

더러브렛 말의 혈액형에 관한 연구

조길재 · 김봉환*

한국마사회 혈액형검사실, *경북대학교 수의과대학
(2000년 11월 16일 게재승인)

Studies on blood types in Thoroughbred horses

Gil-jae Cho, Bong-hwan Kim*

Equine Blood Typing Laboratory, Korea Racing Association
*College of Veterinary Medicine, Kyungpook National University
(Accepted by November 16, 2000)

Abstract : The present study was carried out to investigate the blood markers of Thoroughbred horses (TB). The blood red cell types and blood protein types (biochemical polymorphisms) were tested from 1,125 Thoroughbred horses by serological and electrophoretic procedures, and their phenotypes, gene frequencies, heterozygosity, polymorphic information content values and exclusion probability were estimated. The blood group and biochemical polymorphism phenotypes observed with high frequency were Aaf(91.7%), Ca(94.7%), K-(94.5%), Ua(75.9%), P-(50.6%), Qabc(82.6%), ALB-BB(67.7%), GC-FF(92.7%), A1B-KK(99.6%), ES-II(77.9%), TF-DF1(23.6%), PI-LL(23.2%), HB-B2B2(73.6%), PGD-FS(45.4%) and genotypes Dcgm/dk(16.9%), Dbcm/cgm(13.6%), Dbcm/dk(11.9%), Dcegm/cegmn(10.0%), Dcgm/cgm(8.7%) in TB. Alleles observed with high frequency were Aaf(0.796), Ca(0.769), Ddk(0.266), Dcgm(0.261), Dbcm(0.211), K-(0.972), P-(0.710), Qabc(0.565), Q-(0.368), Ua(0.509), HB^{B2}(0.858), PGD^F(0.634), ALB^B(0.825), GC^F(0.927), A1B^K(0.998), ES^I(0.881), TF^{F1}(0.346), TF^P(0.319), TF^{F2}(0.184), PI^L(0.479), PI^N(0.214), PI^U(0.116) in TB. The heterozygosity, polymorphic information content (PIC) and exclusion probability (PE) were calculated. The mean heterozygosity and PIC value were 0.3899 and 0.3375, respectively. The highest heterozygosity and PIC were estimated 0.7834 and 0.7492 in blood group D locus, respectively. The cumulated PE obtained by blood groups and biochemical polymorphisms was 0.9813.

Key words : allele, blood groups, biochemical polymorphism, heterozygosity

서 론

전세계 대부분의 경마시행국은 1700년대 영국에서 개량 발전시킨 더러브렛(Thoroughbred)종 위주로 경마를 시행하고 있으며 이를 위해서는 사람이 태어나 출생신고를 하는 것과 마찬가지로 말도 일련의 과정을 거친다. 더러브렛종이 태어나 혈통서(Stud book)에 등재되기 위해서는 우선적으로 혈액형 감정 및 모색유전의 법칙에 의해서 친자관계가 확인되어야만 한다.

말의 혈액형은 1902년 Klein이 말의 적혈구 표면에 위치한 항원을 사람의 ABO 식과 유사한 형으로 분류한 이래, 면역항체를 이용한 적혈구항원형과 전기영동법

에 의한 혈액단백질형으로 분류되며 말에서는 주로 혈통등록을 목적으로 친자확인 및 개체식별에 이용되고 있다¹⁾.

말의 혈액형은 친자관계를 확인하고 개체식별을 위한 가장 과학적인 수단으로 현재 통용되고 있으며 현재까지 알려진 말에서의 적혈구항원형은 7개 시스템(A, C, D, K, P, Q, U) 34종의 혈액형인자와 혈액단백질형 16개 시스템(A1B glycoprotein : A1B, Albumin : ALB, Acid phosphatase : AP, Carbonic anhydrase : CA, Catalase : CAT, NADH-diaphorase : DIA, Carboxylesterase : ES, Vitamin D binding protein : GC, Glucose phosphate isomerase : GPI, Hemoglobin- α : HB, Peptidase A : PEPA,

6-phosphogluconate dehydrogenase : PGD, Phosphoglucomutase : PGM, Protease inhibitor : PI, Plasminogen : PLG, Transferrin : TF)의 다형좌위로 분류되어 있으나 더러브렛종에서는 7개 시스템 21종의 혈액형인자 즉, Aa, Ab, Ac, Ca, Da, Db, Dc, Dd, De, Df, Dg, Dh, Di(n), Dk, Ka, Pa, Pb, Qa, Qb, Qc, Ua와 혈액단백질형 8개 좌위(A1B, ALB, ES, GC, HB, PGD, PI, TF)를 국제 최소 검사항목으로 지정하여 검사하고 있다^{1,2}.

