

Jeju crossbred에서 3번 염색체 단일염기변이와 12개월령 체형과의 연관관계

김남영¹, 최정우², 채현석¹, 백광수¹, 손준규¹, 신상민¹, 우제훈¹, 박설화¹, 홍현주¹, 김수연¹, 양영훈^{3,†}

¹농촌진흥청 국립축산과학원 ²강원대학교 ³제주대학교

Association between SNPs on equine chromosomes 3 and body conformation of 12 month of age in Jeju crossbred horses

Nam-Young Kim¹, Jung-Woo Choi², Hyun-Seok Chae¹, Kwang-Soo Baek¹, Jun-Kyu Son¹, Sang-Min Shin¹, Jae-Hoon Woo¹, Seol-Hwa Park¹, Hyun-Jun Hong¹, Su-Yeon Kim¹, Young-Hoon Yang^{3,†}

¹National Institute of Animal Science, RDA, 175-6 O-deung Dong, Jeju 690-150, Korea

²College of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

³Faculty of Animal Biotechnology, Jeju National University, 102 Jejudaehakno, Jeju 690-756, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to analyze the effect of single nucleotide polymorphisms (SNPs) on the equine chromosomes (ECA) 3 for the body conformations of 12 month of age in Jeju crossbred (Jeju horses × Thoroughbred). A total of 199 Jeju crossbred horse samples were obtained from the National Institute of Subtropical Livestock Research Institute for this study. To correctly estimate the body conformations, we measured thirteen elements relevant to the body conformation such as body weight, wither height, body length for all the 199 horses at 12 month of age. Furthermore, all the horses were genotyped using four SNPs including the BIEC2-808466, BIEC2-808543, BIEC2-808967, BIEC2-809370, of which genomic coordinates range approximately from 105.1Mbp to 110 Mbp in the ECA3. For the phenotypic data sets, the average body weight was 193.7 ± 24.5 kg and the height was 124.5 ± 4.0 cm. As for the genotypic data, the minor allele frequencies of the SNPs were shown to be varied from 0.01 to 0.291. Using the phenotypic and genotypic data sets, analysis of covariance was performed to find any association between those SNP genotypes and body conformations, using year of birth, month of birth, sex, and parity as the covariance components. The result showed that alternative genotypes in the BIEC2-808967 and BIEC2-809370 SNPs were significantly associated with the body length ($P < 0.05$) and the wither height ($P < 0.05$) respectively in the Jeju crossbred horses. Therefore, it is estimated that there are significant associations in the body conformation of 12 month of age of Jeju crossbred for those two SNPs used in this study.

(Key word: Association, SNPs, body conformation, Jeju crossbred horses)

서론

경제 가치의 가치를 결정하는 유전적 형질에는 많은 요인들이 있다. 그중에서 체형은 양적형질의 유전적 영향을 연구하는 중요한 모델 형질로 활용되고 있다. 젓소에서는 체형이 유량 생산에 간접적인 영향을 주는 것으로 알려져 왔으며 (Sieber 등, 1988), 체형 형질에 대한 유전능력 분석이 진행되어 왔다 (Koenen와 Groen, 1998; Veerkamp, 1998). 또한 체형과 관련된 양적형질은 다른 경제형질과 같이 중요한 형질로

알려져 왔다 (Wu 등, 2013).

말에서 체형은 품종의 차이를 구분하는 중요한 평가 요소이며 시장가치와 능력 개선을 위한 필수 항목이다. Federation Equestre Internationale (FEI)에 포니로 등록하기 위해서는 체고가 중요한 요소로 고려된다. 편자가 있는 경우 체고가 149cm, 편자가 없는 경우는 148cm 이하여야 등록이 될 수 있다. FEI 규정상 체고 초과 시 FEI 포니 경주에도 참가할 수 없으며 체고가 초과된 포니는 말로 분류되어 포니 판매 가격에도 영향을 준다 (van de Pol과 van Oldruitenborgh-Oosterbaan, 2007). 또한 포니 점평

† Corresponding author: Young-Hoon Yang
Tel: +82-64-754-3338
E-mail: yhyang@jejunu.ac.kr

경기에서 체형 형질이 중요한 요소로 작용하는 것으로 보고되었으며(Anne, 2004), 동일 그룹에서도 체형이 큰 말이 경기력이 우수한 것으로 평가되었다(Sadek 등, 2006; Curtis 등, 2010).

