

돼지 7번 염색체에서 육색 연관 QTL 확인

최봉환* · 이해영* · 김태현* · 홍기창** · 정일정*

농촌진흥청 축산연구소*, 고려대학교 생명유전공학부**

Identification of Quantitative Trait Loci(QTL) for Meat Color Trait on Chromosome 7 in Pig

B. H. Choi*, H. Y. Lee*, K. C. Hong**, I. C. Cheong* and T. H. Kim*

National Livestock Research Institute, RDA*,

Division of Biotechnology and Genetic Engineering, Korea University**

ABSTRACT

The objective of this study was to identify the quantitative traits loci(QTL) for meat quality traits in pigs. Three-generation resource population was constructed from a cross between Korean native boars and Landrace sows. The resource population including founders, F₁ and F₂ was genotyped for 23 microsatellite markers on chromosome 7. The sex average total length of linkage map on chromosome 7 was estimated 154.6 cM. Meat quality traits including meat pH, meat color, drip loss, shear force, heating loss, crude fat, crude protein, crude ash and water content in muscle were collected from F₂ animals. For the QTL mapping, we used F₂ QTL Analysis Servlet of QTL express for web-based QTL mapping tools(<http://qtl.cap.ed.ac.uk/>). The QTLs for CIE-a and CIE-b on SSC7 were significantly detected at 1% and 5% chromosome-wide level, respectively.

(Key words : QTL mapping, Meat color, Linkage mapping, Microsatellite, Korean native boar)

I 서 론

식육의 품질은 최종적으로 소비자들에 의해 판정되며, 소비자들의 생활수준 향상에 따른 육류 소비량의 급증과 함께 최근에는 소비자들의 기호 또한 다양해지고 있다. 따라서 돼지 개량의 목표도 과거 육량 위주의 개량에서 고품질의 돈육 생산을 위한 육질개량으로 변화하고 있으며, 소비자들의 다양한 요구를 충족시킬 수 있는 육질의 개량이 현대 양돈산업에 있어서 중요한 경쟁력의 한 요인이 되고 있다.

식육의 품질에 영향을 미치는 요인들에는 연도, 보수성, 육색, 조직감, 사후 pH의 변화 등이 있으며(Van der Wal 등, 1997), 이러한 대부분의 육질형질은 그 특성상 도축해야만 형질의 측정이 가능하기 때문에 표현형 성적을 얻기가

쉽지 않으며 경제적으로 많은 비용이 소요된다(Clutter, 1995). 또한 육질을 결정하는 형질들의 유전력을 보면 근내지방(0.48)과 등지방두께(0.65)는 비교적 높은 유전력을 가지고 있으나 육색(0.28)과 보수성(0.12)은 낮은 유전력을 갖고 있어 전통적인 육종방법인 표현형에 근거한 육종가 추정에 의한 육질 개량에는 여러 가지 어려움이 있다(Sellier 등, 1998).

그러나 90년대 이후 분자생물학과 유전공학 기술이 급속히 발전하면서 가축에서도 다양한 형태의 유전체 분석 방법이 개발 보급되면서 경제형질에 영향을 미치는 유전자 또는 유전체 영역을 확인할 수 있게 되었다. 경제형질에 영향을 미치는 유전자를 탐색하기 위한 방법으로는 크게 양적형질 유전자 좌위(quantitative trait loci) 지도 작성과 후보유전자 분석방법이 적용

Corresponding author : T. H. Kim, National Livestock Research Institute, R.D.A, Omockchun-dong Suwon 441-706, Korea. Tel: 031-290-1603, E-mail : kth6160@rda.go.kr

되어오고 있다(Rothschild, 1997). 지금까지 여러 연구그룹에 의해 돼지의 생산성과 육질에 영향을 미치는 QTL 지도작성이 표현형적으로 상이한 품종간의 교잡에 의해 만들어진 기준 집단을 이용하여 성공적으로 수행되어져 오고 있다(Andersson 등, 1994; Knott 등, 1998; Rohrer 등, 1998; Paszek 등, 1999; Bidanel 등, 2001; Malek 등, 2001). 그 결과 염색체 10, 17, 18을 제외한 모든 염색체에서 pH, 보수력, 육색 등 육질과 연관된 QTL을 확인되었다. 또한 후보 유전자 분석을 통해서도 여러 가지 육질과 생산성에 영향을 미치는 유전자들 즉, 성장과 연관된 MC4R(Kim 등, 2000), 육질과 연관된 RYR1(Fujii, 1991), hFABP(Gerbens 등, 1999) 등이 보고되고 있다.

따라서, 본 연구는 돼지 전체 염색체중에서 축산연구소에서 독자적으로 연구되어온 돼지 7번 염색체의 초위성체 표지인자 23개를 선정하여 유전적 연관지도(linkage map) 작성을 통한 육질형질과 연관된 QTL를 탐색하기 위하여 수행하였다.

II 재료 및 방법

1. 공시동물

본 연구에 활용된 기준집단(Lee 등, 2003)은 재래돼지 수컷과 랜드레이스 암컷의 교배를 통해 생산된 3세대 집단으로 본 연구에는 F₂ 교잡돈 183두를 활용하였다.

2. 육질형질 분석 및 육질형질간의 상관관계 분석

돼지 염색체 7번내의 육질형질과 연관된 QTL 존재여부를 탐색하기 위한 육의 pH, 육색(Meat color), 보수력(Water holding capacity; WHC), 육즙손실량(Drip loss; DL), 가열감량(Cooking loss; CL), 전단력(Shear force; SF), 조지방(Crude fat; CF), 조회분(Crude ash; CA), 조단백질(Crude protein; CP), 수분 등 육질형질을 분석하였고, 각 형질들간의 상관분석은 SAS package version

8.01(SAS Institute, Cay, NC, U.S.A)를 이용하여 피어슨 검정하였다.

pH는 도축 후 24시간에 등심부위에서 측정하였으며, 육색은 근육을 절단 후 절단면을 공기 중에 30분 정도 노출시킨 후 Chroma meter(Minolta Co. CR 301)로 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)를 CIE(Commission Internationale de L'Eclairage)값으로 측정하였다. 보수력은 여지 압착법(Ryoichi, 1993)으로 측정하였고, 육즙 손실량은 도축 후 1일 동안 진공포장 한뒤 포장 전후의 중량차로 계산하였으며, 가열 감량은 등심을 스테이크 모양으로 절단(두께 3cm)하여 75℃의 항온수조에서 10분간 가열 후 중량차로 계산하였다. 전단력은 Warner-Bratzler shear force meter(G-R Elec. Co., USA)로 측정하였고, 조지방, 조회분, 조단백질, 수분 등의 일반성분은 AOAC 방법(1990)에 의해 분석하였다.