적혈구항원형은 사람의 ABO 식처럼 적혈구 표면에 존재하는 항원을 표준항혈청을 이용한 혈청학적 방법에 의해서 검사하고 있으며 용혈반응에 필요한 보체는 토끼로부터 얻은 신선한 흡착 혈청을 이용하고 있다. 말의 적혈구항원형은 응집반응과 용혈반응에 의해서 분류할 수 있다^{3,4}. 적혈구항원형 7개 시스템 중에서 A 시스템은 응집 및 용혈반응 모두에서 검사가 가능하나 C, D, K 시스템은 응집반응, P, Q, U 시스템은 용혈반응에 의해서 검사를 행하고 있다. 말의 혈액단백질형은 전분(starch)이나 폴리아크릴아마이드(polyacrylamide) 겔 지지체를 이용한 전기영동법에 의해서 혈액내의 특정 단백질 및 효소를 지배하는 유전자 좌위에 존재하는 대립유전자를 단백질 및 효소의 분자량에 의한 전하차이에 의해서 분리하고 전기적 이동거리의 순서에 따라 약정된 국제적 명명법에 준하여 분류한 것으로서 말에서는 친자감정 및 개체식별에 이용하고 있다.

국내에서 더러브렛종 말의 등록기관은 축산법에 따라 한국마사회로 지정되어 있으며 혈액형 감정은 등록기관이 지정한 감정기관에서 이루어지도록 규정하고 있다. 말 혈액형 감정기관으로서의 국제적 요건은 국제 동물유전학회(International Society Animal Genetics; ISAG)에 가입한 후 국제동물유전학회와 국제혈통서 위원회(International Stud Book Committee; ISBC)에서 공동 주관하는 국제 말 비교동정시험(International Horse Comparison Test) 및 conference에 지속적으로 참가하여 국제적인 기술수준을 유지토록 국제협약으로 규정하고 있다¹. 현재까지 국제적으로 공인된 말 혈액형 감정기관은 약 40여개이며 국내는 한국마사회와 건국대학교 축산대학 2곳이 있으나 국내 생산 더러브렛종의 혈액형 감정은 한국마사회 혈액형 검사실에서 행해지고 있다.

더러브렛종을 포함한 다양한 품종의 적혈구항원형 및 혈액단백질형에 관한 연구가 외국에서는 많이 보고^{5,6,7}된 바 있으나 국내에서는 거의 없는 상태이다. 본 연구는 국내산 말의 혈통등록을 위해서 필요한 적혈구항원형 및 혈액단백질형을 조사하여 표현형 분포와 이를 토대로 유전자 빈도 및 효율적인 genetic markers를 알아보고자 부근부정율에 대한 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

국내에서 사육중인 더러브렛종 말의 혈액형 감정을 위해서 한국마사회 혈액형검사실에 의뢰된 1,125두를 대상으로 하였다. 재료는 말의 경정맥으로부터 Heparin 튜브 및 Plain 튜브(Becton Dickinson, USA)로 채혈한 혈액을 원심분리하여 혈청 및 혈구를 이용하였다.

표준항혈청 및 보체

호주 퀸스랜드 대학 말 혈액형 연구소(Brisban, Queensland)로부터 구입한 표준항혈청 23종(Aa, Ab, Ac, Af, Ca, Da, Db, Dc, Dd, De, Df, Dg, Dh, Dk, Dm, Dn, Ka, Pa, Pb, Qa, Qb, Qc, Ua) 및 보체를 이용하였다.

적혈구항원형 검사

Stormont *et al*⁸의 방법을 응용한 96 well microplate (녹십자)를 이용하여 응집반응 및 용혈반응으로 적혈구항원형 검사를 실시하였다. 응집반응은 표준항혈청 40 μ l와 0.9% NaCl 용액으로 3회 세척한 2% 적혈구 부유액 20 μ l를 가하여 혼합한 다음 37°C에서 반응시킨 후 45분과 80분에 응집유무를 판독하였으며, 용혈반응은 상기의 용량에 20 μ l의 보체(흡착 토끼혈청)를 혼합한 후 60분과 120분에 용혈상태를 판독하였다.