더러브렛 말 산업에서 1년생 육성마 구입 시 체형이 큰 말을 선호하는데 이는 체형이 클 경우 경주 능력이 우수할 것으로 예상되기 때문이다. Reed 등(1977)은 망아지의 생시 체중과 1년생 망아지 체중 간에 정의 상관관계가 있으며 생시 체고와 성마의 체고 간에도 유의적인 정의 상관관계가 있는 것으로 보고하였다 또한 Saastamoinen (1990)는 개월령 별 체형 측정치 유전능력을 분석하여 망아지 단계에서 최적의 체형을 보이는 개체를 선발할 수 있으며 1년생 육성마의 체형 선발을 통해 빠른 성장을 위한 선발이 가능한 것으로 추정하였다

최근 분자 유전학적 분석 기술 발달로 가축에서 체형과 연관된 유전자 탐색을 위한 전장유전체연관분석연구(Genome-Wide Association Study, GWAS)가 진행되었다(Choudhary 등, 2007; Utsunomiya 등, 2013; Cole 등, 2014). 말에서도 GWAS 분석 기법을 이용한 체형 연관관계에 대한 연구가 진행되어 말의 3번 염색체와 체고 형질간의 연관관계가 보고되었으며(Signer-Hasler 등, 2012; Meira 등, 2014), 3번 염색체 *LCORL* 유전자 내 단일염기변이와 체고 형질 간 연관성이 보고되었다(Metzger 등, 2013; He 등, 2015).

Jeju crossbred(제주마×더러브렛)는 한국마사회 제주경마공원에 경주마로 이용하고 있으며 최근에는 경마 이외에 승용마 및 비육마 자원으로도 이용되고 있다

본 연구는 Jeju crossbred(제주마×더러브렛)의 체형 개량을 위해 12개월령 체형에 대한 3번 염색체 단일염기변이의 연관관계를 구명하여 마커 도움 선발에 활용 가능성을 제시하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물 및 체형 측정

본 연구에 이용된 공시 동물은 농촌진흥청 국립축산과학원 난지축산연구소에서 사육하고 있는 Jeju crossbred(제주마×더러브렛) 199두(2010년~2015년 출생)를 공시하였다. 공시축은 농후사료(열량 3,825kcal/kg, CP 16.5%)를 체중의 1.2~1.5% 공급하였으며, 조사료(톨페스큐, 오차드그라스, 이탈리아 안라이그라스)는 자유 급여하였다. 채혈은 경정맥을 통해 채혈하여 genomic DNA 분리 후 단일염기변이 유전자형 결정에 이용하였다. 체형은 12개월령 시점에 체중(Weight), 두장(Head length), 체고(Wither height), 배고(Back height), 고고(Rump height), 체장(Body length), 흉심(Chest depth), 흉폭(Chest width), 요폭(Back width), 고장(Rump length), 흉위(Chest girth), 전관위(Shank circumference) 그리고 곤폭(Rump width)을 측정하였다. 3번 염색체 내 4종의 단일염기변이와 12개월령 체형 간의 연관성 분석을 수행하기 위한 표현형 자료는 Table 1에 나타내었다.

