

Research Article

Comparative analysis of the heritability, estimated breeding value, and accuracy of carcass traits in Hanwoo from the Yeongnam Region, considering breeding area and climate effects, utilizing genomic information

Ji Yeong Kim¹, Eun Ho Kim¹, Ho Chan Kang¹, Cheol Hyun Myung¹ and Hyun Tae Lim^{1,2*}¹Department of Animal Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea²Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea*Corresponding author: s_hitim@gnu.ac.kr

ABSTRACT

Climate change is causing abnormal weather patterns worldwide. In Korea, local governments are characterized by various climatic conditions. Therefore, research integrating climate factors with Hanwoo is necessary. In this study, 562 Hanwoo were analyzed using Pedigree Best Linear Unbiased Prediction (PBLUP) and Genomic BLUP (GBLUP) models while considering climate factors such as temperature and humidity in the Yeongnam region. Carcass Weight (CWT) varied significantly in PBLUP depending on the model, while the heritability of Eye Muscle Area (EMA) and Back-Fat Thickness (BFT) decreased. However, the Marbling Score (MS) maintained high heritability across all models. GBLUP showed a slight decrease in the analysis model that considers breeding areas and climatic factors, yet still led to a high estimate of heritability for all traits. However, MS consistently had a heritability of 0.50 across all models. In PBLUP, the accuracy of the Estimated Breeding Value (EBV) increased by 0.15 for CWT (0.62–0.77) compared to Model 1. However, a decrease of 0.01–0.06 was observed for EMA (0.62–0.68) and BFT (0.53–0.58), while an increase of 0.01 was noted for MS (0.72–0.73). The accuracy of EBV using GBLUP was as follows: CWT (0.75–0.77), EMA (0.72–0.80), BFT (0.71–0.81), and MS (0.75). The accuracy of BFT significantly increased compared to PBLUP. For MS, it did not appear to be influenced by breeding area and climatic conditions. These results suggest the need for ongoing research on the relationship between Hanwoo carcass traits and climate effects, requiring additional test groups from various breeding areas.

Keywords: Hanwoo, Carcass trait, Climate effect, Heritability, Estimated breeding value

INTRODUCTION

육용우인 한우는 우리나라의 주요 축산물 중 하나로 농가소득 및 국민의 먹거리 품질 향상을 위해 도체형질에 대한 생산력 증대는 필수적이다. 1960년대부터 시작된 한우의 육질, 육량 개량은 매년 유전 능력이 우수한 보증씨수소를 선발하여 정액을 보급하는 형태로 2022년 육질 1등급 이상 출현율 75.2%, 육량 A, B 등급 이상 출현율 79.0%로 성공적으로 이루어졌다(KAPE, 2022). 허나, 전세계적으로 기후변화가 도래함에 따라 이상기후가 발생하고 있으며(Zhou et al., 2023), 우리나라의 경우 지자체 별 다른 기후 특성을 나타내고 있어 이전보다 개량 성과가 낮아질 수 있다(Moon et al., 2020). 따라서, 기존에 사용하던 환경 효과가 아닌 여러 환경 효과를 고려한 유전능력평가 모델이 필요하지만, 한우에 있어서 사육 지역의 기후 변화에 따른 환경 효과와 유전체를 접목시킨 선행연구는 부족하다.

Received March 05, 2024

Revised March 26, 2024

Accepted March 29, 2024

Copyright © 2024 Journal of Animal Breeding and Genomics.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

우리나라는 삼면이 바다, 70%가 산악으로 이루어져 있으며, 기상 및 기후는 지리적 위치, 지형, 주변 환경 등에 따라 경향이 달라진다(NGII, 2008). 지구 전체의 기후변화가 도래함에 따라 1912년부터 2017년까지 우리나라의 연 평균 기온은 1.9°C 상승하였고(NIMS, 2018), 장기간의 가뭄, 장마, 홍수의 피해가 나타나는 기후 변동을 겪고있다(Han, 2020; ME, 2020). 기후변화는 계절과 절기의 변화를 초래하고 농업, 산업, 인간의 생활 등에 영향을 끼친다(Oh et al., 2022). 2016년의 여름철 폭염은 가축 약 44만마리가 폐사하는 피해가 발생하였고(MAFRA, 2017), 그에 따라 2017년 가축사육 기상정보시스템(<https://chuksaro.nias.go.kr/lwis/tpldindex.do>)을 구축하여, 폭염예방관리에 도움을 주고 있으나 우리나라의 일 최고기온 극 값은 2024~2029년에 과거 대비 2.5~3°C 상승하고, 폭염 또한 빈번해질 것으로 전망되고 있다(Park and Choi, 2020). 우리나라의 급격한 기후변화는 식생과 서식지 변화에 영향을 주며, 동일한 행정구역 내에서도 기후가 다른 특성을 보이고, 특히, 내륙지역과 해안, 도서지역의 차이가 뚜렷하다(Yu, 2022; Kim et al., 2023). 이에 대응하여 기후변화를 일으키는 온실가스의 저감, 축종별 더위에 따른 생리적 변화 확인 등의 연구가 활발히 진행되고 있으나(Lee et al., 2010; Baek et al., 2019; Woo et al., 2024), 한우와 접목한 연구가 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구는 한우의 사육 지역에 따른 기후 효과가 도체형질의 유전력 및 육종가(EBV, Estimated Breeding Value) 추정에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하고자 실시하였으며, 추정 통계 모델을 혈통정보와 표현형정보를 이용한 Pedigree Best Linear Unbiased Prediction (PBLUP)과 유전체정보와 표현형정보를 활용한 Genomic BLUP (GBLUP)으로 구분하여 비교 분석하고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