혈청단백질의 유전적 다형분석

혈청단백질인 ALB, GC, A1B, ES, TF의 유전적 다형분석은 Yokohama *et al*⁹의 방법에 준하여 폴리아크릴아마이드 겔(Horizontal polyacrylamide gel electrophoresis : HPAGE)로 전기영동하여 염색 후 건조시켜 결과를 판독하였으며, PI 형은 Yokohama와 Mogi¹⁰의 방법을 응용하여 등전점(Isoelectric electrophoresis : IEF) 전기영동법 및 Yokohama *et al*¹¹의 방법에 준하여 2-D(Two-dimensional electrophoresis) 전기영동법으로 분석하였다.

혈구단백질의 유전적 다형분석

HB 좌위는 Yokohama와 Mogi¹²의 방법에 따라 등전점 전기영동 후 염색치 않은 상태로 결과를 판독하였고, 혈구효소형 PGD, ALB의 유전적 다형분석은 Sandberg¹³의 방법을 응용하여 전분 겔로 전기영동한 후 염색하여 결과를 판독하였다.

통계분석

적혈구항원형 및 혈액단백질형의 각 유전자 좌위에 대한 유전자 빈도의 산출은 Pirchner¹⁴의 simple gene counting 및 Andersson¹⁵의 방법에 따라서 추정하였고 부

권부정율(PE) 및 PIC는 Jamieson과 Taylor¹⁶ 및 Botstein *et al*¹⁷의 방법에 준하여 산출하였다.

결 과

적혈구항원형 분석

더러브렛 말 1,125두를 대상으로 표준항혈청 23종에 대해서 적혈구항원형을 분석한 결과는 Table 1과 2에서 보는 바와 같다.

Table 1은 적혈구항원형 A, C, K, P, Q, U 시스템에 대한 표현형을 나타낸 결과로서 표현형 Aaf(91.7%), Ca(94.7%), K-(94.5%), Ua(75.9%), P-(50.6%), Qabc(82.6%)에서 높은 빈도를 나타냈으며 Table 2는 부모로부터 유전되는 적혈구항원형 D 시스템의 양식, 즉 유전자형을 나타낸 것으로서 30개의 대립유전자중 Dcgm/dk(16.9%), Dbcm/cgm(13.6%), Dbcm/dk(11.9%), Dcegm/cegm(10.0%), Dcgm/cgm(8.7%) 순으로 높은 빈도의 유전자형이 관찰되었다.

혈액단백질의 유전적 다형분석

공시재료 1,125두에 대한 혈액단백질의 유전적 다형을 분석한 결과는 Table 3과 4에서 보는 바와 같다. 혈청단백질형 ALB 좌위는 BB 표현형이 762두(67.7%), GC 좌위는 FF 표현형이 1,043두(92.7%), A1B 좌위는 KK 표현형이 1,120두(99.6%), ES 좌위는 II 표현형이 876두(77.9%), TF 좌위는 DF1 표현형이 266두(23.6%), PI 좌위는 LL 표현형이 261두(23.2%)로 높은 빈도를 보였으며, A1B 좌위의 FK 표현형이 5두(0.4%), ES 좌위의 IL 표현형이 2두(0.2%)로 특이하게 관찰되었다. 또한 혈구효소형의 유전적 다형을 분석한 결과 HB 좌위는

Table 1. Frequencies of blood groups in Thoroughbred horse

System Phenotype		No.(%) of horse	System Phenotype		No.(%) of horse
A	af	1,054(91.7)	P	a	348(30.9)
	abf	24(2.1)		ab	44(3.9)
	b	7(0.6)		b	164(14.6)
	-	40(3.6)		-	569(50.6)
C	a	1,065(94.7)	Q	abc	929(82.6)
	-	60(5.3)		a	1(0.1)
K	a	62(5.5)	-	b	2(0.2)
	-	1,063(94.5)		c	40(3.5)
U	a	854(75.9)	-	-	153(13.6)
	-	271(24.1)			
Total			Total		1,125 (100)

