

한국 재래 돼지와 듀록의 경제형질과 후보 유전자 다형성간의 연관성 분석

김명직 · 오재돈¹ · 조규호 · 이제현¹ · 이승수 · 홍윤숙¹ · 전기준 · 전광주¹ · 이학교^{1*}
축산연구소

Association between Economic Traits and Candidate Gene Polymorphism in Korean Native Pig and Duroc

M. J. Kim, J. D. Oh¹, G. H. Cho, J. H. Lee¹, S. S. Lee, Y. S. Hong¹,
K. J. Jeon, G. J. Jeon¹ and H. K. Lee^{1*}

National Livestock Research Institute, R.D.A.

SUMMARY

MC4R, PRKAG3, FABP3, and ESR have reported as important candidate genes related to some economic traits in pigs. To investigate the association between these genes and economic traits, the analysis of restriction fragment length polymorphism (RFLP) was conducted on 147 individuals (96 Durocs and 86 Korea native pigs; KNP) using single nucleotide polymorphism (SNP). Different genotype frequencies of 4 candidate genes were observed in Duroc and KNP. There were significant associations between MC4R polymorphic site and average daily gain (ADG, $p < 0.05$) and backfat thickness (BF, $p < 0.05$) in the Duroc, ADG ($p < 0.05$) and days to 70 kg ($p < 0.05$) in KNP. PRKAG3 polymorphic site were significantly related to BF ($p < 0.05$) in the Duroc, ADG ($p < 0.05$) and days to 70 kg ($p < 0.05$) in the KNP. In FABP3, association with BF ($p < 0.05$) in the Duroc, ADG ($p < 0.05$) and days to 70 kg ($p < 0.05$) in the KNP were found. ESR polymorphic site was not significantly associated to any other traits.

(Key words : Korean native pig, candidate gene, polymorphism, RFLP, SNP)

서 론

Andersson 등(1994)이 유럽 야생종 돼지와 랜드 레이스 품종간의 교배를 통해 조성한 참고집단(reference family)에서 주요 경제형질에 대한 양적형질유전자좌(quantitative trait loci; QTL)의 존재 여부를 전체 계통 수준에서 밝혀낸 이래, 그동안 이른적으로만 제시되었던 경제형질에 대한 분자 유전학적 표지 인자(genetic marker)의 발굴이 시작되었고, 최근 몇 년 동안 진행되어온 국제적인 돼

지 양적형질유전자좌 지도 작성 프로젝트의 노력 덕분에 이미 상당히 높은 해상도의 경제형질과 유전적 표지 인자 간의 QTL 지도가 작성되었다(Wimmers 등, 2006; Van Wijk 등, 2006; Houston 등, 2005; Uleberg 등, 2005; Kim 등, 2004). 이러한 노력에 힘입어 분자 생물학적 기법의 발달과 가축에 대한 이들 기법의 응용 사례가 급격히 증가함에 따라 특정 경제형질에 관여되는 여러 종류의 후보 유전자(candidate gene)의 발견과 경제형질 유전자 좌위(economic trait loci; ETL)의 해석 등으로 가축

¹ 한경대학교 유전정보연구소(Genomic Informatics Center, Hankyong National University)