검정 집단 및 표현형정보

2015년부터 2022년까지 수정란 유래 방법으로 생산된 개체 중 영남지방에서 사육되었으며, 도축이 완료되고 혈통정보와 표현형 정보에 이상이 없는 개체만 선발한 결과, 최종적으로 562두를 검정집단으로 지정하였다. 검정 집단은 암소 75두, 거세우 471두, 수소 16두로, 계절은 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 그룹화해 검정 집단의 출생 년도와 계절, 도축 년도와 계절에 대한 분포를 Table 1에 나타내었다. 혈통정보는 (사)한국종축개량협회에서 개체이력번호를 조회하여 3대까지 역추적한 후 가계도를 구축하였다. 분석의 용이성을 위해 animal, sire 및 dam으로 정렬하였고, excel 2016을 이용하여 중복된 개체, 개체 정보가 불일치한 개체를 찾아 수정 및 삭제하였다. 그 결과, 검정 집단은 40개의 가계도를 완성하여 분석에 사용하였다.

분석에 사용된 표현형정보는 도체중(CWT, Carcass Weight), 등심단면적(EMA, Eye Muscle Area), 등지방두께(BFT, Back-Fat Thickness), 근내지방도(MS, Marbling Score)이며, 측정방법은 농림축산식품부에서 고시한 제2018-109호 축산물등급판정 세부 기준에 따라 도축 후 24시간 냉장 후 측정되었다. CWT는 좌우 냉도체 중량의 합으로 측정하였고, EMA는 좌우 흉추와 제 1요추 사이를 척추골과 직각으로 절개하여 최후 흉추 쪽의 면적을 면적자로 측정하였다. BFT는 EMA의 오른쪽 면을 따라 복부 쪽으로 3분의 2 들 어간 지점의 등지방을 측정하였으며, MS는 EMA에 나타난 지방분포도에 따라 육안으로 측정하였다.

Table 1. Distribution of fixed effects in the test group

Area	N	B year	N	B season	N	S year	N	S season	N	Sex	N
Yeongnam	562	2011	2	Spring	282	2015	8	Spring	129	Cow	75
		2013	25	Summer	139	2016	42	Summer	108	Steer	471
		2014	79	Autumn	56	2017	73	Autumn	161	Bull	16
		2015	79	Winter	85	2018	86	Winter	164		
		2016	85			2019	110				
		2017	122			2020	119				
		2018	84			2021	79				
		2019	77			2022	36				
		2020	9			2023	9				

N, total sample size; B year, Birth year; B season, Birth season; S year, Slaughter year; S season, Slaughter season

사육 지역의 기후 효과 k-means 클러스터링

각 개체의 사육 지역 기후 효과는 평균온도(T1, mean temperature), 최고온도(T2, maximum temperature), 최저온도(T3, minimum temperature), 상대습도(H, relative humidity)는 기상청의 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)에서 조회하여 수집하였고, 온습도지수(THI, Temperature Humidity Index)는 아래의 식으로 계산하였다.

$$THI = 1.8 \times T1 + 32 - 0.55(1 - H / 100) \times (1.8 \times T1 - 26)$$

수집된 정보는 각 개체의 출생 년도와 계절부터 도축 년도와 계절까지의 사육기간동안의 모든 기후 정보의 평균을 계산하였고, R의 factoextra 패키지의 Elbow method를 활용하여 군집내 총 제곱합(WSS, Within cluster Sum of Squares)으로 elbow point 지점을 찾고, 최적군집수를 설정하였다(Fig. 1 and Table 2).

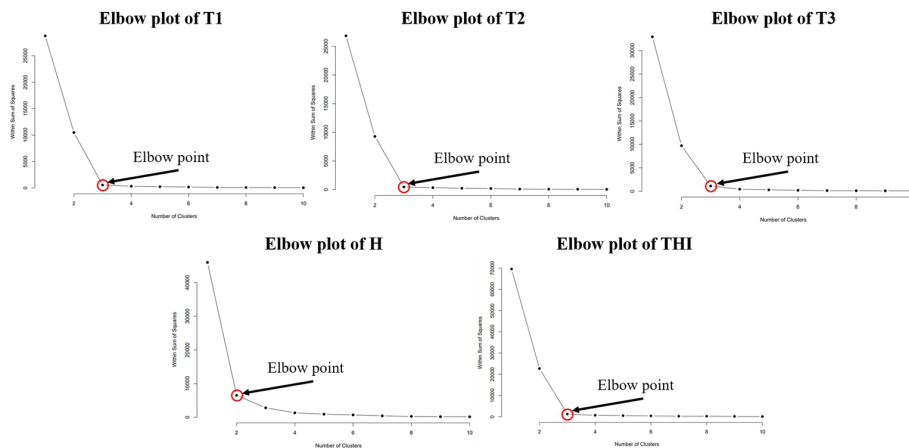


Figure 1. Climate effect K-Means clustering results by elbow method. T1, mean temperature; T2, maximum temperature; T3, minimum temperature; H, relative humidity; THI, temperature humidity index