2. 중합효소연쇄반응 및 Pyrosequencer를 이용한 유전자형 결정

말에서 체고 관련 단일염기변이의 연관관계 분석을 위해 Signer-Hasler 등(2012)과 Tetens 등(2013)이 보고한 3번 염색체 내 105.1Mbp~110Mbp에 위치한 4종의 단일염기변이를 분석하였으며, 단일염기변이 유전자형 결정은 Pyrosequencing 방법을 이용하였다. Pyrosequencing을 위한 프라이머는 PyroMark Assay Design 2.0 (Qiagen, Germany)을 이용하여 PCR(polymerase chain reaction) 프라이머 각 1쌍과 pyrosequencing 프라이머

Table 1. Phenotype records of body conformation on 12 month of age in Jeju crossbred(Jeju horse×Thoroughbred)(means±SD)

Body conformation	Jeju crossbred	Thoroughbred*
WE(kg)	193.7±24.5	337.7±26.6
HL(cm)	46.7±1.5	-
WH(cm)	124.5±4.0	145.0±3.0
BH(cm)	120.9±3.9	-
RH(cm)	127.3±4.2	149.0±3.0
BL(cm)	114.5±5.7	142.0±4.0
CD(cm)	51.7±2.3	-
CW(cm)	25.6±2.1	-
BW(cm)	33.8±2.1	-
RL(cm)	37.5±2.3	-
CG(cm)	131.9±5.8	156.0±5.0
SC(cm)	15.9±0.9	-
RW(cm)	32.5±2.3	-

WE : weight; HL : head length; WH : withers height; BH : back height; RH : rump height; BL : body length; CD : chest depth; CW : chest width; BW : back width; RL : rump length; CG : chest girth; SC : shank circumference; RW : rump width.

* Referenced from Kavazis and Ott (2003).

각 1종을 제작하여 이용하였다(Table 2).

말의 3번 염색체 단일염기변이 조사를 위해 공시재료의 DNA를 주형으로 중합효소연쇄반응 (polymerase chain reaction, PCR)을 통해 유전자 절편을 증폭하였다 PCR 반응은 1× reaction buffer, 20mM dNTP, 각 단일염기변이 별 15 pmol primer, 0.5 unit HS Prime Taq DNA Polymerase(GENETBIO, Korea), 25~50ng genomic DNA를 혼합하여 최종 25μl를 반응하였다. 반응 조건은 DNA Engine Tetrad 2 (Bio-Rad, USA)를 이용하여 94 °C 5분 초기 변성 후, 94 °C 30초 변성, 55 °C 30초 프라이머 결합, 72 °C 30초 신장으로 구성된 연쇄반응을 34회 반복한 후 최종 5분간 신장하였다.

Pyrosequencing에 의한 유전자형 결정은 Qiagen (Germany)에서 제공한 표준 방법을 이용하였다 바이오틴이 결합된 PCR 산물을 Streptavidin Sepharose HP beads (GE Healthcare, Sweden)와 흡착 후 변성, 세척하여 pyrosequencing primer를 혼합하여 80°C에서 변성, 냉각하였다. 냉각된 반응물은 PyroMark Gold Reagents (Qiagen, Germany)를 혼합하여 PyroMark Q96 ID(Qiagen, Germany)로 유전자형을 결정하였다.

3. 통계분석

공시재료로부터 얻은 단일염기변이 (BIEC2-808466, BIEC2-808543, BIEC2-808967, BIEC2-809370)의 유전자형 빈도 및 Hardy-Weinberg equilibrium은 CERVUS(version 3.0.3) software를 이용하여 분석하였다 체형 측정치에 대한 4종의 단일염기변이의 유전자형 효과를 추정하기 위해 R 통계 패키지(version 3.0.3)를 이용하여 공분산분석을 하였으며 유전자형 그룹 간 비교는 $P < 0.05$ 수준에서 Turkey 검정을 하였다. 통계분석에 이용된 모형은 다음과 같다

$$Y_{ijklm} = \mu + BY_i + BM_j + S_k + P_l + G_m + e_{ijklm}$$

여기서 Y_{ijklm} : 체형 형질 관측치, μ : 전체 평균, BY_i : 출생 연도의 효과, BM_j : 출생 개월의 효과, S_k : 성별의 효과, P_l : 산차의 효과, G_m : 유전자형 효과, e_{ijklm} : 임의 오차를 나타낸다. 출생 연도, 출생월, 산차별, 성별 두수는 Table 3에서 표시한 바와 같다.