* Correspondence : E-mail : breedlee@empal.com

육종의 새로운 전기가 마련되고 있다. 이러한 경제 형질에 관여하는 유전자좌(locus)나 유전자(gene)를 유전적 표지(marker)로 이용하는 MAS(Marker Assisted Selection)를 통하여 기존의 종축 선발 방법의 효과를 높일 수 있을 것으로 기대되고 있다. 하지만 아직까지는 강력한 후보 유전자라 할지라도 집단과 품종에 따라 미치는 영향의 차이가 있음이 여러 논문을 통해 보고되고 있으므로(Thaller 등, 2003; Drogemuller 등, 2001), 국내의 품종별, 지역별 사육 집단들에 대한 후보 유전자의 연관성 분석은 반드시 선행되어야 하는 연구라 사료된다. 이러한 후보 유전자들 중 특히 MC4R(melanocortin-4 receptor), PRKAG3(protein kinase adenosine monophosphate-activated γ 3-subunit), FABP3(fatty acid-binding protein) 및 ESR(estrogen receptor)은 여러 경제형질과의 유의한 연관성이 많은 연구를 통해 보고되고 있다(Huang 등, 2004; Hernandez-Sanchez 등, 2003; Gerbens 등, 2001; Gerbens 등, 1999; Short 등, 1997). 본 연구는 앞에 제시한 4개의 후보 유전자들에 대해 국내에서 사육되고 있는 듀록 품종 집단과 재래 돼지 집단에서의 경제형질과의 연관성을 검증하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구를 위해 축산연구소에서 사육된 한국 재

래 돼지 86두와 듀록 96두의 혈액이 채취되었고, 형질 자료는 일당 증체량(ADG), 등지방 두께(BF), 듀록은 90 kg 도달일령, 한국 재래 돼지는 70 kg 도달 일령이 조사되었다.

2. Genomic DNA 정제

공시축의 혈액으로부터 DNA의 분리 및 정제는 Genomic DNA Extraction Kit(Bioneer™)으로 지침서에 따라 실행되었고, 분리된 DNA는 TE Buffer(10 mM Tris-HCl, pH 7.4, 1 mM EDTA)에 용해하였다.

3. DNA 증폭 및 RFLP

각 유전자의 다형성 검정을 위해 Table 1에 제시한 primer와 조건을 이용하여 PCR을 수행하였다. 각 유전자를 증폭하기 위한 PCR 반응액은 약 50~80 ng의 주형 DNA, primer 각 10 pmol, dNTPs 50 μ M, 10X reaction buffer 10 mM Tris-HCl, pH 8.3, 50 mM KCl, 1.5 mM MgCl₂ 및 1 unite Taq polymerase(IBS, Korea)를 혼합하여 최종 부피를 50 μ l로 하였다. 반응 조건은 94°C에서 2분간 denaturation한 후 94°C에서 30초(denaturation), 62°C에서 1분간 annealing, 72°C에서 1분 20초 extension을 35cycle 수행한 후 마지막으로 72°C에서 10분간 최종 extension 과정을 주면서 GeneAmp PCR System 9600(Perkin-Elmer Co, USA) 기기에서 수행하였다. PCR 증폭 산물은 단편의 크기가 예측되는 대립 유전자 크기 범위 내에 존재하도록 증폭되었

Table 1. Primer sequence and PCR-RFLP information for 4 candidate genes analysis

Gene	Primer sequenc (5'→3')	Temp [†]	Size [‡]	Enzyme [*]
MC4R	F : TACCCTGACCATCTTGATTG R : ATAGCAACAGATGATCTCTTT	62	220 bp	<i>TaqI</i>
PRKAG3	F : GGAGCAAATGTGCAGACAAG R : CCCACGAAGCTCTGCTTCT	59	240 bp	<i>BsaHI</i>
FABP3	F : GGACCCAAGATGCCTACGCCG R : CTGCATCTTTGACCAAGAG	57	700 bp	<i>HinfI</i>
ESR	F : CCTGTTTTTACAGTGACTTTTTACAGAG R : CACTTCGAGGGTCAGTCCAATTA	55	120 bp	<i>PvuII</i>

[†] Temp: annealing temperature, [‡] Size: PCR product size (bp), ^{*} Enzyme: restriction enzyme.

는지 PCR 조건의 적정성 여부를 확인하기 위하여 1% TBE Agarose gel을 이용하여 UV상에서 전기영동하였다. 각 유전자의 다형성 분석은 각각의 제한 효소를 이용하여 적정 반응 온도(*TaqI* : 65°C, *BsaHI* : 37°C, *HinfI* : 37°C, *PvuII* : 37°C)에서 6시간동안 처리한 후 전기영동을 실시한 후 유전자형을 결정하였다.