3. Genomic DNA 분리 및 농도 측정

Genomic DNA는 F₂ 183두의 전혈 10ml에 대하여 Wizard genomic DNA purification kit (Promega Co. USA)를 이용하여 추출하였다. DNA 정량 분석은 spectrophotometer(Pharmacia Biotech, England)를 이용하여 260nm~280nm에서 흡광도를 측정하여 DNA의 농도와 순도를 확인하였다.

4. 초위성체 표지인자의 선정

유전자형 분석에는 U.S Pig Genome Coordinator(Max F. Rothschild)에서 제공하고 있는 돼지 7번 염색체상의 초위성체 표지인자를 본 연구에 이용된 기준집단의 기초축인 F₀에 대하여 유전자형을 분석한 후, 비교적 대립유전자의 수가 많고 이형접합성이 높은 표지인자를 23개를 선정하여 사용하였다. Table 1은 본 연구에 이용된 표지인자에 대한 정보로서 USDA-MARC (<http://sol.marc.usda.gov>)에서 공식적으로 제공한 대립유전자의 수, 대립유전자의 크기 범위 등을 제시하였다.

Table 1. List of microsatellite markers used for linkage map on chromosome 7

Locus	Position (cM)	No. of allele	Annealing temp. (°C)	Size	Reference
SW2564	0.0	4	58	167~173	Rohrer <i>et al.</i> , 1996
S0025	3.7	2	57	104~121	Coppieters <i>et al.</i> , 1993
SW1873	10.9	10	60	105~136	Rohrer <i>et al.</i> , 1996
SWR1343	12.2	4	60	122~142	Smith <i>et al.</i> , 1995
SW1354	22.3	9	60	106~152	Smith <i>et al.</i> , 1995
S0064	30.2	7	58	148~180	Fredholm <i>et al.</i> , 1993
SW2155	32.9	8	65	135~149	Rohrer <i>et al.</i> , 1996
SW1369	48.2	8	60	130~154	Smith <i>et al.</i> , 1995
SW1856	61.5	5	58	180~200	Rohrer <i>et al.</i> , 1996
S0102	70.1	7	63	120~141	Ellegren <i>et al.</i> , 1994
SW1701	73.4	9	62	106~133	Smith <i>et al.</i> , 1995
SWR2036	78.2	5	60	155~174	Smith <i>et al.</i> , 1995
SW175	81.5	10	56	84~138	Rohrer <i>et al.</i> , 1994
S0066	82.8	3	55	135~198	Fredholm <i>et al.</i> , 1993
SW352	87.7	3	54	107~111	Rohrer <i>et al.</i> , 1994
SW252	99.4	7	62	149~179	Rohrer <i>et al.</i> , 1994
S0115	102.2	8	60	189~207	Ruyter <i>et al.</i> , 1994
SW632	104.4	6	58	159~180	Rohrer <i>et al.</i> , 1994
SW2002	109.5	4	61	106~112	Rohrer <i>et al.</i> , 1996
SWR773	117.3	4	50	134~141	Smith <i>et al.</i> , 1995
S0101	134.9	6	58	197~216	Ellegren <i>et al.</i> , 1994
S0212	141.2	8	55	229~249	Robic <i>et al.</i> , 1994
SW764	156.0	7	60	112~128	Rohrer <i>et al.</i> , 1994

5. Multiplex-PCR에 의한 DNA 증폭 및 유전자형 분석

PCR 증폭은 각 표지인자의 분자량, 표지된 형광물질 등을 고려하여 두 종류 이상의 초위성체 표지인자에 대해서 동시 증폭이 가능한 것은 Multiplex-PCR 기법을 이용하여 증폭하였다. PCR 반응 및 유전자형 분석은 Lee 등 (2003)의 방법과 같이 수행하였다.

6. 연관분석 및 QTL 분석

연관분석은 CRIMAP software version 2.4를 이용하였으며 이는 Maximum likelihood 방법을 응용한 것으로 염색체내 설정된 표지인자들의 상대적 연관거리를 추정하였다(Green 등, 1990). 또한 최종적인 표지인자의 순서를 정하기 위해 build option을 이용하였고, 표지인자간의 연관 정도를 알아보기 위해서는 CHROMPIC option

을 사용하였다. QTL 분석은 least square regression interval mapping 방법으로 설정된 QTL express software (<http://qtl.cap.ed.ac.uk>)를 활용하였다. 검정통계량(F-ratio)에 대한 임계수준값(threshold value)를 결정하기 위해 돼지 7번 염색체내 조사된 개체의 유전자형과 표현형 자료를 대상으로 permutation test를 실시하여 임계수준값 이상의 F-ratio값에 QTL이 존재 가능성을 확인하였다.