Table 2. PCR primer for amplification and sequencing primer for genotyping

SNP	Chr_pos ¹⁾	Sequence(5'→3')		Ref.
		Forward	Reverse	
BIEC2-808466	105,163,077	AGGAGGAAAGCAGAACAG ²⁾		Signer-Hasler at al (2012)
		CCTGGGACACATTTTAAG		
		AAGTCCATGATTTGCC		
BIEC2-808543	105,547,002	AAATTTGCCTGGCTAGAG ²⁾		Tetens at al(2013)
		ACTATTGTGTTCCCTGTGATT		
		CTTTGGGGTACAGAAATA		
BIEC2-808967	107,369,907	TACGTTGGACTCAAAAATG		Tetens at al(2013)
		CTCAAGCTCTTCCTGAATT ²⁾		
		GGACTCAAAAATGTGGAT		
BIEC2-809370	109,902,735	TTTTCAGGTTTTTACATAATTAC ²⁾		
		GCATGAAATTCAGCTAAATA		
		CTACCCTGATTCAGGAG		

¹⁾ Chr_pos : chromosome position, ²⁾ 5' Biotin-modified primer

Table 3. Number of records by year of birth, month of birth, parity and sex

Year		Month		Parity		Sex	
Level	n	Level	n	Level	n	Level	n
2010	40	3	21	1	73	f	97
2011	33	4	81	2	54	m	102
2012	40	5	82	3	38		
2013	45	6≤	15	4≤	34		
2014	19						
2015	22						
Total	199		199		199		199

결과 및 고찰

본 연구는 Jeju crossbred(제주마×더러브렛)에서 12개월령 체형에 대한 3번 염색체 단일염기변이의 연관관계를 구명하고자 수행하였다. 12개월령 체형은 육성기 선발을 위한 중요한 경제형질로 보고되었다(Saastamoinen, 1990). 경주마인 더러브렛의 경우에도 1년생 때 육성마의 체형이 클 경우 경주능력이 우수할 것으로 예상되어 자마 및 육성마 때 체형이 큰 말을 선호하고 있다. 본 연구에서 Jeju crossbred(제주마×더러브렛)의 12개월령 체형 중 체중, 체고, 체장 그리고 흉위는 각각 193.7±24.5kg, 124.5±4.0cm, 114.5±5.7cm, 131.9±5.8cm로 조사되었다(Table 1). Jeju crossbred(제주마×더러브렛)의 12개월령 체고는 더러브렛(Kavazia와 Ott, 2003) 12개월령 체고 145.0±3.0cm의 85% 수준으로 확인되었다.

분석에 이용된 단일염기변이 4종에 대한 유전자형과 대립유전인자의 빈도를 확인한 결과를 Table 4에 나타내었다. Signer-Hasler 등(2012)은 Franches-Montagnes 품종의 BIEC2-808466과 BIEC2-808543 단일염기변이에 대해 체고를 증가시키는 대립유전인자 G와 C의 빈도를 각각 0.084와 0.079로 보고하였으며, He 등(2015)은 Yili 품종에서 BIEC2-808543 단일염기변이 C 대립유전인자 빈도를 0.172로 보고하였다. 그러나 Jeju crossbred에서는 BIEC2-808466과 BIEC2-808543 단일염기변이의 minor allele인 G와 C 대립유전자의 빈도는 각각 0.018과 0.01로 빈도가 낮은 것으로 조사되어 품종에 따라 minor allele 빈도에 차이가 있는 것으로 확인되었다. Tetens 등(2013)은 German Warmblood 품종에서 BIEC2-808967과 BIEC2-809370 단일염기변이의 minor allele 빈도를 각각 0.35와 0.35로 보고하였으나 Jeju crossbred에서 각각 0.148과 0.291로 낮게 조사되었다.

