이들 지방형질에 매우 큰 효과를 미치는 것으로 사료된다. 혈중 렙틴농도와 도체형질간의 연관성연구는 일본 흑모화우를 중심으로 다수 보고되어져 있다. Yonekura 등 (2002)에 따르면 일본 흑모화우에서 혈중 렙틴의 농도가 홀스터인보다 약 2배이상 높다고 보고하였으며, 특히 근내지방이 왕성하게 증가하는 14개월령부터 20개월령사이에 혈중 렙틴농도가 유의적으로 증가한다고 보고하였다. Tokuda and Yano(2001)도 혈중 렙틴농도가 비육후기의 14~22개 월령에서 가장 높다고 보고 하였다. Chilliard 등(1998)은 가축에 있어서 혈중 렙틴 농도는 지방세포의 크기(size), 수(number) 및 영양상태와 매우 연관 되어있다고 보고하였다. 따라서, 본 연구에서 혈중 렙틴농도는 임의선발된 집단의 근육내 지방합량(지방세포의 수 및 크기)이 증가와 15개월령부터 21개월령 중 체중의 1.7~1.8%로 급여한 고에너지 사료급여의 효과 때문일 것으로 사료된다.

그림 1에서 보는 바와 같이 혈중 인슐린 및 렙틴은 근육내 초기 지방합성 및 축적에 있어서 매우 중요한 역할을

감당하고 있다. 또한 그림 3에서 보는 바와 같이 한우에 있어서 혈중 인슐린 및 렙틴은 지방형질(근내지방도, 등지방 및 P8지방)에 있어서 정의 상관을 보였다. 근내지방과 같이 객관적으로 측정하기 어려운 형질 또는 도축시 얻어지는 형질에 대해서 이들 형질을 조기에 예측하고 추정할 수 있는 생물학적 표시자(biological indicator)를 탐색하는 연구가 과거부터 지속적으로 수행되어 오고 있다. 최근 Anderson 등(1988)은 Insulin like growth factor-I(IGF-I)농도가 소의 지방형질과 부의 상관을 갖고 있고, 성장 및 육량과 정의 상관을 갖는다고 보고하였고, Davis 등(2000)은 앵거스 집단에 대해서 IGF-I 농도에 대한 유전력, 유전 상관 및 IGF-1의 육종가를 이용하여 소의 성장에 대한 간접 선발효과를 앵거스 육종프로그램에 활용하고 있다. 따라서 본 연구결과와 같이 가축의 근내지방과 연관되어 있는 혈중 인슐린 및 렙틴과 같은 생물학적 표시자(biological indicator)가 개발된다면 초음파 결과와 함께 출하시점에서 가축의 근내지방을 조절하는 생물학적 지표로 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 혈중 인슐린 및 렙틴이 한우 지방형질과의 연관성을 조사하기 위하여 수행하였다. 혈중 인슐린 및 렙틴과 같은 생물학적 표시자(biological indicator)가 개발된다면 송아지가 태어나자마자 혈액을 채혈하여 근내지방등의 형질에 대한 조기 예측이 가능할 것이다. 혈중 인슐린 및 렙틴과 한우 지방형질과의 회귀 분석결과, 혈중 인슐린은 근내지방형질($P=0.02$)과 유의적인 효과를 보였지만, 등지방($P=0.07$) 및 P8지방두께($P=0.09$)에 대해서는 유의한 결과를 보이지 않았다. 한편, 혈중 렙틴농도는 근내지방 ($P=0.03$)과 등지방두께($P=0.02$)에서 통계적 유의차를 보였고, P8지방두께($P=0.07$)에서는 통계적 유의차를 보이지 않았다. 두 형질에 대해서 통계모델 적합도(R^2)를 분석한 결과, 혈중 인슐린농도는 근내지방, 등지방두께 및 P8지방두께와 각각 0.05, 0.03 및 0.09를 보였고, 혈중 렙틴농도는 근내지방, 등지방두께 및 P8지방두께와 각각 0.03, 0.02 및 0.07정도로 나타났다. 이러한 결과는 혈중 인슐린 및 렙틴농도가 근내지방, 등지방 및 P8지방두께에 효과를 가지고 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ 907008)과 차세대바이오그린 21사업 동물유전체육종사업단 공동연구사업(과제번호: PJ 008188)의 지원에 의하여 수행하였으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Anderson PT, Bergen WG, Merkel RA, Enright WJ, Zinn SA, Refsal KR, Hawkins DR. 1988. The relationship between composition of gain and circulating hormones in growing beef bulls fed three dietary crude protein levels. *J. Anim. Sci.* 66: 3059-3067.