III 결과 및 고찰

1. 육질형질 분석

기초축군에 해당하는 재래돼지와 랜드레이스 품종 및 이들의 교잡집단인 F₂ 183두에 대한 육질형질의 평균값과 표준편차를 나타내었다 (Table 2). 가열감량, 전단력 및 육색에서는 재래돼지와 랜드레이스 두 집단간에는 비교적 큰 차이를 보였으나 다른 육질형질에서는 차이가 없었으며, F₂ 집단은 모든 육질형질에서 대체로

두 집단의 평균값을 가지는 것으로 나타났다. 육색에 있어서 재래돼지 집단이 랜드레이스 집단에 비하여 적색도를 나타내는 CIE-a값이 높은 반면 황색도를 나타내는 CIE-b값과 명도를 나타내는 CIE-L값은 낮게 나타났다. 이는 랜드레이스에 비하여 재래돼지의 육색이 더 붉고 밝기에 있어서는 더 어두운 육색을 나타내는 결과이다. 일반적으로 육색은 연령이 많을수록 체중이 증가할수록 어두운 적색으로 변하며(진등, 2001), 재래돼지는 개량종인 랜드레이스에 비하여 산육능력이 떨어지기 때문에 같은 출하일령이라도 랜드레이스보다 근육성장이 미흡하다. 그럼에도 불구하고 높은 CIE-a 값을 보인 것은 재래돼지의 유전적 특성 때문인 것으로 사료된다.

전단력과 가열감량에 있어서 재래돼지 집단이 랜드레이스 집단보다 약간 우수한 것으로 나타났는데 재래돼지는 같은 출하일령이라도 체중이 낮아 아직 근육의 발달이 미흡하기 때문에 조직감에서 전반적으로 연하게 나타난 것으로 사료된다. 재래돼지와 랜드레이스의 도축

Table 2. Means and standard deviation for meat quality traits measured on founders and 183 F₂ animals.

Meat quality traits	K(n=5)		L(n=9)		KL F ₂ (n=183)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
24-pH	5.56	0.20	5.29	0.44	5.62	0.24
Meat color						
• CIE-a	8.06	1.24	6.04	0.26	10.54	2.66
• CIE-b	3.62	0.69	4.21	0.19	6.68	2.10
• CIE-L	39.63	1.83	45.80	1.82	51.29	4.99
Drip loss (%)	39.93	4.80	39.40	-	36.0	2.39
Cooking loss (%)	34.87	1.53	43.20	0.18	33.15	4.09
Shear force (kg/0.5inch)	3.65	0.61	4.52	0.14	3.80	1.25
WHC (%)	-	-	-	-	60.99	5.06
CF (%)	-	-	-	-	2.47	3.08
CA (%)	-	-	-	-	1.03	0.15
CP (%)	-	-	-	-	22.43	1.23

K: Korean native boar, L: Landrace sow, KL: Korean native boar × Landrace sow, 24-pH: Meat pH at 24 hours after slaughtering, WHC: Water holding capacity, CF: Crude fat, CA: Crude ash, CP: Crude protein.

24시간 후 pH는 각각 5.56과 5.29로서 일반적인 도축 20~24시간 후 pH 범위 5.3~5.5에 있었으며(축산기술연구소, 2002), 육즙 손실량에 있어서는 재래돼지와 랜드레이스 간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

2. 육질형질간의 상관관계 분석

양적형질은 polygene이 관여하는 것으로 한 형질이 하나의 유전자에 의해 조절되는 것이 아니라 여러 유전자의 상호작용에 의해서도 나타난다. 따라서 본 연구에서는 육질형질들을 결정하는 유전자 또는 유전자위를 찾기 위해 측정된 각 육질 형질들간에 어떠한 상관관계를 갖는지 알아보았다(Table 3).

식육의 pH는 육질에 미치는 영향이 크며 낮은 pH 일수록 마이오글로빈의 산화가 촉진되고, 단백질의 변성에 의해 염용성 단백질의 추출량은 감소하고, 보수력은 낮아지며 육즙 손

실량이 많아진다고 하였다(Maribo 등, 1998). 본 연구에서도 도축 24시간 후 pH는 전단력을 제외한 모든 육질형질과 고도의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 육색과는 모두 부의 상관이 있었고, 또한 가열감량 및 육즙 손실량과도 고도의 부의 상관을 나타내었다. 하지만 수분 손실량과 반대되는 개념인 보수력과는 고도의 정의 상관이 있었다. 근육내 높은 pH는 세포가 수분을 보유할 수 있는 좋은 조건을 제공하고 이러한 조건에서 물분자는 육단백질과 강하게 결합하게 된다(Huff-Lonergan 등, 2001). 따라서 근육내 pH가 높을수록 수분유지와 관련된 형질인 육즙 손실량과 가열감량은 낮아지고 보수력은 높아져서 결론적으로 육질을 향상시키는 결과를 반영한다고 할 수 있겠다.

육색은 수분 함량과는 부의 상관이 있었고, 육색중 적색도와 조단백질 함량과는 부의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 육색은 근육 내

Table 3. Phenotypic correlation coefficient among carcass and meat quality trait for the 183 F₂ animals.

Traits	CW	BF	Moist	CP	CF	24-pH
24-pH	-0.00716 0.9234	0.00482 0.9483	0.05016 0.5001	0.06380 0.3908	-0.09149 0.2181	1.00000
CIE-L	0.18448 0.0124*	0.19593 0.0079*	-0.18092 0.0142*	0.08502 0.2525	0.19678 0.0076**	-0.53647 <.0001**
CIE-a	-0.11997 0.1057	-0.07398 0.3196	-0.26234 0.0003**	-0.48596 <.0001**	0.44662 <.0001**	-0.21132 0.0041**
CIE-b	0.12500 0.0918	0.16752 0.0234*	-0.32934 <.0001**	-0.15535 0.0357*	0.40582 <.0001**	-0.44239 <.0001**
WHC	0.29146 <.0001**	0.28990 <.0001**	-0.29774 <.0001**	0.27850 0.0001**	0.05586 0.4526	0.41467 <.0001**
Drip loss	0.09984 0.1787	0.12481 0.0923	0.15091 0.0414*	0.02213 0.7662	-0.01680 0.8215	-0.30653 <.0001**
Cooking loss	-0.18871 0.0105*	-0.16210 0.0284*	0.27055 0.0002**	-0.00442 0.9527	-0.15303 0.0386*	-0.33751 <.0001**
Shear force	-0.06482 0.3833	-0.12002 0.1056	0.34688 <.0001**	0.18214 0.0136*	-0.34911 <.0001**	-0.04436 0.5510

*: P < 0.05, **: P < 0.01.