Table 2. Frequencies of D blood groups in Thoroughbred horse

Genotype	No.(%) of horse	Genotype	No.(%) of horse
bcm/bcm	40(3.5)	cegm/dfk	11(1.0)
bcm/cgm	153(13.6)	cegm/dn	4(0.4)
bcm/dk	134(11.9)	cegm/dk	74(6.6)
bcm/de	7(0.6)	cegm/de	11(1.0)
bcm/cegm	64(5.7)	cegm/dghm	8(0.7)
bcm/dfk	13(1.2)	dk/dk	78(6.9)
bcm/dghm	6(0.5)	dk/dn	9(0.8)
bcm/dn	18(1.6)	dk/dfk	8(0.7)
cgm/cgm	98(8.7)	de/dk	12(1.1)
cgm/dk	190(16.9)	de/dghm	1(0.1)
cgm/dn	16(1.4)	de/dn	1(0.1)
cgm/dfk	13(1.2)	de/dfk	1(0.1)
cgm/de	13(1.2)	dghm/dk	16(1.4)
cgm/dghm	6(0.5)	dfk/dfk	6(0.5)
cegm/cegm	113(10.0)	dfk/dghm	1(0.1)
Total		1,125 (100)	

Table 3. Frequencies of blood protein polymorphisms in Thoroughbred horse

Locus Phenotype		No.(%) of horse	Locus Phenotype		No.(%) of horse	
ALB	AA	31(2.8)	TF	DD	97(8.6)	
	BB	762(67.7)		DF1	266(23.6)	
	AB	332(29.5)		F1F1	139(12.4)	
GC	FF	1,043(92.7)	F1R	F1R	62(5.5)	
	SS	82(7.3)		F1O	30(2.7)	
				F1H2	21(1.9)	
A1B	KK	1,120(99.6)	F2	F2	43(3.8)	
	FK	5(0.4)		F2R	22(2.0)	
ES	II	876(77.9)	F2O	F2O	25(2.2)	
		137(12.2)		F2H2	F2H2	18(1.6)
		3(0.2)			F1F2	121(10.7)
		90(8.0)			DF2	143(12.7)
		11(1.0)			DO	50(4.4)
		2(0.2)			DR	45(4.0)
6(0.5)	DH2	19(1.7)				
HB	B1B1	22(2.0)	RR	RR	6(0.5)	
	B2B2	828(73.6)		OO	2(0.2)	
	B1B2	275(24.4)		OR	12(1.1)	
PGD	FF	458(40.7)	H2H2	H2H2	1(0.1)	
	SS	156(13.9)		H2O	1(0.1)	
	FS	511(45.4)		H2R	2(0.2)	
Total			Total		1,125 (100)	

Table 4. Frequencies of blood protein polymorphism in Thoroughbred horse

Locus	Phenotype	No.(%) of horse	Locus	Phenotype	No.(%) of horse
PI	FI	1(0.1)	PI	LL	261(23.2)
	FU	14(1.2)		LN	239(21.2)
	FT	5(0.4)		LU	111(9.9)
	FL	28(2.5)		LS	40(3.6)
	FN	11(1.0)		LL2	10(0.9)
	FG	2(0.2)		LT	49(4.4)
	FF	1(0.1)		NT	30(2.7)
	FS	6(0.5)		NU	57(5.0)
	GU	3(0.3)		NN	51(4.5)
	GL	20(1.8)		NS	11(1.0)
	GT	3(0.3)		SU	8(0.7)
	GS	3(0.3)		TU	12(1.1)
	GN	14(1.2)		SS	2(0.2)
	GI	1(0.1)		ST	1(0.1)
	IL	59(5.2)		L2T	1(0.1)
	IU	18(1.6)		UU	19(1.7)
	IN	18(1.6)		IS	4(0.4)
II	8(0.7)	IT	4(0.4)		
Total		1,125 (100)			

B2B2 표현형이 828두(73.6%), PGD 좌위는 FS 표현형이 511두(45.4%)로 높은 빈도를 보였다.

적혈구항원형의 유전자 빈도

적혈구항원형의 유전자 빈도를 조사한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다. A 시스템은 Aaf(0.796), Ab(0.014), A-(0.190)로 3개의 대립유전자가 관찰되었고 이중 Aaf 대립유전자가 가장 높은 빈도를 보였다. C, K, U 시스템에서는 Ca 대립유전자(0.769), K-대립유전자(0.972)가 높은 빈도를 보였으며 Ua 대립유전자와 U- 대립유전자는 각각 0.509, 0.491로 비슷하게 관찰되었다. P 시스템은 Pa(0.193), Pb(0.097), P-(0.710) 대립유전자중 P- 대립유전자가 가장 높게 관찰되었으며 Q 시스템은 Qabc(0.565), Q-(0.368) 대립유전자가 높은 빈도를 보였고 D 시스템은 Dbcm, Dcgm, Dcegm, Ddk, Dde, Ddghm, Ddfk, Ddn 등 8종류의 대립유전자가 관찰되었다. 이들 중 Ddk (0.266), Dcgm(0.261), Dbcm(0.211), Dcegm(0.177) 대립유전자가 높은 빈도를 보였다.