4. 통계 분석

조사된 경제형질 측정치에 대한 유전자형의 효과를 추정하기 위해 SAS 8.1 Package/PC를 이용하여 다음과 같은 일반 선형 모형(GLM) 분석을 하였으며, 유전자형의 효과를 알아보기 위해 최소 제곱 평균치간의 유의성 검정을 실시하였다.

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + G_j + T_{ijk} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} : i 번째 성별의 j 번째 유전자형의 k 번째 개체의 측정치

S_i : i 번째 성별의 효과 ($i = 1, 2$)

G_j : j 번째 유전자형의 효과 ($j = AA, AB, BB$)

T_{ijk} : 검정일령에 대한 공변이

e_{ijk} : 임의오차

결과 및 고찰

돼지의 경제형질과 연관성이 보고된 4개의 후

보 유전자를 대상으로 PCR-RFLP 기법을 이용하여 유전자형을 조사하였다. Table 2는 이렇게 분석된 유전자형을 듀록 품종과 한국 재래 돼지 집단으로 나누어 제시한 것이다. Table 2에 제시된 결과에 따르면 두 품종간의 유전적 특성의 차이가 있음을 알 수가 있다. MC4R 유전자의 유전자형 빈도는 듀록 품종에서 AA, AB 그리고 BB가 각각 0.2396, 0.4792 그리고 0.2813으로 나타난 반면, 재래 돼지의 AA 유전자형은 0.0192로 그 빈도가 듀록 품종과 현저하게 차이가 있음을 확인하였다. Kim 등(2000)의 보고에 따르면 랜드레이스 품종의 경우, AA 유전자형의 빈도가 0.553으로 굉장히 높게 나타난 반면 BB 유전자형은 0.047로 극히 작은 빈도를 나타냈고, Large White 품종의 경우는 AA, AB 그리고 BB 유전자형의 빈도가 각각 0.349, 0.438 및 0.211로 본 연구의 듀록 품종의 유전자형 빈도와 유사한 양상을 나타내고 있었다. PRKAG3 유전자의 경우, 듀록 품종은 AA 유전자형 빈도는 0.052로 아주 낮게 나타났으며, BB 유전자형의 빈도는 0.635로 매우 높게 나타났다. 반면 한국 재래 돼지는 AA, AB 및 BB 각각의 유전자형 빈도가 0.294, 0.529 및 0.176으로 나타나 두 품종 간에 상당히 상이한 양상을 보이고 있음을 확인하였다. FABP3 유전자의 대립 유전자 빈도 역시 듀록 품종과 재래 돼지 품종간의 차이가 확연하게 나타나고 있다. 듀록 품종의 경우 AA, AB 그리고 BB 유전자형의 빈도가 각각 0.129, 0.397 그리고 0.473으

Table 2. Candidate gene genotype frequencies in Duroc and KNP

Gene	Duroc			KNP*		
	AA	AB	BB	AA	AB	BB
MC4R	0.2396	0.4792	0.2813	0.0192	0.5000	0.4808
PRKAG3	0.0521	0.3125	0.6354	0.2941	0.5294	0.1765
FABP3	0.1290	0.3978	0.4731	0.5882	0.3725	0.0392
ESR	1.0000	-	-	0.1346	0.5192	0.3462

* KNP : Korea native pig.

MC4R genotype: AA-220 bp, AB-220+150+70 bp, BB-150+70 bp, PRKAG3 genotype: AA-80+160 bp, AB-10+20+80+130+160 bp, BB-10+20+80+130 bp, FABP genotype: AA-350+180+130 bp, AB-350+220+180+130 bp, BB-350+220+130 bp., ESR genotype: AA-120 bp, AB-120+65+55 bp, BB-65+55 bp.