Table 2. Result of Climate effect k-means clustering

K	T1 (°C)	N	T2 (°C)	N	T3 (°C)	N	H (%)	N	THI	N
1	-0.8~3.4	85	4.7~9.7	85	-5.9~1.4	85	61.3~73.3	343	35.2~41.8	85
2	11.5~15.9	338	18.3~21.6	338	5.0~11.9	338	75.7~87.3	219	53.8~60.6	338
3	23.2~25.6	139	28.0~31.0	139	18.8~21.3	139			72.2~76.6	139

N, total sample size; T1, mean temperature; T2, maximum temperature; T3, minimum temperature; H, relative humidity; THI, temperature humidity index

Pedigree BLUP EBV 추정

Pedigree BLUP (PBLUP)은 3대까지 구축한 가계도를 통해 개체 간의 혈연관계도(NRM, Numeric Relationship Matrix)를 구축하였고, BLUPF90 program (Misztal et al., 2018)을 이용하여 형질별 혈통육종가(PEBV, Pedigree Estimated Breeding Value), 예측오차편차(PEV, Prediction Error Variance), 유전모수를 추정하였다. 분석에 사용된 고정효과로는 Table 3에 나타난 모델을 통해 혼합방정식을 각각 지정하여 분석하였다. 방정식은 아래와 같다.

$$y = X\beta + Z\mu + e$$

$$\text{Var}\left(\begin{matrix} u \\ e \end{matrix}\right) = \begin{pmatrix} A\sigma_u^2 & 0 \\ 0 & I\sigma_e^2 \end{pmatrix}$$

y 는 관측된 형질의 값을 나타내고, β 는 고정효과, μ 는 임의효과, e 는 임의오차의 벡터이다. X 와 Z 는 각각 고정효과와 임의효과의 빈도행렬이며, $E(y) = X\beta$, $\text{Var}(u) = G = A\sigma_a^2$, $\text{Cov}(\mu, e) = 0$ 으로 가정하여 $\text{Var}(y) = V = ZGZ' + R$ 가 된다. 여기서, A 는 NRM이고 σ_a^2 는 상가적 유전분산, σ_e^2 는 임의 환경분산이다. 유전력은 σ_a^2 / σ_p^2 로 계산하였으며, h^2 는 유전력, $\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_e^2$ 이다.

고정효과에 따른 모델의 적합도 평가는 Akaike Information Criterion (AIC)를 활용하여 아래의 식을 이용하여 산출하였다(Vrieze et al., 2012).

$$AIC = -2l_y(\hat{\tau}) + 2k$$

여기서, $\hat{\tau}$ 는 최적화된 모델 변수이고, $l_y(\hat{\tau})$ 주어진 자료의 변수에 대한 log likelihood로 모델의 적합도를 의미하고, k 는 추정된 모델 변수의 총 개수이다.

Table 3. AIC value comparison to select fixed effects for carcass traits

Factors	CWT	EMA	BFT	MS
Model 1: Y=CG + Sex + Age + e	6241.74	4540.95	3280.84	2374.20
Model 2: Y=CG + Sex + Age + Breeding Area + e	6218.62	4527.75	3278.76	2375.17
Model 3: Y=CG + Sex + Age + Breeding Area + T1 + e	6220.43	4529.74	3279.32	2376.01
Model 4: Y=CG + Sex + Age + Breeding Area + T1 + T2 + T3 + e	6222.05	4529.15	3281.25	2377.06
Model 5: Y=CG + Sex + Age + Breeding Area + H + e	6219.89	4529.20	3280.19	2377.17
Model 6: Y=CG + Sex + Age + Breeding Area + THI + e	6220.13	4527.39	3280.49	2376.68
Model 7: Y=CG + Sex + Age + Breeding Area + T1 + T2 + T3 + H + THI + e	6223.59	4530.71	3281.81	2377.72

Seven linear models were compared to select fixed effects using Akaike information criterion (AIC); Y indicates each trait, and CG (contemporary group; birth year, birth season), sex, and age were included in all models. T1, mean temperature; T2, maximum temperature; T3, minimum temperature; H, relative humidity; THI, temperature humidity index; CWT, carcass weight; EMA, eye-muscle area; BFT, back-fat thickness; MS, marbling score

Genomic BLUP EBV 추정

유전체정보는 모근, 조직, 혈액에서 추출한 genomic DNA를 확보하였고, Bovine SNP50K BeadChip v3과 Hanwoo SNP50K BeadChip v1 (Illumina, SanDiego, CA, USA)을 사용하여 각 53,218개, 53,866개의 SNP 유전자형을 수집하였다. Marker 선발을 위해 Quality Control은 Plink v1.9 program (Purcell et al., 2007)을 사용하여 상염색체 중 Minor Allele Frequency (MAF)가 5% 미만인 4,057개, missing Genotype (geno)은 10% 초과인 12,840개, Hardy-Weinberg Equilibrium (HWE)은 10^{-6} 이하인 4,424개의 SNP marker를 제거하여 총 37,468개의 마커를 선발하여 유전체육종가(GEBV, Genomic Estimated Breeding Value) 추정에 사용하였다.