혈액단백질형의 유전자 빈도

혈액단백질형의 유전자 빈도를 Table 6에서 나타낸 바와 같다. 혈액단백질형 8개 좌위에 대해서 유전자 빈도를 조사한 결과 HB^{B2}(0.858), PGD^F(0.634), ALB^B(0.825),

Table 5. Gene frequencies of blood groups in Thoroughbred horse

System	Allele	Gene frequency	System	Allele	Gene frequency
A	Aaf	0.796	D	Dbcm	0.211
	Ab	0.014		Dcgm	0.261
	A-	0.190		Dcegm	0.177
C	Ca	0.769	Ddk	Ddk	0.266
	C-	0.231		Dde	0.021
K	Ka	0.028	Ddghm	Ddghm	0.017
	K-	0.972		Ddfk	0.026
P	Pa	0.193	Ddn	Ddn	0.021
	Pb	0.097		U	Ua
Q	P-	0.710	U-	U-	0.491
	Qabc	0.565	Q	Qa	0.019
	Qb	0.002	Qc	Qc	0.046
	Q-	0.368			

Table 6. Gene frequencies of blood protein polymorphisms in Thoroughbred horse

Locus	Allele	Gene frequency	Locus	Allele	Gene frequency
HB	B1	0.141	TF	D	0.319
	B2	0.858		F1	0.346
PGD	F	0.634	F2	0.184	
	S	0.366	H2	0.028	
ALB	A	0.175	O	O	0.055
	B	0.825		R	0.068
GC	F	0.927	PI	F	0.031
	S	0.073		G	0.020
A1B	F	0.002	I	0.054	
	K	0.998	L	0.479	
ES	F	0.068	L2	0.005	
	I	0.881	S	0.034	
	S	0.050	T	0.047	
	L	0.001	U	0.116	
			N	0.214	

GC^F(0.927), A1B^K(0.998) 대립유전자가 높은 빈도로 관찰되었으며 ES 좌위는 ES^{F1,S,L} 4개의 대립유전자 중 ES^I (0.881)가 가장 높은 빈도를 보였다. 또 TF 좌위는 TF^{D,F1,F2,H2,O,R} 6개의 대립유전자중 TF^{F1}(0.346), TF^D (0.319), TF^{F2}(0.184)가 높은 빈도를 보였으며 PI 좌위는 PI^{FG,I,L2,S,T,U,N} 9개의 대립유전자중 PI^F(0.479), PI^N(0.214), PI^U(0.116) 대립유전자가 높은 빈도로 관찰되었다.

Heterozygosity, PIC, PE 분석

적혈구항원형 및 혈액단백질형의 유전자 빈도에 기초

Table 7. Heterozygosity, PIC value and PE of blood markers in Thoroughbred horse

System	Heterozygosity	PIC	PE
A	0.3301	0.2841	0.1473
C	0.3553	0.2922	0.1461
D	0.7834	0.7492	0.5740
K	0.0544	0.0530	0.0265
P	0.4492	0.4015	0.2317
Q	0.5427	0.3675	0.2613
U	0.4998	0.3749	0.1875
ALB	0.2888	0.2471	0.1235
A1B	0.0040	0.0040	0.0020
ES	0.2167	0.2056	0.1111
GC	0.1353	0.1262	0.0631
HB	0.2440	0.2147	0.1063
PI	0.7036	0.6707	0.4942
PGD	0.4641	0.3564	0.1782
TF	0.7362	0.6925	0.5040
Mean	0.3899	0.3375	0.9813

하여 heterozygosity, PIC, 그리고 PE를 분석한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다. 적혈구항원형의 heterozygosity와 PIC는 각각 0.0544~0.7834(평균 0.4307), 0.0530~0.7492(평균 0.3603)으로서 혈액단백질형 0.0040~0.7362(평균 0.3491), 0.0040~0.6925(평균 0.3147)보다 높게 나타났다. 또한 PE는 적혈구항원형 D 시스템(0.5740), 혈액단백질형 TF 좌위(0.5040), PI 좌위(0.4942) 순으로 높게 나타났으며 적혈구항원형과 혈액단백질형을 조합 시 0.9813으로 관찰되었다.