로 나타난 반면 재래 돼지에서는 AA 유전자형의 빈도가 0.588로 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있었으며 BB 유전자형의 빈도는 0.039로 상당히 낮게 나타났다. Nechtelberger 등(2001)의 보고에 따르면 Large White 품종의 경우 AA 유전자형의 빈도가 0.775로 나타났으며 BB 유전자형은 전혀 나타나지 않은 것으로 보고되었고, Landerace 품종의 경우는 AA 유전자형이 0.870, BB 유전자형은 0.011로 보고되었다. 본 연구의 FABP3 유전자의 대립 유전자 빈도와 비교하였을 때 듀록 품종과는 매우 상이한 양상을 나타내고 있는 반면 재래 돼지와는 비교적 유사한 양상을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 마지막으로 ESR 유전자의 유전자형 빈도는 듀록 품종에서 AA 유전자형만이 발현을 하였으며 재래 돼지에서는 AA, AB 그리고 BB 유전자형의 빈도가 각각 0.134, 0.519 그리고 0.346으로 나타난 것을 확인할 수 있었다. 듀록 품종의 AA 유전자형이 100%로 조사된 반면, 재래 돼지에서는 0.134의 낮은 빈도를 나타내고 있었다.

Table 3, 4는 국내에서 사육되고 있는 듀록 품종과 한국 재래 돼지의 유전자 다형성과 경제형질과의 연관성을 분석하여 제시하였다. MC4R 유전자

는 돼지의 성장(growth rate)과 체조성(body composition)에 영향을 미칠 수 있는 매우 중요한 후보 유전자로 보고되고 있으며 유전자내에 존재하는 G/A DNA 변이(Asp298Asn)가 사료 섭취, 도체 지방 및 성장 형질에 유의한 영향을 미치고 있음이 보고되었다(Kim 등, 2004; Park 등, 2002; Kim 등, 2000). MC4R 유전자의 경제형질과의 연관성 분석 결과, 듀록 품종의 AA 유전자형은 일당 증체량이 0.950 ± 0.014 로 나타났고, 이는 BB 유전자형의 0.912 ± 0.014 보다 높은 것으로 나타났으며, 두 유전자형 간의 차이가 유의한($p < 0.05$) 것으로 검출되었다. 또한 등지방 두께에 있어서도 AA 유전자형(1.288 ± 0.038)은 AB, BB 유전자형의 값보다 두꺼운 것으로 나타났고, 이러한 차이는 통계적으로 유의한 것으로 검출되었다. 재래 돼지 집단의 분석결과 MC4R 유전자 변이 효과는 일당 증체량과 70 kg 도달 일령에서 유의성이 발견되었다. 일당 증체량에 있어 재래 돼지의 AA 유전자형(0.579 ± 0.056)과 AB(0.510 ± 0.011), BB(0.449 ± 0.012) 유전자형 간에 유의적인 차이가 측정되었다. 또한 70 kg 도달일령에서 AA(160.9 ± 11.85), AB(173.3 ± 3.62) 유전자형과 BB 유전자형(187.2 ± 4.01)간의 유의적인 차이가 나

Table 3. Least squares means and standard errors for the performance traits by 4 candidate gene genotype in the Duroc breed

Gene	Genotype	Traits		
		ADG [†]	BF [‡]	Days to 90kg
MC4R	AA	0.950 ± 0.014^a	1.288 ± 0.038^a	133.7 ± 1.631
	AB	0.934 ± 0.010^{ab}	1.164 ± 0.029^b	135.4 ± 1.219
	BB	0.912 ± 0.014^b	1.152 ± 0.037^b	137.0 ± 1.583
PRKAG3	AA	0.893 ± 0.029	1.024 ± 0.078^a	139.5 ± 3.191
	AB	0.924 ± 0.013	1.158 ± 0.037^{ab}	137.8 ± 1.496
	BB	0.939 ± 0.009	1.218 ± 0.026^b	134.1 ± 1.073
FABP3	AA	0.314 ± 0.019	1.339 ± 0.052^a	137.3 ± 2.212
	AB	0.945 ± 0.123	1.207 ± 0.032^b	133.9 ± 1.373
	BB	0.920 ± 0.011	1.146 ± 0.029^b	136.5 ± 1.220

[†] ADG : average daily gain, [‡] BF : backfat thickness.