Genomic BLUP (GBLUP)은 PBLUP과 동일한 고정 효과를 사용하였으며, PBLUP의 A 대신 혈통 및 유전체정보를 기반으로 구축된 G행렬을 적용시켜 GEBV를 추정하였다. G는 아래의 관계식을 사용하여 구축하였다.

$$G = \frac{ZZ'}{2 \sum p_j(1 - p_j)}$$

여기서, $Z = M \cdot P$ 이며, M 은 n (개체의 수) $\times$ m (SNP의 수)로 동형접합체, 이형접합체 및 대체동형접합체를 각각 -1, 0, 1로 변환시킨 수이다. j 번째 유전자좌위 두 번째 대립유전자의 빈도를 p_j 라고 하고, p 행렬의 j 번째 열을 $2(p_j - 0.5)$ 로 정의하면 p 는 0을 평균으로 갖는 기대유전자형에 대한 빈도의 값이 된다.

정확도 추정

PBLUP과 GBLUP을 통해 추정된 PEV를 아래와 같은 방정식을 사용하여 육종가의 정확도를 추정하였다.

$$\text{Acc} = \sqrt{1 - (PEV / \sigma_a^2)}$$

여기서, Acc는 추정된 육종가의 정확도, PEV는 추정된 육종가의 예측오차분산, σ_a^2 는 상가적 유전분산이다. PEV는 개체마다 추정된 육종가의 오류 편차 범위로 각 분석 방법의 혼합모형방정식에 대한 역좌변의 대각선 요소이며, BLUPF90에서 Solution의 SE로 나타난다.

RESULTS AND DISCUSSION

표현형정보 분석

검정 집단의 도체형질 기초 통계량은 CWT 482.57 ± 69.68 kg, EMA 103.36 ± 14.53 cm², BFT 12.57 ± 4.57 mm, MS 6.56 ± 2.03 점으 로(Table 4), Lopez et al. (2021)은 대부분 거세우로 구성된 한우 16,892두의 경우, CWT 441.06 ± 52.31 kg, EMA 95.61 ± 12.06 cm², BFT 14.25 ± 5.03 mm, MS 6.10 ± 1.87 점으로 보고하였고, Alam et al. (2023)은 한우 9,302두에 있어서 CWT 430.46 ± 61.08 kg, EMA 94.16 ± 13.24 cm², BFT 14.09 ± 5.13 mm, MS 5.83 ± 2.09 점으로 보고 한 바 있어 본 연구의 검정 집단은 선행 연구에 비해 다소 우수한 도체 성 적을 나타내며, 분석에 활용하기 적합하다고 판단된다. 본 연구의 BFT와 MS가 타 형질에 비해 변동 계수(CV, Coefficient of Variation)가 두배 이상 높게 확인되는데, 이는 한우의 선행연구에서 확인된 것과 유사하다(Alam et al., 2021; Mehrban et al., 2021).

Table 4. Test group carcass trait statistics

Trait	N	Mean	Min	Max	SD	CV (%)
CWT (kg)	562	482.57	263	691	69.68	14.44%
EMA (cm ²)	562	103.36	62	146	14.53	14.06%
BFT (mm)	562	12.57	2	25	4.57	36.37%
MS (1~9)	562	6.56	1	9	2.03	31.01%

N, total sample size; Min, minimum value; Max, maximum value; SD, standard deviation; CV, coefficient of variation; CWT, carcass weight; EMA, eye-muscle area; BFT, back-fat thickness; MS, marbling score

분석 모델 설정

우리나라와 같이 면적이 좁고 복잡한 지형의 기상 현상은 지리적으로 인접한 지역 또한 다른 기후 효과 및 변화를 가지고 있는 특 성을 나타낸다(Kim et al., 2016). 개체 별 사육기간동안의 모든 기후 효과를 K-means 클러스터링한 결과, T1, T2, T3, THI의 최적 K 값은 3, H의 최적 K 값은 2로 구분되었으며(Fig. 1 and Table 4), 구분된 기후 효과를 각 모델의 고정 효과에 추가하여 기후 효과에 따 른 모델의 AIC 값을 비교한 것을 Table 3에 나타내었고, model 1을 기준으로 사육 지역 및 기후 효과를 추가하여 총 7개의 분석 모델 을 설정하였다. AIC 값은 낮을수록 선행 혼합 모델에 적합함을 의미하는데, 각 형질 별 적합한 모델은 CWT의 경우 model 2, EMA는 model 6, BFT는 model 2, MS는 model 1에서 가장 낮은 값으로 각 사육 지역 및 기후 효과를 고려한 모델이 CWT, EMA, BFT의 형질 에서는 더욱 적합한것으로 확인된다.