고 찰

국제적으로 더러브렛종을 포함한 말의 혈액형에 관해서는 많은 연구가 수행되었으나 국내에서는 이제 막 시작하는 단계로서 상당히 미진한 실정이다. 국내에서 말의 혈액형을 토대로 혈통등록에 이용한 것은 불과 몇년 전이며 근년에 들어 국내에서도 더러브렛종 말의 생산두수가 증가되고 말의 질과 가격이 높아지고 있는 경향으로서 정확한 친자확인이 요구되고 있다.

말의 적혈구항원형은 초기에는 동종 정상항체에 의존하였으나 1939년 Lehner가 처음으로 면역항체를 이용한 이래 현재는 동종 또는 이종면역 항체를 이용한 항원항체반응을 지표로 적혈구항원형을 검사한 후 멘델의 유전법칙에 준하여 친자확인에 응용하고 있다. Bowling과 Clark⁷는 7품종의 말을 대상으로 적혈구항원형의 유전자 빈도를 조사한 결과 Thoroughbred 종에서 A 시스템은

Aadf(0.849), Aadg(0.001), Ab(0.010), Ac(0.007), A-(0.134), C 시스템은 Ca(0.588), C-(0.412), D 시스템은 Ddk(0.326), Dd(0.022), Ddgh(0.063), Dde(0.031), Ddfk(0.031), Dbc(0.205), Dcg(0.214), Dcegi(0.107), K 시스템은 Ka(0.025), K-(0.975), P 시스템은 Pa(0.192), Pb(0.080), P-(0.728), Q 시스템은 Qabc(0.613), Qb(0.011), Qc(0.022), Q-(0.355), U 시스템은 Ua(0.094), U-(0.906) 등으로 대립유전자의 빈도를 보고하였고 조 등¹⁸은 제주마의 적혈구항원형의 유전자 빈도를 조사한 결과 적혈구항원형의 A 시스템은 Aa(0.285), Aab(0.091), Ab(0.128), Abc(0.041), Ac(0.169), A-(0.287), C 시스템은 Ca(0.827), C-(0.173), D 시스템은 Dad(0.102), Dadn(0.103), Dbcm(0.158), Dcefgm(0.007), Dcegimn(0.007), Dcgm(0.136), Dd(0.021), Ddek(0.007), Dde(0.191), Ddfk(0.014), Ddghm(0.226), Ddk(0.021), Ddn(0.007), K 시스템은 Ka(0.015), K-(0.985), P 시스템은 Pa(0.358), Pb(0.316), P-(0.326), Q 시스템은 Qabc(0.037), Qac(0.030), Qb(0.108), Qc(0.494), Q-(0.331), U 시스템은 Ua(0.471), U-(0.529) 등으로 대립유전자의 빈도를 보고한 바 있다.

가축의 혈액단백질 다형에 관한 연구는 1955년 Smithies가 전분 겔 전기영동법을 개발한 이래 혈청 및 혈구의 단백질과 효소의 유전적 다형에 대한 유전변이에 집중되고 있으며 그 연구결과는 집단의 유용한 genetic marker로서 이용되고 있다. 말에서의 혈액단백질형은 적혈구항원형과 더불어 번식등록과 혈통등록시 주로 개체식별 및 친자확인을 목적으로 이용되고 있다^{1,2}. Bowling과 Clark⁷는 7품종의 말을 대상으로 혈액단백질형의 유전자 빈도를 조사한 결과 Thoroughbred 종은 A1B^K(0.980), ALB^B(0.805), ES^L(0.905), GC^F(0.939), HB^{B2}(0.802), PGD^F(0.648), TF^D(0.320), PI^L(0.450) 대립유전자에서 높은 유전자 빈도를 보고하였으며 조 등¹⁹은 제주마의 혈액단백질형을 조사한 결과 A1B^K(0.986), ALB^B(0.616), AP^S(1.000), ES^L(0.479), ES^F(0.274), GC^F(0.938), GPI^L(0.856), HB^{B1}(0.685), PGD^F(0.993), PGM^S(0.753), TF^{F2}(0.404), TF^R(0.397) 대립유전자에서 높은 유전자 빈도를 보였고, A1B^F, PGM^V, AP^F, TF^{F1,F3,H1}, ES^S 대립유전자에서 유전자 빈도가 0.000으로 관찰되었다고 보고한 바 있다.