^{ab} Values with different superscripts within column are significantly different, $p < 0.05$.

Table 4. Least squares means and standard errors for the performance traits by 4 candidate gene genotype in the KNP

Gene	Genotype	Traits		
		ADG [†]	BF [‡]	Days to 70 kg
MC4R	AA	0.579±0.056 ^a	2.330±0.312	160.9±11.851 ^a
	AB	0.510±0.011 ^b	2.161±0.063	173.3± 3.627 ^a
	BB	0.449±0.012 ^b	2.173±0.070	187.2± 4.015 ^b
PRKAG3	AA	0.451±0.014 ^b	2.044±0.078	189.8± 4.437 ^b
	AB	0.487±0.012 ^b	2.230±0.065	176.4± 3.709 ^{ab}
	BB	0.545±0.020 ^a	2.230±0.105	165.5± 5.983 ^a
FABP3	AA	0.490±0.012 ^a	2.133±0.058	178.2± 3.680 ^a
	AB	0.481±0.016 ^{ab}	2.218±0.078	180.5± 4.973 ^a
	BB	0.393±0.458 ^b	2.444±0.219	191.3±13.869 ^b
ESR	AA	0.458±0.024	2.107±0.119	183.9± 7.127
	AB	0.505±0.012	2.135±0.062	173.5± 3.694
	BB	0.459±0.016	2.252±0.078	187.6± 4.683

[†] ADG : average daily gain, [‡] BF : backfat thickness, KNP : Korea native pig.

^{ab} Values with different superscripts within column are significantly different, $p < 0.05$.

타났다. 그러나 등지방 두께에 미치는 MC4R 유전자의 염기변이 효과는 재래 돼지 집단에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 듀록 품종과 재래 돼지 모두에서 일당 증체량에 있어 MC4R 유전자 변이 효과가 유의한 것으로 나타났으며, 등지방 두께는 듀록 품종에서만 유의한 결과가 검출되었고, 재래 돼지에서 70 kg 도달 일령에 대한 유의한 차이가 나타났다. 분석 결과 AA 유전자형이 성장형질에 있어 듀록과 재래 돼지 집단 모두에서 우수한 연관성을 나타내고 있으며 유전자형 빈도는 각각 0.239, 0.019로 검출되었다. 이는 A 대립유전자가 성장형질과 유의적인 연관성을 지니고 있음을 추정할 수 있었다. 듀록 품종의 A 대립 유전자의 유전자형 빈도는 0.479로 나타난 반면 재래 돼지 집단에서는 0.269로 상당히 낮은 빈도를 나타내고 있다.

PRKAG3 유전자는 돼지와 사람이 공통으로 소유하고 있으며 사람의 경우 비만과 당뇨병에 관련이 있는 것으로 보고되었다. 또한 이 유전자는 근

육내에서 글라이코젠 합성에 관여하고 있는 것으로 보고되고 있다(Milan 등, 2000). 본 연구에서는 PRKAG3 유전자내에 존재하는 R200Q(A/G) 변이 지역과 경제형질간의 연관성을 규명하기 위한 분석을 실시하였다. PRKAG3 유전자의 변이 효과는 듀록 품종에서는 등지방 두께에서 유의한 것으로 검출되었고, 재래 돼지에서는 일당 증체량과 70 kg 도달 일령에서 유의한 차이를 보였다. 먼저 듀록 품종에서는 BB(1.218±0.026)과 AA(1.024±0.078) 유전자형 간의 등지방 두께 차이가 유의한 것으로 나타났다. 재래 돼지의 경우, 일당 증체량에 있어 BB 유전자형(0.543±0.02)과 AB(0.487±0.012), AA (0.451±0.014) 유전자형간의 차이가 유의한 것으로 검출되었다. 또한 70 kg 도달 일령에서 BB(165.5± 5.98) 유전자형과 AA(189.8±4.43) 유전자형간의 차이가 유의성 있게 나타났다. 재래 돼지에서 성장형질과 관련하여 높은 일당 증체량과의 연관성을 나타낸 BB 유전자형의 발현 빈도는 0.176으로 듀록 품종에 비해 상당히 낮은 빈도를 보이고 있었다. PRKAG3