CW: carcass weight, BF: backfat thickness, Moist: moisture contents, CP: crude protein, CF: crude fat, 24h-pH: pH at 24 hours after slaughtering, WHC: water holding capacity.

다량 존재하는 적색소인 마이오글로빈의 함량과 비례하며(Kranen 등, 1999), 마이오글로빈의 함량이 많을수록 적색도의 값도 높아질 것이라 추측하였으나 부의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 한편 지방색을 나타내는 황색도는 조지방과 고도의 정의 상관성이 있었다. 지방색은 급여하는 사료에 의해 크게 영향을 받는데, 옥수수 급여시 지방색은 황색에 가깝고 보리를 급여하면 지방색은 흰색에 가깝다. 본 연구에 사용된 집단은 급여되는 사료의 주원료가 옥수수였기 때문에 황색도의 값이 높게 측정된 것이라고 사료된다.

보수력은 조지방을 제외한 일반성분과 근육내 pH 그리고 등지방두께 등에 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 수분 함량과는 고도의 부의 상관성이 있었는데 앞에서 도축 24시간 후 pH와 보수력과의 상관관계의 결과와 일치하는 내용이었다. 또한 유의수준은 서로 달랐지만 육즙 손실량과 가열감량은 모두 수분 함량과는 정의 상관성이 있었는데 근육내 수분 함량이 많을수록 상대적 수분 손실량도 많음을 확인할 수 있었다.

전단력은 고기의 연도를 나타내는 척도로서 수분 함량과 고도의 정의 상관성이 있었고 일반성분중 조지방과는 부의 상관성이 있었다. Dovol 등(1988)과 Cameron 등(1990)은 근내지방 함량이 고기의 연도(tenderness), 다즙성(juiciness) 그리고 풍미(flavor)에 크게 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 본 연구에서 측정된 조지방 함량은 근내지방 함량을 측정하기 위한 것으로 일반적으로 전단력이 낮을수록 연도가 좋은 고기이며 연도가 좋은 고기는 육즙이 풍부한데 본 연구는 이와 상반되는 결과를 보였다. Warriss와 Brown(1987) 등은 근섬유수와 근섬유의 굵기와 같은 근육구조가 연도에 영향을 미친다고 하였으며, 본 연구에도 이러한 영향에 의한 결과일 것으로 판단된다.

3. 유전자형 분석과 연관지도 작성

염색체 7번의 연관지도 작성에 사용된 표지인자의 수는 총 23개로 평균 이형접합성은 58.08%

였다. 최소 대립유전자 수는 S0025 표지인자로서 2개였고, 최대 대립유전자 수는 SW1873과 SW175 표지인자로서 10개였으며 평균 대립유전자 수는 5.08개였다. 7번 염색체 암수평균 연관지도 길이는 154.6 cM이었으며 수컷의 연관지도 길이는 169.2 cM 이었고, 암컷의 연관지도 길이는 141.4 cM로 수컷의 연관지도 길이가 암컷의 것보다 27.8 cM 더 길었다. Mikawa 등(1999)은 암컷의 중심립 영역에 위치한 표지인자들간의 낮은 재조합율로 인해 염색체 1번의 암컷과 수컷의 길이에 있어 차이를 보였다고 하였으며, 본 연구의 결과도 같은 이유로 사료된다. 표지인자간의 최소간격은 SW175와 S0066 표지인자 사이로 1.6 cM이었고, 최대간격은 SW2002와 SW773 표지인자 사이로 15.9 cM이었으며 표지인자간의 평균간격은 7.02 cM이었다.

한편 PiGMaP consortium map(Archibald 등, 1995), Scandinavian map(Marklund 등, 1996), USDA-MARC(Rohrer 등, 1996) 그리고 Japan pig map(Mikawa 등, 1999)의 연관지도는 표지인자의 순서에 관하여 서로 다른 결과를 보인 바 있었다. 그러나 본 연구에서 작성된 연관지도는 USDA-MARC의 연관지도(Rohrer 등, 1996)와 비교했을 때 연관지도상 각 표지인자의 위치에 있어서 다소 차이를 보였으나 표지인자의 순서는 일치하는 결과를 보였다(Fig. 1).

USDA-MARC의 연관지도상의 염색체 7번의 길이는 156.0 cM으로 본 연구의 결과보다 약 1.4 cM의 길이였다. 이러한 연관지도 길이의 유의적 차이는 실험에 사용된 기준집단의 상이한 유전적 특성으로 인한 개체간 또는 집단간의 재조합율이 다름으로써 나타나는 결과일 수 있다(Marklund 등, 1996; Rohrer 등, 1996; Mikawa 등, 1999). 한편 Rohrer 등(1996)과 Mikawa 등(1999)은 연관지도상에 근접한 표지인자간에 이중 또는 그 이상의 교차가 일어나면서 나타날 수 있는 유전자형 분석 오차에 의한 결과라고 보고하였다.

USDA-MARC의 7번 염색체의 표지인자간 평균간격은 5.03 cM으로 본 연구에서의 평균간격이 다소 넓었으며, 표지인자간의 간격이 10 cM

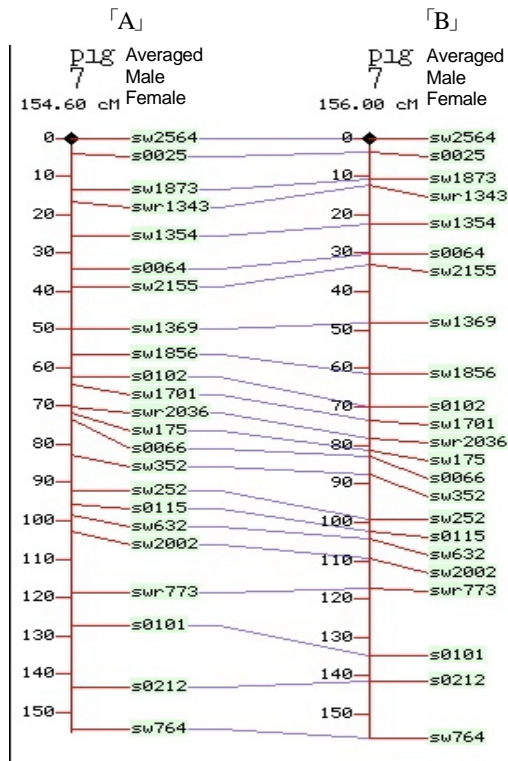


Fig. 1. Genetic linkage map of microsatellite markers on SSC7. A is the linkage map in this study and B is the linkage map of USDA-MARC.