더러브렛 1,125두를 대상으로 적혈구항원형 및 혈액단백질형의 유전자 빈도를 조사한 본 연구에서는 적혈구항원형 Aaf(0.796), Ca(0.769), Ddk(0.266), Dcgm(0.261), Dbcm(0.211), K-(0.972), P-(0.710), Qabc(0.565), Q-(0.368), Ua(0.509) 대립유전자와 혈액단백질형 HB^{B2}(0.858), PGD^F(0.634), ALB^B(0.825), GC^F(0.927), A1B^K(0.998), ES^L(0.881), TF^{F1}(0.346), TF^D(0.319), TF^{F2}(0.184), PI^L(0.479), PI^N(0.214), PI^U(0.116) 대립유전자에서 높은

빈도로 관찰되어 Bowling과 Clark⁷이 보고한 성적과는 유사하였으나 조 등^{18,19}이 보고한 제주마의 혈액형 성적과는 다소 차이가 인정되었다. 말의 적혈구항원형 검사는 응집반응과 동시에 용혈반응이 필요하므로 용혈반응 시 필요한 보체의 제조와 역가저하에 따른 미약한 반응에 주의를 기울여야 하며 응집반응의 D 시스템 검사이 Dde, Ddn 대립유전자의 판독에 특히 유의하여야 할 것으로 사료된다.

적혈구항원형 및 혈액단백질형의 유전자 빈도에 기초하여 heterozygosity, PIC, 그리고 PE를 분석한 결과 heterozygosity와 PIC는 적혈구항원형 D 시스템에서 각각 0.7834, 0.7492, 혈액단백질형 TF(0.7362, 0.6925) 좌위와 PI(0.7036, 0.6707) 좌위에서 높게 관찰되어 유전적 다양성이 높은 것으로 확인되었으며 본 연구에서 평균 heterozygosity가 0.3899로 나타나 Bowling과 Ryder⁶가 보고한 더러브렛종의 평균 heterozygosity 0.3130 보다는 다소 높게 관찰되었다. 적혈구항원형과 혈액단백질형의 PE를 조합한 결과 0.9813로서 일본의 Kakoi *et al*²⁰이 조사한 microsatellite에 의한 PE 0.9999보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 다른 품종의 말에서 혈액형 검사시 heterozygosity, PIC, PE가 높은 필요한 좌위를 선택할 수 있는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 각국의 혈액형 감정기관에서 채택 예정인 microsatellite에 의한 유전자(DNA)형의 검사가 기존의 혈액형 검사보다는 더욱 정확한 친자확인 및 개체식별의 효율을 높일 수 있을 것으로 기대되어 기존의 혈액형 검사와 병행하여 검사중에 있으며 조만간 국내산 더러브렛 말의 친자확인 및 개체식별에 이용될 것으로 사료된다.

결 론

말의 개체식별 및 친자판정을 목적으로 더러브렛 말 1,125두에 대한 적혈구항원형 및 혈액단백질 다형의 표현형 분포와 유전자 빈도를 조사한 결과 다음과 같은 성적을 얻었다.

적혈구항원형 A, C, K, P, Q, U 시스템에서 표현형 Aaf (91.7%), Ca(94.7%), K-(94.5%), Ua(75.9%), P-(50.6%), Qabc(82.6%)에서 높은 분포를 나타냈으며 적혈구항원형 D 시스템의 유전자형은 Dcgm/dk(16.9%), Dbcm/cgm(13.6%), Dbcm/dk(11.9%), Dcegmn/cegmn(10.0%), Dcgm/cgm(8.7%) 순으로 높은 빈도의 유전자형이 관찰되었다. 혈액단백질 8개 좌위에서는 ALB-BB(67.7%), GC-FF(92.7%), A1B-KK(99.6%), ES-II(77.9%), TF-DF1(23.6%), PI-LL(23.2%), HB-B2B2(73.6%), PGD-FS(45.4%)에서 높은 표현형 분포를 보였으며, A1B-FK(0.4%), ES-II(0.2%)도 특이하게 관찰되었다.