- Brandt MM, Keisler DH, Meyer DL, Schmidt TB, Berg EP. 2007. Serum hormone concentrations relative to carcass composition of a random allotment of commercial-fed beef cattle. *J. Anim. Sci.* 85: 267-275.
- Chilliard Y, Ferlay A, Delevaud C, Bocquier F. 1998. Plasma leptin in underfed or overfed adult Holstein and Charolais cows, and its relationship with adipose tissue cellularity. *Int. J. Obes.* 22: S171.
- Davis ME, Simmen RCM. 2000. Genetic parameter estimates for serum insulin-like growth factor-I concentration and carcass traits in Angus beef cattle. *J. Anim. Sci.* 78: 2305-2313.
- Grigsby ME, Trenkle A. 1986. Plasma growth hormone, insulin, glucocorticoids and thyroid hormones in large, medium and small breeds of steers with and without an estradiol implant. *Domest. Anim. Endocrinol.* 3: 261-267.
- Hegarty BD, Furley SM, Ye J, Cooney GJ, Kraegen EW. 2003. The role of intramuscular lipid in insulin resistance. *Acta. Physiol. Scand.* 178: 373-383.
- JMGA. 1988. New beef carcass grading standards. Japan Meat Grading Association, Tokyo, Japan.
- Kersten K. 2001. Mechanisms of nutritional and hormonal regulation of lipogenesis. *EMBO reports.* 2:282-286.
- Kim KH, Lee JH, Oh, YG, Kang, SW, Lee, SC, Park WY, Ko, YD. 2005. The optimal TDN levels of concentrates and slaughter age in Hanwoo steers. *J. Anim. Sci. Technol.* 47(5): 731-744.
- Lee, SH, Park EW, Cho YM, Kim KH, Oh YK, Lee JH, Lee CS, Oh SJ, Yoon DH. 2006. Lipogenesis gene expression profiling in Longissimus dorsi on the early and late fattening stage of Hanwoo. *J. Anim. Sci. Technol.* 48(3): 913-920.
- Martin TG, Mollett TA, Stewart TS, Erb RE, Malven PV, Veenuizen EL. 1979. Comparison of four levels of protein supplementation with and without oral diethylstibestrol on blood plasma concentrations of testosterone, growth hormone and insulin in young bulls. *J. Anim. Sci.* 49: 1489-1496.
- Matsuzaki M, Takizawa S, Ogawa M. 1997. Plasma insulin, metabolite concentrations and carcass characteristics of Japanese black, Japanese brown and Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 75: 3287-3293.
- Stannard SR, Johnson NA. 2003. Insulin resistance and elevated triglyceride in muscle: more important for survival than thrifty genes?. *J. Physiol.* 554: 595-607.
- Tokuda T, Yano H. 2001. Blood leptin concentrations in Japanese black cattle. *Animal Science* 72: 309-313.
- Trenkle A. 1970. Plasma levels of growth hormone, insulin and plasma protein-bound iodine in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 31: 389-393.
- Trenkle A, Topel DG. 1978. Relationships of some endocrine measurements to growth and carcass composition of cattle. *J. Anim. Sci.* 46: 1604-1609.
- USDA. 1989. Official United States standards for grades of beef carcasses. Agric. Marketing Serv. USDA, Washington, DC
- Wang YH, Byrne KA, Reverter A, Harper GS, Taniguchi M, McWilliam SM, Mannen H, Oyama K, Lehnert SA. 2005. Transcriptional profiling of skeletal muscle tissue from two breeds of cattle. *Mamm. Genome* 16: 201-210.
- Yonekura S, Oka A, Noda M, Uozumi N, Yonezawa T, Katoh K, Obara Y. 2002. Relationship between serum leptin concentrations and the marbling scores in Japanese black cattle. *Animal Science Journal.* 73: 51-57.