이상 되는 영역은 모두 4곳에서 확인되어 경제형질과 연관된 유전자를 positional 클로닝하기 위해서는 좀더 미세한 유전자 지도 작성이 필요하다

4. 경제형질과 연관된 QTL의 탐색

본 연구에서는 9개의 육질관련 형질 중 육색과 연관된 2개의 QTL이 확인되었다. 육색중 적색도(CIE-a)와 연관된 QTL은 45 cM 영역에서 1% 수준의 통계적 유의성을 나타내었고 (Fig. 2), 이 영역에서 불과 3-4 cM 떨어진 위치에서 황색도(CIE-b)와 연관된 QTL이 확인되었다(Fig. 3). 적색도 및 황색도에 영향을 미치는 QTL은 서로 가까운 영역에 위치하고 있어 두 가지 육색을 조절하는 유전자 또는 QTL이 서로 독립적인 생물학적 메커니즘에 의해 조절되어지는 것인지 아니면 동시에 조절되는 것인지

지에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 본다.

한편 상가적 작용에 의해 Landrace의 유전자형이 재래돼지의 유전자형으로 변화될 때 육색형질은 전반적으로 우수해지는 것으로 나타났다(Table 4). 일반적으로 육색중의 적색도는 수치가 높을수록 우수하다고 할 수 있으며, 황색도는 지방색을 나타내는 것으로 수치가 낮을수록 우수하다고 할 수 있다. Table 2에서 재래돼지와 Landrace의 평균 표현형성적을 비교해 보면 재래돼지와 랜드레이스의 적색도는 각각 8.06과 6.04로서 재래돼지의 적색도가 랜드레이스보다 더 높게 나타났으며, 황색도는 각각 3.62와 4.21로서 Landrace가 더 높게 나타남으로써 재래돼지의 육색이 Landrace 보다 우수함을 확인할 수 있었다.

이전 연구결과로 염색체 7번에서 육색과 연관된 QTL이 보고된 것은 별로 많지 않다. Ovilo 등(2002)은 적색도와 명도를 각각 나타내는 Minolta a와 L에 대한 QTL을 Iberian과 랜드레이스 교잡집단에서 50과 77 cM 영역에서 발견했으며 또한 영역에서 헤모글로빈의 색소 성분인 hematin 색소와 연관된 QTL이 같은 영역에서 확인하였으며, Wang 등(1998)은 육색과 연관된 QTL을 매산돈과 랜드레이스 교잡돈에서 7번염색체의 103 cM 위치에서 탐색하였고, 또한 Malek 등(2001)도 버크셔와 요크셔종을 교잡시킨 3세대 집단에서 명도를 나타내는 Hunter L에 대한 QTL을 염색체 7번의 80 cM 영역에서 발견했다. 지금까지 보고된 연구결과 중 Ovilo 등(2002)이 발표한 적색도를 나타내는 QTL 영역은 우리결과와 거의 일치하는 영역으로 판단되지만, 다른 두 연구결과는 우리결과와 상이한 영역인 것으로 보여진다.

그 외 Andersson-Eklund 등(1998)은 염색체 2, 10, 12, 15번에서 육색과 연관된 QTL를 확인한 바 있으나 genome-wide 수준에서 통계적 유의성은 인정되지 않았으며, de Koning 등(2000)은 명도와 연관된 QTL을 염색체 1, 3, 4, 13, 14번에서, 적색도와 연관된 QTL은 염색체 3, 12, 14 그리고 15번에서 확인되었고, 황색도에 영향을

Table 4. Evidence of significant QTL at the 5% and 1% chromosome-wide levels for the meat quality traits on SSC7

Trait	Loc. (cM)	F-ratio	Additive effect ¹⁾		Dominance effect ²⁾		Thres-hold	Mean ³⁾	S.E.
			estimate	S.E.	estimate	S.E.			
24 -pH	4	3.94	-0.071	0.026	-0.024	0.039	7.21	5.63	0.02
Meat color									
CIE-a	45	9.25**	1.217	0.290	-0.480	0.442	8.08	10.81	2.66
CIE-b	41	6.88*	0.833	0.228	-0.265	0.342	5.77	6.68	2.10
CIE-L	70	2.32	0.268	0.510	1.543	0.727	7.50	50.37	0.51
Drip loss (%)	0	1.85	0.089	0.272	0.744	0.399	7.48	3.22	0.27
Cooking loss (%)	64	3.95	1.138	0.435	0.756	0.613	7.99	32.68	0.43
SF (kg/0.5inch)	45	3.86	-0.374	0.140	0.185	0.213	7.61	3.70	0.14
WHC (%)	131	2.76	-1.623	0.723	0.447	1.087	7.29	60.84	0.72
CF (%)	4	4.48	0.871	0.310	0.567	0.455	7.60	2.74	0.31
CA(%)	112	2.66	0.031	0.019	-0.047	0.031	5.39	1.04	0.02
CP (%)	4	2.07	-0.263	0.135	0.148	0.198	7.31	22.34	0.13

¹⁾ Additive(a) and dominance(d) QTL effects correspond to genotype values of +a, d and -a for, respectively, individuals having inherited two Korean native pigs alleles, heterozygotes, and individuals with two Landrace alleles. Based on the description by Falconer (1981), Positive additive effects indicate that Korean native pig alleles are increased the traits, negative effects are decreased the traits.

²⁾ Dominance effects are relative to the mean of the two homozygotes.

³⁾ Mean of phenotype in the F₂ animals.

* p < 0.05, ** p < 0.01.