적혈구항원형의 유전자 빈도를 조사한 결과 Aaf (0.796), Ca(0.769), Ddk(0.266), Dcgm(0.261), Dbcm (0.211), K-(0.972), P-(0.710), Qabc(0.565), Q-(0.368), Ua (0.509) 대립유전자에서 높은 빈도를 보였으며, 혈액단백질형의 유전자 빈도는 HB^{B2}(0.858), PGD^F(0.634), ALB^B (0.825), GC^F(0.927), A1B^K(0.998), ES^I(0.881), TF^{F1} (0.346), TF^D(0.319), TF^{F2}(0.184), PI^L(0.479), PI^N(0.214), PI^U(0.116)가 높은 빈도로 관찰되었다.

적혈구항원형의 heterozygosity와 PIC는 각각 0.0544~0.7834(평균 0.4307), 0.0530~0.7492(평균 0.3603)으로서 혈액단백질형 0.0040~0.7362(평균 0.3491), 0.0040~0.6925(평균 0.3147)보다 높게 나타났다. 또한 PE는 적혈구항원형 D 시스템(0.5740), 혈액단백질형 TF 좌위 (0.5040), PI 좌위(0.4942) 순으로 높게 나타났으며 적혈구항원형과 혈액단백질형을 조합시 0.9813으로 관찰되었다.

참 고 문 헌

- Miura N. Blood typing service in light-breed horses. *Jpn J Equine Sci*, 4:187-190, 1994.
- Bowling AT. Horse genetics. CAB International, 82-96, 1996.
- Bell K. The blood groups of domestic mammals. In Red blood cells of domestic mammals. Elsevier, Amsterdam, 133-164, 1983.
- Nicholas FW. Introduction to veterinary genetics. Oxford university press, 162-176, 1996.
- Ouragh L, Meriaux J-C, Braun J-P. Genetic blood markers in arabian, barb and arab-barb horses in Morocco. *Animal Genetics*, 25:45-47, 1994.
- Bowling AT, Ryder OA. Genetic studies of blood markers in przewalski's horses. *J. Heredity*, 78:75-80, 1987.
- Bowling AT, Clark RS. Blood group and protein polymorphism gene frequencies for seven breeds of horses in the United States. *Anim Blood Grps Biochem Genet*, 16:93-108, 1985.
- Stormont C, Suzuki Y, Rhode EA. Serology of horse blood groups. *Cornell Vet*, 54:439-452, 1964.
- Yokohama M, Watanabe Y, Gawahara H, *et al*. Horizontal polyacrylamide gel electrophoresis for equine serum protein types. *J Anim Genetics*, 15:22-27, 1987.
- Yokohama M, Mogi K. Detection of the Protease Inhibitor(Pi) Systems of the Light Breed Horses by Isoelectric Focusing. *Jpn J Zootech Sci*, 56(11):883-888, 1985.
- Yokohama M, Gawahara H, Mogi K. On the characterization of the α_1 -protease inhibitor(pi) types in light breed horses using microscale multisample two-dimensional electrophoresis. *Jpn J Zootech Sci*, 58(3):

- 253-258, 1987.
12. Yokohama M, Mogi K. Polymorphism of equine hemoglobin by the isoelectric focusing method. *Jpn J Zootech Sci*, 54(12):794-797, 1983.
 13. Sandberg K. Phosphohexose isomerase polymorphism in horse erythrocytes. *Anim Blood Grps Biochem Genet*, 4:79-82, 1973.
 14. Prichner F. Population genetics in animal breeding. Freeman Company, San Fransisco, 1983.
 15. Andersson L. The estimation of blood group gene frequencies: a note on the allocation methods. *Anim Blood Grps Biochem Genet*, 16:1-7, 1985.
 16. Jamieson A, Taylor St. CS. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion. *Animal Genetics*. 28:397-400, 1997.
 17. Botstein D, White RL, Skolnick M, *et al.* Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American J Human Genetics*, 32:182-190, 1980.
 18. 조길재, 김택수, 엄영호 등. 제주마의 혈액형에 관한 연구. I. 적혈구항원형. *Korean J Vet Res*, 39(6):1066-1072, 1999.
 19. 조길재, 김봉환, 이두식 등. 제주마의 혈액형에 관한 연구. II. 혈액단백질형. *Korean J Vet Res*, 40(2):283-290, 2000.
 20. Kakoi H, Nagata S, Kurosawa M. Microsatellite DNA testing for parentage verification of thoroughbreds. *Pros 27th ISAG Conf Anim Genet*, 90, 2000.