유전력, 육종가 정확도 비교

혈통정보 및 유전체정보를 이용한 각 분석 모델에 따른 유전력 추정 결과를 Table 5에 나타내었다. PBLUP의 CWT는 모델에 따라 0.35~0.59로 편차가 큰 것으로 확인되며, EMA와 BFT는 model 6과 7에서 타 모델에 비해 0.35, 0.21로 낮게 추정되었고, MS는 model 1의 0.57과 2~7의 0.58은 0.01의 차이로 미미했지만 고도의 유전력이 추정되었다. GBLUP의 경우, 사육 지역과 기후 효과를 고려하 지 않은 model 1에 비해 CWT, EMA, BFT의 유전력이 다소 감소하는 경향을 보이거나 차이가 크지 않은 것으로 확인되며, MS는 동일 하게 추정되었다. Hapue et al. (2023)은 한우 암소 1,103두를 대상으로 CWT, EMA, BFT, MS의 유전력은 0.37, 0.35, 0.27, 0.45이고, 한 우에서 MS의 유전력은 타 형질보다 강하다고 보고한 반면, Lee and Yoon (2021)은 한우 거세우 8,027두의 유전력은 0.52, 0.39, 0.39, 0.47로 보고한 바 있다. 본 연구의 GBLUP에서는 모든 형질에서 대체로 비슷한 0.42~0.50의 고도의 유전력을 가지며, 같은 혈연을 가 진 개체의 유전체 변이가 추가됨에 따라 PBLUP과 GBLUP의 유전력 추정 결과가 상이하게 나타났다.

Table 5. Comparison of PBLUP and GBLUP heritability by analysis model

Type	Analysis model	PBLUP				GBLUP			
		CWT	EMA	BFT	MS	CWT	EMA	BFT	MS
Heritability	Model 1	0.35	0.46	0.28	0.57	0.50	0.46	0.42	0.50
	Model 2	0.41	0.45	0.28	0.58	0.48	0.44	0.42	0.50
	Model 3	0.41	0.45	0.28	0.58	0.48	0.44	0.42	0.50
	Model 4	0.59	0.45	0.28	0.58	0.48	0.44	0.42	0.50
	Model 5	0.59	0.45	0.28	0.58	0.48	0.44	0.42	0.50
	Model 6	0.52	0.35	0.21	0.58	0.46	0.42	0.40	0.50
	Model 7	0.52	0.35	0.21	0.58	0.46	0.42	0.40	0.50

PBLUP, best linear unbiased prediction using pedigree; GBLUP, best linear unbiased prediction using genotype; CWT, carcass weight; EMA, eye-muscle area; BFT, back-fat thickness; MS, marbling score

각 도체형질의 육종가와 정확도 추정 결과를 모델과 분석방법에 따라 비교하여 Table 6에 나타내었다. PEBV의 정확도를 살펴보면, 사육 지역과 기후 효과를 고려하지 않은 model 1보다 정확도가 높은 것은 CWT와 MS로 CWT는 model 3에서 0.77로 가장 정확도가 높았으며, MS는 model 2~7 모두 0.73으로 추정되었다. 또한, EMA와 BFT는 model 6, 7에서 가장 낮은 정확도인 0.62와 0.53으로 확인되었으며, GEBV 정확도 추정의 경우 model 6, 7에서 CWT 0.77, EMA 0.80, BFT 0.81로 정확도가 가장 높게 추정되었고, MS는 모델 별 차이를 나타내지 않았다. GEBV의 정확도는 model 1에 비해 CWT, EMA, BFT 형질에서 향상되었으나, 마찬가지로 MS는 모델에 따른 영향을 받지 않는다고 판단된다. 한우 도체형질 육종가는 Lopez et al. (2019)은 10,215두(거세우 9,856두)를 대상으로 PBLUP의 경우, CWT 0.49, EMA 0.40, BFT 0.37, MS 0.37로 GBLUP의 경우에 CWT 0.74, EMA 0.67, BFT 0.62, MS 0.65로 보고하였고, 한우 암소 481두를 대상으로 한 Lee et al. (2023)은 PBLUP의 결과, CWT 0.434, EMA 0.445, BFT 0.435, MS 0.43, GBLUP은 CWT 0.634, EMA 0.659, BFT 0.619, MS 0.627로 보고한 바 있다. 본 연구에서 추정된 정확도가 선행 연구에 비해 높게 나타났으나 이는 검정 집단 및 개체수의 차이, 높은 유전력에 기인한 결과로 판단된다(Nwogwugwu et al., 2020). 유전체정보를 바탕으로 혈연관계를 계산하는 GBLUP의 경우, 육종가 및 정확도가 향상되었고, 사육 지역 및 그에 따른 기후 효과는 PBLUP에서 CWT 육종가 정확도 향상에 기여하였으며, GBLUP에서 CWT, EMA, BFT의 형질에 향상되는 경향을 보였다. 그러나 MS의 경우 모델 및 추정 방법에 따른 유전력과 육종가 정확도에 차이를 보이지 않았는데, 이는 Piao and Baik (2015)의 MS는 기후 효과와 관련이 없음을 나타낸 연구와 동일하다. 또한, 평창 지역 출하우를 대상으로 한 Dang et al. (2013)의 연구에서 계절 효과는 통계적 유의차를 보이지 않은 바 있고, Gaughan et al. (2010)의 연구에 따르면, 사육장의 그늘 유무에 따른 기후 효과에 있어서 MS 점수에 유의적인 차이가 없어 MS는 기후 효과보다는 사양 관리 등의 다른 요인에 더욱 영향을 받는다고 사료되나(Greenwood et al., 2015), 추가적으로 분석 집단을 수집하여 기후 효과에 따른 MS 육종가 정확도의 변화를 비교 분석할 필요가 있다 판단된다.