24-pH: Meat pH at 24 hours after slaughtering, WHC: water holding capacity, SF: shear force, CF: crude fat, CA: crude ash, CP: crude protein.

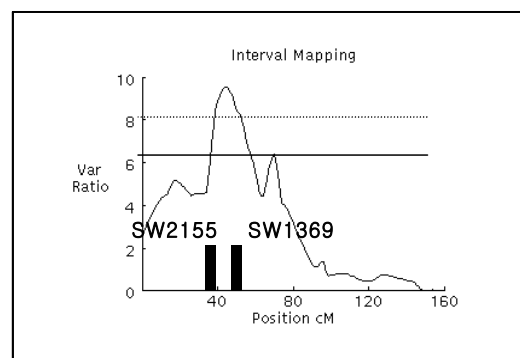


Fig. 2. F-ratio curves for Meat color(CIE-a) on chromosome 7. The x-axis indicates the relative position on the linkage map. The y-axis represents the F-ratio. Two lines present the 5% chromosome-wide(-) and 1% chromosome-wide(.....) significance level from the permutation test.

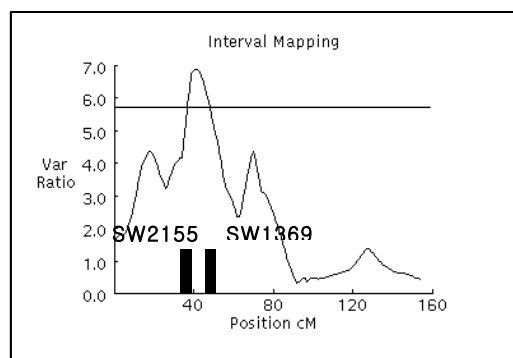


Fig. 3. F-ratio curves for Meat color(CIE-b) on chromosome 7. The x-axis indicates the relative position on the linkage map. The y-axis represents the F-ratio. The horizontal line indicates the 5% chromosome-wide significance level from the permutation test.

미치는 QTL은 염색체 4, 13 그리고 14번에서 확인하였다. 또한 Wang 등(1998)은 염색체 7번 외에 4 염색체에서도 육색에 영향을 미치는 암시적인 QTL을 확인하였다. Malek 등(2001)은 염색체 2, 4, 5, 7, 12, 14, 15, 17 그리고 18번에서 각각 육색과 관련된 19개의 QTL을 보고한 바 있으며, 그 중에 4개의 QTL은 5% 수준의 통계적 유의성이 확인되었다. 이들의 연구에서 염색체 2번에서는 모두 육색과 관련된 4개의 QTL이 60 cM 영역에서 확인되었고, 염색체 4번과 5번에서는 130 cM 영역과 113 cM 영역에서 각각 육색에 영향을 미치는 2개의 QTL이 확인되었다. 이들 연구에서 4번 염색체에서 확인된 QTL 영역은 Wang 등(1998)이 적색도에 영향을 미치는 유의적 QTL을 보고한 영역과 유사한 위치에서 확인되었다. De Koning 등(2000)의 연구에서는 육색을 명도, 적색도, 황색도로 나누어 QTL을 확인하였는데, 명도의 경우에는 1, 3, 4, 13 및 14번 염색체에서 적색도의 경우에는 3, 13, 14 및 15번 염색체 그리고 황색도의 경우에는 4, 13 및 14번 염색체가 각각 높은 연관성이 있다고 하였으며, 최근 Perez 등(2002)도 Iberian과 랜드레이스를 교잡한 집단을 이용한 연구에서 6번 염색체에서 적색도와 관련된 QTL을 보고하였으나 유의수준은 낮았다.

Jack 등(2001)은 동일 형질에 대한 영향을 미치는 QTL은 같은 영역에서 탐색되기를 기대하기 어려우며, 이러한 차이는 실험에 사용된 기준집단의 유전적 다양성, 통계분석 모델, 통계분석시 적용된 임계수준 유전자형 분석시 오류 등 다양한 요인이 있을 수 있다고 하였다. 실제로 de Koning 등(2001)은 line-cross 모델을 사용하여 QTL 분석한 결과 염색체 3, 4 그리고 13번에서 육색관련 QTL을 확인하였으나 half-sib 모델을 사용했을 경우에는 확인하지 못하였으며, Wang 등(1998)은 육색과 관련된 QTL은 매산돈과 랜드레이스종간의 집단에서는 유의성이 인정되었으나, 다른 집단에 대해서는 유의성을 확인하지 못하였다. 또한 박 등(2001)은 육색에 영향을 미치는 요인으로 스트레스, 연령, pH, 영양상태, 지육의 온도조건 등

과 근내 조건으로서 사후 해당율, 근내지방 함량, 육색소의 함량(myoglobin)과 육색소의 산화상태 등이 있다고 하였으며, 이렇게 특정 형질에 영향을 미치는 다양한 요인들의 상호작용으로도 QTL 결과가 상이할 수 있을 것으로 판단된다.

결론적으로 돼지의 7번 염색체에 존재하는 23개의 초위성체 표지인자를 이용해 유전적 연관지도 작성 하였으며, 육질형질과 연관된 QTL을 탐색한 결과 45 cM 영역과 41 cM에서 적색도와 황색도에 영향을 미치는 QTL이 각각 1%와 5%의 통계적 유의성이 확인되었다. 향후 본 연구에서 탐색된 QTL 영역에 대하여 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 보다 많은 두수를 이용한 분석이 요구된다고 하겠다. 그러나 본 연구의 결과는 육색형질을 조절하는 주유전자가 7번 염색체에 존재한 것으로 확인 하였고 추후 주 유전자의 클로닝을 위한 기초 자료를 제공할 것으로 사료된다.