유전자의 B 대립 유전자는 듀록 품종에서 등지방 두께가 두꺼운 것에 유의한 영향력이 발견되었으며, 성장 형질에서도 유의한 결과는 검출되지 않았지만 일정한 경향치를 보이고 있으므로 성장 형질에 있어서도 연관성이 있을 것으로 추정되어진다.

Fatty acid-binding proteins(FABPs)은 세포질막 내 지방산의 운송과 관련한 유전자로 보고되었으며(Veekamp와 Maatman, 1995), 세포간 지방산의 농도를 조절하고 부분적으로 지질 대사에 관여한다(Veekamp 등, 1993). FABP3의 유전적 다양성은 돼지의 근내 지방 함량, 등지방 두께 및 성장 형질과 연관성이 있음이 보고된 바 있다(Gerbens 등, 1998). FABP3 유전자의 변이 효과는 듀록 품종에서는 등지방 두께에 대해 유의한 차이가 나타났으며, 일당 증체량은 재래 돼지에서만 유의한 결과가 검출되었다. 듀록 품종의 등지방 두께에서 FABP3 유전자의 AA 유전자형(1.339±0.05)과 AB(1.207±0.03), BB(1.146±0.02) 유전자형간의 차이가 유의한 것으로 나타났다. 재래 돼지 집단에서는 일당 증체량에서 AA(0.49±0.01) 유전자형과 BB(0.393±0.04) 유전자형간의 차이가 유의한 것으로 나타났다. 따라서 FABP3 유전자의 A 대립 유전자는 듀록 품종에서는 등지방 두께가 두꺼운 것과 재래 돼지 집단에서는 일당 증체량이 높은 것에 영향을 미치고 있음을 확인하였다. FABP3 유전자의 변이 효과 분석 결과에 따르면 같은 유전자내의 변이가 품종이나 집단간에 영향력을 미치는 형질이 차이가 있을 수 있음을 확인하였다.

ESR 유전자의 경제형질에 미치는 변이 효과 분석은 듀록 품종에서는 AA 유전자형 이외의 유전자형이 검출되지 않아 분석에 활용하지 못하였다. 그리고 재래 돼지 집단에서의 분석은 유의한 결과가 도출되지 않았다. ESR 유전자는 산자수와 관련이 있는 후보 유전자로서 많은 연구가 보고되었으며(Kaminski 등, 2002; van Rens 등, 2000) 여러 경제형질과도 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Short 등, 1997). 하지만 본 연구에서 일당 증체량, 등지방 두께 그리고 90(70) kg 도달 일령을 활용하여 검증한 결과 유의한 변이 효과를 검출하지 못하였다. 그러나 보다 많은 대상축을 이용한다면 ESR 유전자와 경제형질간의 연관성 분석이 가능할 것

으로 예상된다.