공분산분석에 이용된 공변량의 효과는 Table 5에 나타내었다. 출생연도에서는 체중, 체장, 흉폭, 요폭, 전관위에서 유의적인 효과($P<0.05$) 있었으며, 출생월에서는 체중, 두장, 흉심, 흉폭, 흉위, 전관위에서 효과($P<0.05$) 있었다. 성별과 산

차에서는 전관위에서만 효과가($P<0.05$) 있었다. 생시 체형측정치에서는 성별과 산차에서 주요한 효과가 있었으나(data not shown) 12개월령에서는 주요 체형 형질에서 효과가 없는 것으로 조사됐다. 이는 출생 이후 성장이 진행됨에 따라 성별과 산차의 효과가 감소된 것으로 추정된다.

Signer-Hasler 등(2012)과 Tetens 등(2013)은 전장유전체연관분석연구(GWAS)를 통해 말의 3번 염색체와 9번 염색체에서 성마의 체고 등 체형에 대해 유의적인 연관관계가 있는 것으로 보고하였다. Signer-Hasler 등(2012)은 Franches-Montagnes 성마의 체고에 대해 육종가 추정치 분산이 3번 염색체는 11.6%, 9번 염색체는 7.4%로 보고하였으며 3번 염색체와 9번 염색체 단일염기변이 인접 위치에 사람에서도 체고에 영향을 주는 것으로 알려진 *LCORL/NCAPG* 유전자 좌위와 *ZFAT* 유전자 좌위를 확인하였다. 또한 Tetens 등(2013)은 German Warmblood 3번 염색체에서 성마의 체고 관련 QTL 영역을 보고하였다. He 등(2015)은 Yili 품종에서 성마의 체중, 체고, 흉위, 관위에 대해 3번 염색체 BIEC2-808543 단일염기변이 유전자형에 따른 유의적인 차이를 확인하였다. Jeju crossbred에서 Signer-Hasler 등(2012), Tetens 등(2013)과 He 등(2015)이 보고한 3번 염색체 단일염기변이와 12개월령 체형과의 연관관계를 분석한 결과 체고, 배고, 고고 및 체장에서 단일염기변이의 유전자형에 따른 유의적인 차이를 확인할 수 있었다(Table 6). BIEC2-808967 단일염기변이는 체장에서 유의적인 차이가 있었으며($P<0.05$), BIEC2-809370 단일염기변이에서는 체고($P<0.05$), 배고($P<0.01$), 고고($P<0.05$)에서 유의적인 차이를 확인하였다. He 등(2015)은 BIEC2-808543 단일염기변이에서 체고, 체장, 흉위, 전관위에 대한 연관관계를 보고하였으나 본 연구에서는 BIEC2-808543 단일염기변이 중 체형을 증가시키는 C 대립유전인자 빈도가 0.01로 낮게 나타나 연관성분석이 무의미하였다.

Setoguchi 등(2011)은 소에서 체고와 관련 있는 QTL 지역에서 *NCAPG* 유전자의 변이를 확인하였으며 이 지역이 골격 성장에 관여하는 것으로 추정하였다. 또한 체형에 대한

Table 4. Genotypes and allele frequencies of BIEC2-808466, BIEC2-808543, BIEC2-808967 and BIEC2-809370 for Jeju crossbred

SNP	Genotype frequency			Allele frequency		HWE P-value
	GG	GA	AA	G	A	
BIEC2-808466	-	7(0.035)	192(0.965)	0.018	0.982	N.D.
BIEC2-808543	CC	CT	TT	C	T	N.D.
	-	4(0.02)	195(0.98)	0.01	0.99	
BIEC2-808967	CC	CT	TT	C	T	N.D.
	5(0.025)	49(0.246)	145(0.729)	0.148	0.852	
BIEC2-809370	AA	AG	GG	A	G	0.628
	15(0.075)	86(0.432)	98(0.492)	0.291	0.708	

Table 5. Effects of covariant component with body conformation on 12 month of age in Jeju crossbred(F-value)