IV 요약

본 연구는 돼지의 염색체 7번에 존재하는 주요 경제형질에 관여하는 양적형질 유전자좌위(Quantitative trait loci; QTL)를 밝히기 위해 초위성체 표지인자를 이용하여 유전자지도(연관지도) 작성을 수행하였다. 기준집단의 조성은 이형접합성이 높은 기준집단을 조성하기 위하여 유전적 특성이 현격히 다른 우리나라의 재래돼지와 Landrace를 전형매 교배하여 생산된 F₂ 183두를 사용하였으며 기준집단에 대해 도축 24시간 후의 pH, 육색, 육즙손실량, 전단력, 가열감량, 조지방, 조회분, 수분, 조단백질 등 육질형질을 조사 및 분석하였다. 염색체 7번의 연관지도는 총 23개의 표지인자로 작성되었으며 암수평균 연관지도 길이는 154.6 cM 이었으며 수컷과 암컷의 연관지도 길이는 각각 169.2 cM과 141.4 cM로 수컷의 연관지도 길이가 암컷의 것보다 27.8 cM 더 길었다. 표지인자간의 최소간격은 SW175와 S0066 표지인자사이로 1.6 cM이었고, 최대간격은 SW2002와 SWR773 표지인자사이로서 15.9 cM이었으며 평균간격은

7.02 cM이었다. 본 연구에서는 9개의 육질관련 형질 중 육색과 연관된 2개의 QTL이 확인되었는데 적색도(CIE-a)와 연관된 QTL은 45 cM 영역에서 1% 수준의 통계적 유의성을 나타내었고(Fig. 2), 이 영역에서 불과 3~4 cM 떨어진 위치에서 황색도(CIE-b)와 연관된 QTL이 확인되었다. 향후에 본 연구에서 탐색된 QTL 영역에 대하여 고밀도의 유전자 지도 작성을 통하여 특정 형질과 연관된 부분을 계속해서 추적해 나간다면 육색형질을 조절하는 주유전자의 클로닝 및 특성 구명이 가능할 것으로 사료되며 궁극적으로는 돼지의 개량에 효율적으로 활용할 수 있는 표지인자(MAS)의 개발 등도 가능할 것으로 사료된다.

V 사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 수행된 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다. 또한 본 연구의 재료로 사용된 초위성체 마커는 미국 Iowa state university Max F. Rothschild 교수로부터 지원받아 사용했음을 밝힙니다.

VI 인용 문헌

- Andersson, L., Haley, C. S., Ellegren, H., Knott, S. A., Johansson, M., Andersson, K., Andersson-Eklund, L., Edfors-Lilja, I., Fredholm, M., Hansson, I., Hakansson, J. and Lundström, K. 1994. Genetic mapping of quantitative trait loci for growth and fatness in pigs. *Science*. 263:1771-1774.
- Andersson-Eklund, L., Marklund, L., Lundström, K., Haley, C. S., Andersson, K., Hansson, I., Møller, M. and Andersson, L. 1998. Mapping quantitative trait loci for carcass and meat traits in a Wild boar x Large White intercross. *J. Anim. Sci.* 76:694-700.
- A. O. A. C. 1990. "Official Methods of Analysis" 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
- Archibald, A. L., Haley, C. S., Brown, J. F., Couperwhite, S., McQueen, H. A., Nicholson, D., Coppieters, W., Vandeweghe, A., Stratil, A., Wintero, A. K., Fredholm, M., Larsen, N. J., Nielsen, V. H., Milan, D., Woloszyn, N., Robic, A., Dalens, M., Riquet, J., Gellin, J., Caritez, J. C., Burgaud, G., Ollivier, L., Bidanel, J. P., Vaiman, M., Renard, C., Geldermann, H., Davoli, R., Ruyter, D., Verstege, E. J. M., Groenen, M. A. M., Davies, W., Hoyheim, B., Keiserud, A., Andersson, L., Ellegren, H., Johansson, M., Marklund, L., Miller, J. R., Dear, D. V. R., Signer, E., Jeffreys, A.J., Moran, C., Letissier, P., Rothschild, M. F., Tuggle, C. K., Vaske, D., Helm, J., Liu, H. C., Rahman, A., Yu, T. P., Larson, R. G. and Schmitz, C. B. 1995. The Pixmap Consortium linkage map of the pig(*Sus scrofa*). *Mamm. Genome*. 6:157-175.
- Bidanel, J. P., Milan, D., Iannuccelli, N., Amigues, Y., Boscher, M. Y., Bourgeois, F., Caritez, J. C., Guand, J., Le Roy, P., Lagant, H., Quintanilla, R., Renard, C., Gellin, J., Ollivier, L. and Chevalet, C. 2001. Detection of quantitative trait loci for growth and fatness in pigs. *Genet. Sel. Evol.* 33:289-309.
- Cameron, N. D. 1990. Comparison of Duroc and British Landrace pigs and the estimation of genetic and phenotypic parameters for growth and carcass traits. *Animal Production*. 50:141.
- Clutter, A. C. 1995. Presented to the National Swine Improvement Federation, Des Moines, Iowa, December 1.
- Dekkers, J. C. M., Rothschild, M. F. and Malek, M. M. 2001. Potential and application of marker assisted selection for meat quality. Second international Virtual Conference on Pork Quality. November, 05 to December, 06-2001.
- De Koning, D., Harlizius, B., Rattink, A. P., Bovenhuis, H., Groenen, M. A. M. and Brascamp, W. E. 2000. Detection and characterization of quantitative trait loci for carcass and meat quality traits in pigs. *Proc. Europ. Assoc. Anim. Prod.* 6:3.
- De Koning, D., Harlizius, B., Rattink, A. P., Groenen, M. A. M., Brascamp, E. W. and van Arendonk, J. A. M. 2001. Detection and characterization of quantitative trait loci for meat quality traits in pigs. *J. Anim. Sci.* 79:2812-2819.
- Devol, D. L., Mckeith, F. K., Bechtel, R. S., Novakofski, J., Shanks, R. D. and Carr, T. R. 1988. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 66:385.
- Falconer, D. S. 1981. *Introduction to Quantitative Genetics* (2nd edn.). Longman House, London.