4개의 후보 유전자의 경제형질에 미치는 변이 효과 분석 결과를 정리하면 MC4R 유전자의 A 대립 유전자는 두 집단 모두에서 성장 형질과의 유의한 연관성이 검출되었고, 듀록 품종에서는 지방 대사와 관련된 등지방 두께에 연관이 있음을 확인하였다. PAKAG3 유전자의 B 대립 유전자는 듀록 품종의 등지방 두께와 재래 돼지 집단의 성장 형질에서 유의성이 검출되었다. FABP3 유전자의 A 대립 유전자는 듀록 품종에서 등지방 두께, 재래 돼지 집단에서 성장 형질과의 유의한 연관성을 발견하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 추가적인 분석을 통하여 선발 지수식에 적용을 한다면 우수한 개체를 선발하는데 있어 정확도를 높이는 데 유용하게 활용될 것으로 사료되며, 국내의 재래 품종들에 대한 유전자원 보존과 개량을 위한 기초 자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

적 요

본 연구는 후보 유전자의 경제형질에 미치는 변이 효과를 검증하기 위해 국내에서 사육된 듀록 품종 96두와 한국 재래 돼지 86두를 활용하였다. 검증에 활용된 4개의 후보 유전자는 MC4R, PAKAG3, FABP3 그리고 ESR 유전자였다. 각 후보 유전자들의 유전자형 분석 결과 두 집단 간에 유전적 특성의 차이가 분명히 나타나고 있음을 확인하였다. MC4R 유전자의 A 대립 유전자는 두 집단 모두에서 성장 형질과의 유의한 연관성이 검출되었고, 듀록 품종에서는 등지방 두께와도 관련이 있음을 확인하였다. PAKAG3 유전자의 B 대립 유전자는 듀록 품종의 등지방 두께와 재래 돼지 집단의 성장 형질에서 유의성이 검출되었다. FABP3 유전자의 A 대립 유전자는 듀록 품종에서 등지방 두께, 재래 돼지 집단에서 성장 형질과의 연관성이 유의한 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 추가적인 분석을 통하여 선발 지수식에 적용을 한다면 우수한 개체를 선발하는데 있어 정확도를 높이는 데 유용하게 활용될 것으로 사료되며 국내의 재래 품종들에 대한 유전 자원 보존과 개량을 위한 기초 자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 경기도에서 지원하는 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 한경대학교 고품질친환경농축산물생산기술연구센터(GRRC)의 일부 지원을 받아 수행되었으며, 시료를 제공해 주신 축산연구소 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- Andersson L, Haley CS, Ellegren H, Knott SA and Johansson M. 1994. Genetic mapping of quantitative trait loci for growth and fatness in pigs. *Science*, 263:1771-1774.
- Drogemuller C, Hamann H and Distl O. 2001. Candidate gene markers for litter size in different German pig lines. *J. Anim. Sci.*, 79:2565-2570.
- Gerbens F, Jansen A, Van Erp AJM, Harders F, Meuwissen THE, Rettenberger G, Veerkamp JH and te Pas MFW. 1998. The adipocyte fatty acid-binding protein locus; characterization and association with intramuscular fat content in pigs. *Mamm. Genome*, 9:1022-1026.
- Gerbens F, van Erp AJ, Harders FL, Verburg FJ, Meuwissen TH, Veerkamp JH and te Pas MF. 1999. Effect of genetic variants of the heart fatty acid-binding protein gene on intramuscular fat and performance traits in pigs. *J. Anim. Sci.*, 77: 846-852.
- Gerbens F, Verburg FJ, Van Moerkerk TH, Engel B, Buist W, Veerkamp JH and te Pas MF. 2001. Associations of heart and adipocyte fatty acid-binding protein gene expression with intramuscular fat content in pigs. *J. Anim. Sci.*, 79:347-354.
- Hernandez-Sanchez J, Visscher P, Plastow G and Haley C. 2003. Candidate gene analysis for quantitative traits using the transmission disequilibrium test: the example of the melanocortin 4-receptor in pigs. *Genetics*, 164:637-644.
- Houston RD, Haley CS, Archibald AL, Rance KA. 2005. A QTL affecting daily feed intake maps to Chromosome 2 in pigs. *Mamm. Genome*, 16: 464-470.
- Huang LS, Ma JW, Ren J, Ding NS, Guo YM, Ai HS, Li L, Zhou LH and Chen CY. 2004. Genetic variations of the porcine PRKAG3 gene in Chinese indigenous pig breeds. *Genet. Sel. Evol.*, 36:481-486.
- Kaminski S, Rusc A and Brym P. 2003. Relation between Ava I polymorphism within the estrogen receptor gene (ESR) and meatiness in Polish Large White boars. *J. Appl. Genet.*, 44:521-524.
- Kim KS, Larsen N, Short T, Plastow G and Rothschild MF. 2000. A missense variant of the porcine melanocortin-4 receptor (MC4R) gene is associated with fatness, growth, and feed intake traits. *Mamm. Genome.*, 11:131-135.
- Kim KS, Thomsen H, Bastiaansen J, Nguyen NT, Dekkers JC, Plastow GS and Rothschild MF. 2004. Investigation of obesity candidate genes on porcine fat deposition quantitative trait loci regions. *Obes. Res.*, 12:1981-1994.
- Milan D, Jeon JT, Looft C, Amarger V, Robic A, Thelander M, Rogel-Gaillard S, Paul N, Iannuccelli L, Rask H, Ronne K, Lundstrom C, Reinsch N, Gellin J, Kalm E, Roy PL, Chardon P and Andersson L. 2000. A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science*, 288:1248-1251.
- Nechtelberger D, Pires V, Soolknet J, Stur I, Brem G, Mueller M and Mueller S. 2001. Intramuscular fat content and genetic variants at fatty acid-binding protein loci in Austrian pigs. *J. Anim. Sci.*, 79:2798-2804.
- Park HB, Carlborg O, Marklund S and Andersson L. 2002. Melanocortin-4 receptor (MC4R) genotypes have no major effect on fatness in a Large White × Wild Boar intercross. *Anim. Genet.*, 33: 155-157.
- Short TH, Rothschild MF, Southwood OI, McLaren DG, de Vries A, van der Steen H, Eckardt GR,