Cov. Comp.	WE	HL	WH	BH	RH	BL	CD	CW	BW	RL	CG	SC	RW
Year	5.078*	2.245	0.812	0.286	0.802	11.152**	3.498	11.183**	4.264*	0.386	3.54	30.708**	3.511
Month	4.384*	12.578**	1.969	1.592	0.773	1.454	7.907**	12.541**	2.671	0.992	27.105**	21.903**	3.742
Sex	3.379	0.921	1.54	0.919	0.313	1.592	3.72	0.14	0.568	3.107	0.403	8.421**	0.421
Parity	0.106	0.003	0.773	3.36	0.044	0.036	3.069	1.532	0.228	0.156	3.048	10.843**	0.044

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

WE : weight; HL : head length; WH : withers height; BH : back height; RH : rump height; BL : body length; CD : chest depth; CW : chest width; BW : back width; RL : rump length; CG : chest girth; SC : shank circumference; RW : rump width.

Table 6. Association of BIEC2-808466, BIEC2-808543, BIEC2-808967 and BIEC2-809370 SNP genotypes with body conformation on 12 month of age in Jeju crossbred(mean±SD)

SNP	Genotype	WE(kg)	HL(cm)	WH(cm)	BH(cm)	RH(cm)	BL(cm)	CD(cm)	CW(cm)	BW(cm)	RL(cm)	CG(cm)	SC(cm)	RW(cm)
BIEC2-80	AG(n=7)	173.0±24.5	46.6±1.9	122.9±3.0	120.5±3.1	126.2±2.9	112.1±2.8	50.2±1.5	23.5±1.0	32.7±1.4	35.6±2.3	125.5±5.1	15.0±0.7	30.5±1.6
8466	AA(n=192)	173.0±16.4	46.7±1.5	124.6±4.1	120.9±4.0	127.3±4.2	114.5±5.7	51.8±2.3	25.7±2.1	33.9±1.4	37.6±2.3	132.1±5.7	15.9±0.9	32.6±2.2
BIEC2-80	CT(n=4)	169.1±19.1	47.2±2.2	122.2±3.7	120.2±3.8	125.8±3.6	111.2±3.0	49.8±1.8	23.4±1.3	32.8±1.7	35.4±2.8	125.6±6.5	15.0±0.9	30.6±1.9
8543	TT(n=195)	194.2±24.4	46.7±1.5	124.6±4.0	120.9±3.9	127.3±4.2	114.5±5.7	51.8±2.3	25.7±2.1	33.9±2.1	37.6±2.3	132.0±5.8	15.9±0.9	32.6±2.2
BIEC2-80	CC(n=5)	206.0±20.0	47.6±0.8	127.3±4.6	124.0±5.0	130.1±3.6	117.1±4.0a*	52.4±2.3	26.6±1.4	34.5±1.7	38.7±2.4	132.3±5.4	15.9±0.3	33.6±1.4
8967	CT(n=49)	189.5±25.7	46.4±1.4	123.6±4.0	120.2±3.8	126.5±4.4	112.7±6.3ab	51.1±2.2	25.6±2.2	33.4±2.1	37.3±2.7	130.6±5.8	15.9±0.8	32.2±2.4
BIEC2-80	TT(n=145)	194.7±24.2	46.8±1.6	124.7±4.0	121.0±3.9	127.4±4.1	115.0±5.4a	51.9±2.3	25.6±2.1	34.0±2.0	37.5±2.2	132.3±5.8	15.9±0.9	32.6±2.2
BIEC2-80	AA(n=15)	192.9±29.5	47.0±1.8	127.2±3.7*	123.7±3.2**	129.8±4.3*	113.8±4.8	51.9±1.9	26.1±2.5	34.2±2.4	38.3±2.7	132.3±7.1	15.5±0.9	32.7±2.4
9370	AG(n=86)	191.7±24.4	46.5±1.5	124.4±4.5*	120.9±4.5*	127.0±4.7*	113.9±5.7	51.6±2.3	25.6±2.2	33.7±2.0	37.3±2.5	131.5±6.1	15.8±1.0	32.2±2.3
BIEC2-80	GG(n=98)	195.5±24.0	46.9±1.5	124.1±3.5*	120.4±3.4*	127.2±3.5*	115.0±5.8	51.8±2.3	25.5±2.0	33.9±2.0	37.6±2.1	132.1±5.4	16.1±0.8	32.8±2.2

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

WE : weight; HL : head length; WH : withers height; BH : back height; RH : rump height; BL : body length; CD : chest depth; CW : chest width; BW : back width; RL : rump length; CG : chest girth; SC : shank circumference; RW : rump width.