13. Fujii, J., Otsu, K., Zorzto, F., de Leon, S., Khanna, V. K., Weiler, J. E., O'Brien, P. J. and MacLennan, D. H. 1991. Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*. 253:448-451.
14. Gerbens, F., van Erp, A. J., Harders, F. L., Verburg, F. J., Meuwissen, T. H., Veerkamp, J. H. and te Pas, M. F. 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.
15. Green, P., Falls, K. and Crooks, S. 1990. Documentation for CRIMAP, version 2.4. Washington Univ. School of Medicine, St. Louis, MO.
16. Huff-Lonergan E., Baas T. J., Malek M., Dekkers J. C. M. and Pursa K. 2001. Correlations among selected pork quality traits. *J. Anim. Sci.* Submitted.
17. Knott, S. A., Marklund, L., Haley, C. S., Andersson, K., Davies, W., Ellegren, H., Fredholm, M., Hansson, I., Hoyheim, B., Lundstrom, K., Moller, M. and Andersson, L. 1998. Multiple marker mapping of quantitative trait loci in a cross between outbred wild boar and large white pigs. *Genetics*. 149:1069-1080.
18. Kim, K. S., Larsen, N., Short, T., Plastow, G. and Rptschild, M. F. 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.
19. Kranen, R. W., van Kuppevelt, T. H., Goedhart, H. A., Veerkamp, C. H., Lambooy, E. and Veerkamp, J. H. 1999. Hemoglobin and myoglobin content in muscles of broiler chickens. *Poult. Sci.* Mar.;78(3): 467-76.
20. Lee, H. Y. 2003. Detection of Quantitative Traits Loci(QTL) in pig by using microsatellite markers. A Dissertation for the Degree of Master of Science, Korea University.
21. Malek, M., Dekkers, J. C. M., Lee, H. K., Baas, T. and Rothschild, M. F. 2001. A molecular genome scan analysis to identify chromosomal regions influencing economic traits in the pig. II. Meat and muscle composition. *Mamm. Genome*. 12:637-645.
22. Maribo, H., Olsen, E. V., Patricia, B. G., Anders, J. N. and Anders, K. 1998. Effect of early post-mortem cooling on temperature, pH fall and meat quality in pigs. *Meat Sci.*, 50, 115.
23. Marklund, L., Moller, M., Hoyheim, B., Davies, W., Fredholm, M., Juneja, R. K., Mariani, P., Coppieters, W., Ellegren, H. and Andersson, L. 1996. A comprehensive linkage map of the pig based on a wild pig-Large White intercross. *Anim. Genet*. 27:255-269.
24. Mikawa, S., Akita, T., Hisamatsu, N., Inage, Y., Ito, Y., Kobayashi, E., Kusumoto, H., Matsumoto, T., Mikami, H., Minezawa, M., Miyake, M., Shimanuki, S., Sugiyama, C., Uchida, Y., Wada, Y., Yanai, S. and Yasue, H. 1999. A linkage map of 243 DNA markers in an intercross of Gottingen miniature and Meishan pigs. *Anim. Genet*. 30:407-417.
25. Ovilo, C., Oviler, A., Noguera, J. L., Clop, A., Barragan, C., Varona, L., Rodriguez, C., Toro, M., Sanchez, A., Perez-Enciso, M. and Silio, L. 2002. Test for positional candidate genes for body composition on pig chromosome 6. *Genet. Sel. Evol*. 34(4):465-479.
26. Paszek, A. A., Wilkie, P. J., Flickinger, G. H., Rohrer, G. A., Alexander, L. J., Beattie, C. W. and Schook, L. B. 1999. Interval mapping of growth in divergent swine cross. *Mamm. Genome*. 10:117-122.
27. Perez-Enciso, M., Clop, A., Folch, J. M., Sanchez, A., Oliver, M. A., Ovilo, C., Barragan, C., Varona, L. and Noguera, J. L. 2002. Exploring Alternative Models for Sex-Linked Quantitative Trait Loci in Outbred Population. Application to an iberian× landrace pigs intercross. *Genetics*. Aug;161(4):1625-1632.
28. Rohrer, G. A., Alexander, L. J., Hu, Z., Smith, T. P. L., Keele, J. W. and Beattie, C. W. 1996. A comprehensive map of the porcine genome. *Genome Res*. 6:371-391.
29. Rohrer, G. A. and Keele, J. 1998. Identification of quantitative trait loci affecting carcass composition in swine I. Fat deposition traits. *J. Anim. Sci*. 76: 2247-2254.
30. Rothschild, M. F. and Soller, M. 1997. Candidate gene analysis to detect genes controlling traits economic importance in domestic livestock. *Probe*. 8: 13-20.
31. Ryoichi, S., Degychi, T. and Nagata, Y. 1993. Effectiveness of the filter paper press method for determining the water holding capacity of meat. *Fleischwirtsch*, 73:1399.
32. Sellier, P. 1998. Genetics of meat and carcass traits. In :Rothschild, M.F., Ruvinsky, A.(Eds.), *The genetics of the pig*. CABI, Wallingford, UK.

33. Van der Wal, P. G., Engel, B. and Hulsege, B. 1997. Causes for variation in pork quality. *Meat Sci.* 46(4):319.
34. Wang, L., Yu, T. P., Tuggle, C. K., Liu, H. C. and Rothschild, M. F. 1998. A directed search for quantitative trait loci on chromosomes 4 and 7 in the pig. *J. Anim. Sci.* 76:2560-2567.
35. Warriss, P. D. and Brown, S. N. 1987. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pigs muscle. *Meat Sci.*, 20, 65-74.
36. 박범영, 유영모, 조수현, 채현석, 김진형, 안종남, 이종문, 윤상기. 2001. Hunter L 값에 따른 돈육의 육질 특성 연구. *한국축산식품학회지*. Vol. 21. No. 4 pp. 323-328.
37. 진상근, 김철욱, 송영민, 장원혁, 김영보, 여정수, 김재우, 강근호. 2001. 램드레이스와 재래돼지육의 이화학적 특성. *한국축산식품학회지*. Vol. 21. No. 2 pp. 142-148.
38. 축산기술연구소, 농협중앙회. 2002. 새로운 돼지 사육기술.
(접수일자 : 2004. 5. 19. / 채택일자 : 2004. 8. 12.)