- Tuggle CK, Helm J, Vaske DA, Mileham AJ and Plastow GS. 1997. Effect of the estrogen receptor locus on reproduction and production traits in four commercial pig lines. *J. Anim. Sci.*, 75:3138-3142.
- Thaller G, Kramer W, Winter A, Kaup B, Erhardt G and Fries R. 2003. Effects of DGAT1 variants on milk production traits in German cattle breeds. *J. Anim. Sci.*, 81:1911-1918.
- Uleberg E, Wideroe IS, Grindflek E, Szyda J, Lien S, Meuwissen TH. 2005. Fine mapping of a QTL for intramuscular fat on porcine chromosome 6 using combined linkage and linkage disequilibrium mapping. *J. Anim. Breed. Genet.*, 122:1-6.
- Van Rens BT, Hazeleger W and van der Lende T. 2000. Periovarian hormone profiles and components of litter size in gilts with different estrogen receptor (ESR) genotypes. *Theriogenology*, 53:1375-1387.
- Van Wijk HJ, Dibbits B, Baron EE, Brings AD, Harlizius B, Groenen MA, Knol EF, Bovenhuis H. 2006. Identification of quantitative trait loci for carcass composition and pork quality traits in a commercial finishing cross. *J. Anim. Sci.*, 84:789-799.
- Veerkamp JH and Maatman RGJ. 1995. Cytoplasmic fatty acid binding proteins: their structure and genes. *Progr. Lipid Res.*, 34:17-52.
- Veerkamp JH, Van Kuppevelt THSM, Maatman RGJ and Prinsen CFM. 1993. Structural and functional aspects of cytosolic fatty acid binding proteins. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, 49:887-906.
- Wimmers K, Fiedler I, Hardge T, Murani E, Schellander K, Ponsuksili S. 2006. QTL for microstructural and biophysical muscle properties and body composition in pigs. *BMC Genet.*, 9:7-15.

(접수일: 2006. 9. 13 / 채택일: 2006. 11. 23)