Table 6. EBV and accuracy estimated by PBLUP and GBLUP

Analysis model	PBLUP								GBLUP							
	CWT		EMA		BFT		MS		CWT		EMA		BFT		MS	
	EBV (kg)	Acc	EBV (cm ²)	Acc	EBV (mm)	Acc	EBV (1~9)	Acc	EBV (kg)	Acc	EBV (cm ²)	Acc	EBV (mm)	Acc	EBV (1~9)	Acc
Model 1	-4.45	0.62	-0.80	0.68	-0.51	0.58	0.06	0.72	10.25	0.75	2.33	0.77	-0.25	0.80	0.31	0.75
Model 2	-4.33	0.65	-0.70	0.67	-0.50	0.58	0.06	0.73	10.27	0.76	2.34	0.79	-0.25	0.80	0.31	0.75
Model 3	-4.33	0.77	-0.70	0.67	-0.50	0.58	0.06	0.73	10.27	0.76	2.34	0.79	-0.25	0.71	0.31	0.75
Model 4	-5.24	0.73	-0.70	0.67	-0.50	0.58	0.06	0.73	10.27	0.76	2.34	0.79	-0.25	0.80	0.31	0.75
Model 5	-5.24	0.73	-0.70	0.67	-0.50	0.58	0.06	0.73	10.27	0.76	2.34	0.72	-0.25	0.80	0.31	0.75
Model 6	-4.66	0.70	-0.54	0.62	-0.44	0.53	0.06	0.73	10.26	0.77	2.32	0.80	-0.25	0.81	0.31	0.75
Model 7	-4.66	0.70	-0.54	0.62	-0.44	0.53	0.06	0.73	10.26	0.77	2.32	0.80	-0.25	0.81	0.31	0.75

PBLUP, best linear unbiased prediction using pedigree; GBLUP, best linear unbiased prediction using genotype; Acc, accuracy; CWT, carcass weight; EMA, eye-muscle area; BFT, back-fat thickness; MS, marbling score

앞선 유전력과 정확도 비교 분석 결과, GBLUP의 결과가 PBLUP에 비해 더욱 높게 나타난 것은 혈연관계를 산정하는 방식의 차이로, PBLUP은 Identical By Descent (IBD) 이론을 바탕으로 혈통정보를 활용해 동일한 부모를 가질 경우 0.5의 고정된 혈연 계수를 추정하지만, 유전체정보를 활용하는 GBLUP은 각 개체가 공유하고 있는 유전자 빈도를 바탕으로 혈연 계수를 추정한다. 즉, PBLUP은 전형매, 반형매, 사촌 관계 등에 따라 고정된 혈연 계수를 가지지만, 유전체정보를 이용한 GBLUP은 멘델리안 샘플링의 효과를 고려한 보다 정확한 유전모수의 추정이 가능하고, 각 개체가 가지고 있는 공통 SNP의 유전자형 정보의 유전적 유사도를 이용한 혈연 계수를 사용해 육종가를 추정하기 때문에 향상된 것으로 사료된다(Visscher et al., 2006; Lee et al., 2022).

Lee et al. (2018)에 따르면, 한우 거세우에 있어서 CWT의 경우 겨울(12~2월)의 기온 변수와 상관관계가 있으며, 월 평균기온이 1°C 상승할 경우, 2.736 kg 증가하는 것으로 분석되나 여름(6~8월)의 경우 영향이 없다 보고한 바 있다. Lee and Lee (2020)는 습도 10%의 증가는 한우 생산량의 5.7% 감소, 강수량 10% 증가는 생산량의 1.7% 증가되는 것으로 기후가 한우의 생산성에 영향을 미침을 보고한 바 있다. 기후변화는 모든 산업에 영향을 끼치지만 농업에 대한 영향이 가장 클 것으로 전망되어, 다양한 식생의 분포 변화에 대한 연구가 진행되고 있다(Kong et al., 2012; Park et al., 2016). 또한, 우리나라의 기후는 연평균기온이 계속해서 증가하고 있는 추세로, 사육 지역에 따른 개체간의 영향에 대한 연구가 필수적이라고 사료된다. 따라서, 축산업에서도 한우의 개량 효과 증진을 위해 기후 효과와 유전체정보를 접목한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

CONCLUSION

지구온난화로 인해 우리나라의 절기와 계절의 변화가 나타나고 있으며, 지역 별로 다른 기후 특성을 가진다. 이에 따라 본 연구는 사육 지역에 따른 한우 도체형질의 유전력과 육종가를 추정하고 정확도를 비교하기 위해 실시되었다. 유전력 추정 결과, Pedigree Best Linear Unbiased Prediction (PBLUP)의 Carcass Weight (CWT)는 모델에 따라 0.35~0.59로 편차가 크고, Eye Muscle Area (EMA)와 Back-Fat Thickness (BFT)는 타 모델에 비해 온습도지수를 고려한 모델(model 6)과 모든 기후 효과를 고려한 모델(model 7)에서 0.35, 0.21로 낮게 추정되었으나 Marbling Score (MS)는 고도의 유전력이 확인되었다. Genomic BLUP (GBLUP)의 경우, 모든 도체형질에서 0.40~0.50으로 고도의 유전력이 추정되었고, 추정 Estimated Breeding Value (EBV)의 정확도는 Pedigree EBV (PEBV)는 CWT (0.62~0.77)가 사육 지역과 기후 효과를 고려한 모델이 그렇지 않은 모델에 비해 0.01~0.15 상승하였으나, EMA와 BFT에서는 0.01~0.06의 감소와 MS에서 0.01의 증가를 확인하였다. Genomic EBV (GEBV)의 정확도는 모든 형질에서 0.71이상의 정확도를 나타내고, 특히, BFT의 정확도가 PEBV에 비해 크게 향상되었으나, MS의 경우 사육 지역 및 기후 효과에 영향을 받지 않는 것으로 확인된다. PBLUP은 혈통정보를 토대로 고정된 혈연계수를 가지지만, 유전체정보는 각 개체의 멘델리안 샘플링을 고려한 각각의 혈연 계수를 추정하므로 GBLUP의 정확도가 증가된 것으로 나타났다. 따라서, 사육 지역과 기후 효과를 고려할 경우 PEBV의 CWT에 영향을 미치며, PEBV와 GEBV의 추정에 MS는 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. GEBV는 CWT, EMA, BFT의 형질에 기후 효과를 고려할 경우 증가하는 경향을 보였으나, 추가적으로 사육 지역 및 검정 집단을 확보하여 연구할 필요가 있을 것으로 사료된다. 본 연구는 기후 변수를 활용한 유전체분석에 있어 기초자료로서 활용 가능할 것으로 기대된다.