NCAPG 단일염기변이 유전인자 대치 효과가 성성숙기 이전보다 성성숙기에 효과가 높은 것으로 보고하여 본 연구에서 12개월령 체형 효과와 동일한 결과를 보였다

본 연구결과 말의 체형 관련 3번 염색체 단일염기변이는 Jeju crossbred(제주마×더러브렛) 12개월령에서 체고와 연관관계가 있는 것으로 확인되어 체고 관련 유전자 마커로 활용 가능할 것으로 사료되며 성장단계에 따른 추가 연구가 필요한 것으로 생각된다

적 요

본 연구는 Jeju crossbred(제주마×더러브렛) 12개월령 체형 형질에 대한 말의 3번 염색체 단일염기변이 효과를 분석하기 위해 수행하였다. 본 연구의 공시축은 국립축산과학원 난지축산연구소에서 육성 중인 Jeju crossbred 육성마 199 두를 이용하였다. 12개월령 육성마 체형은 체중, 체고, 체장, 흉폭 등 13종을 측정하였다. 말의 3번 염색체 105.1Mbp~110Mbp 영역에 위치한 BIEC2-808466, BIEC2-808543, BIEC2-808967, BIEC2-809370 단일염기변이 유전자형을 분석하였다. 단일염기변이 유전자형과 12개월령 체형과의 연관관계 분석을 위해 공분산분석을 수행하였으며, 출생년도, 출생월, 성별, 산차를 공분산 성분으로 분석에 이용하였다. 12개월령 육성마의 평균 체중은 193.7±24.5kg이었으며, 체고는 124.5±4.0cm였다. 분석에 이용된 4종의 단일염기변이의 minor 대립유전자 빈도는 0.01~0.291로 확인되어 유전적 다형성이 낮았다. 공변량 중 성별과 산차는 출생연도와 출생월보다 체형 측정치에서 영향이 낮은 것으로 확인됐다. 12개월령 체형 13종에 대한 4종의 단일염기변이의 효과를 분석한 결과 BIEC2-808967 단일염기변이는 체장에서 연관관계를 확인할 수 있었으며 ($P<0.05$), BIEC2-809370 단일염기변이에서는 체고, 배고, 고고에서 연관관계를 확인할 수 있었다($P<0.05$). 본 연구결과 Jeju crossbred에서 3번 염색체 단일염기변이는 12개월령 체형에 대해 연관관계가 있는 것으로 사료되며 성장단계에 따른 추가의 연구가 필요할 것으로 생각된다

Key words : Jeju crossbred, 단일염기변이, 체형, 대립유전자 연관관계

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업세부과제명 : 국내산 육성승용마 유전 특성 평가 연구 세부과제번호 : PJ01022201)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

- Anne R. 2004. Heritability of jumping ability and height of pony breeds in France. *Livest. Prod. Sci.* 89:243-251.
- Choudhary V, Kumar P, Bhattacharya TK, Bhushan B, Sharma A and Shukla A. 2007. DNA polymorphism of insulin-like growth factor-binding protein-3 gene and its association with birth weight and body weight in cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* 124:29-34.
- Cole JB, Waurich B, Wensch-Dorendorf M, Bickhart DM and Swalve HH. 2014. A genome-wide association study of calf birth weight in Holstein cattle using single nucleotide polymorphisms and phenotypes predicted from auxiliary traits. *J. Dairy Sci.* 97:3156-3172.
- Curtis GC, Grove-White D, Ellis RN and Argo CM. 2010. Height measurement in horses and ponies: optimising standard protocols. *Vet. Rec.* 167:127-133.
- He S, Zhang L, Li W and Liu M. 2015. BIEC2-808543 SNP in the LCORL Gene is Associated with Body Conformation in the Yili Horse. *Anim. Biotechnol.* 26:289-291.
- Kavazis AN and Ott EA. 2003. Growth rates in Thoroughbred horses raised in Florida. *J. Equine Vet. Sci.* 23:353-357.
- Koenen EP and Groen AF. 1998. Genetic Evaluation of Body Weight of Lactating Holstein Heifers Using Body Measurements and Conformation Traits. *J. Dairy sci.* 81:1709-1713.
- Meira CT, Farah MM, Fortes MRS, Moore SS, Pereira GL, Silva JAIIV, da Mota MDS and Curi RA. 2014. A Genome-Wide Association Study for Morphometric Traits in Quarter Horse. *J. Equine Vet. Sci.* 34:1028-1031.
- Metzger J, Schrimpf R, Philipp U and Distl O. 2013. Expression Levels of LCORL Are Associated with Body Size in Horses. *PLOS ONE* 8:e56497.
- Reed K and Dunn N. Growth and development of the Arabian horse. In: *Proceedings of the fifth equine nutrition physiology symposium.* 1977. pp.76-98.
- Saastamoinen M. 1990. Heritabilities for body size and growth rate and phenotypic correlations among measurements in young horses. *Acta Agr. Scand.* 40:377-386.
- Sadek MH, Al-Aboud AZ and Ashmawy AA. 2006. Factor analysis of body measurements in Arabian horses. *J. Anim. Breed. Genet.* 123:369-377.
- Setoguchi K, Watanabe T, Weikard R, Albrecht E, Kühn C,

- Kinoshita A, Sugimoto Y and Takasuga A. 2011. The SNP c. 1326T> G in the non SMC condensin I complex, subunit G (NCAPG) gene encoding a p. Ile442Met variant is associated with an increase in body frame size at puberty in cattle. *Anim. Genet.* 42:650-655.
- Sieber M, Freeman AE and Kelley DH. 1988. Relationships between body measurements, body weight, and productivity in Holstein dairy cows. *J. Dairy sci.* 71:3437-3445.
- Signer-Hasler H, Flury C, Haase B, Burger D, Simianer H, Leeb T and Rieder S. 2012. A genome-wide association study reveals loci influencing height and other conformation traits in horses. *PLoS One* 7:e37282.
- Tetens J, Widmann P, Kuhn C and Thaller G. 2013. A genome-wide association study indicates LCORL/NCAPG as a candidate locus for withers height in German Warmblood horses. *Anim. Genet.* 44:467-471.
- Utsunomiya YT, Carmo ASd, Carvalheiro R, Neves HHR, Matos MC, Zavarez LB, O'Brien AMP, Sölkner J, McEwan JC and Cole JB. 2013. Genome-wide association study for birth weight in Nelore cattle points to previously described orthologous genes affecting human and bovine height. *BMC Genetics* 14:52-64.
- Van de Pol C and van Oldruitenborgh-Oosterbaan MMS. 2007. Measuring the height of ponies at the withers: Influence of time of day, water and feed withdrawal, weight-carrying, exercise and sedation. *Vet. J.* 174:69-76.
- Veerkamp RF. 1998. Selection for Economic Efficiency of Dairy Cattle Using Information on Live Weight and Feed Intake. *J. Dairy Sci.* 81:1109-1119.
- Wu X, Fang M, Liu L, Wang S, Liu J, Ding X, Zhang S, Zhang Q, Zhang Y, Qiao L, Lund MS, Su G and Sun D. 2013. Genome wide association studies for body conformation traits in the Chinese Holstein cattle population. *BMC Genomics* 14:897.

Received August 22, 2016, Revised September 14, 2016,
Accepted September 27, 2016