CONFLICT OF INTERESTS

No potential conflict of interest relevant to this article is reported.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 농촌진흥청(Rural Development Administration) 공동연구사업(과제번호: PJ0162182021)의 지원에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Alam MZ, Haque MA, Iqbal A, Lee YM, Ha JJ, Jin S, Park BH, Kim NY, Won JI, Kim JJ. 2023. Genome-Wide Association Study to Identify QTL for Carcass Traits in Korean Hanwoo Cattle. *Animals*. 13: 2737.
- Alam M, Lee SH, Lee DH, Cho C, Park MN. 2021. Genetic Analysis of Major Carcass Traits of Korean Hanwoo Males Raised for Thirty Months. *Animals* 11(6):1792.
- Baek YC, Kim M, J JY, Oh YK, Lee SD, Lee YK, Ji SY, Choi H. 2019. Effects of short-term acute heat stress on physiological responses and heat shock proteins of Hanwoo steer (Korean cattle). *Journal of Animal Reproduction and Biotechnology* 34(3):173-182.
- Dang CG, Kim HC, Jang SS, Lee JM, Hong YH, Jeon GJ, Yeon SH, Kang HS, Yang BS, Hong SK, Lee JH, Lee SH. 2013. Estimation of genetic parameter for carcass traits of commercial steers in Pyeongchang. *Korean Journal of Agricultural Science* 40(4):339-345. [In Korean]
- Gaughan JB, Bonner S, Loxton I, Mader TL, Lisle A, Lawrence R. 2010. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers, *Journal of Animal Science*. 88(12):4056-4067.
- Greenwood PL, Siddell JP, Walmsley BJ, Geesink GH, Pethick DW, McPhee MJ. 2015. Postweaning substitution of grazed forage with a high-energy concentrate has variable long-term effects on subcutaneous fat and marbling in *Bos taurus* genotypes. *Journal of Animal Science*. 93(8):4132-4143.
- Han DG. 2020. Economic Impacts of Flood Disaster by Climate Change on Industry and Selection of Structural Measures for Flood Prevention in the Basin Using Economic Analysis. Unpublished doctoral dissertation, Inha university, Incheon, Korea. [In Korean]
- Haque MA, Iqbal A, Alam M, Lee YM, Ha JJ, Kim JJ. 2023. Estimation of genetic correlations and genomic prediction accuracy for reproductive and carcass traits in Hanwoo cows. *Journal of Animal Science and Technology*. 2672-0191. (equb)
- KAPE (Korea Institute of Animal Products Quality Evaluation). 2023. Statistical Yearbook for Livestock product grade determination in 2022. KAPE, Sejong, Korea. [In Korean]
- Kim CW, Kim JW, Hong MN, Song CH, Lee WK. 2023. Prediction of the Future Distribution of Tree Species Based on the Representative Concentration Pathways (RCP) and Shared Socioeconomic Pathways (SSP) Climate Change Scenarios in Korea. *Journal of Climate Change Research* 14(2):119-134. [In Korean]
- Kim YS, Shim KM, Jung MP, Choi IT, Kang KK. 2016. Classification of Agroclimatic Zones Considering the Topography Characteristics in South Korea. *Journal of Climate Change Research* 7(4):507-512. [In Korean]
- Kong WS, Lee SG, Park HN, Yu JA. 2012. Ecosystem Vulnerability Assessment of Local Government Due to Climate Change. *Journal of Climate Change Research* 3(1):51-69. [In Korean]
- Lee DH, Lee ST. 2020. Analysis of the Effects of Climate Change on Livestock Products. *The Journal of Policy Development* 20(2):123-152. [In Korean]
- Lee DJ, Yoon DH. 2021. Estimation of genetic parameters and analysis of environmental effects on carcass traits of the Hanwoo brand steer. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 5(3):113-123. [In Korean]
- Lee DJ, Lee SH, Yoon DH. 2022. A comparative study of estimated breeding values with Hanwoo cow using genetic evaluation models. *Journal of Animal Breeding and Genomics*. 6(4): 241-252. [In Korean]
- Lee HK, Park HM, Shin YK. 2018. Effects of Impact of Climate Change on Livestock Productivity - For bullocks, dairy, pigs, laying hens, and broilers -. *Journal of Practical Agriculture & Fisheries Research* 20(1):107-123.
- Lee HS, Kim YK, Lee DH, Seo DW, Lee DJ, Do CH, Dinh PTN, Ekanayake W, Lee KH, Yoon DH, Lee SH, Koo YM. 2023. Comparison of accuracy of breeding value for cow from three methods in Hanwoo (Korean cattle) population. *Journal of Animal Science and Technology* 65(4):720-734.
- Lee S, Kim Y, Kwak W. 2010. Effects of Dietary Addition of bentonite on manure gas emission, health, production, and meat characteristics of Hanwoo (*Bos taurus coreanae*) Steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23(12):1594-1600.
- Lopez BI, Lee SH, Park JE, Shin DH, Oh JD, de las Heras-Saldana S, van der Werf J, Chai HH, Park W, Lim D. 2019. Weighted Genomic Best Linear Unbiased Prediction for Carcass Traits in Hanwoo Cattle. *Genes* 10(12):1019.
- Lopez BIM, An NR, Srikanth K, Lee SH, Oh JD, Shin DH, Park WC, Chai HH, Park JE, Lim DJ. 2021. Genomic Prediction Based on SNP Functional Annotation Using Imputed Whole-Genome Sequence Data in Korean Hanwoo Cattle. *Frontiers in Genetics* 11: 603822.

- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2017. Agricultural Insurance Yearbook. MAFRA, Sejong, Korea. [In Korean]
- Mehrban H, Naserkheil M, Lee D, Ibáñez-Escriche N. 2021. Multi-Trait Single-Step GBLUP Improves Accuracy of Genomic Prediction for Carcass Traits Using Yearling Weight and Ultrasound Traits in Hanwoo. *Frontiers in Genetics* 12:692356.
- ME (Ministry of Environment). 2020. Korean climate change assessment report 2020. ME, Sejong, Korea. [In Korean]
- Moon JG, Shim CS, Jung OJ, Hong JW, Han JH, Song YI. 2020. Characteristics in Regional Climate Change Over South Korea for Regional Climate Policy Measures: Based on Long-Term Observations. *Journal of Climate Change Research* 11(6-2):755-770. [In Korean]
- NGII (National geographic information institute). 2008. The geography of Korea. NGII, Suwon, Korea.
- NIMS (National Institute of Meteorological Sciences). 2018. Climate change in the Korean peninsula for 100 years. NIMS, Jeju, Korea. [In Korean]
- Nwogwugwu CP, Kim Y, Choi H, Lee JH, Lee SH. 2020. Assessment of genomic prediction accuracy using different selection and evaluation approaches in a simulated Korean beef cattle population. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 33(12): 1912-1921.
- Oh MJ, Kim JE, Lee BS, Kim TW. 2022. Hydro-meteorological Characteristics in Season and Solar Term According to RCP Climate Change Scenarios. *Journal of Wetlands Research* 24(4):288-300. [In Korean]
- Park MN, Choi YE. 2020. An Examination of Changes and Future Projections of the Highest Daily Maximum Temperature by Return Periods Using Generalized Extreme Value Distribution (GEVD) in the Republic of Korea. *The Geographical Journal of Korea* 54(1):37-48. [In Korean]
- Park SU, Koo KA, Kong WS. 2016. Potential impact of climate change on distribution of warm temperate evergreen broad-leaved trees in the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Geographical Society* 51(2): 201-217. [In Korean]
- Piao MY, Baik M. 2015. Seasonal variation in carcass characteristics of Korean cattle steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 28(3):442-450.
- Purcell S, Neale B, Todd-Brown K, Thomas L, Ferreira MAR, Bender D, Maller J, Sklar P, De Bakker PIW, Daly MJ, Sham PC. 2007. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *The American Journal of Human Genetics* 81(3):559-575.
- Visscher PM, Medland SE, Ferreira MA, Morley KI, Zhu G, Cornes BK, Montgomery GW, Martin NG. 2006. Assumption-free estimation of heritability from genome-wide identity-by-descent sharing between full siblings. *PLoS Genetics*. 2(3): e41.
- Vrieze SI. 2012. Model selection and psychological theory: a discussion of the differences between the Akaike information criterion (AIC) and the Bayesian information criterion (BIC). *Psychol Methods* 17(2):228-243.
- Woo JS, Lee NK, Lee HG, Park KK. 2024. Effects of heat stress on performance, physiological parameters, and blood profiles of early-fattening Hanwoo steers in climate chambers. *Animal Bioscience* 37(1): 142-150.
- Yu IS. 2022. Development and application of a model for assessing climate-related disaster risk. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 81: 103218.
- Zhou S, Yu B, Zhang Y. 2023. Global concurrent climate extremes exacerbated by anthropogenic climate change. *Science Advances*. 9(10): eabo1638.

AUTHORS INFORMATION

Ji Yeong Kim: <https://orcid.org/0000-0001-8458-2789>

Eun Ho Kim: <https://orcid.org/0000-0002-0882-8377>

Ho Chan Kang: <https://orcid.org/0000-0002-2948-5895>

Cheol Hyun Myung: <https://orcid.org/0000-0001-8697-1657>

Hyun Tae Lim: <https://orcid.org/0000-0001-6221-4942>